



www.viserdata.com

自然科学研究

NATURAL SCIENCE RESEARCH

季刊

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 3041-0584(online) 3041-0576(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊
RCCSE权威核心学术期刊



2025 **1**

第2卷 总第4期

COMPANY INTRODUCTION

公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



自然科学研究

Natural Science Research

2025年 第2卷 第1期（总第4期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N：3041-0584 (online)

3041-0576 (print)

数据库收录：中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

发行周期：季刊

收录时间：3月

期刊网址：www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱：viser-tech@outlook.com

地 址：111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,

Singapore 179098

学术主编：马伟芳

学术副主编：Ajmal Khan

安 宁 安俊明

蔡懿苒 甘银波

张学东 吕貽忠

曹 婷 骆 辉

责任编辑：尹小文

美工编辑：李 亚 Anson Chee

定 价：SGD 20.00

本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点；作者文图责任自负，如有侵犯他人版权或者其他权利的行为，本刊概不负连带责任。

版权所有，未经许可，不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人：稿件凡经本刊使用，如无电子版或书面的特殊声明，即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

目 录

CONTENTS

学术争鸣

烧结温度对氧化锰掺杂的钪钛酸钡钙陶瓷压电性能的影响..... 张正辉 周恒为 尹红梅 1
关于以太存在的若干猜想..... 程进军 程 典 7

农林科学

大豆玉米带状复合种植模式下化肥农药减量增效与产量平衡研究..... 刘 明 17
园艺植物病虫害防治技术的综合管理方法 朱云佳 21
新疆奎屯垦区大豆新品种高产示范展示试验总结 卢蓉蓉 贺奇志 梁坤明 刘晓乐 24

化学工程

剧毒重金属铊的污染现状与治理技术研究进展 覃佳勇 曾月俊 罗秋妍 李云翔 梁 慧 李文轩 黄在银 28
CaCO₃ 掺杂对钪钛酸钡陶瓷微观结构及电学性能的影响..... 田兴国 马晓娇 尹红梅 周恒为 32

生态环境

生态环境工程与可持续发展战略的融合路径 王 杰 周丽丽 王云龙 37
水环境监测常见的问题及其应对措施探讨 衣英杰 孙小淋 41
大气污染防治技术在环保工程中的应用与优化研究因素分析..... 陈 可 45
乙醇泄漏环境影响预测与风险评估 叶 莎 48
土壤污染和修复问题以及生态环境保护措施研究 孙婷婷 王有艳 51
环境工程中能源节约与绿色能源利用的实践研究 王云龙 左振超 王 杰 54

新形势下大气环境保护及污染治理对策研究.....	
.....	李佐尚 57
浅议微生物处理技术在环境工程中的运用..	吴建文 60
河道治理工程对周边生态环境的影响分析..	雷甲龙 63
探究大气环境监测的应用及布点方法.....	
.....	孙小淋 衣英杰 66
环境影响评价与环境工程应用探讨.....	
.....	周丽丽 王云龙 左振超 70
改善农村人居环境面临的问题及对策建议..	马廷甲 74
污泥在 SO ₂ 废气治理中的技术路径与低碳化前景.....	
罗秋妍 曾月俊 李文轩 覃佳勇 黄圆圆 黄 鑫	
李云翔 黄在银 78	
环境的监测在大气污染治理中的作用及措施.....	
.....	刘 帅 83
环境工程中有机废气处理技术探析.....	
.....	左振超 王 杰 周丽丽 86

生物科学

甘蔗渣生物炭基催化剂构效关系在环境能源应用中的研究进展	李云翔 张立旺 李文轩 覃佳勇
吴 雨 罗忠玮 黄在银 90	

食品科学

农残兽残检测前处理中的质量控制与风险管理	
.....	李笑颜 95
食品检验中重金属的检验方法研究	金晓敏 98

资源与地质

岩土工程勘察中的水文地质问题探究	
.....	刘 栋 刘祥伟 林思文 肖 夏 张文强 101
污泥处理技术的研究进展：减量化-资源化-能源化的协同路径与挑战	曾月俊 罗秋妍 李文轩 覃佳勇
宁颖标 王卢彬 盘 睿 李云翔 黄在银 104	
太行山区土壤重金属污染分布特征及来源解析	
.....	杜丽媛 杨 颖 108

材料科学

聚丙烯球状齐格勒-纳塔催化剂的研究进展	
王 晓琪 罗晓琳 郝春波 姚秀超 付 莹 王立斌	
宁兴洋 112	
齐格勒-纳塔催化剂活性中心对聚丙烯性能的影响 ...	
姚秀超 李春晖 王立斌 郝春波 李永华 宁兴洋	
王晓琪 116	

烧结温度对氧化锰掺杂的钡钛酸钡钙陶瓷压电性能的影响

张正辉¹ 周恒为¹ 尹红梅^{2*}

1. 伊犁师范大学物理科学与技术学院 新疆凝聚态相变与微结构实验室, 新疆 伊宁 835000

2. 新疆大学 物理科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 采用传统固相反应方法在 1320℃~1520℃的烧结温度 (T_s) 下得到了 $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Hf}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3 + 0.06 \text{ mol\% MnO}_2$ 陶瓷, 研究了 T_s 对陶瓷晶体结构、表面形貌、介电、室温铁电与压电的性能, 发现: 室温下陶瓷均为钙钛矿型铁电体, 相结构为菱形-正交相共存; 不同 T_s 获得的陶瓷居里温度变化不大, 值在 97~103℃的范围; 陶瓷压电系数随 T_s 增大而增大, $T_s=1520^\circ\text{C}$ 时, 压电系数最大, 陶瓷表面晶界较为清晰, 晶粒尺寸最大, 值分别为 384 pC/N 和 13.49 μm , 此时室温介电常数 1862, 介电损耗为 0.037, 剩余极化强度 (P_r) 为 6.88 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。

[关键词] 烧结温度; 氧化锰掺杂; 钡钛酸钡钙陶瓷; 压电性能

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15906

中图分类号: O482.54

文献标识码: A

Effect of Sintering Temperature on Piezoelectric Properties of Barium Calcium Hafnium Titanate with Manganese Oxide Doped Ceramics

ZHANG Zhenghui¹, ZHOU Hengwei¹, YIN Hongmei^{2*}

1. Xinjiang Laboratory of Phase Transitions and Microstructures in Condensed Matters, College of Physical Science and Technology, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China

2. College of Physical Science and Technology, Xingjiang University, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Hf}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3 + 0.06 \text{ mol\% MnO}_2$ ceramics were prepared by the traditional solid-state reaction method at sintering temperatures (T_s) ranging from 1320 °C to 1520 °C. The effects of T_s on the crystal structure, surface morphology, dielectric properties, room-temperature ferroelectric, and piezoelectric performance of the ceramics were investigated and the results indicate that the ceramics are all perovskite-type ferroelectrics at room temperature, with a coexistence of Rhombohedral-Orthorhombic phase. The Curie temperature of the ceramics show a little variation, ranging from 97 °C to 103 °C during at different T_s and the piezoelectric coefficient increase with T_s increasing. At $T_s = 1520^\circ\text{C}$, the piezoelectric coefficient reach its maximum value, with a clearer surface grain boundaries and the largest grain size, with values of 384 pC/N and 13.49 μm , respectively, meanwhile, the room-temperature dielectric constant is 1862, the dielectric loss is 0.037, and the remnant polarization (P_r) is 6.88 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$.

Keywords: sintering temperature; manganese doped; $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Hf}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3$ ceramics; piezoelectric properties

引言

钛酸钡 (BaTiO_3 , BT) 是最早发现的无铅压电陶瓷之一, 因其具有较好的介电和压电性能^[1-2], 被广泛应用于陶瓷电容器、介质谐振器以及热敏电阻等^[3-4], 也是目前无铅压电陶瓷研究的重要体系之一^[5-6]。

固相反应方法是 BT 基陶瓷常用的制备方法, 研究发现固相反应过程中陶瓷的烧结参数, 如烧结温度 (T_s)^[7-11]、预烧温度^[12-13]、烧结升温速率^[8,14-16]、恒温时间^[17]等对其电学性能有较大影响, 其中, 可以通过控制 T_s , 起到调节陶瓷相结构、晶粒尺寸、氧空位、形貌和致密度等, 进而改善 BT 基陶瓷电学性能, 如丁捷^[11]等发现纯 BT 陶瓷在 1200℃~1420℃烧结时室温相结构不发生变化, 均呈现四方相 (Tetragonal, T) 结构, $T_s=1400^\circ\text{C}$ 时, BaTiO_3 陶瓷表面晶界清晰, 晶粒生长较好, 其压电系数 (d_{33}) 最大 (193 pC/N), 此时介电常

数 $\epsilon_r=2105$, 介电损耗 $\tan\delta=3.23\%$, 剩余极化强度 $P_r=10\mu\text{C}/\text{cm}^2$; 王晓芳^[18]等发现 ($\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}$)($\text{Zr}_{0.10}\text{Ti}_{0.90}$) O_3 陶瓷介电、铁电和压电性能与陶瓷晶粒大小和致密度有关, 当 $T_s=1400^\circ\text{C}$ 时, 样品显微组织的均匀性和致密性最好, 居里温度 (T_c) 最高, 介电常数极值 (ϵ_{max})、剩余极化强度 (P_r) 和 d_{33} 最大, 同时具有最小的矫顽场 (E_c), 此时 $d_{33}=543\text{pC}/\text{N}$; 许文君^[9]等研究 1300℃~1360℃烧结的 $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Hf}_{0.1}\text{Ti}_{0.9}\text{O}_3$ 陶瓷时发现, 随 T_s 的升高, 陶瓷相结构发生了变化, 由立方相转变为四方相, 在 $T_s=1340^\circ\text{C}$ 具有最大的体密度和相对密度时陶瓷有最佳电学性能, d_{33} 为 250 pC/N, 室温介电常数 (ϵ_r) 1803, 介电损耗 ($\tan\delta$) 0.017, $2P_r$ 为 13.33 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $2E_c$ 为 5.91 KV/cm; Lei Zhao^[19]等人发现 ($\text{Ba}_{0.95}\text{Ca}_{0.05}$)($\text{Ti}_{0.9}\text{Sn}_{0.1}$) $\text{O}_3 + 4\text{mol\%Li}_2\text{O}$ 陶瓷在 $T_s=1300^\circ\text{C} \sim 1450^\circ\text{C}$ 都为菱形相 (Rhombohedral, R) 相与四方相 (Tetragonal,

T) 共存, 电学性能受到陶瓷氧空位影响, 高 T_s 下锂离子的挥发和氧气供应不足会导致高氧空位, 进而降低 d_{33} , 并且随 T_s 增加 Ti^{4+} 、 Sn^{4+} 会变成低价的 Ti^{3+} 、 Sn^{2+} , 浓度随 T_s 增加而增大, 在 $T_s=1350^{\circ}\text{C}$ 时, 获得了优异的压电性能 $d_{33}=578\text{pC/N}$; Dang Anh Tuan^[10] 等人发现 $Ba(Zr_{0.2}Ti_{0.8})O_3-0.52(Ba_{0.7}Ca_{0.3})TiO_3+0/0.15\text{wt.}\%ZnO$ 陶瓷的 d_{33} 随 T_s 的升高而增大, $T_s=1450^{\circ}\text{C}$ 时 R-T 相共存, 且 R 相的占比的增大使得其获得最佳压电性能 $d_{33}=576\text{pC/N}$ 。

在 BT 基陶瓷中, $Ba_{1-x}Ca_xHf_yTi_{1-y}O_3$ 体系具有较高的居里温度 ($90\sim120^{\circ}\text{C}$) 和压电系数 ($d_{33}=410\sim525\text{pC/N}$)^[12, 20, 21], 但与铅基陶瓷的压电性能 (PZT-5H 的 $d_{33}=590\text{pC/N}$)^[22] 仍有一定差距, 研究发现锰元素掺杂的 BT 基陶瓷中, Mn^{4+} 进入钙钛矿晶格中会出现 Mn^{2+} 、 Mn^{3+} 、 Mn^{4+} 共存, 并取代 ABO_3 型钙钛矿中的 B 位金属离子^[23-26], 进而对氧空位、相结构等微观结构进行影响, 改善材料的压电性能, 如: DaWei Wang^[27] 等人通过固相反应法向 $Ba(Ti_{0.89}Sn_{0.11})O_3$ 中添加了 $0.6\text{ mol}\%MnO_2$ 时, 观察到 R 相、T 相、C (Cubic, C) 相、O (Orthorhombic, O) 相四种相共存, 出现了异质性局部结构 (local structural heterogeneity), 获得了 $d_{33}>1100\text{pC/N}$ 的陶瓷; ChaoBing Xu 等人^[26] 研究 $(Ba_{0.838}Ca_{0.162})(Ti_{0.908-x}Mn_xZr_{0.092})O_3(x=0、0.002、0.004、0.006、0.008、0.010)$ 陶瓷压电性能时发现 Mn^{2+} 、 Mn^{3+} 和 Mn^{4+} 共存, 在微量 $x=0.006$ 掺杂时可提升陶瓷 d_{33} (410pC/N), 并分析可能原因为 Mn 离子的混合价态存在, 出现软化效应导致; JiaGang Wu^[28] 等人研究 $Ba_{0.85}Ca_{0.15}Ti_{0.90}Zr_{0.10}O_3+x\text{ wt}\% MnO(x=0、0.15、0.30、0.50、1.00)$ 陶瓷压电性能时发现, MnO 掺入量大时 ($x\geq0.15$) 可以提高陶瓷的致密程度和压电性能的热稳定性, 但会使压电性能降低, 掺杂后 $x=0.15\text{wt.}\%$ 有较大压电 d_{33} (382pC/N)。

本文选择具有较高居里温度和较大压电系数的 $Ba_{0.85}Ca_{0.15}Hf_{0.1}Ti_{0.9}O_3$ 陶瓷为研究对象, 掺入 $0.06\text{mol.}\%$ 的 MnO_2 , 在系列烧结温度 (1320°C 、 1350°C 、 1370°C 、 1400°C 、 1450°C 、 1520°C) 下制备出相应的 $Ba_{0.85}Ca_{0.15}Hf_{0.1}Ti_{0.9}O_3+0.06\text{ mol.}\% MnO_2$ (BCHT+ MnO_2) 陶瓷, 研究烧结温度对陶瓷微观结构、表面形貌、铁电、介电和压电性能, 分析 BCHT+ MnO_2 陶瓷压电性能变化的微观机理, 为相关陶瓷制备工艺的改进提供依据。

2 样品制备与性能测试

使用纯度 $\geq99.99\%$ 的 $BaCO_3$ 、 TiO_2 、 $CaCO_3$ 和 HfO_2 作为原料, 按照化学式 $Ba_{0.85}Ca_{0.15}Hf_{0.1}Ti_{0.9}O_3$ 称量, 采用蒸馏水为球磨介质球磨 16h。球磨后的浆料经烘干、研细后以 3.5°C/min 的升温速率从室温加热至 1250°C 恒温 2h, 得到相应 $Ba_{0.85}Ca_{0.15}Hf_{0.1}Ti_{0.9}O_3$ 前驱粉体, 向研细后的前

驱粉体粉中加入 $0.06\text{mol}\%$ 的 MnO_2 , 再次球磨 24h 后烘干得到相应的 $Ba_{0.85}Ca_{0.15}Hf_{0.1}Ti_{0.9}O_3+0.06\text{mol}\%MnO_2$ (简称为 BCHT+ MnO_2) 粉体, 研细后的粉体中加入 $2.5\text{wt}\%$ PVA 溶液, 过筛、造粒后以 15MPa 左右的压强压制成 $\phi3\times(1\sim2)\text{mm}$ 的圆柱素坯, 素坯排胶后, 以 3.5°C/min 左右的升温速率由室温分别升温到 1320°C 、 1350°C 、 1370°C 、 1400°C 、 1450°C 、 1520°C , 恒温 4h, 随炉冷却至室温, 得到相应的 BCHT+ MnO_2 陶瓷样品。

将制备的样品用 KYKY 2800 B 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察样品的表面形貌, 并统计晶粒尺寸; 用 X 射线衍射法 (XRD) 分析其室温晶格结构; 样品经过抛光镀银后用 Beta-NB 型宽频阻抗分析仪测试分析其在 $-80^{\circ}\text{C}\sim120^{\circ}\text{C}$ 、 1.5K/min 下测量样品的变温复介电常数; 用 TF2000 铁电测试仪测试出样品的室温电滞回线; 通过极化装置在一定电压下室温极化 20min 后静置 24h, 利用 PM300 精密压电测试仪在频率 $f=300\text{Hz}$, 应力 $T=0.50\text{N}$ 下测试室温压电系数 d_{33} 。

3 实验结果与讨论

3.1 XRD 结果与分析

图 1 (a) 为 BCHT+ MnO_2 陶瓷样品衍射角为 $20^{\circ}\sim80^{\circ}$ 的室温 XRD 衍射图谱。从图中可以看出, 所有陶瓷样品主峰与 BT 标准谱相同, 无明显杂峰, 表明 BCHT+ MnO_2 陶瓷结晶良好, 均为钙钛矿型固溶体, 锰离子完全进入 BCHT 晶格中。将 (200) 晶面图谱放大后得到图 1 (b), 可以看出, 当 $T_s<1450^{\circ}\text{C}$ 时, 在 45° 附近该晶面衍射峰随着 T_s 的升高向低角度偏移, $T_s=1450^{\circ}\text{C}$ 时向高角度偏移, $T_s>1450^{\circ}\text{C}$ 时再次向低角度偏移, 根据布拉格公式可得出, $T_s=1320\sim1400^{\circ}\text{C}$ 晶面间距随烧结温度的增加而增加, $T_s=1450^{\circ}\text{C}$ 时晶面间距减小, $T_s>1450^{\circ}\text{C}$ 时晶面间距增加。这种变化的可能原因是由于 Mn^{4+} 在材料中可能有 Mn^{2+} 和 Mn^{3+} 共存的状态^[29,30], 而 Mn^{2+} 、 Mn^{3+} 和 Mn^{4+} 半径分别为 0.083nm 、 0.0645nm 、 0.053nm , 随 T_s 升高钛离子可能由 Ti^{4+} 变为 Ti^{3+} 的变化, 离子半径为 0.06nm 和 0.076nm ^[31], 锰离子半径接近 Ti^{4+}/Ti^{3+} , 因此当锰离子进入 BCHT 晶格后先进入 B 位替换钛离子, 其中 Mn^{3+} 、 Mn^{2+} 的半径大于 Ti^{4+}/Ti^{3+} 半径, Mn^{4+} 的半径小于 Ti^{4+}/Ti^{3+} 半径, 而 Mn^{3+}/Mn^{2+} 进入 B 位占主导地位时, 大半径离子取代小半径离子, 晶格膨胀, 晶面间距增大, 衍射峰整体向低角度偏移, 但期间, 如有部分 Mn^{4+} 替代 B 位的 Ti^{4+}/Ti^{3+} 使得晶格将会收缩, 晶面间距减小, 衍射峰整体向高角度偏移。

与 BT 标准的立方相 (Cubic, C)、四方相 (Tetragonal, T)、正交相 (Orthorhombic, O) 和菱形相 (Rhombohedral, R) 的 45 $^{\circ}$ 特征峰对比后发现, 在室温附近, 所有烧结温度下 BCHT+ MnO_2 陶瓷均为 R-O 两相共存。

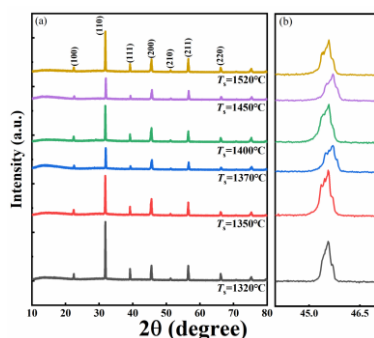


图 1 (a)系列烧结温度 BCHT+MnO₂ 陶瓷的室温 XRD 衍射图谱 2θ 范围: 10~80° (b)45°附近

3.2 SEM 结果与分析

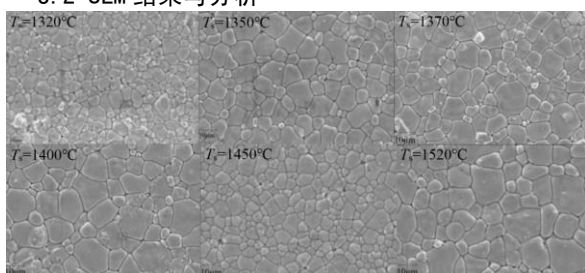


图 2 BCHT+MnO₂ 陶瓷的扫描电镜测试结果

图 2 为 BCHT+MnO₂ 系列陶瓷样品的扫描电镜测试结果, 所有烧结温度下获得的陶瓷晶界清晰, 晶粒较为均匀, 其中 $T_s=1320^{\circ}\text{C}$ 和 1450°C 晶粒尺寸大小相似, 为更清晰的分析晶粒尺寸随烧结温度的变化, 从图 2 中提取相应晶粒尺寸信息得到图 3, 即 BCHT+MnO₂ 晶粒尺寸分布图和平均晶粒尺寸(g), 其中, $T_s=1520^{\circ}\text{C}$ 时 g 最大($13.5\mu\text{m}$), $T_s=1350^{\circ}\text{C}$ 和 1370°C 烧结温度相近, g 也相近, 但 $T_s=1320^{\circ}\text{C}$ 和 1450°C 温度相差 130°C 也具有相似的 g , 说明 BCHT+MnO₂ 陶瓷 T_s 对 g 的影响是非线性的, 这与许文君^[9]等的结果不同, 并且 g 的变化与图 1 (b) 晶面间距的变化类似, 因此 g 的变化可能与不同烧结温度导致锰离子

进入 BCHT 晶格后锰、钛离子价态有关。

3.3 电滞回线测试结果与分析

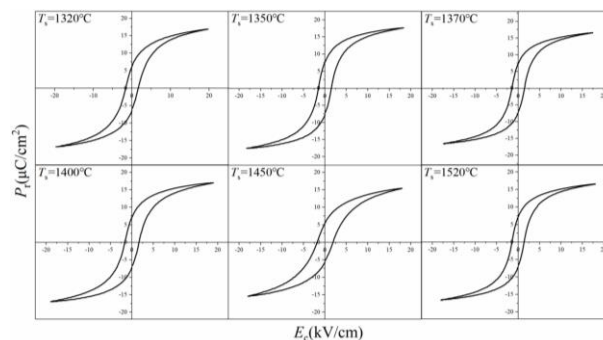


图 4 BCHT+MnO₂ 系列陶瓷样品的电滞回线图

图 4 是 BCHT+MnO₂ 陶瓷室温电滞回线测试结果, 从图中可以看到, 所有烧结温度下 BCHT+MnO₂ 陶瓷均为铁电体。从图 4 中提取相应的矫顽电场(E_c)和剩余极化强度(P_r)得到图 5。在 $T_s=1350^{\circ}\text{C}$ 时 $2P_r$ 值最大($14.75\mu\text{C}/\text{cm}^2$), 对应 $2E_c$ 较小为 $2.99\text{kV}/\text{cm}$ 与纯 BCHT^[9] 相比, 掺杂 MnO₂ 后, P_r 增加的同时, E_c 减少。 $T_s=1520^{\circ}\text{C}$ 陶瓷具有较大的 P_r ($2P_r=13.76\mu\text{C}/\text{cm}^2$) 和较小的 E_c ($2E_c=2.75\text{kV}/\text{cm}$)。

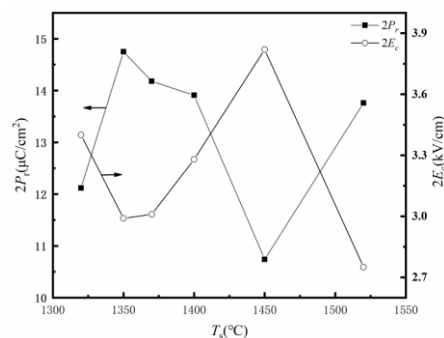


图 5 不同烧结温度下 BCHT+MnO₂ 陶瓷矫顽电场强度 (E_c) 和剩余极化强度 (P_r) 变化图

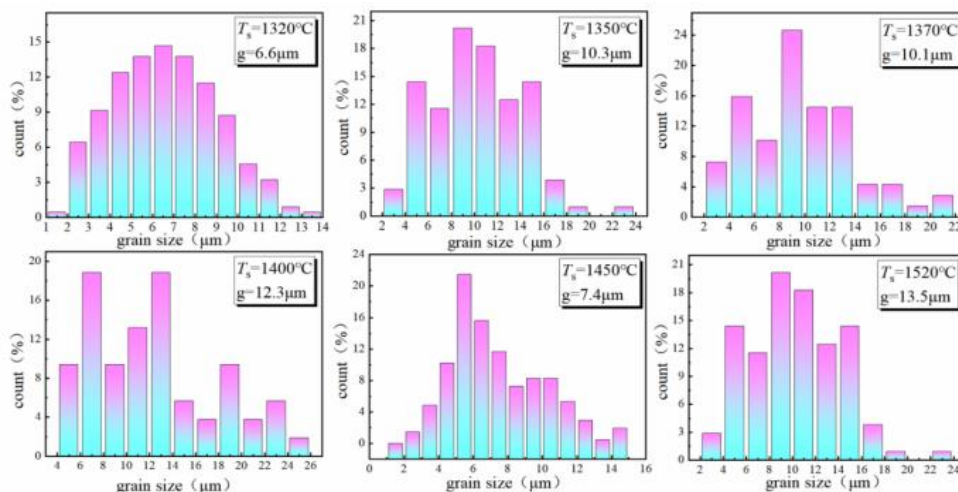


图 3 BCHT+MnO₂ 系列陶瓷样品晶粒尺寸分布图

3.4 变温介电性能测试结果和分析

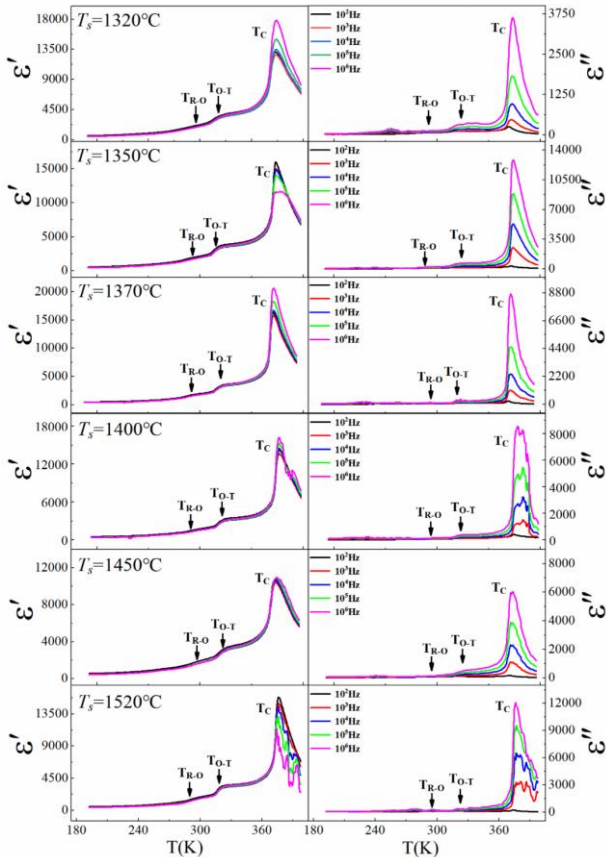
图6 BCHT+MnO₂系列陶瓷样品的复介电常数实部 ϵ_r' 和虚部 ϵ_r'' 随 T 和 f 变化曲线图

图6 BCHT+MnO₂ 陶瓷复介电常数随 T 和 f 变化曲线图显示:在所测试的温区内所有陶瓷具有三个介电相变过程,对应温度分别为 T_{R-O} 、 T_{O-T} 和 T_C , 分别对应 BT 基陶瓷的 R-O 相、O-T 相、T-C 相的相变过程,其中居里温度 T_C 在 97~103℃ 的范围内, T_{O-T} 在 45~51℃ 的范围内, T_{R-O} 在 9~12℃ 的范围内,且峰弥散到室温附近,这也是在图 1 (b) 45° 附近显示出陶瓷具有 R-O 相共存可能原因。

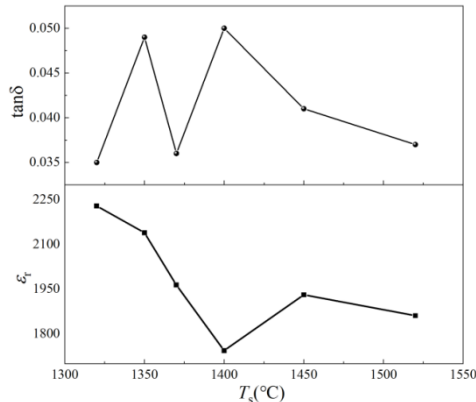
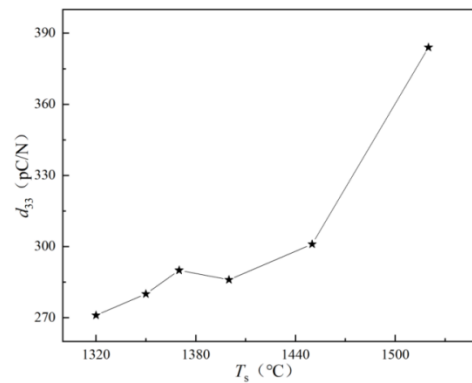
图7 系列烧结温度 BCHT+MnO₂ 陶瓷样品的室温介电常数 (ϵ_r)、损耗 ($\tan\delta$) 变化曲线

图7为 100Hz、300K 时陶瓷介电常数 (ϵ_r) 和介电损耗 ($\tan\delta$) 随 T_s 变化曲线图,图中可见 ϵ_r 和介电损耗 ($\tan\delta$) 变化存在波动,在 $T_s=1320^\circ\text{C}$ 时有最大的介电常数 ($\epsilon_r=2229$),与纯 BCHT^[9] 相比,介电常数略有增加,这与 ChaoBing Xu^[26] 等人的研究结果相似,他们将其归因于内部偏置场的出现,由于受主掺杂导致晶格能量增加,进而提高其介电性能,而所有陶瓷的介电损耗均大于纯 BCHT^[12] 和 BCZT^[31] 陶瓷的数值,可见 MnO₂ 的掺入增加了材料的介电损耗,这可能与不同烧结温度下 Mn²⁺/Mn³⁺/Mn⁴⁺ 取代 B 位的 Ti⁴⁺/Ti³⁺ 后^[23-26],产生的氧空位浓度及畴壁运动活性有关。

3.5 压电性能测试结果和分析

图8 系列烧结温度下的 BCHT+MnO₂ 陶瓷室温压电系数变化曲线

BCHT+MnO₂ 陶瓷具有铁电性,也具有压电性,对样品进行极化后放置 24h,在 300Hz, 0.5N 的测试条件下得到了陶瓷室温压电系数(d_{33}),图8为样品的 d_{33} 、随 T_s 变化的曲线图。从图8中可以看出 d_{33} 随烧结温度的变化而逐渐增大,最大值为 $d_{33}=384\text{pC/N}$ ($T_s=1520^\circ\text{C}$),此时具有最大的晶粒尺寸 (13.5 μm),造成这种变化的可能原因随 T_s 升高, Ti^{3+} 浓度增大,进而 Mn^{4+} 替代 Ti^{3+} 几率增大,为了平衡电荷,会出现游离氧离子,降低氧空位的浓度,增强畴壁移动性,导致压电性能提升。

4 结论

本文采用传统固相反应方法得到了系列烧结温度下的 BCHT+MnO₂ 陶瓷样品,通过对陶瓷样品室温晶体结构、表面形貌、室温铁电与压电的测量与分析发现:所有烧结温度下样品室温时均为钙钛矿型固溶体,具有 R-O 相共存的相结构;陶瓷的居里温度 T_C 在 97-103℃ 的范围内,低温的 O-T 和 R-O 铁电相转变温度分别在 45~51℃ 和 9~12℃ 的范围内;室温下所有陶瓷均为铁电体,且压电系数随 T_s 增大而增大;当 $T_s=1520^\circ\text{C}$ 时,陶瓷表面晶界清晰,晶粒尺寸最大 (13.49 μm),该烧结温度下 BCHT+MnO₂ 陶瓷的 d_{33} 可达 384pC/N,此时 $\epsilon_r=1862$, $\tan\delta=0.037$, $\text{Pr}=6.88\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。

基金项目:本工作获得新疆维吾尔自治区自然科学基金 (2024D01C48) 和新疆凝聚态相变与微结构实验室开

放课题 (XJDX0912Z2501) 的资助。

[参考文献]

- [1] Cross E. Lead-free at last[J]. Nature,2004(432):24-25.
- [2] Saito Y,Takao H,Tani T,et al. Lead-free piezoceramics[J]. Nature,2004(432):84-87.
- [3] Wang L, Gao F, Xu J, et al. Enhanced dielectric tunability and energy storage properties of plate-like $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ poly (vinylidene fluoride) composites through texture arrangement[J]. Composites Science and Technology,2018(158):112-120.
- [4] Zhang J, Huang X, Yu S, et al. Effect of substrate temperature on structural and electrical properties of $\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ lead-free thin films by pulsed laser deposition[J]. Ceramics International,2016,42(11):13262-13267.
- [5] Jaffe H. Piezoelectric ceramics[J]. Journal of the American Ceramic Society,1958,41(11):494-498.
- [6] 李珂,张德,周飞. 钛酸钡系无铅压电陶瓷的研究进展[J]. 中国陶瓷,2007,43(12):17-20.
- [7] 陈云飞,程波涛,李丹,等. 烧结温度对氧化铜掺杂钛酸钡钙陶瓷压电性能的影响[J]. 广东化工,2021,10(48):12-14.
- [8] 万淇通,张云飞,张梦雅,等. 烧结温度和升温速率对钛酸钡陶瓷结构及介电性能的影响[J]. 海南师范大学学报(自然科学版),2023,36(4):400-408.
- [9] 许文君,梁进闯,周恒为,等. 烧结温度对 $(\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})(\text{Ti}_{0.9}\text{Hf}_{0.1})\text{O}_3$ 陶瓷压电性能的影响[J]. 人工晶体学报,2019,48(5):955-960.
- [10] Dang A T, Vo T T, Truong V C, et al. Influence of sintering temperature on structure, microstructure and piezoelectric properties of doped BZT-BCT ceramics[J]. International Journal of Modern Physics B,2017,31(2):1650258.
- [11] 丁捷,刘柱,肖宇,等. 烧结温度对钛酸钡陶瓷压电性能的影响[J]. 伊犁师范学院学报:自然科学版,2015,9(2):34-39.
- [12] 任翔云,周恒为,张超,等. 预烧温度对 $(\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})(\text{Ti}_{0.9}\text{Hf}_{0.1})\text{O}_3$ 压电陶瓷电性能的影响[J]. 人工晶体学报,2017,46(7):1233-1238.
- [13] 黄新友,高春华,赵文波. 不同预烧温度对 BCTZ 压电陶瓷性能的影响:第十九届全国高技术陶瓷学术年会[C]. 湖北:武汉,2016.
- [14] 朱强,周恒为,张超,等. 烧结升温速率对钛酸钡陶瓷压电性能的影响[J]. 人工晶体学报,2017,46(7):1333-1337.
- [15] Yoo Y S, Kim J J, Kim D Y. Effect of heating rate on the microstructural evolution during sintering of BaTiO_3 ceramics[J]. Journal of the American Ceramic Society,1987,70(11):322-324.
- [16] Ryu J, Choi J J, Kim H E. Effect of heating rate on the sintering behavior and the piezoelectric properties of lead zirconate titanate ceramics[J]. Journal of the American Ceramic Society,2001,84(4):902-904.
- [17] 周舟. 钛酸钡基陶瓷的制备及掺杂改性研究[D]. 广东:广东工业大学,2014.
- [18] 王晓芳,岳建设. 烧结温度对 $(\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})(\text{Zr}_{0.1}\text{Ti}_{0.9})\text{O}_3$ 无铅压电陶瓷结构和电学性能的影响研究[J]. 人工晶体学报,2018,47(6):1242-1247.
- [19] Zhao L, Zhang B, Zhou P, et al. Piezoelectric and ferroelectric properties of $(\text{Ba,Ca})(\text{Ti,Sn})\text{O}_3$ lead-free ceramics sintered with Li₂O additives: Analysis of point defects and phase structures[J]. Ceramics International,2016,42(1):1086-1093.
- [20] Wang D, Jiang Z, Yang B, et al. Phase transition behavior and high piezoelectric properties in lead-free $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-BaHfO}_3$ ceramics[J]. Journal of Materials Science,2014(49):62-69.
- [21] Wang D, Jiang Z, Yang B, et al. Phase Diagram and Enhanced Piezoelectric Response of Lead - Free $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-BaHfO}_3$ System[J]. Journal of the American Ceramic Society,2014,97(10):3244-3251.
- [22] Shrout T R, Zhang S J. Lead-free piezoelectric ceramics: Alternatives for PZT[J]. Journal of Electroceramics,2007(19):113-126.
- [23] Kamiya T, Suzuki T, Tsurumi T T T, et al. Effects of manganese addition on piezoelectric properties of Pb $(\text{Zr}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{O}_3$ [J]. Japanese journal of applied physics,1992,31(9):3058.
- [24] Chen L, Fan H, Li Q. Characterization of acceptor-doped $(\text{Ba,Ca})\text{TiO}_3$ “hard” piezoelectric ceramics for high-power applications[J]. Ceramics International,2017,43(7):5579-5584.
- [25] Hoshina T, Takizawa K, Li J, et al. Domain size effect on dielectric properties of barium titanate ceramics[J]. Japanese Journal of Applied Physics,2008,47(9):7607.
- [26] Xu C, Yao Z, Lu K, et al. Enhanced piezoelectric properties and thermal stability in tetragonal-structured $(\text{Ba,Ca})(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$

piezoelectrics substituted with trace amount of Mn[J]. *Ceramics International*, 2016, 42(14):16109-16115.

[27] Wang D, Fan Z, Rao G, et al. Ultrahigh piezoelectricity in lead-free piezoceramics by synergistic design[J]. *Nano Energy*, 2020(76):104944.

[28] Wu J, Wang Z, Zhang B, et al. $\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15}\text{Ti}_{0.90}\text{Zr}_{0.10}\text{O}_3$ lead-free ceramics with a sintering aid of MnO[J]. *Integrated Ferroelectrics*, 2013, 141(1):89-98.

[29] Yao F, Zhang M, Wang K, et al. Refreshing

piezoelectrics: distinctive role of manganese in lead-free perovskites[J]. *ACS applied materials & interfaces*, 2018, 10(43):37298-37306.

[30] 龙佩青, 刘希涛, 易志国. 制备工艺对 $(\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ 无铅压电陶瓷结构与性能的影响[J]. *无机材料学报*, 2017, 32(3):299-304.

作者简介: 张正辉, 研究生, 主要研究方向为无铅压电陶瓷的制备及其性能研究; *通讯作者: 尹红梅, 副教授, 博士, 主要从事无铅压电陶瓷的研究。

关于以太存在的若干猜想

程进军^{1*} 程典²

1. 安徽省发展改革委员会, 安徽 合肥 230031

2. 信达证券安徽分公司, 安徽 合肥 230051

[摘要] 迈克尔逊·莫雷实验“零结果”, 并不足以否认亚里士多德所构想的“第五元素”以太的存在。哈勃对系统性宇宙红移的多普勒效应解释并不完备, 需要引入以太空间。万有引力常数的物理意义更是揭示了以太存在的可能。经过深入思考与逻辑推理, 有充足的理由认为, 以太是负能量、意识流、也是空间本身, 它通过与光子排列组合共同构建了基本粒子、基本元素直至宇宙万物, 也包括我们自身。此外, 从以太的角度来解释万有引力、电磁力、强力和弱力的成因也是可行的, 似乎更易于我们理解。最具有悲剧性的结论是, 宇宙从虚空中被创造出来, 最终也将回归虚无。

[关键词] 以太; 负能量; 意识流; 空间

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15909

中图分类号: O4

文献标识码: A

Several Hypotheses on the Existence of the Ether

CHENG Jinjun^{1*}, CHENG Dian²

1. Anhui Provincial Development and Reform Commission, Hefei, Anhui, 230031, China

2. Xinda Securities Anhui Branch, Hefei, Anhui, 230051, China

Abstract: The "null result" of Michelson Morley's experiment was insufficient to deny the existence of ether, "the fifth element" conceived by Aristotle. Hubble's explanation of the Doppler effect of the systematic cosmic the red shift was incomplete and needed to be introduced into the ether. The physical significance of universal gravitation constant reveals the possibility of the existence of ether. Through thorough contemplation and logical reasoning, there are compelling reasons to believe that the ether is negative energy, a stream of consciousness, and space itself, it combines with photons to build fundamental particles, basic elements, and ultimately all cosmic entities, including ourselves. In addition, explaining the origins of gravitational force, electromagnetic force, strong force and weak force from the perspective of the ether, is feasible and seemingly more intuitive for our understanding. The most tragic conclusion is that the universe was created from nothingness and will eventually return to nothingness.

Keywords: ether; negative energy; stream of consciousness; space

引言

在古希腊哲学家亚里士多德看来, 构成世界的元素除了水、火、气、土之外, 还有一种高居于天空上层的“第五元素”以太(Ether), 它纯净透明、无比完美、永恒不变, 太阳、月球、行星和恒星等天体都是由以太组成的。在科学史上, 以太最初带有一层神秘色彩, 后来其内涵逐渐增加, 成为某些历史时期物理学家假想的一种物质观念。17 世纪的哲学家笛卡儿, 把以太引入科学, 并赋予以太力学方面的属性, 认为物体之间的所有作用力都是通过以太传播的。惠更斯对胡克的光波理论加以发展, 认为光波的媒介是以太。牛顿的万有引力定律似乎支持空间的超距作用, 但他本人却倾向于肯定以太的存在, 认为以太可以传递振动, 但不是光波^[1]。归纳起来, 物理学家们“以太”概念是: 遍布宇宙的一种背景介质, 具有传递光与力的属性。正是因为物理学家认为以太可以传递力, 那么地球在以太中的运动就会产生出“以太风”, 使得光波发生弯曲, 好像声波在气流中发生偏移一样。为了寻找以太, 按照这个思路, 1887 年, 迈克尔逊和莫雷设计了著名的实验,

但没有发现“以太风”的存在, 光速在任何方向上都没有差别, 颠覆了以太存在的所有学说。虽然直到 20 世纪初, 还有很多物理学家想拯救以太, 但狭义相对论确立以后, 人们认为法拉第、麦克斯韦和洛伦兹的电磁场论本身就是物质存在的一种形式, 场可以在真空中以波的形式传播, 完全不需借助以太。就这样, 场论代替了以太论, 以太只留下概念的躯壳以及不屈的灵魂在世间漫无目的、孤独地游荡。

以太真的不存在吗? 难道造物主会任凭世间万物在宇宙之中散落? 以太难道会存在吗? 它是世间万物的居所吗? 它是无边无际、永恒的存在吗? 它与世间万物如何关联? 如何既传递万有引力, 又不形成“以太风”, 干扰光的运动方向呢? 以太有如此多的疑问, 亟待我们尝试逐一辨明, 这的确是一件让人十分兴奋的事情。但拯救以太, 首先必须以科学的态度回答好迈克尔逊·莫雷实验。

1 迈克尔逊·莫雷实验不足以否认以太的存在

既然牛顿、麦克斯韦和洛伦兹等伟大的科学家都确信以太是存在的, 那么实验物理学家便不断地去尝试寻找以太。1728 年, 英国天文学家布莱德雷在分析了恒星光行

差的现象后认为,地球在以太中运行速度就是围绕太阳公转的速度,由于地球公转会产生“以太风”的影响,如果在地球上测量光速,在不同方向上测得的光速应是不同的。1887 年迈克尔逊和莫雷设计的实验,就是试图通过发现这种光速差来寻找以太存在的证据。

1.1 迈克尔逊·莫雷实验简介

迈克尔逊设计了干涉仪(见图 1),有几个基本构件:左边是一个光源,标为 S;光束到达一个中心点,有一面半镀银的镜子,一半光被垂直反射出去,另一半直穿过去;这样光就被分解成两束,分别沿各自的方向被导向两面镜子 M_1 和 M_2 ;两束光到达各自的镜子后,又经反射回到中心位置。由于臂长 L_1 与 L_2 是相等的,它们往返一次所需的时间也应是相等的。如果光束的速度为 c ,每束光单向运行的距离为 L ,那么往返一次所需的时间为 $2L/c$ 。由于 $L_1=L_2$,因此,当两束光返回干涉仪的中心位置时,一束光的波峰与另一束光的波峰能完全重叠在一起,波谷也完全重叠在一起,不会出现干涉现象。但此时,如果“以太风”迎面吹来(速度 v 是 30km/s ,等于地球公转速度),那么相互垂直的两束光在通过两个长臂时所走的距离就不一样了,所用时间也不一样,应该可以看到两束光交汇时产生的干涉条纹。然而迈克尔逊·莫雷实验没有发现两束光有任何干涉效应,“以太风”的速度为 0,地球与以太之间没有位移。

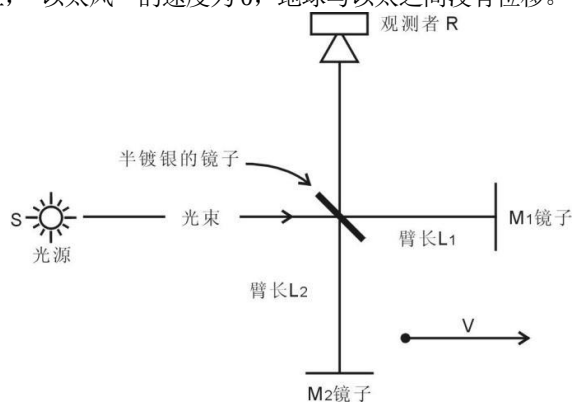


图 1 干涉仪原理图

迈克尔逊·莫雷实验的精度很高,方法也很精巧,且具有可重复性,是个出色的实验案例(实验的详细过程和实验数据可以查阅相关文献,这里就不占用篇幅了)。既然以太相对于太阳是静止的,那么相对于地球怎么可能也是静止的呢?为解决这个棘手的困难,爱因斯坦抛弃了以太,提出了著名的狭义相对论,他认为光的传播不需要以太这种介质,而且光速 c 在任何参照系中都是恒定不变^[2]。

1.2 对迈克尔逊·莫雷实验的解释

迈克尔逊·莫雷实验的思路是正确的,但得出的结论并不完备。

假设在没有以太的空间背景下,因为该实验的观测者处于地球惯性系中,垂直方向与水平方向距离相同,光速 c 不变,观测的结果必然是两束光同时到达,没有相位差

(好像在匀速运动的列车中观测一样)。但此时如果有一位处于太阳惯性系的观测者,会发现两束光并不是同时到达,会产生相位差,这就是狭义相对论所描述的“同时性的相对性”。

假设存在以太空间的背景下,因为该实验是在地球上观测的,那么位于地球惯性系中的观测者能否发现“以太风”?虽然该实验的思路和方法都是正确的,但该实验认可的前提条件是:以太作为空间介质,具有力学的物理属性,可以与光发生力学的碰撞作用。如果以太具有类似空气一样的物质属性,即由基本元素粒子构成,具有质量,那么“以太风”必然会与两束相互垂直的光束发生碰撞,其中:垂直于地球运动方向的光则必然发生偏向,光速保持不变,但来回光程变长;与地球运动方向平行的光速度不受影响,来回光程不变。因此从地球观测者看,两束光会发生相位差,不能同时到达。由于测得到“以太风”速度是 0,没有找到以太存在的证据。对这个实验结果的解释,一种是像爱因斯坦那样彻底抛弃以太,否认以太的存在;但还有一种可能的解释,即作为空间背景介质的以太具有不同于质量物质的属性,在特定条件下并不与运动的光发生力学作用,即相互作用力为 0。如果以太的属性真是如此,那么就不会妨碍其仍作为空间背景介质而存在(具体论述见后)。

这样,以太暂时从“濒死状态”被抢救回来了,但最终能否真正活过来,还有待于进一步的理论推理成功与否。

2 对哈勃红移的完备解释有必要引入以太

1929 年,美国天文学家哈勃通过分析河外星系波长的红色频移发现,这些星系存在系统性红移现象,而且红移量 $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$,其中 λ_0 与 λ 分别为红移前与红移后的波长,与星系到我们观测点的距离 d 成正比,即 $z = kd$ (k 是比例常数),这种星系的系统性红移现象被称作哈勃红移。至于星系红移产生的原因,哈勃认为是星系光波的多普勒效应产生的,由此推导出被测量星系相对于我们的视向退行速度 v 与红移量 z 的关系为: $v = cz$ (c 是光速),并进一步推导出著名的公式: $v = H_0 d$,其中 H_0 称为哈勃常数, v 是两星系间视向速度, d 是两星系之间的距离,这就是哈勃定律。哈勃进一步推测,类星体光谱红移不是自身运动产生的,而是由于空间处处均匀膨胀产生的,宇宙大爆炸理论也借此应运而生^[3]。

2.1 哈勃定律不完备

但近期有不少的天文观测表明,哈勃常数并不恒定,哈勃关系式也不能严格成立。在距离小于 50 亿光年范围内,哈勃常数基本符合大量河外星系的测量值;但对于更远距离的星系,测得的实际数值与哈勃常数有比较大的偏离,实际红移量大于多普勒红移值,即从这些遥远星系发出星光具有的部分能量莫名地消失了,如果用多普勒效应来解释哈勃红移现象,会导致光在运动过程中不遵守能量守恒定律。此外,当星光红移量 z 的值大于 1 时,还会引发星系视向退行速度 v 超过光速 c 的困境。因此,基于多

普勒效应的哈勃定律对哈勃红移的解释并不完备。

2.2 对哈勃红移的非多普勒效应解释

让我们回到事件的原点重新分析。哈勃最初观测的星系红移量与距离的关系是： $z=kd$ 。由于哈勃认为星系红移是由多普勒效应引起的，所以才有关系式 $v=c z$ ，进一步推导出了哈勃关系式 $v=H_0 d$ 。假如不考虑多普勒效应，退回到最初的观测结果，由于 $z=kd$ （公式 1）来源于原始观测结果，因此这个公式是成立的， k 是比例常数。

由于 $d=ct$ ， c 是光速， t 是星光从星系运动到我们观测点所经历的时间；将 $d=ct$ 和 $z=(\lambda-\lambda_0)/\lambda_0$ 代入公式 1 得出： $(\lambda-\lambda_0)/\lambda_0=kct$ （公式 2）；因为光子能量公式 $E=h\nu$ （ h 是普朗克常数， ν 是光子的频率），且 $c=\lambda\nu$ ；设 ν_0 与 ν 分别为星光红移前与红移后的频率， E_0 与 E 分别为星光红移前与红移后的能量，代入公式 2 得出： $(E_0-E)/E=kct$ 。设 $\Delta E=E_0-E$ ，得出 $\Delta E/E=kct$ （公式 3）。由于 kc 是比例常数，那么可以看出星光从星系运动到我们观测点时，其损失的能量 ΔE 与运动的时间 t 成正比关系。由于光速 c 恒定，离我们越远星系的光，需要更长的时间才能到达我们观测点。因此与附近星系相比，来自河外遥远星系发出的星光损失的能量 ΔE 大，我们观测到该星系的红移量也大。

哈勃观测到星光的红移量与距离的关系 $z=kd$ 是客观现象，如果这个现象不是多普勒效应引起的，那么就只能是星光在向我们运动过程中，它的能量随时间不断衰减所导致。我们知道，星光是由 1 个个光子组成的，根据普朗克的量子假设，空间运动光子能量的衰减是量子化的，即 1 份 1 份非连续地向外辐射能量。如果光子是在虚空中运动的，那么 1 个光子向外辐射的 1 份能量必然会生成多个光子，但这种现象与实际观测以及当前光学理论不符合；如果 1 个光子不向外辐射分出多个光子，那么这个光子的能量就不会衰减，我们就不可能观测到星系红移现象。因此推测，承载光子运动的空间不可能是真正的虚空，空间必然被某种神秘元素所充满。由于光子在空间运动中始终不连续地向外辐射能量，而这种能量又仿佛被空间吸收了，可以推测这种充满空间的神秘元素应具有负能量的特征，可以与光子运动过程中辐射出的正能量发生中和，这样既不会出现 1 个光子分离出多个光子现象，同时我们也可以观测到星光的红移。因此得出推论是：宇宙空间充满负能量是完全必要的，这种负能量应该是亚里士多德所预言的第五元素——以太。

3 万有引力常数 G 揭示了以太存在的可能性

3.1 牛顿的万有引力定律

牛顿利用微积分思想总结了开普勒三定律后，发现了万有引力定律，1687 年他在《自然哲学的数学原理》中提出万有引力大小只与物体的质量和距离有关，即 $F=GM_1M_2/R^2$ ， G 是万有引力常数， M_1 和 M_2 是两物体的质量， R 是两物质之间的距离，这就是著名的万有引力公式。1789 年，卡文迪许通过扭秤实验测出 G 的数值，万有引力公式才得以完善。但万有引力是如何产生的？万物

为什么会相互吸引？牛顿对此解释是：万有引力定律具有普适性，是质量物体的固有属性，并且当时认为万有引力是超距的，可以在瞬间传递到无限远的地方，不需要作用时间。

3.2 爱因斯坦引力场方程

1905 年，爱因斯坦在狭义相对论提出“真空中的光速是信息传递的极限速度”，但这与牛顿万有引力定律的超距观点相矛盾。为此，1915 年爱因斯坦在他的广义相对论中提出了引力场方程： $R_{UV}-0.5Rg_{UV}=8\pi GT_{UV}/c^4$ （ G 是万有引力常数），并对万有引力本质做出了解释，认为万有引力并不真实存在，引力只是一种假象，它的本质是质量物体对周围时空扭曲造成的。例如，将铁球放在弹床中间，再沿弹床边扔一个玻璃球，由于铁球的重量导致弹床凹陷，所以玻璃球会绕着铁球转几圈后下落到铁球处，这个现象本质上与行星围绕恒星运动是一样的。爱因斯坦的引力场方程由于揭示了时空中的物质分布与时空几何之间的关系（前者决定后者）而具有重大的意义。

爱因斯坦的广义相对论并没有推翻和取代牛顿的万有引力理论，而是以万有引力理论为基础推导出的，爱因斯坦的引力场方程中一直在使用着牛顿的引力常数 G 。我们知道，牛顿从未解释过引力常数 G 有什么意义，似乎 G 只是 1 个没有意义的常数而已；爱因斯坦引力场方程中的 G 来自于牛顿引力定律，但他也没有说明 G 的物理意义究竟是什么。爱因斯坦在总结万有引力成因时曾说过，物质告诉时空如何弯曲，时空告诉物质如何运动，但如果没有类似以太空间的背景介质存在，以人类的理解力，的确很难想象出虚空是如何弯曲的。因此，揭示万有引力本质的关键，是要寻找到万有引力常数 G 的物理意义。

3.3 引力常数物理意义分析

3.3.1 以太弹性收缩力

假设以太是作为空间背景介质的存在，用以承载质量物体的存在及运动，且具有弹性力。当以太空间中没有承载质量物体时，以太是均匀的，不产生力的作用；当以太空间中承载质量物体 A 时，会引发质量物体 A 周围的以太空间发生弹性形变，产生指向 A 重心点位置的弹性收缩力，与弹力蹦床平面中心放置铁球效果一样（见图 2）。

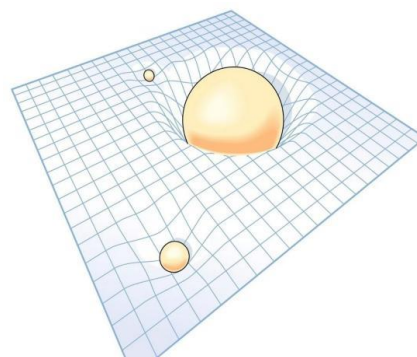


图 2 以太弹性收缩效果图

质量物体 A 引发以太空间发生弹性形变的过程, 呈现出三维空间特征, 即以 A 重心点所在的空间位置为核心, 向周围空间呈球体状均匀扩散展开, 并随着以太形变半径 R 不断延伸, 形变扩散至相应的球壳面积 $4\pi R^2$ 也不断增大。最为重要的是, 随着以太形变在空间持续扩散的同时, 从相应球壳面上的各个位置, 都产生了指向质量物体 A 重心点所处空间位置的力, 这个力就是 A 引发的以太弹性收缩力。与平面弹簧床原理一样, 质量物体 A 的质量越大, 引发的以太弹性收缩力就越大; 同时 A 引发的以太弹性收缩力从 A 重心点向外传导过程中是逐渐减弱的。

此时, 如果另一质量物体 B 也处在以太空间中, 必然会受到质量物体 A 引发的以太弹性收缩力影响, 即受到 A 的吸引力; 反过来, A 也会受到 B 产生的以太弹性收缩力影响, 即受到 B 的吸引力, 可以说处于以太空间中的两个质量物体 A 与 B 之间产生了相互吸引力, 这种吸引力的大小与 A 和 B 的质量成正比, 与 A 至 B 的空间距离成反比。由此推论, 这种由质量物体在以太空间引发的弹性收缩力应该就是万有引力, 万有引力常数 G 一定与以太的弹性收缩力有关。

3.3.2 万有引力常数 G 物理意义

我们知道, 牛顿万有引力公式: $F=GM_A M_B/R^2$, 万有引力常数 G 的物理单位是: $N \times m^2/kg^2$ 。因为 $1N=1kg \times m/s^2$, 因此 G 的单位可以变化为: $m^3/(kg \times s^2)$; $\rightarrow (m^2/s^2) \times (m/kg)$; $\rightarrow v^2 \times (m/kg)$; $\rightarrow (\text{速度}^2/m) \times (m^2/kg)$, 其中“速度²/m”是圆周运动向心加速度的单位。我们试用以太空间弹性收缩力来分析下引力常数 G 的物理意义。

举例: 假设质量 A 与质量 B 同处于以太空间中, A 的质量大于 B 的质量, A 与 B 之间的万有引力 F 吸引 B 围绕 A 作匀速圆周运动 (理想空间状态), v 是 B 沿切线方向的运动速度, A 至 B 的距离是 R (见图 3)。

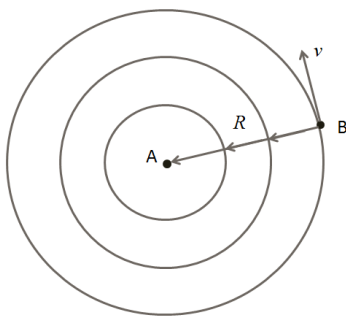


图 3 以太空间中 A 与 B 的万有引力示意图

从 A 的角度看, A 对 B 的万有引力 F 就是 A 在以太空间引发的对 B 的弹性收缩力, 也是向心力 F_1 , 即 $F=F_1=(v^2/R) \times M_B$, v^2/R 是 A 引发以太空间形变导致在距 A 重心点为 R 的空间位置 (即 B 所在的位置) 引发的线性向心加速度, M_B 是 B 的质量。由万有引力公式

$F=GM_A M_B/R^2$; 匀速圆周运动向心力公式 $F_1=(v^2/R) \times M_B$, 因为 $F=F_1$, 两边公式代入后得出, $G=(v^2/R) \times (R^2/M_A)$, 物理单位是: $(v^2/m) \times (m^2/kg)$, 与牛顿万有引力公式中的 G 的物理单位相同。

由公式 $G=(v^2/R) \times (R^2/M_A)$ 可以推导出以下结论:

① v^2/R 是质量物体 A 在以太空间引发的、在距离 A 重心点为 R 空间位置 (B 所在的位置) 产生的线性向心加速度, 方向由 B 指向 A 的重心点。

② M_A 是 A 的质量, $(v^2/R)/M_A$ 就是每单位质量物体在以太空间引发的、在距离 A 重心点为 R 的空间位置 (B 所在的位置) 产生的线性向心加速度, 方向由 B 指向 A 的重心点。

③ 由于每单位质量物体引发以太空间弹性形变的方式是, 以 A 的重心点为中心向周围呈球体状均匀扩散。因此, 在以 A 重心点为球体中心、以 R 为半径的球壳面 (球壳面积为 $4\pi R^2$) 所有位置上, 产生的线性向心加速度 $(v^2/R)/M_A$ 都是相同的, 所以整个球壳面向球体中心弹性收缩的加速度应是 $(v^2/R)(4\pi R^2/M_A)$ 。

④ 已知 $G=(v^2/R) \times (R^2/M_A)$ 是引力常数, 因 4π 也是常数, 所以, 以太空间形变引起的从相应球壳面指向球体中心点弹性收缩的加速度 $(v^2/R)(4\pi R^2/M_A)$ 也是常数, 用 aS (a 是加速度, S 表示球壳面积) 表示。

3.3.3 从以太空间收缩的角度的分析印证

① $aS \times M_A$ 即是表示质量为 M_A 的质量物体 A 引发的球壳面弹性收缩的加速度。

② $aS \times M_A/4\pi R^2$ 即是表示质量物体 A 在以太空间引发的、距 A 重心点为 R 的空间位置 (B 所在的位置) 线性向心加速度, 方向由 B 指向 A 的重心点。

③ $(aS \times M_A/4\pi R^2) \times M_B$ 即是表示质量物体 B 受到的 A 引发的向心力 F_1 。

④ 将 $aS=(v^2/R)(4\pi R^2/M_A)$ 和 $G=(v^2/R) \times (R^2/M_A)$ 代入 $F_1=aS \times M_A M_B/4\pi R^2$, 得出 $F_1=GM_A M_B/R^2$ 。因为质量物体 A 在以太空间对质量物体 B 引发的向心力就是万有引力, 所以 $F_1=F=GM_A M_B/R^2$ 。

3.4 引力常数 G 的结论

由上述推导可知, 如果以太是作为空间背景介质的存在, 并具有上述设定的物理属性, 那么万有引力常数 G 的物理意义是: 处于以太空间中的质量物体会导致以太空间产生弹性形变, 这种形变从质量物体重心点呈球体状向四周空间均匀扩散; 与此同时, 随着以太空间形变扩散形成的球体不断膨胀, 在相应的球壳面所有位置点上, 都受到来自质量物体重心点 (也是球体中心点) 的弹性收缩拉力, 使所有的球壳面都向质量物体重心点位置产生向心加速度, 球壳面弹性收缩的加速度为 $(v^2/R)(4\pi R^2/M_A)=4\pi G$ 。因此, 万有引力常数 G 的物理意义应该是以太空间弯曲的弹性恢复系数。就这样, 万有引力常数 G 使以太空间

表现出了力学的属性，具有效用，因此以太空间存在是完全可能的。

4 以太的宏观与微观物理属性猜想

虽然我们不能直接地感受到以太，但通过借鉴古希腊哲学家、近代物理学家对以太特征的构想，并依据对哈勃红移本质、万有引力常数物理意义分析等，可以大胆猜想一下神秘的“第五元素”以太的属性。

4.1 以太的宏观物理属性

以太作为宇宙宏观背景介质，应具有以下宏观物理属性：

①以太充满宇宙空间（称作以太空间），否则万物的存在和运动就没有载体，万有引力就是超距作用。

②以太是透明的，否则我们不可能看见光。

③以太空间是负能量，能够中和光子辐射出的正能量，否则宇宙空间必然因为充满了光子到处都是明亮的，没有黑暗。

④以太空间的密度（负能量/体积）总体分布是均匀的，但个别局部不均匀，否则宇宙不会表现为观测结果的各项同性，以及 3K 宇宙背景辐射均衡性。

⑤以太空间是流体状态，空间密度始终是从不均匀趋向于均匀分布的，即从高密度空间流向低密度空间位置，自动趋向于平衡均匀状态，否则以太空间不会具有弹性恢复力，即万有引力。

⑥以太空间是连续的整体，否则不可能将弹性恢复力即万有引力传导至整个空间。

4.2 以太的微观物理属性

推理以太的微观物理属性只能通过思维实验，并借助光子有关属性一并研究探索。本人在拙作文献^[4]中，对光子的属性与本质提出以下几点逻辑推论。

4.2.1 光子的属性

①光子是在空间中呈匀速螺旋直线运动的质点，因此，光子的运动质量在以太空间中表现为 1 个运动的质点。

②光子的能量是质点运动频率与普朗克常数的乘积。由于光子运动质量的大小是由其能量决定的，且光子能量 ≥ 0 ，因此，光子的运动质量 ≥ 0 。

③光子质点具有空间广延。已知以太空间具有广延，光子是在以太空间中运动的质点，如果光子质点没有广延，那么光子就不可能存在和运动于以太空间中，光子质点与以太空间之间不可能有任何联系，万有引力也就不会影响光子的运动。

④光子运动质量的大小由质点运动频率决定，因此其运动质量的大小必然与质点在以太空间的广延无关，即光子质点的质量大小可以变化，但质点的空间广延不变。光子质点是其质量或正能量的集中表现，光子质点空间广延的尺度应远远小于普朗克长度。

4.2.2 以太的微观属性

光子在以太空间中存在和运动，两者是相互联系的。

依据光子具有的本质属性，推测以太应具有以下微观属性：

①以太就是空间本身。如果虚空是存在的，以太只是作为介质充实到虚空中，那么光子与以太两者必然是相互否定的关系：在虚空中，有以太的位置就不存在光子（光子质点有空间广延），有光子的位置就不存在以太。我们知道，光子是代表质量的 1 个质点，光子如果在虚空中运动，运动质点必须不断地向运动前方推开以太，那么光子的运动始终会有阻力影响，必然持续地消耗光子能量，即光子应持续地向外辐射能量。但由普朗克量子理论可知，光子向外辐射能量是非连续的，是 1 份 1 份地呈量子态，因此，虚空假设与量子理论相矛盾，虚空不可能存在。因为没有虚空，所以以太就是空间本身，以太就是空间广延。如果以太消失了，相应的空间也就消失了。

②以太空间完全渗透光子质点。光子是在以太空间中运动的质点，光子质点是正能量（或运动质量）的集中表现，并具有空间广延；又知以太是负能量且就是空间本身，由于质点存在、运动于以太空间中，且两者不是相互否定、而是相互肯定的关系，那么质点的空间广延必然与以太空间完全重叠渗透。

③以太空间对光子质点运动不产生阻力。光子在以太空间中运动速度恒定，由于光子向外辐射能量是非连续的，说明光子能量不是持续消耗的，因此以太空间对光子质点运动是没有阻力的。

④稠密以太空间会对光子质点运动产生力的作用。以太空间产生弹性收缩力（即万有引力），实质上是质量物体影响了以太空间均匀分布，导致稠密以太空间相对稀薄以太空间产生流动势能（类似电压差），因此稠密以太空间会对光子质点运动产生力的作用。

⑤以太空间中和光子辐射出的正能量后密度会降低。星星星光辐射的正能量被以太空间吸收中和后发生湮灭，以太空间必然也会损失相应的负能量。因为没有证据表明以太空间是不断收缩的，因此以太空间密度必然会有所下降，相应的以太空间弹性收缩力会降低（相同质量物体 A 引起的相应球壳面上位置的向心加速度会减小），引力常数 G 会降低。由于星光能量的损失与时间成正比（见 2.2），因此以太空间密度逐年降低，万有引力常数 G 的大小与宇宙年龄成反比，这也符合狄拉克大数猜想。

4.2.3 对迈克尔逊·莫雷实验零结果的补充解释

1.2 中对迈克尔逊·莫雷实验零结果提出了一种可能的解释，即作为空间背景介质的以太具有不同于质量物质的属性，在特定条件下并不与运动的光发生力学作用，即相互作用力为 0。由于以太就是空间本身，与光子质点空间广延完全重合（见 4.2.2），因此以太空间对运动的光子没有阻力作用。如果将运动的光子看作是静止的，则“以太风”相对于光子的运动速度是光速 c，但并不会对光子产生力的作用。因此，对于远远小于光速、相当于地球公

转速度(30km/s)的“以太风”，更不会对光子产生力的作用，所以光子的运动方向不会改变，实验根本不可能测量到以太风的存在。

5 以太、光子对于构成宇宙意义的若干猜想

从推理得出以太的存在与物理属性，以及从关于光子本质的假说来看，以太与光子两者是对立统一的存在。如果进一步猜想以太与光子对于构成整个宇宙的意义，这肯定是一件令人十分兴奋的事情。

5.1 以太空间是绝对空间

5.1.1 绝对空间的定义

绝对空间的概念是牛顿提出的，即独立于任何事物而存在、永远是相同的和不动的空间。牛顿进一步定义了“绝对运动”和“绝对静止”的概念，并在 1689 年构思了著名的水桶实验，以证明绝对运动的存在。但爱因斯坦却认为空间是相对的，没有绝对的空间。那么绝对空间是否存在呢？事实上，这两位伟大的物理学家对绝对空间的理解并不矛盾：牛顿认为绝对空间最重要的属性是，可以确定质量物体是处于绝对静止或是绝对运动状态；爱因斯坦否定绝对空间是认为质量可以弯曲空间，由于质量是运动的，所以空间自身并不是静止的状态。可以看出，他们争执焦点并不是一个非此即彼、相互否定的问题。

综合牛顿与爱因斯坦的观点，绝对空间应是指在该空间的时空坐标系具有绝对性，相对于该坐标系为静止的物体，就是绝对静止；相对于该坐标系为运动的物体，就是绝对运动，但绝对空间自身是可以膨胀和发生弯曲形变的。

5.1.2 以太空间是绝对空间

由多普勒效应可知，地球不是绝对静止的，以地球为原点建立的空间坐标系必然不是绝对静止的，因此相对于地球空间坐标系而言，光速不是 c 。同样，太阳系也是运动的，以太阳为原点建立的空间坐标系也是运动的，相对于太阳空间坐标系，光速也不是 c 。由推论 4.2.2 可知，以太就是空间本身，不存在虚空，因此光在真空中速度 c 就是在以太空间运动速度。由此看出，光速是相对于以太空间坐标系而言的，由于光速 c 是恒定不变的，因此相对于恒定光速的以太空间坐标系必然是绝对静止的。由宇宙大爆炸理论可知，宇宙空间是由无比小的奇点通过大爆炸形成的，大爆炸后产生了空间、时间和光。由于大爆炸之前宇宙奇点必然是绝对静止的（因为不可能有空间），如果以宇宙奇点为原点建立空间坐标系会发现，大爆炸后产生的光在此空间坐标系中，直线方向运动距离 L 除以运动时间 T 恒为常数 c ，因此以宇宙奇点为原点建立的空间坐标系必然是绝对静止的，相对于光速恒定的以太空间就是绝对空间。

如果发现以太空间中某个基本粒子被光子碰撞后，光子不产生多普勒效应（即光子碰撞折返后频率和波长不改变），那么可以说该基本粒子在以太空间中是绝对静止的。

5.2 光子与以太旋涡形成基本粒子

所有基本粒子如电子、质子、中子等，均是由光子与以太融和而成的。

5.2.1 基本粒子的形成

根据光子假说，光子是在空间是匀速螺旋直线运动的质点；虽然以太空间总体上是均匀分布的，但也存在局部稠密以太空间。我们知道，光子在均匀以太空间中运动是没有阻力的，但是当光子运动到稠密以太空间时，光子直线运动会受到稠密以太的阻挡，使光子直线方向运动转化为圆周运动；同时光子捕捉一部分以太并使这部分以太自转形成球体，光子质点沿以太球体表面保持 S 型闭合运动，这样光子与以太融合在一起，基本粒子就这样形成了（见图 4）。

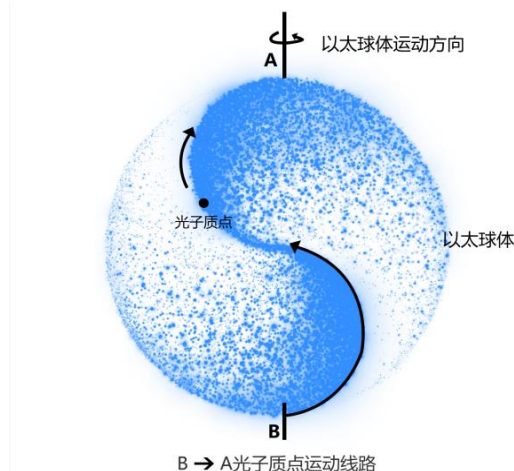


图 4 光子在稠密以太空间中形成基本粒子的示意图

图中是 1 个基本粒子， $B \rightarrow A$ 是光子质点沿以太球体表面运动的轨迹，是 1 条闭合的呈 S 型曲线。光子质点在以太球体表面沿曲线运动线速度是 C ；以太球体保持自转，球壳面上垂直于自转轴且距离球心为 r 的点，自转线速度也是 C 。

基本粒子的性质如下。1 个光子融合 1 个以太球体（球体半径为 r ）形成 1 个基本粒子，其中：光子质点在以太球体表面作 S 型闭合运动，是平面相互垂直的 2 个圆周运动的组合运动，合成运动的线速度 C ；光子质点沿 2 个圆周平面方向运动线速度均是 C 。基本粒子中的光子是正能量，以太球体是负能量。由于受到光子圆周运动的影响，以太球体像地球一样不停地自转；以太球壳面上垂直于自转轴且距离球心为 R 的点，其运动的线速度也是 C 。基本粒子中光子的正能量与以太球体的负能量始终保持相等；当以太球体中的光子正能量发生变化时，以太球体负能量也同时变化。基本粒子中光子质点运动频率越大，则基本粒子质量越大，以太球体的体积越小，球体负能量密度越高；反之，则基本粒子质量越小，以太球体的体积越大，球体负能量密度越低。

5.2.2 基本粒子的以太球体

以太旋涡通过持续自转形成以太球体,使基本粒子与以太空间产生了界限,基本粒子也形成了自我范畴。水中结冰的现象与此类似,冰与水有了界限,但冰与水在空间上是相互排斥的,而基本粒子的以太球体与以太空间是相互重合的。我们知道,以太空间是连续的整体,稠密以太空间是以负能量叠加形成的,因此,构成基本粒子的以太球体,在广延上与以太空间是完全重合的。基本粒子的以太球体,是光子捕捉稠密以太空间的以太形成的,以太球体与以太空间是完全重合的,因此以太球体自转不会带动相应以太空间自转。

5.2.3 基本粒子的碰撞

因为基本粒子中光子质点的空间广延远小于普朗克长度,因此1个光子与1个基本粒子碰撞,不可能是光子与基本粒子中光子质点发生碰撞,而是光子与基本粒子的以太球体发生碰撞。同样,电子、质子等基本粒子之间的相互碰撞,也都是它们以太球体之间的碰撞。基本粒子与光子、或基本粒子之间发生碰撞会产生能量交换。例如,光子与电子发生碰撞,碰撞后如果光子能量增加,电子能量减少,那么电子基本粒子中的光子质点频率降低,同时电子以太球体一部分负能量也相应释放到以太空间中,使电子以太球体负能量始终保持与电子质点正能量相等;如果碰撞后电子能量增加,那么电子基本粒子中的光子质点频率增高,同时电子以太球体从以太空间中捕捉一部分负能量,使电子以太球体负能量始终保持与质点正能量相等。

