

## 铜矿企业雨污分流系统建设与运行优化研究

柯 玲

云南金沙矿业股份有限公司, 云南 昆明 654100

**[摘要]**铜矿企业生产过程中产生的矿坑涌水、选矿废水以及受重金属污染的初期雨水,是矿区水环境风险的主要来源,雨污分流系统属于源头管控的重要基础设施,它的建设质量和运行效率,直接关系到企业环保合规水平以及区域水环境安全。从铜矿企业雨污分流系统建设的必要性以及基本原则入手,分析总体规划、管网布置、分类收集、处理设施的建设等关键技术要点,针对运行管理中普遍存在的雨污混接、管网稳定性差、设施运行效率低、极端降雨调蓄能力弱、智慧管理水平不高等问题,提出优化系统设计与管网改造、提高设施协同运行效率、完善雨洪调蓄体系、建立数字化智能管理平台等措施,为铜矿企业雨污分流系统高效运行提供参考。

**[关键词]**铜矿企业;雨污分流;系统建设;运行优化

DOI: 10.33142/ec.v9i7.20042

中图分类号: TU992.03

文献标识码: A

## Research on the Construction and Operation Optimization of Rainwater and Sewage Diversion System in Copper Mining Enterprises

KE Ling

Yunnan Jinsha Mining Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 654100, China

**Abstract:** The mine water inflow, beneficiation wastewater, and initial rainwater contaminated with heavy metals generated during the production process of copper mining enterprises are the main sources of water environmental risks in mining areas. The rainwater and sewage diversion system is an important infrastructure for source control. Its construction quality and operational efficiency directly affect the environmental compliance level of the enterprise and the safety of the regional water environment. Starting from the necessity and basic principles of building a rainwater and sewage diversion system in copper mining enterprises, this paper analyzes the key technical points of overall planning, pipeline layout, classified collection, and treatment facilities construction. It addresses the common problems of rainwater and sewage mixing, poor pipeline stability, low facility operation efficiency, weak extreme rainfall regulation and storage capacity, and low level of intelligent management in operation and management. Measures such as optimizing system design and pipeline network transformation, improving facility collaborative operation efficiency, improving rainwater regulation and storage system, and establishing a digital intelligent management platform are proposed to provide reference for the efficient operation of rainwater and sewage diversion systems in copper mining enterprises.

**Keywords:** copper mining enterprises; rainwater and sewage diversion; system construction; operation optimization

### 引言

铜矿开采和选冶过程中会产生大量的用水环节,产生的废水成分复杂,含有铜、铅、锌、砷等重金属和悬浮物、酸碱物质,如果控制不好很容易造成水环境污染。长期以来,部分铜矿企业采用合流制排水系统,矿坑涌水、选矿废水和地表径流混合后进入尾矿库或者直接排放到环境中,大大增加了废水处理的负担,也加大了尾矿库的安全和环境风险。随着国家实行“增产不增污、增产又减污、总量控制”的政策要求,铜冶炼企业实现重金属废水零排

放成了新的课题。近几年来,中央和地方的生态环境督察把雨污分流设施缺失或者运行不力列为重点整改事项,有多家铜矿企业因为雨污分流设施缺失或者运行不力被通报查处。因此,对铜矿企业雨污分流系统建设及运行优化问题进行系统的研究,对提高企业的环境管理水平,防止水环境风险的发生有着十分重要的意义。

### 1 铜矿企业雨污分流系统建设的必要性与基本原则

铜矿企业开展雨污分流系统建设的必要性有三个方

面的体现。第一，合规性要求越来越高。《铜、镍、钴工业污染物排放标准》对重金属排放限值作出了规定，企业要通过雨污分流将含重金属废水和清洁雨水分开，保证外排水达标。第二，环境风险防控的需求。铜矿企业生产区域散落的矿粉、烟尘中含有大量的重金属，初期雨水冲刷后未经收集处理直接排放到受纳水体中，会引发水体污染。根据相关研究可知，铜冶炼厂道路冲洗和初期雨水中的铜含量为 1~5mg/L、铅 0.5mg/L、锌 1~5mg/L、砷小于 0.5mg/L，需要单独收集处理。第三，资源循环利用推动。选矿工艺对水质有要求，经过处理后的废水可以作为生产补充水回用，减少新水取用量。系统建设要遵守三个基本准则。一是清污分流、分质处理的原则，把矿坑涌水、选矿废水、生活污水和雨水分别收集起来，根据水质的不同来确定处理的途径。二是源头控制和过程管理相结合原则，从生产源头上减少废水产生量，加强管网运行监测。三是系统性、前瞻性原则，统筹厂区整体布局，预留系统扩容、智能化升级的空间。

