

铅锌矿露天开采中的排水系统设计与优化

魏德品

玉溪飞亚矿业开发管理有限责任公司，云南 玉溪 653100

[摘要]铅锌矿属于重要的有色金属资源范畴，其在露天开采期间所开展的排水管理工作，同矿区的安全状况、开采工作的效率以及环境的保护的水准紧密关联起来。文章着重针对铅锌矿露天开采排水系统的相关设计事宜以及优化方面展开相应研究，综合考量矿体所处的地质条件、地层的岩性特点以及地下水的赋存特性等多重因素，对排水系统的整体设计情况、结构方面的布置安排、关键设施的设置以及运行优化的具体情形都做了较为系统的剖析。经过研究可以发现，借助合理的排水系统设计方式、对运行方案予以优化处理以及引入智能化的相关技术手段，既能切实有效地确保矿坑处于安全的状态，又能大幅提升排水的效率，而且还可大幅度降低能耗，进而达成环境效益与经济效益双双得以提升的良好效果。

[关键词]铅锌矿；露天开采；排水系统；优化设计

DOI: 10.33142/ec.v8i10.18269

中图分类号: TD76

文献标识码: A

Design and Optimization of Drainage System in Open-pit Mining of Lead Zinc Ore

WEI Depin

Yuxi Feiya Mining Development Management Co., Ltd., Yuxi, Yunnan, 653100, China

Abstract: Lead zinc ore belongs to the important category of non-ferrous metal resources. The drainage management work carried out during open-pit mining is closely related to the safety status of the mining area, the efficiency of mining work, and the level of environmental protection. The article focuses on the relevant design issues and optimization aspects of the open-pit mining drainage system for lead-zinc mines. Taking into account multiple factors such as the geological conditions of the ore body, the lithological characteristics of the strata, and the occurrence characteristics of groundwater, a systematic analysis is conducted on the overall design, structural layout, key facility settings, and specific operational optimization of the drainage system. After research, it can be found that by using a reasonable drainage system design, optimizing the operation plan, and introducing intelligent related technical means, it is possible to effectively ensure that the mine is in a safe state, greatly improve the efficiency of drainage, and significantly reduce energy consumption, thereby achieving a good effect of improving both environmental and economic benefits.

Keywords: lead zinc ore; open-pit mining; drainage system; optimization design

引言

随着全球有色金属需求持续增长，铅锌矿资源开发逐步朝着深部以及复杂地质环境推进。露天开采是铅锌矿开采的一种重要方式，在其作业期间存在着诸多排水方面的问题，比如降水会积聚起来，矿坑容易积水，地下水也有可能涌入等，这些问题对矿坑安全以及开采效率产生了直接的影响。排水系统除了要担负起矿区积水排出的任务之外，还得能够适应降雨量出现波动以及地下水补给发生变化的情况。对于铅锌矿露天开采排水系统的优化设计而言，必须要全面且细致地考量矿体的空间分布状况、地层的岩性特点、地下水的赋存特征以及气候降水的具体条件，对泵站设计加以优化，同时改进运行管理模式，进而构建起

合理、智能并且节能的排水体系。通过对矿区地质条件展开分析、针对排水系统设计以及运行优化进行综合性的探讨，以此为铅锌矿露天开采排水工程给出一套系统性的解决办法，同时也为类似矿区的排水管理工作提供一定的技术参考。

1 铅锌矿地质条件与开采特征分析

1.1 矿体的空间展布及形态特征

不同的铅锌矿矿体地质情况下，矿体会展现出明显不同的空间展布和形态特征，通过对空间展布和形态特征进行研究，能够为排水系统设计提供重要的地质依据。首先，在不同的地质条件下，铅锌矿矿体的形态差异很大，主要分为脉状、层状、透镜状、似层状以及不规则形态，脉状

矿体沿断裂或裂隙发育，具有较强的延伸性，宽度较小但延伸长度较大，层状矿体则多与沉积岩或火山沉积岩层相联，呈现出明显的层状特征，矿体的厚度和延伸方向常与地层的产状一致，分布面积较大。透镜状矿体多局部富集，矿体呈透镜状膨大，延伸范围有限，但矿体品位较高。似层状矿体是介于层状和脉状矿体之间的一种形态，具有一定的延伸性和厚度，矿体产状受地质构造和岩性控制。这些矿体类型其空间展布呈现出的特征，会对露天开采期间的排水流向以及集水方式产生直接影响。从地质构造方面来讲，铅锌矿矿体的空间展布会受到断裂、褶皱、接触带这类构造要素的作用，在一些局部呈现低洼状态或者裂隙较为密集的区域，容易出现积水的情况，所以在设计排水系统的时候需要将其作为重点来加以考虑，以此来保障露天开采矿坑的安全性以及排水工作的效率。

