

尾矿库排水系统设计与施工质量控制

李跃军

云南华联锌铟股份有限公司 云南 文山 663701

【摘要】：尾矿作为矿山资源开发利用的必然产物，尾矿库的建设与运行直接关系区域环境质量保护。近年来，我国陆续出台多个文件，对加强尾矿污染防治工作提出明确要求。为解决尾矿库排水系统的污染防控问题，本文简要分析了尾矿库排水系统设计与施工质量控制的重要性，并针对尾矿库排水系统设计的优化策略进行了深入探究，提出了尾矿库排水系统施工质量控制的有效路径，以期实现尾矿污染物达标排放、促进水资源节约重复利用、改善矿区生态环境。

【关键词】：尾矿库；排水系统；设计；施工；质量控制

DOI:10.12417/2811-0722.25.09.075

引言

尾矿库排洪系统的设计与施工质量控制，需在充分考虑库址地形地质条件、工程造价、矿山管理水平等诸多因素的基础上，尽量选用事故率较低的排水井加隧洞等排洪型式。同时，尽量在尾矿库上游或库外设置截洪设施，以最大限度减少入库洪水量，减缓库内排洪压力，从而促进尾矿与资源环境和谐发展。

1 尾矿库排水系统设计与施工质量控制的重要性

（1）保障尾矿库安全运行，防范溃坝风险

尾矿库排水系统是维系库内水位稳定的核心设施，其设计与施工质量直接影响尾矿库安全。设计需精准计算汇水面积、洪水频率等参数，确保排水构筑物尺寸与排水需求匹配，避免暴雨时水位骤升超出坝体承载能力。施工中应保证管道接口严密、构筑物混凝土强度达标，维持系统可靠性。排水井井筒设计需考虑尾矿砂侧压力，避免运行中出现裂缝影响排水效率或引发坍塌，导致库内水位失控。科学设计与严格施工可使排水系统具备足够排水能力，维持坝体浸润线在安全高程，为尾矿库安全筑牢根基。

（2）保护生态环境，防止环境污染事故

排水系统质量对周边生态环境影响显著。合理设计应确保尾矿水有效处理，避免未沉淀污水排放导致重金属、悬浮物污染下游水体、土壤和植被。施工需保证管道完好、接口严密，防止尾矿水渗入地下污染地下水。截洪沟施工应按设计拦截山洪，避免山洪携带尾矿砂冲入农田河流破坏生态。通过加强设计与施工质量控制，可确保尾矿水达标排放，减少污染物扩散，保护周边生态安全。

（3）维护周边设施与人员安全，降低灾害影响

尾矿库周边多有村庄、道路等设施，排水系统可靠运行是安全保障的前提。科学设计应确保暴雨时及时排水，避免水位过高增加坝体渗透压力，引发滑坡、坍塌等灾害。施工质量优良的系统可避免涵管堵塞、闸门故障等问题，防止排水不畅加剧水位上涨。排洪隧洞施工需保证混凝土密实，避免水流冲刷

导致洞体破损影响排洪能力。重视设计与施工质量，可确保系统在各种工况下运行，降低灾害对周边的影响。

（4）促进企业可持续发展，提升社会责任感

排水系统设计与施工质量控制关乎企业安全生产与可持续发展。科学优良的系统可保障尾矿库长期运行，减少故障导致的停产损失与维修成本，提高经济效益。重视质量控制能体现企业对安全与环保的责任，提升社会形象。反之，质量问题会引发污染或安全事故，使企业面临法律制裁、经济赔偿，影响可持续发展。加强质量控制是企业发展的必然选择，也是履行社会责任的体现。

2 尾矿库排水系统设计的优化策略

（1）强化地质勘察与数据整合，为设计提供精准依据

强化地质勘察与数据整合是优化尾矿库排水系统设计的基础工作。在勘察阶段，应采用多种先进的勘察技术和手段，全面、深入地了解库区的地质条件。运用地质钻探、物探以及水文地质试验等方法，详细查明库区的地形地貌、地层结构、岩石性质、裂隙发育情况、水文地质参数以及不良地质现象的分布和发育程度。

同时，建立完善的地质数据库，将勘察得到的数据进行系统整理、分析和存储，实现数据的可视化和信息化管理。通过地理信息系统（GIS）等技术，将地质数据与排水系统设计模型进行整合，构建三维地质模型，直观地展示库区地质条件与排水系统的空间关系。这样可以帮助设计人员更准确地把握地质特征，为排水系统的合理布局和参数设计提供精准依据。

例如，在进行排水井、排水涵管、排洪隧洞等排水构筑物的位置选择和结构设计时，可根据三维地质模型避开不良地质区域，选择地质条件相对稳定的地段，以减少地质因素对排水系统运行的影响，提高排水系统的可靠性和安全性。