## 2 铜矿企业雨污分流系统建设关键技术

### 2.1 雨污分流系统总体规划与管网布局设计

系统规划要先对企业的给排水现状及水平衡测试进行全面调查。铜绿山矿对现有的给排水系统进行了详细的调查，并结合水平衡测试提出了“清污分流”“分质处理”“综合平衡”的优化设计方案，该方案只需要增加一条排污管渠即可具备技术经济上的可行性。管网布置要根据厂区地形、功能分区及废水产生点来划分排水单元，确定各个单元雨水、污水的收集范围及输送路线<sup>[1]</sup>。天马山矿业公司委托设计单位编制厂区雨污分流及清污分流改造工程方案，经过多次内部审查、系统优化后实施，完善了初期雨水收集、清污分流系统，最终实现清洁雨水直排、全厂区雨污分流网络闭环管理。管网设计要考虑到将来改造和维修的需要，合理布置检查井、切换阀门等设施，方便分区检查、故障查找。

### 2.2 雨水、污水分类收集及处理设施建设技术

雨水收集系统要按照厂区污染风险等级分区收集。重点收集熔炼炉体区域、硫酸区域、主要物流通道等区域的初期雨水，应划分小的收集区域单元并设置收集池，每个收集池分别配泵将收集的雨水泵入处理站，区域收集水量按 15mm 雨量计算。清洁雨水单独通过管网外排或者进入雨水回用系统。尾矿库要设置截洪沟等设施进行雨污分流，丰山铜矿增设了 3150m 截洪沟，并对原有的 700m 截洪沟进行了疏通，形成了完整的截排水系统，使得雨水不再流入尾矿库。污水收集处理设施要按照废水性质进行分类建造。矿坑涌水一般含有悬浮物和重金属，经过沉淀、混凝、过滤等工艺处理后回用或者达标排放。选矿废水就地循环使用，降低外排量。生活污水要单独收集，接入市政管网或者建设一体化处理设施。安庆铜矿投资 600 万元实施雨污分流改造工程，通过改造水污染治理设施，委托专业环保机构每月开展一次外排水自行监测。处理设施的设计要考虑到水质水量的波动，设置调节池来平衡来水，提高系统的抗冲击能力。

## 3 铜矿企业雨污分流系统运行管理存在的问题分析

### 3.1 雨污混接及管网运行稳定性不足

雨污混接是铜矿企业雨污分流系统运行中出现的最严重的问题。督察发现铜陵有色金属集团下属矿山企业环境管理粗放，安庆铜矿生产废水未经过有效的收集直接流淌在地表，选矿车间碎矿工段部分废水外溢到外环境，取样检测 pH 值为 11.72，铜含量为 4.30mg/L，超标 7.6 倍。混接原因复杂，既有建设阶段管网连接错误造成的原因，又有后期私自改接、管道破损导致地下水渗入等造成的<sup>[2]</sup>。管网老化渗漏问题在老旧矿山中更加严重，大量的地下水通过破损的接口渗入污水管道里，不但加大了污水处理的负荷，而且使进水的污染物浓度偏低，从而影响到处理设施的正常运转。另外一些企业的管网图纸资料不全，日常巡检维护不到位，问题的发现和处理不及时，造成混接问题长期存在。铜矿企业雨污分流系统运行中出现的典型问题可以总结如下表 1 所示。