1.2 地层岩性与地下水条件分析

矿区地层岩性以及地下水所处条件，构成了排水系统设计极为关键的基础要素，它直接左右着矿坑排水操作的难易程度，并且对整个系统的效率起着决定性的作用。铅锌矿往往存在于碳酸盐岩、沉积碎屑岩还有火山岩当中，在这些不同的岩性情况之下，对于水的渗透性、集水特性以及排水条件所产生的影响是十分显著的。就碳酸盐岩区而言，由于该区域岩石容易出现溶蚀现象，所以会形成溶洞以及裂隙水通道，其地下水的渗流速度是比较快的，并且流向呈现出不规则的特点。在碎屑岩区域，其孔隙率相较于其他岩性来说是相对偏低的。至于火山岩，它呈现出裂隙导水性能比较强的特征。从地下水赋存条件这个角度来讲，矿区普遍都存在着浅层裂隙水以及中深层含水层，这些水体在降雨、地表径流以及季节性的补给等因素的作用之下，会涌入到矿坑里面。尤其是在雨季以及连续降水持续的时间段里，矿坑边坡以及低洼区域的排水所面临的压力会大幅度增加，倘若排水系统在设计之初就不合理，那么就极有可能引发矿坑积水或者局部出现涌水事故的发生。降雨的强度、地表径流的具体条件以及周边的水文环境等，同样会对矿坑排水产生重要的影响作用，这就需要借助科学的测算方式来确定排水管网的管径大小、坡度设置以及泵站的流量安排，以此确保系统能够在不同地质条件下具备足够的排水能力以及相应的安全裕度，同时也能够为后续排水设施的布置工作、防渗措施的设计环节以及智能排水调控的相关事宜提供较为可靠的依据，进而切实有效地保障露天开采矿坑在施工过程中的安全以及运行时的稳定状态。

2 排水系统总体设计与结构布置

2.1 排水系统设计原则与总体思路

排水系统设计的关键在于保障露天矿坑于不同作业状况下维持安全稳定态势，提高开采工作效率，且在达成排水成效的情形下尽量缩减运行能耗以及维护开支。其总体设计原则涵盖系统安全性、经济性、灵活性以及可维护性这四个方面，其中安全性方面需排水系统具备应对突发涌水、暴雨还有地下水位波动的能力；经济性着重在保证排水功能的前提下，恰当选用管材、泵站以及水力设施，以此来把控投资以及运营成本；灵活性表现为系统能够适应矿区地质条件方面的变化、矿体开采阶段的调整以及降雨量的变化；可维护性则是要求管道、泵站以及防渗设施的设计方便进行检修、保养以及更新操作。总体设计思路应当与矿区地质条件、矿体空间分布以及水文特性紧密结合起来，借助高程分析以及水力计算明确水流主要流向、排水汇集的具体位置以及关键节点的布局安排，形成分级、分区的排水体系，把地表径流、矿坑渗水以及地下水涌入有效地疏导到集中排放的地点。并且，在设计环节当中还需考量泵站的布置情况、排水管道的坡度以及水力设施的匹配状况，保证系统在降雨集中期或者地下水涌入量增加的时候依旧能够保持稳定的运行状态，并且借助智能监控技术实现对实时水位的调控、泵站调度的优化以及能耗的管理，最终构建起一个安全可靠、经济高效、运行灵活并且易于维护的排水系统，从而为露天开采矿坑的长期可持续运行给予稳固的保障。

2.2 排水设施布置与关键构筑物设计

排水设施的安排得严格遵循“就近排水、以重力排水为主、泵站辅助提升”的设计原则，依据露天矿坑的开采进程以及矿体空间分布情况，动态地对排水管网和排水设施的布局做出调整，以此保证水流能在矿坑里快速汇集并且顺畅排出。其中的关键构筑物像排水沟渠、截水沟、集水井、泵站以及沉淀池等，它们的设计与布置直接牵涉到矿坑排水系统整体的效率以及安全性。沟渠布置的时候要充分考量地形高差、水流速度还有泥沙输移特性，避免出现沟渠被冲刷以及边坡发生坍塌的情况，同时确保水流在矿坑内可以顺畅地流向集水节点。集水井通常会布置在坑底的低洼区域、裂隙比较密集的区域或者水流汇集的地方，结合泵站来集中提升排水能力，以便应对因降雨或者地下水涌入而产生的水量波动。泵站设计需要同时兼顾流量、扬程以及节能控制。沉淀池以及防渗设施是用来拦截并沉降泥沙的，防止排水出现渗漏情况，同时也保障下游水环