5.2.4 基本粒子的空间运动

由4.2.2可知,以太空间对光子质点运动不产生阻力;又知基本粒子的以太球体,在广延上与以太空间是完全重合的,以太球体的自转不会带动与之重叠的相应以太空间自转,由于基本粒子是由光子与以太球体构成的,因此以太空间对基本粒子的运动(小于光速)不产生阻力。

5.2.5 基本粒子有静止质量

由5.2.1可知,基本粒子的光子质点沿以太球体表面保持S型闭环旋转运动,基本粒子的以太球体也同时保持自转,但基本粒子的以太球体空间坐标可以相对以太空间坐标系保持静止。由5.1可知以太空间是绝对空间,如果基本粒子相对以太空间坐标系保持静止,那么该基本粒子就是绝对静止,但这并不妨碍其中的光子质点和以太球体的运动。如果绝对静止的基本粒子中的正能量为 E (负能量与正能量相等),那么它的静止质量为 $m=E/c^2$ 。因为光子永远在以太空间中运动,不能相对以太空间坐标系静止,所以光子没有静止质量,只有运动质量。

5.3 基本粒子电性的形成

基本粒子中的以太球体自转方向与光子质点S型闭环运动方向的不同组合,导致基本粒子带正电、带负电和不带电3种情况。

5.3.1 基本粒子带电

以太球体自转方向与光子质点S型闭环运动方向垂直(有右手定则和左手定则两种情况),光子质点运动切割以太球体自转运动,使基本粒子产生正电或负电(见图5)。1个基本粒子带1单位基本电荷,电量是 1.602189×10^{-19} 库伦。

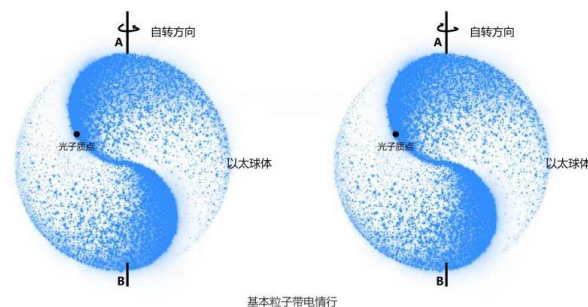


图5 光子与以太相互作用示意图

5.3.2 基本粒子不带电

以太球体自转方向与光子质点S型闭环运动方向平行(有方向相同或相反2种情况),光子质点运动不能切割以太球体自转运动,因而不产生电荷,这样的基本粒子不带电(见图6)。

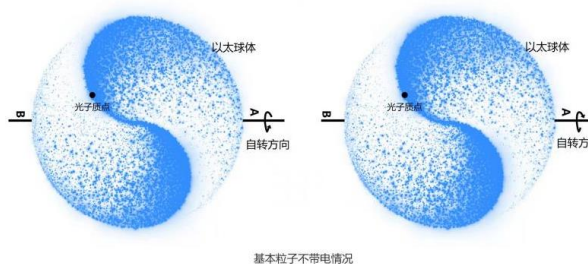


图6 光子-以太平行运动无电荷效应图

5.4 基本力的解释

万有引力、强力、弱力和电磁力是自然界4种基本力,目前物理界还没有真正从理论上统一。万有引力已经从以太弹性收缩力角度解释了,其余3种力继续尝试从以太的角度提出理解的思路,具体公式及测算还有待物理学家去论证。

5.4.1 强力

原子核的核子之间存在一种能克服库仑斥力的强相互作用力——强力。在原子核的尺度内,强力比库仑力大得多;强力是短程力,核子间的距离太大时,强力很快下降消失。从以太角度看,强力是由于质子与中子的以太球体部分重合产生的结合力。当质子、中子的以太球体相互接触时,2个以太球体先是产生对抗阻力;当它们被进一步挤压后,部分以太球体相互重合并产生了结合力,把质子、中子紧紧结合在一起。因为强力是通过质子、中子的以太球体相互接触产生的,所以强力是短程力。如果

超越以太球体直径距离，2 个以太球体不接触，强力就不会产生。

5.4.2 弱力

弱力也存在基本粒子之间，作用距离比强力更短，作用力强度也比强力小得多。弱力只存在于粒子发生衰变和捕获的一瞬间，衰变和捕获过程一结束，弱力马上就消失。例如，原子核中的中子在 β 衰变成质子的过程中，放出 1 个电子和 1 个中微子，这就是弱力的作用。同样，从以太角度看，中子衰变为质子过程，是中子抛出部分正、负能量（电子、中微子）的过程。由 2.2 可知，空间运动的光子对外辐射能量与以太空间负能量中和，但基本粒子情况与此不同。由于被旋转的以太球体包裹，中子的光子质点非连续地辐射出 2 个光子正能量时，分别与以太球体负能量结合，形成电子、中微子从中子抛出；同时中子的光子质点频率下降，光子质点 S 型闭环运动方向与以太球体自转方向由平行变为垂直，基本粒子产生正电，转化为质子。质子衰变成中子的过程，是质子捕获正、负能量（电子、中微子）的过程：质子捕获电子、中微子后，质子的正能量吸收电子、中微子的正能量形成 1 个光子质点，运动频率相应提高，质点 S 型闭环运动方向与以太球体自转方向由垂直变为平行，基本粒子不带电，转化为中子；同时电子、中微子以太球体融合到质子的以太球体中。

由 5.2.3 可知，基本粒子之间的作用力是通过以太球体传递的，因此在 β 衰变过程中，当基本粒子抛出、捕获电子、中微子时，基本粒子的以太球体抛出或合并负能量一瞬间必然产生力的作用，这个力就是弱力。

5.4.3 电磁力

电磁力起源于静电力。静电力是在真空中两个静止点电荷 Q_1 与 Q_2 之间的相互作用力，其大小与 Q_1 和 Q_2 的乘积成正比，与它们之间的距离 R 的平方成反比；同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。由 5.3.1 可知，光子质点 S 型闭环运动垂直切割自转的以太球体，使基本粒子产生正电或负电。由 5.2.2 可知，基本粒子以太球体自转不会推动与之重合的以太空间自转；但带电基本粒子的以太球体自转，会导致与之重合的以太空间产生振动，这种振动向周围以太空间传导，表现为类似“法拉弟力线”振动波（简称为“振动力线”）；带电基本粒子的“振动力线”由电荷中心向周围以太空间呈球体状均匀扩散；振动传导距离 R 离电荷中心越远，振动频率 F 越弱。与万有引力常数 G 相似，静电常数 K 是当振动传导距离 R 位置时，相应的球壳面积 $4\pi R^2$ 与振动频率 F 乘积。同种电荷在以太空间产生的“振动力线”方向相同，两列振动波相互叠加，导致两个同种电荷相互排斥；异种电荷则方向相反，两列振动波相互抵消，导致两个异种电荷相互吸引。不带电的基本粒子，其光子质点 S 型闭环运动与以太球体自转运动方向平行，因此屏蔽了以太球体自转对与之重合以太空间的扰动，因此不对周围以太空间产生“法拉弟力线”

振动波。异性电荷“振动力线”方向相反，两列振动波相互抵消，导致两个异种电荷相互吸引（见图 7）。

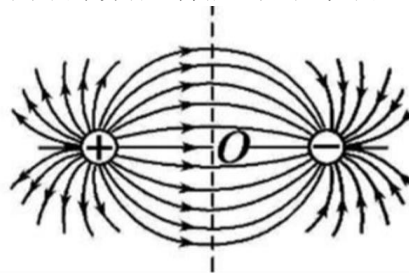


图 7 异种电荷振动抵消与吸引效应图

同性电荷“振动力线”方向相同，两列振动波相互叠加，导致两个同种电荷相互排斥（见图 8）。

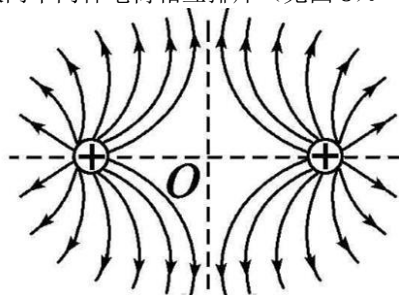


图 8 同种电荷振动叠加与排斥效应图

5.5 基本粒子组成原子

由 5.2.1 基本粒子的形成，以及 5.4 基本力的形成可知，质子、中子和电子都是自转的以太球体，它们的光子质点沿以太球体表面呈 S 型闭环运动；又由 5.2.2 可知，以太球体可以重合，因此推测原子应是这样构成：例如氢原子是由 1 个质子与 1 个电子的以太球体相互重合构成的；由于电子质量小，所以电子以太球体比质子以太球体的体积小、以太球体密度比质子以太球体密度低；电子的光子质点 S 型闭环运动半径大于质子，相当于围绕质子作 S 型闭环圆周运动。质子和电子的以太球体相互重合产生强力，稳定了氢原子结构，因此不必担心电子会掉落到质子上（见图 9）。由于电子以太球体密度小，电子与质子产生的结合力小于与质子与中子产生的结合力。

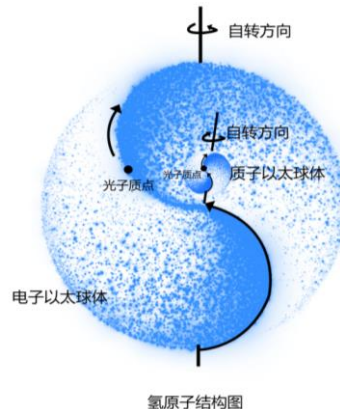
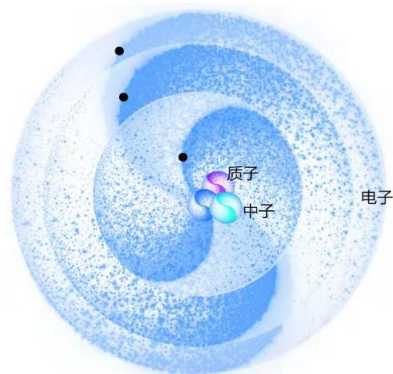


图 9 氢原子结构稳定性图

多个质子、中子及电子的原子也是按此原理构成（见图 10）。质子和中子的以太球体相互重合，形成原子核；多个电子的以太球体与原子核相互重合，形成原子。在原子中：质量（正能量）小的电子以太球体体积大，负能量密度小，光子质点在以太球体表面作 S 型闭合运动，其运行轨道距离原子核远；质量（正能量）大的电子以太球体体积小，负能量密度高，光子质点在以太球体表面作 S 型闭合运动，其运行轨道距离原子核近。



多个质子中子电子构成的原子

图 10 多个质子中子电子构成的原子示意图

6 以太是意识的猜想

我们能感觉到，意识与物质一样都是存在的，但究竟什么是意识，至今也没有确切的定义。意识如何与物质如何联系起来，也是哲学家头痛至今的大问题。莱布尼茨曾提出过著名的“单子论”，认为单子同时兼有物质与意识的属性^[5]。受此启发，结合古希腊哲学家对以太的想象大胆推论：如果将物质概念抽象为正能量或质量（包括静止质量和运动质量），那么物质就是指光子和基本粒子中的运动质点。与物质相对应的意识，因此意识就是负能量或非质量，所以意识必然是以太。

以太空间就是宇宙的意识，它渗透宇宙万物，因而可以感知、记忆物质，并影响物质的运动。基本粒子（空间运动的光子除外）是物质（正能量或质量）与意识（负能量或以太）的统一体，基本粒子的光子质点运动形成质量；以太球体自转形成基本粒子空间范畴和自我意识。空间运动的光子虽然没有与以太球体结合，但始终在以太空间中运动，也是与以太统一的。作为物质的代表---质量，与作为意识的代表“以太”，两者是相互依存、相互印证的关系，其中任何一方生与灭，必然导致另一方生与灭。

人类也同样是由基本粒子组合成的，我们的意识根本上来源于基本粒子自我意识的叠加组合，逐渐构成高级的意识、思维等。从这个意义上说，世界上一切事物都有意识，只是层级不同而已，最高级的意识应是宇宙意识即以太空间，它包含一切，感知一切，记忆一切。

7 宇宙生与灭的猜想

关于宇宙的形成，最著名的有大爆炸理论、稳恒态理

论等。根据上述有关以太的推论，猜想一下宇宙的产生与灭亡。

7.1 宇宙是被设计创造出的

7.1.1 生与灭的至高逻辑法则

如果光不被创造出来，光就不会有终结，这是公理，所以它的逆否命题也是公理。由 2.3 可知，宇宙空间中所有的光都会有终结，因此光是被创造的。如果所有的光终结了，那么与之相伴而生的以太空间也必然随之终结，界时宇宙将归于虚无。因为宇宙会终结，所以宇宙是被创造出的。无生即无灭，有灭即有生，这是超越宇宙的真理。

7.1.2 支配宇宙万物运动的法则不在宇宙之内

光的运动速度恒定为 c ，万有引力常数 G ，普朗克常数 h ，以太与光子如何构成基本粒子，意识如何生成等，这些都在宇宙中表现出来，但支配这些常数、定律的法则却不在宇宙之内。特别是绝对时间（不是任何计时装置表示的计量时间，计量时间是相对的），它赋予了宇宙万物（包括以太空间自身）存在和运动的持续性，宇宙没产生之前，它已经存在；宇宙灭亡之后它仍然存在。因此，从根本上支配宇宙存在、运行的法则只能是宇宙外部的原因造成的。

7.1.3 宇宙从虚无中被创造

因为宇宙是有开始、有终结的，那么宇宙之外必然是无始无终、永恒存在的虚无。因此宇宙只能从虚无中产生。

7.2 宇宙的开端是 1 个极其微小的种子

宇宙种子是由虚无中分出相同的正、负能量形成的。

7.2.1 无中生有

由 5.2.1 可知，基本粒子质量或正能量越大，其运动质点频率越大，以太球体体积越小，以太球体密度越大。因此推测宇宙从虚无中产生时只是 1 个极其微小的球体，球体直径远小于普朗克长度，称为原初以太球体。原初以太球体是极高密度的以太球体，沿球体表面有 1 个呈 S 型闭环运动的原初光子质点，光子质点运动的线速度远高于 c ，运动频率也非常之高。宇宙种子原初光子质点的正能量与原初以太球体的负能量始终保持相等。宇宙种子的质量不低于当前宇宙总质量；宇宙种子的负能量也不低于当前以太空间负能量总和。也可将宇宙种子看成宇宙大爆炸的奇点。

7.2.2 大爆炸

因为宇宙种子包含的正、负能量巨大，因此宇宙种子大爆炸应在远远小于普朗克时间的一瞬间完成，即刻形成宏观大尺度的宇宙。原初以太球体形成宇宙以太空间，以太空间负能量密度比原初以太球体极大幅度降低，总体上呈均衡分布，但局部有起伏；宇宙种子的原初光子质点分裂成无数个光子，在以太空间中呈匀速螺旋直线方式运动，沿直线方向速度是 c ，光子匀速螺旋直线运动的线速度是 c 。

7.2.3 稳恒态宇宙

根据 2.2 对哈勃红移的非多普勒效应解释，如果从所有星系发出的星光产生的系统性红移现象都不是由多普

勒效应引起的,而是因为空间运动的光子能量随时间衰减导致,那么可以推测宇宙并不一定是膨胀的,很有可能是静止的稳恒态,但这并不否认宇宙曾经可能有大爆炸过程,但之后就进入恒稳态。可以推测,宇宙种子大爆炸后即刻进入宏观大尺度稳恒态宇宙空间,空间广延上保持不变,不再膨胀也不再收缩,但以太空间密度随宇宙年龄逐渐降低。

大爆炸后,宇宙种子的原初光子分裂成无数光子在以太空间中运动,有些光子遇到稠密以太空间结合形成基本粒子,基本粒子再结合成原子、各种元素等,由低到高逐渐形成各类物质、动植物乃至具有高等意识的人类;而有些光子继续在空间孤独地运动、碰撞、再运动着。由2.2推测可知,光子不连续地向以太空间辐射能量,并中和一部分以太空间负能量,这样以太空间在广延不变的前提下,负能量密度随着时间逐渐降低,最终直到消亡。以太空间密度随着宇宙年龄逐渐变得稀薄,万有引力常数 G 也应随之减小。

7.3 宇宙的终结

由于光子能量随时间衰减是呈量子化的,即 1 份 1 份不连续地向空间辐射能量,因此空间运动的每 1 个光子能量最终会减少到 0,所有的光子最终都必然会消亡。如果将 2.2 中公式 3 变换下会得出以下结果: $\Delta E/t/E=kc$ (公式 4), ΔE 表示星光从星系运动到我们观测点的时间段 t

内损失的能量; $\Delta E/t$ 就是光在运动过程中平均的能量损失系数,用 p 表示,即 $p=\Delta E/t$; 将 p 代入公式 4 得出, $p/E=kc$ (公式 5); 再将公式 5 两边对换得出, $E/p=1/kc$ (公式 6),其物理意义似乎暗示空间运动所有光子,按 P 的平均能量消耗速度,距离其生命终结时间还有 $1/kc$,也就是说到那时所有的光都死亡了。当所有光子都灭亡了(包括基本粒子中的光子),那么以太空间也随之消失,那么我们的宇宙也就终结了。宇宙由生至灭,最终归于虚无。

【参考文献】

- [1] 艾萨克·牛顿. 自然哲学的数学原理[M]. 北京: 商务印书馆, 2006.
 - [2] 阿尔伯特·爱因斯坦. 狭义与广义相对论浅说[M]. 北京: 北京大学出版社, 2018.
 - [3] 斯蒂芬·霍金. 时间简史[M]. 台湾: 台北艺文印书馆, 1989.
 - [4] 程进军. 关于光子空间运动方式的假说[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)自然科学, 2017(6): 307-309.
 - [5] 莱布尼茨. 单子论[M]. 北京: 商务印书馆, 1975.
- 作者简介: *通讯作者: 程进军 (1967—), 男, 汉族, 安徽绩溪人, 总经济师, 安徽省发展改革委员会, 研究方向: 经济学, 物理学; 程典 (1993—), 男, 汉族, 安徽绩溪人, 硕士研究生, 中国科技大学 MBA, 研究方向: 经济学, 物理学。

大豆玉米带状复合种植模式下化肥农药减量增效与产量平衡研究

刘 明

重庆市涪陵区同乐镇产业发展服务中心, 重庆 408112

[摘要] 随着全球农业生产方式的转型及技术进步, 如何实现农业的可持续发展成为全球关注的焦点。在我国, 农业面临资源过度消耗、土壤退化等挑战, 尤其在化肥与农药大量使用的背景下, 生态平衡受到威胁。如何减少化肥与农药使用, 降低对环境的影响, 已成为农业研究的核心问题。大豆玉米带状复合种植模式作为一种创新方式, 通过优化作物布局与生长周期, 提高土地利用效率, 改善土壤质量, 减少病虫害的发生, 并有助于减少农药依赖。文章探讨该模式下化肥与农药减量增效的技术路径, 提出合理的施肥与农药管理策略, 分析这些技术在模式中的适用性, 并研究减量与产量平衡之间的关系, 为绿色可持续农业提供理论依据与实践指导。

[关键词] 大豆玉米带状复合种植; 化肥农药减量; 增效技术; 产量平衡; 绿色农业

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15910

中图分类号: S162.5

文献标识码: A

Research on the Reduction, Efficiency Increase, and Yield Balance of Chemical Fertilizer and Pesticide under the Belt shaped Compound Planting Mode of Soybean and Corn

LIU Ming

Chongqing Fuling Tongle Town Industrial Development Service Center, Chongqing, 408112, China

Abstract: With the transformation of global agricultural production methods and technological progress, how to achieve sustainable development of agriculture has become a global focus of attention. In China, agriculture is facing challenges such as excessive resource consumption and soil degradation, especially in the context of extensive use of fertilizers and pesticides, which threaten ecological balance. How to reduce the use of fertilizers and pesticides and minimize their impact on the environment has become a core issue in agricultural research. The soybean corn strip intercropping model, as an innovative approach, improves land use efficiency, soil quality, reduces the occurrence of pests and diseases, and helps to reduce pesticide dependence by optimizing crop layout and growth cycle. The article explores the technical path of reducing and increasing the efficiency of fertilizers and pesticides under this model, proposes reasonable fertilization and pesticide management strategies, analyzes the applicability of these technologies in the model, and studies the relationship between reduction and yield balance, providing theoretical basis and practical guidance for green and sustainable agriculture.

Keywords: soybean corn strip intercropping; reduction of chemical fertilizers and pesticides; efficiency enhancing technology; production balance; green agriculture

引言

随着农业生产的飞速发展, 化肥与农药的大量使用在全球范围内成为常态, 但这一生产模式也带来了诸如资源浪费、环境污染等问题。全球范围内, 农业可持续发展面临着越来越大的压力, 如何在保证农作物高产的同时减少化肥与农药的使用, 成为亟待解决的核心问题。大豆玉米带状复合种植模式作为一种创新的农业生产方式, 通过优化作物的种植布局与生长周期, 使资源得以最大化利用。该模式不仅能提高土地利用率, 还有效缓解了作物间的竞争关系, 有助于土壤质量的改善与病虫害的控制。

1 大豆玉米带状复合种植模式概述

1.1 大豆玉米复合种植模式的概念与特点

大豆玉米带状复合种植模式是一种创新的农业种植方式, 采用大豆与玉米通过带状间作或套作的形式进行联合种植。通过精确设计作物间的行距与布局, 该模式能够

充分发挥大豆与玉米各自的生长优势, 实现资源的最佳利用。在这种模式下, 大豆与玉米共享土地资源, 不仅提升了生产效率, 还有效减少了单一作物种植带来的生态风险。与传统的单作种植模式相比, 复合种植能够有效缓解病虫害的发生, 降低农药与化肥的使用强度, 从而减轻对环境的负担。大豆通过固氮作用为玉米提供了必要的氮源, 而玉米快速生长的特性又有助于改善大豆的生长条件。

1.2 带状复合种植模式的应用现状

近年来, 大豆玉米带状复合种植模式在我国多个农业地区推广应用, 尤其在重庆涪陵区取得了显著的经济和生态效益。根据 2024 年发布的技术方案, 该地区推广种植的玉米品种包括东单 1331、三峡玉 23、康农玉 808 等, 这些品种抗倒伏能力强、生育期适中。大豆品种如渝豆 11、南夏豆 25 等也表现出良好的耐荫蔽与抗倒伏性能, 适合复合种植模式。种植面积持续扩大, 截至 2023 年,

重庆市大豆玉米带状复合种植面积已达到数万亩，涪陵区规划进一步推广到 50 万亩。这种种植模式通过合理的行比配置（如 3：2 或 4：2），优化了土地资源利用，提高了大豆和玉米的产量与品质。涪陵区实践显示，在 3：2 行比配置下，玉米亩有效株数稳定在 3500 株以上，大豆有效株数则不低于 7000 株/亩，大豆玉米单位面积总产量提升了 15%~20%。通过优化种植方式和管理措施，土地肥力得以维持，病虫害发生率显著降低，例如草地贪夜蛾的发生率下降了 30% 以上。该模式在降低农业生产对环境压力的同时，也为提高农民收入提供了保障，实践效果显著。

1.3 大豆玉米复合种植对生态环境的影响

在大豆玉米带状复合种植模式下，化肥使用量相比传统种植模式显著减少。据数据显示，大豆亩施低氮高磷钾复合肥的纯氮用量不超过 3 公斤，而玉米的纯氮用量保持在 15 公斤以上，且采用侧深施肥技术，使肥料更接近作物根部，进一步提升养分利用效率通过优化种植布局有效降低了害虫的发生率。例如，草地贪夜蛾、斜纹夜蛾等害虫的密度控制得当，依托生物防治措施如苏云金杆菌、球孢白僵菌等，减少化学农药的使用。实施该模式后，频率减少了 20%~30%，水体富营养化风险亦随之下降。整体而言，大豆玉米带状复合种植通过合理调整作物间比例与施肥策略到了积极作用。

2 化肥与农药使用现状分析

2.1 化肥与农药的使用现状

在传统农业生产模式下，化肥与农药的使用量逐年攀升，这一趋势导致了农田生态环境的逐步恶化。根据涪陵区农业生产的实践，农民通常采用大剂量氮肥与化学农药的施用方式，以期通过提高短期产量实现经济效益。然而，过量的施肥与农药使用已经开始影响土壤肥力、地下水质量，并给农产品的安全性带来了隐患。例如，在玉米种植过程中，每亩施用的纯氮肥量通常不少于 15 公斤，而对于大豆，则采用低氮复合肥的施用方式，氮肥亩用量限制在 3 公斤以内。尽管这些措施在短期内能够带来产量的提升，但长期来看，这种做法不仅无法维持土地的持续生产能力，反而加剧了土地资源的浪费及环境污染。

2.2 化肥与农药的环境影响

化肥与农药的过度使用不仅对环境造成危害，也对人体健康产生了多方面的威胁。这些影响包括：①内分泌系统紊乱：某些农药，如滴滴涕（DDT）、敌敌畏和草甘膦等，被证实会干扰人体的内分泌系统。长期接触这些化学物质可能导致性激素水平失衡，影响生殖功能，增加不孕不育、流产或胎儿发育异常的风险。②神经系统损伤：有机磷类农药（如甲胺磷、乐果）已被研究证明会通过抑制乙酰胆碱酯酶活性，导致神经系统功能障碍。长期暴露可能引发神经退行性疾病，如帕金森病或认知功能下降。③免疫功能降低：农药残留物通过食物或水源进入人体后，

可能对免疫系统造成抑制作用，使个体更易感染疾病。此外，免疫系统的过度反应可能引发自身免疫性疾病，如类风湿性关节炎。④肝肾功能损害：化肥中硝酸盐含量过高或农药残留摄入过多，会对肝脏与肾脏产生毒性作用，导致肝功能受损、肾小管病变等疾病，增加患慢性肝病及肾衰竭的风险。⑤癌症风险增加：长期暴露于某些农药成分，如百草枯、草甘膦、苯氧乙酸类除草剂等，会增加罹患癌症的风险。研究表明，这些化学物质可能与白血病、非霍奇金淋巴瘤及肝癌等多种恶性肿瘤相关。⑥食物安全隐患：农药残留通过污染食物进入人体，可能引发急性或慢性中毒症状，包括恶心、呕吐、腹泻，甚至导致中枢神经系统的损伤。

2.3 减量施肥与农药使用的研究现状

针对化肥与农药过量使用所带来的环境问题，农业研究领域已展开了广泛探索。以化肥为例，通过精准施肥技术的实施，可以显著降低施肥强度，提高施肥效率，并优化土壤养分供给与作物生长之间的协调性。在涪陵区推广的大豆玉米带状复合种植中，合理的施肥量与方式减少了氮肥纯用量，其中大豆每亩低氮复合肥用量控制在 3 公斤以内，玉米高氮复合肥用量不低于 15 公斤。农药方面，采用理化诱控结合生物农药的方式，大豆锈病、草地贪夜蛾等害虫发生率显著降低，通过生物防治措施，化学农药使用量减少了约 30%。精准施肥与绿色防控的综合应用，有效缓解了农业生产对环境的负面影响，促进了资源的高效利用与农业可持续发展。

3 化肥农药减量增效的技术路径

3.1 减量施肥技术

减量施肥技术中，精准施肥方法尤为关键。这项技术通过对土壤养分状况的动态监测，结合作物生长周期的需求分析，有效减少了肥料过量施用带来的环境污染。比如，大豆玉米带状复合种植模式采用侧深施肥技术，将肥料施于距播种行 15cm、深度 10cm 的位置，以减少肥料挥发和流失的风险。这一技术显著提升了肥料利用率。带状套作模式下，每亩玉米底肥施用 40 公斤 20-15-10 复合肥，大喇叭口期再追施 40 公斤 20-10-15 复合肥，而大豆底肥的施用则保持低氮配方，每亩 8~10 公斤 14-16-15 复合肥。对于贫瘠地块，还可在初花期适量追施 3~5 公斤尿素，以补充土壤养分。与此同时，控释肥料技术通过调控养分释放速率，进一步减少了施肥频率和用量。水肥一体化管理技术则通过精准灌溉与施肥相结合，不仅提高了肥料的吸收效率，还降低了因水分流失导致的肥效降低问题。此外，在机械化作业区域，智能化农机的引入提高了施肥的精准度，为大规模推广减量施肥提供了技术保障。

3.2 减少农药使用的有效措施

当前，生物防治技术已逐渐取代传统化学防治手段，成为降低农药使用的重要途径。例如，利用苏云金杆菌、

白僵菌等生物农药，不仅能够有效控制害虫，还能减少化学农药对环境的污染。同时，农田的合理轮作与间作模式，结合使用抗病虫害的品种，也是减少农药使用的重要措施。这些方式通过提高作物的抗性，从源头减少了对农药的需求。此外，作物的多样化配置提升了田间的生物多样性，进一步降低了病虫害的发生频率，从而为农药减量创造了条件。

3.3 绿色农业技术与增效路径

绿色农业技术在当今农业生产中的应用，不仅有助于减少化学肥料与农药的使用，还能推动资源的循环利用与生态环境的恢复。绿色农业的核心在于通过应用绿色防控技术、推动智能农业发展以及加强生物多样性的保护。通过推广使用生物防治技术，农业生产能够在无需大量化学农药的情况下保持良好的防治效果，这不仅能有效减少化学物质对生态环境的负担，也能提高作物的品质，改善土壤和水体的环境。智能农业技术的引入，通过精准施肥、灌溉等管理手段，能够实现农业生产环节的高效控制，从而进一步减少对环境的污染。

3.4 技术对大豆玉米复合种植模式的适用性分析

在大豆玉米带状复合种植模式下，减量施肥与农药减量的技术路径展现了较强的适用性。通过精准施肥技术，这一模式能够为玉米和大豆提供充足的养分，同时避免了过量施肥所带来的资源浪费与环境污染。在这一模式下，作物的搭配提升了田间的生物多样性，从而有效降低了病虫害的发生频率。通过增加作物间的生物相互作用，减少了外部农药的使用，营造了更为自然的生态环境。此外，复合种植模式本身所带来的作物间相互支持效应，也为减少化学农药的使用创造了条件。

4 大豆玉米带状复合种植模式下的产量平衡分析

4.1 产量平衡的基本理论

产量平衡的核心理论，强调在确保作物高产的前提下，最大化减少资源的浪费，特别是在化肥与农药使用方面。在大豆玉米带状复合种植模式中，产量平衡的实现依赖于科学的作物行距设计、施肥时机选择以及合理的农药使用策略。通过优化这些因素，可以在保持高产的同时有效减少对环境的压力。科学的产量平衡策略不仅能满足作物对养分的需求，还能通过合理配置资源，最大化减少化肥与农药的使用。

4.2 化肥与农药减量对产量的影响分析

化肥与农药减量对产量的影响往往是一个多方面的平衡过程。研究表明，适度减少化肥与农药的使用，往往不会显著影响作物的产量，反而通过改善土壤质量与提高作物的抗性，促进了作物的健康生长，从而提升了农业生产的综合能力。在实践中，通过对施肥与农药管理方案的优化，不仅实现了较高的产量，同时也取得了显著的经济效益与生态效益。通过减少肥料与农药的使用，不仅提升

了作物的生长质量。

4.3 不同施肥与农药管理方案对产量的影响

不同施肥与农药管理方案对作物产量有着直接的影响。采用精准施肥技术和合理的农药管理方案，能够确保作物在各个生长阶段得到所需的养分与防治效果，同时避免过度施肥与农药使用所带来的不良影响。根据实践，采用 3:2 的带状套作行比配置，结合适量的施肥与农药管理策略，显著提高了大豆与玉米的产量。

4.4 产量优化与平衡策略

产量优化与平衡策略的目标是在实施减量施肥与农药使用的同时，通过精细化管理实现高产目标。这一策略的实施，不仅通过优化作物行距配置、施肥时机与农药使用的精准化管理，提高了作物的综合生产能力，还能减少化肥与农药的使用，从而减轻环境负担。通过这一优化策略，农业生产的效率得到了显著提升，环境污染得到了有效控制，提供了实践依据，为绿色农业的发展提供了可行的技术路径。

5 大豆玉米带状复合种植模式下的化肥农药减量效果

研究发现，大豆玉米带状复合种植模式在减少化肥与农药使用的同时，能够有效提高生态效益、改善土壤与水质，并保持稳定的作物产量。减少化肥施用后，土壤质量得到改善。化肥过度使用带来的氮磷积累得到了有效抑制，土壤的酸碱平衡恢复，促进了土壤良性循环。长期过量施肥会影响土壤微生物活性，但减少施肥量后，土壤生态系统得以恢复，肥力得到了维持。减少化肥流失的同时，水体污染也得到了控制。在涪陵区的实施中，减少氮肥用量有效降低了地下水和地表水中的氮磷污染，水质得到了明显改善。精准施肥技术帮助精准控制肥料施用量，减少了浪费，并确保了作物所需的养分供应。在减少农药使用方面，生物农药的应用成为关键。使用苏云金杆菌、白僵菌等生物农药，能够有效替代化学农药，减少环境污染的同时提高防治效果。绿色防控措施的采用也为减少农药使用量提供了支持。总之，在大豆玉米带状复合种植模式下，化肥与农药减量施用不仅提高了农业生态效益，还保证了产量的稳定。这一模式具备较强的推广价值，为农业的可持续发展提供了新的实践方向。

6 产量与化肥农药使用的平衡问题

为实现产量与化肥、农药使用的平衡，需采取综合管理方案。科学合理的施肥与农药管理能够在提高产量的同时，减少对环境的负面影响，确保经济与生态效益的双赢。研究表明，精准施肥与综合防治措施能有效满足作物需求，并避免资源浪费。精准施肥技术能够根据土壤养分状况与作物需求，合理控制施肥量与施肥时机，避免过量施肥。涪陵区实践证明，采用精准施肥技术后，不仅减少了肥料浪费，还提高了作物产量，促进了土壤健康。在农药管理

方面,减量施用生物防治与物理防治措施能够有效降低化学农药的依赖。生物防治方法不仅减少了农药对环境的影响,还提高了作物的抗病虫害能力。合理的作物轮作、间作模式进一步降低了农药需求。综合防治与精准管理,农业生产能够提高产量,减少化肥与农药的使用,同时实现环境友好型发展。涪陵区的案例表明,结合精准施肥与智能农业技术,能够优化农业管理,减少资源浪费,推动生态农业的可持续发展。

[参考文献]

[1]刘春红,靳前龙,刘庆生,等. 农业绿色发展背景下化肥农药减施分析及对策建议[J]. 农业科技通

讯,2023(6):9-13.

[2]孟丽娟. 玉米化肥农药减施增效关键技术应用的实践分析[J]. 种子世界,2024(10):147-149.

[3]廖茂克. 大豆玉米带状复合种植的效益评估试验与推广策略[J]. 数字农业与智能农机,2024(3):101-103.

[4]何海涛,孙睿,姜文超,等. 玉米种植密度对大豆玉米带状复合种植体系干物质养分积累与转运的影响[J]. 核农学报,2024,38(7):1365-1374.

作者简介:刘明(1978.10—),毕业院校:中央广播电视大学,所学专业:法学,当前就职单位:重庆市涪陵区同乐镇产业发展服务中心,职称级别:农艺师(专技8级)。

园艺植物病虫害防治技术的综合管理方法

朱云佳

乌兰察布市农林科学研究所, 内蒙古 乌兰察布 012000

[摘要]文中探讨了园艺植物病虫害防治技术的综合管理方法。通过分析现代园艺生产中的病虫害防治现状, 提出了整合生物防治、化学防治、物理防治及农业操作的综合防治策略, 以减少病虫害对作物的危害并提高作物产量与质量。结合案例分析, 阐明了不同防治方法的应用效果和适用范围, 强调综合管理在提高防治效率、降低环境污染及推动可持续农业发展中的重要作用。通过对防治措施的优化与结合, 达到病虫害防控的最佳效果。

[关键词]园艺植物; 病虫害; 综合管理; 防治技术; 农业可持续发展

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15904

中图分类号: S436.8

文献标识码: A

Comprehensive Management Method for Pest and Disease Control Technology of Horticultural Plants

ZHU Yunjia

Ulanqab Agricultural and Forestry Science Research Institute, Ulanqab, Inner Mongolia, 012000, China

Abstract: This article explores the comprehensive management methods of pest and disease control techniques for horticultural plants. By analyzing the current situation of pest and disease control in modern horticultural production, a comprehensive control strategy integrating biological control, chemical control, physical control, and agricultural operations is proposed to reduce the harm of pests and diseases to crops and improve crop yield and quality. By combining case analysis, the application effects and scope of different prevention and control methods were elucidated, emphasizing the important role of comprehensive management in improving prevention and control efficiency, reducing environmental pollution, and promoting sustainable agricultural development. By optimizing and combining prevention and control measures, the best effect of pest and disease prevention and control can be achieved.

Keywords: horticultural plants; pest and disease; integrated management; prevention and control technology; agricultural sustainable development

引言

随着全球农业的现代化, 园艺植物病虫害的防治成为影响作物生产与质量的关键因素。传统的病虫害防治方法, 如单一使用化学药剂, 虽能在短期内控制害虫和病害的传播, 但其长期应用可能导致害虫抗药性增加、环境污染以及对生态系统的负面影响。因此, 综合管理方法逐渐成为提升防治效果、降低环境负担的重要选择。本文旨在探讨园艺植物病虫害防治技术中的综合管理策略, 通过对现有防治手段的结合和创新, 提出一系列具有实际意义的综合防治技术, 推动园艺业的可持续发展。

1 园艺植物病虫害的主要类型与特点

1.1 常见病虫害分类

园艺植物的病虫害种类繁多, 主要包括真菌病害、细菌病害、昆虫害虫以及害鸟、害鼠等。

真菌病害: 真菌是园艺植物中最常见的病原之一, 常见的如白粉病、霜霉病、叶斑病等。这些病害通常通过空气传播的孢子感染植物, 导致叶片、果实或茎部腐烂、变色, 严重时会影响作物的生长与产量。

细菌病害: 细菌病害虽然发生率相对较低, 但一旦爆发, 传播迅速, 且往往难以控制。例如, 番茄黄化病、柑

橘黄龙病等, 都由细菌引起, 具有显著的病理特征, 如植物叶片黄化、畸形、果实变小等。

昆虫害虫: 昆虫是园艺植物病虫害中常见的害虫种类, 种类繁多, 如蚜虫、白粉虱、红蜘蛛等。昆虫的危害方式主要是通过吸食植物汁液或传播病原, 造成植物叶片发黄、萎蔫甚至死亡。

害鸟害鼠: 一些园艺作物易受到鸟类和鼠类的侵扰, 它们啄食或破坏果实、根茎, 导致作物产量损失, 尤其是在果树栽培中较为常见。

1.2 病虫害的发生规律

园艺植物病虫害的发生有其规律性, 主要受季节、气候和环境等因素的影响。

季节性特征: 许多病虫害具有明显的季节性。春夏季节气温和湿度较高, 适宜病虫害的繁殖和传播。例如, 霜霉病、白粉病在湿润气候中易爆发, 而温暖干燥的气候则有利于某些害虫的繁殖, 如红蜘蛛、蚜虫等。秋冬季节, 气温降低时, 病虫害的活动性减弱, 但此时一些害虫如蛴螬则开始蛰伏^[1]。

环境因素: 除了温度和湿度, 土壤条件、光照强度、空气流通等也会影响病虫害的发生。例如, 阴湿的环境容

易诱发真菌性病害,而密集种植则有可能导致害虫的快速传播。此外,气候变化(如极端天气)对病虫害的发生也产生显著影响,如长时间的干旱会导致某些害虫的迁徙,而暴雨则会加速病菌的扩散。

生物学特性对防治的影响:不同病虫害的生物学特性决定了防治策略的选择与效果。以害虫为例,昆虫的生命周期、繁殖速度、迁徙规律等都对防治效果产生影响。例如,蚜虫具有极强的繁殖能力,并且能够迅速扩散,若没有及时控制,会迅速形成群体,造成严重危害。而某些病原如细菌或病毒则可能通过自然传播途径广泛传播,防治难度较大。此外,害虫的抗药性也是防治中的一大难题,如部分昆虫通过基因变异形成抗药性,导致化学防治效果大打折扣。理解这些生物学特性,有助于制定更加有效的防治方案。

病虫害的发生与其生物学特性密切相关,这些特性在防治策略的制定过程中起到了决定性作用。合理利用这一点,结合综合管理措施,能够更有效地控制病虫害,减少对作物的损害。

2 园艺植物病虫害的传统防治方法

2.1 化学防治

化学防治是目前最广泛应用的病虫害控制方法之一,主要通过使用化学农药来消灭害虫或抑制病原的生长。常见的化学防治方式包括喷洒杀虫剂、杀菌剂等,以快速有效地控制病虫害。化学防治的优点在于其效果迅速、操作简便,特别适用于大面积农田或温室栽培中。然而,长期单一使用化学药剂可能导致害虫产生抗药性,减少药效,并且化学药剂对环境及非靶标生物(如益虫和土壤微生物)可能产生负面影响。因此,化学防治应尽量与其他方法结合使用,以减少其对生态系统的损害^[2]。

2.2 物理防治

物理防治是一种通过改变物理环境来干扰病虫害生长与繁殖的方法。常见的物理防治手段包括使用温室的控制、遮阳网、黏虫板、灭虫灯等。

温室环境控制:通过控制温湿度、气流等条件,创造不利于病虫害生长的环境。例如,高温可抑制一些昆虫的活动,而湿度过高则可能加重霜霉病的蔓延。

物理屏障:如设置遮阳网、网罩等物理屏障,防止害虫侵入。此类方法尤其适用于温室种植或果园等小范围区域。

黏虫板和诱捕器:使用黏虫板吸引并捕捉害虫,或设置灯光诱捕害虫。这些方法不仅可以有效减少害虫的数量,还能避免化学农药的使用,减少环境污染。

物理防治虽然环保、无毒,但在大规模应用时可能存在一定的局限性,如成本较高、效果受环境限制等。因此,物理防治通常作为辅助手段,配合其他方法使用效果最佳。

2.3 农业防治

农业防治通过改变作物栽培方式、管理手段等措施来预防或减少病虫害的发生,主要包括作物轮作、间作、密

植、合理施肥和灌溉等。

作物轮作与间作:通过不同作物间的轮换或间作,打破病虫害的生物链,从而减少病虫害的积累和传播。例如,轮作豆类与根菜类作物,可以有效减少根腐病的发生。

合理种植密度与排水:适当控制种植密度,增加植物间的通风和光照,有助于降低病害的发生率。同时,良好的排水系统可以避免土壤过湿,减少真菌性病害的发生。

加强田间管理:加强对病虫害的监测和防治,及时清除病残体,减少病虫害的滋生环境。合理施肥和灌溉可以增强植物的抗病虫能力,减少生长不良和病虫害的侵害。

农业防治具有较好的生态效益和可持续性,能够从根本上减少病虫害的发生,但其效果通常较慢,需要长期的管理和经验积累。因此,农业防治方法往往与化学、物理防治方法结合使用,以期达到最佳的防治效果。

3 现代病虫害防治中的生物学方法

3.1 生物防治的基本原理

生物防治是一种利用自然界中的天敌、寄生虫、微生物等生物进行病虫害控制的技术。其基本原理是通过引入或促进天敌生物的繁殖,抑制害虫的数量,从而降低病虫害的发生和蔓延。这一方法的核心在于利用生物之间的相互关系,如捕食、寄生、竞争等自然过程来维持生态平衡^[3]。

天敌利用:天敌生物包括捕食性昆虫、寄生性昆虫以及某些鸟类和哺乳动物等。通过释放或保护这些天敌生物,能够有效地控制害虫的种群。例如,瓢虫能够捕食蚜虫,寄生蜂则能寄生在害虫体内,控制害虫种群的繁殖。

微生物防治:利用病原微生物,如细菌、真菌、病毒等,进行病虫害的控制。某些微生物可以自然地感染害虫并导致其死亡。例如,苏云金芽孢杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)能够专门攻击某些害虫的幼虫,且对其他物种无害。此类微生物防治具有较高的特异性,不会对环境造成污染。

化学信息素的利用:某些害虫通过分泌信息素进行交流,这些信息素可以用于诱捕或干扰害虫的行为。通过合成害虫的性诱剂或报警信息素,可以有效地干扰害虫的繁殖或觅食行为,降低其危害。

3.2 生物防治技术的优势与挑战

生物防治作为一种绿色环保的防治手段,具有许多独特的优势,但在应用过程中也面临一些挑战。

优势:环保性强:生物防治方法通过自然天敌来控制害虫,相较于化学农药,几乎没有环境污染。由于其特定的防治对象,生物防治对其他非靶标生物的影响较小,能够维护生态平衡。

可持续性:生物防治技术不仅能够长期有效地控制病虫害,而且随着天敌数量的自然繁殖和扩展,防治效果会逐步增强。与化学农药不同,生物防治方法可以减少农药依赖,推动农业的可持续发展。

减少抗药性问题:生物防治能够有效降低害虫对化学药剂的抗药性问题。通过引入天敌或微生物,害虫很难通过基因变异形成抗药性,因此可以有效避免抗药性带来的长期防治失败。

挑战:应用范围有限:并非所有害虫和病原都能找到合适的天敌或微生物进行防治。部分害虫的繁殖能力强、迁徙范围广,生物防治的效果可能受到限制。此外,一些天敌或微生物在特定环境下的生存能力较差,可能导致防治效果不稳定。

引入天敌的适应性问题:引入的天敌必须能够适应当地的气候、生态环境和作物种类,否则可能导致防治效果差,甚至造成生态失衡。例如,引入外来物种时,如果天敌无法找到足够的食物源或生存空间,可能会造成它们的快速灭绝。

高成本与技术难度:虽然生物防治的理念非常具有吸引力,但其实施需要较高的技术要求。天敌的培养、释放以及防治效果的评估都需要一定的成本和时间投入。尤其在大规模应用中,可能面临一定的资金和技术难题。

总体而言,生物防治技术提供了一个更为环保、可持续的病虫害管理方法,但其实际应用仍需克服许多挑战,并结合其他防治方法共同使用,以确保最佳效果。

4 园艺植物病虫害防治的综合管理策略

4.1 多元防治技术的整合应用

多元防治技术是指将多种防治方法有机结合,发挥各自优势,形成综合防治体系。在园艺植物病虫害防治中,单一的防治方法往往难以解决所有问题,因此需要整合化学防治、生物防治、物理防治等手段。通过科学调配不同防治方法的使用时机与方式,可以大幅提高防治效果,并有效避免单一防治方法带来的副作用。例如,可以在病虫害早期阶段使用物理防治手段,如黏虫板或温湿度调控,随后结合生物防治通过天敌进行抑制,最后在必要时使用化学药剂进行补充性防治^[4]。

生物防治与化学防治的结合:生物防治与化学防治结合是综合防治策略中的一个关键环节。虽然生物防治具有环保和可持续的优势,但其防治效果常常较为缓慢,且某些害虫和病原无法通过生物防治有效控制。此时,适当的化学防治可以弥补生物防治的不足。通过选择低毒、低残留的化学农药,并严格控制喷药时间和频率,减少对环境的负面影响,实现两者的互补。此外,合理地轮换使用不同类型的药剂有助于避免害虫抗药性的产生。

物理防治与农业防治的协同:物理防治与农业防治的协同应用是提高病虫害防治效率的有效方式。农业防治通过优化作物栽培管理,减少病虫害的滋生环境,而物理防治则通过设立物理屏障、诱捕设备等手段,有效减少害虫入侵。两者结合可以提高作物的生长环境,使其更加适宜

病虫害的防控。例如,在实施轮作、间作和合理密植的基础上,使用遮阳网、昆虫网等物理防治设施,可以在一定程度上防止害虫的侵害,从而减少病虫害的发生。

4.2 综合管理模式的实施路径

综合管理模式的实施路径需要通过系统化规划和逐步推进来完成。首先,针对不同作物的病虫害特征,制定相应的防治方案,并合理安排防治措施的使用时机。其次,要加强农业生产中病虫害的监测和数据采集,及时发现病虫害的发生趋势。最后,要根据气候变化、作物生长周期等因素,灵活调整防治措施,确保防治措施的及时性和针对性。

防治效果评估与调整:防治效果评估是确保综合管理策略有效性的关键。通过定期检查和监测作物健康状况,评估各项防治手段的效果,及时发现防治过程中存在的问题。在评估结果的基础上,适时调整防治方案,例如在某一阶段发现化学防治效果减弱,可以增加生物防治的比例,或调整药剂的种类与用量。

病虫害监测与预警系统:病虫害监测与预警系统的建立,是实现病虫害综合管理的前提。通过建立实时监测网络,收集气候变化、害虫种群动态等信息,能够提前预测病虫害的爆发趋势。预警系统可以及时向农民或管理者发出预警信号,提示其采取相应的防治措施,从而减少病虫害的损失,并提高防治效率。通过大数据分析与模型预测,预警系统还能防治决策提供科学依据,确保防治措施的精准性。

5 结语

园艺植物病虫害的防治面临越来越复杂的挑战,因此,采用综合管理方法成为提高防治效率的有效途径。通过合理结合生物防治、化学防治、物理防治以及农业防治措施,不仅能有效减少病虫害对作物的危害,还能降低环境污染,实现农业生产的可持续发展。未来,随着科技的进步,病虫害防治技术的不断创新,将为园艺业带来更多的机会和挑战。综合管理方法应在实际生产中不断优化,以适应不断变化的病虫害防治需求。

[参考文献]

- [1] 林洪波. 蔬菜病虫害识别与综合防治技术[J]. 安徽农业通报, 2024, 30(23): 31-34.
- [2] 王金山. 农业园艺栽培病虫害发生原因及防治措施[J]. 河北农业, 2024(11): 76-77.
- [3] 罗时燕, 杨茂. 黔西市园林植物病虫害防治技术探讨[J]. 南方农业, 2024, 18(20): 161-163.
- [4] 聂宁. 《园林植物病虫害防治》课程教学改革的探讨[J]. 农业开发与装备, 2024(8): 109-111.

作者简介: 朱云佳 (1991.2—), 女, 研究生硕士学历, 毕业于内蒙古农业大学一园艺专业, 农艺师, 现就职于乌兰察布市农林科学研究所。

新疆奎屯垦区大豆新品种高产示范展示试验总结

卢蓉蓉 贺奇志 梁坤明 刘晓乐

新疆生产建设兵团第七师胡杨河市 129 团农业和林业草原中心, 新疆 胡杨河 834032

[摘要] 试验采用大区品种对比展示的方法, 研究供试品种在应用“两膜八行”栽培模式下的生理学特性和经济性状, 旨在筛选出适合新疆奎屯地区的正复播大豆优良品种。结果表明, 早熟品种“嫩奥 2 号”“华疆 2 号”在生育期、抗性、丰产性等方面表现相对较好, 适宜在奎屯地区复播种植; 中晚熟品种“新大豆 24 号”“合农 76 号”在生育期、抗性、丰产性等方面表现较好, 适合在本地正播种植。

[关键词] 大豆; 品种; 抗性; 经济性状

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15891

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

Summary of High Yield Demonstration and Display Experiment of New Soybean Varieties in Kuitun Reclamation Area, Xinjiang

LU Rongrong, HE Qizhi, LIANG Kunming, LIU Xiaole

Agriculture and Forestry Grassland Center of Huyanghe 129th Regiment, the 7th Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Huyanghe, Xinjiang, 834032, China

Abstract: The experiment adopted the method of regional variety comparison display to study the physiological and economic characteristics of the tested varieties under the application of the "two film and eight row" cultivation mode, aiming to screen out excellent soybean varieties suitable for the Kuitun area of Xinjiang. The results showed that the early maturing varieties "Nenao 2" and "Huajiang 2" performed relatively well in terms of growth period, resistance, and high yield, and were suitable for replanting in the Kuitun area; The mid to late maturing varieties "New Soybean 24" and "Henong 76" have shown good performance in terms of growth period, resistance, and high yield, and are suitable for local planting.

Keywords: soybean; varieties; resistance; economic characteristics

引言

129 团积极贯彻落实党中央、国务院关于扩种大豆油料的部署要求, 牢牢守住保障国家粮食安全的底线, 持续巩固和提升粮食生产能力, 为实现粮食增产、农业增效、职工增收的具体目标, 通过与石河子大学合作, 对 8 个中晚熟大豆品种和 6 个早熟大豆品种的大区对比试验, 筛选出适合本地最优的套复播及正播品种, 为本团大豆优质高产创建奠定好基础。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地选择在 129 团 9 连 10 斗 4 号 3 地, 沙壤土, 有机质 2.5%, PH 值 7.8, 养分含量中等, 前茬棉花, 面积 50 亩。

1.2 试验材料

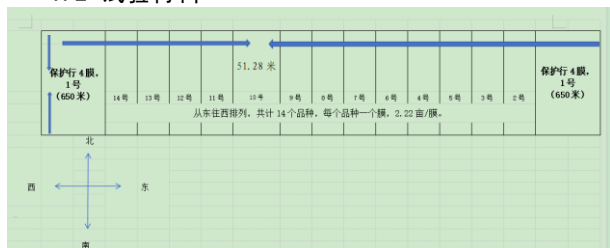


图 1 各品种田间排列图

参试品种: 参试品系 14 个, 对照华疆 2 号、大豆新品种: 黑农 84 号、黑农 87 号、黑农 88 号、黑农 307 号、合农 71 号、合农 76 号、合农 85 号、嫩奥 4 号、嫩奥 2 号、嫩奥 6 号、嫩奥 7 号、嫩奥 8 号、华疆 2 号、新大豆 24 号。

1.3 试验设计与方法

试验采用大区对比, 不设重复, 华疆 2 号作对照, 2-14 号每个品种设 1 个膜, 1 号在试验地东西两边各 4 个膜、每个膜长 650m、宽 2.28m, 合面积 2.22 亩, 南北走向; 播种模式为: 1 膜 8 行 4 带, 播幅 4.56m, 宽窄行距配置 13cm+37cm, 株距 7.3cm, 连接行 65cm。理论亩株数 32400 株, 亩保苗株数 25012 株。

1.4 田间管理

试验地四周种植 8 行保护行, 秋翻地、春整地, 整地前喷洒二甲戊灵 (菜草通) 亩用量 180ml/亩封闭除草; 4 月 22 日播种, 4 月 25 日滴水, 4 月 28 日出苗。

全生育期加压滴灌 9 次, 水肥一体化, 施肥 46% 尿素 40kg/亩, 磷酸二氢钾 25kg/亩, 微量元素肥 5kg/亩, 氨基酸肥 25kg/亩。叶面追肥 2 遍, 人工除草 3 遍, 化调 3 遍。第一遍缩节胺用量 6 克/亩, 第二遍缩节胺用量 25 克/亩, 第三遍缩节胺用量 30 克/亩; 用调环酸钙三遍, 用量分别为 10 克/亩, 20 克/亩、40 克/亩, 根据成熟循序, 分别于 8 月 2 日、8 月 6 日、9 月 5 日分品种机械采收。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生育时期调查

记载出苗期、始花期、盛花期、始荚期、盛荚期、始粒期、鼓粒期、初熟期、完熟期(各期达到 50%的日期)和生育期(从出苗期到完熟期的天数),并记载各期生长势和整齐度。

1.5.2 农艺性状调查

各参试品种分别选择长势均匀且有代表性的植株 20 株(内外行各 10 株),定点定株调查大豆株高、复叶数、结荚数、花荚节数等农艺性状。

1.5.3 产量及产量构成指标的测定

调查取样每品种 3 点,每点 6.67m²,收割前取样进行室内考核调查。

1.5.4 试验期间气候观测

2023 年终霜晚,开春迟,4 月天气冷凉、气温明显偏低,5 月延续 4 月低温天气,除 4~5 月持续低温寒冷以外,还遭受了大风和冰雹侵袭。7 月中旬连续高温天气、加上 7、8 月份水情形势紧张,供水不足,以上对大豆生长造成了一定的影响。

2 调查与分析

2.1 生育期调查

通过田间跟踪对比观察和记录,六个早熟品种嫩奥 2 号生育期最短,为 90 天;嫩奥 8 号、华疆 2 号生育期最长,为 93 天。八个中晚熟品种中,黑衣 88、黑衣 87 生育期最短,为 122 天;新大豆 24 号、黑衣 307、合农 71、合农 85 号生育期最长,为 126 天。

2.2 129 团大豆新品种高产示范展示试验出苗情况及整齐度抗逆性调查

新大豆 24 号、黑衣 84 号、黑衣 307 号、合农 85 号、嫩奥 4 号、华疆 2 号出苗慢、整齐度差、抗逆性较差。黑衣 87、黑衣 88、合农 71、合农 76、嫩奥 7 号、嫩奥 8 号出苗快、出苗整齐,抗逆性较好。

2.3 129 团大豆新品种高产示范展示试验田间性状调查

129 团大豆新品种高产示范展示试验田间性状调查表(7 月 25 日调查),结荚数最多的是新大豆 24 号,其次为合农 76、合农 71、合农 85、黑衣 87,结荚数最少的为嫩奥 7 号。

2.4 129 团大豆新品种高产示范展示试验产量性状调查

从表 2 得知:中晚熟品种黑衣 84 号产量最高 271.3 公斤/亩,其次为新大豆 24 号为 269.5 公斤/亩,6 个早熟品种产量较低,最低的华疆 2 号为 139.8 公斤/亩,嫩奥 4 号、嫩奥 2 号、嫩奥 6 号、嫩奥 7 号、嫩奥 8 号产量在 180~230 公斤/亩之间,分别比对照华疆 2 号增产 30.7%、43.06%、62.09%、64.6%、31.69%。

表 2 129 团大豆新品种高产示范展示试验产量性状调查表

品种	密度	株高	单株 荚数	结荚 节数	单株 粒数	取样百 粒重	单株 粒重	实收单 产
	万株/亩	cm	个	节	粒	g	克/株	kg/亩
新大豆 24 号	1.98	90	25.85	13.45	57.95	20.12	13.6	269.5
黑衣 84 号	2.88	93.4	23.9	13.6	48.90	20.71	9.42	271.3
黑衣 87 号	2.83	98	22.05	14.05	52.60	19.82	8.96	253.5
黑衣 88 号	2.88	92.8	24.35	13.85	59.25	20.88	6.84	197
黑衣 307 号	2.62	103	14	13.05	31.20	19.42	6.16	161.3
合农 71 号	3.15	111	33.9	16.05	76.50	13.51	7.19	226.5
合农 76 号	2.39	81.2	29.25	14.9	62.90	20.2	7.18	171.5
合农 85 号	2.78	81	21.35	12.15	47.45	20.42	8.77	243.7
嫩奥 4 号	3.08	75	20.9	9.57	39.43	21.75	6.09	182.7
嫩奥 2 号	3.02	72	16.77	9.33	42.74	20.25	6.67	200.0
嫩奥 6 号	2.72	73	19.7	10.27	35.96	24.25	8.33	226.6
嫩奥 7 号	2.94	78	17	10	45.64	19.25	7.83	230.1
嫩奥 8 号	3	78	17.43	10	41.10	22.25	6.14	184.1
华疆 2 号	2.78	74	23.7	12	45.24	25.00	5.03	139.8

表 1 生育期调查表

编号	品种	播种	出苗期	一片复 叶期	二片复叶 期	4 片复叶 期	5 片复叶 期	始花期	开花期	始荚期	盛荚期	鼓粒期	成熟期	生育期天 数(天)
1	新大豆 24 号	4 月 22 日	4/30	5/14	5/18	5/26	5/30	5/26	5/31	6/16	6/20	6/24	9/5	126
2	黑衣 84		4/30	5/17	5/20	5/28	6/2	5/28	6/3	6/14	6/20	6/24	9/4	125
3	黑衣 87		5/1	5/17	5/21	5/29	6/2	5/29	6/3	6/14	6/20	6/24	9/3	122
4	黑衣 88		5/1	5/17	5/22	5/29	6/2	5/29	5/31	6/14	6/20	6/24	9/3	122
5	黑衣 307		4/29	5/13	5/16	5/26	5/30	5/26	6/3	6/14	6/20	6/24	9/4	126
6	合农 71		4/30	5/14	5/17	5/28	6/4	5/28	6/3	6/15	6/20	6/24	9/5	126
7	合农 76		4/30	5/14	5/18	5/28	6/2	5/28	5/31	6/15	6/20	6/24	9/3	124
8	合农 85		4/30	5/13	5/17	5/25	5/30	5/25	5/31	6/15	6/20	6/24	9/5	126
9	嫩奥 4 号		5/1	5/17	5/20	5/28	6/2	5/27	6/2	6/10	6/15	6/18	8/2	91
10	嫩奥 2 号		5/1	5/17	5/20	5/29	6/2	5/26	5/31	6/10	6/15	6/18	8/1	90
11	嫩奥 6 号		4/30	5/13	5/17	5/28	6/2	6/29	6/6	6/10	6/15	6/18	7/31	91
12	嫩奥 7 号		5/1	5/17	5/20	5/29	6/2	5/27	6/3	6/10	6/17	6/20	8/2	91
13	嫩奥 8 号		4/30	5/14	5/18	5/27	5/31	5/27	6/3	6/12	6/17	6/20	8/2	93
14	华疆 2 号		4/30	5/15	5/19	5/29	6/2	5/27	5/31	6/10	6/17	6/20	8/2	93

3 参试大豆品种综合评述

3.1 新大豆 24

生育期 126d, 株高 90cm, 亚有限结荚习性。单株荚数 25.85 个, 每荚粒数 2.24 粒。百粒重 20.12g, 单株粒重 13.6g。籽粒椭圆形, 大粒种, 种皮黄色。叶色浅绿, 叶片中等, 透光性好。始结荚高度 15cm 左右, 适宜机采。丰产性好, 高产潜力大。不适宜密植。产量表现: 实收亩产 269.5 公斤, 较对照华疆 2 号增产 92.8%。

3.2 黑农 84 号

生育期 125d, 亚有限结荚习性。株高 93.4cm, 少分枝, 紫花, 尖叶, 灰色茸毛, 种子圆形, 种皮黄色, 种脐黄色, 有光泽, 单株荚数 23.9 个, 单株粒数 48.9 粒。百粒重 20.71g, 单株粒重 9.42g。产量表现: 实收亩产量 271.3 公斤, 较对照华疆 2 号增产 94.06%。

3.3 黑农 87 号

生育期 122d, 亚有限结荚习性。株高 98cm, 分枝少, 紫花, 尖叶, 灰色茸毛, 种子圆形, 种皮黄色, 种脐黄色, 有光泽, 单株荚数 22.05 个, 单株粒数 52.6 粒, 百粒重 19.82g, 单株粒重 8.96g。产量表现: 实收亩产量 253.5 公斤/亩, 较对照华疆 2 号增产 81.33%。

3.4 黑农 88

生育期 122d, 该品种亚有限结荚习性。株高 92.8cm 左右, 有分枝, 紫花, 尖叶, 灰色茸毛, 种皮黄色, 种脐黄色, 单株荚数 24.35 个, 单株粒数 59.25 粒, 有光泽, 百粒重 20.88g, 单株粒重 6.84g。产量表现: 实收亩产量 197 公斤/亩, 较对照华疆 2 号增产 40.91%。

3.5 黑农 307

生育期 126d, 该品种亚有限结荚习性。株高 103 厘米左右, 有分枝, 紫花, 尖叶, 灰色茸毛, 种子圆形, 种皮黄色, 种脐黄色, 有光泽, 单株荚数 14 个, 单株粒数 31.2 粒, 百粒重 20.2g, 单株粒重 6.16g。产量表现: 实收亩产量 161.3 公斤/亩, 较对照华疆 2 号增产 15.38%。

3.6 合农 71 号

生育期 126d, 属中熟品种。无限结荚习性, 株高 111 厘米, 有效分枝 2.8 个。叶卵圆形, 紫花, 棕色茸毛。底荚高度 12.9cm, 单株有效荚数 33.9 个, 单株粒数 76.5 粒。籽粒圆形, 种皮黄色, 种脐黄色, 百粒重 13.51g, 单株粒重 7.19g。产量表现: 实收亩产 226.5 公斤/亩, 比对照品种增产 62.02%。

3.7 合农 76 号

生育期 124d 左右, 亚有限结荚习性。株高 81.2cm 左右, 有分枝, 紫花, 尖叶, 灰色茸毛, 种子圆形, 种皮黄色, 种脐浅黄色, 有光泽, 单株有效荚数 29.25 个, 单株粒数 62.9 粒, 百粒重 19.3g 左右, 单株粒重 7.18g。产量表现: 实收亩产量 171.5 公斤/亩, 较对照合增产

22.68%。

3.8 合农 85 号

生育期平均 126d。亚有限结荚习性。株高 81cm, 单株有效荚数 21.35 个, 单株粒数 47.45 粒, 百粒重 20.42g, 单株粒重 8.77g。尖叶, 紫花, 灰毛。籽粒圆形, 种皮黄色、微光, 种脐黄色。产量表现: 实收亩产量 243.7 公斤/亩, 较对照合增产 74.3%。

3.9 嫩奥 4 号

生育期 91d, 亚有限结荚习性。该品种株高 75cm, 无分枝, 白花, 长叶, 灰色茸毛, 荚长形, 成熟时呈褐色。种子圆形, 种皮黄色, 种脐淡黄色, 有光泽, 单株有效荚数 20.9 个, 单株粒数 39.43 粒, 百粒重 21.75g。产量表现: 实收亩产 182.7 公斤, 比对照品种华疆 2 号增产 30.7%。

3.10 嫩奥 2 号

生育期 90d, 亚有限结荚习性。株高 72cm, 无分枝, 紫花, 长叶, 灰色茸毛, 荚长形, 成熟时呈灰色。种子圆形, 种皮黄色, 种脐淡黄色, 有光泽, 单株有效荚数 16.77 个, 单株粒数 42.74 粒, 百粒重 20.25g。产量表现: 实收亩产 200 公斤, 比对照品种华疆 2 号增产 43.06%。

3.11 嫩奥 6 号

生育期 91d 左右, 亚有限结荚习性。株高 73cm, 无分枝, 白花, 长叶, 灰色茸毛, 荚弯镰形, 成熟时呈褐色。种子圆形, 种皮黄色, 种脐淡黄色, 有光泽, 单株有效荚数 19.7 个, 单株粒数 35.96 粒, 百粒重 24.25g。产量表现: 实收亩产 226.6 公斤, 比对照品种华疆 2 号增产 62.09%。

3.12 嫩奥 7 号

生育期 91d 左右, 无限结荚习性, 株高 78cm, 无分枝, 紫花, 尖叶, 灰色茸毛, 荚弯镰形, 成熟时呈褐色。籽粒圆形, 种皮黄色, 种脐黄色, 有光泽, 单株有效荚数 17 个, 单株粒数 45.64 粒, 百粒重 19.25g。实收亩产 230.1 公斤, 比对照品种华疆 2 号增产 64.6%

3.13 嫩奥 8 号

生育期 93d 左右, 无限结荚习性。株高 78cm 左右, 紫花, 长叶, 灰色茸毛, 荚长形, 成熟时呈灰色。种子圆形, 种皮黄色, 种脐淡黄色, 有光泽, 单株有效荚数 17.43 个, 单株粒数 41.1 粒, 百粒重 22.25g。产量表现: 实收亩产 184.1 公斤, 比对照品种华疆 2 号增产 31.69%

3.14 华疆 2 号 (CK)

生育期 93d, 无限结荚习性, 株高 74cm, 紫花、尖叶, 灰毛, 荚皮深褐色, 子粒圆形, 浓黄, 有光泽, 单株有效荚数 23.7 个, 单株粒数 45.24 粒, 百粒重 25g, 产量表现: 实收亩产 139.8 公斤。

4 结束语

早熟品种嫩奥 2 号、嫩奥 4 号、嫩奥 4 号“华疆 2 号”生育期较短, 在抗性、丰产性等方面表现相对较好,

适宜在奎屯地区复播种植;

中晚熟品种新大豆 24 号、合农 71 在生育期、抗性、丰产性等方面表现较好, 适合在本地正播种植。

[参考文献]

[1]孔祥丽,李国富. 麦后复播大豆高产栽培技术要点[J]. 大豆科技,2023(3):48-50.

[2]彭勇,双文,王忠华,等. 北疆复播大豆种植技术[J]. 新疆农垦科技,2023,46(4):7-8.

[3]张永强,徐文修,李亚杰,等. 新疆麦后复播大豆适宜滴灌量研究[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(4):1133-1140.

[4]唐江华,苏丽丽,李亚杰,等. 耕作方式对麦后复播大豆生长发育及产量的影响[J]. 中国油料作物学报,2015,37(5):669-675.

作者简介: 卢蓉蓉(1989.12—),女,汉族,本科学历,助理农艺师,主要从事本团场农业新技术的推广与应用。

剧毒重金属铊的污染现状与治理技术研究进展

覃佳勇 曾月俊 罗秋妍 李云翔 梁慧 李文轩 黄在银*

广西民族大学 化学化工学院, 广西 南宁 530006

[摘要] 铊 (Tl) 作为一种剧毒重金属, 其环境污染问题日益受到全球关注。铊污染源包括自然释放 (如矿床风化) 和人为活动 (如冶金、固废堆存), 在我国南方矿区尤为严重, 土壤和水体铊浓度远超国家标准。铊在环境中以 Tl^+ 和 Tl^{3+} 形态存在, 前者通过竞争性替代钾离子进入生物体, 后者在酸性条件下迁移性增强, 加剧生态风险。现有治理技术中, 物理化学法效率高但成本高昂, 生物修复法生态友好却周期长, 联合工艺虽有效但操作复杂。典型案例贵州滥木厂矿区事件表明, 差异化修复策略 (如结合区域背景值设定修复基准) 能显著降低经济成本与生态风险。未来需开发低成本功能材料、深化铊同位素示踪技术、完善政策监测体系, 并通过跨学科协同推动铊污染治理从末端应对向源头防控转变, 实现可持续发展目标。

[关键词] 铊污染; 铊同位素示踪技术; 差异化修复策略; 可持续发展目标

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15890

中图分类号: X5

文献标识码: A

Research Advances in Thallium Pollution Status and Remediation Technologies

QIN Jiayong, ZENG Yuejun, LUO Qiuyan, LI Yunxiang, LIANG Hui, LI Wenxuan, HUANG Zaiyin*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning, Guangxi, 530006, China

Abstract: Thallium (Tl), as a highly toxic heavy metal, is attracting increasing global attention due to its environmental pollution issues. Thallium pollution sources include natural release (such as ore deposit weathering) and human activities (such as metallurgy and solid waste storage), with particularly severe cases in mining areas of southern China where soil and water thallium concentrations far exceed national standards. In the environment, thallium exists in Tl^+ and Tl^{3+} forms: the former enters organisms by competitively replacing potassium ions, while the latter shows increased mobility under acidic conditions, worsening ecological risks. Among current treatment technologies, physicochemical methods are efficient but costly, bioremediation is eco-friendly but time-consuming, and combined processes are effective but operationally complex. The typical case of Guizhou Lanmuchang mining area shows that differentiated remediation strategies (such as setting remediation benchmarks based on regional background values) can significantly reduce both economic costs and ecological risks. Future efforts should focus on developing low-cost functional materials, advancing thallium isotope tracing technology, improving policy monitoring systems, and promoting interdisciplinary collaboration to shift thallium pollution control from end-of-pipe treatment to source prevention, achieving sustainable development goals.

