

智能化室内二氧化碳捕捉转化器设计及实验研究

杭一铭

天津市武清区杨村第三中学, 天津 武清 301799

[摘要] CO₂是人类活动产生的温室气体之一, 具有巨大的环境问题和气候变化风险。为了应对 CO₂浓度的快速增长, 国际社会采取了一系列措施; “双碳”目标的提出是中国主动承担应对全球气候变化责任的大国担当。因此, 如何有效地捕捉、转化和利用 CO₂成为当前科学研究的热点之一。针对上述问题, 文章研制了用于室内的小型二氧化碳捕捉转化器, 利用沸石分子筛膜对空气中 CO₂过滤, 用小球藻的光合作用将其转化为 O₂, 通过 CO₂检测仪, 利用 STM32 微型单片机调整交流电机和涡轮装置来调节捕捉转化速率, 实现其调控的自动化和智能化, 完成密闭空间内空气的净化。

[关键词] “双碳”目标; 二氧化碳捕捉转化器; CO₂检测仪; 小球藻; STM32

DOI: 10.33142/sca.v7i8.13035

中图分类号: TM92

文献标识码: A

Design and Experimental Study on Intelligent Indoor Carbon Dioxide Capture Converter

HANG Yiming

Tianjin Wuqing Yangcun Third Middle School, Wuqing, Tianjin, 301799, China

Abstract: CO₂ is one of the greenhouse gases produced by human activities, which poses significant environmental problems and climate change risks. In response to the rapid increase in CO₂ concentration, the international community has taken a series of measures; The proposal of the "dual carbon" goal is a major responsibility for China to take the initiative to address global climate change. Therefore, how to effectively capture, transform, and utilize CO₂ has become one of the hot topics in current scientific research. In response to the above issues, the article developed a small indoor carbon dioxide capture converter, which uses zeolite molecular sieve membranes to filter CO₂ in the air, converts it into O₂ through the photosynthesis of chlorella vulgaris, and uses a CO₂ detector. The STM32 microcontroller is used to adjust the AC motor and turbine device to adjust the capture and conversion rate, achieving automation and intelligence in its regulation, and completing the purification of air in enclosed spaces.

Keywords: "dual carbon" goals; carbon dioxide capture converter; CO₂ detector; chlorella vulgaris; STM32

引言

气候变化是当前人类面临的巨大挑战之一, 随着各国 CO₂ 排放, 温室气体猛增, 全球出现极端气温、极端气象情况增加, 自然生态和人类经济活动受到巨大影响, CO₂ 作为温室气体中最主要的部分, 减少其排放量被视为解决气候问题最主要的途径。如何减少碳排放也成为了全球性议题。世界各国以全球协约的方式减排温室气体, 习近平主席在第七十五届联合国大会的讲话中提出“CO₂ 排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和”, 指明我国面对气候变化问题要实现的“双碳”目标。

“双碳”战略倡导绿色、环保的生活方式, 加快降低碳排放步伐, 有利于引导绿色技术创新, 提高产业和经济的全球竞争力。作为新时代的青年, 要通过创新驱动和绿色驱动, 成为绿色低碳转型的实践者, 推动形成绿色简约的生活方式, 应对气候变化、构建人类命运共同体做出自己的贡献, 本文设计了一款“小型二氧化碳捕捉转化器”将教室、会场等密闭空间的 CO₂ 进行捕捉和转化, 达到空气净化的目的。

1 研究方案

1.1 总体方案

小型二氧化碳捕捉转化器, 通过智能化控制、高效捕

捉和生物转化等技术手段, 实现室内 CO₂ 浓度的有效降低和氧气 (O₂) 浓度的提升。整体框架如图 1 所示。

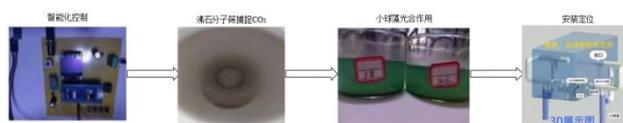


图 1 整体框架图

1.2 技术原理与工作流程

1.2.1 CO₂ 浓度检测与智能控制

采用 STM32 嵌入式单片机作为控制核心, 一头连接 CO₂ 浓度检测仪, 一头通过交流继电器连接交流风机, 利用高精度的 CO₂ 浓度检测仪实时监测室内 CO₂ 浓度^[1], 并将数据传输至嵌入式单片机 STM32, CO₂ 检测仪通过 OLED 显示器, 显示 CO₂ 的实时浓度, 并通过程序预设上限 2000ppm 和下限 400ppm, 低于下限值 400ppm 为第一档, 高于下限值 400ppm 而低于上限值 2000ppm 为第二档, 高于上限值 2000ppm 为第三档。通过模糊控制算法, 控制系统根据预设的阈值, 自动调节交流电机和涡轮装置的转速, 从而调控过滤转化速率, 实现转化器控制的自动化和智能化。