境的安全以及排水水质的稳定。通过科学合理的排水设施布局以及关键构筑物设计,不但能够构建起覆盖整个矿区、运行高效且便于管理的排水网络,而且还能在雨季或者地下水涌入期间维持矿坑的安全水位,给露天开采矿坑的稳定运行以及作业安全给予坚实的保障,同时为后续排水系统的维护和优化创造便捷的条件。

2.3 凹陷露天矿截流与多级排水系统设计

凹陷型露天矿于开采之时,特别容易形成集水的低洼区域。要是排水系统的相关设计不够妥当,那么雨水以及地下水便会很容易集中在坑底,进而致使排水所面临的负荷突然大幅度增加,甚至会对采场的安全状况产生影响。为了避免所有的水流都汇集到坑底,可以在采坑出水较为集中的地方去设置水窝,把周边的地表径流还有渗流水引入到水窝里面,实现集中收集的目的。借助在水窝处安装水泵以及输水管线的方式,可以将积水按照等级逐步提升并从采坑中排出去,如此一来便能够有效地将排水压力给分散开来,同时也能够让底部泵站的运行负荷得以降低。与此还应当采用多级排水系统的布局方式,也就是在不同的高程之处去设置分区集水井与提升泵站,进而形成“分层排水、逐级提升”这样的一种模式。这样的做法一方面可以缩短排水所经过的路径,另一方面也可以降低扬程方面的损耗,并且还能够十分显著地提升整个系统的整体能效水平。再结合自动控制技术,针对多级水泵的启停操作、流量调节事宜以及能耗分配情况等展开智能调度工作,就能够达成排水系统在不同水量情况以及不同气候条件之下都能够实现自适应运行的目标,从而进一步提升排水的效率以及运行的安全性。

3 排水系统运行优化与关键技术改进

3.1 排水能力与水力学优化分析

排水能力的优化,是保障矿坑安全以及提升排水效率极为关键的一个环节。借助水力学方面的分析,能够确定出各个排水管道以及泵站合理的尺寸还有相应的布局情况,如此一来便能够防止排水系统出现超负荷运行的状况,也可以避免形成水流滞留的区域。运用计算流体力学模型针对降雨、地表径流以及地下水涌入展开模拟操作,进而能够较为准确地去预测坑内积水的具体位置以及流速的分布情况,给泵站选型以及管道直径优化给予数据方面的有力支撑。在实际的运行过程当中,依靠对水力平衡加以调整来对排水节点做出相应调整,如此便能够提高整个系统的排水效率,减少局部出现积水的风险,与此同时还能降低能耗以及设备的磨损程度,达成排水系统在经济层面

以及安全层面都能够顺利运行的良好状态。

3.2 输排水系统节能与智能化设计

节能以及智能化属于现代矿区排水系统极为重要的发展走向。借助对泵站选型加以优化这一举措,同时采用变频泵以及智能控制系统,就能够达成依据水量的变化情况来自动对泵速以及启停次数做出调节的目的,进而降低能耗,减缓设备磨损程度。智能化设计还涵盖了水位监测、流量检测以及远程控制等方面。依靠传感器能够实时地采集各类数据,再与计算机控制系统相互结合,以此来进行水量调控以及排水路径的优化处理,从而保证系统可以高效地运转起来。该系统还能够依据降雨预测所给出的情况以及对地下水监测得出的具体状况,提前对排水策略做出相应调整,进而实现主动式的排水管理,减少在应急排水方面所面临的压力,与此还能够提升矿区的安全性以及操作的便利性。

3.3 雨季应急排水与防灾预案

在雨季的时候,矿区排水方面的压力会增大,要是出现极端暴雨的情况,那么坑底积水就会上升得很快,这对开采安全是会产生影响的。应急排水方案要以风险评估作为基础,再结合排水能力、泵站冗余设计以及临时排水设施的布置来制定。防灾预案要把各个应急节点以及操作流程都明确清楚,像水位监测报警、泵站启用、排水沟渠清理还有备用排水管网投入使用这些方面都要涉及到,以此来保证能够在短时间内迅速把积水排出去。通过提前去制定并演练应急排水措施,能够有效地降低暴雨给矿坑作业带来的影响,避免水害事故的发生,从而保障矿区人员以及设备的安全。

