

底板出水防治锚索的结构优化设计研究

王 旭

中国有色金属工业昆明勘察设计研究院有限公司 云南 昆明 650000

摘 要: 本文聚焦底板出水防治锚索, 先阐述其结构特性与优化需求, 指出其兼具锚固加固与防渗止水功能, 需提升承载、密封及工况适配性。接着介绍结构优化设计核心要点, 涵盖锚固体、锚索体、密封防渗结构的优化。随后说明性能验证方法, 包括锚固承载、防渗密封、工况适配性能验证。最后阐述施工适配要求, 涉及施工工艺调整、质量控制要点、施工环境适配措施。通过全面系统的研究, 为底板出水防治锚索的设计、验证与施工提供科学依据, 保障地下工程安全稳定。

关键词: 底板出水防治; 锚索结构优化; 设计

引言: 在地下工程领域, 底板出水问题屡见不鲜, 这不仅影响工程结构的稳定性, 还可能引发一系列安全隐患。底板出水防治锚索作为一种具备锚固加固与防渗止水双重功能的复合结构, 成为解决该问题的关键手段。然而, 面对复杂多变的地下环境, 传统锚索结构难以满足实际需求。因此, 深入研究底板出水防治锚索的结构特性, 开展针对性的结构优化设计, 并验证其性能, 明确施工适配要求, 对于提高地下工程的安全性、稳定性, 保障工程的长期可靠运行具有重要的现实意义。

1 底板出水防治锚索的结构特性与优化需求

底板出水防治锚索作为一种具备锚固加固与防渗止水双重功能的复合结构, 在地下工程等领域发挥着关键作用。其核心构成涵盖锚索体、锚固体、导向装置以及密封防渗组件。与常规支护锚索不同, 它不仅要实现承载加固, 还需满足防渗止水的技术要求。(1) 从结构特性方面深入剖析, 常规锚索的设计核心在于承载加固, 重点围绕提升锚固力与抗拔性能展开, 以有效约束围岩变形, 保障结构稳定。而底板出水防治锚索, 在确保锚固强度达标的基础上, 要借助密封结构阻断水流在锚索体与孔壁之间的渗透通道。同时, 鉴于底板出水所形成的高湿度、高水压等恶劣工况, 该锚索必须具备良好的抗腐蚀与抗水稳定性, 以适应复杂环境。(2) 基于底板出水防治的核心诉求, 锚索结构优化需着重关注三个关键方向。其一, 提升锚固系统的承载稳定性, 确保锚索能切实有效地约束底板围岩变形, 防止水流冲刷对围岩稳定性造成破坏。其二, 强化密封防渗性能, 通过结构优化手段减少水流渗透路径, 提高锚索与孔壁、锚固体之间密封的可靠性。其三, 增强结构对工况的适配性, 保证锚索在高水压、高湿度以及围岩不均匀变形等复杂条件下, 依然能够维持稳定的性能。此外, 结构优化过程

中还需兼顾施工便捷性, 避免因过度复杂的设计增加施工难度与成本, 实现性能与经济性的平衡^[1]。

2 底板出水防治锚索结构优化设计核心要点

2.1 锚固体结构优化设计

锚固体是锚索传递锚固力的核心载体, 其结构形式与参数直接决定锚索的锚固效果, 针对底板出水工况, 锚固体优化需重点关注锚固强度与抗渗整体性。在结构形式选择上, 传统圆柱形锚固体在高水压下易出现应力集中现象, 可优化采用变截面锚固体设计, 在锚固段前端设置锥形导向结构, 后端采用扩大头形式, 提升锚固体与围岩的接触面积及咬合力, 增强锚固稳定性。同时, 可在锚固体内部设置环形加劲肋, 提升锚固体的抗剪强度与抗变形能力, 避免因底板围岩不均匀变形导致锚固体开裂。

在材料配比与参数设计方面, 需优化锚固体注浆材料的性能, 选用抗渗性强、早期强度高、粘结性能好的注浆材料, 可在水泥基注浆材料中掺入适量膨胀剂与防水剂, 减少注浆体收缩裂缝, 提升锚固体的防渗性能与粘结强度。锚固体长度与直径需结合底板围岩力学性质及出水压力精准计算, 确保锚固体能深入稳定围岩层, 同时满足抗拔承载力与抗水压渗透要求, 一般情况下, 出水压力较大区域需适当增大锚固体直径与锚固长度^[2]。