Keyword: Thallium pollution; Thallium isotope tracing technology; differentiated remediation strategies; sustainable development goals

引言

铊 (Thallium, Tl) 作为元素周期表中 IIIA 族的稀有分散金属, 因其剧毒性及复杂的环境行为, 近年来逐渐成为全球环境科学领域的研究热点。相较于汞、镉、铅等传统重金属污染物, 铊的毒性强度更高, 且具有多靶点性和不可逆性, 对生态系统和人体健康构成显著威胁^[1]。其环境危害不仅源于自然源 (如含铊矿床风化、火山活动), 更与人类工业化进程中的有色金属冶炼、固废堆存等密切相关^[2,3]。我国南方地区因丰富的铊矿床和密集的采冶活动, 成为铊污染重灾区, 典型区域如贵州滥木厂矿区, 其土壤和水体铊浓度远超国家标准限值, 亟需科学有效的治理策略^[4]。

当前, 铊污染治理面临多重挑战。一方面, 铊的迁移转化行为复杂, 其氧化态 (Tl^+ 与 Tl^{3+}) 在不同环境介质中呈现动态变化, Tl^+ 可通过竞争性替代钾离子进入生物体, 引发神经损伤与器官功能障碍, 而 Tl^{3+} 的强氧化性则加剧了生物毒性^[5,6]。另一方面, 现有治理技术如物理化学法

(氧化沉淀、吸附) 虽效率较高, 但存在药剂成本高、污泥处置困难等问题; 生物修复法虽生态友好, 却受限于修复周期长和高浓度污染的适应性^[7,8]。此外, 全球范围内铊的监测标准与修复目标值尚未统一, 导致污染防控与生态修复实践缺乏科学依据。

在此背景下, 本文系统梳理了铊的污染来源、环境行为及治理技术研究进展, 结合我国典型污染案例, 探讨了差异化修复策略在平衡生态风险与经济成本中的实践价值。同时, 针对未来研究方向, 提出开发低成本功能材料 (如吸附-光催化复合材料)、深化铊同位素示踪技术、完善政策体系等综合路径, 以期铊污染的精准防控与资源化治理提供理论支撑和技术参考。通过跨学科协同与技术创新, 推动重金属污染治理从末端应对向源头防控的范式转变, 助力全球生态环境的可持续发展。

1 铊的污染来源与地理分布

铊环境污染源可分为自然释放与人为排放两类, 其空

间分布受区域地质背景及工业化程度共同影响。自然源以含铊矿床（如铅锌矿、汞矿）风化和火山活动为主，其中低温热液型硫化物矿床因铊的亲硫特性成为主要富集载体^[9]。人为源集中于有色金属冶炼（锌、铅、铜）、钢铁生产及矿业活动：冶金过程中，铊高温挥发并富集于烟道粉尘与固废，浓度可达地壳丰度（0.7mg/kg）的10~100倍^[10]；锂云母提锂废渣露天堆存后，经降水淋溶释放可溶性 Tl^+ ，引发区域性地下水污染。此外，历史遗留矿山（如汞铊矿）废渣长期暴露，通过氧化产酸作用释放 Tl 、 As 、 Hg 等复合污染物，形成次生污染源^[11]。

我国铊污染呈现显著“南高北低”空间分异特征，与南方铊矿床分布密集及高强度采冶活动直接相关^[12]。如贵州滥木厂矿区，长期汞铊矿开采导致清水河流域土壤铊浓度峰值达2.05mg/kg（超标率49.8%），洪水期下游纳山岗水库水体铊浓度达4.036 μ g/L，超出《生活饮用水卫生标准》（GB 5749—2022）限值（0.1 μ g/L）40倍，沉积物富集因子（EF）达12.6，属重度污染^[13]。类似地，湖南、广西等南方省份因铅锌矿与锡矿开采，土壤及水体铊污染高发；北方因矿床稀少且工业活动较弱，污染水平显著降低。

值得注意的是，冶金固废跨区域迁移可扩大污染范围。例如，锌冶炼烟尘中铊含量高达70~150mg/kg，若处置不当可通过大气沉降或径流扩散至非矿区，形成“工业污染岛”。因此，铊污染地理分布不仅受原生地质条件控制，更与人为活动空间格局及固废管理效率密切相关。未来需结合 Tl 同位素示踪等多证据分析技术，精准解析污染源并制定差异化管控策略，以应对其复杂扩散特征。

2 铊在环境中的迁移与转化机制

作为一种剧毒重金属元素，其在环境中的迁移与转化行为受介质理化性质、地球化学过程及生物作用的综合调控，呈现多介质交互的复杂特征。在水体环境中，铊主要以+1（ Tl^+ ）和+3（ Tl^{3+} ）两种氧化态存在，其迁移性受离子形态与水文条件显著影响。 Tl^+ 因水合离子半径（1.50Å）与 K^+ （1.33 Å）相近，可通过黏土矿物离子交换或生物膜钾通道进入生物体内； Tl^{3+} 在碱性条件下生成难溶的 $Tl(OH)_3$ 沉淀（ $K_{sp}=10^{-4.4}$ ），但在酸性环境中重新溶解，迁移性增强^[14,15]。

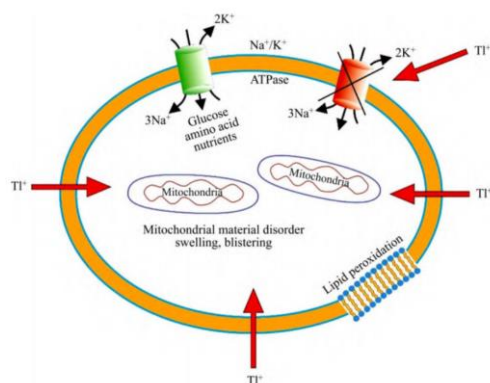


图1 铊进入人体细胞的作用机制^[12]

土壤环境中，铊的赋存形态以残渣态（结合于矿物晶格）为主，但生态风险与可交换态比例密切相关。研究显示，贵州铊污染场地土壤可交换态占比达15%~30%，显著增加植物吸收及食物链传递风险^[16]。硫酸化菌产酸促进硫化物矿物（如黄铁矿）氧化，释放可溶性 Tl^+ ；腐殖酸通过羧基与 Tl^+ 形成稳定络合物，增强纵向迁移能力。植物根系吸收铊时存在同位素分馏效应，较轻的 Tl 优先富集于生物体，较重的 Tl 滞留土壤，该现象为污染溯源提供了生物地球化学证据^[17]。

大气中，铊主要依附于 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 颗粒，以酸可提取态（如 Tl_2SO_4 ）存在，通过干湿沉降进入地表环境。当前对大气铊的源解析、化学转化及长距离传输机制研究不足，制约其环境行为的系统认知。同位素技术因高灵敏度成为关键工具：工业源（如冶炼粉尘）的铊同位素组成与地质背景差异显著，结合多接收电感耦合等离子体质谱（MC-ICP-MS）技术，可精准识别污染贡献^[18]。同位素分馏机制涉及岩浆过程、表生氧化还原及生物代谢，为地壳物质循环、古环境重建与污染治理提供多维视角。

铊的跨介质迁移与转化具有多过程耦合特征，需整合地球化学模型、微生物学及同位素技术，系统解析其行为规律，为污染防控与生态修复提供理论支撑。精准解析污染源并制定差异化管控策略，是应对其复杂扩散特征的关键路径。

3 铊污染治理技术现状与挑战

铊污染治理技术基于其环境行为与毒性特征，主要分为物理化学法、生物修复法及多技术联合工艺。物理化学法中，氧化沉淀法利用Fenton试剂将 Tl^+ 氧化为 Tl^{3+} ，并在碱性条件下生成难溶的 $Tl(OH)_3$ 沉淀，对初始浓度为72.9 μ g/L的含铊废水去除率达99.5%，出水铊浓度符合《生活饮用水卫生标准》^[19]；吸附法采用阳离子交换，在pH2~10范围内对 Tl^+/Tl^{3+} 具有高选择性吸附，Zhang等^[20]发现，如图2所示， Tl^+ 可通过与纳米二氧化钛（ TiO_2 ）表面羟基（ $\cdot OH$ ）的离子交换作用形成稳定 $Ti-O-Tl^+$ 络合物，高效去除水体中 Tl 。该吸附过程对共存离子及有机质抗干扰性强，归因于 TiO_2 的高比表面积及对 Tl^+ 的特异性吸附能力。但对高浓度废水需结合氧化预处理以提升效率。然而，化学法存在药剂消耗大、污泥处置成本高等局限性。

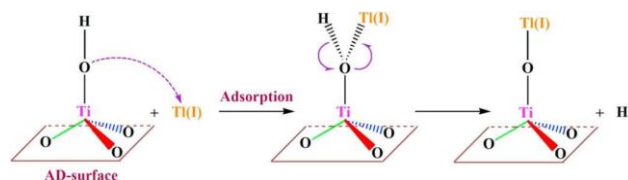


图2 纳米过氧化钛吸附 Tl^+ 的过程^[20]

生物修复技术通过调控环境条件与微生物活动降低铊的生物有效性。例如，鱼粪-矿物联用改良剂（配比7：

3:0)可将汞铊矿废渣 pH 从 3.9 升至 7.97, Eh 从 173mV 降至 -52.88mV, 并促进变形菌门 (Proteobacteria) 与放线菌门 (Actinobacteria) 等耐受菌富集, 使浸出液铊浓度降低 63.32%~91.31%^[11]。此类技术生态友好且成本低, 但修复周期长, 对高浓度污染场地的适应性有限。

技术对比表明, 单一方法难以兼顾效率、成本与可持续性。未来需探索多技术耦合路径, 例如红泥改性石墨相氮化碳 (RM-CN) 复合材料通过吸附-光催化协同作用, 可同步去除废水中有机物与重金属, 其比表面积较纯 g-C₃N₄提升 2.3 倍, 且循环性能稳定^[21]。铊同位素示踪技术与智能修复材料的结合, 有望实现污染精准定位与动态调控。然而, 技术转化仍面临成本控制、长期稳定性验证及跨介质协同机制不明等挑战, 需通过跨学科研究突破技术瓶颈。

4 区域污染治理案例与启示

贵州滥木厂铊矿区作为我国典型历史遗留污染场地, 其修复实践为高背景值区域的铊污染治理提供了重要范式。该区域因长期汞铊矿开采与冶炼活动, 导致清水河流域土壤铊浓度峰值达 2.05mg/kg (超标率 49.8%), 下游纳山岗水库水体铊浓度在枯水期波动至 4.036μg/L, 超出《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022) 限值 (0.1μg/L) 40 倍。2017 年实施的生态复垦工程通过废渣整治、植被恢复及河道清淤等措施, 显著降低了表层土壤 (0~4.5m) 的铊浓度, 但中层及深层 (>4.5m) 土壤受地质背景 (铊本底值 0.8mg/kg) 影响仍存在潜在风险, 凸显了“自然-人为”双重驱动污染的复杂性。

修复目标值的科学设定是项目成功的关键突破。传统基于健康风险的土壤修复目标值 (如河北省第一类用地筛选值 0.5mg/kg) 常低于实际环境背景上限 (0.8mg/kg), 易导致过度修复与经济浪费。田紫琪等^[22]通过多证据分析技术 (土壤铊浓度累积频率分布、空间异质性分析及同位素示踪), 提出以地块尺度环境背景上限 (0.8mg/kg) 作为修复基准, 使修复方量减少 $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。这一策略通过分层治理 (表层工程干预与深层自然衰减结合), 平衡了生态风险与地质背景的关联性, 为高背景值区域的差异化治理提供了科学依据。

该案例的启示表明, 污染源精准识别需依赖多技术融合, 例如 Tl 同位素分馏 ($\delta^{205}\text{Tl}$ 差异达 4%) 结合多介质采样, 可明确工业活动与地质背景的污染贡献。修复技术需适配区域特征, 针对表生环境与深部地质的差异, 采用工程-自然协同的递进式治理策略。长效监管机制需涵盖水、土、沉积物多介质指标, 动态评估修复效果与次生风险。未来类似项目需进一步关注技术-经济-生态协同优化, 例如通过原位稳定化技术阻控铊的地下水迁移, 或推动红泥改性光催化材料 (RM-CN) 等低成本技术的产业化应用。同时, 政策层面需将铊纳入常规监测体系, 完善

污染场地修复法规, 并探索资源化路径 (如提取铊用于光导材料), 以实现环境风险消减与资源循环的双重目标。

贵州滥木厂案例表明, 基于科学认知的“因地制宜”策略与跨学科技术整合是应对复杂铊污染的核心路径, 其经验为全球类似矿区生态修复提供了理论与实践参考。

5 未来研究方向与技术展望

铊污染治理的未来发展需依托技术创新、基础科学突破与政策体系的深度融合, 形成“技术-数据-政策”三位一体的协同框架。在技术层面, 开发低成本、高选择性的功能材料是提升治理效率的核心路径。针对冶金固废中铊的资源化利用, 需优化提取工艺 (如碱化-氧化-酸化梯次脱除) 并降低能耗, 推动铊在光导纤维、超导材料等领域的产业化应用, 实现“以废治废”的循环经济目标。

基础研究的深化需聚焦铊的地球化学行为精细解析与同位素技术的创新应用。当前铊同位素数据库的缺失制约了其在污染溯源与古环境重建中的潜力。通过多接收电感耦合等离子体质谱 (MC-ICP-MS) 技术精度的提升, 可系统构建全球铊同位素组成图谱, 并揭示高温岩浆过程、表生氧化还原反应及生物代谢对同位素分馏的作用机制。此外, 铊在跨介质迁移中的形态转化动力学、微生物-矿物界面作用及其对生物有效性的调控机制, 仍需通过多尺度实验与模型模拟进一步阐明, 为精准防控提供理论依据。

政策与标准体系的完善是铊污染风险管控的基石。建议将铊纳入土壤、大气常规监测指标, 结合物联网与遥感技术构建全介质动态监测网络; 基于区域地质背景制定差异化修复标准, 避免“一刀切”导致的资源浪费; 并通过税收优惠与研发补贴推动资源化技术的工程转化。未来需强化地球化学、环境工程与政策管理的跨学科整合, 例如利用智能修复材料与同位素示踪技术动态优化治理策略, 或通过大数据平台整合多源环境数据支撑标准修订。唯有技术创新、基础认知与制度保障协同推进, 方能实现铊污染治理从末端应对到源头防控的范式转变。

5 结论

铊污染因其高毒性、复杂迁移行为及生物累积效应, 对生态系统和人类健康构成严重威胁。研究发现, 我国南方矿区铊污染尤为突出, 其分布受地质背景与工业活动双重驱动。铊的氧化态 (Tl^+ 与 Tl^{3+}) 在不同环境介质中动态转化, 导致治理难度增加。现有技术中, 物理化学法与生物修复法各有优劣, 联合工艺虽能提升效率却面临成本与操作复杂性的挑战。贵州滥木厂案例表明, 基于区域背景值的差异化修复策略可有效平衡经济成本与生态风险。未来需重点突破三方面: (1) 研发高选择性功能材料以提升治理效率; (2) 结合同位素示踪技术与微生物-矿物界面研究, 深化污染溯源与行为解析; (3) 完善铊的常规监测体系与政策法规, 推动资源化利用。通过技术创新、跨学科协同与政策支持, 实现铊污染从被动治理到源头防控的

范式转变，助力生态环境可持续发展。

基金项目：国家自然科学基金 No.22263001；国家级大学生创新创业项目经费 202410608028、202410608012X。

[参考文献]

- [1] LI Y, FENG H X, WANG JS, et al. Current status of the technology for utilizing difficult-to-treat dust and sludge produced from the steel industry [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 367 (9): 132909.
- [2] 段泓羽, 王长明. 关键金属铊的地球化学性质与成矿 [J]. *岩石学报*, 2022, 38 (6): 1771-1794.
- [3] JOHN PETER A L, VIRARAGHAVAN T. Thallium: review of public health and environmental concerns [J]. *Environment International*, 2005, 31 (4): 493-501.
- [4] 肖唐付, 何立斌, 陈敬安. 黔西南铊污染区铊的水环境地球化学研究 [J]. *地球与环境*, 2004, 32 (1): 35-41.
- [5] HOFFMAN R S, HOFFMAN R, STRINGER J A, et al. Comparative efficacy of thallium adsorption by activated charcoal, Prussian blue, and sodium polystyrene sulfonate [J]. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 1999, 37 (7): 833-837.
- [6] CHEN M Q, WU P X, YU L F, et al. FeOOH-loaded MnO₂ nano-composite: an efficient emergency material for thallium pollution incident [J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 192 (5): 31-38.
- [7] 陈永亨, 张平, 吴颖娟, 等. 广东北江铊污染的产生原因与污染控制对策 [J]. *广州大学学报 (自然科学版)*, 2013, 12 (4): 26-31.
- [8] CRINI G, LICHTFOUSE E, WILSON L D. Conventional and nonconventional adsorbents for wastewater treatment [J]. *Springer International Publishing*, 2019, 17 (1): 195-213.
- [9] LIU J, YIN ML, LUO X W. The mobility of thallium in sediments and source apportionment by lead isotopes [J]. *Chemosphere*, 2019 (219): 864-874.
- [10] 任可飘, 王静松, 李岩. 铊在冶金过程中的迁移和富集 [J]. *有色金属科学与工程*, 2024, 15 (3): 311-321.
- [11] 李星颖. 鱼粪-天然矿物联用对汞铊矿废渣典型重金属释放及微生物群落结构的影响 [D]. 贵州: 贵州大学, 2023.
- [12] 成永生, 王丹平, 黄宽心, 等. 表生水土环境铊污染成因研究现状与发展趋势 [J]. *中国有色金属学报*, 2024, 34 (6): 2043-2058.
- [13] 晏燕. 典型铊矿化区河库水体重金属污染特征和风险评估 [D]. 广东: 广州大学, 2023.
- [14] RATTI F, FACCHINI A, BECK E, et al. "Familial venoms": A thallium intoxication cluster [J]. *Intensive Care Medicine*, 2018, 44 (12): 2298-2299.
- [15] 余宏伟. 氧化沉淀法和离子吸附法处理锂云母生产碳酸锂含铊废水的研究 [D]. 江西: 南昌大学, 2024.
- [16] 安树仁, 安贤国, 李锡林. 自然界罕见的斜硫铊汞矿在贵州的发现和研究的 [J]. *贵州地质*, 1988, 5 (4): 377-383.
- [17] KERSTEN M, XAO T F, KREISSIG K. Tracing thallium in soil using stable isotope anthropogenic compositions [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48 (16): 9030-9036.
- [18] 董飞羽, 王朝阳, 尹露. 铊同位素分析技术、分馏机制及地学应用研究进展 [J]. *地球化学*, 2025 (3): 1-19.
- [19] Li H, Zhang H, Long J, et al. Combined Fenton process and sulfide precipitation for removal of heavy metals from industrial wastewater: Bench and pilot scale studies focusing on in-depth thallium removal [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2019, 13 (4): 49.
- [20] ZHANG G, FAN F, LI X. Superior adsorption of thallium (I) on titanium peroxide: Performance and mechanism [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 331 (1): 471-479.
- [21] Shi W, Ren H, Huang X, et al. Low cost red mud modified graphitic carbon nitride for the removal of organic pollutants in wastewater by the synergistic effect of adsorption and photocatalysis [J]. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2023 (320): 122013.
- [22] 田紫琪, 张超艳, 熊杰, 等. 退役钢铁地块土壤铊污染来源及环境背景研究 [J]. *环境科学研究*, 2025 (3): 1-10.

作者简介：覃佳勇（2004—），男，汉族，广西南宁人，本科在读，广西民族大学化学化工学院，研究方向：环境治理与保护。

CaCO₃ 掺杂对钡钛酸钡陶瓷微观结构及电学性能的影响

田兴国¹ 马晓娇¹ 尹红梅^{2*} 周恒为¹

1. 伊犁师范大学 物理科学与技术学院 新疆凝聚态相变与微结构实验室, 新疆 伊宁 835000

2. 新疆大学 物理科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 采用传统的固相反应法在 1350℃ 制备了 BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃-xCaCO₃ (x = 0.005、0.02、0.05、0.07、0.1、0.15、0.2) 陶瓷, 通过对陶瓷的微观结构、表面形貌、介电、铁电、压电性能的测试与分析发现: 所有 BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃+xCaCO₃ 陶瓷样品均呈现出钙钛矿结构的铁电体特征; 室温相组成随 CaCO₃ 掺杂量的增加 T 相增强, 低温 R-O 相和 O-T 相转变温度降低, 居里温度略有升高, 在 x=0.2 时最大, 值为 401K; 平均晶粒尺寸均小于纯 BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃ 陶瓷, 低温烧结时 CaCO₃ 掺杂可减小陶瓷晶粒尺寸; 陶瓷剩余极化强度和矫顽电场随 CaCO₃ 掺杂量的增加变化相似, 均在 x=0.07 时达到最大值 (2P_r=18.6μC/cm² 和 2E_c=14.5kV/cm), 压电系数在 x=0.005 时最大, 值为 238pC/N。

[关键词] CaCO₃ 掺杂; 微观结构; 电学性能; 钡钛酸钡陶瓷

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15907

中图分类号: TQ174.1

文献标识码: A

The Influence of CaCO₃ Doping on the Microstructure and Electrical Properties of Barium Hafnium Titanate Ceramics

TIAN Xingguo¹, MA Xiaojiao¹, YIN Hongmei^{2*}, ZHOU Hengwei¹

1. Xinjiang Laboratory of Phase Transitions and Microstructures in Condensed Matters, College of Physical Science and Technology, Yili Normal University, Yining, Xinjiang, 835000, China

2. College of Physical Science and Technology, Xingjiang University, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: The BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃-xCaCO₃ (x = 0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2) ceramics sintered at 1350 °C were prepared by the traditional solid-state reaction method at 1350 °C. The microstructure, surface morphology, dielectric, ferroelectric, and piezoelectric properties of the ceramics were tested and analyzed. The results show that all BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃+xCaCO₃ ceramics samples exhibit the characteristics of perovskite ferroelectrics. With the increase of CaCO₃ doping amount, the T phase is enhanced at room temperature, the low-temperature R-O and O-T phase transition temperatures are reduced, and the Curie temperature is slightly increased, reaching the maximum value of 401 K at x = 0.2. The average grain size of all doped ceramics is smaller than that of pure BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃ ceramic, so with CaCO₃ during low-temperature sintering can reduce the grain size of the ceramics. The residual polarization and coercive field of the ceramics change similarly with the increase of CaCO₃ doped amount, reaching the maximum values at x = 0.07 (2P_r = 18.6 μC/cm² and 2E_c = 14.5 kV/cm). The piezoelectric coefficient is the highest at x = 0.005, with a value of 238 pC/N.

Keywords: CaCO₃ doping; microstructure; electrical properties; barium hafnium titanate ceramics

1 序论

钛酸钡(BaTiO₃, BT)是最先被发现的具有钙钛矿结构的多晶压电陶瓷,也是目前重要的电容器材料之一,其在室温下压电系数(d₃₃)约为 191pC/N^[1],居里温度(T_c)在 120℃左右,介电常数(ε)约为 1700^[2],对其电学性能的研究一直是大家关注的热点问题。

研究发现, A、B 位离子等价替换对 BT 基陶瓷的微观结构和宏观的介电、压电和铁电等电学性能有较大的影响。其中 B 位等价替换 Hf⁴⁺后所形成的 BaHf_xTi_{1-x}O₃ 陶瓷居里温度会随 Hf⁴⁺的增加向低温区移动^[3-7],但当 x=0.02 时相较于纯 BT 陶瓷既能维持较高的居里温度又同时在电学性能方面有较大改善,如: Ajay Kumar Kalyani^[8]等人研究 1500℃ 烧结的 BaHf_xTi_{1-x}O₃ 陶瓷时发现 x=0.02 存在正交

相(O 相)-四方相(T 相)相共存,材料的介电常数最大可为 14600、d₃₃ 高达 370pC/N; Yin HongMei^[9]等发现在较低烧结温度时(1320℃)可获得 T-O 相共存、细晶(0.9μm)高压电系数陶瓷(475pC/N),当烧结温度为 1350℃ 时,陶瓷具有较大的剩余极化强度(P_r)和压电系数,值分别为 13.3μC/cm², 327pC/N^[10]。可见 BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O₃ 是一种较为优异的 BT 基材料。研究人员通过引入 Ca²⁺进入 BaHf_xTi_{1-x}O₃ 晶格,可调节 BaHf_xTi_{1-x}O₃ 陶瓷微观结构和电学性能,一般 Ca²⁺替换 BaHf_xTi_{1-x}O₃ 中 A 位的 Ba²⁺,但如果成分中缺少 Ti⁴⁺,则 Ca²⁺会被迫进入 B 位替换 Hf⁴⁺/Ti⁴⁺^[11],且当 Ca²⁺添加量超过 20 mol% 时居里温度明显降低^[11]。如: Zhao Chunlin^[12]等人研究了 Ba_{0.94}Ca_{0.06}Ti_{1-x}Hf_xO₃ 陶瓷室温相结构,发现当 x=0.07 时可

以将两个铁电变温度，即菱形相-正交相和正交相-四方相转变温度 T_{R-O} 和 T_{O-T} 向高温区移动。Wang Zhe^[13]等人分析 $Ba_{1-x}Ca_xTi_{0.95}Hf_{0.05}O_3$ ($x=0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.14$) 陶瓷的电学性能时发现，当 $x=0.08$ 时出现 O-T 相共存，表现出了良好的压电性能 ($d_{33}=380\text{pC/N}$) 和铁电性能 ($P_r=13.4\mu\text{C/N}$)；Wang Dali^[14]等人发现 $(1-x)BaHf_{0.16}Ti_{0.84}O_3-xBa_{0.70}Ca_{0.30}TiO_3$ ，在 $x=0.48$ 时在室温附近材料表现为 O-T 相变，具有较高 ϵ_r (2889) 和 d_{33} (410pC/N)，同时有较大的居里温度 $T_c=106^\circ\text{C}$ ；Zhou^[15]等人发现 $(1-x)BaTi_{0.8}Hf_{0.2}O_3-xBa_{0.7}Ca_{0.3}TiO_3$ 陶瓷，在 $x=0.5$ 时获得了菱形相 (R 相)-四方相 (T 相)-立方相 (C 相) 三相共存，室温下 d_{33} 达到了 550pC/N 。但是上述具有优良电学性能的陶瓷烧结温度较高，均在 1450°C 以上。为了推进 BT 基陶瓷产业化进程，为相关陶瓷的性能改进提供依据，本文研究在较低烧结温度下获得的 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3-xCaCO_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2$) 陶瓷的微观结构、介电、铁电和压电等性能，为相关陶瓷性能改进提供参考。

2 实验

2.1 样品制备

采用了传统固相反应法制备相应陶瓷样品。以分析纯的 $BaCO_3$ 、 $CaCO_3$ 、 HfO_2 、 TiO_2 、为原料，通过化学式 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3-xCaCO_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.10, 0.15, 0.20$) 称量相应原料，以无水乙醇作为截止球磨 16h，浆料经烘干、研细后，在 1100°C 恒温 2h 得到 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3-xCaCO_3$ 前驱粉体。将预烧好的粉体经过筛、造粒后在 10MPa 压下制成 $\phi 13\times(1\sim 2)\text{mm}$ 的圆柱形素坯，以 1°C/min 的升温速率从室温升至 1350°C 后，恒温 4h，随炉降至室温，得到相应的 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3-xCaCO_3$ 陶瓷样品。

2.2 性能测试

利用 DX-2600 型 X 射线衍射仪 (XRD) 对样品的微观结构进行测量，分析其相结构；利用 KYKY2800B 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察陶瓷样品的表面形貌，并统计分析晶粒尺寸；样品镀电极后，利用 Beta-NB 型宽频阻抗分析仪在 1000Hz 下以 $1\sim 2\text{K/min}$ 的升温速率，测试 $150\text{K}\sim 420\text{K}$ 的复介电常数；利用 TF2000E 型铁电分析仪测试室温电滞回线，读取相应陶瓷的 P_r 和 E_c ，分析铁电性能；样品在极化后静置 24h，利用 PM300 型精密压电测试仪在应力 $T=0.50\text{N}$ ，频率 300Hz 下测量室温压电系数 d_{33} 。

3 结果与讨论

3.1 XRD 测试结果与分析

图 1(a) 是 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3+xCaCO_3$ 系列陶瓷样品在 $2\theta=20^\circ\sim 80^\circ$ 下测量的 XRD 衍射图谱，图 1(b) 是 $2\theta=42^\circ\sim 47^\circ$ 时的放大图。如图 1(a) 所示，所有陶瓷的主衍射峰基本相同，表明 Ca^{2+} 进入 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3$ 晶格中，图 1(b) 显示，

随着 Ca^{2+} 含量的增加，衍射峰向更高的 2θ 角度移动，根据布拉格方程 $2d\sin\theta=n\lambda$ 可知晶胞间距增大，而 Ca^{2+} 的离子半径 ($1.34\text{\AA}$ ，配位数/CN: 12) 小于 Ba^{2+} 的离子半径 ($1.61\text{\AA}$ ，配位数/CN: 12) [16]，但大于 Hf^{4+}/Ti^{4+} ($0.79\text{\AA}/0.61\text{\AA}$)，因此说明， Ca^{2+} 进入 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3$ 晶格中替代了 A 位的 Ba^{2+} 。图 1(a) 还发现在 $x=0.2$ 的组分， $2\theta=31^\circ, 44^\circ, 74^\circ$ 附近存在小峰，这可能是由于 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3+xCaCO_3$ 在合成过程中 Ca^{2+} 取代 Ba^{2+} 的溶解度已经达到了极限引起的杂峰 [17, 18]。图 1(b) 中显示随着 Ca^{2+} 含量的增加，观察到 $2\theta=45^\circ$ 附近的峰出现明显的分裂现象，与纯 BT 的标准谱对比，可发现陶瓷的 T 相增强，这是可能与 Ca^{2+} 取代 Ba^{2+} 过程中产生的晶格畸变有关，该现象与 Bin Tang 等人研究结果相似 [19]。

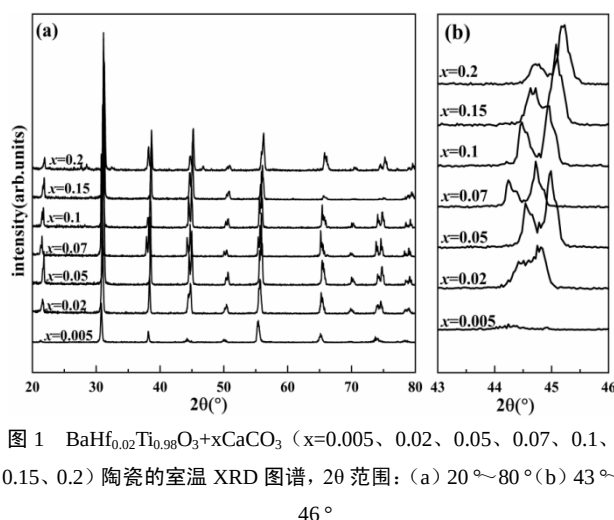


图 1 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3+xCaCO_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2$) 陶瓷的室温 XRD 图谱， 2θ 范围：(a) $20^\circ\sim 80^\circ$ (b) $43^\circ\sim 46^\circ$

3.2 SEM 测试结果与分析

图 2(a)-(g) 为 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3+xCaCO_3$ 陶瓷在 $x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15$ 和 0.2 下的 SEM 图谱，当 Ca^{2+} 含量较少时 ($x=0.005, 0.02$) 陶瓷样品的晶界较为清晰，其中 $x=0.005$ 晶粒尺寸相差较大，随着 Ca^{2+} 含量的增加陶瓷样品的气孔数逐渐增多。图 2(h) 陶瓷平均晶粒尺寸图谱显示，陶瓷的平均晶粒尺寸随 $CaCO_3$ 掺杂量的增加变化存在波动，在 $x=0.05$ 最小 ($0.1\sim 2\mu\text{m}$)，在 $x=0.07$ 最大 ($15.3\mu\text{m}$)，但均小于纯 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3$ 陶瓷的平均晶粒尺寸 [10]，可见掺入 $CaCO_3$ 可以抑制晶粒的生长。

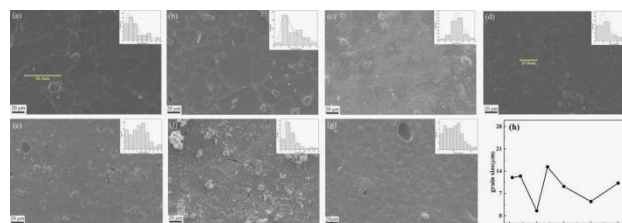


图 2 $BaHf_{0.02}Ti_{0.98}O_3+xCaCO_3$ (a~g: $0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2$) 陶瓷表面 SEM 图片与 (h) 平均晶粒尺寸变化

3.3 介电性能

为了进一步确定陶瓷样品的相变温度,图3为样品 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.10, 0.15, 0.20$) 在 1000Hz 相对介电常数 ϵ_r 随温度 (150K~420K) 的变化曲线图,图中可以看到,随着 Ca^{2+} 的增加, T_C 略向高温移动,从 $x=0.005$ 的 397K 升到 $x=0.2$ 时 401K,高于 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3$ 陶瓷^[3-7], CaCO_3 可提升 T_C 。从图 3(b) 的 156K-370K 的 ϵ_r 变化可以发现陶瓷 T_{R-O} 和 T_{O-T} 均随 Ca^{2+} 浓度向低温区移动,这可能是由于 Ca^{2+} 替代等价 A 位 Ba^{2+} 进行改性。当 Ca^{2+} 替代 Ba^{2+} 时,由于 Ca^{2+} 的离子半径较小,使得晶格收缩进而影响对称性和稳定性,导致 BT 基陶瓷的 T_{O-T} 向低温区移动^[20-22], T_{O-T} 向低温区的移动也是在室温 XRD 拟合出 T 相增强的原因之一。

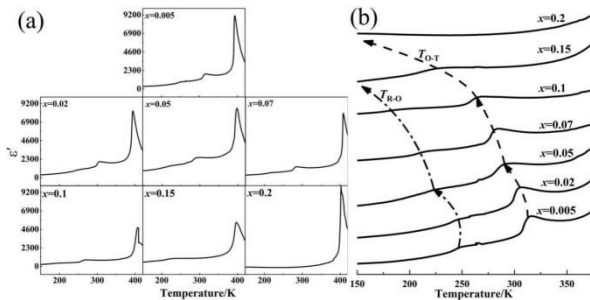


图3 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2$) 陶瓷的变温介电图谱: (a)150K~420K; (b)155K~370K

图4为 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷在室温 (300K)、1000Hz 的介电损耗 ($\tan\delta$) 和介电常数 (ϵ_r) 随 CaCO_3 掺杂量变化曲线,图中显示出 $\tan\delta$ 和 ϵ_r 呈现相反的变化趋势,与平均晶粒尺寸的变化图(图2(h))进行对比发现,平均晶粒尺寸变化与 $\tan\delta$ 的变化趋势相似,与 ϵ_r 相反,这表明陶瓷的介电性能主要依赖于平均晶粒尺寸的变化,即可能与铁电畴的数目有关,平均晶粒尺寸小铁电畴数多,介电常数越大^[23,24]。

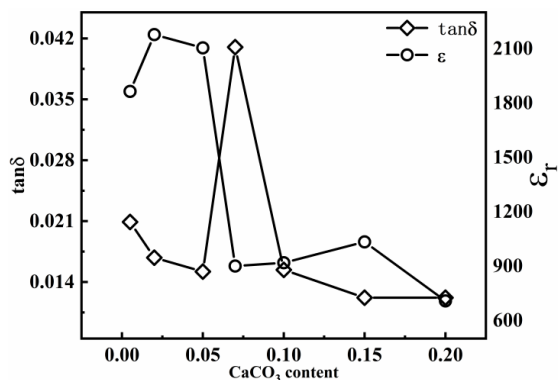


图4 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2$) 陶瓷介电损耗($\tan\delta$)和介电常数(ϵ_r)随 CaCO_3 含量变化曲线

3.4 压电与铁电性能测试与分析

图5为 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷室温 d_{33} 随 CaCO_3

含量变化曲线。从图中可以看出,陶瓷 d_{33} 随 CaCO_3 含量的增加呈现逐渐减小的趋势,且在 $x < 0.02$ 时, $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷的 d_{33} 要大于纯 BaTiO_3 陶瓷^[25]。在 $x=0.005$ 时 d_{33} 最大,值为 238 pC/N,与纯 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3$ 结果相比,在较低温度烧结获得的 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷压电系数降低,造成这种现象可能与低温烧结时陶瓷表面出现的气孔和不均匀结构有关^[9,26,27]。

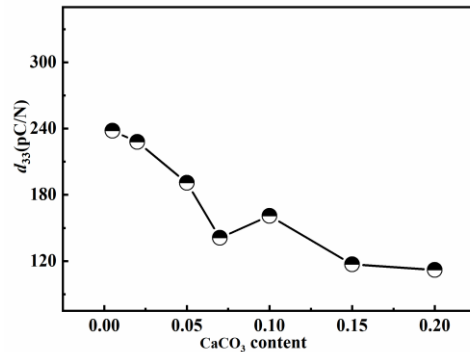


图5 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ ($x=0.005, 0.02, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15, 0.2$) 陶瓷室温 d_{33} 随 CaCO_3 含量变化曲线

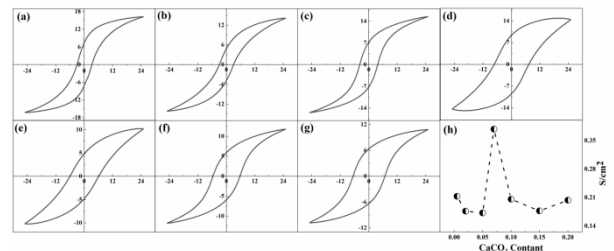


图6 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ (a-g: 0.005、0.02、0.05、0.07、0.1、0.15、0.2) 陶瓷室温电滞回线和电滞回线面积 (h)

压电性和铁电性是铁电材料的重要特征^[28,29]。为了进一步分析掺入 CaCO_3 后对 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷铁电性能的影响,本文对所制备陶瓷进行了室温电滞回线测试,结果如图6(a-g)所示。从图中可以看出:在室温条件下所有陶瓷都具有铁电电滞回线的特征,即在室温情况下都处于铁电相。铁电陶瓷的能量损耗,可以通过测量极化轴和电场轴之间的面积(电滞回线面积)来描述^[30]。利用图6(a-g)可得电滞回线面积变化图(图6(h)),发现当 $x \leq 0.07$ 时,电滞回线的面积呈整体上升趋势, $x=0.07$ 时,面积达到最大值 (0.38cm^2),铁电电滞回线的面积越大对应的样品介电损耗越大,这与上面陶瓷样品的室温介电损耗测试结果(图4)基本吻合。

从图6中提取出 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷的剩余极化强度 (P_r) 和矫顽场 (E_c) 得到了图7,当 $x < 0.07$ 时 $2P_r$ 和 $2E_c$ 呈先减小后增大的趋势,在 $x=0.07$ 时, $2P_r$ 和 $2E_c$ 达到最大,其值分别为 $18.6\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 和 $14.5\text{kV}/\text{cm}$; 随后呈先减小后增大的变化,这与 d_{33} 测试结果相似,随

着 CaCO_3 掺杂量的增加, 样品的 d33 均在逐渐较小。这可能是因为对于掺入 CaCO_3 的 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3$ 体系, 在低温烧结时不易形成致密的陶瓷, 从而降低了陶瓷样品的压电、铁电性能^[31,32]。

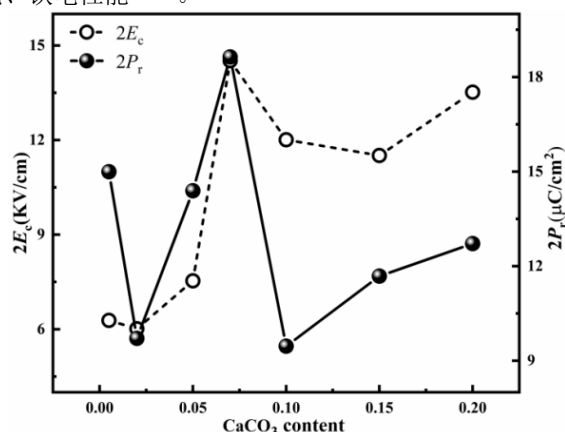


图7 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ ($x=0.005$ 、 0.02 、 0.05 、 0.07 、 0.1 、 0.15 、 0.2) 陶瓷的 E_c 和 P_r 随 CaCO_3 含量变化曲线

4 结论

本文采用传统的固相反应法, 在不同 CaCO_3 掺杂量 ($x=0.005$ 、 0.02 、 0.05 、 0.07 、 0.1 、 0.15 、 0.2) 下制备了 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3$ 陶瓷, 通过对比不同浓度下陶瓷样品的微观结构、表面形貌, 和宏观介电、铁电、压电性能发现: 所有 $\text{BaHf}_{0.02}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3+x\text{CaCO}_3$ 陶瓷样品都呈现出钙钛矿结构的特征衍射峰, 晶面间距随 CaCO_3 掺杂量增加而减小, 室温相组成中 T 相增强; 陶瓷晶粒尺寸随 CaCO_3 掺杂量增加存在波动, 且当 $x=0.05$ 时陶瓷样品的平均晶粒尺寸达到最小约为 $1.55\mu\text{m}$; 陶瓷居里温度随 CaCO_3 掺杂量的增加略有升高, 而 R-O 相和 O-T 相转变温度降低; 所有陶瓷在室温表现出铁电体的特征, 剩余极化强度 P_r 、矫顽电场 E_c 变化趋势相似, 在 $x=0.07$ 时最大 $2P_r=18.6\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 和 $2E_c=14.5\text{KV}/\text{cm}$; 陶瓷 d33 随 CaCO_3 掺杂量的增加呈现先减小后增大再减小的趋势, 在 $x=0.005$ 时 d33 最大, 值为 $238\text{pC}/\text{N}$ 。

基金项目: 本工作获得新疆维吾尔自治区自然科学基金 (2024D01C48) 和新疆凝聚态相变与微结构实验室开放课题 (XJDX0912Z2501) 的资助。

[参考文献]

[1] Jaffe B, Cook W R, Jaffe H L C. Piezoelectric Ceramic[M]. Academic:Piezoelectric Ceramic,1971.
 [2] 殷声. 现代陶瓷及其应用[M]. 北京:北京科学技术出版社,1990.
 [3] Zhang C, Haoliang L I, Chun W, et al. Structure, relaxation behavior and dielectric properties of HfO_2 modified $\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3$ ceramics synthesized by liquid phase coating method[J]. Materials Science

and Engineering: B,2024(1):117187.

[4] Elorika P, Anwar S, Anwar S. Impact of synthesis-induced disorder on the structural, electrical, and optical properties of $\text{BaTi}_{1-x}\text{HfxO}_3$, $0 \leq x \leq 0.08$ [J]. Materials Research Bulletin,2023(167):112424.
 [5] Ramdasi O A, Kadhane P S, Kolekar Y D, et al. Nonlinearities in ferroelectric, piezoelectric, and dielectric behavior of Hf incorporated BaTiO_3 nontoxic electroceramics[J]. Journal of Materials Science: Materials in Electronics,2020(31):18803-18815.
 [6] Fu C, Liang J, Cai W, et al. The electronic structure of Hf-doped barium titanate[J].Ferroelectrics,2012,432(1):1-7.
 [7] Chen J, Fu C, Cai W, et al. Microstructures, dielectric and ferroelectric properties of $\text{BaHfxTi}_{1-x}\text{O}_3$ ceramics[J]. Journal of alloys and compounds,2012,544(2):82-86.
 [8] Kalyani A K, Brajesh K, Senyshyn A, et al. Orthorhombic-tetragonal phase coexistence and enhanced piezo-response at room temperature in Zr, Sn, and Hf modified BaTiO_3 [J]. Applied Physics Letters,2014,104(25):252906.
 [9] Yin H, Xu W, Zhou H, et al. Effects of phase composition and grain size on the piezoelectric properties of HfO_2 -doped barium titanate ceramics[J]. Journal of Materials Science,2019,54(19):12392-12400.
 [10] 李雄伟,尹红梅,周恒为,等. 钽钛酸钡陶瓷制备及其压电性能的微观机制研究 [J]. 电子元件与材料,2024,43(3):277-283.
 [11] Feliksik K, Makowska J, Bartkowska J A, et al. Dielectric, Electric, and Pyroelectric Properties of $\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x\text{TiO}_3$ Ceramics[J]. Materials,2024,17(24):6040.
 [12] Zhao C, Wang H, Xiong J, et al. Composition-driven phase boundary and electrical properties in $(\text{Ba}_{0.94}\text{Ca}_{0.06})(\text{Ti}_{1-x}\text{M}_x)\text{O}_3$ ($\text{M}=\text{Sn}, \text{Hf}, \text{Zr}$) lead-free ceramics[J]. Dalton Transactions,2016,45(15):6466-6480.
 [13] Wang Z, Li W, Chu R, et al. Structure and piezoelectric properties of $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)(\text{Ti}_{0.95}\text{Hf}_{0.05})\text{O}_3$ lead-free ceramics[J].Materials Research Bulletin,2018(97):334-342.
 [14] Wang D, Jiang Z, Yang B, et al. Phase transition behavior and high piezoelectric properties in

lead-free $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-BaHfO}_3$ ceramics[J]. Journal of Materials Science, 2014, 49(1): 62-69.

[15] Zhou C. Triple-point-type morphotropic phase boundary based large piezoelectric Pb-free material — $\text{Ba}(\text{Ti}_{0.8}\text{Hf}_{0.2})\text{O}_3\text{-(Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$ [J]. Applied Physics Letters, 2012, 100(22): 257.

[16] Tojo T, Sugiura Y, Oshida N, et al. Electrochemical Behavior of Calcium Ions on Prussian Blue Analogue Electrodes[J]. Nature materials, 2016(1): 99-100.

[17] Wang X, Yamada H, Xu C. Large electrostriction near the solubility limit in $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3$ ceramics[J]. Applied Physics Letters, 2005, 86(2): 1804.

[18] Zhang L, Wang X, Yang W, et al. Structure and relaxor behavior of $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-SrTiO}_3$ ternary system ceramics[J]. Journal of Applied Physics, 2008, 104(1): 1354.

[19] Tang B, Zhang S, Zhou, et al. Preparation and modification of high Cur Xie point BaTiO_3 -based X9R ceramics[J]. Journal of electroceramics, 2010, 25(1): 93-97.

[20] Zhu L F, Zhang B P, Zhao L, et al. High piezoelectricity of $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-BaSnO}_3$ lead-free ceramics[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2014, 2(24): 4764-4771.

[21] Tian Y, Chao X, Jin L, et al. Polymorphic structure evolution and large piezoelectric response of lead-free $(\text{Ba,Ca})(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ ceramics[J]. Applied Physics Letters, 2014, 104(11): 84-89.

[22] 许明浩, 花开慧, 曾群, 等. 钛酸钡与铌酸钾钠无铅压电陶瓷研究进展[J]. 硅酸盐通报, 2024, 43(2): 649-658.

[23] Begg B D, Vance E R, Nowotny J. Effect of particle size on the room - temperature crystal

structure of barium titanate[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1994, 77(12): 3186-3192.

[24] 黄咏安, 路标, 邹艺轩, 等. 晶粒尺寸对细晶钛酸钡陶瓷介电、压电和铁电性能的影响[J]. 无机材料学报, 2018, 33(7): 767-772.

[25] Jaffe H, Berlincourt D A. Piezoelectric transducer materials[J]. Proceedings of the IEEE, 1965, 53(10): 1372-1386.

[26] Wang P, Li Y, Lu Y. Enhanced piezoelectric properties of $(\text{Ba}_{0.85}\text{Ca}_{0.15})(\text{Ti}_{0.9}\text{Zr}_{0.1})\text{O}_3$ lead-free ceramics by optimizing calcination and sintering temperature[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2011, 31(11): 2005-2012.

[27] Wang D, Jiang Z, Yang B, et al. Phase Diagram and Enhanced Piezoelectric Response of Lead-Free $\text{BaTiO}_3\text{-CaTiO}_3\text{-BaHfO}_3$ System[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2014, 97(10): 3244-3251.

[28] 钟维烈. 铁电体物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

[29] 三井利夫. 铁电物理学导论[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

[30] Hao X, Zhai J, Yao X. Improved energy storage performance and fatigue endurance of Sr-doped PbZrO_3 antiferroelectric thin films[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2009, 92(5): 1133-1135.

[31] Yin Q, Zhu B, Zeng H. Microstructure, property and processing of functional ceramics[M]. Beijing: Springer Science & Business Media, 2010.

[32] Tian H Y, Wang Y, Miao J, et al. Preparation and characterization of hafnium doped barium titanate ceramics[J]. Journal of alloys and compounds, 2007, 431(1): 197-202.

作者简介: 田兴国, 研究生, 主要从事无铅压电陶瓷的研究; 尹红梅*, 副教授, 博士, 主要从事无铅压电陶瓷的研究。

生态环境工程与可持续发展战略的融合路径

王 杰 周丽丽 王云龙

山东盛泽生态环境工程有限公司, 山东 临沂 276000

[摘要]随着全球工业化和城市化进程的加速,生态环境问题日益严峻,已成为威胁人类生存和发展的重大挑战。气候变化是当前最紧迫的环境问题之一,其主要表现为全球气温上升、冰川融化、海平面上升以及极端气候事件频发等。根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的报告,自工业革命以来,全球平均气温已经上升了约 1.1℃,如果不采取有效措施,到本世纪末,全球平均气温可能会上升 3℃~5℃,这将导致海平面大幅上升,许多沿海地区将被淹没,同时,极端气候事件如暴雨、干旱、飓风等的频率和强度也将增加,对农业、水资源和人类健康造成严重影响。这些生态环境问题相互关联、相互影响,形成了一个复杂的生态环境危机。它们不仅对自然生态系统造成了严重破坏,也给人类社会带来了巨大的经济损失和社会问题。因此,解决生态环境问题已刻不容缓,需要全球各国共同努力,采取有效的措施来保护和改善生态环境。

[关键词]环境工程; 可持续发展; 生态环境

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15899

中图分类号: X17

文献标识码: A

The Integration Path of Ecological Environment Engineering and Sustainable Development Strategy

WANG Jie, ZHOU Lili, WANG Yunlong

Shandong Shengze Ecological Environment Engineering Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract: With the acceleration of global industrialization and urbanization, ecological environment problems are becoming increasingly severe and have become a major challenge threatening human survival and development. Climate change is one of the most pressing environmental issues currently, characterized by rising global temperatures, melting glaciers, rising sea levels, and frequent extreme weather events. According to the report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the United Nations, the global average temperature has risen by about 1.1 °C since the industrial revolution. If effective measures are not taken, the global average temperature may rise by 3 °C~5 °C by the end of this century, which will lead to a sharp rise in the sea level, and many coastal areas will be flooded. At the same time, the frequency and intensity of extreme weather events such as rainstorm, drought, hurricane, etc. will also increase, causing serious impacts on agriculture, water resources and human health. These ecological and environmental issues are interrelated and affect each other, forming a complex ecological and environmental crisis. They not only cause serious damage to natural ecosystems, but also bring huge economic losses and social problems to human society. Therefore, solving ecological environment problems is urgent and requires joint efforts from countries around the world to take effective measures to protect and improve the ecological environment.

Keywords: environmental engineering; sustainable development; ecological environment

1 生态环境工程概述

生态环境工程是一门综合性的学科,它融合了环境科学、生态学、工程学等多学科的理论和方法,旨在解决生态环境问题,保护和改善生态环境质量,实现人与自然的和谐共生。

从定义上看,生态环境工程是运用工程技术手段,对生态环境系统进行设计、规划、建设、管理和修复,以达到生态系统的平衡、稳定和可持续发展的目的。它不仅关注环境污染的治理和控制,更强调生态系统的保护和恢复,以及资源的合理利用和循环利用。在水污染治理中,生态环境工程不仅采用传统的物理、化学和生物处理方法,还注重利用生态系统的自净能力,如建设人工湿地、生态浮岛等,实现水资源的净化和生态系统的修复。

生态环境工程的研究范围广泛,涵盖了多个领域。在

水污染防治方面,包括饮用水水源地保护、污水处理、工业废水处理、水体生态修复等。通过采用先进的水处理技术和生态工程方法,去除水中的污染物,提高水质,保护水生生态系统的健康。在大气污染防治领域,涉及工业废气处理、机动车尾气净化、城市扬尘控制等。研发和应用高效的大气污染治理技术,如脱硫、脱硝、除尘、挥发性有机物治理等,减少大气污染物的排放,改善空气质量。

固体废物处理与处置也是生态环境工程的重要研究内容,包括城市生活垃圾处理、工业固体废物处理、危险废物处理等。通过推广垃圾分类、资源回收利用、无害化处理等措施,实现固体废物的减量化、资源化和无害化。在生态保护与修复方面,涵盖了森林生态系统保护、草原生态系统保护、湿地生态系统保护、海洋生态系统保护以及矿山生态修复、土地沙漠化治理等。通过实施生态保护

工程和生态修复技术,保护生物多样性,恢复受损生态系统的功能和结构。

2 融合过程中面临的挑战与障碍

2.1 技术层面的难题

2.1.1 现有技术的局限性

在水污染治理方面,传统的物理、化学和生物处理技术虽然在一定程度上能够去除水中的污染物,但存在着诸多局限性。物理处理方法如沉淀、过滤等,主要去除水中的悬浮颗粒物,对于溶解性污染物的去除效果有限。化学处理方法如混凝、中和、氧化还原等,虽然能够有效去除某些特定的污染物,但往往会产生二次污染,如化学药剂的残留可能会对水体生态系统造成损害。生物处理方法如活性污泥法、生物膜法等,是利用微生物的代谢作用来分解水中的有机物,但该方法对水质和水量的变化较为敏感,处理效果不稳定。当进水水质中有机物浓度过高或过低时,微生物的生长和代谢会受到影响,从而导致处理效果下降。生物处理方法还存在占地面积大、处理时间长等问题,难以满足日益增长的污水处理需求。

在大气污染治理方面,现有的脱硫、脱硝、除尘等技术也存在一定的局限性。传统的脱硫技术如石灰石-石膏法,虽然脱硫效率较高,但存在设备庞大、投资成本高、运行费用大等问题,且产生的脱硫石膏难以有效处置,容易造成二次污染。脱硝技术如选择性催化还原法(SCR)和选择性非催化还原法(SNCR),在实际应用中存在催化剂易中毒、脱硝效率受温度影响较大等问题。除尘技术如静电除尘和布袋除尘,对于细微颗粒物的去除效果有限,且设备维护成本较高。这些技术对于挥发性有机物(VOCs)、重金属等污染物的治理能力相对较弱,难以满足日益严格的大气污染排放标准。

在土壤修复方面,现有的修复技术同样面临着诸多挑战。物理修复技术如客土法、热脱附法等,虽然能够快速有效地去除土壤中的污染物,但往往需要消耗大量的能源和资源,且对土壤结构和肥力会造成一定的破坏。化学修复技术如淋洗法、化学氧化法等,虽然能够在较短时间内降低土壤中污染物的浓度,但化学药剂的使用可能会对土壤微生物和生态系统造成负面影响,且存在二次污染的风险。生物修复技术如植物修复、微生物修复等,虽然具有环境友好、成本较低等优点,但修复周期长,受土壤性质、气候条件等因素的影响较大,修复效果不稳定。对于一些复合污染的土壤,现有的修复技术往往难以达到理想的修复效果。

2.1.2 新技术研发与应用的瓶颈

新技术研发面临着诸多困难,主要包括研发成本高、技术难度大、研发周期长等问题。生态环境工程领域的新技术研发需要大量的资金投入,用于科研设备购置、实验材料采购、科研人员薪酬等方面。研发过程中还存在着技

术风险,许多新技术在实验室阶段表现出良好的性能,但在实际应用中可能会遇到各种问题,导致研发失败。研发周期长也是一个重要问题,从新技术的概念提出到最终应用,往往需要数年甚至数十年的时间,这使得新技术的研发难以满足快速变化的市场需求。

在新技术应用过程中,也存在着诸多障碍。新技术的成本往往较高,这使得许多企业和地方政府难以承受。一些新型的污水处理技术,虽然处理效果好,但设备投资和运行成本高昂,限制了其在实际中的应用。新技术的适应性也是一个关键问题,不同地区的生态环境条件和污染状况存在差异,新技术需要经过大量的实验和调试,才能适应不同的应用场景。许多企业和地方政府对新技术的认识和了解不足,缺乏应用新技术的经验和能力,也制约了新技术的推广和应用。一些企业担心新技术的稳定性和可靠性,不愿意承担应用新技术的风险,导致新技术难以在实际工程中得到应用。

2.2 经济因素的制约

2.2.1 资金投入不足与分配不均

生态环境工程建设和可持续发展项目通常需要大量的资金投入,然而,目前普遍存在资金投入不足的问题。在一些发展中国家,由于经济发展水平相对较低,财政收入有限,对生态环境工程和可持续发展项目的资金支持力度不足。许多污水处理厂、垃圾处理设施等生态环境工程建设项目因资金短缺而无法按时完工或投入使用,导致环境污染问题得不到及时有效的解决。

即使在一些发达国家,虽然总体资金投入相对较多,但在不同地区和项目之间也存在资金分配不均的问题。一些经济发达地区能够获得更多的资金支持,用于生态环境工程建设和可持续发展项目,而经济欠发达地区则面临资金短缺的困境。一些大城市在生态环境建设方面投入了大量资金,建设了现代化的污水处理厂、垃圾焚烧发电厂等设施,而一些中小城市和农村地区则因资金不足,生态环境基础设施建设滞后,环境污染问题较为严重。

2.2.2 成本效益平衡的困境

生态环境工程和可持续发展项目在成本效益平衡方面面临着诸多困难。许多生态环境工程建设项目的前期投资成本较高,包括设备购置、工程建设、技术研发等方面的费用。一些污水处理厂的建设需要投入大量资金购买先进的污水处理设备,建设复杂的处理工艺,这使得项目的初始投资成本巨大。而这些项目的经济效益往往在短期内难以显现,需要经过较长时间的运营和发展才能逐步体现。污水处理厂的运营需要消耗大量的能源和化学药剂,且处理后的污水排放收益相对较低,导致项目在短期内难以实现盈利。

生态环境工程和可持续发展项目还存在着外部性问题,即项目的实施对社会和环境产生的影响无法完全通过

市场价格反映出来。一些生态保护项目，如自然保护区的建设和维护，虽然对生态环境和生物多样性保护具有重要意义，但由于其生态效益和社会效益无法直接转化为经济效益，导致项目的收益难以准确衡量。而这些项目的成本却需要由社会或政府承担，使得成本效益平衡更加困难。一些自然保护区的建设需要投入大量资金进行生态保护和管理，但由于无法直接获得经济收益，导致资金投入面临压力。

3 促进融合的有效路径与策略

3.1 技术创新与升级

3.1.1 加大科研投入，突破关键技术瓶颈

加大科研投入是推动生态环境工程与可持续发展战略融合的关键举措。政府应充分认识到生态环境问题的紧迫性和严重性，将生态环境科研纳入国家战略层面，制定长期稳定的科研投入计划，确保科研资金的持续增长。设立专项科研基金，鼓励高校、科研机构和企业开展生态环境领域的前沿研究和关键技术攻关。通过政府引导和财政支持，吸引社会资本参与生态环境科研，形成多元化的科研投入机制。

鼓励高校和企业建立紧密的合作关系，搭建产学研合作平台，共同开展生态环境工程关键技术的研发。高校拥有丰富的科研资源和专业人才，能够提供理论支持和技术创新的源泉；企业则具有实践经验和市场需求，能够将科研成果转化为实际生产力。通过产学研合作，实现优势互补，加速技术创新的进程。高校和企业可以共同承担科研项目，共享科研成果，推动科研成果的快速转化和应用。高校还可以为企业提供技术咨询和培训服务，帮助企业提升技术水平和创新能力。

在具体的关键技术领域，应集中力量突破水污染治理、大气污染治理和土壤修复等方面的技术瓶颈。在水污染治理方面，加强对高浓度、难降解有机废水处理技术的研究，研发新型的生物处理技术、膜分离技术和高级氧化技术等，提高废水处理效率和水质净化效果。通过基因工程技术培育具有高效降解能力的微生物菌株，应用于废水处理过程中，实现对难降解有机物的有效去除。加大对大气污染治理技术的研发投入，重点攻克挥发性有机物（VOCs）、细颗粒物（PM_{2.5}）等污染物的治理技术。研发新型的吸附材料、催化氧化技术和生物净化技术，提高大气污染物的去除效率和资源化利用水平。在土壤修复领域，加强对重金属污染和有机污染土壤修复技术的研究，开发物理、化学和生物联合修复技术，提高土壤修复的效果和可持续性。利用植物修复技术，筛选和培育对重金属具有高富集能力的植物品种，通过植物吸收和积累作用，降低土壤中重金属的含量。

3.1.2 推广应用先进适用技术

推广应用先进适用技术是实现生态环境工程与可持续发展战略融合的重要手段。建立技术示范基地是推广先

进适用技术的有效方式之一。政府和相关部门应在不同地区和行业建立生态环境工程技术示范基地，展示和推广先进适用的技术和设备。通过示范基地的建设，为企业和社会提供学习和借鉴的平台，促进先进技术的广泛应用。在示范基地中，展示新型的污水处理设备、大气污染治理技术和土壤修复技术等，让企业和社会直观地了解这些技术的优势和应用效果。

加强技术培训和交流，提高相关人员的技术水平 and 应用能力。组织专业的技术培训课程，邀请行业专家和技术骨干为企业和从业人员提供技术培训，传授先进适用技术的原理、操作方法和维护要点。定期举办技术交流活动，促进企业之间、科研机构之间以及企业与科研机构之间的技术交流与合作，分享技术创新成果和实践经验。通过技术培训和交流，提高从业人员的技术水平 and 应用能力，为先进适用技术的推广应用提供人才支持。

完善技术推广服务体系，为企业和社会提供全方位的技术支持和服务。建立技术推广服务平台，整合技术信息、市场需求和政策支持等资源，为企业提供技术咨询、技术评估、技术转让等服务。加强技术标准和规范的制定，为先进适用技术的推广应用提供标准化的指导。通过完善技术推广服务体系，降低企业应用先进技术的成本和风险，提高技术推广的效率和效果。

3.2 完善经济支持体系

3.2.1 多元化资金筹集渠道

拓宽资金筹集渠道是解决生态环境工程与可持续发展项目资金短缺问题的关键。政府应加大对生态环境工程和可持续发展项目的财政投入，设立专项基金，用于支持重点项目的建设和运营。加大对污水处理厂、垃圾焚烧发电厂等基础设施建设的投入，提高生态环境治理能力。政府还应制定相关政策，引导社会资本参与生态环境工程和可持续发展项目。通过政府和社会资本合作（PPP）模式，吸引企业投资建设生态环境项目，实现政府与企业的优势互补，共同推动生态环境工程的发展。在城市污水处理项目中，政府可以与企业合作，由企业负责项目的投资、建设和运营，政府则提供政策支持和监管保障。

绿色金融在生态环境工程与可持续发展战略融合中具有重要作用。政府应鼓励金融机构创新绿色金融产品和服务，为生态环境项目提供多元化的融资渠道。发展绿色信贷，加大对环保企业和项目的信贷支持力度，降低企业融资成本。推出绿色债券，为生态环境项目筹集资金，拓宽融资渠道。建立绿色保险制度，为生态环境项目提供风险保障，降低项目风险。政府还可以通过设立绿色产业基金、风险投资基金等方式，引导社会资本投向生态环境领域，促进生态环境产业的发展。

3.2.2 优化成本效益管理

优化成本效益管理是提高生态环境工程与可持续发

展项目经济效益的重要手段。制定合理的收费政策,能够确保生态环境项目的运营成本得到合理补偿,同时也能够引导公众和企业更加重视生态环境保护。在污水处理领域,实行污水处理收费制度,根据污水排放量和处理难度等因素,合理确定收费标准,确保污水处理厂能够正常运营。在垃圾处理方面,推行垃圾分类和垃圾处理收费制度,鼓励居民和企业减少垃圾产生,提高垃圾处理效率。

开展环境经济核算,能够全面评估生态环境项目的经济效益和环境效益,为项目决策提供科学依据。通过环境经济核算,可以量化生态环境项目对经济增长、就业、资源利用和环境保护等方面的影响,从而更好地权衡项目的成本和效益。在生态修复项目中,运用环境经济核算方法,评估项目对生态系统服务功能的提升价值,以及对当地经济发展和社会福利的贡献,为项目的实施和管理提供决策支持。

4 结语

可持续发展战略的重要性不言而喻。它是解决当前全球生态环境问题的必然选择,通过实现经济、社会 and 环境的协调发展,可以减少对自然资源的过度依赖和消耗,降

低环境污染和生态破坏的程度,保护生物多样性,维护生态系统的稳定和健康。可持续发展战略也是促进人类社会长期繁荣和进步的重要保障,它可以创造更多的就业机会,提高人民的生活水平,促进社会公平和正义,推动人类文明的不断发展。可持续发展战略还具有全球意义,它要求各国共同承担责任,加强国际合作,共同应对全球性的环境挑战,实现全球的可持续发展。

[参考文献]

- [1]王秋明. 环境工程与可持续发展路径研究[J]. 城市建设理论研究:电子版,2016(17):4.
 - [2]左文辉,秦川. 生态环境工程建设在城市持续发展中的安生环保管理探讨[J]. 中国科技期刊数据库工业A,2023(11):50
 - [3]刘晓满. 环境工程建设在生态城市中的应用分析[J]. 电脑爱好者(普及版)(电子刊),2023(5):1524-1525.
- 作者简介:王杰(1989.1—),男,学历:本科,毕业院校:临沂大学,所学专业:环境工程,目前职称:中级工程师。

水环境监测常见的问题及其应对措施探讨

衣英杰 孙小淋

烟台市栖霞环境监控中心, 山东 烟台 265300

[摘要]水是生命之源,是人类生存和发展不可或缺的基本物质。水环境的质量直接关系到人类的健康、经济的可持续发展以及生态系统的平衡与稳定。然而,随着全球工业化、城市化进程的加速,人类活动对水环境的影响日益显著,水污染问题愈发严峻,给生态环境和人类社会带来了巨大挑战。因此研究水环境监测常见的问题及其应对措施,可以促进监测技术的创新和发展,推动监测设备的更新换代,完善监测管理体制和运行机制,提高监测人员的专业素质和业务能力,从而提升整个水环境监测行业的竞争力和服务水平,为水环境保护事业提供更有力的技术支持和保障。

[关键词]水环境; 监测; 问题

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15894

中图分类号: X832

文献标识码: A

Discussion on Common Problems and Countermeasures in Water Environment Monitoring

YI Yingjie, SUN Xiaolin

Yantai Qixia Environmental Monitoring Center, Yantai, Shandong, 265300, China

Abstract: Water is the source of life and an essential material for human survival and development. The quality of water environment is directly related to human health, sustainable economic development, and the balance and stability of ecosystems. However, with the acceleration of global industrialization and urbanization, the impact of human activities on the water environment is becoming increasingly significant, and the problem of water pollution is becoming more severe, posing enormous challenges to the ecological environment and human society. Therefore, studying the common problems and countermeasures in water environment monitoring can promote innovation and development of monitoring technology, drive the upgrading of monitoring equipment, improve monitoring management system and operation mechanism, enhance the professional quality and business ability of monitoring personnel, thereby improving the competitiveness and service level of the entire water environment monitoring industry, and providing stronger technical support and guarantee for water environment protection.

Keywords: water environment; monitoring; problems

1 水环境监测常见问题

1.1 监测技术层面问题

1.1.1 技术落后与局限性

在水环境监测领域,传统监测技术的局限性日益凸显,尤其是在检测微量污染物方面,面临着严峻挑战。传统监测技术的局限性对监测结果的准确性和可靠性产生了严重影响。在环境监测中,准确把握微量污染物的浓度对于评估水体污染程度、制定合理的污染治理措施至关重要。然而,由于传统技术的不足,可能会导致对微量污染物的漏检或误判,从而低估水体的污染程度。这将使得相关部门无法及时采取有效的治理措施,导致水污染问题进一步恶化,对生态环境和人类健康造成更大的威胁。在一些饮用水源地的监测中,如果未能准确检测出微量的重金属污染物,可能会导致居民长期饮用受污染的水,引发各种健康问题,如重金属中毒、癌症等。传统监测技术的局限性还会影响环境政策的制定和执行,使得政策的针对性和有效性大打折扣,无法实现对水环境的有效保护和治理。

1.1.2 新技术应用困难

成本问题是新技术应用的一大瓶颈。以物联网技术为

例,构建一个完整的水环境监测物联网系统,需要大量的传感器设备、数据传输设备以及数据存储和处理平台。传感器的购置成本较高,尤其是一些高精度、高可靠性的传感器,价格更为昂贵。为了实现水体中多种参数的全面监测,需要在不同位置部署大量的传感器,这无疑增加了设备购置的成本。数据传输设备的建设和维护也需要投入大量资金,包括通信基站的建设、网络带宽的租赁等。此外,数据存储和处理平台的搭建同样需要高额的费用,需要配备高性能的服务器、专业的数据管理软件以及专业的技术人员进行维护。这些成本对于一些经济实力较弱的地区或监测机构来说,是难以承受的,严重制约了物联网技术在水环境监测中的广泛应用。

人才短缺也是新技术应用的一大障碍。人工智能技术在水环境监测中的应用,需要专业的数据分析和算法开发人才。这些人才不仅要具备扎实的数学、统计学基础,还要熟悉水环境监测的相关知识和业务流程。然而,目前这类复合型人才较为匮乏,难以满足实际需求。

数据安全和隐私保护问题也给新技术应用带来了挑战。在物联网和人工智能技术的应用中,大量的水环境监

测数据需要进行传输、存储和分析,这些数据包含了丰富的水环境信息,涉及到公共安全和个人隐私。如果数据安全措施不到位,数据可能会被泄露、篡改或滥用,给环境管理和公众利益带来严重影响。一些不法分子可能会窃取水环境监测数据,用于非法目的,如恶意破坏水环境、制造环境恐慌等;数据被篡改后,可能会导致监测结果失真,影响环境决策的科学性。因此,如何保障数据的安全和隐私,是新技术应用过程中亟待解决的问题。

1.2 监测管理层面问题

1.2.1 监测体系不完善

水环境监测体系中存在的部门职责不清问题,严重影响了监测工作的有序开展和协同推进。在实际工作中,生态环境部、水利部、农业农村部等多个部门都承担着水环境监测的相关职责,但由于缺乏明确统一的职责划分标准和协调机制,导致各部门之间在监测工作中常常出现推诿扯皮、重复监测或监测空白等现象。在一些跨流域的水环境监测项目中,生态环境部和水利部对于监测责任的归属存在争议,生态环境部认为其主要负责环境质量监测,而水利部则认为自己主要负责水资源监测,双方在监测范围、监测指标和监测频率等方面存在分歧,导致监测工作无法顺利进行,监测数据的完整性和一致性也难以保证。这种职责不清的情况不仅造成了资源的浪费,还降低了监测工作的效率和质量,使得对水环境的全面、准确监测受到阻碍。

监测网络覆盖不足也是监测体系中存在的突出问题。目前,我国水环境监测网络在空间分布上存在明显的不均衡性,在经济发达地区和人口密集区域,监测站点相对较多,能够较为全面地掌握当地的水环境质量状况;然而,在一些偏远地区、农村地区以及生态脆弱地区,监测站点数量严重不足。在一些山区,由于地形复杂、交通不便,监测站点的建设和维护难度较大,导致监测站点稀疏,难以对山区的河流、湖泊等水体进行有效的监测。这使得这些地区的水环境监测存在大量盲区,无法及时发现水质变化和污染问题,为水环境保护和治理带来了极大的困难。一些偏远地区的河流受到工业废水和生活污水的污染,但由于监测网络覆盖不到,污染问题长期得不到及时发现和处理,导致生态环境遭到严重破坏。

1.2.2 数据管理混乱

在水环境监测中,数据准确性方面存在的问题严重影响了监测结果的可靠性和决策的科学性。部分监测人员在采样、分析等环节操作不规范,从而导致数据误差较大。在采样过程中,若采样人员未按照规定的采样方法和要求进行操作,可能会采集到不具有代表性的水样,使得后续的分析结果无法真实反映水体的实际情况。采样时未充分考虑水体的流速、深度、水温等因素,导致采样点的选择不合理,采集的水样不能代表整个水体的水质状况。在分

析环节,若分析人员对仪器设备的操作不熟练,或未按照标准的分析方法进行实验,也会引入误差。在使用原子吸收光谱仪测定重金属含量时,若仪器的校准不准确,或样品的前处理不当,都会导致测定结果出现偏差。此外,监测设备的故障、老化以及维护不及时等问题,也会影响数据的准确性。一些老旧的监测设备精度下降,稳定性变差,容易出现数据波动或错误,从而影响监测数据的质量。

1.3 专业素质不高

在水环境监测中,监测人员的专业素质对监测工作的质量和效率起着关键作用。然而,目前部分监测人员在专业知识和技能方面存在不足,这给监测工作带来了诸多不利影响。一些监测人员对监测指标的含义和重要性理解不够深入,在实际操作中容易出现偏差。在测定化学需氧量(COD)时,由于对COD的概念和测定原理解理解不透彻,可能会错误地选择测定方法或操作不当,导致测定结果不准确。一些监测人员可能不清楚COD反映的是水体中还原性物质的含量,与水体的有机污染程度密切相关,从而在分析结果时无法准确判断水体的污染状况,无法为后续的污染治理提供可靠依据。

专业素质不高的监测人员在数据分析和处理方面也存在困难。他们可能缺乏必要的统计学知识和数据分析能力,无法对监测数据进行有效的分析和解读。在面对大量的监测数据时,不能运用合适的统计方法进行数据处理,如计算平均值、标准差、相关性分析等,无法准确把握水质的变化趋势和规律。在绘制水质变化曲线时,由于对数据的处理不当,可能会导致曲线失真,无法真实反映水质的实际情况,从而影响对水环境质量的评估和决策。

2 应对措施探讨

2.1 技术创新与升级

2.1.1 研发新型监测技术

在水环境监测技术的创新征程中,纳米技术以其独特的优势成为研发的关键方向之一。纳米材料由于其极小的尺寸和高比表面积,展现出卓越的性能。例如,纳米级的金属氧化物和碳基材料,如氧化锌、碳纳米管和石墨烯等,能够凭借其高比表面积提供更多的吸附位点和反应中心,从而增强对污染物的捕获和检测能力。在检测水中的重金属离子时,纳米材料可以通过表面的官能团与重金属离子发生特异性结合,实现对重金属离子的高效吸附和富集,大大提高检测的灵敏度。中国科学院合肥物质科学研究院的科研团队研发出一种基于纳米材料的重金属离子检测传感器,该传感器利用纳米金颗粒对重金属离子的特异性吸附作用,结合表面增强拉曼光谱技术,能够实现对水中铅、汞、镉等多种重金属离子的快速、灵敏检测,检测限可达纳克级,为水环境中重金属污染的监测提供了新的技术手段。

生物传感器技术也是新型监测技术研发的重点领域。

生物传感器利用生物分子识别技术,通过与目标物质相互作用来检测其存在和浓度,具有高灵敏度、高选择性和快速响应等优点。它通常包含一个生物识别元件,如酶、抗体、核酸等,以及一个信号转换器,如电化学、光学或机械传感器,用于检测目标物质的变化并转换为可读的信号。在检测水中的有机污染物时,基于酶的生物传感器能够利用酶对特定有机污染物的催化作用,将有机污染物的浓度变化转化为电信号或光信号,实现对有机污染物的快速检测。江南大学的研究人员开发出一种基于酶生物传感器的水质监测系统,该系统能够实时监测水中的酚类、农药等有机污染物,具有响应速度快、检测精度高的特点,可广泛应用于河流、湖泊等水体的在线监测。

2.1.2 加强技术融合与应用

多技术融合在水环境监测中展现出显著的优势,为提高监测准确性和效率开辟了新路径。以物联网与传感器技术的融合为例,通过在水体中部署大量的传感器,如温度传感器、pH 传感器、溶解氧传感器、重金属离子传感器等,实现对水质参数的实时采集。这些传感器与物联网技术相结合,能够将采集到的数据通过无线传输网络实时传输到数据中心,实现数据的远程监测和管理。

人工智能与大数据技术的融合应用,为水环境监测数据的分析和处理带来了革命性的变化。人工智能技术能够对海量的监测数据进行深度学习和分析,挖掘数据背后的规律和趋势,实现对水质变化的精准预测和污染源的快速定位。大数据技术则为人工智能提供了丰富的数据资源,通过对大量历史数据和实时数据的整合和分析,提高人工智能模型的准确性和可靠性。

2.2 管理优化与完善

2.2.1 健全监测体系

明确部门职责需制定清晰的职责划分标准。以生态环境部、水利部、农业农村部在水环境监测中的职责为例:生态环境部全面监测水环境质量,为环保政策提供依据;水利部侧重水资源监测,助力水资源合理利用;农业农村部聚焦农业面源污染监测,减少农业对水环境的污染。此外,要建立协调机制,定期召开联席会议,跨界监测时更需密切合作,共制方案、共享数据。

优化监测网络布局也不容忽视。河流监测需依据长度、流量等因素,在上中下游及支流汇入处合理设点;湖泊监测则要考虑面积、水深等,在湖心、沿岸及不同水深处布点,大湖泊还需分区监测。同时,要强化偏远、农村及生态脆弱地区的监测网络覆盖,利用增设站点、移动设备等手段提升监测能力。如此,才能更精准掌握水环境状况,为水环境保护提供有力支撑。

2.2.2 强化数据管理

强化数据管理是提高水环境监测质量和效率的关键举措,建立数据质量控制机制和数据共享平台是其中的核

心内容。

建立数据质量控制机制需要从多个方面入手。在采样环节,要严格规范采样流程,确保采样人员按照标准方法进行操作。制定详细的采样操作规程,明确采样点的选择原则、采样时间的确定方法、采样器具的使用规范以及样品的保存和运输要求等。采样人员在采样前要对采样器具进行检查和校准,确保其准确性;在采样过程中要记录详细的采样信息,包括采样时间、地点、天气状况、水体特征等,以便后续对数据进行分析 and 验证。在分析环节,要加强对分析仪器的校准和维护,定期对仪器进行检查和调试,确保仪器的性能稳定。建立标准物质定期核查制度,使用标准物质对分析结果进行验证,确保分析结果的准确性。对分析人员进行培训和考核,提高其专业技能和操作水平,减少人为因素对分析结果的影响。通过严格的数据审核,对监测数据进行全面、细致的检查,确保数据的准确性和完整性。建立数据质量追溯体系,对数据的采集、传输、存储和分析等各个环节进行记录,以便在发现数据问题时能够及时追溯原因,采取相应的纠正措施。

2.3 加强专业培训

在监测技术培训方面,应深入讲解各类监测技术的原理、操作方法以及应用场景。对于传统监测技术,如化学法中的原子吸收光谱法(AAS)、分光光度法,以及电化学法中的离子选择电极法等,要详细介绍其工作原理、仪器设备的操作要点、样品前处理方法以及常见问题的解决措施。在原子吸收光谱法的培训中,要让监测人员了解仪器的结构和工作原理,掌握空心阴极灯的选择与维护、原子化器的操作条件优化、波长扫描和背景校正等关键技术,以及如何根据不同的监测项目和样品类型选择合适的分析方法和仪器参数。对于新型监测技术,如纳米技术、生物传感器技术等,要重点介绍其创新点、优势以及在水环境监测中的应用案例,激发监测人员对新技术的兴趣和学习热情。在纳米技术的培训中,讲解纳米材料的特性、制备方法以及在污染物检测和水体净化中的应用原理,通过实际案例分析,让监测人员了解纳米技术在解决实际水环境监测问题中的作用和效果。

数据分析与处理能力的培训也是重点内容。监测人员需要掌握基本的统计学知识,如数据的描述性统计分析,包括均值、中位数、标准差等统计量的计算,以及数据的分布特征分析,能够运用这些知识对监测数据进行初步的整理和分析。要学习数据可视化方法,将监测数据以图表的形式直观地展示出来,便于发现数据中的规律和趋势。掌握数据挖掘和机器学习算法在水环境监测中的应用,如利用多元线性回归分析水质指标与影响因素之间的关系,使用主成分分析对多变量数据进行降维处理,通过聚类分析对水质状况进行分类和评价等。通过实际

案例分析和操作练习,让监测人员熟练掌握这些算法的应用步骤和技巧,能够根据监测数据的特点选择合适的算法进行分析和预测。

3 结语

本研究全面剖析了水环境监测中存在的技术、管理和人员层面的常见问题,并提出了针对性的应对措施。这些应对措施具有综合性和系统性,技术创新为监测提供更先进的手段,管理优化为监测提供良好的制度保障,人员培训与提升为监测提供专业的人才支持,三者相互关联、相互促进,共同推动水环境监测工作的改进和完善。

[参考文献]

- [1]陈丽华.水质环境监测存在的问题及解决对策[J].黑龙江环境通报,2024,37(2):36-38.
 - [2]利小明.水环境监测及水污染防治问题应对措施分析[J].华东纸业,2024,54(6):26.
 - [3]吴琼,徐文灏.水质环境监测存在的问题及路径对策[J].掌研科技,2024(12):241-243.
- 作者简介:衣英杰(1990.7—),男,学历:本科,毕业院校:青岛科技大学,所学专业:环境科学,目前职称:工程师。

大气污染防治技术在环保工程中的应用与优化研究因素分析

陈 可

宿迁市宿城环境应急与信息中心, 江苏 宿迁 223800

[摘要] 随着全球环境污染问题的加剧, 大气污染防治已成为各国环保政策的重要组成部分。特别是在工业化与城镇化过程中, 大气污染严重危害民众健康, 对生态环境构成重大危害。通过对当前技术实施过程中遇到的关键问题及其改进措施进行了探讨, 对各类污染源及其属性进行探讨, 提出了相应的技术优化方案, 展望了大气污染防治技术发展趋势。本篇文章旨在为政府与企业在大气污染防治技术应用方面提供理论支撑与实际操作指南。

[关键词] 大气污染治理; 防治手段; 环保项目; 技术改良; 污染源头

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15913

中图分类号: X5

文献标识码: A

Analysis of Factors Influencing the Application and Optimization of Air Pollution Prevention and Control Technologies in Environmental Protection Engineering

CHEN Ke

Suqian Sucheng Environmental Emergency and Information Center, Suqian, Jiangsu, 223800, China

Abstract: With the intensification of global environmental pollution problems, the prevention and control of air pollution has become an important component of environmental policies in various countries. Especially in the process of industrialization and urbanization, air pollution seriously endangers public health and poses a significant threat to the ecological environment. By exploring the key problems encountered in the current technology implementation process and their improvement measures, various pollution sources and their attributes were discussed, corresponding technical optimization plans were proposed, and the development trend of air pollution prevention and control technology was forecasted. This article aims to provide theoretical support and practical guidance for the government and enterprises in the application of air pollution prevention and control technologies.