（2）优化排水系统选型与布局，提升排水效率

优化排水系统的选型与布局是提升尾矿库排水效率的关键环节。在选型方面，应根据尾矿库的类型、库容大小、坝高、库区地形地质条件、洪水频率以及尾矿排放方式等因素，综合

比较不同排水系统形式的适用性和经济性, 选择最适合的排水系统类型。

在布局上,应遵循“分区排水、就近排放、路径最短、阻力最小”的原则。对于面积较大的尾矿库,可根据库区地形和汇水区域,将排水系统划分为多个独立的排水区域,每个区域设置相应的排水构筑物,以减少单个排水构筑物的负担,提高整体排水效率。同时,合理规划排水管道的走向,尽量避免管道弯曲和起伏,减少水流阻力,确保排水畅通。

此外,还应考虑尾矿库的后期发展和扩容需求,在排水系统设计中预留一定的发展空间,避免因尾矿库扩容而导致排水系统失效或需要大规模改造。例如,在设计排水井时,可根据尾矿库的最终堆积高程,合理确定排水井的高度和数量,并采用可扩展的结构形式,以便在尾矿库扩容时能够方便地进行加高或增设。

(3) 加强材料选择与结构设计, 提高系统可靠性

加强材料选择与结构设计是提高尾矿库排水系统可靠性的重要保障。在材料选择方面,应根据排水系统的使用环境和功能要求,选择具有良好耐腐蚀性、耐磨性、强度高和耐久性好的材料。

对于排水管道,当输送的尾矿水具有较强的腐蚀性时,可选用耐腐蚀的管材,如玻璃纤维增强塑料(FRP)管、钢塑复合管等;在磨损严重的部位,可采用耐磨性能好的管材或在管道内壁设置耐磨衬里。对于排水构筑物的混凝土结构,应选用质量优良的水泥、骨料和外加剂,合理设计混凝土配合比,提高混凝土的强度、抗渗性和抗裂性,以防止混凝土结构在长期使用过程中出现裂缝、渗漏等问题。

在结构设计方面,应充分考虑排水系统所承受的荷载,采用合理的结构形式和计算模型进行设计。例如,排水井的井筒结构设计应考虑尾矿砂的侧压力和地下水的浮力作用,通过合理的配筋和结构尺寸设计,确保井筒的稳定性和安全性;排洪隧洞的衬砌结构设计应根据围岩的地质条件和荷载情况,选择合适的衬砌形式,并进行详细的结构计算,以保证隧洞的承载能力和抗渗性能。

(4) 引入智能设计与数字化技术, 提升设计水平

引入智能设计与数字化技术是提升尾矿库排水系统设计水平的重要途径。利用 CAD、BIM 技术等软件,进行排水系统的三维建模和可视化设计,直观地展示排水系统的空间布置和结构形式,方便设计人员进行方案比选和优化。

同时,借助计算流体力学 CFD、有限元分析等数值模拟技术,对排水系统的水流状态、压力分布、泥沙淤积等情况进行模拟分析,预测排水系统在不同工况下的运行效果,为设计参数的优化提供依据。例如,通过 CFD 模拟可以分析排水管道内的水流速度和压力分布,优化管道的直径和坡度,避免出现

水流不畅或局部冲刷等问题；通过有限元分析可以评估排水构筑物在各种荷载作用下的应力和变形情况，优化结构设计，提高结构的安全性和可靠性。

此外，还可以建立排水系统的数字化模型，将设计数据、施工数据、运行数据等进行整合，实现排水系统的全生命周期管理。在设计阶段，数字化模型可以帮助设计人员更好地理解和优化设计方案。在施工阶段，数字化模型可以为施工过程提供指导，确保施工质量。在运行阶段，数字化模型可以结合实时监测数据，对排水系统的运行状态进行评估和预测，及时发现和处理潜在的问题，提高排水系统的管理水平和运行效率。

3 尾矿库排水系统施工质量控制的有效路径

(1) 强化施工前期准备工作, 筑牢质量控制基础

强化施工前期准备工作是确保尾矿库排水系统施工质量的基础。施工前，相关部门需组织设计、施工、监理等单位开展技术交底，深入理解设计意图，明确施工难点与质量控制点。同时，开展现场勘察复核，对比设计图纸与实际地形地质条件，若发现排水构筑物位置与不良地质区域重叠，应及时与设计单位沟通调整方案。例如：在尾矿库排水涵管施工之前，可以通过现场复核发现原设计路线穿越断层破碎带，随即调整路线避开危险区域，并优化涵管基础设计，采用混凝土换填处理软弱地基，为后续施工质量奠定基础。除此之外，还需编制详细的施工组织设计，明确各工序施工工艺、质量标准及验收流程，配备专业的施工设备与检测仪器，确保施工准备工作充分到位。