STM32 控制电路板如图 2 所示, 控制系统结构原理如

图 3 所示。

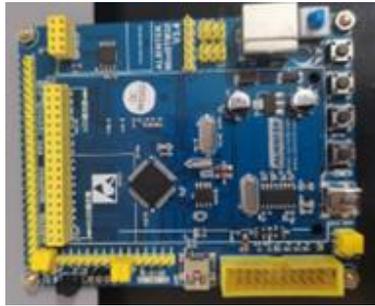


图 2 STM32 控制析



图 3 控制系统结构图

1. 2. 2 CO₂ 捕捉与分离

采用沸石分子筛膜作为捕捉材料，利用其独特的吸附性能，从室内空气中高效捕捉 CO₂^[2]，通过优化筛膜结构和孔径，实现对 CO₂ 的高效分离和富集。

沸石分子筛膜是一种具有独特晶体结构和特征的材料，其核心特点在于其表面形成的固体骨架和内部均匀的孔穴结构。这些孔穴不仅具有吸附分子的功能，而且孔穴之间通过孔道相互连接，允许分子在孔道中顺利通过。由于孔穴的洁净特性，分子筛的孔径分布表现出极高的均一性，这一特性使得分子筛能够根据晶体内部孔穴的大小对分子进行精确的选择性吸附。

沸石分子筛膜在捕获二氧化碳方面展现出卓越的能力。与传统的捕获方法相比，它无需使用水资源，因此具有更高的能源效率。此外，即使在大气中二氧化碳浓度较低的情况下，沸石分子筛膜也能保持正常的工作状态，这一特性使其在应对全球气候变化和减少温室气体排放方面具有潜在的应用价值^[3]。

利用水热合成法（低温水热合成：25~150℃；高温水热合成：>150℃；压力：自生压力，通常在 1~10MPa），将原料：SiO₂/Al₂O₃, Na₂O/SiO₂, H₂O/Na₂O。按照反应：Na₂O·x SiO₂(aq)+NaAl(OH)₂(aq)+NaOH(ag) T_a 硅铝酸盐水合凝胶 T_b Na 型沸石。

沸石分子筛膜的基本合成步骤如图 4 所示。

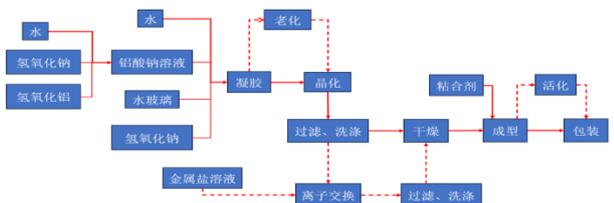


图 4 基本合成步骤

1. 2. 3 生物转化与 O₂ 释放

将筛出的 CO₂ 通入培养有小球藻的生物反应器中，利

用小球藻的光合作用将 CO₂ 转化为有机物，并释放出 O₂。通过优化小球藻培养条件和反应器设计，提高生物转化的效率和 O₂ 产量。

微藻作为一类光合真核生物，展现出卓越的固碳能力，使得它们在应对全球气候变化中扮演着重要的角色。科学家们普遍认为，光合作用是从大气中捕获和储存二氧化碳（CO₂）的一种高度可持续的策略。其中，小球藻因其独特的优势而备受关^[4]。小球藻如图 5 所示。