Keywords: air pollution control; preventive measures; environmental protection projects; technological improvement; source of pollution

引言

大气污染问题已成为国际环保领域的关键话题之一。随着我国工业化、城镇化进程的加快, 我国大气污染物排放持续上升, 空气质量持续下降, 严重威胁人类健康与生态环境的持续发展。我国大气污染防治工作虽然取得了显著进展, 但随着污染源多样化和排放标准逐步严格, 传统的防治技术面临着诸多挑战。因此, 如何高效运用与改进大气污染防治技术, 增强治理效能, 成为当前环保领域中的核心议题。本文通过对各类防治手段进行评价, 明确我国科技创新的未来趋势, 为大气污染治理提供坚实保障。

1 大气污染防治技术的应用现状

随着大气污染形势日趋严重, 特别是在工业化、城市化快速发展的背景下, 大气污染防治技术研发与运用日益成为环保工作焦点。因此, 采用前沿的大气污染控制技术是提升空气质量的核心途径。近年来, 我国科技水平的持续提升, 众多先进的污染防控技术已广泛运用于各行业, 涵盖工业废气处理、机动车排放管控、城市空气质量提升等领域。大气污染防治技术主要分为源头控制、过程控制和末端治理三大类。源头治理技术源自污染源头, 有效降低或杜绝污染物排放, 此类技术涵盖提升生产流程、优化燃烧环节及采用绿色能源等方面。例如, 在工业制造环节,

运用低氮燃烧技术、催化燃烧技术等可有效降低氮氧化物排放; 关于交通行业的论述, 推广应用新能源汽车及混合动力车型, 关于提升燃油品质的举措, 均能显著减少机动车排放的尾气, 从源头上降低污染物产生^[1]。

过程控制技术依托调整生产流程、强化设备管控等途径, 降低污染物排放量。此类技术广泛用于大气污染较重的工业领域, 钢铁、水泥、化肥等相关企业。采用脱硫、脱氮及除尘等应用技术, 对烟气处理环节进行管控, 消除二氧化硫、氮氧化物及颗粒物含量, 由此降低对空气污染的影响。末端治理技术主要依托设备和设施对已排放污染物实施净化处理。常规末端处理技术涵盖电气除尘、湿法脱硫、选择性催化还原(SCR)脱氮技术等, 该技术已普遍应用于火力发电厂、化工企业及各类大型工业排放设施。例如, 湿法脱硫技术能高效消除烟气中的二氧化硫, 电除尘技术可显著降低工业排放中的粉尘含量。

2 大气污染防治技术面临的主要问题

2.1 技术成本高, 普及难度大

大气污染防治技术应用在某些领域费用较高, 尤其是在新兴产业和地区的技术。例如, 实施低氮燃烧技术、脱硫脱氮技术、颗粒物控制技术等, 这些技术设备投入资金庞大、运营维护费用高昂, 设备更新频繁。这使得许多中

小企业或经济欠发达地区难以负担。因此,大气污染防治技术的普及性受到极大限制。尤其在一些工业基础薄弱、资金不足的地区,环保设备和技术的投入明显不足,从而导致污染控制效果不佳^[2]。

2.2 技术适应性差,存在地区差异

鉴于大气污染成因繁杂且地域性突出,各地所承受的污染物种类、污染轻重及气候状况各有差异。因此,诸多普遍适用的大气污染防治技术难以适应各地具体需求。例如,高硫煤燃烧过程中适用湿法脱硫技术,但在低硫煤应用上,其成效有限。同样,部分脱硝技术在寒冷地区的应用效果也受到温度等因素的限制。这便要求在技术应用实施中,全面考量地域环境因素,量身打造契合实际需求的治理方案,但截至目前,众多地区尚未实现此目标。

2.3 技术实施难度大,配套设施欠缺

大气污染防治技术的推广与应用亟须依赖先进设施与技能,尚待完善的设施。在众多企业中,特别是老字号企业的排污处理设备相对落后,技术升级与设备革新挑战。此外,部分区域在基础设施建设方面有所不足,环保监管机制尚待健全,技术实施遭遇重重挑战。特别是若干陈旧污染源的整治更新,涉及重大资金投入与技术创新,通常难以在短时间内实现^[3]。

2.4 法规执行不到位,监管不力

尽管国际环保法规不断加严,但在局部地域,特别是发展中的国家,环保政策实施强度有待加强。部分企业环保意识不足,个别情况出现夸大治理成效、规避监管的行为。此外,部分地方政府在污染治理方面的资金及政策扶持不够有力,激励机制不足。此举即便在技术层面能够实现高效管理,实际执行中存在监管不足、执行力不足的现象,治理技术成效受此影响。

2.5 公共意识和环保文化薄弱

除了技术本身的问题,公众环保意识的薄弱也是大气污染防治技术面临的一大挑战。许多地方的居民和企业对于大气污染的严重性认识不足,环保意识较弱,这在一定程度上制约了污染防治技术的应用推广。部分企业仍存在排放超标的现象,甚至在没有足够监管的情况下,采取“偷排漏排”的手段,这直接影响了大气污染防治的整体效果。

2.6 技术更新迭代速度慢

大气污染防治技术更新换代较为迟缓,此举导致部分传统技术在当前环境下的成效不尽如人意。尽管近期我国陆续推广了诸如超低排放技术、智能监控系统等创新型的污染防治技术,但总体技术升级步伐仍旧迟缓。部分技术在基础与应用领域尚存局限,未按时推出契合市场需求的创新技术^[4]。

3 大气污染防治技术优化策略

3.1 提高技术创新与研发能力

大气污染防治技术创新研发水平对环保工程成效及

持续性具有直接影响。为应对日趋严重的环境污染挑战,特别是空气污染,需不断强化技术革新强度。加大对大气污染防治技术研究的财政支持力度,支持科研院所、高等学府与企事业共同进行技术突破,促进新型环境治理技术的创新。例如,改进脱硫、脱氮、除尘技术效率,研究运用生物降解、催化等技术途径,降低工业废气排放量。

技术创新需着力提升污染物处理效能,还应兼顾污染治理的可行性与成本效益。因此,相关研发活动应着重探讨降低设备投资成本、增强处理效能及延长设备使用年限的方法,提高技术效益比。此外,研发绿色低碳技术需持续推进,改进碳捕集与储存技术(CCS)及清洁能源替代技术。该举措对改善空气质量具有深远影响,为加速技术革新步伐,加强国际协作,参考其他国家在大气污染防治治理方面的有效做法与科技,营造技术互享、优势互补的态势。借助创新引领与跨境技术协作,我国在大气污染防治技术层面将得到显著提高,可进一步促进全球环境治理协同发展。

3.2 优化现有技术的经济性与适应性

大气污染防治技术经济效益与适用性是促进其普及应用的核心要素。现有的污染治理技术虽然在技术效果上不断提升,但其高昂的建设与运营成本,仍然是许多企业难以承受的负担。因此,改进现有技术的经济效益,特别是在降低运营费用和设备保养方面,将作为未来发展的焦点。提升现有技术经济效益需企业及技术人员深挖技术潜能,提升传统设备能源利用效率及性能。例如,优化燃烧系统设计方案,提升热能使用效能,减少能源使用,降低污染物排放量。对部分常规污染治理设施,如脱硫塔、脱硝设施、除尘设备等,企业可运用新型催化材料或改进运行模式以减少能源消耗,降低运维费用,增强综合经济效益^[5]。

同时,技术的适应性也是当前亟待解决的问题。我国不同地区、大气污染源的类型及强度存在较大差异,现有技术往往无法适应所有地区的具体需求。针对这一问题,可采纳地域化、专属化的技术途径,在设计技术方案时,应更强调地域特色。例如,关于我国北方严寒地区供暖用煤锅炉,可研制适用于低温环境的高效脱硝技术;关于我国南方湿润气候,可着重探讨湿法脱硫技术的改进。通过增强技术的适应性,确保在不同环境中都能够实现高效的污染治理。

3.3 强化政策支持与跨部门合作

大气污染防治不仅仅是技术层面的工作,更需要强有力的政策支持和部门间的协调合作。政府在政策制定环节需强化环保法规的实施效力,对企业排放标准提出更严格规范,明确制定惩戒措施。特别是在我国大气污染防治技术研发与普及方面,政府可采取财政补助、税赋优惠、技术扶持等方式,鼓励企业增加投入,促进前沿技术的推广及运用^[6]。

同时,深化部门间协作同样十分关键,大气污染防治

乃是一项系统工程，涉及环境、能源、交通、工业等众多领域。因此，政府亟须推动环保、能源、交通等领域的协同发展，凝聚政策共识。例如，交通局可与生态环境局携手，促进电动汽车普及，降低汽车尾气排放水平；推动工业与环保部门协作，助力污染企业转向清洁生产。此外，应强化地方与中央政府协作，确保政策实施到位，在此基础上，政府亦应倡导企业同科研单位携手共创，构建产学研协同创新平台，促进环境污染治理技术商业化实施。同时，政府应当构建有利的政策条件，吸纳社会资金投入，促进绿色金融进步，为支持环保技术发展提供资金保障。

3.4 促进环保技术的普及与标准化

大气污染防治成效的保障，离不开环保技术的推广与规范化。随着环保技术持续进步，如何高效推广先进技术至各行各业企业，特别是中小型企业，亟待解决的焦点问题。政府可出台相应政策，促进环保技术广泛应用。对于技术可行且成效显著的污染治理措施，政府需制定激励机制，推动企业开展技术引进及实施。同时，对于中小企业而言，政府可采取技术扶持、财政援助等措施，助力其完成技术升级，加强污染治理效能。

环保技术标准化是提高污染治理成效的核心举措，尚可促进行业持续进步，提高国家环境保护整体水平。标准化得以通过规范化的技术规范和统一的操作程序实现，保障各地各行业污染治理技术应用的统一性，进而增强其普适性与实用性。例如，确立统一的环境排放规范及净化设施性能指标，有助于企业提高技术层次，保障遵守环保相关法律法规，降低环境污染程度。

环保技术标准为企业明确了技术指引，确保企业按标准规范开展技术攻关、设备选型及操作执行，规范统一。这种统一的规范，能够避免技术滞后或不规范应用带来的环境问题。通过推行规范化，各企业可统一规定设备设计及制造标准，确保治理设施技术性能符合国家环保要求，提升环保设备整体品质。与此同时，标准制定可推动新科技、新装备的研发。例如，对大气污染治理设施的技术完善提出要求，企业可参照规范实施设备升级，促进更高效率、更低能耗的环保产品问世，进一步提升污染治理成效^[7]。

标准化对于促进环保技术品质的进步大有裨益，进一步推动行业透明化竞争，放宽市场准入条件。环保技术市场化发展常受技术规范限制，企业如能按统一规范进行设计制造，确保产品符合市场规范并具备竞争优势，降低技术不合规引发的市场障碍。同时，推动行业技术整体提升

标准化，可有效遏制低劣设备和技术的扩散，增强行业全面的环境整治效能。在标准化实施过程中，政府职能极其关键。政府宜强化与企事业及科研单位的协作，协同确立产业的技术规范与排放规范，政府亦可借助政策扶持，促进绿色认证体系构建，对达标产品实施认证并予以表彰，促进环保产品普及应用。通过推动绿色认证机制的实施，政府可引导市场采纳环保技术，确保消费者及企业可获取到达标环保设施，提升生态环境保护水平。

4 结语

本文从大气污染防治技术的应用现状、面临的主要问题及优化策略三个角度，深入分析了当前大气污染防治技术的优势与不足。随着工业化和城市化的推进，大气污染物的排放量不断增加，空气质量持续恶化，严重影响了人类健康和生态环境的可持续发展。本篇论文将探讨大气污染防治控制在环境保护工程领域的实际运用情况，分析所面临的技术难题，提出改进措施及相应优化方案。通过探索技术优化路径，提出了改进措施，以期推动更高效、经济、可持续的大气污染治理。希望为相关研究人员和环保工程领域的从业者提供参考和借鉴，推动大气污染防治技术的进一步发展。

【参考文献】

- [1] 闫晓波, 李翠娟, 黄泽举. 生态环保理念下大气污染防治提升技术分析[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(10): 163-165.
- [2] 刘朔. 基于生态环保理念的大气污染防治技术提升研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(8): 102-104.
- [3] 陈凯, 张荣明. 大气污染防治技术在环保工程中的应用与优化研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(8): 193-195.
- [4] 唐佳丽. 生态环保理念下大气污染防治提升技术分析[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(9): 163-165.
- [5] 宣晓冬, 周灿, 姜山, 等. 基于数据挖掘的大气污染防治技术发展态势分析[J]. 能源与环境, 2022(1): 15-18.
- [6] 薛红俊, 孙茹. 基于生态环保的化工企业大气污染防治提升技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(7): 187-188.
- [7] 李文明, 舒兆兴, 刘倩. 新时期大气污染防治技术和对策分析[J]. 资源再生, 2021(3): 34-36.

作者简介：陈可（1996.2—），女，毕业院校东南大学成贤学院；所学专业化学工程与工艺，当前就单位宿迁市宿城环境应急与信息中心，职务办事员，职称级别专业技术岗位十一级。

乙醇泄漏环境影响预测与风险评估

叶 莎

上海原奕环境科技有限公司, 上海 201100

[摘要]乙醇是化工制药等企业,以及实验室研发的常用化学品试剂。在乙醇试剂储存和使用过程中,一旦发生泄漏,就会对环境造成影响,又因为乙醇是易燃物质,若遇火源发生燃烧,会产生次生产物一氧化碳,而一氧化碳是有毒有害气体,一旦被人体吸入,就会对人体造成危害极大。因此,文中以实验室发生乙醇泄漏,且燃烧产生次生产物一氧化碳,预测乙醇泄漏对外环境的影响,并在此基础上提出风险防控与应急措施。

[关键词]乙醇;泄漏;次生;一氧化碳

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15912

中图分类号: X2

文献标识码: A

Environmental Impact Prediction and Risk Assessment of Ethanol Leakage

YE Sha

Shanghai Yuanyi Environmental Technology Co., Ltd., Shanghai, 201100, China

Abstract: Ethanol is a commonly used chemical reagent for chemical and pharmaceutical companies, as well as laboratory research and development. During the storage and use of ethanol reagents, any leakage can have an impact on the environment. Additionally, as ethanol is a flammable substance, if it burns in the presence of a fire source, it will produce secondary product carbon monoxide, which is a toxic and harmful gas. Once inhaled by the human body, it can cause great harm to the human body. Therefore, the article predicts the impact of ethanol leakage on the external environment based on the occurrence of ethanol leakage in the laboratory and the production of secondary product carbon monoxide during combustion. Based on this, risk prevention and emergency measures are proposed.

Keywords: ethanol; leakage; secondary; carbon monoxide

引言

乙醇是一种常见的有机化学品,广泛应用于化工、制药、食品等工业领域和实验室科学研究。但是,由于其易燃易爆的特性,一旦发生泄漏,又遇火源发生燃烧,产生次生一氧化碳,可能造成人员窒息或死亡^[1,2]。为了保障人员安全和减少环境污染,通过对乙醇泄露突发事件的风险评估,建立一套科学合理、高效可行的乙醇泄露应急预案对于事故的处理与防范至关重要^[3-5]。

本文以某企业乙醇仓库内发生乙醇泄漏的突发事件为例,遇火源燃烧产生次生 CO,通过泄漏源强计算以及软件模拟^[6,7],对次生 CO 后果分析,进行环境风险评估,并在此基础上提出应急措施。

1 可能发生的突发事件及其后果分析

根据《企业突发环境事件风险分级方法》(HJ941-2018)附件 A,乙醇为易燃液态物质,是环境风险物质。乙醇泄露事件主要发生在试剂仓库内的使用和存放过程中,由于科研人员操作失误造成试剂瓶破损或倾覆,瓶内物质倾洒在地面上,不利情况下,遇火源发生燃烧,产生次生产物一氧化碳。

1.1 释放环境风险物质的扩散途径分析

(1) 物质泄漏。当发生化学品泄漏事故后,对于液体化学品,若泄漏量小,则用托盘或者吸附棉等收集;若泄漏量大,则溢出容器的部分在地面形成液池。挥发性物质泄漏后主要通过质量蒸发的方式进入大气,再通过大气扩散作

用由楼栋内扩散至楼栋外。由于化学品使用及储存地面均采用防渗地坪,所以能有效防止扩散至地表水、土壤及地下水。

(2) 火灾。泄漏的易燃易爆化学品遇明火或静电火花发生火灾事故,化学品将通过热量蒸发进入大气;可燃物质发生不完全燃烧将产生次生/伴生产物 CO 气体,通过大气扩散影响大气环境。若发生火灾控制在室内,采用灭火器等进行灭火,产生消防废水,如若少量则用泵转移至槽车作为危废进行处置;若大量则立即通知关闭雨水截止阀,废水收集至雨水管网及集污袋内。截流的污染水根据水质监测结果决定去向:达到污水排放标准的纳入污水管道;超过纳管标准,报当地生态环境局和水务局,听从其处理方案,对周边地表水产生较小影响。

综上,释放环境风险物质的扩散途径见图 1。

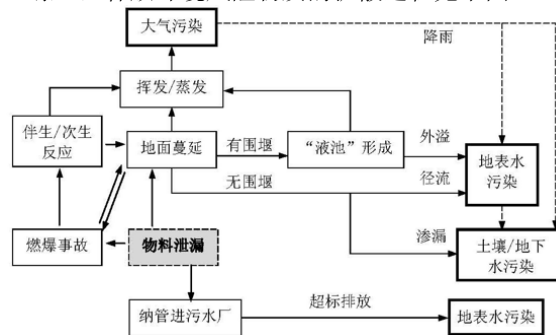


图 1 释放环境风险物质的扩散途径图

因此,当本实验室发生乙醇泄漏,并引发火灾事故后,可能对大气、水体、土壤、地下水产生不同程度的影响。

1.2 突发环境事件情景源强分析

火灾事件发生情景为其中一瓶乙醇发生破损从而泄漏,进一步遇明火或静电火花发生燃烧。在综合考虑各化学品的包装规格及在线量等基础上,酒精仓库存放的一瓶乙醇(单瓶储存量为 0.3945kg, 500mL, 密度 0.789g/mL)发生泄漏遇明火。考虑最不利情况,若没有及时发现和处理,则会导致整个仓库内的乙醇(0.0805t, 204 瓶)发生燃爆事故,次生的 CO 作为风险物质,并进行相关预测。乙醇对环境和周边群众的影响,主要考虑其高温下迅速挥发扩散至大气,以及燃烧情况下次生/伴生的 CO 向外环境扩散,将对大气环境产生一定影响。

伴生/次生产物中,CO 的量参考《上海市企业突发环境事件风险评估编制指南(试行)》附录 B2。

其中: G_{CO} : CO 的产生量, kg;

Q: 化学不完全燃烧值, %, 取 5%~20%;

C: 物质中碳的质量百分比含量, %;

W: 物质燃烧量, t。

假设乙醇仓库内一瓶乙醇泄漏发生燃烧事件后,导致整个仓库发生火灾事故,发生燃烧事件后,应急抢险人员可在 60min 内扑灭火灾,燃烧时间按 60min 计。

企业所涉及的危险物质燃烧次生 CO 产生源强见下表所示。

表 1 燃烧次生 CO 参数表

生产设施/场所	环境风险物质	q	C	W (t)
乙醇仓库	乙醇	5%	52%	0.0805

表 2 CO 的产生量与释放速率源强

生产设施/场所	环境风险物质	G_{CO} (kg)	燃烧时间 (min)	CO 释放速率 (kg/s)
乙醇仓库	乙醇	4.88	60	0.0014

根据上述计算过程,得出酒精仓库火灾产生的 G_{CO} 为 4.88kg, 释放速率为 0.0014kg/s。

泄漏出来的乙醇主要通过质量蒸发的形式进入大气(由于沸点高于环境温度,泄漏液体蒸发速率计算不考虑闪蒸蒸发、热量蒸发),根据《上海市企业突发环境事件风险评估报告编制指南(试行)》附件 B 中 B.1.4 (3) 质量蒸发估算的公式进行计算:

$$Q = \alpha \times p \times M / (R \times T_0) \times u^{(2-n)/(2+n)} \times r^{(2-n)/(2+n)} \times r^{(4+n)/(2+n)}$$

式中: Q——质量蒸发速度, kg/s;

α , n——大气稳定度系数, 无量纲;

M——物质的摩尔质量, kg/mol;

p——液体表面蒸汽压, Pa;

R——气体常数, J/(mol · K);

T_0 ——环境温度, K;

u——风速, m/s;

r——液池半径, m。

表 3 乙醇泄漏质量蒸发速率计算参数表

大气稳定度：稳定		M	p	T0	u	r
n	a	g/mol	Pa	K	m/s	m
0.3	0.005285	46	130	298.15	0.5	0.09

注: 室内地面形成液池, 室内选取风速 0.5m/s, 稳定度为 F 类。

表 4 乙醇泄漏量及蒸发速率

生产设施/场所	环境风险物质	泄漏量	蒸发速率
乙醇仓库	乙醇	0.0004t	1.42335E-08kg/s

乙醇质量蒸发速率约为 1.42335E-08kg/s。

2 突发环境事件危害后果分析

2.1 突发环境事件危害后果预测

(1) 计算模式

CO 属于轻质气体, 采用《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169—2018) 附录 G 推荐的 AFTOX 模型进行火灾事故后果计算。

(2) 预测内容

选取 F 稳定度在风速 1.5m/s 下的最不利情形, 对各污染物下风向最大落地浓度, 及各暴露限值出现的浓度范围进行预测。

(3) 评价标准

根据上述源强分析, 乙醇仓库燃烧产生 CO 速率为 0.0014kg/s。CO 等物质危害阈值如下。

表 5 有害物质不同影响程度对应的浓度限值

危害程度	毒性终点浓度-1 (mg/m ³)	毒性终点浓度-2 (mg/m ³)
物质名称		
CO	380	95

注: 毒性终点浓度数据均参考《建设项目环境风险评价技术导则》表 H.1。当大气中危险物质浓度低于毒性终点浓度-1 时, 绝大多数人员暴露 1h 不会对生命造成威胁, 当超过限值时有可能对人群造成生命威胁; 当大气中危险物质浓度低于毒性终点浓度-2 时, 暴露 1h 一般不会对人体造成不可逆的伤害, 或出现的症状一般不会损伤个体采取有效防护措施的能力。

2.2 预测结果

(1) 泄漏事故。

本次选用一瓶 500mL 的乙醇因破损或者管理人员操作不当导致的泄漏事故作为突发事件。因仓库内地面采取防渗地坪, 乙醇消毒液均放置在化学品柜内且下方设有托盘, 可起到防渗作用, 如发生泄漏不会对周边土壤、地下水造成影响。

乙醇挥发到空气中后, 有效成分会被稀释, 吸入到体内也可经呼吸道排出, 在作用时间较短的情况下, 通常不会对身体造成明显损伤。

(2) 火灾事故

乙醇泄漏导致的火灾事故结果预测如下。

由表可知: 酒精仓库乙醇发生火灾时产生的 CO, 未出现毒性终点浓度-1 影响范围; 也未出现毒性终点浓度-2

影响范围，因此不会影响到周围企业及周围敏感目标。

表 6 火灾事故后果分析结果

污染物	大气稳定度	风速 (m/s)	最大落地浓度 (mg/m ³)	毒性终点浓度-1 出现距离 (m)	毒性终点浓度-2 出现距离 (m)
CO	F	1.5	17.21	未出现	未出现

下风向不同距离处 CO 的最大浓度及其出现时间如下表所示。

表 7 下风向不同距离处 CO 的最大浓度

距离 (m)	最大浓度 (mg/m ³)	最大时间 (s)
0.5	0	3
1	1.337119e-38	3
2	6.655852e-7	3
3	0.06666745	6
4	2.061435	6
5	7.599124	6
6	13.06169	12
7	16.20253	12
8	17.21372	12
9	16.93326	12
10	16.05757	12
20	8.492175	24
30	4.792295	30
40	2.911423	48
50	1.913229	60
100	0.4742516	120
200	0.1113944	210
300	0.04727751	300
400	0.02566704	390
500	0.01596005	480
600	0.01081684	570
700	0.007765732	1140
800	0.00573837	1290
900	0.004354631	1440
1000	0.003655478	1590

由上表可知，所有泄漏的化学品在设定的事故情景下，发生火灾事件后，未出现次生产物 CO 的毒性终点浓度-1 和毒性终点浓度-2，因此 CO 对周围环境影响较小，风险可控。

火灾事故发生时，企业内员工短期内吸入 CO 较高浓度者将造成一定影响，因此，在发生大规模火灾事故时应在规定时间内及时通知影响范围内的人群疏散，以免产生人员中毒乃至死亡现象。在此前提下，厂区火灾事故风险为可接受水平。

2.3 环境风险防控与应急措施

(1) 泄漏

风险防控措施：①地面采取防渗措施；②试剂储存仓库应常备黄沙、吸附棉和灭火器；③乙醇存放应设置托盘等截流措施。一旦容器破碎发生泄漏，可收集在托盘中。

应急措施：①若化学品泄露，及时用黄沙围堵及吸附

棉吸附，再进行回收。处理用的吸附棉及黄沙作为危废，委托有资质的处置单位处置。②在处理事故和进入现场抢险时，必须穿戴防护服、手套、口罩等防护用品，避免直接吸入或接触污染物。

应急资源：配有黄沙与灭火器，一旦发生泄漏，立即采用黄沙进行围堵、托盘进行收集、吸附棉进行吸收。

(2) 火灾

风险防控措施：①各楼层设有消防栓及灭火器；②张贴警示标志，禁止吸烟、明火。

应急措施：若发生火灾，立即向 119 报警，采用灭火器、黄沙进行灭火。火灭后用吸附棉吸附地面上残留液体，处理用的黄沙、吸附棉集中收集作为危废处置。

应急资源：配有黄沙和灭火器，设有消防栓，一旦发生火灾，立即采取措施灭火。

3 结语

企业为防止环境事故发生，需采取以下措施：(1) 针对化学品泄漏事故，公司对于危险化学品的运输、储存、使用及废弃均需有明确的管理制度，运输人员需具备相应化学品的性质、危害特性和泄漏处置等专业知识，同时负责化学品储存及使用的工作人员应了解化学品特性和储存技术要求基础上，还应配备必须的应急处置设施和防护装备。(2) 企业应进一步加强管理，定期开展员工培训，提高员工素质、增强操作技能，内部、外部培训后进行考核。

(3) 企业应加强定期巡检，可做到及时发现泄漏事故并采取相应的响应措施。(4) 企业应制定突发环境事件应急预案，并定期进行培训演练。

【参考文献】

- [1] 周国峰, 冯仁芳, 齐艳英. 一起急性一氧化碳中毒事故报告[J]. 中国工业医学杂志, 2006(6): 381-382.
- [2] 陈丹, 汤金玉, 彭文彬. 一起急性一氧化碳中毒事故的调查报告[J]. 职业与健康, 2012, 28(5): 533-536.
- [3] 赵志华. 化工实验室危险化学品的安全评价与管理探究[J]. 山西化工, 2019, 39(1): 195-197.
- [4] 路艳. 高校实验室危险化学品安全管理[J]. 化学工程与装备, 2023(7): 265-267.
- [5] 穆居洋. 化学危险品泄露及火灾处置对策[J]. 科技资讯, 2017, 15(7): 72-73.
- [6] 黄晓宇. 危险化学品泄漏事故风险评估模型及应用研究[J]. 化工管理, 2017(28): 103.
- [7] 曾小红. 危险化学品泄漏事故风险评估模型及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.

作者简介：叶莎（1990—），女，汉族，浙江诸暨人，硕士，中级工程师，研究方向：企业安全和环境管理，毕业学校：浙江大学，所学专业：化学工程与技术，当前就职单位：上海原奕环境科技有限公司，职务：安全环保工程师，职称级别：EHS 经理。

土壤污染和修复问题以及生态环境保护措施研究

孙婷婷 王有艳

1. 山东汇氏环境科技集团有限公司, 山东 泰安 271000
2. 山东评测环境科学研究院有限公司, 山东 青岛 266109

[摘要] 土壤污染问题日益严重, 已经成为全球环境保护的重要挑战之一。文章围绕土壤污染的成因、现状, 重点分析了土壤污染的主要来源, 对土壤进行修复工作。文章剖析了土壤整治领域中几种成效显著的技术路径, 涵盖了物理、化学以及生物三种修复手段, 并创新性地提出了一个针对土壤污染问题的全面治理框架。

[关键词] 土壤污染; 土壤修复; 生态环境保护; 措施

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15914

中图分类号: X244

文献标识码: A

Research on Soil Pollution and Remediation and Ecological Environment Protection Measures

SUN Tingting, WANG Youyan

1. Shandong Huishi Environmental Technology Group Co., Ltd., Tai'an, Shandong, 271000, China
2. Shandong Evaluation Environmental Science Research Institute Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266109, China

Abstract: Soil pollution is becoming increasingly serious and has become one of the important challenges for global environmental protection. The article focuses on the causes and current situation of soil pollution, with a particular emphasis on analyzing the main sources of soil pollution and carrying out soil remediation work. The article analyzes several effective technological paths in the field of soil remediation, covering three remediation methods: physical, chemical, and biological. It innovatively proposes a comprehensive governance framework for soil pollution problems.

Keywords: soil pollution; soil remediation; ecological environment protection; measures

引言

工业化与城市化的快速推进带来了土壤污染问题, 这一问题迫切需要全球环境保护的关注与解决。土壤不仅是农业生产的基础, 也是生态系统的重要组成部分。然而, 土壤的健康状况受到严重威胁。这种污染不仅影响土壤的物理和化学性质, 降低其肥力和生产能力, 还可能通过食物链对人类健康造成威胁。因此, 对土壤污染现象进行探究, 寻求相应的修复策略, 这对保护生态环境具有显著的实际意义和社会价值。

1 土壤污染现状与成因

土壤污染现状已成为全球环境问题中不可忽视的重要方面, 其成因复杂多样, 主要来源于人类活动的影响。工业化进程的加快是土壤污染的重要因素之一。许多工业企业在生产过程中, 往往会将重金属、化学废物等有害物质排放到土壤中, 导致土壤中的污染物浓度显著增加。这些污染物不仅直接损害土壤的生态环境, 还可能通过水体和大气扩散, 进一步影响周边生态系统。

2 土壤现状调查和检测结论

2.1 工作内容

根据前期企业环评批复和土壤污染隐患排查报告的相关内容, 开展企业地块的资料收集、现场踏勘、人员访谈、重点区域及设施识别等工作, 摸清企业地块内重点区

域及设施的基本情况, 根据各区域及设施信息、特征污染物类型、污染物进入土壤和地下水的途径等, 识别企业内部存在的土壤及地下水污染隐患的区域及设施, 作为重点区域及设施在企业平面布局图中标记。

根据初步调查结果, 识别本企业存在土壤及地下水污染隐患的区别或设施并确定其对应的特征污染物, 对识别的重点区域及设施制定具体的采样布点方案, 制定自行监测方案。

2.2 重点监测单元

按照《工业企业土壤和地下水自行监测技术指南》(试行)、《重点监管单位土壤污染隐患排查指南(试行)》等的相关规定。通过人员访谈、资料审阅和现场踏勘, 开展重点物质、重点设施及区域排查, 并结合相关技术规范的要求开展土壤和地下水监测工作。场地内部以及外部的勘查包括以下内容:

- (1) 涉及有毒有害物质的生产区域和生产设施;
- (2) 涉及有毒有害物质的原辅材料、产品、固体废物等的贮存、存放、转运、传送和装卸等;
- (3) 场地内有有毒有害物质的储存、使用和处置情况分析;
- (4) 场地内的固体废物和危险废物的处理和排放情况;
- (5) 场地内的地下或地上各类槽罐内的物质、泄漏

和渗漏；

(6) 污染发生后不能及时发现或者处理的重点设施设备，如地下、半地下或者接地储罐、池体、管道等隐蔽性重点设施设备。

2.3 监测点位布设方案

(1) 土壤监测点布置

根据某环保能源有限公司的生产工艺、污染物的排放、原辅材料等相关资料分析及现场踏勘和人员访谈，初步确认该场地部分区域土壤存在疑似轻度污染可能性，主要污染途径为生产过程中污染物的跑冒滴漏、原辅材料的遗撒及三废排放所致。

(2) 土壤监测点位置及数量

监测点位根据现有功能区的划分分别在企业内部存在土壤及污染隐患的区域或设施布设。在疑似污染的功能区及排查具有污染区域至少设置 1~3 个土壤采样点，并尽可能使采样地点接近该潜在污染源。同时，为了解项目地块附近的土壤环境背景值，拟在地块周边污染可能性较小区域设置至少 1 个土壤环境对照点。

(3) 监测信息

①根据《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018) 建设用土壤污染风险筛选值二类制定土壤监测因子，详见下表 1。

表 1 土壤监测因子一览表

监测类别	监测数量	监测因子(前期超标污染物和关注污染物)
土壤	基本项目 (45 项)	重金属和无机物(7 项): 砷、镉、铬(六价)、铜、铅、汞、镍;
		VoCs (27 项): 四氯化碳、氯仿、氯甲烷、1, 1-二氯乙烷、1, 2-二氯乙烷、1, 1-二氯乙烯、顺-1, 2-二氯乙烯、反-1, 2-二氯乙烯、二氯甲烷、1, 2-二氯丙烷、1, 1, 1, 2-四氯乙烷、1, 1, 2, 2-四氯乙烷、四氯乙烯、1, 1, 1-三氯乙烷、1, 1, 2-三氯乙烷、三氯乙烯、1, 2, 3-三氯丙烷、氯乙烯、苯、氯苯、1, 2-二氯苯、1, 4-二氯苯、乙苯、苯乙烯、甲苯、间二甲苯+对二甲苯、邻二甲苯;
		SVoCs (11 项): 硝基苯、苯胺、2-氯苯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]荧蒽、苯并[k]荧蒽、茈、二苯并[a, h]蒽、茚并[1, 2, 3-cd]芘、蔡。
	选测项目 (3 项)	特征污染因子: pH、锌、二噁英。

2.4 样品采集、保存、流转与制备

根据《重点行业企业用地调查样品采集保存和流转技术规范》开展样品采集、保存和流转工作，确保采样的真实性、准确性和规范性。编写采样方案、采样准备、样品采集、样品保存与流转、样品分析测试、质量保证与质量控制及安全防护计划等。

2.4.1 土壤数量和深度

根据《工业企业土壤和地下水自行监测技术指南》

HJ 1209-2021 5.3.2 监测频次自行监测的最低监测频次按照表 2 的要求执行；土壤监测点位见表 2。

表 2 土壤采样点位汇总表

序号	单元内需要监测的重点场所、设施、设备名称	该单元对应的监测点位编号及坐标			采样深度	监测频次
污水处理单元	1.调节池	土壤	S1	调节池西北侧绿化区	深层土壤监测点（-3.8m）	1次/3年
	2.生化反应池					
	5.硫酸罐	土壤	S2	硫酸贮存间周边绿化区	深层土壤监测点（-1.5m）	1次/3年
	3.碱液罐	土壤	S3	废水处理工房西北侧	表层土壤监测点	1次/年
	6.沼气囊					
柴油贮存单元	1.柴油储罐	土壤	S4	柴油储罐区西北侧绿化区	深层土壤监测点（-4.6m）	1次/3年
生活垃圾焚烧单元	1.渗滤液收集池	土壤	S5	主工房料坑北侧绿化区	深层土壤监测点（-6m）	1次/3年
	2.危险废物暂存库	土壤	S6	飞灰暂存库西北侧	表层土壤监测点	1次/年
	3.飞灰暂存库					
	4.焚烧炉					1次/3年
辅助单元	1.化验室	土壤	S7	初期雨水池东南侧	深层土壤监测点（-4m）	1次/3年
	2.事故应急水池					
	3.初期雨水池					

备注：针对土壤钻井，需记录土壤性质、状态、颜色、质地，并提供钻井地勘报告。

表 3 地下水采样点位汇总表

序号	单元内需要监测的重点场所、设施、设备名称	该单元对应的监测点位编号及坐标		采样深度	监测频次
柴油贮存单元	1.柴油储罐	地下水	W1#	初见水位下 0.5m	4 次/年
生活垃圾焚烧单元	1.焚烧炉	地下水	W2#		4 次/年
门卫	—	地下水	W3#		2 次/年

2.4.2 采样准备与样品筛查

(1) 采样计划

采样计划包括：采样目的、采样点位、采样项目、采样频次、采样时间、采样人员及分工、采样过程的质量保证和质量控制措施、采样设备和器具、现场记录表、需要现场监测的项目、安全保障等。

由本单位及土地使用权人组织进场前安全培训，培训内容包括设备的安全使用、现场人员安全防护及应急预案等。

(2) 土壤采样设备和器具

土壤机械钻探设备和手工钻探设备。

原状取土器：薄壁取土器、对开式取土器或直压式取土器等。

非扰动采样器：普通非扰动采样器、一次性塑料注射器或不锈钢专用采样器等。自封袋：容积约 500ml，聚乙烯材质。

土壤样品瓶：具聚四氟乙烯-硅胶衬垫螺旋盖的 40ml 棕色玻璃瓶、60ml 棕色广口玻璃瓶(或大于 60ml 其他规格的玻璃瓶)。

VOCs 污染土壤样品：使用不锈钢铲采集非挥发性和半挥发性有机物。

SVOCs 污染土壤样品：使用木铲采集重金属污染土壤样品。

采样前，可采用卷尺、GPS 定位仪、经纬仪和水准仪等工具在现场确定采样点的具体位置，并记录。确保采样位置避开地下电缆、管线、沟、槽等地下障碍物。

2.4.3 样品保存

土壤样品的保存、流转和制备按照《土壤质量 土壤样品长期和短期保存指南》(GB/T 32722—2016)、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》(HJ 25.2-2019)、《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004)和拟选取的分析方法的要求进行。

表 4 土壤样品保存方法

介质	检测项目	容器	容积 (mL)	注意事项	保存条件	最长保留时间
土壤	重金属及无机物、SVOCs	直口透明玻璃瓶	250	装样时土壤尽量与瓶口形状匹配，填满瓶子，少留空气	有蓝冰的保温箱(约 4℃)	28 天
	VOCs	装有 10mL 甲醇保护液的玻璃瓶(配聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖)	40×2	装入约 5g 土样并立即密封，严禁保护液溢出	有蓝冰的保温箱(约 4℃)	7 天

3 土壤修复技术

针对土壤污染状况，采取的治理策略为土壤修复技术，其目的在于恢复受污染土壤的生态健康与功能。针对土壤中存在的特定污染物，依据其特性及土壤本身条件，常见的修复技术包括物理方法、化学方法和生物方法三大类别。物理修复技术主要采用物理方法去除或隔离污染物，涵盖土壤挖掘、填埋、热处理及洗涤等多种方式^[2]。简便性操作和迅速的利益回报是这些策略的显著特征，然而，它们可能引发的环境再次污染及不必要的资源消耗问题，加之高昂的处理费用，应被深入考量。土壤污染的化学疗法涉及利用化学反应，诸如氧化、还原及固定化技术，以实现污染物的转变或清除。

与此同时，植物通过吸收、转换及固定过程，以减轻

土壤内污染物的浓度，采用该种技术手段，能够在经济 and 环境保护方面实现利益最大化，然而，其效能受到植物自然生长规律及土壤性质的显著影响。近年来，关注度逐渐上升的复合修复技术，借助多种修复技术的结合应用，旨在追求更卓越的修复成果。首先，采用化学手段减轻污染物浓度，随后借助微生物或植物，实现进一步的降解与清除。这一过程综合了生物与化学两种修复方法，土壤污染的治理，得益于土壤修复技术的发展与应用，为这一问题带来了多种解决方案。但在具体实践中，需要综合考虑技术的经济性、有效性和环境友好性，以实现土壤修复的可持续目标。

4 科技创新

科技创新在土壤污染治理与修复中具有重要的战略意义和实际应用价值，成为提升土壤管理效率和效果的关键驱动力。随着环境问题日益严重，传统的土壤修复技术已难以满足日益复杂的污染治理需求，因此，开发和应用新技术、新方法显得尤为重要^[6]。科技创新可以帮助我们更精确地监测和评估土壤污染状况。利用遥感技术和地理信息系统 (GIS)，研究人员能够实时监测土壤质量的变化，精确识别污染源和污染范围，从而为制定科学的治理方案提供依据。

5 结语

针对土壤的污染状况，涉及修复方面的挑战，构成一类繁杂的环境议题，其解决之道在于综合整治及多方协作。通过科学技术的应用、政策法规的完善和公众的积极参与，能够有效提高土壤污染的治理效率，实现土壤资源的可持续利用。

[参考文献]

- [1]杨凯华. 水文地质条件下的土壤污染防治与生态环境保护措施研究[J]. 资源节约与环保, 2024(8): 85-88.
 - [2]刘茂震. 土壤污染与生态环境保护现状及防治策略分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(15): 130-131.
 - [3]余锡军. 污染土壤的修复方法在生态环境保护中运用分析[J]. 科学技术创新, 2022(36): 10-13.
 - [4]达臻国. 污染土壤修复方法在生态环境保护中的运用分析[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(2): 114-116.
 - [5]陈福泰. 污染土壤的修复方法在生态环境保护中的运用分析[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(6): 116-118.
 - [6]阿音嘎, 张军, 赵盼权, 等. 探析土壤污染修复技术及土壤生态保护措施[J]. 清洗世界, 2023, 39(4): 138-140.
 - [7]孙沙沙. 土壤污染修复技术及土壤生态保护措施[J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(1): 153-155.
- 作者简介：孙婷婷（1986.6—），女，汉族，本科，质控专员。

环境工程中能源节约与绿色能源利用的实践研究

王云龙¹ 左振超² 王杰¹

1. 山东盛泽生态环境工程有限公司, 山东 临沂 276000

2. 山东信达环保技术咨询有限公司, 山东 临沂 276000

[摘要] 随着全球经济的快速发展和人口的持续增长, 能源需求不断攀升, 能源危机与环境问题日益严峻, 成为当今世界面临的两大棘手难题。面对能源危机与环境问题的双重困境, 寻求能源节约与绿色能源利用的有效途径已刻不容缓。能源节约可以减少对传统能源的依赖, 降低能源消耗, 提高能源利用效率, 从而在一定程度上缓解能源供应紧张的局面。绿色能源利用则可以减少对环境的污染和破坏, 降低温室气体排放, 实现能源与环境的可持续发展。因此, 深入研究能源节约与绿色能源利用在环境工程中的实践具有重要的现实意义。

[关键词] 环境工程; 能源节约; 绿色能源

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15898

中图分类号: X5

文献标识码: A

Practical Research on Energy Conservation and Green Energy Utilization in Environmental Engineering

WANG Yunlong¹, ZUO Zhenchao², WANG Jie¹

1. Shandong Shengze Ecological Environment Engineering Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

2. Shandong Xinda Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract: With the rapid development of the global economy and sustained population growth, energy demand continues to rise, and energy crisis and environmental issues are becoming increasingly severe, becoming the two major thorny problems facing the world today. Faced with the dual dilemma of energy crisis and environmental issues, it is urgent to seek effective ways to save energy and utilize green energy. Energy conservation can reduce reliance on traditional energy sources, lower energy consumption, improve energy efficiency, and to some extent alleviate the situation of energy supply shortage. The utilization of green energy can reduce pollution and damage to the environment, lower greenhouse gas emissions, and achieve sustainable development of energy and the environment. Therefore, in-depth research on the practice of energy conservation and green energy utilization in environmental engineering has important practical significance.

Keywords: environmental engineering; energy conservation; green energy

1 环境工程与能源节约、绿色能源利用的关系

1.1 环境工程对能源节约的需求

在环境工程项目中, 能源消耗贯穿于项目的各个环节, 包括工程建设、设备运行、日常维护等。能源节约可以降低环境工程项目的运营成本, 提高项目的经济效益。在能源价格不断上涨的背景下, 降低能源消耗可以有效减少能源费用支出, 使环境工程项目在经济上更加可持续。能源节约有助于减少对传统能源的依赖, 降低能源供应风险。传统能源的储量有限, 且分布不均, 过度依赖传统能源可能导致能源供应紧张和价格波动。通过实施能源节约措施, 提高能源利用效率, 可以减少对传统能源的需求, 增强能源供应的稳定性和可靠性。能源节约还能减少能源生产和使用过程中产生的污染物排放, 降低对环境的负面影响。传统能源的开采、运输和燃烧过程会产生大量的污染物, 如二氧化硫、氮氧化物、颗粒物和温室气体等, 这些污染物会对空气、水和土壤造成污染, 危害生态环境和人类健康。通过节约能源, 可以减少这些污染物的排放, 改善环

境质量, 实现环境工程的可持续发展目标。

1.2 绿色能源在环境工程中的适用性

不同绿色能源在环境工程中具有各自独特的应用场景和显著优势。太阳能光伏发电具有安装灵活、建设周期短、维护成本低等优点, 适合在各类环境工程项目中应用。在污水处理厂的屋顶或周边空地安装太阳能电池板, 可将太阳能转化为电能, 用于污水处理厂的设备运行和照明等, 减少对电网电力的依赖, 降低能源成本。同时, 太阳能光伏发电不产生污染物, 对环境无污染, 符合环境工程的环保要求。在一些偏远地区的小型污水处理站, 由于电网覆盖不足, 太阳能光伏发电可以作为独立的电源, 为污水处理站提供稳定的电力供应, 保障污水处理工作的正常进行。

风能发电则在风力资源丰富的地区具有广阔的应用前景。在沿海地区、高原地区和山口等地, 风速较大且稳定, 适合建设大型风力发电场。将风力发电与环境工程项目相结合, 如在垃圾填埋场附近建设风力发电场, 利用风力发电产生的电能为垃圾填埋场的渗滤液处理设备、气体收集设备等

提供动力，既实现了绿色能源的利用，又降低了垃圾填埋场的能源消耗和运营成本。风力发电的清洁性和可再生性，使其成为减少碳排放、改善环境质量的重要手段。

水能在环境工程中的应用主要体现在水力发电方面。对于一些具有丰富水资源的地区，建设水电站可以将水能转化为电能，为周边的环境工程项目提供电力支持。在山区的生态修复项目中，利用山区河流的水能建设小型水电站，为生态修复工程中的灌溉、照明、设备运行等提供电力，实现了能源的自给自足，减少了对外部能源的依赖。同时，水力发电是一种清洁、可再生的能源利用方式，对环境的影响较小，符合生态修复项目的环保要求。

地热能环境工程中的应用也越来越受到关注。地热能可以用于建筑物的供暖和制冷，在环境工程项目中的办公场所、实验室等建筑中，采用地源热泵系统，利用地下浅层地热资源进行供暖和制冷，具有高效、节能、环保等优点。地热能还可以用于工业生产过程中的加热和干燥等环节，在垃圾焚烧发电厂中，利用地热能对垃圾进行预处理，提高垃圾的燃烧效率，减少能源消耗。地热能的利用可以有效降低环境工程项目对传统能源的依赖，减少温室气体排放，改善室内外环境质量。

生物质能在环境工程中的应用主要包括生物质发电、生物质供热和生物质气化等。在农村地区，利用农作物秸秆、畜禽粪便等生物质资源进行生物质发电和供热，不仅可以解决农村能源问题，还可以减少生物质废弃物的排放，改善农村环境。

1.3 协同发展的理论基础

从可持续发展理论角度来看，能源节约与绿色能源利用的协同发展是实现可持续发展目标的必然要求。可持续发展强调经济、社会和环境的协调发展，追求满足当代人的需求而不损害后代人满足其自身需求的能力。能源作为经济发展的重要支撑，其可持续供应和合理利用至关重要。能源节约可以减少能源消耗，提高能源利用效率，延长能源资源的使用寿命，从而保障能源的可持续供应。绿色能源利用则可以减少对传统化石能源的依赖，降低环境污染和温室气体排放，保护生态环境，为经济社会的可持续发展创造良好的环境条件。通过能源节约与绿色能源利用的协同发展，可以实现能源、经济 and 环境的良性互动，促进可持续发展目标的实现。在城市的发展规划中，通过推广节能建筑、发展公共交通等能源节约措施，同时加大太阳能、风能等绿色能源的开发利用力度，不仅可以降低城市的能源消耗和碳排放，还可以提升城市的环境质量和居民的生活品质，实现城市的可持续发展。

生态经济理论也为能源节约与绿色能源利用的协同发展提供了有力的理论支持。生态经济理论强调经济系统与生态系统的相互依存和相互作用，追求经济活动与生态环境的和谐共生。能源节约和绿色能源利用符合生态经济理论的要求，它们可以减少能源生产和消费过程中对生态

系统的破坏，降低资源消耗和环境污染，实现经济活动的生态化转型。在工业生产中，通过采用节能技术和设备，优化生产工艺，实现能源的高效利用，减少能源浪费和污染物排放，同时利用绿色能源替代部分传统能源，降低工业生产对环境的负面影响，促进工业经济与生态环境的协调发展。在农业领域，推广生物质能利用技术，如生物质气化、生物质发电等，将农业废弃物转化为能源，既实现了资源的循环利用，又减少了农业面源污染，推动了生态农业的发展。

循环经济理论同样适用于能源节约与绿色能源利用的协同发展。循环经济以“减量化、再利用、资源化”为原则，通过建立资源循环利用体系，实现资源的高效利用和废弃物的最小化排放。能源节约体现了“减量化”原则，通过减少能源消耗，降低资源的投入量。绿色能源利用则体现了“资源化”原则，将自然界中的可再生资源转化为能源，实现资源的循环利用。在能源生产和消费过程中，引入循环经济理念，构建能源循环利用系统，如余热回收利用、能源梯级利用等，可以进一步提高能源利用效率，减少能源浪费，实现能源的可持续利用。

2 环境工程中能源节约与绿色能源利用的协同发展策略

2.1 能源节约与绿色能源利用协同发展的必要性

2.1.1 应对能源与环境挑战的必然选择

随着全球经济的快速发展和人口的持续增长，能源需求不断攀升，能源危机与环境问题日益严峻，已成为人类社会可持续发展面临的两大主要挑战。能源危机主要表现为传统化石能源的储量逐渐减少，以及能源供应的稳定性和安全性受到威胁。国际能源署（IEA）的数据显示，按照当前的开采速度，全球石油储量预计仅能维持数十年，煤炭和天然气的可开采年限也同样有限。同时，地缘政治冲突、国际市场波动等因素导致能源价格波动频繁，给各国的能源安全和经济发展带来了巨大风险。

环境问题方面，传统能源的大量使用对生态环境造成了严重的破坏。煤炭、石油等化石能源在燃烧过程中会释放大量的二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等污染物，导致全球气候变暖、酸雨、雾霾等环境问题日益加剧。水污染、土壤污染等问题也与传统能源的开采和使用密切相关，严重影响了生态系统的平衡和人类的健康。

在这种背景下，能源节约与绿色能源利用的协同发展成为应对能源与环境挑战的必然选择。能源节约可以减少能源消耗，提高能源利用效率，降低对传统化石能源的依赖，从而在一定程度上缓解能源供应紧张的局面。通过推广节能技术和设备，加强能源管理，优化能源利用结构等措施，可以有效降低能源消耗，减少能源浪费。绿色能源利用则可以减少对环境的污染和破坏，实现能源的可持续供应。太阳能、风能、水能、生物质能等绿色能源具有清洁、可再生的特点，在开发和利用过程中几乎不产生污染物排放，对环境的影响极小。加大绿色能源在能源消费结

构中的比重,能够有效减少传统化石能源的使用,降低温室气体排放,改善环境质量。

2.1.2 实现可持续发展目标的关键路径

可持续发展是人类社会追求的长远目标,其核心是实现经济、社会 and 环境的协调发展,满足当代人的需求而不损害后代人满足其自身需求的能力。能源作为经济发展的重要支撑,其可持续供应和合理利用对于实现可持续发展目标至关重要。能源节约与绿色能源利用的协同发展是实现可持续发展目标的关键路径,主要体现在以下几个方面:

在经济层面,能源节约与绿色能源利用的协同发展能够促进经济的可持续增长。能源是经济活动的基础,能源成本的降低可以提高企业的竞争力,促进产业的发展。通过能源节约,企业可以减少能源消耗,降低生产成本,提高经济效益。推广节能技术和设备,优化生产工艺,可以降低工业企业的能源成本,提高生产效率。绿色能源产业的发展也为经济增长提供了新的动力。太阳能、风能等绿色能源产业的兴起,带动了相关技术研发、设备制造、工程建设等产业的发展,创造了大量的就业机会,促进了经济的多元化发展。绿色能源的应用还可以减少对传统能源的依赖,降低能源价格波动对经济的影响,提高经济的稳定性和抗风险能力。

在社会层面,能源节约与绿色能源利用的协同发展有助于提高社会的福利水平。能源的可持续供应可以保障社会的正常运转,满足人们对能源的基本需求。绿色能源的开发和利用可以改善空气质量,减少环境污染,提高人们的生活质量。太阳能热水器、风力发电等绿色能源技术的应用,为人们提供了清洁、便捷的能源服务,减少了对传统能源的依赖,降低了能源供应的风险。能源节约与绿色能源利用还可以促进社会公平。在能源资源有限的情况下,通过合理分配能源资源,推广节能技术和绿色能源,使更多的人能够享受到能源发展带来的好处,减少能源贫困现象,促进社会的公平与和谐。

在环境层面,能源节约与绿色能源利用的协同发展是保护生态环境的必然要求。传统能源的大量使用导致了严重的环境污染和生态破坏,威胁着人类的生存和发展。能源节约可以减少能源消耗,降低污染物排放,减轻对环境的压力。绿色能源的利用则可以从根本上改变能源生产和消费模式,减少温室气体排放,保护生态系统的平衡。太阳能、风能等绿色能源的开发和利用,能够有效减少二氧化碳等温室气体的排放,缓解全球气候变暖的趋势。发展水能、生物质能等绿色能源,还可以促进水资源的合理利用和生物质资源的循环利用,保护生态环境。

2.2 协同发展的技术路径与创新模式

2.2.1 能源梯级利用技术在环境工程中的应用

能源梯级利用技术的原理基于热力学第二定律,即能量具有不同的品位,在能量转换和利用过程中,应遵循从高品位到低品位的顺序,逐级利用能源,以提高能源利用效率,减少能源浪费。在能源转换过程中,高品位的能源

(如电能、机械能)可以较为容易地转换为低品位的能源(如热能),但低品位的能源转换为高品位的能源则需要消耗额外的能量。因此,合理安排能源的利用顺序,充分利用能源的品位差异,是能源梯级利用的核心。

2.2.2 多能互补集成优化系统的构建与实践

多能互补集成优化系统是一种将多种能源(如太阳能、风能、水能、地热能、生物质能等)进行有机整合,实现能源之间的优势互补和协同优化的能源系统。其概念源于对能源资源的综合利用和能源系统的优化配置,旨在提高能源供应的稳定性、可靠性和效率,减少对单一能源的依赖,降低能源利用过程中的环境影响。

多能互补集成优化系统的构建方法主要包括能源资源评估、系统规划设计、设备选型与集成、智能控制与管理等环节。在能源资源评估阶段,需要对当地的能源资源进行全面调查和分析,包括能源资源的种类、储量、分布、品质等,为系统的构建提供基础数据。在系统规划设计阶段,根据能源资源评估结果和用户的能源需求,制定合理的能源系统方案,确定各种能源的利用方式和比例,以及能源转换设备和储能设备的配置。在设备选型与集成阶段,选择性能优良、可靠性高的能源转换设备和储能设备,并进行合理的集成,确保系统的高效运行。在智能控制与管理阶段,采用先进的智能控制技术和能源管理系统,对系统进行实时监测和调控,实现能源的优化分配和高效利用。

2.2.3 能源互联网技术在环境工程能源管理中的应用

能源互联网技术是一种将互联网技术与能源生产、传输、分配和消费深度融合的新型能源技术体系。其在环境工程能源管理中的应用原理主要基于信息通信技术、智能控制技术和分布式能源技术。通过建立能源信息采集与传输网络,利用传感器、智能电表、智能气表等设备,实时采集能源生产、传输、分配和消费各个环节的数据,并通过通信网络将数据传输到能源管理中心。能源管理中心利用大数据分析、云计算等技术,对采集到的数据进行分析 and 处理,实现对能源系统的实时监测、预测和优化控制。

3 结语

环境工程在能源转型中具有不可替代的关键作用。通过技术创新、工程实践和政策支持,环境工程能够有效推动能源节约与绿色能源利用,实现能源与环境的协调发展,为解决全球能源危机和环境问题做出重要贡献。

[参考文献]

- [1] 廖传华,王银峰,李琳. 能源环境工程[M]. 北京:化学工业出版社,2020.
- [2] 杜天佳,姜华欣,梅璐淇. 传统能源企业绿色发展研究[J]. 企业管理,2023(2):120-123.
- [3] 宋礼波. 膜生物反应技术在环境工程污水处理中的运用[J]. 资源节约与环保,2018(1):2.

作者简介:王云龙(1989.2—),男,学历:本科,毕业院校:临沂大学,所学专业:环境工程,目前职称:中级工程师。

新形势下大气环境保护及污染治理对策研究

李佐尚

宿迁市宿城生态环境局, 江苏 宿迁 223800

[摘要]随着我国改革开放的不断推进,我国正式进入信息化工业时代,在化工行业大力发展、城市化建设加速推进的新时期,环境问题成为阻碍我国未来发展的重要因素。由于化工生产、污染物排放等一系列问题导致大气环境受到污染,雾霾、温室效应、酸雨等自然灾害频发,对人民生活和发展造成恶劣影响。因而针对新形势下大气环境保护及污染治理措施需要相关人员加以深入研究,从而转变我国大气环境污染严重的现状,为实现可持续性发展提供更好的助力。

[关键词] 大气环境; 保护; 污染治理; 对策

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15911

中图分类号: X5

文献标识码: A

Research on Countermeasures for Atmospheric Environment Protection and Pollution Control under the New Situation

LI Zuoshang

Suqian City Sucheng Ecological Environment Bureau, Suqian, Jiangsu, 223800, China

Abstract: With the continuous promotion of Chinese reform and opening up, China has officially entered the era of information industry. In the new era of vigorous development of the chemical industry and accelerated urbanization construction, environmental issues have become an important factor hindering Chinese future development. Due to a series of problems such as chemical production and pollutant emissions, the atmospheric environment is polluted, and natural disasters such as haze, greenhouse effect, and acid rain occur frequently, causing adverse effects on people's lives and development. Therefore, it is necessary for relevant personnel to conduct in-depth research on atmospheric environmental protection and pollution control measures under the new situation, in order to transform the serious situation of atmospheric environmental pollution in China and provide better assistance for achieving sustainable development.

Keywords: atmospheric environment; protection; pollution control; countermeasures

引言

大气环境污染是指空气中污染物质的浓度超过正常标准范围,因而影响人类正常呼吸,从而危害人体健康、影响人类生活质量。通常引发大气污染的主要原因多为人活动,由于大气环境的污染物输出速率远比输入速率低,因而导致大量污染物质难以及时去除,从而引发大气环境污染。大气环境保护及污染治理是新时代我国绿色、环保理念的重要任务,对我国未来发展及人民生活具有深远影响,因而相关人员应当以大气环境保护作为未来工作重点,加强对大气环境污染治理的研究,从而为实现可持续性发展提供更坚实的基础保障。

1 我国大气环境现状

我国目前大气环境质量具有两大特点:(1)我国大气环境污染范围较大,我国南北两方的大气环境质量存在较大差异,由于我国北方地区天气寒冷,居民在冬天需要烧炭进行取暖,因此大量的燃料燃烧会造成大量的废气,对空气环境造成影响。而南方使用燃料的现象很少,但由于南方的生产工厂数量较多,导致南方的工业废气生产量较多,对环境空气质量造成较大影响。尤其我国京津冀、长三角和珠三角地区,由于经济发展速度较快、化工产业数量多,因而也导致

污染物排放量较大,出现雾霾现象的天数也非常多,对当地人们的生活质量和健康带来一定消极影响;(2)对生态环境影响较大。空气污染问题日益加剧不仅影响大气环境质量,同时也对生态环境带来较大损伤。以我国南方地区为例,近年来我国南方地区频频出现酸雨问题,大量酸雨导致生态环境稳定性被打破,湖泊、河流资源酸化,草原、森林环境受损。由于大气污染导致降雨中二氧化硫、氮氧化物等污染物质的含量升高,对土壤环境和水文环境带来严重污染,与我国新时代绿色、环保理念存在较大冲突,严重阻碍我国可持续性发展战略方针的推行^[1]。

2 大气环境污染的危害

2.1 引发自然灾害

大气环境污染是引发各类自然灾害的关键原因,例如酸雨、雾霾等,不仅影响生态环境建设,同时对人们的日常生活也会带来严重影响。酸雨是一种极具污染性和腐蚀性的自然灾害,酸雨的学名是酸性沉降,指的是雨水的pH值小于5.6。酸雨的产生原因是人类在进行生产活动中排放出大量的酸性物质导致大气环境污染,雨水受到酸性物质影响导致具有较强酸性,落下后对环境和人类的正常生活造成影响。而雾霾则是由于大气环境中的细颗粒物浓

度过高,因而导致空气环境无法通过正常循环改善颗粒物浓度,进而出现雾霾现象。雾霾不仅影响城市美观性,同时长时间生活在雾霾区域内还会导致人们的患病几率升高,严重危害人民健康和社会稳定。

2.2 损害人身健康

氧气是人类生存的必需品,任何人平均一天吸入的空气量约为 20m^3 左右,而大气环境污染会导致空气的质量变差、空气中有毒物质的含量增加,人类长时间吸入有毒空气会引发人类的身体安全受到威胁,人体长时间吸入有毒空气会导致人体的呼吸系统受到损害,严重时身体器官受到刺激因而发生病变等现象。如果长时间生活在污染大气环境中,人体的呼吸系统、心肺器官等病变几率都会升高,对人体健康带来消极影响。

2.3 损害生态环境

大气环境污染同时也是损害生态环境的主要因素。空气污染对生态环境中的植物、动物、土壤都会带来非常强的危害,大气环境污染主要成分是二氧化硫、氟化物等有毒物质,植物每天会进行光合作用和呼吸作用,而空气环境的污染也会导致植物在进行呼吸作用时出现毒害现象,受到有毒物质危害的浓度高低所产生的植物反应也不同,有毒物质浓度高时会导致植物在极短时间内出现伤斑,植物叶子表面产生伤斑后影响呼吸作用的效果,严重时还会产生脱落现象;而有毒物质浓度较低时植物受到毒害的速度较慢,植物叶子会慢慢变色,影响植物的正常生长和发育,最终导致植物死亡。除此之外如果大气环境长期存在严重污染,还会导致土壤环境受损,影响土壤稳定性,进而对我国农业、畜牧业发展带来消极影响。

2.4 引发全球气候变暖

温室效应是导致全球变暖的主要因素,由于人类生产活动中大量使用石油、煤炭、树木等燃料,在进行燃烧后会产生大量二氧化碳和温室气体,由于温室气体在大气层中会对太阳光的辐射进行吸收,导致地球表面的温度上升。据不完全统计,全球温度正保持逐年升高的趋势。全球气候变暖会导致地球的冰川面积减小,一些临海城市的安全性受到较大威胁,同时由于地球冰川大量融化,部分地区的区域降水量发生改变,如部分地区的降水量减少会导致干旱灾害频发,对经济生产和未来发展造成严重影响。我国每年受到干旱原因影响的区域约为 4.3 亿亩,随着温度的升高未来干旱地区的面积将会越来越多,造成大量的经济损失和该地区居民的人身安全威胁^[2]。

3 大气环境污染的原因

3.1 工业排放

工业废气排放是大气环境污染的主要原因之一,工业废气的排放量非常大,而且工业废气的主要成分中具有一氧化碳、二氧化硫、粉尘粉末等有毒物质,对空气质量造成很大影响,若处理不及时甚至会导致空气中污染物质浓

度升高,进而导致生态环境失去平衡,例如二氧化硫和氮氧化物等是酸雨产生的主要原因,而粉尘粉末是造成城市雾霾现象的根本因素之一,而工业排放物质中各类污染物的浓度非常高,对大气环境会带来严重危害。

3.2 交通尾气排放

目前我国汽车保有量越来越多,每天大量的汽车行驶为人民的出行提供优质效果,但汽车行驶产生的尾气也是影响大气环境的重要原因之一。人们日常使用的汽车、火车、飞机等运输工具和交通工具使用的材料是石油、煤和机油,这些物质经过燃烧后会生成大量氮氧化物和碳氢化合物,人要是长时间吸入就会导致身体受到有毒气体的侵害。汽车尾气不仅会直接影响人们的生活质量,还会导致城市温度变化,同时加快全球温室效应的发展速度,在大量的汽车尾气排放到大气环境中后,会将大量的一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物排放到大气环境中,使大气环境受到严重污染^[3]。

3.3 生活污染

生活污染是指人类进行日常生活中产生的各类废气,例如燃烧煤炭取暖、烹饪做饭、使用空调等都会产生污染物质,如燃烧煤炭排放出的二氧化硫、做饭产生的油烟等都是造成大气环境污染的因素之一。除煤炭燃烧外还有日常使用的冰箱、空调等家电,在使用中会产生大量的氟利昂,氟利昂是一种无色无味的气体,是造成地球臭氧层破坏的主要原因之一,据计算一公斤的氟利昂可以造成臭氧层约七万千克的臭氧受到破坏。而生活使用设备产生的生活废气排放量较大,而由于全球人类基数较大导致生活废气的产生难以得到有效处理,进而造成大气环境的污染现象^[4]。

4 新形势下大气环境保护及污染治理对策

4.1 加强大气环境监测

针对大气环境污染问题需要我国相关部门提高大气监测质量,通过科学、精确的监测数据为大气环境保护及污染治理提供数据支撑。随着科技水平的不断提升各类先进技术在大气环境监测中能够发挥重要作用,例如基于物联网技术、通信技术打造大气环境监测体系,能够实现对空气质量的实时监测,保障监测时效性与精确度。例如通过特定传感器能够对环境内 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 O_3 、 SO_2 、 NO_2 等指标的实时监测,采用尘埃粒子计数器、VOCs 传感器等能够对大气环境中的颗粒物浓度进行评估,并通过相关算法计算出空气质量指数,从而为大气环境治理提供参考。借助物联网技术和大数据技术实现大气环境监测、评估的全过程自动化,以此来有效提高监测效率、降低成本支出。目前我国基于物联网技术构建大气环境监测网,已经实现对全国各个地区的全覆盖,通过监测网实时采集并计算各个城市的空气质量指数,并根据采集数据及时开展空气环境治理及污染防治工作,从而为大气环境治理提供有效助力。除此之外,例如无人机监测技术、气象站监测等也成

为新时代我国大气环境监测的常用方式,通过对先进技术的科学应用能够显著提高大气环境监测质量,从而为污染治理以及环境保护工程提供更坚实的基础保障^[5]。

4.2 颁布相关法律法规

除加强环境监测外,我国相关部门还要通过法律法规对污染现状加以把控,通过降低污染物排放量的方式改善大气环境污染现状,从而对大气环境起到更好的保护效果。近年来我国党中央对于生态环境保护给予高度重视,先后出台相关法律条例对各行业的生产经营进行管控,通过《大气污染防治法》对化工、农业、能源产业等行业进行监管,明确各类污染物质的排放标准,并联合地方政府和相关管理部门对污染物排放问题加以规定。而在未来发展中国家相关部门需要进一步落实《大气污染防治法》,并结合我国发展现状和污染治理需求对法律法规加以更新,从而保证法律法规的适用性,例如在现行法律法规中加入碳排放限制、清洁生产规定等,同时地方政府还可以出台激励政策,通过激励政策引导企业自觉管控污染问题,在日常经营中地方相关部门还要加大对各行业生产的管控力度,通过提高执法能力的方式严格杜绝污染物过度排放问题,从而为大气环境保护及污染治理提供更好的助力^[6]。

4.3 研发污染减排技术

新时代我国同样要加强对污染减排技术的研发,通过污染减排技术更好的应对大气环境污染问题,从而改善污染现状。例如目前我国部分化工企业在生产中常用的烟气脱硫技术,能够有效降低烟气中二氧化硫的含量,从而降低污染效果。除此之外,活性炭脱硫法也是化工企业生产中的常用减排技术,活性焦脱硫脱硝的原理是通过活性焦表面的吸附性和氧化作用来达到脱硫脱硝效果,当烟气中的水分和氧气含量较低时,活性焦可以直接将烟气中含有的二氧化硫吸附到表面上,而当烟气中氧气、水分含量较高时,就需要通过催化反应将氧元素和硫元素氧化成三氧化硫,三氧化硫和水元素反应变成硫酸再进行吸附。活性焦脱硫法的优点在于净化率高、脱硫效果显著,相关研究表明采用活性焦脱硫法进行处理后,烟气中的硫去除量约在 95%以上,同时活性焦脱硫法在反应过程中可以产出大量副产物,比如硫磺、硫酸等物质,将大量副产物进行处理后可以重复利用,实现资源的二次利用和回收。因而活性焦脱硫法不仅具有非常好的污染减排效果,同时与我国新时代节能理念契合,因而在未来化工企业生产中具有重要地位^[7]。

4.4 大力推广清洁能源

清洁能源是未来全球能源市场发展的重要能源,随着

全球各国对于环境污染问题的重视度越来越高,大力推广清洁能源成为未来治理环境污染的关键。清洁能源也被称为绿色能源,常见的清洁能源包括太阳能、风能、水能和生物质能等,清洁能源的优势在于在使用过程中不会产生任何污染物。我国在“十四五”能源发展规划中明确指出,未来我国将清洁能源作为能源转型的重点,通过对清洁能源的大力推广应用转变生态环境污染现状。得益于国家对于清洁能源的高度重视,目前清洁能源也在我国各个行业得到广泛应用,例如新能源汽车、水力发电、风力发电、地热供暖和太阳能照明系统等,通过清洁能源的应用为我国生态环境保护提供重要助力,同时也为我国实行节能、可持续性发展提供有效支撑。而未来我国也要加强对清洁能源的宣传和推广,并针对清洁能源出台相关激励政策,从而实现清洁能源在各行业领域的普及应用,为大气环境保护及污染治理提供更有力的支持^[8]。

5 结束语

综上所述,新时代我国将生态环境保护作为未来发展的首要目标,而大气环境作为人类赖以生存的重要资源,对我国未来发展和社会稳定具有重要影响,因而针对大气环境的保护及污染治理工作需要社会各界给予高度重视,通过大气环境监测技术、推广清洁能源、加强污染治理监控、研发污染减排技术等多种方式有效改善污染现状,从而为大气环境保护及修复工作提供有力保障。

[参考文献]

- [1] 闫洁, 苏志. 新形势下生态环境保护与污染治理对策研究[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(9): 123-125.
 - [2] 许洁. 浅谈新形势下大气环境污染原因及治理措施[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(13): 64-66.
 - [3] 程建美. 新形势下大气环境保护与治理措施分析[J]. 清洗世界, 2024, 40(3): 172-174.
 - [4] 彭智远. 新形势下生态环境保护及污染治理探讨[J]. 农村科学实验, 2024(3): 22-24.
 - [5] 高双庆. 新形势下生态环境保护及污染治理策略分析[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(9): 77-79.
 - [6] 曹如星. 新形势下大气环境保护及污染治理对策研究[J]. 资源节约与环保, 2023(2): 8-11.
 - [7] 郑诚. 新形势下大气环境保护与治理措施分析[J]. 资源节约与环保, 2022(6): 20-23.
 - [8] 华英. 在新形势下大气环境保护与治理的相关探讨[J]. 智能城市, 2018, 4(19): 99-100.
- 作者简介: 李佐尚 (1997.6—), 男, 南通大学, 环境工程, 宿迁市宿城生态环境局, 办公室主任, 专技十二。

浅议微生物处理技术在环境工程中的运用

吴建文

内蒙古环保投资集团有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000

[摘要]微生物处理技术对环境工程的解决方案具有重要的影响力。文中首先介绍了微生物处理技术的结构和工作原理,以阐述其在处理环境污染、废水处理、垃圾处理等环境问题中的角色。接着,通过对一系列案例的研究,论文凸显了微生物处理技术在环境工程中的运用结果,包括:抑制有害物质的排放、提高废水处理效率及有效推进垃圾无害化处理等。研究显示,运用微生物处理技术不仅能实现对环境的保护,还能对废弃物进行资源化处理。最后,文章对微生物处理技术在未来环境工程中的应用进行了展望,探讨了现有技术面临的挑战以及潜在的解决方案,希望为此领域的研发和推广提供有益的思考与参考。

[关键词]微生物处理技术;环境工程;废水处理;垃圾无害化处理;环境保护

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15908

中图分类号: X172

文献标识码: A

Brief Discussion on Application of Microbial Treatment Technology in Environmental Engineering

WU Jianwen

IMEPI Group Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract: Microbial treatment technology has a significant impact on environmental engineering solutions. The article first introduces the structure and working principle of microbial treatment technology to elucidate its role in addressing environmental issues such as pollution, wastewater treatment, and garbage disposal. Furthermore, through the study of a series of cases, the paper highlights the application results of microbial treatment technology in environmental engineering, including inhibiting the discharge of harmful substances, improving wastewater treatment efficiency, and effectively promoting the harmless treatment of garbage. Research shows that the use of microbial treatment technology can not only protect the environment, but also recycle waste. Finally, the article looks forward to the application of microbial treatment technology in future environmental engineering, explores the challenges faced by existing technologies and potential solutions, and hopes to provide useful thinking and reference for the research and promotion of this field.