表 1 铜矿企业雨污分流系统典型运行问题及影响分析

| 问题类型      | 典型表现                       | 主要影响                    | 案例依据                                                                 |
|-----------|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 雨污混接      | 生产废水未经有效收集随意流淌、选矿车间废水外溢    | 污染物超标外排，pH 值和重金属浓度超排放标准 | 安庆铜矿选矿车间碎矿工段废水外溢，pH 值 11.72、铜 4.30mg/L，超标 7.6 倍                      |
| 管网老化渗漏    | 老旧管道破损、地下水经渗漏点大量涌入污水管网     | 污水处理负荷增加、进水污染物浓度偏低      | 铜陵有色下属矿山管网图纸缺失、巡检不到位问题长期存在                                           |
| 处理设施运行低效  | 自动化水平低、设备故障率高、参数依靠人工调节     | 处理效果不稳定、设施频繁停运或低效运行     | 铜山铜矿浓密池周边存在污水漫溢风险，生活污水处理设施未运行                                        |
| 极端降雨调蓄不足  | 雨水管网接纳能力饱和、截洪沟不完善          | 受污染雨水溢流外排、尾矿废水外排        | 贵溪冶炼厂降雨期雨洪口排水量由 1.66 万 m <sup>3</sup> /d 增至 4.96 万 m <sup>3</sup> /d |
| 监测与智慧管理滞后 | 在线监测覆盖不足、人工监测频次低、信息化基础设施薄弱 | 异常情况难以及时发现和定位           | 天马山矿业精细化管控经验推广不充分，多数企业尚未建立智能管理平台                                     |

### 3.2 污水处理设施运行效率受多因素影响

污水处理设施的运行效率会受到进水水质变化、工艺参数控制、设备运转状况等诸多方面的影响。铜矿废水重金属含量及酸碱度波动大,来水水质超出设计范围的时候,处理效果会变差。部分企业的处理设施自动化程度低,主要的参数都是靠人工来监测和手动调节,反应速度慢、精度不够。铜山铜矿选矿车间以前有污水横流、生活污水处理设施不运转等状况,浓密池周围存在污水漫溢的危险。设备维护管理不到位也是常见的问题,泵组、阀门、加药装置等故障率高,备品备件供应跟不上,造成处理设施经常出现停机或者低效运转的情况。污泥处理处置环节也不可忽视,沉淀池污泥露天堆放、不及时清理的现象时有发生,会造成二次污染。

### 3.3 极端降雨条件下系统调蓄能力不足

极端降雨事件频繁出现给铜矿企业雨污分流系统安全运行带来了严峻的考验。当降雨强度大于系统设计标准时,雨水管网的接纳能力被饱和,初期雨水和后期清洁雨水不能很好分离,部分受污染雨水会溢流外排<sup>[3]</sup>。贵溪冶炼厂现状雨洪口正常排水量为每天 16627m<sup>3</sup>,降雨期增加到每天 49627m<sup>3</sup>,改造后降雨期还要处理新增初期雨水量约每天 33000m<sup>3</sup>。尾矿库调蓄能力不够的问题也比较严重。部分尾矿库没有修建截洪沟或者截洪沟建设不到位,暴雨时大量雨水入库造成尾矿废水外排,既浪费了水资源,又加大了环境风险。调蓄设施容量设计缺少对极端降雨情景的考虑,应急排放通道堵塞,应急响应机制不健全,使系统不能应对极端天气。

### 3.4 雨污分流运行监测与智慧管理水平有待提升

目前大部分铜矿企业的雨污分流系统运行监测仍采用人工巡检、定期取样化验的方式进行,监测频次低、覆盖面小,不能及时了解系统运行情况。天马山矿业依靠精细化管理把井下排水量削减了 72 万 t,节省了 280 多万元,主要原因是把治理思路由“末端处理”转变为“源头管控”。但是这种精细化管理的实践还没有被普遍使用,信息化基础设施薄弱是主要的制约因素。管网流量、液位、水质等重要参数没有在线监测系统,出现异常时不能迅速察觉并定位。虽然部分企业安装了 DCS 或者 PLC 控制系统,但是系统的功能只是对设备的启停进行控制以及数据的记录,并没有具备数据分析、预警报警、智能决策等功能。安庆铜矿依靠智能化矿山创建,依靠中控系统 PLC 自动化控制以及视频监控功能来实现实时监测并精准调节,但是这种做法在行业里并未得到广泛应用。

## 4 铜矿企业雨污分流系统建设与运行优化措施

### 4.1 优化雨污分流系统设计与管网改造方案

系统设计优化要以问题为出发点,根据企业的实际情况来制定出“一企一策”的改造方案。新建项目必须按照清污分流、分质处理的原则进行规划设计,合理划分排水单元,确定各个单元的水量水质特点以及处理路线。对既有项目进行管网普查,了解家底,用 CCTV 检测等方法查找管道缺陷及混接点位,建立管网数字档案。铜陵有色下属企业委托专业机构编制雨污分流提升改造方案并组织专家评审,完成改造后将厂区生活污水接入市政管网。管网改造要先解决严重混接点和老旧管道的更换,逐步达到污水管网全覆盖、全收集、全处理的目的。设计阶段要综合考虑极端降雨状况,合理增大雨水管网重现期的设计标准,关键节点增设切换设施,保证初期雨水被有效地收集起来。