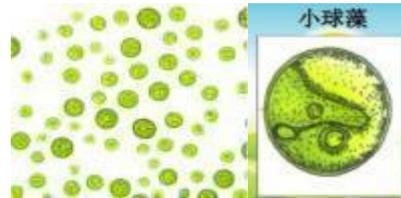


图 5 小球藻

小球藻具有显著的特色优势。首先，它能够在常温条件下，长时间保存，这为在实际应用中的稳定性和持久性提供了保障。其次，小球藻对盐度和温度的适应范围广泛，这使得它能够在多种环境条件下生长繁殖。此外，小球藻既能在无光条件下进行异养生长，又能在光照条件下进行自养生长，这种灵活性使得它在不同光照条件下的固碳效率都能得到保证。同时，通过涡流反应器的应用，小球藻的固碳速率得到了显著提升。这种反应器能够有效地提高小球藻与二氧化碳的接触面积和反应效率，从而增强其固碳能力。因此，在捕获和转化二氧化碳的过程中，小球藻能够一边吸收二氧化碳，一边释放氧气，实现了高效的碳循环和生态平衡^[5]。

1. 2. 4 多台安装定位与空气对流

根据室内空间布局和空气对流原理，合理规划多台捕捉转化器的安装位置。通过合理布局和空气对流，实现室内空气的均匀分布和高效净化。同时，采用节能设计，降低设备运行能耗。

2 实验设计与数据分析

2. 1 CO₂ 检测仪数值的设定

在大自然环境里，空气中二氧化碳的正常含量是 400ppm，在大城市里有时候达到 500ppm；室内没人的情况下，CO₂ 浓度一般在 500 到 700ppm 左右；当二氧化碳的浓度达到 1000ppm 时，人们会感到沉闷、注意力开始不集中、心悸；达到 2000~5000ppm 时，感觉头痛、嗜睡、呆滞、注意力无法集中、心跳加速、轻度恶心^[6]。

CO₂ 检测仪设计 OLED 显示器，显示 CO₂ 的实时浓度，并通过程序预设上限值 2000ppm 和下限值 400ppm，低于下限值 400ppm 为第一档，高于下限值 400ppm 而低于上限值 2000ppm 为第二档，高于上限值 2000ppm 为第三档。通过 CO₂ 检测仪采集的实时数据，由 STM32 单片机算法程序调控过滤转化速率，实现转化器控制的自动化与智能化^[7]。

2.2 沸石分子筛捕捉 CO₂的效果实验

2.2.1 验证分子筛膜吸收 CO₂的可行性

将装置 1 密封，测量 CO₂ 的浓度，将装置 1 中加入一个带有保鲜膜和细线的隔板，将装置 1 均分为 A、B 两室，用抽风机将 A 室空气抽出，使两室形成压强差，然后向 B 室吹入 CO₂ 并使其浓度上升至 4938ppm，再拽细线使保鲜膜脱落，1 小时后测量 CO₂ 的浓度为 3149ppm；然后用沸石分子筛替代保鲜膜，重复实验步骤，1 小时后测量 CO₂ 的浓度降为 1375ppm，实验证明沸石分子筛可以有效捕捉 CO₂。

2.2.2 验证分子筛膜吸收 CO₂的可行性程度

直径 50mm，厚度 5mm 的沸石分子筛膜捕捉 CO₂ 的效果理想，现象非常明显，分子筛膜吸收 CO₂ 的可行性程度如图 6 所示。

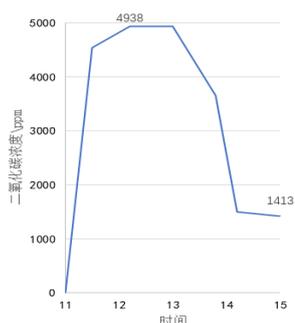


图 6 分子筛膜吸收 CO₂ 的可行性程度

2.3 小球藻转化实验探究

对市面上购买的小球藻种(含量 2 亿/ml)进行驯化，在显微镜下观察分析，可以得出，小球藻在 pH=6~10 范围内加酸或加碱后比正常小球藻活性更好，加入 MgCl₂ 后的小球藻活性明显增强^[8]。

2.3.1 探究小球藻转化 CO₂的可行性和可行程度

CO₂ 浓度从 12:24 的 4938ppm，降到 13:29 的 1584ppm；O₂ 浓度从 12:24 的 21.3%，升到 13:29 的 21.5%。说明小球藻将室内 CO₂ 转化为 O₂ 是可行的，而且转化 CO₂ 的效果非常明显。小球藻转化 CO₂ 的可行程度如图 7 所示。