Keywords: microbial treatment technology; environmental engineering; wastewater treatment; harmless treatment of garbage; environmental protection

引言

环境工程作为一门旨在改善并保护环境的应用科学,它对于解决全球日益严重的环境问题起着至关重要的作用。其中,微生物处理技术,作为一种优秀且高效的生物处理机制,已经在环保工程领域得到了广泛的应用,特别是在处理环境污染、废水处理、垃圾处理等多种环境问题中显示出了强大的处理能力和较高的处理效率。遗憾的是,尽管微生物处理技术的潜力和价值已经得到了越来越多的认识和承认,但在实际操作中应用仍面临着很多挑战和问题。为了解决这些问题,进一步提高微生物处理技术的处理效率和可行性,本文将深入探讨微生物处理技术在环境工程中的具体应用,案例研究,并展望其未来的发展趋势和可能的改进措施。

1 微生物处理技术的基本概念

1.1 微生物处理技术的定义及结构

微生物处理技术是基于微生物自然代谢作用的一种环境治理手段,其通过微生物的生物化学反应来降解或转化污染物^[1]。该技术的核心在于对不同环境中存在的污染物进行有效处理和资源化,其定义涵盖了利用微生物群体或其代谢产物以实现污染物消解的过程。结构上,微生物

处理技术通常由三个主要部分组成:微生物种群、支持介质和控制系统。微生物种群是技术的主体,依据目标污染物种类选择合适的微生物族群。支持介质则为微生物提供栖息和作用的环境,如固定化载体、悬浮液等。控制系统包括混合、供氧、温度和 pH 值调控等措施,确保微生物在最佳条件下发挥净化功能。通过模拟自然生态系统的方式,微生物处理技术展现出在污染物去除及环境友好过程中的独特优势,成为现代环境工程的重要工具。

1.2 微生物处理技术的工作原理

微生物处理技术的工作原理基于微生物在特定条件下对有机物和无机物进行生物化学反应,通过代谢活动实现污染物的降解和转化^[2]。在特定的生物反应器中,微生物群体以酶促反应的方式将复杂的污染物分解为简单的、无害的或资源化的物质。该过程中,微生物可以通过同化和异化作用,分别用于细胞的生长和能量的获取。同化过程主要涉及微生物将小分子物质合成为其细胞物质,而异化过程则包括氧化还原反应,释放能量并将污染物转化为二氧化碳、水或其他简单无害的终产物。通过适当的环境控制和优化,微生物能够对多种污染物进行高效的选择性降

解，为环境工程提供了一种自然且经济有效的解决方案。

1.3 微生物处理技术的主要应用领域

微生物处理技术在多个环境领域展现了其卓越的应用潜力。在污水处理领域，该技术利用微生物的代谢活动有效去除水中污染物质，实现水质净化。在垃圾处理领域，微生物处理技术通过生物降解作用加速垃圾的分解，实现资源化利用与无害化处理。在土壤修复领域，微生物能够降解和转化有毒有害物质，促进生态环境的恢复。在大气污染控制中，微生物处理技术同样展现了其在去除挥发性有机物和治理空气污染方面的潜力。它不仅推动了污染物的高效去除，也为绿色环保提供了技术支持。

2 微生物处理技术在处理环境污染中的作用

2.1 应用微生物处理技术进行污染减排

微生物处理技术在污染减排中的应用表现出显著成效，以其独特的生物降解能力有效减少环境中的污染物。这项技术广泛应用于工业排放治理中，利用特定的微生物群落将有机污染物转化为无害或低毒性的化合物，从源头上减少污染物的排放。微生物处理技术在大气污染控制中发挥重要作用，特别是在挥发性有机化合物和臭氧前体物的去除方面，通过生物过滤器等装置实现高度有效的处理。该技术还在土壤修复中展现出其优越性，能够分解土壤中积累的有机污染物，改善土壤健康。随着技术的不断发展，微生物处理技术与物理化学方法结合，可进一步提高减排效果，为绿色环保工程提供了强有力的技术支持。在政策推动和技术进步的双重驱动下，微生物处理技术在污染减排领域有望获得更广泛和深入的应用。

2.2 微生物处理技术促进对有害物质的去除

微生物处理技术在去除有害物质过程中表现出显著的成效，其原理基于微生物代谢活动对污染物的分解和转化能力。通过生物降解过程，微生物能够将复杂有机污染物分解为简单、无害的化合物，从而有效降低环境中的有害物质浓度^[3]。在重金属污染处理方面，一些微生物可以通过吸附、沉淀等作用，固定并去除重金属离子，减少其在环境中的迁移和毒性。微生物处理技术还对挥发性有机化合物和氨氮等有机污染物的去除具有效率高、适应性强和投入成本低的优势。随着技术的进一步发展，新型工程菌的研发和应用不断提升微生物去除有害物质的能力，为处理复杂环境污染提供了更加可行的解决方案。这一技术在污染修复中的作用日益凸显，其低能耗、可持续的特性也符合现代环境保护的要求。

2.3 以微生物处理技术实施环境修复

微生物处理技术在环境修复中的应用主要体现在其对受污染土壤和水体的生物修复能力。通过微生物的代谢作用，可有效分解污染物或将其转化为无害物质，达到净化环境的目的。这种技术在处理重金属污染和有机污染方面尤为突出，可显著降低污染浓度和扩散风险，恢复生态系统的自然状态。微生物处理技术作为一种绿色环保的方法，不仅提高了修复效率，还降低了修复过程中的环境负

荷，为可持续环境治理提供了新途径。

3 微生物处理技术在废水处理和垃圾处理中的应用

3.1 微生物处理技术在废水处理中的效果

微生物处理技术在废水处理中的应用效果显著，并已成为废水处理中不可或缺的重要手段之一。利用微生物的代谢功能，废水中的有机污染物和部分无机污染物能够被分解和转化，显著降低水体中的污染负荷。通过相应的工艺条件控制，如温度、氧气供应和营养物质的调节，微生物处理技术能提高废水处理的效率和稳定性。活性污泥法、生物膜法及厌氧生物处理法等常用方法分别在不同类型的废水处理中展现出独特的优势。活性污泥法因其处理效率高和适应性强被广泛应用于城镇污水处理中；生物膜法由于其耐受负荷波动的特性，适用于有机物浓度较高的工业废水；厌氧处理技术则因其能量自足和资源化能力，在有机废水处理和资源回收中备受瞩目。微生物处理技术不仅在提高污水处理效率方面表现优异，还在处理后水质改善和减少有害物质排放方面产生积极效果，为水资源的可持续利用提供了保障。

3.2 有效执行垃圾无害化处理的微生物处理技术

微生物处理技术在垃圾无害化处理中的应用具有显著的效果。该技术通过微生物的代谢功能，将有机废物中的复杂化合物转化为无害或低害物质，从而实现垃圾的减量化和无害化。这一过程主要借助多种微生物的协同作用，利用好氧或厌氧条件，使得垃圾中的有机物和某些有毒物质得以降解，减少环境负担。尤其是厌氧消化技术，在垃圾填埋场中可以有效地减少气体挥发和渗滤液的污染。通过优化微生物种群及其代谢环境，可以进一步提高处理效率和效果，为城市生活垃圾处理提供了可持续的解决方案，使垃圾管理愈加生态友好和资源节约。

3.3 微生物处理技术在垃圾处理中的资源化应用

微生物处理技术在垃圾处理中的资源化应用具有重要的经济和环境价值^[4]。这项技术通过微生物的自然代谢过程，将有机垃圾转化为有用的资源，例如堆肥和生物燃料。在堆肥过程中，微生物分解有机物质，生成营养丰富的土壤改良剂。微生物技术可以促成厌氧发酵，生产甲烷等生物燃气，为能源需求提供可再生选择。这种资源化应用不仅减少了垃圾填埋的需求，还有效降低了温室气体的排放，推动循环经济的发展，加速环保意识的提升。

4 微生物处理技术在环保工程的实际运用效果

4.1 抑制有害物质排放的实际效果

微生物处理技术在抑制有害物质排放方面表现出显著的实际效果，通过其独特的代谢功能，微生物能够在污染环境中有效降解有毒有害化合物。在废水处理过程中，特定微生物群落的代谢活动能有效去除重金属、氨氮以及磷等污染物。这些微生物通过细胞内酶促反应，将复杂的有机污染物转化为简单、无害的物质，减少对环境的影响。

在大气污染治理中，采用微生物技术处理挥发性有机

化合物（VOCs）和硫化氢等气态污染物，显著降低了废气中的有害成分含量。微生物处理技术对于土壤污染物的修复也发挥了重要作用，通过生物降解途径，能将污染土壤中的多环芳烃及其他难降解有机物有效分解，从而减少土壤环境中的有害物质积累。这些实际应用证实了微生物处理技术在抑制有害物质排放中的重要性，体现了其在环境工程领域的广阔应用前景。

4.2 提高废水处理效率的实际效果

微生物处理技术在提高废水处理效率方面显示出显著的成效^[5]。通过运用特定微生物群体，能够有效去除废水中的有机物和污染物。这些微生物在处理过程中对污染物进行分解和转化，显著减少了化学需氧量（COD）和生化需氧量（BOD），降低了污染物的浓度。微生物处理技术具有无需添加大量化学药剂的优势，减少了化学药剂的消耗和环境负担。研究表明，在使用微生物处理技术后，废水的清洁程度达到更高标准，处理效率提高了，且运行成本降低。微生物技术适应性强，适用于多种类型的废水处理工程，为环保产业提供了可持续发展的新途径。通过准确定制微生物菌种组合，废水处理效率能够获得进一步提升。

4.3 有效推进垃圾无害化处理的实际结果

在垃圾无害化处理中，微生物处理技术展现了显著的成效。通过特定微生物的应用，能够有效地分解有机废物，减少垃圾体积及污染物的释放。尤其在厌氧消化过程中，微生物降解有机物产生沼气，实现废物资源化利用和能源回收。微生物处理能够促进垃圾稳定化，降低其对环境的长期危害。研究表明，该技术不仅提高了垃圾处理效率，还进一步推动了环保工程的可持续发展，为现代城市的垃圾管理提供了创新的解决方案。

5 微生物处理技术的未来展望和挑战

5.1 持续优化微生物处理技术的重要性

微生物处理技术作为环境工程的重要组成部分，其持续优化具有显著的重要性。随着环境污染问题的日益复杂和多样化，仅依赖现有技术已不足以全面应对现代环境挑战。微生物处理技术面对的污染物种类日益增加，优化生物菌种及其代谢途径是提高处理效率的关键。通过基因工程和合成生物学的方法，可以设计和培育出更具针对性和适应性的微生物菌群，使其在特定环境条件下能够更有效地分解或转化污染物。

持续优化还体现在工艺流程的改进上。通过对反应条件的精细控制，如温度、pH 值及营养元素的优化，使微生物的降解活性达到最佳状态，从而实现更高的污染物转化效率。优化不仅限于技术本身，还应包括对工艺经济性的评估和提升，以确保微生物处理技术在大规模应用中具备经济可行性和可持续性。唯有结合技术和经济的双重考量，微生物处理技术才能在未来更广泛地应用于复杂的环境问题中。

5.2 面临的技术挑战 and 可能的解决方案

微生物处理技术的发展面临诸多挑战。微生物种群的

多样性和稳定性是其中重要问题，需要深入研究以选择合适的微生物组合。环境条件对微生物活性的影响亦不可忽视，需优化工艺条件以提高处理效率。微生物处理设施的高成本和技术复杂性限制了其广泛应用。对此，研发低成本、易操作的技术方案显得尤为重要。实现微生物与其他处理技术的集成应用，有助于提高整体处理效果。在政策支持下，通过加强科研投入和技术推广，可有效克服上述挑战，推动微生物处理技术在环境工程中的更广泛应用。

5.3 微生物处理技术在未来环境工程中的应用前景

微生物处理技术在未来环境工程中展现出广阔的发展前景。随着科学技术的进步和对环境保护需求的增加，该技术的应用将更加多样化和高效。智能化和自动化领域的发展可望在微生物处理过程中引入先进的监测和控制手段，提高处理精度和稳定性。基因工程的发展将增强微生物的处理能力，针对不同污染物定制专用菌株。跨学科合作有望推动其在生态修复、资源化利用等新领域的应用。微生物处理技术有潜力成为可持续发展的核心推动力。

6 结束语

总结本次研究，首先对微生物处理技术的核心结构和工作原理进行了深入的研究，明确了其在环境工程中的独特优势。通过一系列的案例研究，揭示了微生物处理技术在环境工程领域中的实际应用效果，包括限制有害物质排放、提高废水处理效率以及推进垃圾无害化处理等方面，均得到了明显的改善。研究结果进一步证实，微生物处理技术不仅可以有效地保护环境，还能将废弃物资源化处理，具有很高的应用价值。然而，现阶段微生物处理技术在实际操作中仍存在一些挑战，如技术的稳定性、处理效果的可控性以及成本的可承受性等问题。因此，对微生物处理技术的进一步改进和优化，以及有效的解决策略，仍是未来研究的重点。望本研究能为未来环境工程及微生物处理技术的相关研究，提供有益的参考和启示。同时，期待微生物处理技术在环境工程领域的应用能够持续深化和拓宽，为环保事业的发展贡献更大的力量。

[参考文献]

- [1]赵世航. 微生物处理技术在环境工程中的运用[J]. 冶金管理, 2021(13): 105-106.
- [2]郑伟华. 微生物处理技术在环境工程中运用分析[J]. 工程技术, 2022(10): 153-156.
- [3]邵永计. 微生物处理技术在环境工程中的运用探讨[J]. 产业与科技论坛, 2022, 21(14): 36-37.
- [4]范红娟. 微生物处理技术在环境工程中的运用与实践[J]. 装备维修技术, 2021(20): 102.
- [5]邱泽宏. 环境工程中的微生物处理技术探讨[J]. 工程技术, 2023(10): 110.

作者简介：吴建文（1965.10—），男，内蒙古大学生物工程，内蒙古环保投资集团有限公司，投资与创新管理部总经理。

河道治理工程对周边生态环境的影响分析

雷甲龙

西安高新区应急管理局, 陕西 西安 710119

[摘要]河道治理工程是改善水质、控制水流、防治水灾的有效手段。然而,河道治理的实施往往伴随着生态环境的变化。文章通过分析河道治理工程对周边生态环境的影响,探讨治理措施对生物多样性、水质、土壤及周边社会经济的影响,并提出优化治理方案的建议。研究表明,合理设计与实施的河道治理工程可以有效改善水环境质量,但不合理的工程方案则可能对生态环境带来负面影响,需要加强生态保护和修复措施。

[关键词]河道治理;生态环境;生物多样性;水质影响;生态修复

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15900

中图分类号: TV85

文献标识码: A

Analysis of the Impact of River Management Projects on the Surrounding Ecological Environment

LEI Jialong

Xi'an High-tech Zone Bureau of Emergency Management, Xi'an, Shaanxi, 710119, China

Abstract: River management engineering is an effective means to improve water quality, control water flow, and prevent floods. However, the implementation of river management often accompanies changes in the ecological environment. The article analyzes the impact of river governance projects on the surrounding ecological environment, explores the effects of governance measures on biodiversity, water quality, soil, and surrounding socio-economic factors, and proposes suggestions for optimizing governance plans. The research results indicate that well-designed and implemented river management projects can effectively improve water environment quality, but unreasonable engineering schemes may have negative impacts on the ecological environment, and ecological protection and restoration measures need to be strengthened.

Keywords: river management; ecological environment; biodiversity; water quality impact; ecological restoration

引言

伴随城市化前行进程加速,水质恶化、洪水频发等河道问题正日益加剧,河道治理工程应需诞生,作为整治水环境、增强防洪能力的有效手段。然而传统的河道整治往往聚焦于水利设施建设与灾害防御,未顾及生态环境的保护需求。近年来生态文明建设上升为国家战略层面,河道治理工程逐步向生态修复及绿色发展态势转型。本研究试图剖析河道治理工程对周边生态环境起到的影响,继而给出实现生态环境改善的可行举措。

1 河道治理工程对周边生态环境的影响

1.1 生态环境跟河道水质改善的彼此关联情况

改善水质为河道治理工程的一个核心目标,以达到为周边生态环境创造更宜人条件的目的。在这一开展过程中,诸如水流调控、污染源截流、生态浮岛等为常见的技术手段,采用降低水体里面有害物质浓度,诸如重金属、氮磷化合物这些,以推动水质的复原。水质改善在一定程度上促进水体自净能力提升,也为推进水域生态系统的修复打下基础,若水质达到良好的条件,水生植物可以实现正常生长,水生动物得以推进繁衍活动,实现水域生态链的修复。然而即便河道治理取得的重要成果是水质改善,少数工程措施在取得水质改善成果时未能充分审视生态

系统自我调节能力,大概会引起生物种群的平衡失调。例如水质确实得到改善,但人工改变水流的快慢与深浅,要么引入非本土的水生植物类别以促进水质的净化,会对水域生物多样性产生影响,促成物种栖息地的改变情形,甚至引发某些物种消失或过度繁衍^[1]。

1.2 生物多样性的影响

作为生态系统健康的重要标志是生物多样性,反映出生态系统稳定性以及其自我调节的能力。一般而言,河道治理工程的实施会直接或间接影响到水域生物多样性,尤其是当对水流速率、水温、水深等物理环境条件实施改变时。例如,水流速率增大或许会让水生植物根系无法稳定于河床上,进而对水生植物生长与水生动物栖息条件形成影响。直接影响鱼类及其它水生动物繁殖、活动的是水温的变化,如堤坝建设、河道疏浚之类的工程活动,屡屡会引起原有的自然栖息地的损毁,造成水体的流动方向出现改变,引起水生植物与动物栖息空间的变动,甚至也许会引引起水生物种的灭绝与迁移。此外,在开展河道综合整治工作时,会引入非本地物种,如人工栽种的水生植物及水域生物,或许这些外来物种会和本土物种形成竞争,甚至把原生物种替换,使水域生态平衡出现破坏。因此,在河道治理工程中充分顾及生物多样性保护,在设计与实施环

节杜绝引入外来物种,且最大程度留存并修复原生生态环境,以维持水域生态系统呈现多样稳定态势。

1.3 土壤质量与水土保持问题

在河道治理工程开展阶段,土方作业是无法剔除的一部分,尤其是疏浚施工、堤坝建设等相关项目。在开展土方作业的过程中,往往会破坏土壤表层的植物覆盖与生态结构,带来水土流失与污染问题显露。在水土流失问题严峻的地带,治理进程中土壤的流失可破坏土壤结构,也许会加重河道周边出现的水土流失现象,引发土地最终走向退化,由此对农业生产与生态环境的稳定程度形成影响。例如由于河道治理土壤的肥力和结构遭到损坏后,会造成土壤呈现贫瘠状态,造成对原生植物生长的限制,甚至对水生植物生长及繁殖方面造成干扰。此外,当治理工程未能跟有效的水土保持手段相整合,如设立植物调节带、采用土壤固化剂等实例,或引发土壤侵蚀与水土流失的加重,进而阻碍河道周边生态环境的可持续发展步伐。为杜绝该种情形产生,应在河道治理中加强土壤质量保护,采用水土保持的技术,稳固工程的长期实施效果,缓解生态遭遇的破坏情形,带动土地恢复进而促进生态环境持续变好^[2]。

1.4 社会经济与生态影响的综合评估

河道治理工程牵扯到生态环境的修复事宜,亦和周边所处的社会经济发展紧密相系,当在开展实施行动的阶段,土地占用与改造的情形、原住民迁移的表现以及生态旅游资源变化的迹象等因素,皆有一定可能对当地经济社会生活造成深远冲击,就部分地区而言,改善水质与景观可依靠河道治理工程达成,挖掘生态旅游资源潜力,吸引游客助力当地经济实现可持续增长。例如,旅游业的增长能被清澈水域及丰富的生态景观带动,替当地居民创造出崭新的收入源头;同时水质及水环境的改善在提升居民生活质量上有作用,保障当地居民可顺利利用水资源。然而,过度采取的河道治理办法或不当开展的开发利用手段也许会对周边生态环境产生不利影响。例如过度开发也许会引起原生态景区的破坏问题,由此影响到当地的旅游资源;治理阶段所进行的大规模施工活动,会对原有的农田、渔业资源形成破坏,使当地居民的生计受到波及。因此应充分把社会经济影响纳入河道治理工程的考量范围,把生态与经济的平衡放在心上,杜绝过度开发引起生态资源的缺失^[3]。

2 河道治理工程优化建议

2.1 生态优先的设计理念

在河道治理项目推进阶段,实现水资源合理利用跟生态保护平衡关键在于生态环境的可持续性。伴随环境问题严峻状况升级,传统的工程化治理手段逐步暴露出一定局限,生态优先的设计理念成为现代河道治理的关键走向。该理念的关键是恢复、维护河道的自然生态功能达成目的,最大程度降低人为实施的干预力度,进而实现水体长时间的健康和生态系统的稳定维系。可优先选择适应性卓越、

低维护水平的植物进行栽种,在水质改善与生态恢复进程中这些植物可起到积极效用。例如,实施本地水生植物的种植工作,可推动水体自净功能的发挥,吸附水中存在的有害物质与过剩养分,遏制水体富营养化现象的蔓延。这些植物对水体净化所起的作用十分关键,还可辅助实现土壤的稳定,减少土壤流失量,维持河道生态系统的稳定状态。采用低保养强度的植物,可实现长期养护成本的减少,又能保证植物在不良的环境状况下依然可以存活与发挥作用,保障生态恢复具备长期性与稳定性。原生态栖息地是物种生存繁衍所依赖的基础,对生物多样性的持续稳定意义关键。因此,在实施河道治理举措时,应极力避免出现大规模的生态破坏,防止出现对当地物种生存环境的干扰。加强对原有生态栖息地的保护与修复,有利于让水域生物的生存条件恢复正常,实现其自然生态链的复原。例如,河道两边的湿地与植被带可以采用对现有水生植物群落开展保护与恢复的方式,增大其水质净化能力及生态承载力,避免人为活动让生态系统陷入负面状态^[4]。

就水流调节相关事宜而言,应采用科学的规划方案,保障水流治理时可实现调节意图,且不会对水域生态平衡造成破坏。过度的水流调节有概率破坏水生植物的栖息处境,影响到水域生物的生存空间大小,因此开展水流调节装置设计相关工作时,应参照当地水文特性及生物的需求,恰当设置流速、流向等关键参数,实现水体自然循环和生态环境的和谐相容局面。此外,采用自然化治理手段是生态优先设计理念的重要板块,湿地借助植物根系实现对水中污染物的吸收,更可为水鸟、昆虫等搭建栖息场所,实现区域生态多样性的恢复。采用恢复湿地自然功能的方式,可提升河道水质,同时推动本地物种的存活繁衍。

2.2 增强生态监测与评估

在河道治理工程推进过程中,实现生态环境恢复与保护效果—生态监测与评估是关键环节。为全面弄清楚治理工程对生态环境产生的作用,实施前后对生态进行监测是治理工程必需部分。采用体系化的数据监测举措,我们可对河道水质、生物种群、土壤质量等多个重要生态指标进行实时掌握,为后期实施的评估与调整提供相关依据,以此推动生态目标的顺利达成进程。在治理工程实施前期,开展覆盖全面的生态基线监测意义重大,经过对水质、生物种群和土壤质量等关键指标进行详细监测,得以掌握现存生态环境的实际状态,为设计与实施治理措施给予科学支撑。例如,以开展对水体中溶解氧、氮磷含量、有害物质浓度等指标检测的途径,得以判定水质的污染水平,由此规划相应的水质改进方案。此外,实施对周围生物群落的种类、数量及分布态势的评估,可以预判生态恢复阶段的潜在挑战,并可为筛选恰当的恢复植物或生物种群提供佐证。开展土壤质量监测可以辅助评估河道两岸土壤状况,搞清水土保持的风险以及治理过程中也许会遇到的土壤

流失难题^[5]。

在治理工程付诸实施的过程中,应做到生态监测持续开展,保障各类治理措施在实际执行中实现预期的生态成效。借助监测数据能及时发现潜在隐患,如水质改善未达期望,某些生态恢复策略的成效未达预期,乃至有生物种群失衡这类现象出现,此时工程管理者可依据监测结果迅速做出反应,采用必要方式实施调整。例如,若察觉到水质改善未达预期,可强化对污染源的管控举措;若发觉某些外来物种引入对本地生态有影响的显现,可能采取恰当的治理措施以防外来物种扩散,维持本地物种的生存空间范围。生态恢复措施在治理后期同样十分关键,待治理工程实施工作结束,监测及评估工作应持续开展,以此评估生态恢复的成效并根据评估成果进一步革新治理方案。依靠周期性实施的后期生态监测,可及时察觉水质、生物多样性与土壤质量的变化走向,为生态恢复目标的实现护航。倘若监测数据显示治理效果未达预期目标,亦或一些地区的生态环境依然处在较差境地,可以采取针对性的补救方案。例如,强化植被恢复相关工作,也可借助优化水流调控方案以提升水质。此外,以监测数据为基础的评估可助力后续治理项目总结经验,为近似的工程供给可借鉴的参考蓝本,杜绝重复犯下类似的错误,实现治理效果在现有基础上进一步提高。

2.3 社会参与公众意识提升

一项复杂的系统工程就是河道治理,涉及水资源的科学管理、环境的有效保护、生态的积极恢复等范畴。即便在河道治理的过程中政府是主导力量,然而单靠政府的力量无法实现全面又可持续的治理成果,因此来自社会各界的广泛参与,尤其以公众的积极参与为主要,反映出相当关键的意义。公众参与能助力治理工作更贴合实际、更契合当地需求,且可对治理进程中是否存在疏漏或错误进行有效监督。生态保护意识的提高可借助公众参与得以促进,凭借加大生态教育及环保宣传投入,助力周边居民认识生态保护的重要意义。尤其需要强调河流生态系统的脆弱性,只有当居民认识到水体污染后果及生态系统破坏影响时,才会更积极地融入治理行动里面。与此同时,采用开展社区活动、环保讲座等多样形式,公众对于生态文明建设的理解可由政府进一步深化,造就全民携手共治的局势^[6]。

在政府成为主导主体的治理活动中,绝不可忽视公众的监督作用。参与者借助对治理进程的观测与反馈,才能切实杜绝由短期利益诱惑造成的环境被忽略局面,例如,部分地方也许是因追求短期经济成效,将河道生态的长期影响忽略掉。通过公众参与可把这一问题揭露,运用舆论监督、建议反馈等方式推动政府对策略做出改变,保证治理活动能促进经济上扬,且不造成生态环境的损害。另外,借助社会各界的参与可增强治理的多元性与灵活性,河道治理并非仅属于技术性的工程范畴,还牵扯到社会、文化等方面的复杂元素,居民、各界专家、环保组织和企业共同参与到这里面,可在治理方案的制订中提供多样化的意见,让治理手段更具科学合理性,并实现多方利益的合理平衡^[7]。

3 结语

河道治理工程在为社会带来经济效益的同时,也必须关注对生态环境的影响。通过合理设计与科学管理,可以在实现治理目标的同时,保护生态环境、恢复生物多样性,提升水质、改善土壤质量。未来的河道治理工程应更多地依赖生态学原理,增强生态修复能力,推动绿色低碳的发展模式,以实现生态与社会经济的双赢。

[参考文献]

- [1]孙迪. 中小河流治理中河道生态化改造对乡村生态环境影响分析[J]. 内蒙古水利, 2024(11): 107-109.
- [2]王琦. 城市的河道水生态环境治理要点及策略探析[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(9): 117-119.
- [3]秦花. 目前我国生态河道治理方案存在的问题及对策建议[J]. 水上安全, 2024(8): 59-61.
- [4]王如雪. 汾河祁县段河道治理工程生态环境效益评价[J]. 山西水利, 2023(12): 22-24.
- [5]田华. 河道水体流域生态环境污染防治的实践与探索[J]. 化工管理, 2023(23): 45-47.
- [6]尤永良. 河道治理工程建设对生态环境的影响及应对措施研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(11): 147-149.
- [7]常开志. 河道治理中的水生态保持和修复问题探讨[J]. 农村实用技术, 2023(6): 104-105.

作者简介: 雷甲龙 (1984.4—), 男, 汉族, 专业: 水利工程, 中级工程师。

探究大气环境监测的应用及布点方法

孙小淋 衣英杰

烟台市栖霞环境监控中心, 山东 烟台 265300

[摘要]随着全球工业化和城市化的加速, 空气污染已成为威胁人类生存和发展的严重问题。从全球来看, 空气污染形势不容乐观。根据世界卫生组织(世界卫生组织)的数据, 全球约有 700 万人死于室外和室内空气污染, 十分之九的人呼吸高浓度污染物的空气。其中, 亚洲和非洲是空气污染最集中的地区, 中低收入国家占空气污染死亡人数的 90%以上。在我国, 空气污染问题同样突出。尽管近年来在预防和打击空气污染方面取得了重大成功, 但结构性、因果性和趋势性的压力仍然存在。因此, 深入研究大气环境监测的应用和应用方法具有重要的现实意义。

[关键词] 大气环境; 环境监测; 应用

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15893

中图分类号: X831

文献标识码: A

Exploration on the Application and Distribution Methods of Atmospheric Environment Monitoring

SUN Xiaolin, YI Yingjie

Yantai Qixia Environmental Monitoring Center, Yantai, Shandong, 265300, China

Abstract: With the acceleration of global industrialization and urbanization, air pollution has become a serious problem threatening human survival and development. From a global perspective, the situation of air pollution is not optimistic. According to the World Health Organization (WHO), approximately 7 million people worldwide die from outdoor and indoor air pollution, with nine out of ten people breathing high concentrations of pollutants in the air. Among them, Asia and Africa are the regions with the highest concentration of air pollution, with low and middle income countries accounting for over 90% of air pollution deaths. In our country, the problem of air pollution is equally prominent. Despite significant success in preventing and combating air pollution in recent years, structural, causal, and trending pressures still exist. Therefore, in-depth research on the application and methods of atmospheric environment monitoring has important practical significance.

Keywords: atmospheric environment; environmental monitoring; application

1 大气环境监测的重要性

大气环境监测作为了解大气环境质量、记录大气污染变化的重要手段, 在污染控制、政策制定、公共卫生保护等方面发挥着关键作用。首先, 大气环境监测为控制污染提供了科学依据。实时监测和分析大气中各种污染物的浓度、成分和空间分布, 可以准确捕捉污染的来源、程度和趋势, 从而为制定有针对性的污染控制措施提供数据。其次, 大气环境监测是制定科学合理的环境政策的基础。根据监测数据, 政府部门可以全面了解大气环境质量的现状和发展趋势, 从而制定符合实际情况的环境政策、法规和标准。此外, 监测大气环境对于保护公众健康至关重要。及时准确的监测数据可以帮助公众了解其环境中的空气质量, 提前采取保护措施, 减少污染物对健康造成的损害。同时, 监测数据也是应对突发环境事件的重要依据: 在发生污染事故时, 可以迅速启动应急预案, 采取有效措施, 尽可能减少对公众健康和生态环境的影响。

2 大气环境监测的应用领域

2.1 城市空气质量监测

2.1.1 监测网络与站点布局

城市空气质量监测网络是了解城市大气环境质量的

关键基础设施, 其建设需要综合考虑几个因素。在场地设计方面, 根据城市功能区的划分, 监测站在不同区域之间合理分布。

居民区是居民日常生活的场所, 对空气质量的要求较高。在居民区设置监测站点, 可保障居民的生活质量, 为居民提供健康的生活环境。监测数据能及时反馈居民区周边的污染情况, 如工业企业排放、交通噪声等对居民区空气质量的影响, 以便相关部门采取措施进行治理^[1]。

工业区是工业生产集中的地区, 工业废气排放是空气污染的主要来源之一。在工业区建立监测站可以有效监测工业企业的污染物排放, 鼓励减排措施。通过在检测到过量排放时实时监测工业废气中二氧化硫、氮氧化物和颗粒物等污染物的浓度, 敦促企业立即纠正和减少污染物对环境的影响。

火车站、汽车站、机场等交通枢纽。交通流量大, 机动车排放集中。在这些地区建立监测站可能侧重于监测交通污染对空气质量的影响。通过分析监测数据, 调查交通流量与污染物浓度之间的关系, 为交通管理部门制定合理的交通分流计划、减少交通拥堵和废气排放提供依据。

不同功能区的监测站协同工作, 形成一个有机的监测

网络，可以全面准确地绘制城市空气质量状况图。通过对不同监测站的数据进行综合分析，可以创建城市空气质量分布图，直观地显示不同地区的污染程度和分布情况，为评估和管理城市空气质量奠定了坚实的基础。

2.1.2 数据应用与决策支持

城市空气质量监测数据在空气质量评价、预警发布以及城市规划和交通管理等方面具有重要应用价值。

在空气质量评价方面，依据监测数据，按照国家空气质量标准，对城市空气质量的定量评估。通过计算各种污染物的浓度值并将其与标准值进行比较，确定空气质量水平，如优良、良好、轻度污染、中度污染、重度污染等。空气质量评估的结果不仅为公众提供了对城市空气质量状况的直观了解，也为政府机构评估空气污染控制的有效性提供了依据。通过比较不同时期的空气质量评估结果，可以确定对抗污染物的措施是否有效。如果事实证明空气质量没有得到显著改善，可以及时调整控制策略。

当监测数据达到预警阈值时，及时发布空气质量预警信息。通过电视、广播、手机短信和社交媒体等多种渠道与公众分享警告信息，提醒他们戴口罩等防护措施，减少户外活动。同时，预警信息也为当局启动应急预案提供了依据。

在城市规划中，空气质量监测数据为城市的合理设计提供了科学依据。通过分析监测数据，了解不同地区的空气质量状况和污染源，合理规划城市规划中的功能区，将工业区与住宅区和商业区分开，以减少工业污染对居民生活的影响。同时，监测数据还可以用于指导城市绿化规划，增加空气质量差地区的绿地，并通过利用植物的吸附和净化作用来改善空气质量^[2]。

在交通管理中，监控数据有助于优化交通规划。通过分析交通枢纽和主要道路附近的空气质量监测数据，了解拥堵期和路段的污染物排放情况，交通管理部门可以制定合理的交通分流计划，优化信号灯设置，减少拥堵，减少车辆尾气排放。此外，监测数据还可用于评估公共交通的发展效果，鼓励居民选择公共交通，减少私家车的使用，从而减少交通污染。表 1 为大气环境污染监测采样点布置数据表。

表 1 大气环境污染监测采样点布置数据表

人口数量	灰尘降尘量	硫酸盐化	SO ₂ 、TSP、NO _x
50 万内	最少 3 个	最少 6 个	3 个
50~100 万间	4~8 个	6~12 个	4 个
100~200 万间	8~11 个	12~18 个	5 个
200~400 万间	12~20 个	18~30 个	6 个
>400 万	20~30 个	30~40 个	7 个

2.2 工业污染源监测

2.2.1 监测技术与设备应用

在监测工业污染源来源时，在线监测设备在实时监测

工业废气排放方面发挥着关键作用。其中，CEMS（Continuous Emission Monitoring System）是应用最广泛的在线监测设备之一。CEMS 系统主要由三部分组成：取样系统、分析系统和数据采集与处理系统。取样系统负责从工业烟囱或排气管中采集废气样本，并通过探头、取样管线和其他设备将样本运送到分析系统。该分析系统使用各种先进的分析技术来准确确定废气中的污染物。

数据采集与处理系统负责分析系统对数据的采集、存储、处理和传输。数据采集模块实时捕获分析系统测量的污染物浓度数据，并进行预处理和校准。然后，您将处理后的数据保存在数据库中，以供后续查询和分析。同时，数据采集与处理系统还具有数据传输功能，可以通过有线或无线通信将监测数据实时传输到环保部门的监测平台和公司的管理系统，实现工业废气排放的远程监测和管理。

2.2.2 污染防控与治理效果评估

工业污染源监测数据在评估企业污染防治和治理效果方面发挥着重要作用。通过分析监测数据，企业可以及时了解自己的污染物排放情况，发现异常排放，并采取适当的预防和控制措施。例如，如果监测数据显示在一段时间内废气中的二氧化硫浓度增加，企业可以检查生产设施，以确定是否存在燃料燃烧不足和脱硫装置故障等问题。如果是燃料问题，企业可以调整燃料采购标准，选择低硫燃料；如果脱硫装置发生故障，应立即命令维护人员进行维修，以确保设备的正常运行并减少二氧化硫排放。

在促进减排方面，监测数据为政府机构制定减排政策提供了坚实的基础。政府可以根据各企业的监测数据，对污染物排放量高、减排效果差的企业进行重点监管，要求其在规定时间内制定并完成减排计划。同时，建立排污许可制度将根据监测数据确定企业引入的污染量，超过允许排放量的企业将受到处罚，以鼓励他们采取积极措施减少排放。此外，监测数据也可用于排放交易：企业可以根据自身减排情况在市场上出售或获取排放配额，并通过经济手段激励企业积极减排^[3]。

2.3 交通枢纽大气环境监测

2.3.1 交通污染特点

交通枢纽作为人流和物流的重要枢纽，交通量大，机动车尾气排放集中，造成了独特的空气污染特征。汽车尾气是交通枢纽空气污染的主要来源之一，其成分复杂多样。其中，碳氢化合物（HC）主要来自汽车燃料的不完全燃烧。在发动机的燃烧过程中，由于气体混合不均匀和燃烧不足，会产生大量的碳氢化合物排放。碳氢化合物不仅具有挥发性，会形成光化学烟雾，还会对人体神经系统造成损害。氮氧化物也是机动车尾气中的重要污染物，主要是在高温燃烧条件下产生。当汽车发动机工作时，气缸内的高温高压环境导致空气中的氮气和氧气发生反应，产生氮氧化物（NO）和二氧化氮（NO₂）等氮氧化物。氮氧化物是酸雨和光化学烟雾形成的重要前体。在阳光下，氮氧化

物与碳氢化合物发生一系列复杂的光化学反应,产生臭氧和过氧乙酰硝酸盐(PAN)等二次污染物,对人体呼吸道和眼睛有强烈的刺激作用。

2.3.2 监测意义与措施

交通枢纽大气环境监测对于控制交通污染具有重要意义。监测数据可以准确捕捉交通污染的现状和变化趋势,为交通管理部门制定科学合理的交通污染防治措施奠定坚实基础。可以采取各种措施有效控制交通污染。通过推广清洁能源,我们将加大对新能源汽车的支持力度,鼓励公共汽车和出租车等公共交通工具使用新能源。同时,充电桩、加氢站等完整基础设施的建设,将解决新能源汽车的充电和加油问题,提高新能源汽车使用的舒适性,促进其普及和推广。在交通管理方面,加强交通分流,优化交通组织,减少机动车怠速和频繁启停。通过智能交通系统,实时监控交通流量,合理规划交通路线,快速通行车辆,减少拥堵。此外,要加强对机动车尾气排放的监测,严格执行尾气排放标准,定期对机动车进行尾气检测,修理或淘汰超过排放标准的车辆^[4]。

3 大气环境监测布点方法

3.1 功能区布点法

功能区布点法是一种常用的大气环境监测方法,其重点是根据城市的功能区划建立监测点。在实际应用中,城市通常分为几个功能区,如住宅区、商业区、工业区、文化区、交通枢纽区等。由于人类活动的类型和强度不同,不同功能区的空气污染源和程度也不同。

功能区布点法可以充分考虑不同功能区、目标监测点的污染特征,使监测数据更具代表性,准确反映不同地区的大气环境质量状况。然而,这种方法也有一定的局限性:对于城市以外或功能分区不明确的地区,可能无法获得准确的监测数据,在实际操作中,功能区的分区可能会受到各种因素的影响,导致分布不准确。

3.2 网格布点法

网格布点法(如图1所示)是一种点放置方法,它将监测区域划分为几个大小均匀的网格,并将采样点放置在网格的中心或角落。该方法的优点是可以全面覆盖监测区域,适用于污染源分布相对均匀的地区,可以有效地绘制监测区域内空气污染物的空间分布特征。

网格布点法的优点是点分布均匀,可以全面反映监测区域的大气环境质量状况,避免非监测的发生。同时,该方法具有很强的数据代表性,可以通过综合分析多个网络监测数据,准确评估监测区域的空气污染程度和趋势。然而,网格点法也有一些缺点。一方面,在污染源分布不均的地区,可能会导致一些重污染地区的监测点密度不足,无法准确反映其污染情况。另一方面,这种方法需要建立大量的监督机构,这成本很高,在实践中可能受到人力、物力和财力的限制。

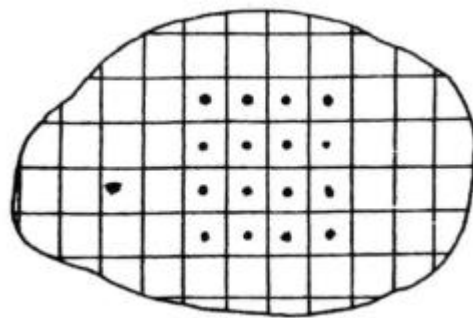


图1 网格布点法示意图

3.3 同心圆布点法

同心圆布点法(如图2所示)在污染组的中心绘制了几个不同半径的同心圆,并从中心绘制了不同角度的光束。光束和同心圆之间的交点是采样点。这种采样方法主要适用于污染源集中的地区,如产业集群、垃圾填埋场等,并且可以有效地监测空气污染的传播。

同心圆布点法的优点是,它可以直观地反映空气污染从污染源中心向环境扩散的规律。通过分析不同半径同心圆上采样点的数据,可以了解不同间隔污染物浓度的变化以及不同方向污染扩散的差异。然而,这种方法也有一定的局限性,例如对地形复杂的地区适应性差,可能无法准确反映地形变化较大的山区空气污染的实际情况。此外,这种方法需要预先确定污染物的平均位置。如果不能准确地确定中心位置,这可能会影响监测结果的准确性。

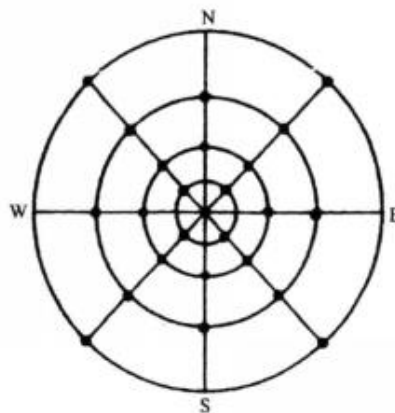


图2 同心圆布点法示意图

3.4 扇形布点法

扇形布点法(如图3所示)以孤立的高架点源为中心,以主导风向为轴,在下方地面绘制一个扇形区域作为分布区域。该方法特别适用于主导风向明显、点源孤立的地区,如大型工厂的烟囱和火力发电厂的冷却塔。

扇形布点法的优点是,它可以密切关注主导风下风向的大气污染情况,准确反映孤立高架点源对下风向区域的污染影响。然而,这种方法也有一定的局限性:对于盛行风向不明显或存在多个污染源的地区,其适用性较差,无

法充分反映整个监测区域的大气环境质量状况。

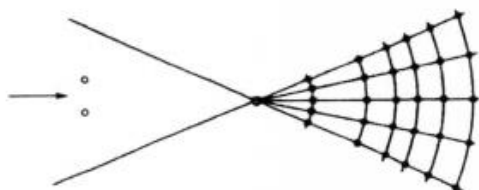


图3 扇形布点法示意图

4 结语

本研究涉及大气环境监测的应用领域和分布方法。在未来的研究和实践中，大气环境监测系统将不断完善，监测技术的创新和分配方法的优化将得到加强，以解决日益复杂的空气污染问题。此外，随着全球对环境保护的日益关注，大气环境监测将在国际合作中发挥更重要的作用。

各国将加强监测技术、数据交流和经验分享方面的合作，共同应对全球空气污染问题。

[参考文献]

- [1]王玥幂. 大气环境监测的应用及布点方法探讨[J]. 中国科技纵横, 2024(9): 31-33.
- [2]孟祥永, 密丛丛. 大气环境监测布点方法及优化研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(4): 53-55.
- [3]李胜兰, 艾兴. 城市大气监测优化布点方案研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(2): 1.
- [4]孟宪明. 智慧环保背景下探究大气环境监测与布点方法[J]. 中国科技纵横, 2024(8): 26-28.

作者简介：孙小淋（1997.6—），女，学历：本科，毕业院校：济南大学所学专业：环境科学，目前职称：助理工程师。

环境影响评价与环境工程应用探讨

周丽丽¹ 王云龙¹ 左振超²

1. 山东盛泽生态环境工程有限公司, 山东 临沂 276000

2. 山东信达环保技术咨询有限公司, 山东 临沂 276000

[摘要] 在全球工业化与城市化快速推进的进程中, 环境问题已从局部性、区域性的困境演变为全球性的挑战, 严重威胁着人类的生存与发展。大气污染、水污染、土壤污染等问题层出不穷, 给生态系统的平衡、人类的健康以及经济的可持续增长带来了沉重压力。世界卫生组织(WHO)发布的报告指出, 全球每年因空气污染导致的死亡人数高达数百万, 众多城市长期笼罩在雾霾之下, 空气中的细颗粒物(PM_{2.5})、二氧化硫、氮氧化物等污染物严重超标, 不仅影响居民的呼吸系统, 还可能引发心血管疾病等多种健康问题。因此, 深入探讨环境影响评价与环境工程的应用, 具有重要的现实意义。

[关键词] 环境工程; 应用; 环境影响

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15897

中图分类号: X5

文献标识码: A

Discussion on Environmental Impact Assessment and Application of Environmental Engineering

ZHOU Lili¹, WANG Yunlong¹, ZUO Zhenchao²

1. Shandong Shengze Ecological Environment Engineering Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

2. Shandong Xinda Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract: In the rapid process of global industrialization and urbanization, environmental problems have evolved from local and regional dilemmas to global challenges, seriously threatening human survival and development. Air pollution, water pollution, soil pollution and other problems are constantly emerging, bringing heavy pressure to the balance of ecosystems, human health, and sustainable economic growth. The report released by the World Health Organization (WHO) points out that millions of deaths are caused by air pollution worldwide every year. Many cities are shrouded in smog for a long time, and pollutants such as fine particulate matter (PM_{2.5}), sulfur dioxide, and nitrogen oxides in the air seriously exceed the standard, which not only affects the respiratory system of residents, but may also cause various health problems such as cardiovascular disease. Therefore, in-depth exploration of the application of environmental impact assessment and environmental engineering has important practical significance.

Keywords: environmental engineering; application; environmental impact

1 环境影响评价与环境工程概述

环境影响评价(Environmental Impact Assessment, EIA), 又称环境评价, 简称环评, 是一项在全球范围内广泛应用的成熟环境保护制度。它是指对规划和建设项目实施后可能造成的环境影响, 包括环境污染和生态破坏, 也涵盖对环境的有利影响, 进行全面的分析、深入论证的全过程, 并在此基础上提出切实可行的防治措施和应对策略。其根本目的在于鼓励在规划和决策过程中充分考虑环境因素, 最终实现人类活动与环境的高度相容性。

环境工程(Environmental Engineering)是环境科学的一个重要分支, 主要致力于研究如何保护和合理利用自然资源, 运用科学的手段解决日益严峻的环境问题, 从而达到改善环境质量、促进环境保护与社会发展的目的。它是一门综合性的学科, 融合了多学科的知识和技术, 旨在防治环境污染、提高环境质量, 为人类创造一个健康、可持续的生存环境。

2 环境影响评价在环境工程中的用现状与问题分析

2.1 应用现状

目前, 环境影响评价在环境工程的各个领域都得到了广泛的应用, 成为保障环境工程科学性、合理性和有效性的重要手段。

在大气污染防治工程中, 环境影响评价主要应用于新建、扩建和改建的工业项目以及能源项目等, 评估项目排放的废气对周边大气环境的影响。同时, 环境影响评价还关注项目对区域大气环境容量的影响, 为区域大气污染防治规划提供科学依据, 确保区域内的大气污染物排放总量控制在环境容量范围内。

在水污染防治工程方面, 环境影响评价主要针对工业废水、生活污水和农业面源污染等项目。在污水处理厂建设项目中, 通过环境影响评价, 对污水的水质、水量进行分析, 预测污水处理厂排放的尾水对受纳水体的影响, 包括化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、氨氮、总磷等污染物

的浓度变化以及对水体生态系统的影响。根据评价结果,选择合适的污水处理工艺和设备,确定合理的排放口位置和排放方式,确保尾水达标排放,保护水体生态环境。此外,环境影响评价还考虑污水处理厂建设和运营过程中可能产生的异味、噪声等对周边环境的影响,提出相应的防治措施。

在固体废物处理与资源化工程中,环境影响评价对于垃圾填埋场、垃圾焚烧发电厂、危险废物处理厂等项目至关重要。在垃圾填埋场建设项目中,环境影响评价主要评估填埋垃圾产生的渗滤液对地下水和土壤的污染风险,以及填埋气体对大气环境的影响。通过对填埋场选址的地质条件、水文地质条件进行分析,预测渗滤液的产生量和成分,制定有效的防渗、导排措施,防止渗滤液污染地下水和土壤。同时,对填埋气体的产生量、成分进行预测,提出合理的收集和利用方案,减少填埋气体对大气环境的影响。在垃圾焚烧发电厂项目中,环境影响评价重点关注焚烧过程中产生的二噁英、重金属等污染物的排放情况,以及对周边环境和居民健康的影响。根据评价结果,选择先进的焚烧技术和尾气处理设备,确保污染物达标排放,实现垃圾的减量化、无害化和资源化处理。

在生态保护工程中,环境影响评价主要应用于生态修复项目、自然保护区建设项目等。在矿山生态修复项目中,通过环境影响评价,评估矿山开采对生态环境的破坏程度,包括土地资源破坏、植被破坏、水土流失、生物多样性减少等。根据评价结果,制定科学合理的生态修复方案,如土地复垦、植被恢复、水土保持等措施,恢复矿山生态系统的功能和结构。在自然保护区建设项目中,环境影响评价主要分析项目建设对保护区内生态系统、珍稀动植物栖息地和生物多样性的影响,提出相应的保护措施,确保自然保护区的生态功能得到有效保护和提升。

2.2 存在问题

评价深度不足是当前环境影响评价中较为突出的问题之一。部分环境影响评价工作仅停留在表面,对项目可能产生的环境影响分析不够深入、全面,缺乏对关键环境问题的深入研究和评估。在一些工业项目的环境影响评价中,对污染物的排放预测不够准确,未能充分考虑项目生产过程中可能出现的突发情况和异常工况对污染物排放的影响,导致评价结果与实际情况存在较大偏差。对生态环境影响的评价也往往不够细致,未能全面评估项目对生物多样性、生态系统功能等方面的潜在影响,无法为生态保护措施的制定提供充分的科学依据。此外,一些环境影响评价报告对环境保护措施的论述过于笼统,缺乏针对性和可操作性,难以在实际工程中有效实施。

评价重点不明确也是一个常见问题。在环境影响评价过程中,由于对项目的特点和环境敏感性认识不足,导致评价重点不突出,未能准确识别项目对环境影响较大的关键因素。在一些项目中,可能过于关注项目对大气环境的

影响,而忽视了对水环境、土壤环境或生态环境的影响;或者在评价过程中,对各类环境影响因素平均用力,没有根据项目的实际情况和环境特点,确定重点评价内容。这使得环境影响评价工作缺乏针对性,无法为环境工程设计和环境管理提供准确的指导。

审批机制不完善是影响环境影响评价质量和效率的重要因素。目前,环境影响评价的审批过程存在一些问题,如审批流程繁琐、审批时间过长,影响了项目的推进速度。一些地方的审批部门在审批过程中,存在重形式轻实质的现象,对环境影响评价报告的审核不够严格,未能有效发现报告中存在的问题和缺陷。此外,审批过程中的信息公开程度不够,公众参与渠道不畅,导致公众对环境影响评价的监督作用难以有效发挥。一些项目在审批过程中,没有充分征求周边居民和相关利益方的意见,引发了公众的不满和质疑,增加了项目实施的社会风险。同时,审批后的监管机制也不够健全,对项目建设和运营过程中是否按照环境影响评价报告的要求落实环境保护措施缺乏有效的监督和检查,导致一些项目存在未批先建、批建不符等违法违规行为。

3 环境工程应用中面临的挑战与应对策略

3.1 面临挑战

3.1.1 技术瓶颈

当前,我国环境工程在技术层面面临着诸多瓶颈,严重制约了行业的发展和环境治理的效果。

一方面,关键技术依赖进口的问题较为突出。在一些核心领域,如高端的膜材料用于污水处理的反渗透膜、纳滤膜等,以及先进的大气监测设备如高分辨率质谱仪、激光雷达等,我国自主研发能力不足,主要依赖从国外进口。这些关键技术和设备不仅价格昂贵,增加了环境工程的建设和运营成本,而且在供应上受到国外技术封锁和贸易政策的影响,存在供应不稳定的风险。一旦国际形势发生变化,可能导致关键技术和设备的供应中断,影响环境工程的正常运行和环境治理工作的顺利开展。

另一方面,自主创新能力不足也是制约环境工程技术发展的重要因素。我国在环境工程领域的科研投入相对不足,科研人才队伍建设有待加强,科研创新体系不够完善。这使得我国在环境工程技术研发方面进展缓慢,难以满足日益增长的环境治理需求。在新兴污染物治理技术方面,如微塑料、抗生素、内分泌干扰物等新型污染物的处理技术,我国的研究还处于起步阶段,与国际先进水平存在较大差距。此外,产学研合作不够紧密,科研成果转化效率低下,许多科研成果停留在实验室阶段,未能有效转化为实际生产力,无法在环境工程中得到广泛应用。

3.1.2 资金短缺

环境工程建设需要大量的资金投入,包括项目的前期规划、设计,以及工程建设过程中的设备采购、施工安装等环节。然而,由于环保项目投资周期长、回报率低,导

致金融机构对环保行业的投资意愿不足。许多环保项目的投资回收期通常在 5 年以上,甚至更长,远高于传统行业。

环保行业在技术研发、设备更新等方面也需要大量的资金支持。随着环境问题的日益复杂和环保标准的不断提高,对环境工程技术和设备的要求也越来越高。为了满足这些要求,企业需要不断投入资金进行技术研发和设备更新换代。然而,许多环保企业自身积累的资金有限,难以承担高昂的研发和设备更新费用。在大气污染治理领域,为了实现超低排放,企业需要投入大量资金引进先进的脱硫、脱硝、除尘设备,以及研发新的治理技术,这对于许多中小企业来说是一个巨大的资金压力。

资金短缺还导致环保基础设施建设滞后。一些地区由于缺乏足够的资金,无法建设完善的污水处理厂、垃圾处理厂等环保基础设施,导致污水和垃圾得不到有效处理,对当地环境造成了严重污染。一些农村地区和偏远地区的环保基础设施建设更是薄弱,污水直接排放,垃圾随意堆放,严重影响了当地居民的生活环境和身体健康。

3.1.3 管理与监管问题

管理不规范是一个普遍存在的问题。一些环境工程企业在项目管理方面缺乏科学的方法和流程,存在项目进度把控不严、质量管理不到位、成本控制不合理等问题。在项目实施过程中,由于缺乏有效的进度管理,导致项目延期交付,增加了项目成本。一些企业在质量管理方面存在漏洞,对工程建设和设备安装的质量监管不力,导致工程质量不达标,影响了环境工程的正常运行和处理效果。

监管不到位也是环境工程面临的重要问题。目前,我国环境监管体系还不够完善,存在监管标准不统一、监管手段落后、监管力量不足等问题。在环境监管过程中,由于监管标准不统一,导致不同地区对同一环境问题的监管尺度不一致,影响了监管的公正性和有效性。一些地区的监管手段相对落后,主要依赖人工巡查和传统的监测设备,难以实现对环境违法行为的及时发现和有效打击。监管力量不足也是一个突出问题,随着环境工程数量的不断增加,监管任务日益繁重,而监管人员的数量却相对有限,导致监管工作难以全面覆盖,一些环境违法行为得不到及时查处。

3.2 应对策略

3.2.1 技术创新与研发投入

加大研发投入是提升环境工程技术水平的关键。政府应充分认识到环境工程技术研发的重要性,制定长期稳定的科研投入计划,设立专项科研基金,重点支持环境工程领域的关键技术研发,如新型污水处理技术、高效大气污染治理技术、危险废物安全处置技术等。政府可以通过财政补贴、税收优惠等政策手段,引导企业增加对环境工程技术研发的投入,鼓励企业设立研发中心,提高企业的自主创新能力。

培养创新人才是实现环境工程技术创新的根本。高校

和科研机构应加强环境工程相关专业的学科建设,优化课程设置,注重培养学生的实践能力和创新思维。加强与企业的合作,建立实习基地,让学生在实践中积累经验,提高解决实际问题的能力。同时,积极引进国外优秀的环境工程人才,加强国际人才交流与合作,学习国外先进的技术和经验,提升我国环境工程人才的整体素质。

促进产学研合作是推动环境工程技术创新和成果转化的有效途径。政府应搭建产学研合作平台,加强高校、科研机构和企业之间的沟通与协作,促进科技成果的共享和转化。高校和科研机构应根据企业的实际需求,开展针对性的科研项目,为企业提供技术支持和解决方案。企业应积极参与产学研合作,将科研成果应用于生产实践,推动环境工程技术的产业化发展。

3.2.2 拓宽资金渠道

政府应加大对环境工程的投入力度,将环境工程建设纳入财政预算,设立专项资金,用于支持环保基础设施建设、环境监测体系建设、环境工程技术研发等方面。在污水处理厂、垃圾处理厂等环保基础设施建设项目中,政府可以通过直接投资、财政补贴、贷款贴息等方式,为项目提供资金支持,确保项目的顺利实施。同时,政府还应加强对环境工程资金的管理和监督,提高资金使用效率,确保资金专款专用,避免资金浪费和挪用。

吸引社会资本参与环境工程建设是拓宽资金渠道的重要举措。政府可以通过制定优惠政策,如税收减免、土地优先供应、投资补贴等,鼓励社会资本进入环境工程领域。采用政府和社会资本合作(PPP)模式,通过公开招标、竞争性谈判等方式,选择有实力、信誉好的社会资本方,共同参与环境工程的投资、建设和运营。在 PPP 项目中,政府和社会资本方可以根据项目的特点和需求,合理分担项目风险,共享项目收益,实现互利共赢。

创新投融资模式也是解决环境工程资金短缺问题的有效途径。探索开展生态环境导向的开发(EOD)模式,将生态环境治理与产业开发相结合,通过产业开发收益反哺生态环境治理投入,实现项目的自我平衡和可持续发展。

3.2.3 完善管理与监管体系

环境工程企业应建立科学的项目管理体系,明确项目各个阶段的工作流程和质量标准,加强项目进度、质量和成本的管理。在项目进度管理方面,制定详细的项目进度计划,合理安排各项工作的时间节点,定期对项目进度进行检查和评估,及时发现和解决进度延误问题。在质量管理方面,建立严格的质量控制体系,对工程建设和设备安装的各个环节进行质量检测和监督,确保工程质量符合相关标准和要求。在成本管理方面,制定合理的成本预算,加强对项目成本的核算和分析,严格控制项目成本,提高项目的经济效益。

完善环境监管体系,统一监管标准,加强监管力量,

提高监管手段的现代化水平。建立多部门协同监管机制，加强环保、住建、水利等部门之间的沟通和协调，形成监管合力。利用大数据、物联网、卫星遥感等先进技术手段，实现对环境工程的实时监测和远程监管，提高监管的准确性和及时性。

提高监管效率需要优化监管流程，减少不必要的审批环节，提高监管工作的透明度和公正性。建立环境监管信息公开制度，及时向社会公布环境工程的监管信息，接受公众的监督。加强对监管人员的培训和考核，提高监管人员的业务素质和执法水平，确保监管工作的有效开展。同时，建立健全环境监管的绩效考核机制，对监管工作成效显著的部门和个人给予表彰和奖励，对监管不力的进行问责，激励监管人员积极履行职责。

4 结语

环境影响评价与环境工程的有效应用，对环境保护、

经济发展和社会可持续性都具有重要意义，良好的环境质量是人民群众生活幸福的基础。环境影响评价和环境工程的实施，能够保障公众的环境权益，减少环境污染对人体健康的危害，符合可持续发展的理念，为子孙后代留下一个美好的家园，促进人类社会的长远发展。

[参考文献]

- [1]王可姝. 环境工程中环境影响评价的重要作用探讨[J]. 工程建设(维泽科技), 2024, 7(3): 189-191.
 - [2]王志刚. 环境影响评价与环境工程探讨[J]. 数码精品世界, 2023(6): 491.
 - [3]吴颖. 环境工程中环境影响评价的重要作用探究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(3): 55.
- 作者简介：周丽丽（1989.9—），女，学历：本科，毕业院校：青岛科技大学，所学专业：环境科学，目前职称：中级工程师。

改善农村人居环境面临的问题及对策建议

马廷甲

第五师农业发展服务中心，新疆 双河 833408

[摘要]农村人居环境作为乡村发展的关键要素，不仅与农民的生活品质紧密相连，还在乡村振兴战略的实施进程中扮演着举足轻重的角色。党的十九大报告中着重提出实施乡村振兴战略，将“生态宜居”确立为乡村振兴的关键目标之一，这充分彰显了农村人居环境改善在新时代“三农”工作中的核心地位。良好的农村人居环境，是农民安居乐业的基础，是农村社会和谐稳定的保障，更是乡村可持续发展的重要支撑。在此背景下，深入研究农村人居环境问题并探寻切实可行的对策建议，具有极为重要的现实意义和理论价值。

[关键词]农村；人居环境；问题

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15892

中图分类号: X712

文献标识码: A

Problems and Countermeasures for Improving Rural Living Environment

MA Tingjia

The Fifth Division Agricultural Development Service Center, Shuanghe, Xinjiang, 833408, China

Abstract: Rural living environment, as a key element of rural development, is not only closely related to the quality of life of farmers, but also plays a pivotal role in the implementation process of rural revitalization strategy. The report of the 19th National Congress of the Communist Party of China emphasized the implementation of the rural revitalization strategy, establishing "ecological livability" as one of the key goals of rural revitalization, which fully demonstrates the core position of improving rural living environment in the work of agriculture, rural areas and farmers in the new era. A good rural living environment is the foundation for farmers to live and work in peace and contentment, the guarantee for rural social harmony and stability, and an important support for sustainable rural development. In this context, it is of great practical significance and theoretical value to conduct in-depth research on rural living environment issues and explore practical and feasible countermeasures and suggestions.

Keywords: rural areas; living environment; problems

1 农村人居环境的重要性

农村人居环境是指农民生产生活所处的空间及与之相关的自然、社会、经济等环境要素的总和。它不仅涵盖农村的自然生态环境，如土地、水源、空气等自然资源，还包括农村的基础设施建设，像道路、水电、通信等硬件设施，以及农村的公共服务体系，例如教育、医疗、文化等公共服务的供给情况，同时涉及农村的社会文化环境，包含乡村的风俗习惯、传统文化传承以及居民的环保意识等方面。

农村人居环境的改善对农民健康、乡村经济发展和社会稳定具有不可替代的重要作用。

一个和谐、宜居的农村人居环境能够增强农民的归属感和幸福感，促进农村社会的和谐稳定。当农民生活在整洁、舒适的环境中，享受到良好的公共服务，他们会更加热爱自己的家乡，积极参与乡村建设和发展。良好的人居环境还能够促进农村社会关系的和谐，减少邻里纠纷和矛盾。在环境优美的农村地区，村民之间的交流和互动更加频繁，形成互帮互助、团结友爱的良好氛围，有利于维护农村社会的稳定秩序。农村人居环境的改善还能够提升农村的整体形象和吸引力，增强农村对年轻人的吸引力，减少农村人口的流失，促进农村社会的可持续发展。

2 改善农村人居环境面临的问题

2.1 基础设施建设滞后

2.1.1 垃圾处理设施不足

在许多农村地区，垃圾处理设施的匮乏成为制约人居环境改善的一大瓶颈。部分村庄垃圾收集点分布不合理，数量严重不足，村民往往只能将垃圾随意丢弃在路边、河边或村口，形成了一个垃圾堆放点，不仅影响村庄的美观，还散发着难闻的气味，滋生大量蚊蝇和病菌。垃圾清运工具也存在严重不足的情况。部分农村地区仍采用人力三轮车或小型拖拉机等简陋的工具进行垃圾清运，效率低下，无法满足日益增长的垃圾清运需求。垃圾处理场地的缺乏也是农村垃圾处理面临的重要问题。许多农村没有专门的垃圾处理场地，垃圾只能被运往城市的垃圾填埋场或焚烧厂进行处理，但由于运输成本高、距离远等原因，垃圾往往无法得到及时有效的处理。垃圾焚烧产生的灰烬中含有重金属等有害物质，如果随意堆放，会随着雨水渗透到土壤和地下水中，导致土壤污染和地下水污染，影响农作物的生长和村民的饮水安全。

2.1.2 污水处理设施不完善

农村污水排放方式较为粗放，处理设施建设严重滞后，

这对农村的水源和土壤造成了严重污染。目前，大部分农村地区的生活污水未经处理直接排放到河流、池塘、沟渠等水体中，导致水体富营养化，水质恶化，散发着恶臭气味，影响了水体的生态功能和景观效果。一些农村地区的河流原本清澈见底，鱼虾成群，但由于生活污水的随意排放，河水变得浑浊不堪，鱼虾绝迹，生态环境遭到了严重破坏。

污水随意排放对水源和土壤的污染不容忽视。未经处理的污水中含有大量的有机物、氮、磷、重金属等污染物，这些污染物进入水体后，会消耗水中的溶解氧，导致水生生物缺氧死亡，破坏水体生态平衡。污水中的有害物质还会渗入土壤，污染土壤环境，影响土壤的肥力和农作物的生长。长期饮用被污染的水源，会导致村民患上各种疾病，如肠道疾病、呼吸道疾病、癌症等，严重威胁村民的身体健康。污水中的重金属等污染物会在土壤中积累，导致土壤板结、酸化，影响农作物的产量和质量，降低农业生产效益。

2.1.3 卫生厕所普及困难

农村卫生厕所普及率低，这与传统观念、建设成本等多种因素密切相关，同时也对村民健康构成了严重威胁。受传统观念的影响，部分农民对卫生厕所的重要性认识不足，认为传统的旱厕使用方便，不需要进行改造。一些农民存在因循守旧的思想，对新事物接受程度较低，不愿意改变原有的生活习惯，即使政府提供补贴，也不愿意建设或改造卫生厕所。

卫生厕所普及率低对村民健康产生了诸多负面影响。传统旱厕通风条件差，粪便暴露在外，容易滋生大量蚊蝇、细菌和病毒，成为疾病传播的源头。村民在使用旱厕过程中，容易接触到粪便中的病原体，增加了感染肠道传染病、寄生虫病等疾病的风险。在夏季高温季节，旱厕中的蚊蝇大量繁殖，不仅影响村民的生活，还容易传播疟疾、痢疾等疾病。粪便中的有害物质还会渗入地下，污染地下水，导致村民饮用水安全受到威胁。长期饮用被污染的地下水，会对村民的身体健康造成慢性损害，如影响肝脏、肾脏等器官的功能。

2.3 农民环保意识淡薄

在许多农村地区，农民乱扔垃圾、随意排放污水等不良生活习惯屡见不鲜，这对农村的生态环境造成了严重的破坏。部分农民缺乏垃圾分类的意识，将各类垃圾随意丢弃在路边、河边或村头，没有对可回收物、有害垃圾和其他垃圾进行分类投放。废旧电池、农药瓶等有害垃圾与普通生活垃圾混在一起，不仅增加了垃圾处理的难度，还容易造成土壤和水体的污染。废旧电池中含有汞、镉等重金属，这些重金属在土壤中难以降解，会逐渐积累，导致土壤污染，影响农作物的生长；农药瓶中的残留农药会随着雨水流入河流、池塘等水体，对水生生态系统造成破坏，威

胁水生生物的生存。

农民对环保知识的了解程度普遍较低，这在很大程度上制约了农村人居环境整治工作的深入开展。许多农民对环保法律法规和政策缺乏基本的了解，不知道随意排放污水、焚烧垃圾等行为是违法的，也不清楚这些行为对环境造成的危害。

2.4 管理体制不健全

在农村人居环境改善工作中，涉及多个部门，如农业农村部门、生态环境部门、住房城乡建设部门等，但各部门之间的职责划分不够明确，存在交叉和模糊地带。这种职责不清的状况导致在实际工作中，当面对一些复杂的环境问题时，各部门往往相互推诿，不愿意承担责任，使得问题难以得到及时有效的解决。由于缺乏统一的协调机制，各部门在开展工作时往往各自为政，缺乏有效的沟通和协作，难以形成工作合力，影响了农村人居环境改善工作的整体推进效率。目前，对农村环境整治工作的监管力度明显不足，缺乏完善的监管体系和严格的监管制度。一些监管人员对环保法律法规和政策了解不够深入，对环境违法行为的识别和处理能力有限，导致监管工作流于形式。监管手段也相对落后，主要依赖于人工巡查，缺乏先进的监测设备和技术手段。监管缺失使得一些环境问题得不到及时纠正和处理，导致环境改善效果大打折扣，农村人居环境整治成果难以巩固和提升。

3 改善农村人居环境的对策建议

3.1 加强基础设施建设

3.1.1 完善垃圾处理设施

为了从根本上解决农村垃圾处理难题，必须加大对垃圾处理设施建设的投入力度。政府应设立专项财政资金，专门用于农村垃圾处理设施的建设与更新。可以借鉴一些经济发达地区的成功经验，如浙江等地，政府每年安排大量专项资金，用于建设现代化的垃圾处理设施，为农村垃圾处理提供了坚实的资金保障。根据村庄的规模大小、人口分布状况以及垃圾产生量，科学合理地规划垃圾收集点的布局。在人口密集的村庄中心区域，应增加垃圾收集点的数量，确保村民能够方便快捷地投放垃圾；在偏远的山区或分散居住的区域，可以设置流动垃圾收集点，定期进行垃圾收集。同时，合理配置垃圾桶的数量和类型，根据垃圾分类的要求，设置可回收物、有害垃圾、厨余垃圾和其他垃圾等不同类型的垃圾桶，引导村民进行垃圾分类投放。

购置先进的垃圾清运车辆，如压缩式垃圾车、密封式垃圾车等，提高垃圾清运的效率和品质。压缩式垃圾车可以将垃圾压缩，减少垃圾的体积，提高运输效率；密封式垃圾车可以防止垃圾在运输过程中泄漏，减少对环境的污染。建立高效的垃圾清运体系，合理规划垃圾清运路线，确保垃圾能够及时清运到指定的处理场所。可以采用定时定点清运的方式，提前公布垃圾清运时间和地点，方便村民投

垃圾；也可以根据实际情况，采用灵活的清运方式，如对于垃圾产生量较大的村庄，增加清运次数。在有条件的地区，建设垃圾焚烧厂、垃圾填埋场或垃圾资源化处理中心等垃圾处理设施。垃圾焚烧厂可以将垃圾焚烧发电，实现垃圾的减量化和资源化；垃圾填埋场可以对垃圾进行填埋处理，但需要做好防渗、防臭等措施，防止对土壤和地下水造成污染；垃圾资源化处理中心可以对垃圾进行分类处理，将可回收物回收利用，将有害垃圾进行无害化处理，将厨余垃圾进行堆肥处理，实现垃圾的资源化利用。在建设垃圾处理设施时，应充分考虑当地的环境承载能力和资源利用情况，选择合适的处理方式，确保垃圾得到有效处理。

3.1.2 推进污水处理设施建设

农村污水处理设施建设应充分考虑当地的地形地貌、人口分布、经济发展水平以及污水产生量等因素，因地制宜地选择合适的处理技术和模式。在人口密集、经济条件较好的地区，可以建设集中式污水处理厂，采用先进的污水处理工艺，如活性污泥法、生物膜法等，对污水进行集中处理。这些工艺能够高效地去除污水中的有机物、氮、磷等污染物，使处理后的水质达到较高的标准。而在人口分散、地形复杂的地区，则可以采用分散式污水处理设施，如小型污水处理站、一体化污水处理设备等，将污水就地处理。这些设施具有占地面积小、投资成本低、运行管理方便等优点，适合在农村地区推广应用。还可以结合当地的生态环境，采用生态处理技术，如人工湿地、生物塘等，利用自然生态系统的净化能力对污水进行处理，既降低了处理成本，又实现了污水的资源化利用。

加强污水管网建设是提高污水处理率的关键环节。应加大对污水管网建设的投入，确保污水能够顺利收集并输送到处理设施。在新建村庄或进行村庄改造时，要同步规划和建设污水管网，避免出现先建房屋后建管网的情况。对于老旧村庄，要逐步对污水管网进行改造和完善，解决管网老化、破损、堵塞等问题。合理规划污水管网的布局，确保管网覆盖到每个农户，实现污水的全收集。在铺设污水管网时，要注意管道的坡度和埋深，保证污水能够自流到处理设施，减少提升泵站的建设。同时，要加强对污水管网的维护和管理，定期进行检查和清理，及时发现并解决管网运行中出现的问题。

3.1.3 加快卫生厕所改造

为了提高农村卫生厕所普及率，政府应加大对卫生厕所改造的补贴力度。设立专项补贴资金，根据不同地区的经济发展水平和改厕成本，制定合理的补贴标准，对农户进行直接补贴。对于经济困难的农户，可以适当提高补贴额度，减轻其经济负担。也可以通过以奖代补的方式，对改厕工作成效显著的村庄和农户给予奖励，激发农户改厕的积极性。

加强对卫生厕所改造的技术指导至关重要。组织专业

技术人员深入农村，为农户提供改厕技术咨询和服务。在改厕前，技术人员应根据农户的实际情况，帮助农户选择合适的改厕模式，如三格式、沼气池式、双瓮式等，并指导农户进行科学的选址和设计。在改厕过程中，技术人员要对施工过程进行全程监督，确保施工质量符合标准要求。加强对改厕后的维护和管理指导，向农户传授卫生厕所的使用方法和维护要点，延长卫生厕所的使用寿命。可以通过举办培训班、发放宣传资料、现场示范等方式，向农户普及卫生厕所的相关知识和技术。

3.3 提高农民环保意识

通过广播、电视、报纸、网络等多种媒体渠道，开展形式多样的环保宣传教育活动。利用农村广播定期播放环保知识和政策，在电视上开设环保专栏，制作并播放农村环保专题节目，展示农村环境污染的现状、危害以及环保工作的重要性 and 紧迫性。在报纸上刊登环保文章，普及环保法律法规和环保常识，引导农民树立正确的环保观念。利用网络平台，如微信公众号、短视频平台等，发布环保信息和科普视频，以生动形象的方式吸引农民关注环保问题。制作一些有趣的环保短视频，通过动画、漫画等形式，讲解垃圾分类、污水处理等环保知识，在微信、抖音等平台上广泛传播，提高农民的环保意识。

在组织环保知识和技能培训，提高农民的环保能力和水平。针对农民在农业生产和生活中遇到的环保问题，开展专业的培训课程。通过开展培训活动，帮助农民掌握环保知识和技能，提高他们参与农村人居环境整治的能力和水平。可以定期组织农民参加培训，根据不同的培训内容和需求，采用集中授课、现场示范、实践操作等多种培训方式，确保培训效果。还可以建立培训长效机制，对参加培训的农民进行跟踪指导，及时解决他们在实践中遇到的问题，巩固培训成果。

3.4 完善管理体制机制

为了有效提升农村人居环境，必须明确各部门在农村人居环境改善工作中的职责，建立起协调配合机制。为了确保各部门能够有效履行职责，应制定详细的责任清单，明确各部门的具体职责和任务。通过责任清单，将农村人居环境改善工作的各项任务分解到具体部门，避免出现职责不清、推诿扯皮的现象。建立定期沟通协调机制，加强各部门之间的信息交流和协作配合。可以定期召开部门联席会议，共同研究解决农村人居环境改善工作中遇到的重大问题和困难，形成工作合力。在农村垃圾处理工作中，农业农村部门负责组织垃圾收集和运输，生态环境部门负责监管垃圾处理过程中的环境污染问题，住房城乡建设部门负责建设垃圾处理设施，通过各部门的协同合作，确保垃圾得到有效处理。

建立健全监管考核体系，是保障农村环境整治工作取得实效的关键。应制定严格的环境整治工作考核标准，明

确考核的内容、指标和方法。考核内容应包括垃圾处理、污水处理、卫生厕所普及、村容村貌改善等方面，考核指标应具有可量化、可操作性，能够客观反映环境整治工作的实际成效。建立完善的监督检查机制，加强对环境整治工作的日常监督检查。可以采取定期检查、随机抽查、明察暗访等方式，对各地农村环境整治工作进行全面监督检查，及时发现问题并督促整改。将环境整治工作纳入地方政府绩效考核体系，对工作成效显著的地区和部门给予表彰和奖励，对工作不力的地区和部门进行问责。通过绩效考核，强化地方政府和部门对农村环境整治工作的重视程度，激发他们的工作积极性和主动性。对在农村人居环境整治工作中表现突出的地区和部门，可以给予资金奖励、政策支持等，对工作不力的地区和部门，可以采取通报批评、约谈主要负责人等方式进行问责，确保农村环境整治工作得到有效落实。

4 结语

本文深入剖析了改善农村人居环境面临的问题，并提出了针对性的对策建议。良好的农村人居环境是乡村振兴

的基础，能够提升农民的生活质量，增强农民的幸福感和获得感，促进农村社会的和谐稳定。它还能吸引更多的人才和投资，推动农村产业的发展，实现农村经济的繁荣。因此，必须高度重视农村人居环境改善工作，持续加大投入，加强管理，提高农民的参与度，不断推动农村人居环境的优化和提升，为乡村振兴战略的实施奠定坚实基础。

【参考文献】

- [1]黄晓江. 浅谈农村人居环境整治发展现状,问题及对策建议——以运城市为例[J]. 中国农业文摘 (农业工程), 2024, 36(3): 19-22.
- [2]郝寿晨. 改善农村人居环境推进美丽乡村建设探讨[J]. Engineering Management & Technology Discussion, 2024, 6(1).
- [3]何丹. 农村人居环境整治的问题及对策探析[J]. 江西农业, 2024(3): 108-110.