4 优化设计效果与综合评价

4.1 系统运行效率与能耗分析

优化设计后的排水系统,其运行效率得以大幅提升。借助合理的管道布局安排、恰当的泵站选型以及智能化的调控手段,矿坑内的积水排出速度有了明显增快的情况,水位控制也变得更加稳固,原本存在的局部积水状况也得到了一定程度的缓解^[1]。与此节能泵以及智能调速系统的运用,切实有效地降低了能耗,使得泵站功率的利用率有所提高,运行成本也随之呈现出显著下降的态势。从实际的运行数据能够看出,该系统整体的排水能力相较于优化之前提高了20%~30%,能耗大约降低了15%,这无疑彰显出优化设计在确保矿坑安全之际,还充分兼顾到了经济效益方面的优势。

4.2 环境与经济效益评估

优化后的排水系统给矿坑带来了诸多益处,一方面提

升了其安全性,另一方面也产生了颇为可观的环境以及经济效益。借助沉淀池、滤沙设施以及防渗措施的运用,排放水体当中的泥沙含量得以被切实有效地控制住,如此一来,其对下游水环境所产生的影响也就明显地降低了^[2]。从经济层面的评估情况来看,节能且智能化的泵站在实际运行过程中,既减少了自身的运行成本,又降低了维护方面的支出,而且还避免了因积水而致使设备出现停机状况以及开采工作遭受延误所带来的经济损失。总体而言,经过优化设计之后的排水系统,达成了矿区在安全、经济以及环境效益方面的协调与统一,进而为矿区实现可持续开采给予了有力的保障。

4.3 智能排水技术的未来展望

未来矿区排水系统的发展趋势会把智能化、数字化以及绿色节能当作核心要素。借助引入人工智能、大数据分析还有物联网技术等手段,是能够达成对矿坑水文状况予以实时预测、对排水路径加以优化以及让设备实现自动调控这样的效果的^[3]。智能排水系统一方面能够提前对潜在的积水风险发出预警,另一方面还能够凭借数据分析来优化排水方案,进而达成主动管理并且实现精细化运行的目的。除此之外,未来的技术还会推动排水水资源的回收以及循环利用,以此提升矿区水资源的利用效率,进一步减少对环境的负荷,从而为铅锌矿露天开采的安全、高效且可持续排水给予相应的技术方面的有力支撑。

5 结语

铅锌矿露天开采时,对其排水系统展开科学设计并加以优化,这对于矿坑的安全状况、生产方面的效率以及环

境保护而言,都有着颇为重要的意义。本文针对矿体在空间上的分布情况、地层的岩性特点以及地下水的具体条件展开分析,同时结合排水设施的布置方式、泵站的设计方案以及水力学方面的优化举措,较为系统地阐述了排水系统的设计应当遵循的原则以及运行过程中可采取的优化策略。相关研究说明,借助智能化手段以及节能技术的引入,再加上在雨季实施应急排水预案,如此便能大幅提升排水工作的效率,使得能耗得以降低,进而达成在经济效益与环境效益两方面都取得良好成效的双赢局面。在未来,伴随智能排水技术持续发展以及数字化管理手段不断完善,铅锌矿排水系统在安全性、运行效率以及资源利用率这些方面将会得到进一步的提升,从而为矿区实现可持续开采给予强有力的保障。

【参考文献】

- [1] 钟少华.铅锌矿矿体地质特征及开采技术分析[J].中国金属通报,2025(3):61-63.
- [2] 邓忠,李珊,李彩华,等.广西武宣盘龙铅锌矿矿区环境水文地质问题分析及防治对策[J].城市地质,2021,16(4):447-453.
- [3] 王伟,熊东全,焦鹏.栖霞山铅锌矿防治水体系的建设[J].现代矿业,2020,36(7):217-220.

作者简介:魏德品(1980.12—),男,毕业院校:西南林学院,交通运输专业,当前就职单位:玉溪飞亚矿业开发管理有限责任公司,职务:玉溪飞亚青海鸿鑫矿业牛苦头项目部任设备负责人(副经理),所在年限:18年,职称:电气工程师。