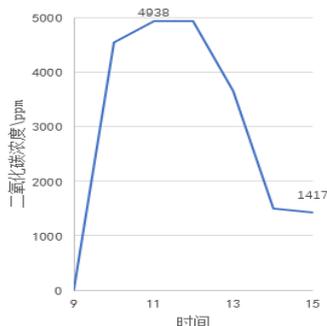


图 7 小球藻转化 CO₂ 的可行程度

2.3.2 探究 CO₂ 浓度相同时，小球藻转化过程中光的影响

实验数据曲线如图 8 所示，CO₂ 浓度在 11:00~15:00

下降明显，分析因为这个时间段光照强度高，因此光照有利于小球藻对 CO₂ 的转化。

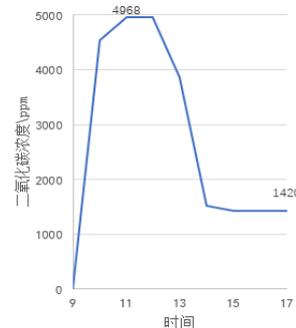
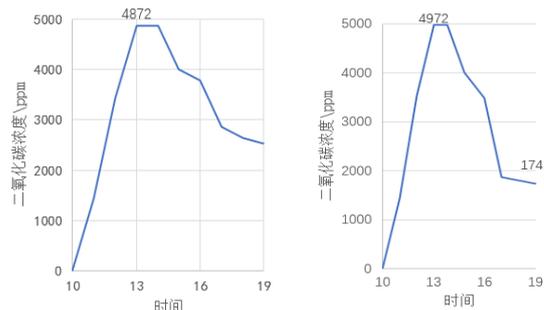