作者简介: 马廷甲 (1990.3—) 男, 民族: 汉族, 学历: 本科, 毕业院校: 甘肃农业大学, 所学专业: 水土保持与荒漠化防治, 目前职称: 工程师 (中级)。

污泥在 SO₂ 废气治理中的技术路径与低碳化前景

罗秋妍 曾月俊 李文轩 覃佳勇 黄圆圆 黄鑫 李云翔 黄在银*

广西民族大学 化学化工学院, 广西 南宁 530006

[摘要]随着工业烟气超低排放需求的提升, 吸附剂技术在 SO₂ 废气治理与硫资源回收领域展现出显著潜力。传统湿法脱硫虽脱硫效率高 ($\geq 95\%$), 但面临石膏脱水困难、高能耗及二次污染问题; 干法脱硫则受限于酸性气体脱除不充分、煤尘堵塞及凝结水影响。基于“以废治废”理念, 污泥基吸附剂因其低成本、来源广、高吸附性能成为研究热点。通过化学活化和改性技术, 污泥炭可优化孔隙结构与表面活性位点, 实现 SO₂ 高效吸附。然而, 其工业化应用仍受限于再生技术瓶颈、共存气体干扰及长期稳定性不足。未来需聚焦多尺度孔道设计、低温再生工艺及多技术耦合, 同时结合政策驱动与碳交易机制, 推动污泥基吸附剂在钢铁、火电等高污染行业的规模化应用, 为“双碳”目标下废气治理提供经济环保的解决方案。

[关键词]污泥基吸附剂; SO₂ 废气治理; 资源化协同; 吸附再生技术

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15887

中图分类号: X7

文献标识码: A

Technical Pathway and Low-carbon Prospects of Sludge in SO₂ Waste Gas Treatment

LUO Qiuyan, ZENG Yuejun, LI Wenxuan, QIN Jiayong, HUANG Yuanyuan, HUANG Xin, LI Yunxiang, HUANG Zaiyin*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning, Guangxi, 530006, China

Abstract: With the increasing demand for ultra-low emissions of industrial flue gas, adsorbent technology has shown significant potential in the field of SO₂ waste gas treatment and sulfur resource recovery. Although traditional wet desulfurization has a high desulfurization efficiency ($\geq 95\%$), it faces difficulties in gypsum dehydration, high energy consumption, and secondary pollution issues; Dry desulfurization is limited by insufficient removal of acidic gases, coal dust blockage, and the influence of condensed water. Based on the concept of "treating waste with waste", sludge based adsorbents have become a research hotspot due to their low cost, wide source, and high adsorption performance. Through chemical activation and modification techniques, sludge char can optimize its pore structure and surface active sites, achieving efficient adsorption of SO₂. However, its industrial application is still limited by bottlenecks in regeneration technology, coexisting gas interference, and insufficient long-term stability. In the future, we need to focus on multi-scale pore design, low-temperature regeneration processes, and multi technology coupling, while combining policy driven and carbon trading mechanisms to promote the large-scale application of sludge based adsorbents in high pollution industries such as steel and thermal power, providing economic and environmental solutions for waste gas treatment under the "double carbon" goal.

Keywords: sludge-based adsorbent; SO₂ waste gas treatment; resource based collaboration; adsorption regeneration technology

在当前的环境下, 我们仍然面临着大气污染问题的严峻挑战, 特别是二氧化硫 (SO₂) 排放对环境和人类健康构成了重大威胁。随着工业化的快速发展, SO₂ 的排放量持续攀升, 主要源自燃煤电厂、工业锅炉以及机动车辆等。SO₂ 不仅会引发酸雨, 破坏自然生态, 还对人类的呼吸系统和心血管系统造成损害。因此, 有效地控制 SO₂ 排放已成为环境保护领域亟待解决的关键问题^[1]。目前, SO₂ 的治理主要依赖于湿法脱硫技术, 例如石灰石-石膏法和氨法, 这些方法虽然脱硫效率高 (超过 95%) 且工艺成熟, 但它们也面临着高投资和运维成本、副产品如石膏的市场限制以及硫酸铵中氨的逃逸等问题; 同时存在二次污染。治理 SO₂ 的核心挑战在于缺乏多污染物协同治理的能力、高资源和能源消耗 (与“双碳”目标相冲突)、对复杂工况的适应性差以及二次污染的风险。为了应对这些挑战, 迫切需要通过副产品的高值转化 (例如硫资源的回收利用)、多效催化体系的设计、低碳工艺的优化以及智能调

控技术的突破, 推动 SO₂ 治理技术向高效、低碳和资源化利用的方向发展。随着工业烟气超低排放需求的提升, 吸附剂技术在污染源治理和硫资源回收领域将发挥关键作用, 主要体现在其高效性和选择性, 操作的灵活性和环境兼容性, 以及对多种污染物的协同治理潜力。未来的发展将集中在高性能吸附材料的创新、结合催化转化技术的吸附-催化一体化, 以及智能化和低碳化工艺^[2]。

近年来, 由于其成本低廉、来源广泛、吸附性能卓越等优点, 污泥基吸附剂逐渐成为废气治理研究的焦点。通过深入探讨污泥基吸附剂的制备方法、改性技术及其吸附机制, 可以揭示其在 SO₂ 废气治理中的潜力, 并为实际应用提供理论依据和技术指导^[3]。因此, 研究污泥制备吸附剂及其在 SO₂ 废气治理中的应用具有重要的现实意义和紧迫性。这不仅有助于解决污泥处理的难题, 促进资源的循环利用, 还能为 SO₂ 废气治理提供一种经济、环保的方案, 推动大气污染治理技术的发展。本文基于污泥活性炭

的制备工艺优化、改性技术突破及其在 SO_2 废气治理中的吸附机制与应用实践,系统梳理了国内外研究进展与关键挑战。通过归纳分析多污染物协同吸附理论体系、孔隙结构调控策略以及再生技术的创新路径,揭示了污泥基吸附剂在“以废治废”模式下的环境与经济协同效益。本综述旨在为污泥资源化技术的深化研究提供理论支撑,同时为开发高效、低碳的 SO_2 废气治理方案及推动“双碳”目标的实现注入新思路与实践参考。

1 从技术瓶颈到资源化治理

1.1 现有 SO_2 治理技术的局限性

1.1.1 主流技术瓶颈分析

(1) 湿法脱硫(石灰石-石膏法)

湿法脱硫技术在实现高效脱硫和副产物利用方面展现出显著优势。然而,由于多种因素的影响,如入口烟尘浓度超标($>30\text{mg}/\text{m}^3$)、石膏浆液氧化不充分导致半水硫酸钙含量高、设备运行参数设置不当(例如旋流器压力不足、沉砂嘴尺寸过大)等,这些问题导致石膏脱水困难、效率低下以及含水率高。

表 1 脱硫石膏与运行正常时期石膏对比

名称	二水合硫酸钙	半水硫酸钙	CaCO_3	氧化镁	含水率/%
标准指标	≥ 90.00	≤ 50.50	< 3.00	≤ 0.10	≤ 10.000
石膏样品 1	88.58	0.61	1.73	0.76	13.58
石膏样品 2	92.56	0.28	0.92	0.52	9.96

通过对比脱硫石膏与正常运行期间的石膏,结果如表 1 所示。其中,石膏样品 1 代表脱硫石膏,而石膏样品 2 代表正常运行期间的石膏。从表中可以明显看出,半水硫酸钙这种含有结晶水的水合物含量较高,导致石膏的含水率增加,从而出现了脱水困难的问题。

此外,高能耗、复杂的设备维护、设备腐蚀与结垢风险。湿法脱硫对入口烟气条件较为敏感,且脱硫废水含有高浓度的氯离子和重金属等污染物,处理工艺复杂,需要额外投资建设废水处理设施等问题也限制了其进一步发展^[3]。

(2) 干法脱硫(活性炭吸附)

干法脱硫技术因其无废水排放、适应复杂工况以及工艺的灵活性而备受关注。但是预处理阶段的高压损耗限制了气体的停留时间,使得氯、氟等酸性气体的脱除不够彻底,这降低了后续脱硫过程的效率。药剂反应动力学较慢,需要通过多级预处理(例如两级除氯)来提高脱除效率。在低温条件下(如 TRT 后),煤气容易析出凝结水,这会浸泡药剂,导致结块失效(需要设置排水口和耐腐蚀管路)。即便经过除尘处理,煤尘的残留量($\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$)仍可能堵塞药剂孔隙(如活性炭孔道),缩短使用寿命并增加更换频率,同时带来煤尘堵塞及药剂成本的问题。此外,药剂成本和再生难题对前端除尘的要求极为严格,这些挑战

尚未得到解决^[4]。

1.2 吸附法在处理 SO_2 废气领域的优势与研究现状

1.2.1 吸附法优势

吸附法是当下实现 SO_2 资源化回收利用的极具前景的方法之一。该方法通常涉及使用具有高表面积和特定化学性质的材料,以选择性地捕获来自烟气中的 SO_2 。吸附剂是吸附法处理工艺中的关键环节。除了要求吸附剂具有高选择性外,根据不同的目的,还要求吸附剂具备其他多种性能。例如,在低浓度或低压力下具有较大的吸附量,合适的比表面积和孔径分布,易于吸附和脱附,易于再生,以及良好的温度稳定性(如耐腐蚀、耐热,不腐蚀吸附装置,不改变吸附质的性质),使用寿命长,价格经济。吸附剂除了用于吸附外,还可作为催化剂、催化剂载体、填充剂和复合材料。无论是哪种情况,都要求制作工艺简单,管理方便,吸附剂质量稳定^[5]。沸石、金属有机框架和金属氧化物因其高表面积和对 SO_2 的特异性亲和而被广泛使用。从工业应用的角度来看,金属氧化物吸附剂成本最低,且相对容易再生。相比之下,活性炭和分子筛的再生效果较差,而金属有机框架(MOFs)材料对于大规模工业应用来说成本过高^[6]。

1.2.2 国外研究现状

在最近几年中,国外针对吸附剂的开发及其在 SO_2 废气治理中的应用研究呈现出多维度深化的趋势。Deng 等以高炉渣(BFS)为载体负载硫化纳米零价铁(S-nZVI),制备复合材料 S-nZVI@BFS 用于高效去除水溶液中 Cr(VI) ,通过吸附、还原与沉淀三重机制高效去除 Cr(VI) ,同时 BFS 的碱性缓冲能力稳定固定 Cr(III) ,显著提升了材料的环境安全性及去除容量(184 mg/g)。^[7]处理原理如图 1

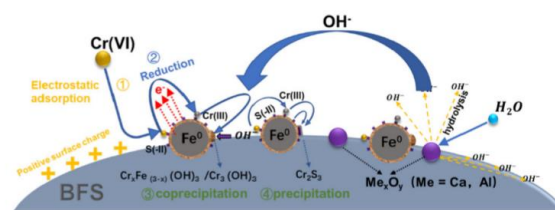


图 1 高炉渣负载硫化纳米零价铁还原固定水溶液中 Cr(VI) 处理原理图

Zewdie 等开发了沸石是一种独特的材料,由于其微孔、高孔隙率、结构多样性和可回收性,具有巨大的 CO_2 收集潜力^[8]。Zhao 等创新性地建立了尖晶石型吸附剂上吸附和再生过程的动力学方程,揭示了吸附再生动力学研究的基础研究对 SO_2 的实际应用具有重要意义^[9]。

1.2.3 国内研究现状

在过去的数十年间,国内的学者们在环境科学与工程等学科领域对利用吸附法处理 SO_2 废气进行了深入研究,

并取得了丰富的成果，尤其在吸附剂的开发和应用方面。不同的研究者从不同的视角对吸附过程及其性能进行了详尽的分析。如，刘铮以活性炭为吸附剂，以丙酮为代表的 VOCs 和以 SO_2 为代表的无机气态污染物为吸附质，在活性炭多孔材料微尺度分析的理论基础上，定量系统地分析有机和无机气态污染物与微尺度材料表面物理化学性质之间的关系，从宏观和微观不同角度深入探讨丙酮和二氧化硫气体在活性炭多孔介质内复杂的表面物理化学状态和相互作用机制，从而科学地揭示吸附的微尺度构成关系^[6]。李民堂等设计了一种结合深冷技术和活性炭纤维或活性炭吸附的系统，用于处理化工尾气，该系统在有机物的冷凝分离以及活性炭纤维或活性炭吸附技术方面展现了创新性（如图 2）^[10]。

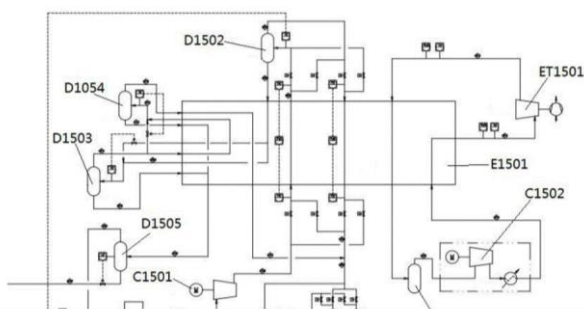


图 2 一种深冷加活性炭纤维或活性炭吸附处理化工尾气的系统

然而，从我国目前的发展情况来看，制备吸附剂用于治理 SO_2 废气的发展相对缓慢。相关理论研究主要集中在对于吸附剂材料的选择与优化、在复杂工业废气环境中的长期稳定性、与其他污染物的协同吸附机制，以及大规模工业化应用时的成本效益等方面的深入研究相对不足。未来，需要进一步加强这些方面的研究，以促进吸附剂在治理 SO_2 废气领域的广泛应用。

1.3 污泥吸附剂的技术进展与前景

陈春云等人以剩余活性污泥为原料、 ZnCl_2 为活化剂，考察了活化剂用量及活化时间对污泥吸附剂产率的影响，与商品活性炭相比，商品活性炭空隙比污泥吸附剂的小，商品活性炭主要为微孔，而污泥制备吸附剂主要为过渡孔，这将有利于增强污泥吸附剂的液相扩散性能^[11]。Izabayo Emelyne 基于剩余污泥的含碳性质，本研究拟将剩余活性污泥转化为富碳炭(CS, carbon-rich char)，并进一步对其进行活化和改性，与其他活性污泥基吸附剂相比，进行了磁改性的污泥吸附剂对苯酚具有较高的亲和力，24 小时去除效率为 54.7%，其具有最高的单层吸附容量 104.24 mg/g，表现出快速吸附行为，160 分钟可达到 72% 的平衡吸附率^[12]。

此外，研究还发现，磁改性污泥吸附剂不仅提高了吸附效率，还增强了其再生性能，使得吸附剂在多次使用后仍能保持较高的吸附能力。这一发现为污泥吸附剂的循环

利用提供了可能，进一步推动了污泥资源化利用的进程。

同时，国内外学者也在不断探索其他污泥基吸附剂的制备与应用，如通过热解、化学活化等方法制备的污泥炭、污泥衍生生物炭等，这些新型污泥吸附剂在二氧化硫废气治理中也展现出良好的应用前景。可见，污泥吸附剂作为一种新型、高效的二氧化硫废气治理材料，其技术进展和典型案例为我们提供了宝贵的经验和启示，也为未来的研究指明了方向。

2 总结与展望

2.1 研究评述与总结

在 SO_2 废气治理的研究领域，国内外的研究呈现出互补性和阶段性特征。国外的研究主要集中在吸附材料的基础理论创新和多技术融合，例如 MOFs 材料的结构调控、纳米零价铁复合材料的开发（如 S-nZVI@BFS 对 Cr(VI) 的协同吸附-还原机制），以及尖晶石型吸附剂再生动力学的理论突破。研究注重吸附机理的原位表征（如 XPS、FTIR）与生命周期评价（LCA），强调从分子尺度揭示吸附路径与环境效益的量化分析。此外，国外学者在生物电化学系统与光催化-吸附耦合技术方面取得进展，推动治理技术向低碳化与多污染物协同控制方向发展。国内的研究则更注重工艺优化与资源化实践，尤其在污泥基吸附剂领域成果显著。例如，通过 ZnCl_2 活化法提升污泥炭比表面积（ $394.1\text{m}^2/\text{g}$ ），实现苯系物高效吸附（二甲苯饱和容量达 152.9mg/g ）；磁性改性技术（如 Fe_3O_4 负载）增强吸附剂再生性能（再生 5 次效率保持 76.2%）。国内学者还结合工业需求开发了深冷-吸附集成系统（图 2），有效处理高浓度 SO_2 废气。然而，研究短板体现在基础理论深度不足（如吸附路径动态表征缺失）、工业化转化率低（实验室材料机械强度与工程稳定性不足），以及对高 SO_2 排放行业（火电、冶金）的案例研究较少。

值得关注的是，国内外面临的共同挑战包括：吸附效率与选择性瓶颈：污泥基吸附剂对 SO_2 的吸附容量（如 99.3mg/g ）仍低于商业活性炭（ $150\sim 200\text{mg/g}$ ），且易受 NO_x 、 CO_2 及水蒸气干扰；再生技术矛盾：热再生导致孔隙坍塌（微孔损失率 $>30\%$ ），化学再生存在二次污染风险（如酸洗废液处理）；工业化障碍：复杂烟气条件（温度波动、粉尘残留 $\leq 10\text{mg}/\text{Nm}^3$ ）降低吸附剂寿命，规模化设备（如流化床）的连续运行效率不足固定床实验值的 60%；环境风险管控缺失：重金属浸出（如 ZnCl_2 活化剂残留）与固废再生利用标准尚未完善。未来方向需突破多学科壁垒，通过在材料设计、技术耦合、政策驱动的模式下，通过碳交易机制激励企业采用污泥基吸附剂，推动“以废治废”模式落地。

2.2 现存问题及未来发展方向

吸附效率与选择性上，污泥活性炭对 SO_2 的吸附容量仍低于传统活性炭，且易受 NO_x 、 CO_2 等共存气体干扰；

再生技术瓶颈问题,热再生导致孔隙坍塌,化学再生存在二次污染风险;环境风险上,重金属浸出问题缺乏系统性解决方案;工业化障碍问题,实验室成果向工程应用的转化率低,长期稳定性数据不足。

未来研究需从关键方向突破,深入未知科学领域,推动跨学科合作,利用先进技术,重视研究伦理:多尺度孔道设计:结合化学活化与生物炭掺杂,构建分级孔隙(微-中-大孔)以增强 SO_2 扩散与化学吸附,如通过 KOH 与 H_3PO_4 协同活化调控表面官能团;我国每年产生污泥超 6000 万吨,传统填埋与焚烧方式易引发重金属渗漏、二噁英排放等二次污染。本研究通过污泥活性炭制备技术,将污泥转化为高附加值吸附材料,实现固废减量化(减重 70% 以上)与无害化(重金属固定率 $>85\%$)。吸附剂再生技术的理论突破是本研究另一重要贡献。现有再生理论多基于热力学平衡(如 Langmuir 脱附模型),但忽略了再生过程中材料结构退化与二次污染风险。本研究通过对比热再生、化学再生(如多组分溶液洗脱)及生物再生(如微生物降解)的效率差异,构建了“能耗—效率—稳定性”综合评价模型。此外,通过引入生命周期评估(LCA)理论,量化污泥活性炭从制备、使用到再生的全链条环境效益,为吸附材料的可持续性评价提供了方法论支持。此外,推动污泥活性炭与光催化、生物滴滤或微生物燃料电池的耦合,有助实现 SO_2 高效去除与能源回收双重目标。

污泥活性炭吸附 SO_2 技术的规模化应用必须同时考虑“高效性”和“可持续性”。未来,我们应重点研究其在钢铁、火电等高污染行业的实际应用案例,并结合智能监测技术(例如原位 FTIR、XPS 表征)实时优化吸附过程。同时,政策层面应鼓励“以废治废”的模式,通过碳交易机制或补贴政策提高企业的采纳意愿。通过技术创新与制度设计的双重推动,污泥活性炭有望成为实现“双碳”目标下废气治理的核心材料之一。

2.3 研究意义

2.3.1 理论意义

本研究不仅在污泥资源化与废气吸附材料领域的交叉理论研究中取得了显著进展,深入探讨了污泥活性炭的孔隙结构、表面官能团与 SO_2 吸附性能之间的结构-功能关系,从而揭示其内在的构效机制;此外,在多污染物协同吸附理论方面也做出了重要贡献,为在复杂废气体系中应用污泥活性炭提供了坚实的方法论支持。通过这一系列的研究,不仅为学术界提供了新的理论视角,也为工业界在废气处理技术的选择和应用上提供了科学依据和实践指导。

2.3.2 实际意义

本研究针对 SO_2 废气治理成为了当前全球环境问题亟待解决的严峻挑战的问题,提出了一种创新的低成本且可持续的吸附剂解决方案。有效降低企业环境保护的经济负担,而且通过采用环保材料和优化吸附工艺,实现了对

SO_2 的高效吸附。此外,本研究还深入探讨了如何将污泥资源化技术产业化,以期减轻因污泥填埋和焚烧所带来的环境压力,为实现国家碳达峰与碳中和的宏伟目标提供坚实的技术支持和实践路径,为构建绿色、低碳、可持续发展的社会贡献力量。

3 结语

目前,污泥活性炭吸附技术正在 SO_2 废气治理领域展现了其独特的“以废治废”优势。通过深入研究该技术的理论与实践,我们不仅完善了多污染物协同吸附的理论体系,更重要的是,明确了其在制备工艺和工程应用方面的关键进展,为其进一步发展奠定了坚实的基础。

尽管目前吸附效率、再生技术以及重金属稳定性等问题构成了阻碍其工业化大规模应用的瓶颈,但随着研究的不断深入,聚焦于多尺度孔道设计、低温再生技术、多种技术协同治理以及环境风险管控体系的构建,有望逐一解决这些难题。跨学科合作能够整合不同领域的专业知识与技术手段,加速技术的创新与突破;而政策的大力支持则可为技术的推广应用提供有力保障,从资金扶持到标准制定,全方位推动污泥活性炭吸附 SO_2 技术从实验室走向实际生产。

污泥制备吸附剂治理 SO_2 废气技术蕴含着巨大的环保与经济潜力,其规模化应用不仅能够有效解决大气污染问题,助力改善环境质量,还能通过资源的循环利用,推动“双碳”目标的实现,为可持续发展战略注入强劲动力。相信在各方的共同努力下,该技术必将在未来的环境保护事业中大放异彩,为人类创造更加清洁、美好的生活环境。

基金项目:国家自然科学基金 No.22263001;国家级及省级大学生创新创业项目经费 S202410608362X、202410608007X。

[参考文献]

- [1]魏夜香.多源数据支持下的中国二氧化硫时空分布及驱动力研究[D].山西:山西大学,2024.
- [2]龙伟荣.火电厂湿法烟气脱硫石膏脱水问题分析及改进措施[J].中国资源综合利用,2025,43(2):1-3.
- [3]黎媛萍,邹斌,贾舜尧,等.污泥基生物炭的制备及其在环境污染治理中的应用[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2024(1):68-73.
- [4]姒伟华,李志伟.高炉煤气精脱硫干法工艺改进[J].一重技术,2024(6):1-3.
- [5]Xiaoling Zhao. SO_2 动力学研究尖晶石型吸附剂上的吸附和再生[J].Chemical Engineering Science,2024(306):1-3.
- [6]刘铮.活性炭吸附法净化丙酮和二氧化硫的研究[D].湖南:中南大学,2014.
- [7] Xiaofeng Zhu, Bicheng Zhu, Chuanjia Jiang, et al. Superb

adsorption capacity of hierarchical calcined Ni/Mg/Al layered double hydroxides for Congo red and Cr(VI) ions[J]. Journal of Hazardous Materials,2017(321):11-18.

[8] Abdul Wahab,Amjad Farooq,Faisal Faiz,et al. Innovative adsorbent for sulphur dioxide: synergy of activated carbon, polyionic liquids, and chitosan[J]. Adsorption,2025(31):1-11.

[9] Xiaoling Zhao,Jinjin Lia,Zhipeng Yang,et al. Study of the kinetics of SO₂ adsorption and regeneration over the spinel-type adsorbent[J]. Chemical Engineering Science,2025(306):1-5.

[10]李民堂,王增礼,张崇森.一种深冷加活性炭纤维或活性炭吸附处理化工尾气系统的制作方法:2020730095[P]. 2020-5-12.

[11]陈春云,王鹏,庄源益.剩余污泥吸附剂的制备及其吸附性能研究[J]. 环境科学与技术,2006(8):88-90.

[12]Izabayo Emelyne. 改性剩余活性污泥吸附剂的制备及在含酚焦化废水处理中的应用[D]. 陕西:陕西科技大学,2021.

作者简介:罗秋妍(2004—),女,壮族,广西,本科在读,广西民族大学化学化工学院,研究方向:生物炭吸附剂材料的制备及其应用。

环境的监测在大气污染治理中的作用及措施

刘 帅

河北泽澜检测科技有限公司, 河北 保定 071000

[摘要]随着我国社会经济的快速发展,人们对自然环境保护的重视逐渐增强。在环境保护的各项工作中,大气污染治理占据着至关重要的位置,但其治理难度较大。在以往的社会发展过程中,经济发展往往被放在首位,而大气环境的保护却被忽视,导致大气污染问题愈发严重。在大气污染治理的过程中,环境监测发挥了重要的辅助作用。通过环境监测,不仅能够确保大气环境质量,还能够提升治理效果。因此,积极开展环境监测技术的研究,充分发挥其在大气污染防治中的作用,对于推动我国社会的可持续发展至关重要。

[关键词]环境监测; 大气污染治理; 作用及措施

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15886

中图分类号: X831

文献标识码: A

The Role and Measures of Environmental Monitoring in Air Pollution Control

LIU Shuai

Hebei Zelan Testing Technology Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract: With the rapid development of Chinese social economy, people's attention to natural environment protection is gradually increasing. In various aspects of environmental protection, air pollution control occupies a crucial position, but it is difficult to control. In the past process of social development, economic development was often prioritized, while the protection of the atmospheric environment was neglected, leading to increasingly serious air pollution problems. Environmental monitoring plays an important auxiliary role in the process of air pollution control. Through environmental monitoring, not only can we ensure the quality of the atmospheric environment, but we can also improve the effectiveness of governance. Therefore, actively conducting research on environmental monitoring technology and fully leveraging its role in air pollution prevention and control is crucial for promoting the sustainable development of Chinese society.

Keywords: environmental monitoring; air pollution control; role and measures

引言

随着工业化的快速推进与城市化进程的加深,大气污染问题日益严峻,不仅威胁到人类健康,还加剧了温室气体排放,进而影响气候稳定与生态平衡。空气污染的持续加剧,使得各国政府及社会各界迫切需要寻找有效的治理方案。在此过程中,环境监测作为污染防治的重要环节,发挥着不可替代的作用。精准、实时的监测数据被用于识别污染源、追踪污染物扩散路径,并为治理措施的制定与实施提供科学依据,同时确保治理效果得到有效评估。然而,当前环境监测在实际应用中仍面临诸多挑战,包括数据采集标准化不足、技术手段尚不完善、监管执行存在一定局限等。针对这些问题,环境监测体系的完善、监测技术的升级以及切实可行措施的采取,成为提升大气污染治理效率的关键。基于此,本研究将围绕环境监测在污染防治中的作用及其面临的挑战展开探讨,并分析可行的应用策略,以期为空气质量的改善与可持续发展提供理论支持和实践指导。

1 环境监测在大气污染治理中的作用

1.1 提供准确的监测数据

在大气污染治理过程中,环境监测发挥着关键作用,

其中最核心的任务之一便是精准监测数据的提供。通过监测系统,空气中污染物的浓度水平、气象条件等重要参数可以实时获取,为污染源识别与治理方案的制定提供了科学支撑。高质量的数据不仅帮助相关部门全面掌握污染状况及其变化趋势,而且为污染物排放标准的设定与调整提供了依据。同时,对于评估治理措施的实际效果,精准的监测信息是至关重要的,决策者能够依据数据分析,及时优化政策、调整治理手段,从而提升治理成效。

1.2 检测环保设施治理效率,促进污染物达标排放

在大气污染治理中,环境监测起着至关重要的作用,其中,评估环保设施的治理效率被视为确保污染物稳定达标排放的重要环节。借助监测系统,企业及工业园区的废气处理设施运行状态可以实时追踪,污染物去除率得以分析,环保设备是否正常运作以及治理效果是否符合排放标准也能被判断。如果监测结果显示污染物超标或治理效果不理想,干预措施可迅速由相关部门采取,督促企业加强设备维护、优化处理工艺或进行技术升级,以提升治理能力^[1]。此外,环境监测还为环保政策的制定与实施提供了科学依据,确保各类治理措施能够有效落地,助力污染物排放控制,改善空气质量,维护生态平衡与公众健康。

1.3 为治理区域大气污染提供依据

在大气污染治理过程中,环境监测发挥着重要的支撑作用,其中,提供科学依据以指导治理区域的污染防治被视为核心环节。通过对不同区域的大气污染状况进行持续追踪,污染物的种类、浓度、时空分布特征及演变趋势可精准获取,从而为污染源解析与治理方案的制定提供了可靠的数据支撑。依据监测结果,污染重点区域能够被政府及环保部门划定,主要污染源能够精准识别,并结合不同污染特征,针对性治理措施得以实施。此外,环境监测还能够有效评估既有治理措施的实际成效,助力优化调整治理方案,以提升污染防治工作的科学性和执行效率。

1.4 为企业环保设施升级改造提供依据

在大气污染治理中,环境监测不仅用于评估污染现状,还为企业环保设施的优化升级提供了科学支撑。通过长期监测企业废气排放情况,污染物的种类、浓度及排放特征可精准获取,环保设备运行中的问题得以识别,治理成效得以评估。若监测数据显示某些污染物长期超标或去除效率偏低,基于监测结果,污染源特性可被企业分析,生产工艺得以调整,环保设施得以改进,或更高效的治理技术可被引入,以增强污染物处理能力,提升治理效果。

2 大气污染治理的环境监测现状

2.1 数据采集的规范化不足

当前,大气污染治理中的环境监测在数据采集规范化方面仍存在诸多问题,这些问题影响了监测数据的准确性与公信力。此外,部分监测点位设置不够合理,污染源区域未能全面覆盖,使得监测结果难以真实反映污染情况。同时,部分设备的校准与维护工作不到位,监测误差可能因此引发,影响了对污染趋势的精准判断^[2]。数据采集流程的管理尚不够严格,部分监测机构在数据采集、存储及传输过程中监管不足,甚至存在人为干预现象,从而削弱了环境监测的公正性与可靠性。

2.2 设备老化以及操作问题

在环境监测工作中,常常出现监测人员忽视设备维护,或未严格按照规范操作监测设备和技术的情况。这种疏忽会严重影响数据监测的准确性和全面性,甚至可能导致数据被随意篡改。为了充分发挥数据监测的作用,必须有效解决设备老化等问题,为监测工作的顺利进行提供保障。然而,一些地区和企业未能在环境监测方面进行足够的资金投入,导致设备老化问题愈发严重。此外,缺乏对监测人员的定期培训,使得其专业水平和素质的提升面临困难,进一步影响了监测工作的质量和效率。与此同时,由于环境监测往往需要与其他治理工作紧密配合,一些地区和企业未能将环境监测与其他治理措施有效结合,这也最终影响了环境监测工作的效果。

3 环境监测在大气污染治理中的应用措施

3.1 完善环境品质管理体制

优化环境质量管理体系是提升大气污染治理效果的

关键,科学、高效、系统化的环境管理机制需建立,以确保监测数据的权威性与治理措施的精准性。大气环境质量监测与评估体系的健全,有助于明确各级环保部门、企业及社会组织的职责,实现监测、管理与执法环节的紧密衔接,从而推动全过程监管的落地。为提升环境监测数据的法律效力,数据在政策制定、污染防治措施及环保执法中的深度应用应得到促进,使监测结果能够直接服务于治理实践。同时,智能化管理方式的引入,运用大数据、人工智能及物联网技术开展深度分析,能够提高污染源的精准识别与追踪能力。此外,跨区域与跨行业的信息共享与协同治理应加强,地方保护与数据壁垒得以打破,全国统一的环境监测数据库应被构建,为大气污染防治提供全面、可靠的科学支撑。

3.2 强化大气污染防治的监督与管理

强化对大气污染防治的监督与管理,是确保环境监测数据得到有效应用并提升治理成效的重要环节。严格的环境执法体系应建立,加强对企业排放情况的实时监测与动态管控,确保污染物排放符合国家及地方环保标准。政府机构应依托监测数据,精准锁定污染源,对重点排污企业实施分类监管,并采取科学合理的治理措施。此外,第三方环境监测机构的独立性与公正性应增强,确保数据的真实性与权威性,杜绝因利益驱动导致的数据造假或污染信息隐瞒问题。同时,通过健全法律法规与高额处罚,加大对环境违法行为的惩处力度,从而提高违规排放的成本,遏制企业的环境违法行为。监管体系建设可引入大数据、人工智能、无人机巡查等先进技术,以提升环境监测的精准度与覆盖范围,实现全天候、全方位的污染监管^[3]。此外,政府、企业与公众之间的信息公开机制应得到推动,使社会各界能够广泛参与监督,提升公众对大气污染防治的关注度,增强治理工作的透明度与执行力。

3.3 强化环境监测和现代技术的融合运用

推动环境监测与现代技术的深度融合,是提升大气污染治理精准度与效率的重要手段。大数据、人工智能、物联网及卫星遥感等技术的快速发展,使环境监测从传统的点源监测逐步向实时、立体、智能化方向转型。智能化环境监测网络的构建,通过物联网实现空气质量监测设备的互联互通,实时传感器采集污染物浓度数据得以利用,并结合云计算进行大数据分析,从而精准识别污染源、预测污染扩散趋势,为科学决策提供了数据支撑。人工智能技术的应用,进一步提升了数据分析与异常识别能力,基于机器学习算法,海量监测数据得以智能解析,污染异常情况能够迅速被发现,辅助环保部门优化治理方案。卫星遥感与无人机巡查的结合,使大气污染监测的覆盖范围更广,全天候、动态追踪的优势得以具备,特别是在污染物扩散监测及雾霾形成机理研究方面,关键作用得以发挥。此外,区块链技术的应用,确保了监测数据的真实性与不可篡改性,提升了环境监测的透明度及公信力。要充分发挥现代

技术的优势，还需加强多方协作，推动科研机构、环保部门与企业联合研发先进监测技术，构建更加智能、高效、精准的环境监测体系。

3.4 丰富环境监测的宣传渠道

扩展环境监测信息的传播途径，是提升公众环保意识、加强社会监督力度以及推动大气污染治理有效落实的重要措施。目前，环境监测数据的传播主要依赖政府公告和专业报告，导致公众对信息的获取便捷性较低，参与度也因此有限。为了提高透明度并增强公众的参与感，必须建立多层次、多渠道的宣传系统，使环境监测信息更加易于理解、触手可得。新媒体平台，如微信公众号、短视频、直播及移动应用，能有效传递环境质量监测数据、污染预警信息与治理进展，公众能够及时了解大气污染状况及相关治理措施的最新情况。与此同时，传统媒体如电视、广播、报纸依然在信息传播中扮演着重要角色，污染数据、专家解读及环保政策可通过其定期发布，增强公众对环境监测工作的关注。为了进一步加深公众对环保问题的理解，政府与环保部门应加强与社区、学校、企业的合作，环保科普讲座、互动展览及公益活动应定期组织，帮助公众更好地理解监测技术、数据解读及治理策略的意义。此外，公众参与机制的建立应得到重视，鼓励市民通过手机应用或在线平台举报环境违法行为、反馈污染状况，这将为大气污染治理提供更广泛的社会支持，实现全民参与与共同监督。

3.5 制定健全的预警系统

建立健全的预警系统，对于提高大气污染治理效率、减少空气污染对公众健康的影响，至关重要。一个完善的预警系统应依托实时环境监测数据与科学的污染扩散模型，污染物浓度的变化趋势能够精准预测，并在污染加剧前及时发出预警，为政府、企业及公众提供足够的反应时间。目前，许多地区的预警系统已经开始将监测站数据、气象数据和遥感数据整合在一起，通过数据融合技术来预测污染的扩散趋势。并运用先进的算法和模型，对污染的形成、传播及扩散过程进行精准分析，从而提高污染预警的准确性和响应速度。同时，跨区域、跨行业的数据共享可以实现更加全面的监测和协同防控，推动污染防治工作的科学化和智能化。通过对历史数据的深度挖掘，预警系统应具备识别污染源及预测污染事件的能力，为各级政府与环保部门提供决策支持，以便采取合适的防控措施。此外，不同级别的预警响应机制应设置在系统中，涵盖从轻度污染到重度污染的各类情况，具体的治理措施与应急预案应根据污染的严重程度进行制定，确保污染达到危险水平时应急响应能够迅速启动，最大限度减少对公众健康与生态环境的影响^[4]。为了确保预警信息广泛传播，相关信息应通过电视、广播、社交媒体、手机应用等多种途径及

时传递给公众及相关部门，使社会各界能够根据预警信息，及时采取相应的防护措施。

3.6 强化人员的水平以及素质

提升环境监测人员的专业水平和素质，是确保大气污染治理成效的核心要素。高效开展环境监测，依赖于具备扎实专业知识与丰富实践经验的人员。因此，监测人员在技术操作、数据分析及环境评估等方面的能力，应加强提升，这是提高监测质量的关键。监测人员应定期参加系统培训，学习最新的监测技术及设备操作方法，并熟悉相关环境保护法律法规及大气污染治理的最新动态。随着技术的不断进步，传统的监测设备已无法完全满足精细化和智能化治理的需求，因此，较强的技术适应能力需具备，能够熟练操作现代传感器、遥感设备及大数据分析工具，从而提高数据采集和处理的准确性。除此之外，敏锐的分析能力和良好的判断力，也应具备，能够科学解读采集的数据，精准识别污染源及其程度，为决策部门提供有力支持。环境监测工作不仅限于技术操作，还涉及与其他部门及公众的沟通与协作，因此，良好的沟通技巧和团队合作精神，必须具备，能在多方合作中发挥桥梁作用，确保监测数据的有效应用与污染治理方案的顺利执行。

4 结语

在大气污染治理过程中，环境监测不仅被作为评估空气质量与污染源的关键工具，也为制定有效治理策略及确保政策实施提供了基础。通过精确的监测数据，实时掌握大气污染的变化趋势，问题可迅速被识别，并采取相应的应对措施。然而，当前环境监测面临着许多挑战，包括技术设备更新滞后、数据采集缺乏统一规范等问题，亟需加强技术创新，提升监测精度，并进一步完善管理体系。只有通过持续优化环境监测体系，才能为大气污染治理提供更加可靠的支持，推动空气质量的改善，最终实现人与自然的和谐共生。

【参考文献】

- [1] 邹晓龙. 环境监测在大气污染治理中的作用及应用策略[J]. 清洗世界, 2024, 40(12): 124-126.
 - [2] 殷迪. 环境监测在大气污染治理中的作用及对策研究[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(21): 119-121.
 - [3] 王海燕. 环境监测在大气污染治理中的具体应用探讨[J]. 生态与资源, 2024(5): 126-128.
 - [4] 张玉喜. 环境监测在大气污染治理中的作用及措施[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(3): 64-66.
- 作者简介：刘帅（1989.12—），毕业院校：河北农业大学现代科技学院，所学专业：环境科学，当前就职单位：河北泽润检测科技有限公司，职务：技术负责人，职称级别：中级工程师。

环境工程中有机废气处理技术探析

左振超¹ 王杰² 周丽丽²

1. 山东信达环保技术咨询有限公司, 山东 临沂 276000

2. 山东盛泽生态环境工程有限公司, 山东 临沂 276000

[摘要]在当今工业化进程加速发展的时代, 工业生产活动日益频繁, 随之而来的是大量有机废气的排放。有机废气, 作为挥发性有机化合物(VOCs)的重要组成部分, 来源广泛且成分复杂, 涵盖了石油化工、印刷、涂装、制药等众多行业。这些有机废气中包含着苯、甲苯、二甲苯、甲醛、乙酸乙酯等多种有害物质, 倘若未经有效处理便直接排放至大气环境中, 将会引发一系列严峻的环境问题, 对人体健康也会造成极大的威胁。因此, 有机废气处理技术的研究是一项刻不容缓的任务, 对于解决当前日益严峻的环境问题、实现可持续发展目标具有深远的影响和重要的价值。在后续的研究中, 将深入探讨各种有机废气处理技术的原理、特点、应用现状以及发展趋势, 以期有机废气的有效治理提供科学依据和技术支持。

[关键词]环境工程; 有机废气; 技术

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15896

中图分类号: X5

文献标识码: A

Exploration on Organic Waste Gas Treatment Technology in Environmental Engineering

ZUO Zhenchao¹, WANG Jie², ZHOU Lili²

1. Shandong Xinda Environmental Protection Technology Consulting Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

2. Shandong Shengze Ecological Environment Engineering Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract: In the era of accelerated industrialization, industrial production activities are becoming increasingly frequent, accompanied by the emission of a large amount of organic waste gas. Organic waste gas, as an important component of volatile organic compounds (VOCs), has a wide range of sources and complex compositions, covering many industries such as petrochemicals, printing, painting, pharmaceuticals, etc. These organic waste gases contain various harmful substances such as benzene, toluene, xylene, formaldehyde, ethyl acetate, etc. If they are directly discharged into the atmosphere without effective treatment, they will cause a series of serious environmental problems and pose a great threat to human health. Therefore, the research on organic waste gas treatment technology is an urgent task, which has profound impact and important value for solving the increasingly severe environmental problems and achieving sustainable development goals. In the subsequent research, we will delve into the principles, characteristics, application status, and development trends of various organic waste gas treatment technologies, in order to provide scientific basis and technical support for the effective treatment of organic waste gas.

Keywords: environmental engineering; organic waste gas; technology

1 有机废气处理技术原理

1.1 吸附法

吸附法是一种常见且应用广泛的有机废气处理技术, 它主要利用吸附剂对有机废气中污染物的吸附作用, 实现废气的净化。根据吸附过程中作用力的不同, 吸附法可分为物理吸附和化学吸附。

1.1.1 物理吸附

物理吸附是基于分子间的范德华力, 当有机废气与吸附剂接触时, 废气中的有机分子被吸附剂表面所吸引, 从而附着在吸附剂上。活性炭和沸石是两种典型且常用的物理吸附剂。

活性炭具有高度发达的孔隙结构, 其比表面积巨大, 通常可达 $500\sim 1500\text{m}^2/\text{g}$ 。这些丰富的孔隙为有机分子提供了大量的吸附位点。当有机废气通过活性炭时, 废气中的苯、甲苯、二甲苯等有机分子会在范德华力的作用下,

被活性炭表面的孔隙捕获, 从而实现有机废气的净化。

沸石是一种具有均匀微孔结构的结晶铝硅酸盐, 其孔径大小均匀且具有一定的选择性。不同类型的沸石, 其孔径大小不同, 能够根据有机分子的大小和形状进行选择性吸附。

1.1.2 化学吸附

化学吸附是吸附剂与有机废气中的污染物之间发生化学反应, 形成化学键, 从而实现对污染物的固定和去除。与物理吸附不同, 化学吸附具有较强的选择性和不可逆性。

化学吸附的优势在于其对特定污染物具有高度的选择性。由于化学反应的特异性, 特定的吸附剂只能与特定的有机废气成分发生反应, 因此能够实现对目标污染物的精准去除。此外, 化学吸附形成的化学键较为稳定, 使得吸附后的污染物不易脱附, 能够保证吸附效果的持久性。这在处理一些对环境危害较大、需要长期稳定去除的有机

废气时，具有重要的意义。

1.2 燃烧法

燃烧法是一种通过氧化反应将有机废气中的有机物转化为二氧化碳和水等无害物质的处理技术，在有机废气处理领域应用广泛。根据燃烧方式和条件的不同，燃烧法可分为直接燃烧和催化燃烧。

1.2.1 直接燃烧

直接燃烧，又称热力燃烧，其原理是将有机废气直接引入燃烧炉中，在高温（通常需达到 $800^{\circ}\text{C}\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）和充足氧气的条件下，使有机废气中的有机物与氧气发生剧烈的氧化反应，完全燃烧转化为二氧化碳（ CO_2 ）和水（ H_2O ）等无害物质。

直接燃烧适用于处理高浓度、小风量的有机废气。这是因为高浓度的有机废气自身具有较高的热值，能够在燃烧过程中提供足够的能量维持燃烧反应的持续进行，无需或只需少量补充辅助燃料。

直接燃烧法具有处理效率高的显著优势，能够将有机废气中的有机物几乎完全燃烧，去除率可达 $95\%\sim 99\%$ 。这是因为在高温和充足氧气的条件下，有机物能够充分与氧气接触并发生反应，从而实现高效的净化。此外，直接燃烧法对有机废气的成分和浓度适应范围较广，无论是高浓度还是低浓度的有机废气都能进行处理。虽然对于低浓度有机废气可能需要补充辅助燃料，但从整体处理效果来看，仍能有效去除其中的污染物。而且该方法设备结构相对简单，维护方便。燃烧炉的结构通常较为简洁，主要由燃烧室、燃烧器、进气口、出气口等部分组成，在运行过程中，只需定期对燃烧器、管道等部件进行检查和维护，确保其正常运行即可。

1.2.2 催化燃烧

催化燃烧是在催化剂的作用下，使有机废气中的碳氢化合物在较低温度（一般为 $200^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ ）下进行氧化分解反应，转化为二氧化碳和水。催化剂能够降低反应的活化能，使有机物更容易与氧气发生反应。

催化燃烧法具有高效率的特点，对有机废气的去除率通常能达到 90% 以上。这是因为催化剂的存在加速了反应速率，使有机废气能够在较短的时间内充分反应，从而实现高效净化。而且由于反应温度相对较低，催化燃烧法的能耗也相对较低。与直接燃烧法相比，不需要将废气加热到很高的温度，从而节省了大量的能源消耗，降低了运行成本。此外，由于燃烧温度低，催化燃烧过程中产生的二次污染物较少，氮氧化物等污染物的生成量相对较低，减少了对环境的二次污染。

1.3 生物法

生物法处理有机废气是基于微生物的代谢作用，利用微生物将有机废气中的污染物转化为无害的二氧化碳、水和微生物自身的生物质。与其他处理技术相比，生物法具

有运行成本低、无二次污染等优点，尤其适用于处理低浓度、可生物降解的有机废气。根据处理方式和设备的不同，生物法主要包括生物过滤和生物滴滤等工艺。

1.3.1 生物过滤

生物过滤法的核心是生物滤池，其内部填充着具有吸附性的过滤材料，如泥炭、堆肥、木屑、活性炭等。这些过滤材料为微生物提供了附着生长的载体，微生物在过滤材料表面形成一层生物膜。

当有机废气通过生物滤池时，废气中的有机污染物首先被吸附在生物膜表面的水膜中。这是因为有机污染物在水中具有一定的溶解性，能够从气相转移到液相中。例如，对于含有乙醇的有机废气，乙醇分子会在水膜中溶解，实现从气相到液相的传质过程。接着，微生物以这些有机污染物为营养物质，通过自身的代谢活动，将其分解为二氧化碳、水和细胞物质等无害物质。微生物利用细胞内的酶系统，对有机污染物进行氧化分解，释放出能量供自身生长和繁殖。

1.3.2 生物滴滤

生物滴滤法的主要设备是生物滴滤塔，其结构与生物滤池有一定相似性，但也存在一些区别。生物滴滤塔内填充的是粗碎石、塑料蜂窝填料、陶瓷等无吸附性的填料，这些填料为微生物提供了附着的表面。在生物滴滤塔的顶部设有喷淋装置，通过喷淋营养液，为微生物提供生长所需的营养物质，并调节塔内的湿度和 pH 值。

生物滴滤法的工作原理是，有机废气从生物滴滤塔的底部进入，在上升过程中与填料表面的微生物接触。废气中的有机污染物被微生物吸附，并在微生物分泌的酶的作用下进行分解代谢。与此同时，喷淋装置不断向填料表面喷洒营养液，营养液中含有微生物生长所需的氮、磷、钾等营养元素，以及调节 pH 值的缓冲物质。这些营养液在重力作用下，沿着填料表面向下流动，形成一层薄薄的液膜，为微生物提供了良好的生存环境。

2 有机废气处理技术面临的挑战

2.1 技术层面挑战

在有机废气处理领域，部分技术在处理复杂有机废气时面临着效率低和稳定性差的问题，这严重制约了有机废气的有效治理。以生物法为例，虽然其在处理低浓度、可生物降解的有机废气方面具有一定优势，但对于成分复杂的有机废气，微生物的代谢过程可能会受到抑制，导致处理效率降低。当有机废气中含有难生物降解的物质（如多环芳烃、卤代烃等）时，微生物难以将其作为营养源进行分解代谢，从而影响整体处理效果。而且生物法对环境条件要求较为苛刻，温度、湿度、pH 值等环境因素的微小变化都可能对微生物的活性产生显著影响，进而降低处理效率和稳定性。如果生物滤池内的温度过高或过低，超出了微生物适宜的生长温度范围，微生物的酶活性会受到抑

制,代谢速率减慢,导致有机废气的处理效率下降。此外,在生物滴滤塔中,当营养液的成分和喷淋量不能及时根据废气成分和浓度的变化进行调整时,微生物可能无法获得足够的营养物质,从而影响其对有机废气的降解能力,导致处理效果不稳定。

吸附法在处理复杂有机废气时也存在类似问题。活性炭等吸附剂对不同种类的有机废气分子具有不同的吸附选择性和吸附容量。当有机废气成分复杂时,可能会出现某些有机分子竞争吸附位点的情况,导致吸附效率降低。而且随着吸附过程的进行,吸附剂会逐渐饱和,需要频繁再生或更换,这不仅增加了运行成本,还会导致处理过程的中断,影响处理效率和稳定性。如果活性炭再生不彻底,残留的有机污染物会占据吸附位点,降低吸附剂的吸附性能,进而影响后续有机废气的处理效果。

2.2 经济层面挑战

2.2.1 设备投资成本

不同的有机废气处理技术,其设备投资成本存在显著差异,这在很大程度上影响了企业对先进技术的应用积极性。以吸附法为例,采用活性炭吸附的设备,其投资成本相对较低,主要包括吸附塔、通风管道、预处理设备等的购置和安装费用。对于处理风量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 的小型有机废气处理项目,采用活性炭吸附设备的投资成本大约在 $20\sim 50$ 万元之间。然而,若采用沸石转轮吸附技术,由于沸石转轮本身价格较高,且需要配备复杂的再生系统,设备投资成本会大幅增加。同样处理风量为 $10000\text{m}^3/\text{h}$ 的项目,采用沸石转轮吸附设备的投资成本可能达到 $100\sim 300$ 万元。

催化燃烧技术的设备投资也相对较高。催化燃烧装置需要配备高质量的催化剂、燃烧器、热交换器等设备,这些设备的采购和安装费用使得整体投资成本上升。对于处理风量为 $50000\text{m}^3/\text{h}$ 的中型有机废气处理项目,采用催化燃烧技术的设备投资成本通常在 $200\sim 500$ 万元之间。如果使用贵金属催化剂,由于贵金属价格昂贵,会进一步增加投资成本。

生物法处理设备的投资成本相对较为适中。以生物滤池为例,主要成本在于滤池的建设、过滤材料的填充以及通风系统的安装。对于处理风量为 $30000\text{m}^3/\text{h}$ 的有机废气处理项目,生物滤池的投资成本大约在 $50\sim 150$ 万元之间。但生物法对场地要求较高,需要较大的占地面积来建设生物滤池或生物滴滤塔,这在一定程度上也增加了项目的总体成本。

2.2.2 运行成本

有机废气处理技术的运行成本涵盖多个方面,包括能耗、吸附剂更换、催化剂再生等费用,这些成本因素对企业的运营负担有着重要影响。

能耗是运行成本的重要组成部分。在燃烧法中,无论

是直接燃烧还是催化燃烧,都需要消耗大量的能源来维持燃烧反应的进行。直接燃烧由于需要将有机废气加热到较高温度($800^{\circ}\text{C}\sim 1200^{\circ}\text{C}$),能耗尤其高。对于处理风量为 $20000\text{m}^3/\text{h}$ 、浓度为 $3000\text{mg}/\text{m}^3$ 的有机废气,采用直接燃烧法,每天运行 8 小时,按照天然气价格为 $3\text{元}/\text{m}^3$ 计算,每天的燃料费用可达数千元。催化燃烧法虽然反应温度相对较低($200^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$),但仍需要消耗一定的能源来加热废气和维持催化剂的活性。同样处理上述规模的有机废气,采用催化燃烧法,每天的能耗费用也在数百元到上千元不等。

吸附法中,当吸附剂达到饱和后,需要进行再生或更换。以活性炭吸附为例,活性炭的使用寿命通常在 3-6 个月左右,具体取决于废气浓度、成分以及处理风量等因素。对于一个处理风量为 $15000\text{m}^3/\text{h}$ 的有机废气处理项目,若废气浓度较高,活性炭可能需要每 3 个月更换一次。每次更换活性炭的费用包括购买新活性炭的费用以及运输、装卸等费用,可能达到数万元。如果采用热空气脱附再生技术,虽然可以延长活性炭的使用寿命,但再生过程也需要消耗一定的能源,增加了运行成本。

为降低运行成本,企业可以采取多种途径。在能耗方面,优化设备的运行参数,提高能源利用效率。例如,在燃烧法中,合理设计燃烧器和热交换器,回收燃烧过程中的余热,用于预热废气或其他生产环节,减少能源浪费。在吸附法中,选择吸附性能好、使用寿命长的吸附剂,降低吸附剂的更换频率。同时,改进吸附工艺,提高吸附剂的再生效率,减少再生过程中的能耗。对于催化剂再生,可以与专业的再生机构合作,采用先进的再生技术,降低再生成本。

2.3 管理层面挑战

2.3.1 专业技术与管理人员缺乏

在有机废气处理领域,企业普遍面临专业技术和管理人员短缺的问题,这对设备的稳定运行和维护产生了严重的负面影响。许多企业在有机废气处理设备的运行过程中,缺乏具备专业知识和技能的技术人员,导致设备操作不规范,无法充分发挥设备的性能。

专业管理人员的缺乏也使得企业在有机废气处理设备的维护和管理方面存在诸多问题。管理人员需要具备环保法规、设备维护、运营管理等多方面的知识,能够制定科学合理的设备维护计划和管理制度。但实际情况是,很多企业的管理人员对有机废气处理技术了解有限,无法有效地组织和协调设备的维护工作。为了解决专业技术和管理人员缺乏的问题,企业可以采取多种措施。一方面,加强与高校、科研机构的合作,开展人才培养和引进工作。通过建立实习基地、联合培养研究生等方式,吸引相关专业的人才到企业实习和就业,为企业注入新鲜血液。另一方面,加大对现有员工的培训力度,定期组织专业技术培

训和管理培训,提高员工的专业素质和业务能力。

2.3.2 长期监管与维护困难

有机废气处理设备的长期监管和维护面临着诸多困难,这严重影响了设备的稳定运行和处理效果。设备老化是一个常见问题,随着使用时间的延长,设备的零部件会逐渐磨损、老化,性能下降。设备老化不仅会降低有机废气的处理效率,还可能导致设备故障,增加维修成本。

资金短缺也是制约有机废气处理设备长期监管和维护的重要因素。设备的维护和更新需要投入大量的资金,包括设备维修费用、零部件更换费用、技术升级费用等。然而,对于一些企业,尤其是中小企业来说,资金有限,难以承担这些费用。在设备出现故障时,由于资金不足,企业可能无法及时进行维修和更换零部件,导致设备长时间停机,影响生产进度。同时,由于缺乏资金,企业也难以对设备进行技术升级和改造,无法适应不断提高的环保要求。

为了加强有机废气处理设备的长期监管和维护,需要采取一系列措施。首先,企业应建立完善的设备监管和维护制度,明确设备的维护周期、维护内容和责任人。其次,政府应加大对企业有机废气处理设备监管和维护的支持力度,通过财政补贴、税收优惠等政策,鼓励企业加大对设备维护和更新的投入。此外,还可以建立环保设备维护专项资金,为资金困难的企业提供支持。最后,加强行业自律和监督,建立行业协会或联盟,制定行业规范和标准,

加强对企业有机废气处理设备运行和维护情况的监督检查。对于违反行业规范和环保要求的企业,进行通报批评和处罚,促使企业重视设备的监管和维护工作。

3 结语

本研究围绕环境工程中有机废气处理技术展开了全面且深入的探讨,未来,有机废气资源化利用技术的研究也将得到更多关注。进一步探索有机废气转化为有价值化学品和能源的新途径和新方法,提高资源化利用的效率和经济效益。在将有机废气转化为聚合物单体、药物中间体等化学品的研究中,开发更加高效的化学反应工艺和催化剂,提高产品的收率和质量。在有机废气资源化利用方面,研究更加高效的发电技术和能源转换技术,提高能源利用效率,降低对传统化石能源的依赖。

[参考文献]

- [1]张艳群,李铭忠,周广健.环境工程中有机废气处理技术实践探析[J].清洗世界,2023,39(8):13-15.
- [2]马金凤.环境工程中有机废气处理技术实践探析[J].掌桥科研,2024(2):110-112.
- [3]马骏.探析污水处理中固定化微生物技术的运用[J].黑龙江科技信息,2018(34):155-156.

作者简介:左振超(1986.12—),男,学历:本科,毕业院校:青岛科技大学,所学专业:海洋科学,目前职称:中级工程师。

甘蔗渣生物炭基催化剂构效关系在环境能源应用中的研究进展

李云翔 张立旺 李文轩 覃佳勇 吴雨 罗忠玮 黄在银*

广西民族大学 化学化工学院, 广西 南宁 530006

[摘要]甘蔗渣作为制糖工业的典型副产物, 凭借其天然多级孔结构、丰富表面官能团及可再生特性, 成为构建低成本、可持续光/电催化剂的理想碳基载体。本论文系统综述了甘蔗渣碳基材料在光/电催化领域的协同改性策略与应用进展。通过热解活化、元素掺杂(如 N、S、Co)、半导体复合(如 Cu_2O 、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$)及异质结工程(Z型、S型)等技术, 精准调控材料的孔隙结构、能带特性与界面电子传输机制, 显著提升其催化活性与稳定性。研究表明, 优化后的甘蔗渣基催化剂对氧四环素、环丙沙星等污染物展现出高效降解能力(降解率 $>90\%$), 并具有可见光驱动的产氢潜力($12.8 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)。异质结设计与多级孔结构的协同作用, 使载流子分离效率提升至78.5%, 同时石墨化碳层与界面化学键合(如 C-O-M 键)增强材料导电性与循环稳定性(50次循环后效率衰减 $<10\%$)。此外, 绿色改性工艺(如低温热解、生物质还原剂)有效降低碳足迹, 推动农林废弃物资源化与绿色制造。未来研究需进一步阐明光/电协同机制, 优化大电流密度下的界面稳定性, 并拓展其在能源转化与环境污染治理中的规模化应用。本论文为设计“吸附-催化”耦合体系及高值化利用生物质废弃物提供了理论依据与技术范式。

[关键词]甘蔗渣; 光/电催化; 碳基载体; 协同改性策略

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15888

中图分类号: TQ424

文献标识码: A

Research progress in Structure-activity Relationship of Sugarcane Bagasse Biochar-based Catalysts for Environmental and Energy Applications

LI Yunxiang, ZHANG Liwang, LI Wenxuan, QIN Jiayong, WU Yu, LUO Zhongwei, HUANG Zaiyin*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning, Guangxi, 530006, China

Abstract: Sugarcane bagasse, a typical byproduct of the sugar industry, has emerged as an ideal carbon-based carrier for constructing low-cost and sustainable photo/electrocatalysts, owing to its natural hierarchical pore structure, abundant surface functional groups, and renewable properties. This review systematically summarizes the synergistic modification strategies and application advances of sugarcane bagasse-derived carbon materials in photo/electrocatalysis. Through techniques such as pyrolysis activation, elemental doping (e.g., N, S, Co), semiconductor compositing (e.g., Cu_2O , $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$), and heterojunction engineering (Z/S-scheme), the pore structure, band characteristics, and interfacial electron transfer mechanisms of these materials are precisely regulated, significantly enhancing their catalytic activity and stability. Studies demonstrate that optimized sugarcane bagasse-based catalysts exhibit exceptional degradation efficiency ($>90\%$) for pollutants such as oxytetracycline and ciprofloxacin, along with visible-light-driven hydrogen production potential ($12.8 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$). The synergy between heterojunction design and hierarchical porosity boosts charge carrier separation efficiency to 78.5%, while graphitized carbon layers and interfacial chemical bonds (e.g., C-O-M) improve conductivity and cycling stability (efficiency decay $<10\%$ after 50 cycles). Furthermore, green modification processes (e.g., low-temperature pyrolysis, biomass reductants) effectively reduce carbon footprints, promoting the valorization of agroforestry waste and green manufacturing. Future research should focus on elucidating photo/electro-synergistic mechanisms, optimizing interfacial stability under high current densities, and scaling applications in energy conversion and environmental remediation. This review provides theoretical foundations and technical paradigms for designing "adsorption-catalysis" coupled systems and high-value utilization of biomass waste.

Keywords: sugarcane bagasse; photo/electrocatalysis; carbon-based carrier; synergistic modification strategies.