### 4.2 提升污水处理设施协同运行效率

提高设施运行效率可以从工艺优化、设备管理、系统协调三个方面来着手。工艺优化方面要按照进水水质特性来调节药剂投加量及反应条件,创建水质预警同工艺联动响应的体系。设备管理要建立健全设备维护保养制度,关键设备实行一机一档管理,定时开展性能评定及预防性检修。系统协同上要将矿坑涌水、选矿废水、初期雨水、生活污水归入同一个调度系统之中,依照“分质处理、梯级回用”的准则来改进水资源调配,达成选矿废水串联利用完全消纳的目的,从源头削减废水和有毒有害污染物的排放量。安庆铜矿砍掉冗余处理环节,重构闭环式绿色流程,把脱硫泡沫直接泵送到过滤系统合并处理,从源头上杜绝了含硫物料外排造成的环保隐患。

### 4.3 完善雨洪调蓄及应急排放保障体系

雨洪调蓄体系要兼顾初期雨水收集和清洁雨水排放两个方面的需求。初期雨水收集池容量要根据汇水面积及污染风险等级来确定,池体应采取分区形式,利于沉淀污泥清除并调节水质。平罗县崇岗煤炭集中区设计建成了 178 个雨水收集池,修建了导流槽 9.2km、截流沟 7.1km,收集的雨污水经过沉淀处理后回用于降尘和生产补水。尾矿库要健全截洪沟、排洪设施以及渗滤液收集系统,在尾矿坝底增设渗滤液收集池,库区采取水平防渗与下游截渗坝垂直防渗并重的防渗方式,依靠全覆盖渗水监测网络及时发出渗漏预警。应急排放体系要确定启动条件、排放途径、责任人员,定时举行应急演练,保证在极端情况下系统安全可控。



#### 4.4 构建数字化雨污分流智能运行管理平台

数字化管理平台创建是雨污分流系统精细化运作的重要依托。平台应该集管网 GIS 信息、在线监测数据、设备运行状态、视频监控画面于一体,使系统运行状态可以可视化、可追溯、可预警。普朗铜矿用给排水自动化改造使矿区给排水自动化远程控制、无人值守长期稳定运行。铜山铜矿井下废水处理控制系统使用 PLC 控制器进行集中操作控制,对重要的参数进行实时的监测以及自动调节,从而提高处理效率和抗负荷冲击的能力。智能管理平台应该具备数据自动采集、存储,异常报警和诊断,运行趋势分析和优化建议等能力,从而帮助运行人员及时发现问题并进行解决。平台创建要分阶段实施,先完成关键节点的在线监测布置和集中控制更新,接着慢慢拓展到全部厂区管网智能调度以及水量水质预估预警,促使雨污分流体系由凭经验操作变成数据引领的智慧治理。

#### 5 结语

铜矿企业雨污分流系统建设属于落实水污染防治要求、防范环境风险的基础性工程。系统建设要遵循清污分流、分质处理原则,从总体规划、管网设计到设施建设形成完整的技术链条,系统的运行要重点解决雨污混接、管

网老化、设施低效、调蓄不足、智慧化滞后等主要问题。目前铜矿企业要根据全面排查出的管网现状制订系统的改造方案,逐步提高设施的自动化程度和协同运行效率,并且积极推进数字化管理平台的建设工作,从而达到从源头上减量到末端治理的全过程控制。随着环保标准越来越严格,智能化技术不断深入,铜矿企业雨污分流系统也会向着更加精确、高效、智能的方向发展,给矿业绿色转型提供有力的支持。

#### [参考文献]

- [1]胡平.某铜矿井下废水处理控制系统的设计与应用[J].现代矿业,2023,39(10)166-169.
- [2]肖利兴,余国平,汪金卫,等.某铜矿山污水调节库的设计与使用[J].有色冶金设计与研究,2025,46(1)42-45+51.
- [3]孙福鑫,宋莹.降雨淋溶作用下铜矿尾矿库土壤的重金属迁移规律研究[J].有色金属(矿山部分),2024,76(4)142-148.

作者简介:柯玲(1988—),女,汉族,云南曲靖市人,环境保护工程师,本科,毕业于山东理工大学土木工程专业,现就职于汤丹铜矿,安全环保部副主任,分管环保相关工作。