图 8 CO₂ 浓度相同时的可行程度

2.3.3 探究 CO₂ 浓度相同时，小球藻转化过程中浓度量的影响

实验数据曲线如图 9 所示，从图中可以看出，浓度较大的小球藻对 CO₂ 的转化效果更为明显。

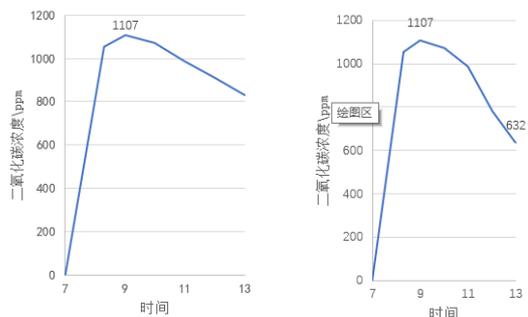


(a) 稀释 1 倍的小球藻 (b) 原浓度的小球藻

图 9 小球藻转化过程中浓度量的影响曲线

2.3.4 探究 CO₂ 浓度相同时，小球藻转化过程中表面积的影响

实验数据曲线如图 10 所示，从图中可以看出，放在敞开容器中的小球藻转化能力明显强于放在烧杯中的小球藻，表面积较大的小球藻对 CO₂ 的转化效果更为明显。



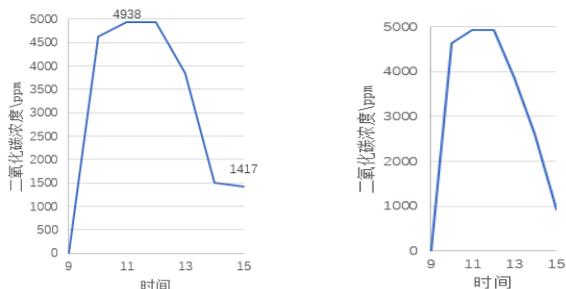
(a) 放在烧杯中的小球藻 (b) 放在敞开容器中的小球藻

图 10 小球藻转化过程中表面积的影响

2.3.5 探究 CO₂ 浓度相同时，小球藻转化过程中 pH 值的影响

实验数据曲线如图 11 所示，从图中可以看出，小球

藻 pH 在 6.0~10.0 的范围内活性最好，实验中 pH=8.2 的小球藻转化 CO₂ 的效果明显较高。

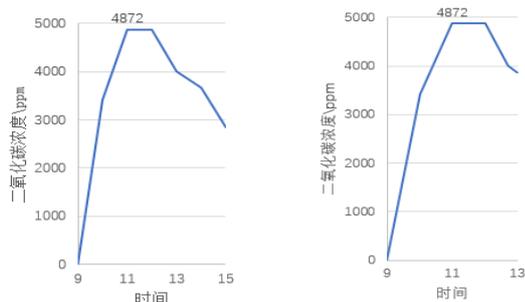


(a) pH=6.3 的小球藻 (b) pH=8.2 的小球藻

图 11 小球藻转化过程中 pH 值的影响

2.3.6 探究 CO₂ 浓度相同时，小球藻转化过程中 Mg²⁺ 的影响

实验数据曲线如图 12 所示。



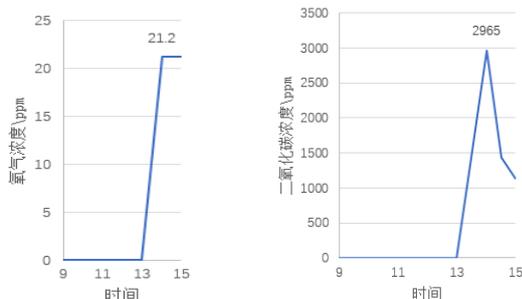
(a) 加入 Mg²⁺ 的小球藻 (b) 未加 Mg²⁺ 的小球藻

图 12 小球藻转化过程中 Mg²⁺ 的影响

Mg 元素是叶绿素的主要成分，在叶绿素形成过程中扮演重要角色，缺少 Mg 元素叶绿素就会丧失功能，同时光合作用中的一些酶需要 Mg²⁺ 才能被激活，所以加入 Mg²⁺ 的小球藻转化 CO₂ 的效果明显更高。

2.4 整套装置捕捉转化 CO₂ 的效果实验探究

整套装置正常运行的实验数据曲线如图 13 所示，从图中可以看出，本套装置能明显降低 CO₂ 的浓度，提高 O₂ 的浓度，特别是降低 CO₂ 浓度的效果十分明显。



(a) O₂ 浓度变化曲线 (b) CO₂ 浓度变化曲线

图 13 整套装置的实验效果曲线

3 研究结果

沸石分子筛对 CO₂ 的捕捉效果非常明显，小球藻在 PH=6~10 条件下转化 CO₂ 的效果较好，通过多次试验，最终可以得出结论：研制的“小型二氧化碳捕捉转化器”可以通过循环工作，实现教室、会场等密闭空间 CO₂ 的捕捉和转化，实现安全，环保，节能，高效的空气净化效果。

4 讨论及展望

日常生活中教室和会场等密闭空间空气流动性差，CO₂ 浓度升高会使人感到不适，甚至会影响身体健康，设计的小型二氧化碳捕捉转化器，融合化学、计算机、控制、电子等多学科知识，避开不利因素，增强 CO₂ 捕捉的主动性，加快转化生成 O₂ 的扩散，提高光合作用所需要的光照强度，大胆利用空气对流原理，进行多台定位安装，提高密闭空间的空气流动速度，增强 CO₂ 循环转化。

作者尝试本次创新设计，通过创新驱动和绿色驱动，成为绿色低碳转型的实践者，推动形成绿色简约的生活方式，为应对气候变化、构建人类命运共同体做出自己的贡献。创新设计的二氧化碳捕捉微型转化器，经进一步完善后，可以应用于各地停车场、大型商场、写字楼等其他密封场所，具有非常广阔的应用前景。

[参考文献]

- [1]董华松,黄文辉.CO₂ 捕捉与地质封存及泄漏监测技术现状与进展[J].资源与产业,2010,12(2):123-128.
 - [2]岳庆友,王宝珠,李存磊,等.二氧化碳膜分离材料及其性能研究进展[J].精细化工,2022(1):11-12.
 - [3]邵子龙.基于智能算法的CO₂ 驱油埋存一体化工程水气交替方案优化研究[D].吉林:吉林大学,2023.
 - [4]黎静华,韦化.基于模式搜索算法的电力系统机组组合问题[J].电工技术学报,2009(6):8-9.
 - [5]叶杞宏.二氧化碳捕捉与利用技术在新能源领域的应用前景[J].皮革制作与环保科技,2024,5(6):169-171.
 - [6]魏弘哲.捕捉烹饪燃气燃烧尾气中的二氧化碳[J].发明与创新(小学生),2023(11):27-29.
 - [7]杜梦帆,王露.不同碳源对小球藻生长的影响[J].生物化工,2022,8(8):4-5.
 - [8]曾存,胡以怀,李凯,等.微藻碳捕捉技术的研究与发展[J].能源工程,2019(5):63-68.
- 作者简介：杭一铭，女，天津市武清区杨村第三中学，学生，获得第 38 届天津市青少年科技创新大赛一等奖，2024 年度荣获天津市“新时代好少年”称号，成为武清区唯一获此殊荣者。