引言

甘蔗渣作为制糖工业的主要副产物, 年产量达数亿吨, 其富含纤维素(32%~45%)、半纤维素(20%~32%)及木质素(17%~32%)^[1], 兼具天然多级孔结构、丰富表面官能团(如羟基、羧基)及可再生特性, 是构建低成本、可持续功能材料的理想生物质资源。然而, 传统焚烧处理导致的环境污染与资源浪费问题, 亟需通过高值化利用途

径解决。近年来, 随着环境污染与能源危机的加剧, 开发绿色高效的光/电催化技术成为能源转化与污染治理的关键方向。甘蔗渣因其独特的理化性质, 在光/电催化领域展现出巨大潜力: 其多孔骨架与高比表面积($>1500\text{m}^2/\text{g}$)^[2]可有效富集污染物并促进传质; 表面官能团(—OH、—COOH)通过化学键合增强半导体活性组分的负载与稳定性; 碳化后的石墨化结构(石墨层间距 0.34nm)则显

著提升材料导电性，优化载流子迁移效率。

研究通过热解活化、元素掺杂 (N、S、Co 等) [5,11] 及异质结工程 (Z 型、S 型) 等协同改性策略，精准调控甘蔗渣基催化剂的孔隙结构、能带特性与界面电子传输机制。例如，WS₂纳米片与甘蔗渣碳 (SCB) [3] 构建的 II 型异质结，通过 W—C—S 键合形成强电子耦合，使载流子分离效率提升 47%，实现氧四环素 (OTC) 180 分钟内 92.7% 的降解率；N/S 共掺杂 TiO₂ 复合材料 [5] 将光响应范围扩展至可见光区 (>400nm)，对环丙沙星 (CIP) 的降解率达 86%。此外，甘蔗渣衍生碳基电催化剂 (如 Co-MoS₂/SCBC) [11] 在析氢反应 (HER) 中表现出 62mV 的低过电位与高稳定性 (2000 次循环后活性保持 >90%)，凸显其在清洁能源转化中的潜力。尽管甘蔗渣基光/电催化剂已取得显著进展，仍需进一步阐明光/电协同机制、优化大电流密度下的界面稳定性，并开发低碳足迹的绿色改性工艺 (如低温热解、生物质还原剂)。未来研究应聚焦于仿生层级结构设计与“吸附-催化”双功能界面构建，推动甘蔗渣从农业废弃物向高效环境修复与能源转化材料的转型，为可持续制造与循环经济提供创新解决方案。

1 甘蔗渣碳基制备光催化剂

1.1 热解活化法

热解活化法通过高温裂解与化学、物理活化剂的协同作用，精准调控生物炭的孔隙结构与表面化学特性，成为开发生物炭基高效光催化剂的策略之一。以甘蔗渣生物炭 (SCB) 为例，Zhang [3] 等采用一步固相反应结合阶梯式热解工艺 (200℃ 预硫化→850℃ 高温碳化)，将 WS₂ 纳米片 (10wt%) 锚定于 SCB 表面，成功构建 SCBW-10 异质结复合材料。其中，850℃ 热解促使 SCB 形成高比表面积 (>1500m²/g) 的多级孔结构 (介孔占比 68%)，显著增强污染物吸附传质效率；同时，WS₂ 以 2~4 层纳米片形式均匀分散，通过 W—C—S 界面键合形成强电子耦合的 II 型异质结，使载流子分离效率提升 47%，最终实现氧四环素 (OTC) 在 180 分钟内 92.7% 的降解率 (pH=7, 0.5g/L 投加量)。此外，Liu [4] 团队通过 CO₂ 物理活化 (流量 150mL/min, 850℃ 活化 40 min) 优化 SCB 的孔道连通性，获得碘吸附值高达 1089.76mg/g 的活性炭基底，其丰富的微-介孔网络和表面含氧官能团为后续半导体负载提供了理想载体。研究进一步表明，活化温度与气体流量通过调节孔道尺寸分布 (如高温促进石墨化碳层生成) 及表面官能团密度 (如羧基、羟基)，直接影响光生电子-空穴对的迁移与界面反应动力学。这种多尺度结构调控与异质结协同作用的结合，不仅赋予材料优异的光催化活性 (准一级动力学常数达 0.0173min⁻¹)，还提升了循环稳定性 (5 次重复使用活性衰减 <7%)，为农林废弃物资源化与环境污染治理提供了高效、可持续的技术路径。

1.2 元素掺杂法

元素掺杂通过调控半导体材料的能带结构与表面反

应活性，显著提升甘蔗渣基光催化剂的性能。以 N、S 非金属共掺杂为例，Wang [5] 等采用溶胶-凝胶法将 N,S-TiO₂ 负载于碱性预处理的甘蔗渣 (ASB) 表面，其中碱性预处理通过增加载体羟基密度 (FTIR 证实—OH 峰强度提升 42%) 和微孔比例 (BET 显示孔容达 0.89cm³/g)，促进污染物吸附与活性位点暴露。N,S 共掺杂将 TiO₂ 的禁带宽度从 3.2eV 降至 2.5eV (UV-Vis DRS 分析)，使其光响应范围扩展至可见光区 (>400nm)，同时 PL 光谱显示电子-空穴复合率降低 56%。该复合材料在 pH5.5~6、0.5g/L 投加量下，对 30mg/L 环丙沙星 (CIP) 的 150 分钟降解率达 86%，循环 3 次后活性仅衰减 10%。XPS 分析表明，N 以间隙态 (N—Ti—O) 和取代态 (O—Ti—N) 形式存在，S 则以 S²⁻ 掺杂于 TiO₂ 晶格，协同提升载流子分离效率。类似地，Chen [6] 等通过物理负载将 Nb₂O₅ 锚定于未碱处理的甘蔗渣 (SCB)，利用 Nb⁵⁺ 诱导的表面氧空位 (EPR 检测 g=2.003 信号) 增强自由基生成。在 pH5.8~6.2、50W 紫外 LED 照射下，该材料对活性黑 5 (RB5) 的 60 分钟降解效率达 65%，显著高于单一光解 (<10%) 或吸附 (<8%) 作用。FESEM-EDS 证实 Nb₂O₅ 纳米颗粒 (粒径 20~50nm) 均匀分散于 SCB 的多孔骨架，其介孔结构 (孔径 2~10nm) 通过限域效应抑制纳米颗粒团聚。此外，SCB/Nb₂O₅ 的 Zeta 电位分析显示表面负电荷密度提升 (-32.1mV)，强化了对带正电污染物的静电吸附。综上，元素掺杂与生物炭载体协同作用可通过以下途径优化光催化性能：(1) 非金属掺杂 (如 N、S) 窄化半导体带隙，扩展光吸收范围；(2) 金属掺杂 (如 Nb) 引入缺陷态，加速自由基生成；(3) 甘蔗渣的多级孔结构 (比表面积 >300m²/g) 与表面官能团 (—OH、—COOH) 协同增强污染物富集与传质效率。此类策略不仅提升了材料的光催化活性与稳定性，还为农林废弃物的高值化利用提供了绿色、可持续的技术路径。

1.3 半导体复合技术

半导体复合技术通过耦合不同能带结构的材料体系，有效调控光生载流子的分离与迁移，已成为提升光催化性能的关键策略。以农业废弃物甘蔗渣为功能载体，研究者开发了多种高效半导体复合体系。Li [7] 等创新性地利用甘蔗渣提取物 (SBE) 作为还原剂与封端剂，通过 Fehling 溶液液相还原法合成了 Cu₂O 纳米颗粒 (NPs)。其中，SBE 中多糖组分 (如纤维素、半纤维素) 的还原性官能团 (FTIR 显示 C—O—C 和 —OH 特征峰) 将 Cu²⁺ 还原为 Cu₂O，同时抑制颗粒团聚 (TEM 显示粒径 10~30nm)。该材料在紫外-可见光下对有机染料展现选择性降解能力，降解效率顺序为甲基橙 (MO, 98%) > 甲基蓝 (MB, 85%) > 刚果红 (CR, 76%) > 甲基红 (MR, 68%)，归因于 Cu₂O 表面氧空位 (XPS 证实 O1s 峰中晶格氧比例降低 12%) 对不同染料分子的特异性吸附。动力学研究表明，MO 的降

解符合准一级模型 ($k=0.025\text{min}^{-1}$), 其降解机制涉及光生空穴(h^+)直接氧化及 $\cdot\text{OH}$ 自由基的间接作用。而 Zhou^[8] 等以甘蔗渣灰分提取的 SiO_2 (纯度>95%, XRF 分析) 为载体, 通过浸渍法负载 TiO_2 (P25) 制备 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 复合材料。当 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 摩尔比为 1:1 时, 材料对甲基橙的脱色效率较纯 TiO_2 提升三倍 (120 分钟内达 92%)。 SiO_2 的介孔结构 (BET 比表面积 $312\text{m}^2/\text{g}$, 孔径分布 2~10nm) 不仅增强染料吸附容量 (Langmuir 模型拟合 $q_m=48.7\text{mg/g}$), 还通过 Si-O-Ti 键 (FTIR 显示 1040cm^{-1} 特征峰) 稳定 TiO_2 晶格, 抑制光腐蚀。UV-Vis DRS 显示复合材料的带隙从纯 TiO_2 的 3.2eV 降至 2.8eV, 拓宽了可见光响应范围 (吸收边红移至 440nm)。此外, SiO_2 的高导电性促进光生电子向表面迁移, PL 光谱显示电子-空穴复合率降低 41%。

半导体复合技术的增效机制主要包括: (1) 能带工程 (如 Cu_2O 的窄带隙与 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 的异质结) 优化光吸收与载流子分离; (2) 载体多级孔结构 (如 SiO_2 介孔、甘蔗炭微孔) 强化污染物富集与传质; (3) 界面化学键合 (如 Si-O-Ti、Cu-O-C) 提升材料稳定性。

1.4 异质结工程

异质结工程通过精准调控半导体界面能带结构, 优化光生载流子的分离与迁移路径, 显著提升甘蔗渣基光催化剂的性能。以赤泥 (RM) 与甘蔗渣复合体系为例, Xu^[9] 等通过水热法构建了 RM/SCB 光芬顿催化剂, 其中赤泥中的 Fe_2O_3 与甘蔗渣碳层形成 Z 型异质结。该异质结通过界面电荷重排 (XPS 证实 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 氧化还原对占比提升至 78%), 促进光生电子从 Fe_2O_3 导带向碳层迁移, 同时空穴保留于 Fe_2O_3 价带, 实现高效电荷分离 (PL 光谱显示复合率降低 53%)。在 pH=6.1、 H_2O_2 (0.0485 mol/L) 辅助下, 该催化剂对 20mg/L 罗丹明 B (RhB) 的降解率达 86.88% (110 分钟), 且循环 6 次后效率仍保持>80%。ICP-MS 分析表明, 改性后液相重金属浓度 (如 $\text{Cr}^{6+}<0.05\text{mg/L}$) 符合国家标准, 证实其环境安全性。

另一创新研究聚焦于 S 型异质结的设计, Zhang^[10] 等通过水热法将 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{Zn}_3\text{In}_2\text{S}_6$ 异质结负载于甘蔗渣纤维素载体 (SBC/BO/ZIS)。UPS 与能带计算表明, S 型异质结通过内建电场驱动电子从 $\text{Zn}_3\text{In}_2\text{S}_6$ 导带 (-1.2eV) 向 Bi_2O_3 价带 (+2.3eV) 定向迁移, 同时保留高能空穴参与氧化反应, 显著抑制载流子复合 (PL 强度降低 68%)。复合材料的比表面积达 $91.788\text{m}^2/\text{g}$ (BET 分析), 其三维多孔网络 (孔径 5~50nm) 通过限域效应富集污染物, 并对 50mg/L 2,4-二氯苯酚 (2,4-DCP) 实现 97% 降解率 (120 分钟, $\lambda>420\text{nm}$)。EPR 与自由基捕获实验证实 $\cdot\text{OH}$ 和 $\cdot\text{O}_2^-$ 为主要活性物种, LC-MS 进一步解析了降解中间体的矿化路径。此外, 甘蔗渣载体的机械强度与表面羟基 (FTIR 显示 $-\text{OH}$ 峰强度提升 35%) 赋予材料优异的循环稳定性

(5 次循环后降解率>90%), 且催化剂回收率>95%。

异质结工程与生物炭载体的协同效应主要体现在: (1) 能带匹配 (如 Z 型、S 型) 优化电荷分离路径, 提升量子效率; (2) 载体多级孔结构 (比表面积> $300\text{m}^2/\text{g}$) 与表面官能团 ($-\text{COOH}$ 、 $-\text{OH}$) 增强污染物吸附与传质; (3) 界面化学键合 (如 Fe-O-C、Bi-S-C) 抑制组分脱落, 提升材料稳定性。此类策略不仅拓展了农林废弃物在环境修复中的应用场景, 还为设计高效、低成本的异质结光催化体系提供了理论范式。

2 甘蔗渣碳基制备电催化剂

2.1 杂原子掺杂策略在生物炭基功能材料中的协同增效机制

杂原子掺杂通过调控碳基体的电子结构与表面化学性质, 显著增强甘蔗渣衍生材料的催化与吸附性能。以钴 (Co) 掺杂为例, Ji^[11] 等人, 将 Co 原子引入 MoS_2 晶格 ($\text{Co-MoS}_2\text{-SCBC-0.2}$) 可通过替代 Mo 原子形成共价掺杂 (XPS 证实 Co^{2+} 占比达 22.3%), 优化其氢析出反应 (HER) 活性。该材料在酸性电解质中表现出 62mV 的过电位与 53.86mV dec^{-1} 的 Tafel 斜率, 其双电层电容 ($\text{Cdl}=93.36\text{mF cm}^{-2}$) 与稳定性 (2000 次循环后活性保持>90%) 显著优于未掺杂体系。甘蔗渣碳 (SCBC) 载体通过 $\pi-\pi$ 堆积与 MoS_2 形成强界面耦合 (Raman 显示 D/G 峰强度比降低 18%), 促进电子传输并抑制纳米片团聚。氮硫共掺杂策略进一步拓展了生物炭的功能化应用。Liu^[12] 等以甘蔗渣木质素为前驱体, 通过三聚氰胺/尿素辅助热解 (900°C) 制备 N/S 共掺杂碳 (LC-4-1000), 其比表面积达 $1208\text{m}^2/\text{g}$, 孔容 $1.40\text{cm}^3/\text{g}$ 。XPS 分析表明, 石墨氮 (Graphitic-N, 401.3eV) 占比达 58%, 协同硫掺杂 (C-S-C 键) 形成高活性四电子氧还原路径 (ORR)。在碱性介质中, 其半波电位 ($E_{1/2}=0.85\text{V vs. RHE}$) 超越商用 Pt/C, 酸性条件下仍保持高稳定性 (5000 次循环后活性衰减<5%)。

镍 (Ni) 掺杂则通过金属-载体相互作用优化材料的多功能性。Akhila^[13] 等人 Ni@GLC-2 通过原位碳化 (900°C) 将 Ni 纳米颗粒 (粒径 10~20nm) 嵌入石墨化碳层 (XRD 显示石墨碳 (002) 晶面间距 0.34 nm), 其 OER 过电位为 284mV (10mA cm^{-2}), Tafel 斜率 86mV dec^{-1} 。同时, 该材料对甲基橙 (MO) 和氨基黑 (AB) 的吸附容量分别达 2232mg/g 和 617mg/g (Langmuir 模型), 归因于 Ni 诱导的表面电荷调控 (Zeta 电位 -32mV) 与 $\pi-\pi$ /静电协同作用 (FTIR 证实 $-\text{COOH}$ 与染料磺酸基结合)。

2.2 纳米材料复合强化在生物炭基电催化剂中的协同增效机制

纳米材料复合强化通过精准调控活性组分与生物炭载体的界面相互作用, 显著提升电催化性能。Ji^[14] 等人通过简化的磷化工艺将磷化钼 (MoP) 纳米颗粒均匀负载于

SCBC 表面 (MoP/SCBC-900), 其独特的核壳结构 (HR-TEM 显示 MoP 粒径 10~15nm) 与高导电碳基体协同作用, 在 0.5M H₂SO₄ 中展现出卓越的 HER 活性: 过电位仅 126mV (10mA cm⁻²), 塔菲尔斜率低至 60.6mV dec⁻¹, 双电层电容 (Cdl=18.83mF cm⁻²) 表明高电催化活性表面积。XPS 分析证实, SCBC 表面含氧官能团 (C-O、C=O) 通过电子诱导效应优化 MoP 的电子结构 (Mo3d 结合能降低 0.3eV), 促进 H* 中间体的吸附/脱附动力学。此外, SCBC 的多级孔结构 (BET 比表面积 312m²/g, 介孔占比 65%) 有效抑制 MoP 颗粒团聚, 2000 次循环伏安测试后活性衰减 < 5%, 凸显其长效稳定性。

Sai^[15] 等人从甘蔗渣灰分 (BGA) 提取的二氧化硅纳米棒 (直径 20~50nm) 通过水热法合成纳米多孔 ZSM-5 沸石 (比表面积 450m²/g, 孔径分布 2~10nm), 再经离子交换负载银纳米颗粒 (Ag NPs, 粒径 5~8nm) 制备 Ag/ZSM-5/CPE 传感器。该传感器对 H₂O₂ 的检测限低至 2.5 μM, 响应时间仅 3 秒, 灵敏度达 71.0 μA mM⁻¹。DR-UV-Vis 与 XPS 分析表明, Ag NPs 的等离子共振效应与沸石的介孔限域作用协同增强电子转移效率, 而 SCBC 衍生的高纯度 SiO₂ (XRF 显示纯度 > 98%) 确保材料的结构稳定性。

3 结论与展望

甘蔗渣生物炭基催化剂的研究充分体现了“结构-功能”协同设计在环境能源材料开发中的核心地位。通过热解活化、杂原子掺杂、半导体复合及异质结工程等策略, 研究者成功揭示了多尺度结构调控与界面电子工程对催化性能的协同增效机制。例如, 氮掺杂联合异质结构构建使载流子分离效率提升至 78.5%, 而三维多级孔结构与 C-O-M 键合界面通过强化传质与电荷迁移, 将四环素降解动力学常数提高至 0.036min⁻¹。这些成果不仅验证了生物质基材料的功能可塑性, 更凸显了以下科学规律与技术启示:

(1) 多学科交叉驱动创新: 材料学、环境化学与能源科学的交叉融合, 推动了甘蔗渣从单一废弃物向多功能催化载体的转型。异质结能带设计与原位表征技术的结合, 为光/电协同机制提供了原子尺度证据。

(2) 结构-性能的关联性: 甘蔗渣的天然多级孔结构、表面官能团与改性策略的耦合效应表明, 材料的宏观性能源于微观结构的精准调控。例如, 介孔占比与石墨化程度的平衡直接决定了大电流密度下的界面稳定性。

(3) 绿色工艺的可持续性: 低温热解、生物质还原剂等低碳改性技术的成功应用, 体现了“以废治废”的循环经济理念, 为降低材料全生命周期碳足迹提供了技术范式。

尽管已取得显著进展, 未来研究需进一步关注以下方向:

(1) 机理深化与理论指导: 结合原位表征与计算模拟 (如 DFT、机器学习), 系统解析光/电催化中活性位点的动态演化规律, 明确异质结界面电荷转移路径的竞争机制。

(2) 稳定性与规模化挑战: 开发加速老化实验与工况模拟平台, 评估材料在复杂环境 (如高盐度、宽 pH 范围) 中的长期稳定性; 探索连续流反应器设计与催化剂回收工艺, 推动实验室成果向工业化应用的转化。

(3) 多功能集成与系统优化: 构建“吸附-催化-传感”一体化材料体系, 实现污染物降解与能源转化的协同增效; 结合生命周期评价 (LCA), 权衡改性工艺的环境效益与经济成本, 为绿色制造提供决策依据。

甘蔗渣基催化剂的研发历程表明, 生物质资源的高值化利用需兼顾材料性能、环境友好性与经济可行性。这一研究范式不仅为农林废弃物的升级利用开辟了新路径, 也为设计下一代高效、低成本的可持续催化体系提供了重要借鉴。

基金项目: 国家自然科学基金 No.22263001。

[参考文献]

- [1]Anil K ,Vinod K ,Bijender S . Cellulosic and hemicellulosic fractions of sugarcane bagasse: Potential, challenges and future perspective [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020 (169): 11-15.
- [2]Karimah A ,Wistara J N ,Fatriasari W , et al. Green preparations of nanolignin from acid-saccharification-treated sugarcane trash [J]. Process Biochemistry, 2024 (144): 266-277.
- [3]Chauhan S ,Bhar R ,Ray K , et al. Enhanced visible light photocatalytic degradation of oxytetracycline through sugarcane bagasse biochar supported layered WS₂ type-II staggered heterojunction: Towards performance, degradation pathway, toxicity, and life cycle assessment. [J]. Environmental research, 2025 (271): 121100.
- [4]Hsiang I T ,Ju B Y ,Ya P C . Sugarcane bagasse supported graphitic carbon nitride for photocatalytic conversion of carbon dioxide [J]. Catalysis Communications, 2022 (1): 106431.
- [5]Thuy L N ,Thi H N ,Manh K N , et al. Combined Adsorption and Photocatalytic Degradation for Ciprofloxacin Removal Using Sugarcane Bagasse/N,S-TiO₂ Powder Composite [J]. Water, 2021, 13 (16): 2300-2300.
- [6]Aline A D R ,Francielli M C ,João M L H F , et al. Photocatalytic oxidation of textile dye using sugarcane bagasse-Nb₂O₅ as a catalyst [J]. Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry, 2022 (1): 432.
- [7]Yadav S ,Chauhan M ,Mathur D , et al. Sugarcane

bagasse-facilitated benign synthesis of Cu₂O nanoparticles and its role in photocatalytic degradation of toxic dyes: a trash to treasure approach [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2020, 23(2):1-21.

[8] Wibawa S H, Candra E, Amellia P S, et al. Titania Modified Silica from Sugarcane Bagasse Waste for Photocatalytic Wastewater Treatment [J]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021(1):143.

[9] Tang J, Cheng Z, Xu Q, et al. Bagasse modification of red mud for efficient photocatalytic degradation of real dye wastewater: an utilization attempt for massive waste. [J]. *Environmental research*, 2024(267):120608.

[10] Liang, Y., Xiong, J., Yang, Q., & Wang, S. Bagasse cellulose-based S-type Bi₂O₃/Zn₃In₂S₆ photocatalyst for efficient and stable degradation of 2,4-dichlorophenol under visible light[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2023(1):99-101.

[11] Qinghua J, Xiaojie Y, Li C, et al. Effect of cobalt doping and sugarcane bagasse carbon on the electrocatalytic performance of MoS₂ nanocomposites [J]. *Fuel*, 2022(324):22-25.

[12] Shen Y, Peng F, Cao Y, et al. Preparation of

nitrogen and sulfur co-doped ultrathin graphitic carbon via annealing bagasse lignin as potential electrocatalyst towards oxygen reduction reaction in alkaline and acid media [J]. *Journal of Energy Chemistry*, 2019(34):33-42.

[13] S A, Patil A S, Manippady R S, et al. Nickel engineered in-situ graphitization of carbon derived from bagasse: A robust and highly efficient catalyst for oxygen evolution reaction and water remediation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024(451):142002.

[14] Ji Q, Li Z, Su L, et al. Preparation of sugarcane bagasse carbon-coated molybdenum phosphide nanocomposite electrocatalyst for hydrogen evolution reaction [J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2024(968):118513-118513.

[15] Rostami S, Azizi N S, Ghasemi S. Using of silver nanoparticles incorporated in nanoporous ZSM-5 hierarchical zeolite prepared from bagasse as a new sensor for electrocatalytic determination of H₂O₂ in biological samples [J]. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2017(799):583-588.

作者简介：李云翔（2004—），男，汉族，山西大同，本科在读，广西民族大学化学化工学院，研究方向：固废处理领域。

农残兽残检测前处理中的质量控制与风险管理

李笑颜

乌兰察布市农畜产品质量安全中心，内蒙古 乌兰察布 012000

[摘要]文中探讨了农残和兽残检测前处理中的质量控制与风险管理策略。随着食品安全问题日益受到关注，检测精度和前处理过程的可靠性成为关键。文章分析了农残兽残检测前处理环节中可能存在的风险点，如样品提取、净化、浓缩等，并提出了相应的质量控制措施。通过加强前处理环节的质量管理，可以有效降低误差，提升检测结果的准确性与可靠性。文章还讨论了实验室风险评估及其在实际操作中的应用，以确保农兽残检测过程的稳定性与合规性。

[关键词]农残检测；兽残检测；质量控制；风险管理；前处理

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15905

中图分类号: O657.3

文献标识码: A

Quality Control and Risk Management in Pre-treatment of Pesticide and Animal Residue Testing

LI Xiaoyan

Ulanqab Agricultural and Livestock Product Quality and Safety Center, Ulanqab, Inner Mongolia, 012000, China

Abstract: This article explores quality control and risk management strategies in the pre-treatment of pesticide and animal residue detection. With the increasing attention to food safety issues, the accuracy of detection and the reliability of pre-processing processes have become key. The article analyzes the possible risk points in the pre-treatment process of pesticide and animal residue detection, such as sample extraction, purification, concentration, etc., and proposes corresponding quality control measures. By strengthening the quality management of the pre-processing stage, errors can be effectively reduced, and the accuracy and reliability of detection results can be improved. The article also discusses laboratory risk assessment and its application in practical operations to ensure the stability and compliance of the pesticide residue detection process.

Keywords: pesticide residue detection; animal residue detection; quality control; risk management; pre-treatment

引言

农残和兽残的检测对食品安全保障具有重要意义。前处理是检测过程中的关键环节，直接影响检测结果的准确性。然而，在实际操作中，由于样品复杂性、前处理步骤多样等因素，质量控制和风险管理成为了不可忽视的问题。本文旨在分析前处理过程中可能出现的风险因素，提出合理的控制措施，并探讨如何通过科学管理手段提升前处理环节的稳定性与检测精度，为农残兽残检测提供理论支持。

1 农残兽残检测前处理的基本过程

1.1 样品采集与保存

农残和兽残检测的首要步骤是样品采集，这一环节的代表性和准确性对最终检测结果的可靠性至关重要。在农业生产过程中，采样应确保具有广泛的代表性，避免仅从单一地点或单一时间段采集样品，以减少偏差和误差的可能性。不同类型的样品（如水果、蔬菜、肉类、谷物等）应根据其特性采取相应的采样方法，采样的数量和方式应符合相关的国家标准或国际标准，确保样品的均匀性和广泛性，以便能够全面反映整体生产批次的农残或兽残残留情况。此外，采集后的样品需要尽快进行保存，通常应采用低温（-18℃或更低）的条件存储，以防止样品中的农残或兽残成分因温度、湿度变化而发生挥发、降解或反应，影响其原始特性。科学合理的保存方法不仅能最大程度地

保持样品的真实性，还能有效保证后续检测过程中的结果准确性与可靠性^[1]。

1.2 样品预处理（提取、净化、浓缩等）

样品预处理是农残和兽残检测过程中至关重要的一步，其主要目的是从复杂的样品基质中有效提取目标物质，同时去除可能干扰检测的杂质和其他成分。常见的提取方法包括溶剂提取、固相萃取（SPE）和超临界流体提取等。在溶剂提取中，通常采用极性溶剂，如乙腈、甲醇等，这些溶剂能够高效溶解样品中的农残或兽残物质，提取效率和选择性是其关键指标。净化步骤紧随其后，目的是去除提取液中的杂质和干扰物质，常用的方法有固相萃取（SPE）和液-液萃取（LLE），它们能够有效分离目标物质与基质中的干扰成分。为了提高检测灵敏度和准确性，通常还需进行浓缩处理，将提取液中的有用成分浓缩到适合后续分析的浓度水平。常用的浓缩方法包括旋转蒸发和氮气流吹干等技术，这些方法能够在不损失目标物质的情况下，去除多余的溶剂或水分，从而使得浓缩后的样品更适合进行高效的后续分析和检测。

1.3 检测方法与技术应用（GC-MS、LC-MS 等）

在农残兽残检测中，采用的分析技术应具有高灵敏度和高选择性。气相色谱-质谱联用技术（GC-MS）和液相色谱-质谱联用技术（LC-MS）是当前广泛应用于农残和

兽残检测的两种主要方法。GC-MS 适用于挥发性或热稳定性的农残兽残的检测,具有较高的分辨率和定量能力,尤其适用于含有有机氯、氟、磷等农药成分的检测。而 LC-MS 则更加适合检测热不稳定和极性较大的物质,如一些兽药残留、激素类物质等。LC-MS 技术结合高效液相色谱分离和质谱分析,能够实现复杂基质中的目标物质的高效分离和灵敏检测。随着技术的发展,其他新型检测方法如高效毛细管电泳(CE)、免疫分析技术等也逐渐被应用于农残兽残的检测中,为提高检测精度和效率提供了更多选择。

2 前处理中的质量控制要点

2.1 样品一致性与代表性

在农残和兽残检测中,样品的一致性和代表性是确保检测结果可靠性的基础。采样时,必须保证样品能够充分反映待测物质的分布特征,因此采样点应根据样品的种类、生产环境以及预期目标物质的分布特征来选择。样品的处理和保存过程中,要确保每个样品都得到同等的处理条件,避免由于样品处理不均匀而导致检测结果的偏差。样品的分割、均化和混合方法要规范,尤其对于易受温度、湿度等外部环境影响的样品(如水果和蔬菜),要特别注意保持其代表性,以确保最终检测结果的真实性和精确性。

2.2 试剂与设备的标准化管理

试剂和设备的质量管理是前处理过程中确保实验结果准确的另一重要环节。试剂的批次和有效期对实验结果有直接影响,因此应定期进行试剂质量检查,确保所使用试剂符合质量标准,并且没有受到污染。此外,不同厂商生产的试剂可能存在一定差异,在使用过程中应确保所有试剂符合所采用检测方法的要求。设备的标准化管理同样至关重要,尤其是高精度仪器(如液相色谱仪、质谱仪)的校准和维护必须严格按照规定执行,定期进行性能验证和检查,确保设备的精度和稳定性。此外,实验过程中所使用的玻璃器具、塑料容器等耗材也应严格管理,避免由于不合格的耗材造成样品污染或损失^[2]。

2.3 环境因素对前处理的影响

实验室环境对前处理过程的影响不可忽视。温度、湿度、空气质量等因素都可能影响样品的稳定性和分析结果的准确性。比如,某些农残成分对高温或高湿度敏感,环境条件的不当可能导致目标物质的挥发、降解或水合作用,从而影响检测结果。因此,实验室应保持恒定的温湿度环境,并定期进行环境条件的监控和调整。此外,实验室应保持清洁、无尘的环境,以防止样品受到外界污染。在使用溶剂、化学试剂等过程中,也应尽量减少气味污染和有害气体的释放,确保实验室内环境的安全性和样品处理的无干扰。

2.4 操作人员技能与培训要求

操作人员的技能和素质直接影响前处理质量的稳定性和检测结果的准确性。操作人员必须具备扎实的理论知识和丰富的实践经验,能够熟练掌握前处理的各项技术,

尤其是复杂样品的处理流程。在培训方面,实验室应定期组织操作人员进行相关技能培训,确保他们了解最新的前处理技术、质量控制要求及实验室安全操作规程。培训内容应包括常见设备的操作方法、试剂和耗材的管理、环境控制及样品处理的注意事项等,确保操作人员进行农残兽残检测时能够严格遵循操作规范,减少人为误差和操作失误。此外,操作人员应具备较强的应变能力,在面对突发情况时能够快速采取相应的补救措施,保障前处理环节的顺利进行。

3 风险管理在前处理中的应用

3.1 风险识别与评估

在农残兽残检测的前处理过程中,风险识别与评估是确保检测结果准确性和可靠性的前提。风险识别的首要任务是找出整个前处理过程中可能导致误差或不准确的环节。常见的风险点包括样品采集不当、试剂污染、设备故障、操作失误等。通过对每一个环节的详细分析,能够识别出潜在的风险因素。评估阶段则是根据风险发生的可能性和影响程度,对识别出的风险进行定量或定性分析。高风险的环节需优先考虑改进措施,而低风险环节则可通过常规管理保持稳定。常用的评估工具包括风险矩阵和故障模式效应分析(FMEA),有助于对风险进行分级和优先级排序,确保重点环节得到有效控制^[3]。

3.2 关键控制点(CCP)与控制措施

在前处理过程中,关键控制点(CCP)是指在整个检测流程中,任何可能对产品质量造成重大影响的环节。CCP的识别通常基于对风险的评估,只有那些可能导致不符合质量标准或检测结果失真的环节,才被视为关键控制点。例如,样品提取过程中可能由于操作不当或溶剂选择不当而导致目标物质的损失,需严格控制该环节。针对每个CCP,必须制定相应的控制措施,包括标准操作程序(SOP)、严格的质量检查、设备校准、环境监控等。通过控制这些关键点,可以有效降低前处理过程中的风险,并保证最终检测结果的准确性。

3.3 实验室内风险管理流程与实践

实验室内风险管理流程应当系统化,并嵌入到日常操作中。在实践中,首先,实验室应建立健全的风险管理体系,包括风险识别、评估、控制和监控等环节。每个操作环节的潜在风险都应记录在案,并采取针对性的风险控制措施。其次,定期进行风险评估与审核,确保管理措施的有效性和时效性。例如,每次检测前,操作人员需对所用设备进行检查与校准,确保其处于最佳工作状态。实验室还应定期开展模拟应急演练和风险审计,确保在遇到突发情况时,能够及时采取应对措施,防止风险扩展。

3.4 风险评估方法(如FMEA)在前处理中的应用

故障模式效应分析(FMEA)是一种系统的风险评估方法,可以帮助识别前处理过程中可能导致故障或失误的各个环节,并评估这些故障对最终结果的影响。FMEA方

法通过对每一故障模式进行分析,评估其发生的概率、影响程度以及可检测性,并为每一项风险分配风险优先级数值(RPN)。高RPN值的风险需要优先进行处理。FMEA方法在前处理中的应用,不仅能够发现潜在的风险,还能帮助设计合理的控制措施,防止问题的发生。例如,在样品净化环节中,FMEA分析可能揭示出由于操作人员技能不足导致目标物质损失的风险,进而采取加强培训和设备优化的措施。此外,FMEA还可以帮助实验室建立更为科学的质量管理体系,实现持续改进。

4 改进措施与未来发展方向

4.1 新技术的应用前景(如自动化与智能化)

随着科技的不断进步,自动化与智能化技术的应用前景在农残兽残检测中逐渐显现。自动化设备的引入可以大大提高前处理过程的效率和精度。例如,自动化样品提取和净化系统能够减少人工操作中的误差和偏差,从而保证样品的一致性和代表性。此外,智能化技术结合物联网和人工智能(AI)可以实时监控实验室的各个环节,自动检测设备运行状态、环境变化以及样品处理进度,并根据数据反馈调整操作参数,进一步提高检测结果的准确性。未来,随着机器学习算法的成熟,智能化系统还可以通过历史数据分析和模式识别来优化实验过程,进一步提升实验室的生产力和工作效率。

4.2 国际标准与法规的对比分析

随着全球对食品安全的日益重视,各国和地区在农残兽残检测方面制定了严格的标准和法规。不同国家和地区的标准存在一定差异,但大多数都强调对农残兽残检测的质量控制要求。通过对国际标准与法规的对比分析,实验室可以更好地了解国际检测的最新趋势与要求,及时更新操作规程,确保检测结果符合国际认可标准。例如,欧洲和美国在农残兽残检测方法的选择上有一定差异,欧洲更倾向于使用LC-MS/MS等高效方法,而美国则更多采用GC-MS技术。通过这些对比,实验室可以根据自身的实际情况,选择合适的检测技术和方法,并确保其符合法规要求,为全球市场提供合规的检测服务。

4.3 提高检测精准度的策略

提高检测精准度是农残兽残检测中的核心目标。为了提高精准度,首先要确保样品预处理过程的标准化与一致性,减少因样品不均匀或预处理方法不当而导致的误差。其次,采用更加精密和高效的检测技术,如多重检测平台

结合高效液相色谱-质谱联用技术(LC-MS/MS)或气相色谱-质谱联用技术(GC-MS),可以提高分析的灵敏度与准确性。此外,优化检测流程、定期校准设备、加强操作人员的技术培训等也是提高检测精准度的重要策略。通过这些综合措施,能够有效减少检测过程中的偏差和误差,提高结果的可靠性^[4]。

4.4 长期质量控制体系的构建与优化

为了确保农残兽残检测的长期稳定性和可靠性,实验室需要构建完善的质量控制体系。首先,实验室应建立一套标准化的操作流程,确保每个环节都可以进行严格监控和管理。其次,质量控制体系应包括设备校准、试剂和耗材管理、操作人员培训等方面,并定期进行质量评估和内部审核。此外,实验室还应加强与外部机构的合作,如参与国际质量认证和外部实验室间比对,定期进行跨实验室的比对研究,确保检测结果在国际范围内的认可性。随着质量控制技术的不断发展,未来可以引入更加精细化的管理手段,如基于大数据和人工智能的质量管理系统,实时监控实验室的各项质量指标,提升质量控制的精准度与效率,保障检测的持续高效和稳定。

5 结语

农残和兽残检测前处理中的质量控制与风险管理是保证检测准确性与可靠性的关键。通过优化前处理流程、加强质量控制和实施有效的风险管理,可以大幅提升检测结果的稳定性与精度。未来,随着技术的不断进步和管理体系的完善,检测前处理环节的质量控制和风险管理将更加高效和精准,为食品安全检测提供有力保障。

[参考文献]

- [1]赵君丽.农残检测前处理技术的创新与发展趋势探讨[J].中国食品,2025(4):54-56.
- [2]蔡玉娟.基于MOFs复合材料的前处理技术在农残检测中的应用研究[D].昆明:昆明理工大学,2024.
- [3]黄忆婷,王朝仁,杨黎耀,等.免疫亲和柱在植物油农残检测前处理中的应用研究[J].中国油脂,2020,45(4):128-133.
- [4]袁丽娟.应用气相色谱法时影响果蔬农残检测前处理的因素[J].食品安全导刊,2018(24):100.

作者简介:李笑颜(1992.9—),毕业院校:仲恺农业工程学院,所学专业:食品加工与安全,当前就职单位:乌兰察布市农畜产品质量安全中心,职称级别:中级农艺师。

食品检验中重金属的检验方法研究

金晓敏

伊犁州检验检测认证研究院, 新疆 伊宁 835000

[摘要] 食品安全已成为全球公共卫生领域关注的核心议题, 其中, 重金属污染因其毒性强、生物富集效应明显且不易降解, 对食品质量及人体健康构成了严峻威胁。汞、镉、铅、砷等重金属元素可通过环境污染、农药及化肥使用、食品加工等途径进入食物链, 长期摄入可能诱发神经损伤、肾功能衰竭甚至癌症。现有检测方法中, 火焰原子吸收光谱法 (FAAS)、电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES) 以及电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 应用广泛, 其中 ICP-MS 凭借较高的灵敏度及多元素同步检测能力, 在食品安全检测领域发挥了关键作用。与此同时, 电化学传感、纳米材料检测及微流控芯片等新兴技术的快速发展, 使得食品中重金属的现场检测精度得到提升。为了保证食品质量安全, 检测方法的精确性、稳定性及灵敏度均需经过严格验证, 以确保符合相关食品安全标准。本研究围绕食品重金属污染现状, 分析传统与新型检测技术的应用优势, 并结合实验数据对不同检测手段的可靠性进行验证, 以期为食品安全监管提供科学依据。

[关键词] 食品安全; 重金属检测; 光谱分析; 质谱联用; 纳米传感器

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15903

中图分类号: TS207.51

文献标识码: A

Research on Testing Methods for Heavy Metals in Food Inspection

JIN Xiaomin

Yili Inspection and Certification Research Institute, Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract: Food safety has become a core issue of concern in the global public health field. Among them, heavy metal pollution poses a serious threat to food quality and human health due to its strong toxicity, obvious bioaccumulation effect, and difficulty in degradation. Heavy metal elements such as mercury, cadmium, lead, and arsenic can enter the food chain through environmental pollution, pesticide and fertilizer use, food processing, and other pathways. Long term intake may induce nerve damage, kidney failure, and even cancer. Among the existing detection methods, flame atomic absorption spectroscopy (FAAS), inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES), and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) are widely used. Among them, ICP-MS plays a key role in the field of food safety detection due to its high sensitivity and multi-element synchronous detection capability. At the same time, the rapid development of emerging technologies such as electrochemical sensing, nanomaterial detection, and microfluidic chips has improved the accuracy of on-site detection of heavy metals in food. In order to ensure food quality and safety, the accuracy, stability, and sensitivity of the testing methods must be rigorously validated to ensure compliance with relevant food safety standards. This study focuses on the current situation of heavy metal pollution in food, analyzes the application advantages of traditional and new detection technologies, and verifies the reliability of different detection methods based on experimental data, in order to provide scientific basis for food safety supervision.

Keywords: food safety; heavy metal detection; spectral analysis; mass spectrometry; nanosensors

伴随工业化进程的推进, 重金属污染问题日益严峻, 食品安全风险也随之增加。食品中的重金属来源广泛, 包括工业废水排放、大气沉降、农田灌溉、化肥及农药使用等, 其中, 大气颗粒物、污水渗透及土壤累积, 使得污染物不断积聚并最终进入食物链。已有研究表明, 汞主要由燃煤、工业废水及含汞农药排放产生, 极易在水产品中富集, 并以甲基汞形式进入人体, 长期摄入可能引发神经系统损伤; 镉污染主要来自电镀、矿业冶炼及磷肥施用, 其在农产品尤其是稻米中富集程度较高, 进入人体后容易导致肾脏损害及骨质疏松; 铅则通过汽车尾气、含铅器具及工业排放进入食品, 对儿童神经系统发育影响尤为显著; 砷污染与地下水环境及受污染农作物密切相关, 其中无机砷的毒性远高于有机砷, 长期摄入可能诱发慢性中毒甚至癌

症。食品中重金属污染的隐匿性较强, 难以通过感官识别, 仅依赖高精度仪器检测才能实现准确测定。食品贸易的全球化, 使得各国对食品重金属限量标准的要求日趋严格, 推动了检测方法的不断升级。实验室检测主要依靠 ICP-MS、ICP-AES 等光谱与质谱分析手段, 而新型传感器及微流控芯片的推广, 使得食品重金属的现场检测更加高效、便捷。

1 食品中主要的重金属污染

1.1 汞

汞是一种常见的重金属, 在常温下呈液态。它在自然环境中主要以无机汞的形式存在于生物体内, 一旦人体摄入, 便可能导致汞中毒, 直接危害健康。汞中毒的症状包括休克、神经混乱等, 严重时甚至可能危及生命。由于汞的存在形态多样, 其中有机汞的污染尤为严重, 极易引发

食品中汞污染问题,进而造成严重的食品安全隐患。随着现代工业的不断发展,工业污染产生的汞废物流入食品原料及加工生产环节,使得汞污染的防控在食品安全管理中显得尤为重要,因此应将其作为重金属检测的重要内容之一。

1.2 镉

镉的污染来源包括冶金、电镀、电池制造、塑料生产等工业活动,以及磷肥施用导致的土壤镉积累。农作物可吸收镉,使其进入食物链,尤其在水稻、叶类蔬菜、海产品中含量较高。镉的生物半衰期长达 10-30 年,即使低剂量摄入,仍可能引发慢性中毒,导致肾损伤、骨质软化、钙磷代谢紊乱,部分患者甚至患上痛痛病 (Itai-Itai 病)。食品中镉的检测需要高灵敏度及抗干扰能力。当前,电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 因检测限低 (可达 $0.01\mu\text{g/L}$)、选择性强,广泛用于痕量测定。石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS) 灵敏度高,为精准分析提供技术支持。纳米材料传感器与电化学检测技术的发展,使镉的快速检测成为可能,提升了食品安全监测效率。

1.3 铅

铅对人体神经系统危害较大,污染来源涵盖燃煤、含铅涂料、蓄电池生产及食品加工器具 (如铅釉陶瓷)。儿童对铅更为敏感,即便低剂量暴露,也可能影响神经发育,引发认知能力下降、注意力缺陷、多动症等问题。食品中铅主要以无机盐形式存在,检测时若前处理不当,可能导致铅损失或污染。火焰原子吸收光谱法 (FAAS) 因成本低、操作简便,在基层实验室应用广泛,但灵敏度有限,难以满足低浓度铅的检测需求^[1]。石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS) 及电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 检测精度更高,已成为主要方法。X 射线荧光光谱法 (XRF) 与便携式电化学传感技术的发展,使铅污染的快速筛查更加高效,提升了食品安全检测能力。

1.4 其他重金属污染 (砷、铬等)

砷污染同样值得关注。食品中的砷以无机砷和有机砷两种形态存在,其中无机砷毒性更强。水稻对无机砷富集能力较高,使大米成为砷污染的主要载体之一。长期摄入砷超标食品,可能导致皮肤病变、神经损伤,甚至增加膀胱癌、肺癌等恶性疾病风险。食品中砷的检测不仅要求高灵敏度,还需具备形态区分能力。氢化物发生-原子荧光光谱法 (HG-AFS) 在砷形态分析中表现优异,广泛应用于定量测定。液相色谱-ICP-MS 联用技术 (LC-ICP-MS) 可精确区分砷的不同化学形态,为食品安全检测提供可靠数据。

铬污染主要涉及皮革加工、电镀、染料生产等工业过程,其中六价铬 (Cr^{6+}) 毒性最强,具有致癌性与致突变性。食品中铬污染常见于海产品、动物内脏及部分饮用水源。六价铬浓度通常较低,检测方法需具备高灵敏度及良好选择性。分光光度法因设备简便、成本较低,适用于六价铬的快速筛查,但检测易受共存离子干扰,影响准确性^[2]。近年来,离子色谱-ICP-MS 联用技术被用于食品铬污染检测,可有效分离 Cr^{3+} 与 Cr^{6+} ,结合 ICP-MS 的高灵敏度,实现复杂基质中

的精准测定。纳米材料电化学传感器在食品重金属检测中的应用增加,为未来食品安全监测提供更高效率的解决方案。

食品中的重金属污染问题日益严重,涉及多种元素,污染来源复杂,检测难度较大。不同金属的毒理作用存在差异,检测方法的选择需依据具体元素特性优化。分析技术不断升级,使食品重金属检测的灵敏度、特异性、便捷性提升,使食品安全监管更加科学化。食品基质复杂,污染来源多样,检测技术仍有待进一步改进。通过优化现有分析手段,并研发高效便捷的检测技术,可提升食品重金属监测水平,降低食品安全风险,为公共健康提供保障。

2 食品中重金属检验方法

2.1 传统检测方法

食品中重金属的检测以传统分析手段为主,常见的方法包括火焰原子吸收光谱法 (FAAS)、电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES) 及电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)。FAAS 依靠火焰将待测元素原子化,并测量其对特征光的吸收情况以实现定量分析。由于操作简便、仪器成本较低,该方法被广泛应用于铅、镉等重金属的常规检测。然而,检测灵敏度受限,检出限通常处于 $\mu\text{g/mL}$ 级,同时仅能测定单一元素,难以满足复杂食品样品的多元素同步分析需求。相比之下,ICP-AES 利用高温等离子体激发元素,使其产生特征发射光谱,依据光强变化进行定量测定。更低的检测限 (可达 ng/mL 级) 以及较高的检测效率,使其在食品重金属分析中应用更为广泛。然而,设备昂贵,且对氩气的持续供应有较高要求,使用成本远高于 FAAS。ICP-MS 在 ICP 的高效电离作用基础上,结合了质谱的高分辨率,使得多种痕量金属能够同时检测,最低检出限可达 pg/mL 级,因此被广泛应用于高灵敏度分析。然而,基体效应及多原子离子的干扰可能影响检测准确性,通常需要借助碰撞反应池或内标校正来优化测定结果。虽然这些传统技术仍在食品重金属检测领域发挥关键作用,但部分方法灵敏度有限、仪器造价高、操作复杂,在特定检测场景中的适用性仍受一定限制。随着技术进步,基于新型分析方法的检测手段不断优化,进一步提升了食品重金属检测的精准度和检测效率。

2.2 新型与发展中的检测技术

食品重金属检测技术向高灵敏度、便捷化方向发展,其中电化学检测、纳米传感器、微流控芯片及光谱-质谱联用技术已成为研究热点。电化学检测基于重金属离子在修饰电极表面的氧化还原反应,通过电流信号的变化实现定量测定。设备小型化程度高,检测成本较低,适用于食品安全现场监测。然而,测试结果受电极修饰材料影响较大,重现性仍需进一步提升。纳米传感器依赖金纳米粒子、量子点等纳米材料的光学或电学特性,以表面等离子共振、荧光猝灭效应等方式,实现对汞、砷等重金属的高选择性检测。相较于传统方法,检测灵敏度可提升 1~2 个数量级,使痕量污染物的快速识别成为可能。然而,纳米材料的合成过程复杂,环境因素对其稳定性也存在一定影响,

实际应用仍面临挑战。微流控芯片技术集成样品前处理、分离、检测等多个功能模块,在缩短检测时间的同时降低样品消耗,适用于食品生产及市场监管中的快速筛查。光谱-质谱联用技术(如激光剥蚀-电感耦合等离子体质谱法,LA-ICP-MS)结合了原位采样与高分辨率分析,不仅可避免湿法消解导致的元素损失,还能直观呈现食品基质中重金属的空间分布情况。高灵敏度与精准度使该方法在食品安全检测中展现出巨大潜力,但设备昂贵、操作要求高,在大规模检测中推广仍存在一定困难。随着检测方法的不断优化,食品重金属污染的监测精度和效率持续提升^[3]。未来,优化检测稳定性、降低成本、针对不同食品基质完善检测流程,将成为进一步研究的重要方向。

3 实验设计与方法

3.1 样品采集与前处理

本研究选取大米、鱼类及蔬菜作为分析对象,以探究不同食品类型中的重金属污染水平。依据《GB 5009.15-2014 食品安全国家标准》,采用分区随机抽样方法获取代表性样本,以提高检测数据的科学性。采集完成后,所有样品均立即密封于聚乙烯袋中,并在-20℃条件下保存,以降低外部环境对重金属含量的影响。检测前,鱼类去鳞、去内脏后切块,蔬菜经清洗晾干备用,大米研磨至粒径小于0.5mm,以确保样品均匀性。微波消解系统用于前处理,硝酸-过氧化氢混合液作为消解试剂。消解温度从120℃逐步升至180℃,并维持30min,以减少挥发性元素(如汞)的损失。冷却至室温后,消解液用超纯水定容至50mL,并经0.45μm聚四氟乙烯滤膜过滤,以去除未完全消解的颗粒。整个实验过程中,所有实验器皿需浸泡于10%硝酸溶液24h,随后使用超纯水冲洗干净并烘干,以防外源污染对测定结果的干扰。

3.2 分析仪器与检测参数

实验采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent 7900)进行重金属元素的同步检测。ICP-MS因具备高灵敏度、宽线性范围及多元素分析能力,在食品安全检测领域得到广泛应用。实验设定射频功率为1550W,以维持等离子体的稳定状态;采样深度调整至8mm,以优化离子传输效率。食品基质复杂,基体效应及多原子离子干扰可能影响测定精度,实验采用氦气碰撞池(He4.0mL/min)技术,以降低信号干扰,提高分析准确性。信号漂移的存在可能导致实验误差,因此铑(Rh)与铼(Re)被选为内标元素,同时利用标准加入法绘制校准曲线。所有样品均进行三次测定,以确保数据的稳定性。仪器长期稳定性通过定期校准国家标准物质(GBW10045)得以保证,质量控制样品(QC)的应用也使实验过程中仪器检测性能得到持续监测。

3.3 实验流程与数据记录

所有实验严格按照标准化操作流程(SOP)执行,前处理及检测均在同一批次完成,以减少实验误差。每个样品需独立测定三次,并检测空白对照及国家标准物质(GBW10045),以验证数据的准确性及重复性。实验过程中,仪器信号稳定性持续监测,所有实验参数与环境条件均

详细记录。所得数据由Excel整理,异常值剔除后,使用SPSS软件进行统计分析,包括方差分析(ANOVA)及回归建模,以评估不同食品类别间重金属含量的显著性差异。所有实验数据经标准化处理后存入数据库,便于进一步分析及溯源。数据审核严格遵循实验室质量管理体系,若发现异常值,需进行复测确认,以确保数据的科学性及可靠性。

3.4 方法验证与质量控制

检测方法的可靠性从准确性、精密度及灵敏度三个方面进行验证。准确性评估采用加标回收实验,在0.5、5.0、10.0μg/L三种浓度水平下进行测定。实验结果表明,各重金属元素的回收率介于85%~112%之间,符合食品安全检测要求。精密度以相对标准偏差(RSD)表征,五次重复测定后,RSD均低于5%,表明方法重复性良好。方法检出限(MDL)按 $3\sigma/S$ 计算,其中 σ 为空白测定的标准偏差,S为标准曲线斜率。实验结果显示,ICP-MS适用于食品中痕量重金属检测,灵敏度达到食品安全限量标准要求^[4]。定量限(LOQ)基于 $10\sigma/S$ 计算,以确保测定结果的准确性。检测过程中,每批次均设置质量控制样品,以监测仪器信号稳定性,并降低因环境或实验操作误差导致的系统性偏差。标准物质用于交叉比对分析,以确保数据的可溯源性。严格的质量控制及方法学验证,使ICP-MS食品重金属检测方法在灵敏度、准确性及精密度方面均表现优异,为食品安全风险评估提供可靠的技术支持。

4 结语

食品中重金属污染问题的加剧,使得高效精准的检测方法在食品安全监管中占据了重要地位。传统实验室分析手段,如ICP-MS、ICP-AES等,以其高精度、高灵敏度的优势,在食品检测领域得到了广泛应用。然而,高昂的仪器成本及复杂的操作流程,使其在大规模食品检测中的推广受到了限制。近年来,电化学传感、纳米传感器及微流控芯片等新兴技术的快速发展,为食品中重金属的现场检测提供了更具便捷性的解决方案。未来,检测技术的发展趋势将更加侧重于多技术集成,以提高灵敏度、稳定性及高通量检测能力,构建更为精准高效的食品重金属污染监测体系,为食品安全管理提供更科学的技术支撑。

[参考文献]

- [1]袁贝,刘虎鹏,杜平,等.基于参数优化和蒙特卡罗模拟的砷污染地块健康风险评估[J].环境科学,2024,45(2):1049-1057.
 - [2]靳玮.原子吸收法在土壤重金属检测中的应用[J].化工管理,2024,5(2):29-31.
 - [3]徐蕊.食品检验中常见污染物的检测方法[J].食品安全导刊,2024,8(29):125-127.
 - [4]李姗姗.石墨炉原子吸收光谱法检测食品中重金属铅——以大米粉质控为例[J].中国食品工业,2024,6(23):92-94.
- 作者简介:金晓敏(1987.6—),毕业院校:石河子大学,所学专业:制药工程,当前就职单位:伊犁州检验检测认证研究院,职务:检验员,职称级别:工程师。

岩土工程勘察中的水文地质问题探究

刘 栋 刘祥伟 林思文 肖 夏 张文强

中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心, 山东 烟台 264000

[摘要]在工程建设过程中, 岩土工程勘察具有至关重要的作用, 它直接影响着项目的安全性、经济性以及长远稳定性。在岩土工程领域, 水文地质问题的作用不可忽视。地下水的分布、流动特征以及与岩土体的相互作用, 往往会对地基的承载力、施工进度与结构的稳定性产生深刻影响。通过对水文地质问题进行深入研究, 能够帮助识别潜在风险, 并为工程设计与施工提供必要的科学依据。文中探讨水文地质对岩土工程的具体影响, 并结合实际提出相应的应对策略, 为相关领域提供理论支持和技术参考。

[关键词]岩土工程; 水文地质; 地下水; 工程勘察; 施工管理

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.16009

中图分类号: TU195

文献标识码: A

Exploration on Hydrogeological Issues in Geotechnical Engineering Investigation

LIU Dong, LIU Xiangwei, LIN Siwen, XIAO Xia, ZHANG Wenqiang

Yantai Coastal Zone Geological Survey Center of China Geological Survey, Yantai, Shandong, 264000, China

Abstract: Geotechnical engineering investigation plays a crucial role in the process of engineering construction, as it directly affects the safety, economy, and long-term stability of the project. In the field of geotechnical engineering, the role of hydrogeological issues cannot be ignored. The distribution and flow characteristics of groundwater, as well as its interaction with rock and soil, often have a profound impact on the bearing capacity, construction progress, and structural stability of the foundation. Through in-depth research on hydrogeological issues, it can help identify potential risks and provide necessary scientific basis for engineering design and construction. The article explores the specific impact of hydrogeology on geotechnical engineering and proposes corresponding response strategies based on practical situations, providing theoretical support and technical references for related fields.

Keywords: geotechnical engineering; hydrogeology; groundwater; engineering investigation; construction management

引言

随着城市化的加速与基础设施建设需求的日益增加, 地下水在工程建设中的作用不容忽视, 它能够显著改变岩土体的物理力学性质, 甚至可能在施工阶段引发基坑涌水、地基沉降等严重问题。如果这些问题未能及时被识别或有效应对, 将对工程进度与安全构成极大威胁。水文地质勘察的核心目标是对地下水的影响进行全面评估, 并为工程设计提供科学的参考数据。随着技术的不断进步, 诸如数值模拟与遥感监测等现代手段已经极大提高了水文地质勘察的精度。然而, 即便如此, 仍有一些工程项目未能充分认识水文地质问题的重要性, 导致潜在风险未能被及时发现。基于此, 深入探讨水文地质对岩土工程的影响, 并提出针对性的应对措施, 已成为确保项目顺利进行的关键。

1 岩土工程水文地质勘察概述与施工要点

1.1 岩土工程水文地质勘察概述

水文地质勘察是岩土工程领域不可缺少的关键环节, 通过勘察, 可全面掌握地下水的类型、储存方式、数量及其水质特性。这些信息对于分析地下水可能对结构稳定性产生的潜在威胁具有重要意义。同时, 对地下水动态变化的系统研究也十分必要。例如, 降水补给、季节性波动以

及地质条件的改变, 往往会导致地下水水位的波动, 从而对施工过程造成不可忽视的影响。水文地质勘察的另一重要任务, 是预测工程建设中可能发生的水文问题, 包括基坑渗水、地基沉降以及渗透性破坏等现象。更值得注意的是, 水文地质勘察不仅要求对数据进行收集, 还需要对水文条件与工程设计需求的适配性进行深入评估, 其科学性直接关系到工程质量的可靠性和可持续性。

1.2 施工要点

在岩土工程的施工阶段, 水文地质勘察结果的准确性与全面性, 对工程的安全性和顺利实施具有决定性作用。地下水的水位高低、水质状况及其分布特性, 需要通过详细调查加以明确。这些数据不仅是设计施工方案的重要依据, 也是应对施工过程中突发问题的基础条件。地下水流动场的动态模拟是勘察工作中的核心环节, 借助现代数值模拟技术, 能够较为精确地预测地下水在施工期间的变化趋势, 为应对不同情境提供有力支持^[1]。减小地下水对施工的负面影响通常依赖于有效的工程措施, 例如通过布设降水井或构建截水屏障来降低地下水位。这些措施的设计需充分考虑施工区域的实际条件, 并在实施过程中根据现场反馈及时优化方案。在施工过程中, 还可能出现一些意外

的水文地质问题,此时需通过实时监测和动态调整技术方案来加以应对,以保证工程的安全性与连续性。只有在这些措施充分落地的情况下,水文地质问题对施工的威胁才能被有效控制,而周边生态环境的不利影响也将被降至最低,从而实现工程建设与环境保护的共同目标。

2 岩土工程勘察中水文地质工作的重要性

2.1 确保工程设计的科学性与安全性

地下水的分布、流动特征及其与岩土体之间的相互关系,在不同的地质条件下可能存在显著差异。水文地质调查揭示了地下水与土体相互作用的规律,这直接影响土体的力学性质与稳定性,进而影响工程设计。通过对水文地质的勘察,能有效预测地下水的流动模式、水位波动以及水压的变化,为设计方案提供科学依据。水文地质勘察可提前揭示潜在风险,使设计人员能够根据勘察数据调整设计方案,最大程度地减少潜在风险。

2.2 预测与规避水文地质风险

水文地质勘察的关键作用之一是帮助预测与规避潜在的水文地质风险。在岩土工程建设中,地下水位波动、地下水流动以及动水压力等因素,通常会对工程施工及其后期使用产生影响。如果忽视水文地质条件,可能在施工过程中遭遇未预见的问题,甚至影响工程结构的安全。例如,地下水位的突升可能导致地基沉降,动水压力的不稳定可能引发基坑涌水等现象。通过科学的水文地质勘察,能够在设计阶段就发现并分析这些风险,从而避免施工中出现意外情况。水文地质勘察为后期工程设计提供了准确的风险预判,使设计人员能够有针对性地采取有效措施来预防风险。

2.3 提高施工可行性

地下水的存在,尤其是在复杂的地质环境中,往往会成为施工中的潜在障碍。地下水的波动会导致土壤强度变化,进而影响基础的稳定性,甚至在施工中引发基坑坍塌或土体流失等事故^[2]。未能及时识别地下水问题,施工中可能会面临诸多意外问题,从而导致工期延误、成本增加甚至安全隐患。在这一背景下,进行水文地质勘察至关重要。通过准确了解地下水的流动方式、变化规律等,施工方可以提前采取必要的防护措施,如排水设计、加固措施等,以确保施工的顺利进行。水文地质勘察帮助施工单位预见到地下水的影响,使得施工计划能够在早期阶段进行适当调整,从而大大提高了施工过程的可控性,减少了因地下水问题引发的风险。

2.4 降低环境风险与生态影响

水文地质勘察的意义不仅仅在于保障工程的顺利进行,地下水资源的过度开发,尤其是未加强管理的情况下,可能对周围环境造成严重影响。过度抽取地下水可能导致地表沉降、植被退化,甚至可能影响周边建筑物的稳定性。如果不在早期识别这些潜在环境风险,水文问题可能会在工程实施过程中逐渐显现,最终产生严重的生态危害。通过开展详尽的水文地质勘察,能够全面分析地下水资源的

分布与流动规律,从而为合理的地下水资源管理提供数据支持。勘察工作作为设计阶段提供了关于地下水的科学分析,使得工程不仅能够确保结构安全,还能在施工过程中减少对周围环境的负面影响。

3 水文地质对岩土工程造成的影响

3.1 水位上涨带来的影响

当水位上升时,土体中的水分含量会增加,导致土体有效应力的减小,从而降低岩土体的强度。在湿陷性土壤或黏性土层中,水分的增加尤为显著,土体的剪切强度下降,这会使得滑坡、崩塌等地质灾害的发生概率增大。对于山区或丘陵地区,水位上升往往会导致土体承载力迅速降低,进而可能引发滑坡或基坑坍塌等灾难。水位波动对建筑物及其他基础设施也带来直接影响。地下水位上升时,土体承受的水压增大,这种压力可能使土体失去密实性,导致基础承载力下降,从而引起地基沉降、建筑物裂缝甚至倾斜。随着水位继续上升,岩土体的强度持续降低,对地下结构的破坏也可能愈加严重。因此,在岩土工程设计与施工中,必须特别关注水位变化带来的风险,尤其在水位波动较大或降水频繁的地区,提前做好充分评估与应对措施。

3.2 动水压力对岩土工程带来的影响

动水压力对岩土体的影响主要体现在其对土体力学特性的改变上。特别是在基坑开挖或隧道建设过程中,动水压力所带来的威胁尤为明显。水流通过土体时,流动的动力作用会使土体的结构发生变化,导致土体松散或破坏。基坑施工中,若地下水流动未能及时排除,动水压力过大时,可能导致基坑壁发生位移,甚至出现塌陷或变形。动水压力积聚可能引发基坑涌水,使土体发生剧烈位移,导致水土流失,进而影响周围土体的稳定性。此外,管涌现象也可能在动水压力过大时发生。管涌是水流通过土层形成通道,导致局部土体流失,进而削弱土体的承载力,甚至可能导致基础失稳。动水压力的变化,可能引起岩土体力学性质的波动,进而影响工程结构的稳定性。基坑涌水、管涌等现象的发生,若未采取有效措施控制动水压力,工程安全将面临极大威胁。

3.3 地下水位频繁升降带来的影响

地下水位频繁升降对岩土体的影响呈现出复杂性,水位的变化导致土体含水量发生周期性变化,进而影响土体的力学性质。水位上升时,土体的水分含量增加,可能引发土体的膨胀或软化;当水位下降时,土体则可能发生收缩或硬化。这种反复的水位波动,长期作用于岩土体,会加剧土体的变形,进而导致地基沉降、裂隙扩展等问题的出现。特别是对于湿陷性土层或易膨胀土,水位波动的影响更加显著,这可能使土体强度不稳定,进而影响地基的承载力。水位频繁升降所导致的沉降,通常表现为不均匀沉降,最终可能导致建筑物地基出现不平衡沉降,进而引发结构倾斜或损坏。在长时间的水位波动过程中,土体内的裂缝可能会进一步扩展,从而降低地基的稳定性,增加维护与加固的难度。

3.4 工程降水对周边环境的影响

在岩土工程施工过程中,降水措施常被用来降低地下水位,以便施工顺利进行。然而,长期过度降水可能对周围环境产生一系列负面影响。过度降水会导致地下水资源的过度开采,进而造成地下水位过低,影响到周围生态系统的平衡。尤其是地下水位长期下降时,依赖地下水的植被可能因为水源不足而受到影响,甚至导致植被枯萎或死亡,进一步破坏当地生态环境。此外,地下水位过低还会引发地表沉降,随着土体孔隙压力的减少,土层可能会发生收缩或塌陷,造成地表沉降现象,不仅会影响到周围建筑物的稳定性,还可能导致道路、管道等基础设施出现裂缝或变形,进而影响到其正常使用。

4 水文地质问题解决提升路径

4.1 规范岩土工程勘察工作

岩土工程中的水文地质勘察,其规范性对工程的实施至关重要,直接关系到项目的质量与安全。严格按照相关技术规范进行勘察工作,能确保数据的全面性与准确性,为后续设计与施工提供可靠依据。在勘察阶段,精确制定计划并选用科学的勘察手段,能够有效获取地下水位、流动特性以及与岩土体的相互作用等关键数据^[3]。为了确保数据的准确性与广泛性,勘察工作需要结合工程实际情况,灵活选择不同的勘察方法,并在现场调整勘察方案。采用钻孔取样、地下水流量测试等方法,能详细了解地下水条件,为后续设计提供可靠的信息。尤其是在复杂地质环境中,及时调整勘察策略以适应现场条件,能够保证数据的真实性与时效性。在整个勘察过程中,重视数据质量控制非常重要,确保每一环节的准确无误,这对最终工程的顺利进行有着深远的影响。

4.2 加强水文地质勘察意识

在岩土工程中,水文地质问题对施工与设计的影响深远,只有加强水文地质问题的认识,才能在设计 and 实施阶段有效应对各种复杂问题。部分技术人员可能忽视水文地质对岩土体稳定性、地基承载力以及建筑物长期使用性能的潜在威胁。增强工程技术人员对水文地质问题的关注,是提升工程质量与安全的关键所在。为了提高技术人员的意识,应通过多种途径加强他们的水文地质知识,特别是对地下水分布、流动及其与岩土体相互作用等内容的深入理解。通过定期培训、案例分析等方式,帮助技术人员在面对复杂的水文地质条件时,能够及时识别潜在问题并采取适当措施。专业培训应当结合具体项目,强化对水文地质问题的分析与处理能力。只有在日常工作中不断提升对水文地质问题的敏感性,技术人员才能确保项目中各项水文地质风险的预测与管理更加科学、合理。

4.3 加强对水文地质问题的分析评价

全面、系统地分析与评估水文地质问题,离不开现代技术手段的支持。随着科技的发展,数值模拟与遥感监测等技术,已成为解决水文地质问题的核心工具。这些技术能够对地下水流动规律、岩土体的力学性质以及地下水与土体

的相互作用进行全面、动态的分析。在应用数值模拟时,技术人员可根据不同的地质条件,模拟地下水流动对岩土体的影响,进而预测地下水变化对工程安全的潜在威胁。此外,遥感监测技术可以帮助勘察人员实时获取大范围区域的水文信息,对地下水变化情况进行监测与跟踪,尤其适用于大规模水文地质勘察。通过遥感数据与数值模拟的结合,可以形成对水文地质问题的全面评估框架,确保各类影响因素都得到充分考虑。这些技术手段不仅为水文地质问题的解决提供了科学依据,也为后续工程设计提供了可靠的数据支持。

4.4 提高勘察技术人员的技术水平

提高岩土工程勘察技术人员的专业能力,直接影响到勘察结果的准确性与可靠性,从而影响整个工程的安全与稳定性。为了提升技术人员的能力,应通过系统化的培训与技术交流,提升他们的专业知识与实践操作技能。在培训中,除了加强水文地质基本理论的掌握外,还应注重新兴技术的应用,如数值模拟、遥感监测等,帮助勘察人员及时掌握先进的勘察技术^[4]。通过案例分析与现场实操,勘察人员可以积累丰富的实践经验,提高在复杂环境下识别与应对水文地质问题的能力。同时,技术人员还应加强与其他相关领域专家的合作,拓宽专业知识的深度与广度。通过跨学科的交流合作,技术人员能够提升解决复杂水文地质问题的综合能力。在此过程中,随着技术水平的提升,勘察人员的专业素养与实际操作能力不断加强,进而推动整个岩土工程水文地质勘察水平的提高,最终为工程的顺利进行提供坚实的技术保障。

5 结语

水文地质问题对岩土工程的影响深远,在项目的设计、施工及运营阶段,准确的水文地质评估是保障工程顺利实施的必要条件。若忽视这些问题,可能会导致工程结构失稳、施工进度延误等严重后果,甚至可能对周围环境造成不可逆的损害。现代技术,尤其是数值模拟与遥感监测技术的应用,显著提高了水文地质勘察的精度,使得对地下水对岩土工程影响的预测更加科学与全面。未来,通过加强勘察技术人员的培训、提升水文地质勘察技术水平,将为岩土工程的安全实施与环境保护提供更加坚实的保障。

【参考文献】

- [1] 张亦凡. 岩土工程勘察与水文地质问题分析[J]. 工程技术研究, 2021, 6(11): 255-256.
- [2] 陈小洋. 岩土工程勘察中喀斯特水文地质问题探析[J]. 工程技术研究, 2022, 7(1): 110-112.
- [3] 李炜. 岩土工程勘察中关于水文地质问题的相关研究[J]. 工程与建设, 2022, 36(1): 43-55.
- [4] 唐帅. 岩土工程勘察中水文地质问题及优化解决措施[J]. 石材, 2024(1): 68-70.

作者简介: 刘栋(1994.4—), 毕业院校: 福建师范大学, 所学专业: 行政管理, 当前就职单位: 烟台海岸带地质调查中心, 职务: 职工, 职称级别: 技术员。

污泥处理技术的研究进展：减量化-资源化-能源化的协同路径与挑战

曾月俊 罗秋妍 李文轩 覃佳勇 宁颖标 王卢彬 盘睿 李云翔 黄在银*

广西民族大学 化学化工学院, 广西 南宁 530006

[摘要]随着城市化和工业发展,污泥处理的重要性日益凸显,影响污水处理和环境资源利用。污泥含大量有害物质,需高效环保处理技术。本论文回顾最新进展,提出建议,分析减量化、资源化、沼气技术趋势,强调技术创新对可持续发展的意义,并指出未来研发方向。

[关键词]污泥处理;资源化;环境风险;技术进展

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15889

中图分类号: X701

文献标识码: A

New Advances in Sludge Treatment Technology: A Review of Research on Reduction, Resource Utilization and Energy Utilization

ZENG Yuejun, LUO Qiuyan, LI Wenxun, QIN Jiayong, NING Yingbiao, WANG Lubin, PAN Rui, LI Yunxiang, HUANG Zaiyin*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning, Gangxi, 530006, China

Abstract: With the development of urbanization and industry, the importance of sludge treatment has become increasingly prominent, affecting sewage treatment and environmental resource utilization. Sludge contains a large number of harmful substances and requires efficient and environmentally friendly treatment technology. This paper reviews the latest progress, puts forward suggestions, analyzes the trends of reduction, recycling, and biogas technology, emphasizes the significance of technological innovation for sustainable development, and points out the future direction of research and development.

Keywords: sludge treatment; recycling; environmental risks; technological progress

引言

污泥作为城市化和工业化进程中的必然产物,主要由初沉污泥和活性污泥组成,具有高含水量、有机质含量高和潜在的环境风险^[1]。随着污泥产量的不断上升,其处理成为了一个紧迫的环境问题。有效的污泥处理不仅能够减少环境污染,还能促进资源的回收利用,对循环经济发展具有重要意义。然而,污泥处理面临效率、成分复杂性、高昂成本和监管难度等挑战^[2]。本研究旨在深入探讨污泥处理的关键技术,分析其难点,并为研究者与实践者提供技术参考和策略启示,以促进污泥处理技术的进步和政策的完善。

1 污泥处理技术概述

污泥处理技术经历了从传统到现代的演变,其目的在于减少污泥体积,消除病原体,回收资源,并尽可能地将污泥转化为可利用的物质。以下是对传统污泥处理技术和新型污泥处理技术的概述。

1.1 传统污泥处理技术

传统污泥处理技术主要包括填埋、焚烧和堆肥三种方式,这些方法在过去的几十年中被广泛采用,但各自存在一定的局限性。

1.1.1 填埋

填埋是一种将污泥作为固体废物进行处置的方法。它操作简单,成本相对较低,因此在过去是处理污泥的主要

方式。然而,填埋处理存在以下问题:首先,污泥中的高含水量导致填埋场需占用大量土地资源;其次,填埋过程中会产生大量渗滤液,若处理不当,会对地下水和土壤造成污染;最后,填埋并未实现污泥的资源化利用,浪费了其中的有机质和营养元素。

1.1.2 焚烧

焚烧是一种高温处理污泥的方法,能够有效减少污泥体积,杀死病原体,并实现污泥的稳定化。焚烧后的灰分可以用于建筑材料的生产。然而,焚烧处理也存在以下缺点:一是焚烧过程中会产生有害气体,如二噁英和重金属蒸气^[3],需要配备昂贵的尾气处理设施;二是焚烧能耗较高,运行成本较大;三是焚烧过程中产生的热量未能有效利用,降低了能源回收效率。

1.1.3 堆肥

堆肥是一种生物处理方法,通过微生物的作用将污泥中的有机物转化为稳定的腐殖质,从而实现污泥的资源化。堆肥产品可以用作土壤改良剂或肥料^[4]。然而,堆肥处理也存在一些问题:一是污泥中的重金属和病原体可能对堆肥产品的质量造成影响;二是堆肥过程中可能产生臭气,对周围环境造成污染;三是堆肥周期较长,占地面积大,且对污泥的含水量和有机质含量有一定要求。

1.2 新型污泥处理技术

随着环境保护意识的增强和资源循环利用的需求,新

型污泥处理技术得到了快速发展。这些技术主要包括污泥减量化、污泥资源化和污泥能源化。

1.2.1 污泥减量化

污泥减量化技术旨在减少污泥的体积和质量,降低处理和处置成本。常见的减量化技术包括机械脱水、热处理、化学调理和生物降解等。机械脱水通过物理方法去除污泥中的水分,但难以进一步降低污泥的含水量。热处理技术如热水解和微波处理能够破坏污泥的细胞结构,释放水分,提高脱水性能。化学调理则是通过添加化学试剂改变污泥的性质,促进水分的去除。生物降解则是利用微生物分解污泥中的有机物,减少污泥体积。

1.2.2 污泥资源化

污泥资源化技术将污泥视为一种资源,通过不同的方法将其转化为有用的产品。例如,污泥中的有机质可以转化为生物肥料,无机成分可以用于建筑材料的生产。污泥资源化技术包括污泥厌氧消化、好氧消化、蚯蚓堆肥等。厌氧消化不仅能减少污泥体积,还能产生甲烷气体,实现能源回收。好氧消化则是在有氧条件下分解污泥中的有机物,产生的消化液可以作为肥料。蚯蚓堆肥则是利用蚯蚓处理污泥,转化为有机肥料。

1.2.3 污泥能源化

污泥能源化技术是将污泥中的有机质转化为能源的过程,主要包括生物质发电、生物质燃料和生物油等^[5]。生物质发电通过焚烧污泥产生蒸汽,驱动涡轮机发电。生物质燃料则将污泥转化为固体燃料,如污泥颗粒或污泥煤。生物油技术通过热解或液化将污泥转化为油品,可作为燃料或化工原料。污泥能源化不仅实现了污泥的减量化,还提高了能源利用效率,具有显著的环境和经济效益。

传统污泥处理技术虽然操作简便,但存在诸多环境问题。新型污泥处理技术以其环保、高效和资源化的特点,逐渐成为污泥处理领域的研究和应用热点。未来,随着技术的不断进步和政策的支持,污泥处理技术将朝着更加环保、高效和可持续发展的方向发展。

2 各技术优缺点对比与分析

在污泥处理与资源回收领域,多种技术手段被广泛应用于实践中,每种技术都有其独特的优势和局限性。以下是对几种主要污泥处理技术的优缺点对比分析,并探讨其未来发展趋势及改进方向。

2.1 不同污泥处理技术的优缺点

2.1.1 污泥厌氧消化技术

Zhang^[6]研究了污水厂污泥厌氧消化碳源生产机理及优化技术。该研究针对我国污水处理排放标准提高的背景,探讨了如何通过外加碳源方式提高污水中碳源的含量,以实现总氮达标排放; Qu^[7]研究了耦合 FCDI 脱盐促进 OMBR 污泥厌氧消化工艺的稳定性运行。该研究采用正渗透膜生物反应器 (OMBR) 对污泥进行厌氧消化,旨在改

善反应器内部的传质和减少污泥重复脱水的能耗,提高污泥资源化的效率; Liu^[8]等人等人在污泥厌氧消化方面,通过投加不同热解温度和投加量的生物炭,研究了其对厌氧消化效率和重金属环境风险的影响,发现生物炭可以有效提升产甲烷量,其中 700℃ 热解制备的生物炭在 20g/L 的投加量下,累积产甲烷量较空白组提升了 132.52%,同时生物炭投加后,厌氧消化污泥重金属风险评价指数 (RI 值) 为 58,较空白组 (RI=111) 降低了 47.75%,表明生物炭可以有效降低重金属的生态风险; Yang 等^[9]人回顾了氧化法在污泥厌氧消化处理中的应用研究进展,发现 O₃ 氧化预处理能使污泥的产甲烷率最高提高 396.00%, K₂FeO₄ 氧化预处理能使甲烷产量显著增加 23.9%, Fenton 氧化预处理能使甲烷产量高达 735mL/(g VS), 并从低碳角度探讨了氧化法对厌氧消化的影响; Ye^[10]在污泥厌氧消化方面研究了香豆素的影响,发现香豆素能够显著提高甲烷产率。例如, 100mg/L 香豆素作用下, 甲烷累积产量为 2401mL, 是对照组的 2.63 倍; 200mg/L 香豆素作用下, 最大 SCFAs 产量为 2723.16mg/L, 远高于对照组; Liu 等^[11]人在中温 (35±1)℃、接种物浓度为 30% 的条件下, 采用批量式厌氧消化工艺探究了污水处理厂剩余污泥不同浓度厌氧消化的产气特性, 得出污泥添加量占发酵料液体积为 20% 时, 污泥厌氧消化产气性能最优; Zhang 等^[12]人在污泥厌氧消化处理方面, 对比了传统中温厌氧消化与高级厌氧消化工艺的运行效果, 发现高级厌氧消化工艺在处理能力提升、泥质变化、产沼气能力提高、能源利用情况等方面均优于传统工艺, 为后续国内污泥高级厌氧消化污泥处理项目提供了参考。综上其优点: 污泥厌氧消化技术能够在减少污泥体积的同时, 产生具有较高经济价值的生物气 (沼气), 实现能源的回收利用。此外, 该技术操作成本较低, 对环境的影响较小, 有利于实现污泥的稳定化。缺点: 该技术的消化周期较长, 对温度和 pH 值有较高的要求, 需要精确控制。同时, 消化过程中可能产生臭气, 需要配备良好的密封和气体处理系统。

2.1.2 污泥热处理技术

Yuan 等^[13]人在工业污泥热处理方面, 通过综述制革、电镀、造纸和印染四大类工业污泥在焚烧、热解等热处理过程中的重金属赋存形态、分布及迁移转化规律, 为降低工业污泥热处理过程中重金属的二次污染风险提供参考; Tao^[14]在城市污泥水热处理过程中有机物变化方面做了研究工作, 通过比较挪威 Cambi 公司的 CambiTM 高级污泥厌氧消化技术、法国威立雅水务的 Biothelys® 工艺, 以及他们开发的 HiROS 污泥高速资源化工艺三种水热处理技术对有机物的影响, 为污泥处理处置路线的选择和资源化利用提供了指导; Zhu^[15]在污泥热处理过程中磷、氟和氯的归趋及其调控方面进行了研究, 探究了不同温度 (300~1100℃)、添加剂种类 (CaO、MgO、CaCO₃)、添加剂量

(0~20%)和气氛对磷、氟和氯的影响。研究发现,在800℃下,添加15%的CaO作为添加剂,90mL min⁻¹的空气流速和45分钟的焚烧时间,可以使污泥焚烧灰中磷灰石磷(AP)含量达到89.53%,释放的氟和氯分别为1.27%和2.41%,有效提高了磷的资源化利用效率,并降低了氟氯对环境的污染风险;Zheng^[16]通过水热碳化技术,成功将市政污泥的N、S含量降低了69.9%、60%,同时实现了重金属的形态转变,有效降低了污泥的生态风险等级,例如Cd、Ni、Zn的风险等级分别从很高降至低、中、中等。基于以上不难看出该技术优点:污泥热处理技术能够显著减少污泥体积,有效杀死病原体,实现污泥的稳定化。此外,热处理过程中产生的热能可以回收利用,具有一定的经济效益。缺点:该技术能耗较高,处理过程中可能产生有害气体,如二噁英和氯化氢,需要额外的尾气处理设备。此外,热处理技术的投资和运行成本较高,限制了其广泛应用。

2.1.3 微生物发酵技术

Yan等^[17]人在污泥堆肥方面,通过添加蘑菇渣、微生物发酵菌和生物质炭等辅料进行共堆肥试验,优化了堆肥工艺,使堆肥温度快速上升并维持高温(T5处理第3天温度达到70.5℃,不低于50℃的时间达到19天),提高了堆肥效率与产品品质(T5处理产品的w(TKN)、w(TP)和w(TK)分别达到3.88、0.64和1.10g/kg),并降低了重金属的生物毒性(T5处理的重金属残渣态占比最高);Wei^[18]在使用金宝贝肥料发酵剂将污泥发酵成有机肥方面做了研究,并通过实验得出,使用金宝贝肥料发酵剂可缩短发酵时间至7天,与传统方法相比提高了发酵效率,降低了成本;Pan^[19]污泥好氧发酵工艺条件方面做了研究,通过对成都市污水处理厂污泥成分的分析,发现污泥中的有机质、氮、磷、钾等营养成分均高于全国平均水平,且重金属含量在允许范围内,为污泥发酵提供了可行性。通过筛选高效降解菌和除臭菌,最终确定混菌s7:512=1:1组合作为最佳接种菌剂,接种量为发酵培养基的1%(V/W湿基重)。优化发酵工艺参数,确定了污泥:稻草:尿素:磷酸氢二钾=1:1:0.02:0.02(质量比)的培养基组成,发酵时间为12天,发酵温度分段控制:前3天30℃,中间5天5℃,后4天30℃。最终,通过扩大实验和中试实验验证,该发酵工艺成功实现了污泥的无害化、减量化和资源化,并得到了符合国家卫生标准的发酵产物。通过对比大量数据和工作,其优点:微生物发酵技术可以将污泥转化为有机肥料,实现资源化利用。该技术处理过程简单,能耗较低,有利于减少环境污染。缺点:发酵周期较长,对环境条件有一定要求。此外,发酵过程中可能存在重金属等污染物积累问题,影响肥料品质。

2.2 各技术在应用中的局限性

(1)污泥厌氧消化技术在实际应用中,对于某些难

降解的污泥,消化效果不佳,且对操作人员的技术要求较高。(2)污泥热处理技术的高能耗和潜在的环境风险限制了其在大规模应用中的可行性,特别是在能源和环保要求较高的地区。(3)微生物发酵技术在应用中,发酵条件控制难度较大,且发酵产品品质参差不齐,市场接受度有限。

(4)表面活性剂辅助脱水技术中,表面活性剂的选择和用量对脱水效果有显著影响,但目前尚无统一的标准和规范,导致实际应用中存在一定的盲目性。

2.3 未来发展趋势及改进方向

(1)优化现有技术,提高处理效率,降低能耗和成本。例如,通过改进消化工艺,提高污泥厌氧消化的产气率和稳定性;研发高效、环保的热处理设备,降低处理成本。(2)开发新型污泥处理技术,如生物炭制备、污泥制油等,实现污泥的资源化利用,提高污泥处理的经济效益。(3)加强污泥预处理技术的研究,提高污泥的脱水性能和厌氧消化效果,降低后续处理难度。(4)关注污泥处理过程中的环境风险,研发绿色、低碳的处理技术,减少对环境的影响。(5)建立健全污泥处理与资源回收的政策法规和技术标准,推动污泥处理技术的产业化发展。同时,加强与国际先进技术的交流与合作,提高我国污泥处理技术水平。

污泥处理与资源回收领域的技术发展仍具有很大的潜力。通过不断优化现有技术、开发新型处理方法,有望实现污泥处理的高效、环保和可持续发展。在此基础上,还需加强政策支持和产业引导,推动污泥处理技术在实际应用中的广泛普及。

3 结束语

污泥处理与资源回收领域的研究与实践正不断深入,展现出广阔的发展前景。我们相信,通过科技创新、政策支持和市场机制的共同作用,污泥处理技术将更加成熟,资源化利用程度将进一步提高,从而为我国环境保护和资源可持续利用做出更大贡献。让我们携手努力,推动污泥处理技术的进步,共创绿色、和谐、美丽的生态环境。展望未来,我们期待污泥处理领域迎来更加辉煌的篇章。

基金项目:国家自然科学基金No.22263001;国家级及省级大学生创新创业项目经费202410608028、S202410608362X。

【参考文献】

- [1]南晓杰.垃圾焚烧炉渣与城市污泥协同稳定过程及重金属环境行为研究[D].重庆:重庆大学,2015.
- [2]郑尚基,王枫,巢昆,等.高级氧化技术在污泥减量化中的应用[J].环境工程,2018,36(9):133-138.
- [3]杨仕桥.生活垃圾焚烧发电厂酸性气体排放控制研究[D].北京:清华大学,2025.
- [4]Nasr F A .Treatment and reuse of sewage sludge[J].Environmentalist,1997,17(2):109-113.
- [5]鲁肯斯 W H .污水污泥作为能源生产的生物质资源:

各种选择的概述和评估[J]. 能源与燃料, 2008, 22(1): 11-13.