(2) 优化施工工艺与工序控制, 提升施工质量水平

优化施工工艺与工序控制是提升尾矿库排水系统施工质量的关键。在排水井施工中,采用“分段浇筑、分层振捣”工艺,每段浇筑高度控制在3-5米,振捣时遵循“快插慢拔”原则,确保混凝土密实度。例如:在尾矿库排水井施工时,要严格控制每层混凝土浇筑厚度不超过50厘米,使用插入式振捣器振捣至表面泛浆、无气泡冒出,从而有效避免蜂窝麻面等质量问题。在管道安装环节,要采用全站仪定位控制管道轴线偏差,不超过10毫米,高程偏差不得超过5毫米,接口处采用柔性连接方式,如橡胶圈密封接口,确保接口严密性。而对于排洪隧洞施工,则可采用新奥法原理,根据围岩级别选择合适的开挖方法与支护参数,如在III类围岩段采用光面爆破技术,控制超挖量在15厘米以内,及时施作初期支护,进而保证隧洞开挖成型质量。

(3) 严格材料与设备质量管控, 夯实质量控制根基

严格材料与设备质量管控是夯实尾矿库排水系统施工质量的根基。相关部门需要在建立材料进场检验制度的基础上，对水泥、钢材、管材等主要材料，核查出厂合格证与质量检验报告，并按规范要求抽样复检。例如：在尾矿库排水系统

施工中,要对进场的FRP管材进行环向刚度、轴向拉伸强度等指标检测,对不合格管材坚决退场,避免因材料质量问题影响排水系统性能。对于混凝土结构,严格控制配合比设计,根据现场砂石料含水率调整施工配合比,每台班至少检测2次混凝土坍落度,确保混凝土强度达标。同时,还要加强施工设备管理,对钻机、混凝土搅拌机等关键设备定期维护保养,施工前检查灌浆泵的压力稳定性、搅拌机的搅拌均匀性等设备运行状态,从而保证设备性能满足施工要求。

(4) 加强施工人员管理与技术培训,提高质量意识与技能

加强施工人员管理与技术培训是提高尾矿库排水系统施工质量的重要保障。因此,需要建立施工人员持证上岗制度,对焊工、混凝土工等特殊工种,要求必须持有相应的职业资格证书方可上岗作业。例如,尾矿库排水系统施工前,对所有焊工进行现场焊接考核,考核合格者发放上岗证书,确保焊接质量符合要求。同时,定期开展技术培训与质量教育活动,组织施工人员学习施工规范与质量标准,分析典型质量事故案例,提高施工人员的质量意识与责任意识。通过技术交底与现场指导,使施工人员熟练掌握施工工艺与操作要点,如在排水井钢筋绑扎过程中,技术人员现场指导工人控制钢筋间距与保护层厚度,确保钢筋施工质量。

(5) 完善质量验收与监测体系,确保施工质量可控

完善质量验收与监测体系是确保尾矿库排水系统施工质量可控的最后一道防线。相关部门需要建立“三检制”(班组自检、作业队复检、项目部终检)与监理旁站制度,对每道工序进行质量验收,验收合格后方可进入下道工序。例如,在尾矿库排水涵管沟槽开挖完成后,先由班组自检沟槽尺寸与地基承载力,再由作业队复检,最后报项目部终检,经监理工程师验收合格后,方可进行涵管安装。同时,引入第三方检测机构,对关键部位与隐蔽工程进行专项检测,如采用地质雷达检测混凝土结构内部密实度,通过压水试验检测排水管道接口密封性。此外,建立施工期监测系统,对排水构筑物的位移、沉降、应力等参数进行实时监测,如在排水井顶部布置位移监测点,以便定期观测井体变形情况,及时发现并处理潜在的质量隐患。

4 结语

总而言之,尾矿库排水系统的设计与施工质量控制是一项系统工程。设计上需强化地质勘察、优化系统选型布局、注重材料结构设计并引入智能技术。施工中要严控各环节质量,确保设计落地。只有实现设计与施工质量控制深度协同,以系统性思维贯穿全流程,才能筑牢尾矿库安全防线,既守护生态环境与周边群众生命财产安全,也为企业可持续发展夯实基础,推动尾矿库管理向科学化、规范化方向迈进。

参考文献:

- [1] 钟俞昊.负压对某尾矿库排水系统的影响及优化研究[D].长春工程学院,2022.
- [2] 刘莘莘.大型尾矿库闭库后排水系统技术改造[J].世界有色金属,2020,(20):227-228.
- [3] 毛辉,候鹏博,李嘉伟.研究尾矿库排洪系统的封堵方法[J].工程建设与设计,2020,(16):109-110.
- [4] 杨明军.某尾矿库排洪系统优化技术研究[J].世界有色金属,2020,(09):273-274.
- [5] 刘兵,王绍平,罗长海,等.城门峒尾矿库闭库后排水系统技术改造[J].现代矿业,2020,35(07):240-243.