[6]张德猛. 污水厂污泥厌氧消化碳源生产机理及优化技术[D]. 河北: 华北理工大学, 2023.

[7]屈越童. 耦合FCDI脱盐促进OMBR污泥厌氧消化工艺稳定运行研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2022.

[8]刘庆鸿, 邱春生, 刘楠楠, 等. 生物炭对污泥厌氧消化和重金属环境风险的影响[J]. 环境工程, 2025(1): 1-12.

[9]杨阿明, 雷程, 朱学峰. 氧化法对污泥厌氧消化处理影响的研究进展[J]. 净水技术, 2024, 43(11): 19-28.

[10]叶红梅. 香豆素对污泥厌氧消化的影响及机理研究[D]. 江西: 江西理工大学, 2024.

[11]柳金虎, 张无敌, 尹芳, 等. 污水处理厂剩余污泥厌氧消化特性研究[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2023, 43(6): 1-5.

[12]张铁军, 程秋音, 卓崑, 等. 传统中温厌氧消化与高级厌氧消化工艺的运行效果对比[J]. 给水排水, 2023, 59(1): 38-43.

[13]袁文蛟, 张宇腾, 李梅彤, 等. 工业污泥热处理过程中重金属迁移转化研究进展[J]. 化工环保, 2025(3): 1-9.

[14]陶明涛, 张华. 城市污泥水热处理过程中有机物的变化[J]. 广东化工, 2012, 39(13): 189-190.

[15]朱永波. 污泥热处理过程中磷、氟和氯的归趋及其调控研究[D]. 江西: 江西师范大学, 2024.

[16]郑楚鹏. 基于水热碳化的市政污泥品质提升与重金属稳定化的研究[D]. 广东: 华南理工大学, 2020.

[17]严兴, 侯毛宇, 李碧清, 等. 微生物发酵菌和生物质炭及蘑菇渣对污泥堆肥效果的影响[J]. 环境科学研究, 2018, 31(1): 136-142.

[18]韦华. 污泥发酵有机肥的方法[J]. 农村新技术, 2014(3): 52-53.

[19]潘美英. 城市生活污水污泥好氧发酵工艺条件研究[D]. 四川: 四川大学, 2006.

作者简介: 曾月俊(2004—), 男, 汉族, 广西河池人, 本科在读, 广西民族大学化学化工学院, 研究方向: 固废处理领域。

太行山区土壤重金属污染分布特征及来源解析

杜丽媛 杨颖

河北省煤田地质局环境地质调查院, 河北 石家庄 050085

[摘要]随着经济的发展,农业生产及矿山开采的活跃,对山区造成的土壤污染日趋严重,其负面效应日益突出。以往研究的重点多在平原区,对山区的调查研究较少。本次研究以石家庄西部太行山区作为研究区,分析表层土壤的重金属(As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn)含量特征和空间分布规律,开展生态风险评价,并分析了土壤重金属来源,可以为土壤污染管控及土地资源管理提供依据。

[关键词]土壤污染;重金属;太行山区

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15895

中图分类号: X824

文献标识码: A

Distribution Characteristics and Source Analysis of Soil Heavy Metal Pollution in Taihang Mountain Area

DU Liyuan, YANG Ying

Environmental Geological Survey Institute of Hebei Coalfield Geological Bureau, Shijiazhuang, Hebei, 050085, China

Abstract: With the development of the economy and the activity of agricultural production and mining, soil pollution in mountainous areas is becoming increasingly serious, and its negative effects are becoming more prominent. In the past, the focus of research was mostly on plain areas, with less investigation and research on mountainous areas. This study takes the Taihang Mountains in western Shijiazhuang as the research area, analyzes the characteristics and spatial distribution of heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) in surface soil, conducts ecological risk assessment, and analyzes the sources of heavy metals in soil, which can provide a basis for soil pollution control and land resource management.

Keywords: soil pollution; heavy metals; Taihang mountain

1 研究区概况

本研究在河北省石家庄西部太行山区开展,面积约为7200km²。研究区位于山西高原和河北平原之间,地势西高东低,共有中山、低山、丘陵和台地四种地形,属于暖温带大陆性季风气候,年平均气温13.3℃,年平均降水量为612.09mm,区内各种生物资源种类繁多,矿产资源丰富。

2 样品采集与分析

调查研究共采集496个表层(0~20cm)土壤样品,

采样点分布见图1。

样品分析测试由河北拓维检测技术有限公司完成。其中Cr、Ni、Pb、Cu、Zn采用火焰原子吸收分光光度法,检出限分别为4mg/kg、3mg/kg、10mg/kg、1mg/kg、1mg/kg;Hg、As采用原子荧光法,检出限分别为0.002mg/kg、0.01mg/kg;Cd采用石墨炉原子吸收分光光度法,检出限为0.01mg/kg。测试设置2%的平行样,平行样相对偏差满足质量控制要求。

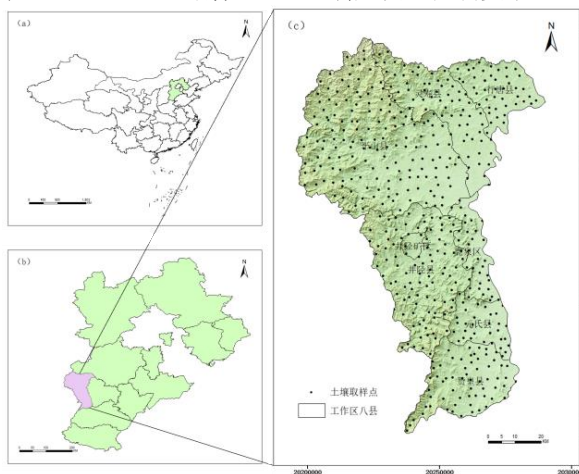


图1 研究区位置及土壤采样点分布图

3 评价方法

3.1 重金属污染风险评价方法

3.3.1 地累积指数法

用于土壤重金属污染评估方法有很多,目前较为常用的为德国提出的地累积指数法^[1-2],其计算公式为:

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (K \times B_i)] \quad (1)$$

C_i 为重金属元素 i 在表层土壤中的实测值; B_i 为重金属元素 i 在土壤中的背景值^[3-4]; K 为修正系数,一般取值 1.5。土壤重金属污染程度分级见表 1。

表 1 地累积指数分级标准

I _{geo}	级别	污染程度
≤0	0	无污染
0~1	1	轻度-中等污染
1~2	2	中等污染
2~3	3	中等-强污染
3~4	4	强污染
4~5	5	强-极严重污染
>5	6	极严重污染

3.3.2 潜在生态风险指数法

潜在生态危害指数 (RI) 是综合评价土壤重金属的潜在生态风险的另一重要手段^[3],其计算公式如下:

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{C_i}{C_n^i} \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^m E_r^i \quad (3)$$

式中, C_i 为重金属含量, C_nⁱ 采用河北省土壤背景值, T_rⁱ 为毒性响应系数, E_rⁱ 为潜在生态风险系数, RI 为潜在生态危害指数, 分级如表 2^[5]。

表 2 潜在生态风险指数分级标准^[5]

指数	项目	生态风险等级				
E _r ⁱ	系数范围	<40	40~80	80~160	160~320	>320
	污染程度	轻微	中等	强	很强	极强
RI	指数范围	<150	150~300	300~600	>600	
	污染程度	轻微	中等	强	很强	

4 评价结果

采用 Excel 对土壤数据进行描述统计特征分析,采用 SPSS 软件进行相关性分析和主成分分析,运用 ArcGIS 软件通过泛克里格法进行空间插值分析^[6]。

4.1 土壤重金属含量特征

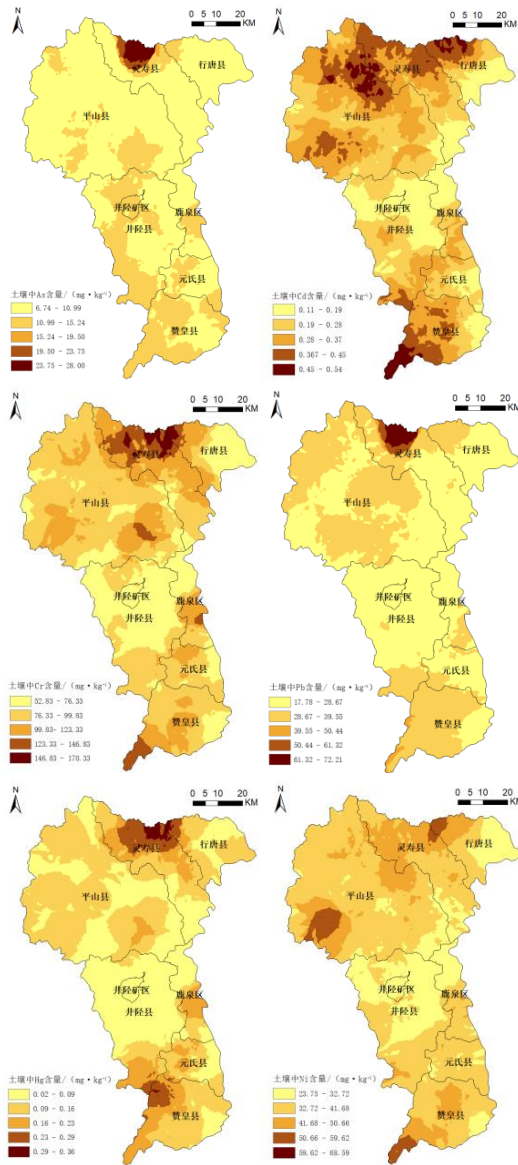
研究区土壤重金属元素的变异系数由高到低为: Hg > Cd > As > Cr > Pb > Cu > Zn > Ni, 结果见表 3。

将各元素含量的平均值与河北省土壤背景值进行比较,表层土壤中 As 的平均含量为背景值的 0.82 倍, Cd 的平均含量为背景值的 3.14 倍, Cr 的平均含量为背景值的 1.33 倍, Pd 的平均含量为背景值的 1.37 倍, Hg 的平均含量为背景值的 3.24 倍, Ni 的平均含量为背景值的 1.24

倍, Cu 的平均含量为背景值的 1.54 倍, Zn 的平均含量为背景值的 1.17 倍, 除 As 之外的 7 种重金属含量均高于河北省土壤背景值。

表 3 研究区土壤重金属元素含量统计 (单位: mg/kg)

项目	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni	Cu	Zn
最大值	125.75	1.37	380.00	256.00	0.72	145.00	117.00	545.00
最小值	1.97	0.04	18.00	10.00	0.01	7.00	9.00	21.00
平均值	10.63	0.28	90.81	28.89	0.11	37.30	33.60	91.44
标准差	7.03	0.22	52.71	15.00	0.15	14.60	15.82	36.72
变异系数 (%)	66.20	76.59	58.04	51.93	133.69	39.15	47.08	40.16
河北省土壤背景值	13.00	0.09	68.10	21.10	0.04	30.20	21.80	78.30
均值与背景值比值	0.82	3.14	1.33	1.37	3.24	1.24	1.54	1.17



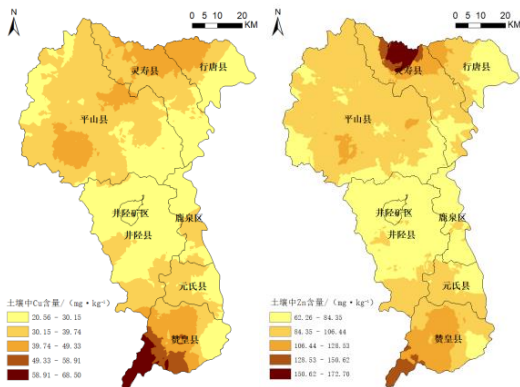


图2 研究区土壤重金属空间分布图

研究区表层土壤重金属元素含量空间分布见图2,其空间分布为南北高、中间低的特征。其中As和Pb高值区出现在研究区灵寿县北部,Cr和Zn元素含量高值区集中在灵寿县北部和赞皇县西南部,Cd元素含量高值区主要位于平山县北部、行唐县北部和赞皇县西南部,Hg元素含量高值区位于灵寿县北部和赞皇县西北部,Ni元素含量高值区主要分布于平山县西南部、行唐县西北部和赞皇县西南部,Cu元素含量高值区主要集中于赞皇县西南部。综上,研究区表层土壤重金属元素含量空间上总体呈现赞皇县西南部高、灵寿县、行唐县和平山县北部高,中部井陘县相对较低的特征。

4.2 土壤重金属污染风险评价

研究区土壤重金属评价结果如图3,其地累积指数(I_{geo})平均值大小排序为: Cd (0.69) > Hg (0.29) > Cu (-0.1) > Pb (-0.22) > Cr (-0.34) > Ni (-0.38) > Zn (-0.45) > As (-1.01)。Cd和Hg均属于无到强污染水平,As、Cr、Pb、Ni、Cu、Zn均值都小于0,基本无污染。

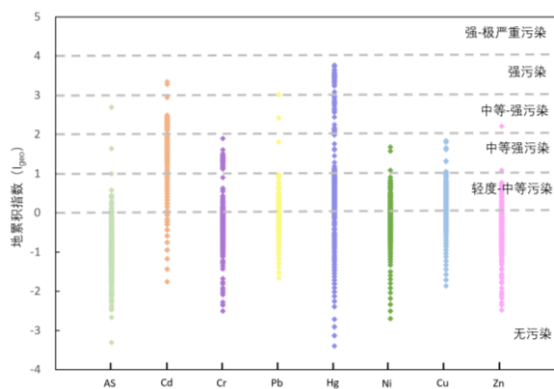


图3 研究区地累积指数评价结果

由表4可知,Cd和Hg潜在生态危害等级为强污染,其他重金属元素潜在生态危害指数(E_r)平均值均未超过40,潜在生态危害等级均为轻微。研究区表层c生态危害指数平均值为256.76,属于中等危害程度。其危害指数分布见图4。

研究区潜在生态危害等级以中等为主,占总面积的62.77%;其次为强危害等级,占总面积的25.23%,主要分布在灵寿县和行唐县北部、鹿泉区山区中部、井陘县南部和赞皇县西部;轻微等级面积占比为12%,主要分布在井陘县中部和鹿泉区山区北部地区。

表4 表层土壤重金属潜在生态危害指数

项目	重金属潜在生态危害指数 E_r								RI
	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni	Cu	Zn	
最小值	1.52	13.33	0.53	2.36	5.71	1.16	2.06	0.27	28.47
最大值	96.73	456.67	11.16	60.38	818.29	24.01	26.83	6.96	998.65
平均值	8.17	94.26	2.67	6.81	129.80	6.18	7.71	1.17	256.76
危害程度	轻微	强	轻微	轻微	强	轻微	轻微	轻微	中等

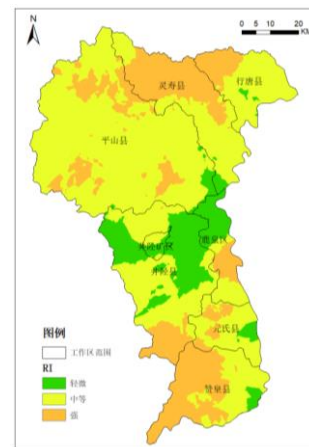


图4 研究区重金属综合潜在生态危害指数分布图

4.3 土壤重金属含量的相关性分析

对研究区表层土壤中的As、Cd、Cr、Pb、Hg、Ni、Cu、Zn进行Pearson相关性分析,如图5所示。

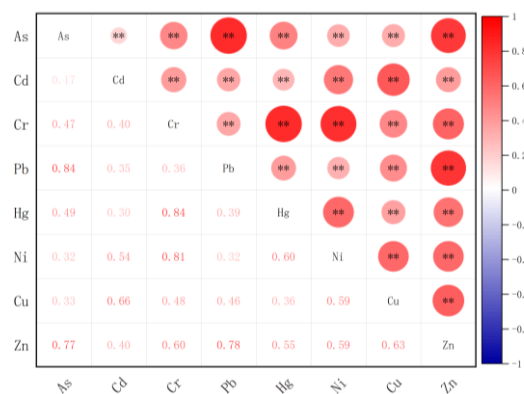
* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

图5 研究区土壤重金属相关性

重金属元素As-Pb-Zn相互之间呈极显著正相关,Cr-Hg-Ni相互之间呈极显著正相关,可以初步判断土壤中这些重金属具有共同的来源,Cd-Cu之间呈现极显著相关关系。

4.4 土壤重金属来源解析

根据相关性分析得出研究区土壤重金属之间存在相关性, 对其进行主成分分析, 基于特征值大于 1 的标准, 使用主成分分析法提取了 3 个公因子, 使用最大方差法, 成分 1 的特征值为 4.639, 成分 2 的特征值为 1.321, 成分 3 的特征值为 1.021, 这三个方差贡献率为 87.26%, 原有指标的信息丢失较少, 主成分分析效果比较理想, 具有研究意义。结果见表 5。

表 5 研究区土壤重金属主成分分析

元素	组成		
	第一主成分	第二主成分	第三主成分
As	0.92	0.27	0.01
Cd	0.09	0.17	0.89
Cr	0.23	0.91	0.25
Pb	0.92	0.10	0.25
Hg	0.30	0.87	0.07
Ni	0.12	0.74	0.52
Cu	0.30	0.23	0.82
Zn	0.77	0.39	0.36
贡献率	57.98%	16.52%	12.76%
累计贡献率	57.98%	74.50%	87.26%

第一主成分的贡献率占 57.98%, 其中 As、Pb 和 Zn 来源可能相同, 均集中在研究区北部, 根据收集的矿山资料, 灵寿县北部成矿条件良好, 矿产资源丰富, 煤炭开采、有色金属冶炼、非金属矿藏建材施工等都有可能导致土壤中 As、Pb 和 Zn 含量较高, 其中 As 常见于多种金属矿床中, 尤其多伴生于金矿床, 灵寿县黄金储量、产量居太行山区首位。因此, As、Pb 和 Zn 主要来自工业源。

第二主成分的贡献率占 16.52%, Cr、Hg、Ni 具有较高的荷载, 荷载系数均大于 0.7, 且在赞皇县西南部、中部、鹿泉区中部、行唐县西北部和平山县西南部含量较高, 由表可知, Hg 的变异系数大于 1, 属于强变异, 说明其来源主要受到人为活动影响, 已有研究显示, Hg 是化肥的重要组成成分, 研究区赞皇中部、平山县西南部均有农业基地、养殖场等, 因此, Hg 主要来自农业源。Ni 元素的变异系数相对其他重金属元素最小, 且 Ni 和 Cr 的地累积指数均小于 0, 说明人类活动对这两种元素的影响不大, 因此, 这两种元素积累主要是成土母质导致, 为自然源。综上, Hg、Cr 和 Ni 主要来自农业源和自然源。

第三主成分的贡献率占 12.76%, Cd 和 Cu 具有较大荷载, 荷载系数均大于 0.8, Cd 和 Cu 高值区分布在赞皇

县西南部, 相关资料显示, 赞皇县西南部虎寨口具有规模铜矿床, 因此, Cu 主要来自工业源。相关资料显示, 磷肥和农药的施用都会造成土壤中 Cd 超标, 赞皇县西南部有多处农业基地, 因此, Cd 主要来自农业源。综上, Cd 和 Cu 主要来自工业源和农业源。

5 结论

(1) 石家庄太行山革命老区表层土壤重金属元素除了 As 外, 平均含量均大于河北省土壤背景值, 这表明该研究区土壤中重金属存在一定程度的积累。

(2) 通过地累积指数法评价, Cd 和 Hg 均属于无到强污染水平, As、Cr、Pb、Ni、Cu、Zn 均值都小于 0, 基本无污染。

(3) 通过潜在生态危害指数法评价, 研究区总体表现为轻微潜在生态危害; Hg 和 Cd 表现为强潜在生态危害。综合潜在生态危害指数 (RI) 平均值为 256.76, 属于中等危害程度。

(4) 土壤重金属来源解析结果显示, As、Pb 和 Zn 主要源于工业源, Cr、Ni 和 Hg 主要来自自然源和农业源, Cd 和 Cu 主要来自农业源和工业源。

基金项目: 河北省财政资金项目“河北省石家庄太行山革命老区生态地质调查”(13000022P00B04410024W)。

[参考文献]

- [1] 苏全龙. 城市土壤重金属污染特征及影响因素研究 [D]. 南京: 南京大学, 2017.
 - [2] 王磊, 段星星, 赵禹, 等. 甘肃省白银市四龙镇—北湾镇耕地区土壤重金属现状及生态风险评价 [J]. 中国地质, 2024, 51(1): 290-303.
 - [3] 胡兆鑫, 吴泽燕, 罗为群, 等. 典型岩溶县土壤重金属含量、来源及生态风险评价 [J]. 环境科学, 2024, 45(9): 5506-5516.
 - [4] 李学刚, 袁华茂, 许思思, 等. 胶州湾滨海湿地盐渍土壤中重金属的聚集与分散特性研究 [J]. 海洋科学, 2011, 35(7): 88-95.
 - [5] 廖泽源, 李杰芹, 沈智杰, 等. 重庆某铁矿区周边耕地土壤重金属污染评价及来源解析 [J]. 环境科学, 2024, 45(4): 2450-2460.
 - [6] 徐祖奔, 伍艳, 赵越, 等. 黄河下游典型滩区土壤重金属污染特征及来源解析 [J]. 农业工程学报, 2023, 39(15): 200-207.
- 作者简介: 杜丽媛 (1985—), 女, 硕士, 2012 年毕业于中国地质大学 (北京), 高级工程师, 从事水文地质、生态地质研究工作。

聚丙烯球状齐格勒-纳塔催化剂的研究进展

王晓琪 罗晓琳 郝春波 姚秀超* 付莹 王立斌 宁兴洋

北方华锦化学工业股份有限公司, 辽宁 盘锦 124000

[摘要] 作为全球产量最大的塑料之一, 聚丙烯的合成工艺以及先进催化剂的开发深刻地影响着化工行业。高效、可控且环境友好的生产过程中, 齐格勒-纳塔催化剂扮演着至关重要的角色。文中讨论了近年来球形齐格勒-纳塔催化剂 (Z-N 催化剂) 在聚丙烯中的研究进展。我们从 Z-N 催化剂的作用机理和组成入手, 分析其催化体系对聚丙烯性能的影响, 并结合国内外 Z-N 催化剂应用情况进行探讨。针对当前工业上的一些挑战, 总结了未来齐格勒-纳塔催化剂的可能发展方向。

[关键词] 聚丙烯; 齐格勒-纳塔催化剂; 催化活性; 活性中心

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15902

中图分类号: TQ325.14

文献标识码: A

Research Progress on Spherical Ziegler-Natta Catalysts for Polypropylene

WANG Xiaoqi, LUO Xiaolin, HAO Chunbo, YAO Xiuchao*, Fu Ying, WANG Libin, NING Xingyang

North Huajin Chemical Industries Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract: As one of the world's largest plastic producers, the synthesis process of polypropylene and the development of advanced catalysts have a profound impact on the chemical industry. Ziegler Natta catalysts play a crucial role in efficient, controllable, and environmentally friendly production processes. The article discusses the research progress of spherical Ziegler Natta catalysts (Z-N catalysts) in polypropylene in recent years. We start with the mechanism and composition of Z-N catalyst, analyze the influence of its catalytic system on the performance of polypropylene, and explore the application of Z-N catalyst at home and abroad. In response to some of the current challenges in the industry, the possible development directions for future Ziegler Natta catalysts have been summarized.

Keywords: polypropylene; Ziegler-Natta catalyst; catalytic activity; active center

引言

聚丙烯是常见的五大树脂之一, 属于聚烯烃材料, 其性能十分优异。PP 材料无毒、加工简便, 具备良好的热稳定性和可回收性, 因此广泛用于科学研究、工业、农业及日常生活。

PP 行业的发展与催化剂研究进展息息相关, 而催化剂技术的提升也是 PP 行业快速发展的关键原因之一^[1]。目前, 主要使用的聚丙烯树脂催化剂包括齐格勒-纳塔 (Z-N) 催化剂、茂金属催化剂以及后过渡金属催化剂。其中, Z-N 催化剂因其活性高、产物颗粒形态好、易于加工、成本低且稳定性佳, 长期在聚丙烯生产中占据主导地位, 适合大规模连续生产。

Z-N 催化剂是一种重要的烯烃聚合催化剂, 由德国化学家卡尔·齐格勒和意大利化学家朱利奥·纳塔在 20 世纪 50 年代开发出来。这一催化剂彻底改变了聚烯烃产业, 使得高密度聚乙烯 (HDPE) 和等规聚丙烯 (iPP) 的工业化制造成为可能。经过几十年的发展, Z-N 催化剂现已发展到第五代, 主要用于丙烯聚合。目前, 在聚丙烯树脂工业中广泛应用的是负载型 Z-N 催化剂, 这类催化剂具有独特的球形结构, 不仅继承了传统齐格勒-纳塔催化剂的核心特点 (由过渡金属化合物如氯化钛和有机铝化合物如三乙基铝组成), 还拥有独特的物理形态和卓越的聚

合性能。

本文介绍了近年关于聚丙烯用球形 Ziegler-Natta (Z-N) 催化剂的研究进展。在详细分析这些催化剂作用机理的同时, 探讨了它们对聚丙烯性能的影响。此外, 还结合国内外在聚丙烯中应用球形 Z-N 催化剂的现状, 关注目前面临的挑战及未来的发展前景。这将为聚丙烯树脂行业的可持续发展提供技术参考。

1 Z-N 催化剂的作用机理

(1) 催化剂活性中心的形成

球形的齐格勒-纳塔催化剂一般是由一些过渡金属物质 (比如四氯化钛, TiCl_4) 还有有机铝 (比方说三乙基铝, AlEt_3) 组合成的。在做这个催化剂的时候, 首先需要把 TiCl_4 附着在一个像氯化镁这种球形载体上面, 才能得到那些分散度很高的活性点。 MgCl_2 不光能够提供相当大的表面积, 还能和 TiCl_4 需合作用以达到稳定好这些活性点的目的。在我们开始聚合反应之前, 助催化剂有机铝要和 TiCl_4 进行互动, 使得其中的钛被还原为具有低价态的 Ti, 形成了烷基化的活性中心。这些所谓活性中枢就是整个聚合反应的基础, 它们可以跟丙烯单体发生某种程度上的配位, 接着就引发了一连串的聚合现象。

(2) 单体的配位与插入

丙烯单体通过配位插入机制进行聚合。首先, 丙烯分

子的双键与过渡金属活性中心 (Ti) 发生配位作用, 从而形成-络合物。这种作用削弱了丙烯双键的电子云密度, 使它更容易受到金属-碳键的攻击。接下来, 丙烯单体插入到 Ti-烷基键中, 生成一个新的 Ti-C 键, 并释放出聚合链。这个过程称为“插入聚合”, 是齐格勒-纳塔催化剂反应的关键步骤。

在球形催化剂中, 活性中心高度分散且载体表面结构均匀, 因此丙烯单体的配位和插入过程更加有效。此外, 这些催化剂的形态特点使得单体能够更加均匀地扩散至颗粒表面和内部, 从而提高了聚合反应的速度和一致性。

(3) 链增长

聚丙烯的合成中, 链增长是一个关键步骤。每次丙烯单体插入后, Ti-烷基键会在活性中心重新形成, 以准备下一个单体的插入。这一过程不断重复, 使得聚合物链逐渐延长。球形齐格勒-纳塔催化剂的独特之处在于其能够精确控制链增长的方向和速率。此外, 通过调整催化剂的组成以及反应条件 (如温度、压力和单体浓度), 可以调控聚合物的分子量分布及立构规整性。

(4) 立体选择性控制

齐格勒-纳塔催化剂具有显著的立体选择性, 能够控制丙烯单体的插入方式。这种选择性有助于合成特定立构规整性的聚丙烯。当丙烯单体插入 Ti-C 键时, 可以呈现出不同的取向, 如头-尾插入或头-头插入。由此生成等规聚丙烯 (iPP)、间规聚丙烯 (sPP) 或无规聚丙烯 (aPP)。

(5) 链终止与聚合物颗粒的形成

链终止是聚合反应的最终步骤, 可以通过-氢消除或链转移反应进行。在-氢消除期间, 来自聚合物链的氢原子会移动到金属活性中心, 同时放出具有末端双键的聚合物链。另一方面, 在链转移反应中, 聚合物链会转移至另一个单体分子或助催化剂, 从而停止链的增长。在球形催化剂中, 由于活性中心高度分散和载体结构均匀, 链终止过程更加可控, 因此, 可生产出分子量分布较窄的聚合物。此外, 球形催化剂的独特形态有助于聚合物颗粒在生长过程中维持规则的球形结构。这种形态不仅便于后续加工和处理, 还有助于提升聚合物的堆积密度和流动性。

2 催化体系对 PP 性能影响

2.1 载体

Z-N 催化剂的常见载体有二氧化硅、氧化铝和氯化镁, 其中无水氯化镁因其高表面积和良好的分散性而被广泛应用。高活性催化剂的制备, 要求活化载体, 分物理法、化学法两种处理方法进行处理。物理研磨法是早期制备高效载体催化剂的方法, 生产方法简单, 但是制备出的催化剂活性及立体定向性较差, 且颗粒形貌难以控制, 粒径分布不均匀。目前主要采用化学反应法, 化学反应法对氯化镁晶格的破碎作用是延长球磨时间达不到的。毛炳权等^[2]利用化学法研制球状催化剂, 不经脱醇处理, 采用高速搅

拌制备出的催化剂过程简单。但球状 $MgCl_2$ 制备出的催化剂在聚合过程中易发生破碎产生细分, 通过将 SiO_2 和 $MgCl_2$ 复合后, 在保证催化活性的同时, 细分有明显降低。姜涛^[3]等使用含有 $MgCl_2$ 和 SiO_2 的醇悬浮液通过喷雾干燥制备出 $MgCl_2/SiO_2$ 络合物载体, 该载体制备出的催化剂具有高活性和高立体特异性, 聚合出的聚丙烯复制了催化剂的形态而具有良好的晶粒形态。

(2) 给电子体

在 Z-N 催化剂的发展历程中, 给电子体发挥了关键的作用。它能够改变催化剂的特性^[4]、调节聚丙烯的等规度^[5-6]和结晶度, 同时调节聚合物的分子量及其分布, 从而影响聚合物的性能。通常, 将在主催化剂制备时添加的给电子体称为内给电子体, 而在聚合过程中添加的则被称为外给电子体。

内给电子体的引入旨在提高聚丙烯的立体选择性, 改善钛的分布状态以及优化催化剂晶体的内部结构。目前, 主要使用的内给电子体包括单酯类、二酯类和二醚类等。单酯类以苯甲酸乙酯和对甲基苯甲酸乙酯为代表。Sacchi 等^[7]研究发现, 在 Z-N 催化体系中适量加入苯甲酸乙酯可提升聚合物的等规度。随着研究的深入, 人们认识到二酯类可以使催化剂活性更高且聚合速度更加平稳。据 Soga 等^[8]人解释, 这可能是因为二酯的两个酯基能与钛原子和镁原子进行配位, 增强了催化剂表面的络合作用, 因此在聚合期间表面损失较小, 因而二酯类比单酯类表现出更优异的性能。二醚类内给电子体由 Himont 公司于 1990 年首次提出, 该类型的内给电子体用于丙烯聚合时, 无需额外添加外给电子体即可获得高等规度的聚丙烯。

在催化丙烯聚合过程中, 外给电子体通常被添加以增强活性中心的立体定向性^[9]。目前, 外给电子体主要分为五种类别, 包括芳香族羧酸酯类^[10]、有机胺类^[11-12]、烷氧基硅烷类^[13-15]、醚类和杯芳烃类^[16]。其中, 工业上使用较多的是烷氧基硅烷类。Sacchi 等^[17]对硅氧烷作为外给电子体进行了研究, 他们分析了其空间位阻以及烷基大小与数量对聚丙烯性能的影响。结果显示, 除了甲基三乙氧基硅烷之外, 其他外给电子体都能积极提升聚丙烯的性能, 提高聚合物的立构规整度。此外, 李等^[18]发现, 通过复合使用两类外给电子体, 可以在保持高活性的同时制备出高等规、高熔融指数的聚丙烯。

2.2 助催化剂

在负载型 Ziegler-Natta 催化剂中, 烷基铝 (如三乙基铝、三异丁基铝等) 是一种常用的助催化剂, 主要用于活化催化剂。具体来说, 它能还原 Ti^{4+} 至 Ti^{3+} 并使钛发生烷基化。大量研究表明, 烷基化合物的络合能力直接影响催化剂的活性, 同时, 其金属直径也对聚丙烯的等规立构度产生一定影响。徐等^[19]探讨了助催化剂浓度对催化体系聚合行为的影响, 发现增加 Al/Ti 比可以提升含电子配体的

催化反应活性,这与 Langmuir-Hinshelwood 模型中的竞争吸附理论一致。此外,钟等^[20]研究了不同助催化剂对丙烯聚合的作用。他们的结论是,当使用 Hex_3Al 这样还原和络合作用较弱的烷基铝作为助催化剂时,可得到很高的立构选择性和反应活性。

3 聚丙烯用 Z-N 催化剂的工业化应用情况

在工业化应用中,球形 Z-N 催化剂主要用于丙烯聚合工艺中的气相法、液相本体法和浆液法。它的球状颗粒能显著改善反应器内的流动性和传质性能,从而提高反应的均匀性与稳定性。这些催化剂的具体工艺应用如下:

3.1 气相法工艺

气相法是当前聚丙烯生产的主要技术之一。在流化床中使用球形催化剂可以实现高效的聚合,因为催化剂能够均匀分布,生成规则且堆积密度高的聚丙烯颗粒,无需额外造粒即可直接加工^[21]。国际代表性的工艺包括 Unipol、Novolen、Spheripol-II 等。其中, Ucat-M 和 Ucat-J 系列是 Unipol 工艺的主流催化剂,而 Ucat-J 因其优异的储存稳定性和高催化活性尤为突出。

3.2 液相本体法工艺

该工艺以液态丙烯作为反应介质,球形催化剂表现出良好的分散性与高度活性,可以生产出高纯度、高等规度的聚丙烯产品。三井 CX 工艺、Spheripol 和 Borstar 是在国际上有代表性的技术。目前,在国内广泛应用的催化剂包括 BCE-S、XYH 以及 PSE-200 等。

3.3 浆液法工艺

采用惰性溶剂(如己烷)作为反应介质,该方法允许球形催化剂即便在低温下仍保持高活性,因此适宜生产高抗冲共聚聚丙烯等特殊产品。国际上的典型工艺有 Hostalen、Hypol 和 Natta 等。当下,常用的催化剂有 TH 系列和 Avant Z501,其中, Avant Z501 为 TH 系列的改进产品。

3.4 组合工艺

这种工艺结合了液相本体法和气相法的优点,无论在何种反应器中,球形催化剂都具卓越性能,灵活支持各种产品的生产,如均聚聚丙烯、无规共聚聚丙烯及高抗冲聚丙烯。Spherizone 和 Borstar 是具有代表性的工艺。

4 聚丙烯用 Z-N 催化剂发展展望

使用负载型 Z-N 催化剂制造的聚丙烯因外观优越,逐渐取代了传统均相 Z-N 催化剂。然而, Z-N 催化剂存在一些限制,如对极性单体耐受性较差,同时催化活性中心分布不均等。因此,为改善这些不足,需要在未来不断改进。具体措施包括加强自主研发内外给电子体,以及优化催化剂的制备工艺,这不仅能减少污染,还可以提升催化剂的活性,从而生产出性能更加优异的聚丙烯树脂。

[参考文献]

[1]姜涛,赵权江,陈红霞,等.聚丙烯生产技术进展[J].化工生产与技术,2001,8(4):39-41.

[2]毛炳权,杨菊秀,李珠兰,等.烯烃聚合用的球形催化剂:CN93102795.0[P]1994-09-07.

[3]Jiang T, Chen W, Zhao F, et al. Preparation of porous spherical $\text{MgCl}_2/\text{SiO}_2$ complex support as precursor for catalytic propylene polymerization[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 98(3): 1296-1299.

[4]Chadwick J C. Advances in propene polymerization using MgCl_2 -supported catalysts[J]. Fundamental aspects and the role of electron donors. Macromol. Symp, 2001(173): 21-35.

[5]Sacchi M C, Forlini F, Tritto I, Locatelli P, Morini G, Baruzzi G, Albizzati E. Stereochemistry of the initiation step in Ziegler-Natta catalysts containing dialkyl propane diethers a tool for distinguishing the role of internal and external donors[J]. Macromol. Symp, 1995(89): 91-100.

[6]Soga K, Shiono T, Doi Y. Influence of internal and external donors on activity and stereospecificity of Ziegler-Natta catalysts[J]. Macromol. Chem. Phys, 1988, 189(7): 1531-1541.

[7]Sacchi M C, Tritto I, Shan C J, Mendichi R, Noristi L. Role of the pair of internal and external donors in MgCl_2 -supported Ziegler-Natta Catalysts[J]. Macromolecules, 1991, 24(26): 6823-6826.

[8]Soga K, Shiono T, Doi Y. Influence of internal and external donors on activity and stereospecificity of Ziegler-Natta catalysts[J]. Macromol. Chem. Phys, 1988, 189(7): 1531-1541.

[9]Eceevskaya L G, Mohandas T P, Bukatov G D, et al. Effect of phenyltriethoxysilane as external donor on the microstructure of ethylene-propylene copolymers[J]. Polymer Bulletin, 1993(31): 69-74.

[10]Lee D H, Jeong Y T, Soga K, et al. Propylene polymerization with $\text{Mg}(\text{OEt})_2/\text{benzoyl chloride}/\text{TiCl}_4$ -triethyl aluminum/external donor catalyst systems[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1993(47): 1449-1461.

[11]Sacchi M. The function of amines in conventional and supported Ziegler-Natta catalysts[J]. European Polymer Journal, 1988(24): 137-140.

[12]Chadwick J C, Miedema A, Ruisch B, et al. Effects of procatalyst composition on the stereospecificity of a Ziegler-Natta Catalyst system[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 1992(193): 1463-1468.

[13]Coutinho F, Maria L. Influence of internal and

external donors on activity and stereospecificity of Ziegler-Natta catalysts[J]. European Polymer Journal, 1988(189):1531-1541.

[14]HÄRKÖNEN M, SEPPÄLÄ J, VÄÄNÄNEN T. Effect of the structure of external alkoxysilane donors on the polymerization of propene with high activity Ziegler-Natta Catalysts[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 1989(190):2535-2550.

[15]HÄRKÖNEN M, SEPPÄLÄ J. External silane donors in Ziegler-Natta catalysis. An approach to the optimum structure of the donor[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 1991(192):2857-2863.

[16]Kemp R, Brown D, Lattman M. Calixarenes as a new class of external electron donors in Ziegler-Natta polypropylene catalysts[J]. Journal of Molecular Catalysis A:Chemical, 1999(149):125-133.

[17]任合刚,高魏,高宇新,等. 稀释剂对聚丙烯球形齐格勒-纳塔催化剂性能的影响[J]. 工业催

化, 2015, 23(11):922-925.

[18]李彦鹏,黄河,张荣,等. 外给电子体对丙烯聚合的影响[J]. 合成材料老化与应用, 2022, 1(52):46-51.

[19]徐君庭,封麟先,杨士林. 丙烯聚合高效负载型 Ziegler-Natta 催化剂 Al/Ti 比和聚合温度的影响[J]. 石油化工, 1998, 2(6):411-414.

[20]钟赤峰,高明智,毛炳权. 丙烯聚合用 $\text{TiCl}_4/\text{MgCl}_2$ 催化剂的研究-聚合温度和烷基铝的影响[J]. 高分子学报, 2006(1):141-144.

[21]李华姝,张军伟,王志武,等. 以 9-烷氧甲基-芴甲酸酯作内给电子体的 Ziegler-Natta 催化剂[J]. 合成树脂及塑料, 2015, 32(4):40-44.

作者简介: 王晓琪 (1997—), 女, 满族, 辽宁本溪人, 研究员, 北方华锦化学工业股份有限公司化工研究院, 研究方向: 聚烯烃催化剂; 姚秀超 (1987—), 男, 汉族, 辽宁大连人, 工学博士, 北方华锦化学工业股份有限公司, 研究方向: 合成树脂开发、聚合物改性、催化剂开发、橡胶材料开发等。

齐格勒-纳塔催化剂活性中心对聚丙烯性能的影响

姚秀超 李春晖 王立斌 郝春波* 李永华 宁兴洋 王晓琪

北方华锦化学工业股份有限公司, 辽宁 盘锦 124000

[摘要] 齐格勒-纳塔催化剂在聚丙烯生产中至关重要, 其活性中心结构与分布显著影响聚丙烯性能。文中深入剖析活性中心对聚丙烯微观结构(如等规度、分子量及分布、支化度)、结晶性能、热性能及机械性能的影响机制, 并探讨活性中心的调控策略, 为优化聚丙烯性能、开发新型催化剂及聚合工艺提供理论支撑。

[关键词] 齐格勒-纳塔催化剂; 活性中心; 聚丙烯微观结构; 聚丙烯性能

DOI: 10.33142/nsr.v2i1.15901

中图分类号: TQ325

文献标识码: A

The Influence of Active Centers of Ziegler-Natta Catalyst on the Properties of Polypropylene

YAO Xiuchao, LI Chunhui, WANG Libin, HAO Chunbo*, LI Yonghua, NING Xingyang, WANG Xiaoqi

North Huajin Chemical Industries Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract: Ziegler-Natta catalyst is crucial in polypropylene production, and its active center structure and distribution significantly affect the performance of polypropylene. The article deeply analyzes the influence mechanism of active centers on the microstructure (such as isotropy, molecular weight and distribution, branching degree), crystallization properties, thermal properties, and mechanical properties of polypropylene, and explores the regulation strategies of active centers, providing theoretical support for optimizing polypropylene properties, developing new catalysts, and polymerization processes.

Keywords: Ziegler-Natta catalyst; active center; microstructure of polypropylene; performance of polypropylene

引言

聚丙烯(PP)作为全球产量位居前列的通用热塑性树脂,我国PP树脂产能在2024年已经超过4000万吨/年。PP以其良好的综合性能、丰富的原料来源及相对低廉的成本,在包装、汽车、建筑、电子等众多领域广泛应用。在PP生产过程中,催化剂起着核心作用,其中齐格勒-纳塔(Ziegler-Natta)催化剂自20世纪50年代问世以来^[1],一直是工业生产聚丙烯的主流催化剂^[2]。Ziegler-Natta催化剂的活性中心对聚丙烯的性能具有决定性影响,其结构与性质的差异能够调控聚丙烯的微观结构^[3],进而显著改变聚丙烯的结晶性能、热性能、机械性能等,以满足不同应用领域的多样化需求。因此,深入研究Ziegler-Natta催化剂活性中心对聚丙烯性能的影响机制,对于优化聚丙烯产品性能、开发新型催化剂以及创新聚合工艺具有极其重要的理论意义和实际应用价值^[4,5]。

1 Ziegler-Natta 催化剂概述

1.1 Ziegler-Natta 催化剂的组成与结构

Ziegler-Natta催化剂通常由主催化剂和助催化剂两部分组成^[6]。主催化剂一般为过渡金属卤化物,如 TiCl_4 、 TiCl_3 等,其中 TiCl_3 又存在 α 、 β 、 γ 、 δ 等多种晶型,不同晶型的结构差异对催化剂性能影响显著。助催化剂多为烷基铝化合物,如 $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ 、 $\text{Al}(\text{i-C}_4\text{H}_9)_3$ 等^[7],其作用是通过烷基化反应将过渡金属卤化物转化为具有聚合活性的物种,并提供必要的配位环境。此外,为了进一步改善催化剂的性能,常常会添加内给电子体和外给电子体^[8]。

内给电子体如邻苯二甲酸酯类、二醚类等,在催化剂制备过程中与主催化剂和载体相互作用,影响活性中心的形成和分布;外给电子体如硅烷类化合物,在聚合反应过程中与活性中心配位,对聚合物的立构规整性和分子量分布等产生重要影响。

1.2 催化聚合机理

关于Ziegler-Natta催化剂的聚合机理,目前普遍接受的是单金属机理^[9]。该机理认为,活性中心位于过渡金属原子上,助催化剂烷基铝将过渡金属卤化物还原并烷基化,形成具有一个空位的过渡金属活性中心。以丙烯聚合为例,丙烯单体首先在活性中心的空位处配位,由于过渡金属原子与单体之间的电子云相互作用,使单体分子发生极化,形成 π -络合物。随后,单体分子通过插入反应,在过渡金属-碳键之间进行链增长,同时空位重新生成,为下一个单体分子的配位和插入提供位置。在这个过程中,内给电子体和外给电子体通过与活性中心的配位作用,影响活性中心的电子云密度和空间位阻^[10],从而调控单体的配位和插入方式,最终影响聚丙烯的微观结构和性能。例如,给电子体的存在可以增强活性中心对丙烯单体的选择性,使甲基取向更加规整,从而提高聚丙烯的等规度。

2 活性中心对聚丙烯性能的影响

2.1 对聚丙烯微观结构的影响

2.1.1 等规度

活性中心的立体化学环境是决定聚丙烯等规度的关键因素^[11]。具有高度立体选择性的活性中心能够使丙烯单

体以特定的方式配位和插入,使得聚合物链中甲基的排列呈现出规整的全同立构或间同立构结构^[12]。研究表明,在 Ziegler-Natta 催化剂体系中,内给电子体和外给电子体的种类和含量对活性中心的立体选择性影响显著^[13]。例如,使用邻苯二甲酸酯类内给电子体配合硅烷类外给电子体,能够有效地提高活性中心的立体选择性,使生成的聚丙烯等规度高达 90%以上^[14,15]。这是因为给电子体与活性中心的配位作用改变了活性中心周围的电子云分布和空间位阻,限制了单体的无序插入,促进了等规结构的形成。相反,如果活性中心的立体选择性较差,单体插入的方向随机性增加,就会导致聚丙烯中出现较多的无规立构结构,从而降低聚丙烯的等规度,影响其结晶性能和机械性能^[16]。

2.1.2 分子量及分子量分布

活性中心的活性和寿命直接影响聚丙烯的分子量。活性较高且寿命较长的活性中心有更多机会进行链增长反应,从而生成分子量较高的聚合物链^[17]。而氢气作为常用的链转移剂,在聚合体系中与活性中心发生链转移反应,能够调节活性中心的链增长过程,降低聚合物的分子量。当体系中氢气浓度增加时,链转移反应的概率增大,活性中心更容易将增长链转移给氢气分子,终止当前链增长过程,同时产生新的活性中心引发新的聚合反应,从而使聚丙烯的平均分子量降低。

活性中心的分布情况对聚丙烯的分子量分布也有重要影响^[18]。如果活性中心的种类单一,且其活性和链增长能力相近,那么生成的聚丙烯分子量分布相对较窄;反之,若存在多种活性中心,它们在活性、链增长速率以及对链转移剂的响应等方面存在差异,就会导致聚合物链的增长和终止过程不一致,从而使聚丙烯的分子量分布变宽。例如,在某些 Ziegler-Natta 催化剂体系中,由于催化剂制备过程中的不均匀性,可能会产生部分活性中心的活性较高^[19],优先引发聚合反应并快速增长,而另一部分活性中心活性较低,在聚合后期才开始发挥作用,这样就会形成分子量差异较大的聚合物链,导致分子量分布变宽。

2.1.3 支化度

活性中心的性质还会影响聚丙烯分子链的支化程度^[20]。在聚合过程中,活性中心可能发生 β -氢消除反应,产生一个双键和一个活性较低的烯丙基型活性中心。该烯丙基型活性中心如果与单体发生二次插入反应,就会在聚合物链上引入支链。一般来说,活性中心周围的空间位阻和电子云密度会影响 β -氢消除反应的难易程度^[21]。空间位阻较小的活性中心更容易发生 β -氢消除反应,从而增加聚丙烯的支化度^[22];而电子云密度较高的活性中心则相对抑制 β -氢消除反应,使聚丙烯的支化度降低。此外,聚合反应条件如温度、压力等也会通过影响活性中心的反应活性,间接影响聚丙烯的支化度。较高的聚合温度通常会促进 β -氢消除反应的发生,导致聚丙烯支化度增加。

2.2 对聚丙烯结晶性能的影响

2.2.1 结晶形态

聚丙烯的结晶形态主要包括 α 晶型、 β 晶型和 γ 晶型等,其中 α 晶型最为常见^[23]。活性中心的结构和性质对聚丙烯结晶形态的形成具有重要影响^[24]。具有高度规整结构的活性中心倾向于生成等规度高的聚丙烯,在结晶过程中更容易形成 α 晶型。这是因为等规聚丙烯分子链的规整排列有利于分子链间的紧密堆砌,形成稳定的 α 晶型结构^[25]。而对于一些含有特殊结构活性中心的催化剂体系,可能会诱导生成 β 晶型聚丙烯。例如,某些催化剂活性中心能够在聚合过程中引入一定的分子链缺陷或不规则结构,这些结构会阻碍 α 晶型的正常形成,促使聚丙烯分子链以 β 晶型的方式进行结晶。 β 晶型聚丙烯具有独特的片晶结构和聚集态,在一些应用中表现出与 α 晶型聚丙烯不同的性能特点,如更高的冲击韧性。

2.2.2 结晶度

聚丙烯的结晶度与活性中心密切相关。等规度高的聚丙烯由于分子链规整性好,在活性中心的作用下更容易有序排列进入晶格,从而具有较高的结晶度。而活性中心的活性和分布情况会影响聚丙烯的分子量及分子量分布,进而间接影响结晶度^[26]。分子量适中且分布较窄的聚丙烯,分子链的运动性较为一致,有利于在结晶过程中有序排列,形成较高的结晶度。相反,分子量分布过宽时,低分子量部分可能会阻碍高分子量部分的结晶,导致整体结晶度下降^[27]。此外,活性中心如果能够促进分子链的支化,支链的存在会破坏分子链的规整性和对称性^[28],使分子链难以紧密排列形成结晶,从而降低聚丙烯的结晶度^[29]。例如,当聚丙烯的支化度增加时,结晶度可能会从 70%左右降低至 50%以下。

2.3 对聚丙烯热性能的影响

2.3.1 熔点

聚丙烯的熔点与结晶度和结晶形态密切相关,而这些又受活性中心的影响^[30]。一般来说,结晶度越高,分子链间的相互作用越强,聚丙烯的熔点也就越高^[31]。由于活性中心决定了聚丙烯的等规度和结晶度,等规度高、结晶度大的聚丙烯通常具有较高的熔点^[32]。例如,全同立构聚丙烯的熔点一般在 160~170℃之间,而无规聚丙烯由于结晶度极低,没有明显的熔点。此外,不同晶型的聚丙烯熔点也有所差异, α 晶型聚丙烯的熔点相对较高, β 晶型聚丙烯的熔点略低^[33]。活性中心若能诱导生成特定晶型的聚丙烯,就会相应地影响其熔点。在一些情况下,通过调控活性中心的结构和性质,制备出含有适量 β 晶型的聚丙烯,可在一定程度上降低材料的熔点,改善其加工性能,同时保持较好的机械性能^[34]。

2.3.2 热稳定性

活性中心对聚丙烯热稳定性的影响主要体现在聚合物的微观结构上^[35]。具有规整结构的聚丙烯,其分子链间

的相互作用较强,热稳定性相对较高。而活性中心如果导致聚丙烯分子链中存在较多的缺陷、支链或不稳定结构,在受热过程中这些部位容易发生热降解反应,从而降低聚丙烯的热稳定性^[36]。例如,聚丙烯分子链中的叔碳原子由于其氢原子相对活泼,在高温下容易发生氧化反应,导致分子链断裂。若活性中心使聚丙烯的支化度增加,叔碳原子的数量增多,那么聚丙烯在加工和使用过程中就更容易受到热氧化的影响,热稳定性下降。

2.4 对聚丙烯机械性能的影响

聚丙烯的拉伸性能和冲击性能与活性中心密切相关^[37]。活性中心决定了聚丙烯的微观结构,进而影响其拉伸性能^[38]。等规度高、结晶度大的聚丙烯,由于分子链间的相互作用力强,结晶区域能够有效承载外力,使得材料具有较高的拉伸强度。

活性中心通过影响聚丙烯的微观结构对冲击性能产生重要作用。活性中心通过调节分子量对冲击性能产生影响,较宽的分子量分布意味着材料中同时存在高分子量和低分子量部分,高分子量部分可以提供较好的韧性,低分子量部分则有助于提高材料的加工流动性^[39],适当的分子量分布能够在一定程度上平衡材料的冲击性能和加工性能^[40]。

3 活性中心的调控策略

3.1 催化剂组成的优化

3.1.1 主催化剂的选择与改性

不同过渡金属卤化物作为主催化剂,其活性中心的结构和性质存在差异,对聚丙烯性能影响显著。在传统的Ti基催化剂基础上,通过引入其他过渡金属元素进行改性,可调节活性中心的电子结构和空间位阻,改善催化剂性能。例如,将少量的Zr元素引入TiCl₃主催化剂中,形成Ti-Zr复合催化剂,Zr原子的存在改变了活性中心周围的电子云分布,使活性中心对单体的吸附和插入行为发生变化,从而在一定程度上提高了催化剂的活性和聚丙烯的等规度。此外,对主催化剂的晶型进行调控也是一种重要策略^[41]。通过特定的制备方法,如控制结晶条件、添加晶型调节剂等,制备出具有特定晶型的主催化剂,以获得所需性能的活性中心。例如,采用球磨法处理TiCl₃,可促进β型TiCl₃向α型TiCl₃的转变,提高催化剂的立体选择性,进而提高聚丙烯的等规度。

3.1.2 助催化剂及给电子体的优化

助催化剂烷基铝的种类和用量对活性中心的形成和活性有重要影响^[42]。不同烷基结构的烷基铝,其给电子能力和空间位阻不同,会影响活性中心的电子云密度和空间环境^[10]。例如,Al(i-C₄H₉)₃相较于Al(C₂H₅)₃,具有更大的空间位阻,在某些催化剂体系中使用Al(i-C₄H₉)₃作为助催化剂,能够改变活性中心的空间结构,提高催化剂的立体选择性,使生成的聚丙烯等规度更高。

内给电子体和外给电子体的种类和含量是调控活性中心性能的关键因素^[43]。通过筛选不同结构的给电子体,

并优化其在催化剂体系中的比例,可以精确调控活性中心的立体选择性、活性以及聚合物的微观结构。例如,采用新型的二醚类内给电子体替代传统的邻苯二甲酸酯类内给电子体^[44],能够显著提高催化剂的活性和聚丙烯的等规度,对聚丙烯的分子量分布较宽的问题也有所改善^[45]。此外,研究发现复合外给电子体系,如将两种不同结构的硅烷类外给电子体复配使用^[46],可在活性中心周围构建更加复杂且精准的空间和电子环境,在提升聚丙烯等规度的同时,有效调控分子量分布,使聚丙烯产品在综合性能上得到优化。

3.2 载体的选择与设计

3.2.1 传统载体的改进

传统的MgCl₂载体在Ziegler-Natta催化剂体系中应用广泛。对MgCl₂载体进行预处理和表面修饰是调控活性中心的重要途径。通过在MgCl₂载体表面引入特定的官能团,如羟基、羧基等,可改变载体与主催化剂、内给电子体之间的相互作用方式,进而影响活性中心在载体表面的分布和性质^[47]。例如,用醇类化合物对MgCl₂载体进行预处理,使载体表面形成一层有机镁化合物层,这层化合物能与主催化剂更均匀地结合,有助于形成分布更均匀、活性更稳定的活性中心,从而提高催化剂的活性和聚丙烯产品质量的稳定性^[48]。

3.2.2 新型载体的开发

近年来,新型载体材料如介孔分子筛、纳米碳材料等逐渐受到关注。介孔分子筛具有规整的孔道结构和较大的比表面积,能够为活性中心提供高度有序的微环境。将活性中心负载于介孔分子筛的孔道内,可限制活性中心的运动,使其分布更加均匀,同时有利于单体分子的扩散和接触,提高催化剂的活性和选择性。例如,SBA-15介孔分子筛负载的Ziegler-Natta催化剂,在丙烯聚合中表现出较高的活性,且所得聚丙烯具有较窄的分子量分布^[49]。纳米碳材料如碳纳米管、石墨烯等,具有优异的导电性和机械性能,将其作为载体引入催化剂体系,不仅可以改善活性中心的分散性,还能通过与活性中心的电子相互作用,调节活性中心的电子结构^[50],从而对聚丙烯的性能产生独特影响。例如,石墨烯负载的Ziegler-Natta催化剂可制备出具有较高结晶度和拉伸强度的聚丙烯^[50]。

3.3 聚合工艺条件的优化

3.3.1 温度与压力的调控

聚合温度对活性中心的活性和反应选择性有显著影响^[51]。在较低温度下,活性中心的活性相对较低,但有利于形成规整的聚合物结构,提高聚丙烯的等规度^[52]。然而,温度过低会导致聚合速率过慢,生产效率降低。随着温度升高,活性中心的活性增强,聚合速率加快,但过高的温度可能引发链转移反应加剧^[53],导致聚丙烯分子量降低、支化度增加,同时等规度也可能下降。因此,在实际生产中,需要根据催化剂体系和目标产品性能,精确控制聚合温度,以获得最佳的活性中心反应状态。例如,对于一些对等规度要求

较高的聚丙烯产品，聚合温度通常控制在 60~70℃之间。

聚合压力同样会影响活性中心的行为^[54]。适当提高聚合压力，可增加单体在活性中心周围的浓度，促进单体的配位和插入反应，提高聚合速率和聚丙烯的分子量。但过高的压力会对设备要求提高，增加生产成本，并且可能对活性中心的稳定性产生不利影响^[55]。所以，需要综合考虑各种因素，优化聚合压力条件。

3.3.2 单体浓度与聚合时间的控制

单体浓度是影响聚合反应的重要因素之一。在一定范围内，提高丙烯单体浓度可增加活性中心与单体的碰撞概率，加快聚合反应速率，同时有利于形成高分子量的聚丙烯。但当单体浓度过高时，可能导致反应体系黏度增大，传质传热困难，影响活性中心的均匀性，甚至引发局部过热，导致聚合物质量下降。因此，需要根据催化剂活性和聚合工艺特点，合理控制单体浓度^[56]。聚合时间直接影响聚合物的分子量和分子量分布。聚合初期，活性中心迅速引发单体聚合，分子量快速增长^[57]；随着聚合时间延长，活性中心的活性可能逐渐降低，同时链转移和链终止反应的概率增加，导致分子量分布变宽^[58]。通过精确控制聚合时间，可以调节聚丙烯的分子量及其分布，满足不同应用领域的需求。例如，对于一些需要窄分子量分布的聚丙烯产品，可在聚合反应达到一定程度后，及时终止反应，以获得理想的分子量分布。

4 结论与展望

Ziegler-Natta 催化剂活性中心对聚丙烯性能的影响极其复杂且关键。活性中心的结构和性质决定了聚丙烯的微观结构，进而对其结晶性能、热性能和机械性能等产生深远影响。通过实验表征技术和理论计算方法的结合，我们在活性中心对聚丙烯性能的影响方面有了较为深入的理解。在实际应用中，通过优化催化剂组成、选择合适的载体以及调控聚合工艺等策略，可以有效地调控活性中心，实现对聚丙烯性能的精准控制。

然而，随着聚丙烯应用领域的不断拓展和对高性能材料需求的日益增长，仍需进一步深入研究活性中心的本质和作用机制。未来的研究方向可以集中在开发新型高效的催化剂活性中心结构，以提高催化剂的活性、选择性和稳定性；探索更加精准的活性中心调控方法，实现对聚丙烯微观结构和性能的全方位定制；结合先进的计算技术和实验手段，深入理解活性中心在复杂聚合体系中的动态行为，为聚丙烯材料的创新和升级提供更坚实的理论基础和技术支持。同时，在可持续发展的背景下，研发绿色环保的催化剂体系和聚合工艺，减少对环境的影响，也是 Ziegler-Natta 催化剂领域面临的重要挑战和发展机遇。

【参考文献】

[1] 李义君,高岩. 国内外聚丙烯催化剂的研究进展[J]. 辽宁化工,2007(10):705-707.

[2] 周冀. 高分子材料基础[M]. 北京:国防工业出版社,2007.

[3] 尹丽,孟学林,陈福北,等. 助催化剂对 Ziegler-Natta 催化剂催化丙烯聚合的影响[J]. 塑料,2013,42(6):65-68.

[4] 高明智,李红明. 聚丙烯催化剂的研发进展[J]. 石油化工,2007(6):535-546.

[5] 唐本忠,秦安军,傅馨瑶. 一种聚烯醚类化合物及其制备方法与应用:CN202110838309.8[P]. 2021-11-23.

[6] 房大维,张志恒. 一种烯醇/ α -烯烃共聚物管道减阻剂及其制备方法及应用:CN202010308307.3[P]. 2020-07-28.

[7] 张渊. CGC 茂金属催化剂设计合成及催化乙烯/丙烯/降冰片烯三元共聚的研究[D]. 北京:北京化工大学,2023.

[8] 张晓帆,张军辉,赵惠,等. 用于烯烃聚合的催化剂体系和预聚合催化剂以及烯烃聚合方法:CN201711003853.0[P],2019-4.30.

[9] 马勇. 聚 α -烯烃原油减阻剂的合成工艺条件研究及中试放大分析[D]. 山东:山东大学,2006.

[10] 毛健康,王胜利,曹豫新. 复配外给电子体技术及 CHMS、DCPMS 性能比较[J]. 河南化工,2012,29(11):48-51.

[11] 吕春胜. 单环戊二烯基钛类茂金属催化剂催化烯烃聚合的研究[D]. 吉林:吉林大学,2006.

[12] 曾焕庭. 核磁共振对乙烯类均聚物序列分布的测定[J]. 广东化工,1980(3):3-19.

[13] 张晓帆,刘海涛,蔡晓霞,等. Ziegler-Natta 催化体系中影响聚丙烯分子量分布的因素研究进展[J]. 高分子通报,2010(12):8.

[14] 周奇龙,谭忠,于金华,等. 高流动高等规指数宽相对分子质量分布聚丙烯的制备[J]. 合成树脂及塑料,2017,34(1):7.

[15] 杨荣,丁律,李锦春,等. 高 β 晶含量的聚丙烯/液晶高分子复合材料及制备方:CN201610941324.4[P],2019-03.22.

[16] 潘燕凯,杨小藏,杨园园. 双向拉伸聚丙烯薄膜用丙丁共聚物的开发与应用[J]. 塑料包装,2023,33(2):6-9.

[17] 刘泊天. 两种基于氢键的水基弱凝胶的制备与性质研究[D]. 吉林:吉林大学,2012.

[18] 张世金. 烷基化合成 9,9-双(甲氧基甲基)芴及其对丙烯聚合 Ziegler-Natta 催化体系的调节作用[D]. 江西:江西师范大学,2008.

[19] 任合刚,崔立娟,王斯哈,等. 新型 Ziegler-Natta 催化剂催化乙烯/1-己烯共聚研究[J]. 2015 年全国高分子学术论文报告会,2015(1):12.

- [20] 胡立华. 煤/聚合物共混材料热稳定性研究[D]. 陕西: 西安科技大学, 2004.
- [21] 陈翠苹, 楼林洁, 杨琪, 等. 二级胺形成亚硝胺类饮用水消毒副产物的潜能研究[C]. 贵州: 全国环境化学学术大会. 中国化学会, 中国环境科学学会, 2013.
- [22] 张磊. 新型三齿配体及其金属配合物的合成、表征及催化性质研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2013.
- [23] 张国辉, 王雷, 王丽. 不同晶型成核剂在聚丙烯改性中的应用[J]. 塑料制造, 2009(3): 4.
- [24] 崔新宇, 周晓东, 戴干策. 玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的界面结晶行为[J]. 塑料科技, 2000(3): 14-18.
- [25] 高志武. 埋地排水管材专用聚丙烯树脂的结构与性能[J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(6): 24-27.
- [26] 赵莉娜. 乳化法制备自负载球形 ZIEGLER-NATTA 催化剂及其聚合研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2012.
- [27] 徐萌, 高达利, 邵静波, 等. 过氧化物含量对 PP 分子量及结晶性能的影响[J]. 塑料, 2021, 50(2): 123-150.
- [28] 杨伟. 聚芳醚腈的结晶及其性能研究[D]. 四川: 电子科技大学, 2015.
- [29] 吴宏, 王萃林, 郭少云, 等. 一种高强度聚丙烯材料及其制备方法: CN105383029. a[P]. 2016-03-09.
- [30] 贾青青. 偏光显微镜研究 PET 纤维/iPP 复合材料的结晶形态[D]. 河南: 郑州大学, 2010.
- [31] 平郑骅, 汪长春. 高分子世界[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2001.
- [32] 余世金, 许招会, 王姓, 等. 外给电子体 CMMS、DCPMS 制备高结晶度聚丙烯的研究[J]. 应用化工, 2004(4): 37-38.
- [33] 何娟. 基于均苯三甲酰胺的复合成核剂改性聚丙烯的性能研究[D]. 湖南: 长沙理工大学, 2019.
- [34] 王子文. 稀土 Ce 对高强耐磨锰黄铜组织和性能的影响[D]. 北京: 北京有色金属研究总院, 2016.
- [35] 李媛媛. 羟基对聚 1-丁烯共聚物结晶和相转变行为的影响[D]. 天津: 天津大学, 2021.
- [36] 林珩, 张军, 董奇, 等. 含氯聚合物的热稳定和热降解[J]. 合成橡胶工业, 2003, 26(4): 254-259.
- [37] 孙青松. 高性能聚丙烯的制备及其构效关系研究[D]. 江苏: 浙江大学, 2019.
- [38] 何阳, 黄锐, 郑德. β 晶型聚丙烯研究进展[J]. 高分子通报, 2008(1): 9.
- [39] 王双, 刘翔宇, 齐宏岗. 小中空容器专用高密度聚乙烯的性能研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(7): 84-87.
- [40] 何慧. 塑料冲击改性剂与加工助剂的应用[C]. 广东: 中国塑料加工工业协会塑料改性与配方技术研讨会. 中国塑料加工工业协会, 2006.
- [41] 李昭. 乙二醇氧化及水分解纳米电催化剂的合成及性能研究[D]. 北京: 中国矿业大学(江苏), 2019.
- [42] 田维. TBP 改性 Mo 催化剂催化丁二烯聚合的研究[D]. 山东: 青岛科技大学, 2008.
- [43] 唐树轩, 刘海涛, 李昌秀. 电子顺磁共振在 Ziegler-Natta 催化剂研究中的应用进展[J]. 石油化工, 2023, 52(6): 855-861.
- [44] 李志飞, 王永刚, 崔亮, 等. 非塑化剂类聚丙烯催化剂的研发及国内工业应用进展[J]. 石油化工, 2017, 46(6): 823-827.
- [45] 常贺飞, 任士通, 郑涛, 等. 硅烷类外给电子体的取代基变化对丙烯聚合影响的研究[J]. 高分子学报, 2013(2): 199-207.
- [46] 蒋攀, 董红, 陈道伟, 等. 硅烷类外给电子体在聚烯烃中的应用进展[J]. 化工新型材料, 2019, 47(6): 49-54.
- [47] 连奕新, 王会芳, 张元华, 等. 焙烧温度对镁铝复合氧化物载体性能的影响[J]. 石油化工, 2009, 38(6): 622-629.
- [48] 吴岩松. 高活性高定向度丙烯聚合催化剂性能及聚丙烯脱灰工艺研究[D]. 辽宁: 东北石油大学, 2022.
- [49] 王魁, 雷金化, 周光远. 分子筛纳米孔道对丙烯聚合的影响[C]. 上海: 全国应用化学年会, 2013.
- [50] 高明智, 李红明. 聚丙烯催化剂的研发进展[J]. 石油化工, 2007, 36(6): 12.
- [51] 孙婧怡. 膦胺类稀土配合物催化共轭二烯烃聚合的研究[D]. 辽宁: 大连理工大学, 2025.
- [52] 赵莉娜. 乳化法制备自负载球形 ZIEGLER-NATTA 催化剂及其聚合研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2012.
- [53] 谢美然, 伍青, 林尚安. 单茂钛/MAO 体系催化乙烯/丙烯共聚研究 I. 乙烯/丙烯共聚物的合成及聚合反应规律研究[J]. 高分子学报, 2000(6): 774-778.
- [54] 刘金海, 赖新鑫, 任丽, 等. 新型氧钒配合物的合成及催化乙烯(共)聚合活性研究[J]. 化学试剂, 2024, 46(1): 98-104.
- [55] 王梦君. 负载磷化钯与 P-C-Pd 结构层的构建及其选择性加氢性能研究[D]. 江苏: 浙江工业大学, 2022.
- [56] 李红明, 张明革, 袁苑, 等. 双峰分子量分布聚乙烯的研发进展[J]. 高分子通报, 2012(4): 10.
- [57] 程广文, 范晓东, 刘国涛, 等. 控制/活性阳离子聚合的研究进展[J]. 化学通报, 2009(3): 9.
- [58] 张新莉. 二苯磷氧基亚胺金属配合物催化烯烃聚合的研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2013.
- 作者简介: 姚秀超 (1987—), 男, 汉族, 辽宁大连人, 工学博士, 北方华锦化学工业股份有限公司, 研究方向: 合成树脂开发、聚合物改性、催化剂开发、橡胶材料开发等。

Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站

www.viserdata.com