2.2 锚索体结构优化设计

锚索体作为受力核心构件, 其结构优化需兼顾承载能力、抗腐蚀性能与防渗适配性。在锚索体材质选择上, 常规碳钢锚索在高湿度环境下易腐蚀, 可选用高强度耐腐蚀钢材, 如不锈钢绞线或镀锌钢绞线, 同时配合防腐涂层处理, 提升锚索体的抗腐蚀能力。针对底板出水区域可能存在的水流冲刷与围岩摩擦作用, 可在锚索体外部增设防护套管, 套管材质选用耐磨、耐腐蚀的高分子材

料,避免锚索体直接与围岩接触导致磨损。

在锚索体结构形式上,可优化采用多股钢绞线扭合结构,提升锚索体的整体承载能力与抗疲劳性能,同时在钢绞线之间填充柔性密封材料,减少水流沿钢绞线间隙渗透的路径。此外,需合理设计锚索体的直径与股数,结合锚固力需求与施工可行性确定参数,确保锚索体既能满足承载要求,又能与密封防渗结构精准适配,避免因锚索体直径过大或过小影响密封效果。

2.3 密封防渗结构优化设计

密封防渗结构是底板出水防治锚索阻断水流渗透的关键环节,其优化核心是构建多道密封防线,提升密封可靠性与耐久性。可采用“分级密封+柔性适配”的结构设计思路,在锚索孔口设置第一道刚性密封装置,选用金属密封环与密封垫组合结构,通过螺栓紧固实现孔口初步密封;在锚固体与孔壁之间设置第二道注浆密封层,采用高压注浆工艺填充孔壁与锚固体之间的间隙,形成连续的防渗屏障;在锚索体与锚固体之间设置第三道柔性密封层,选用遇水膨胀橡胶圈或聚氨酯密封材料,利用材料的膨胀特性填充间隙,同时适应锚索体与锚固体之间的微小相对位移。

此外,需优化密封结构的受力适配性,避免因底板围岩变形或锚索体受力伸缩导致密封结构破损。可在密封装置与围岩之间设置弹性缓冲垫,吸收围岩变形产生的应力,减少对密封结构的冲击;同时,密封材料需选用耐老化、耐水压、粘结性能强的优质材料,确保在长期高水压、高湿度环境下仍能保持良好的密封性能。

3 底板出水防治锚索结构优化的性能验证方法

3.1 锚固承载性能验证

锚固承载性能是锚索实现底板出水防治加固功能的核心要素,对其进行科学、全面的性能验证是确保结构优化有效性的关键步骤,重点在于精准测试优化后锚索的抗拔承载力与变形稳定性。(1)在验证方法上,采用室内模型试验与数值模拟相结合的综合策略。室内模型试验方面,依据实际工程地质条件,精心构建高度相似的试验模型,从地层结构到岩土参数都力求精准还原。通过分级加载试验,细致记录锚索在不同荷载等级下的位移变化规律,绘制荷载-位移曲线,以此准确确定锚索的极限抗拔承载力,为实际工程应用提供坚实可靠的数据支撑。(2)数值模拟方面,借助专业的数值模拟软件,建立锚索锚固系统的三维精细化模型,充分考虑各部件的几何形状、材料属性及相互作用关系。深入分析优化后锚固体、锚索体的应力分布特征,通过与优化前的应力分布情况进行对比,直观呈现结构优化对提升锚固承载

性能的实际效果,确保锚索在设计荷载作用下,不会出现滑移、破坏等危及工程安全与稳定的问题,有力保障底板出水防治工作的顺利开展^[3]。

3.2 防渗密封性能验证

防渗密封性能是底板出水防治锚索的关键性能指标,其验证需精准模拟实际底板出水的高水压环境,全面测试优化后锚索结构的抗渗能力。(1)可运用高压渗水循环试验装置开展验证工作。将优化后的锚索试件稳妥置于模拟高水压的试验环境中,通过持续且稳定地注水加压,营造出与实际工况相近的压力条件。在此过程中,利用高精度的监测设备,实时、准确地监测锚索周围的渗水量与渗水压力变化情况,以此为依据科学评估密封结构的防渗效果。(2)为进一步验证密封材料与结构的长期稳定性,需开展长期耐久性试验。把试件放置在高湿度、高水压的环境中持续养护,按照一定的时间间隔定期测试其防渗性能变化。通过长期的跟踪监测,确保锚索在长期使用过程中,密封性能不会因环境因素和时间推移而失效,有效避免因密封问题导致的出水状况,保障工程的安全与稳定运行。

3.3 工况适配性能验证

工况适配性能验证是保障优化后的底板出水防治锚索在复杂实际工况中稳定可靠运行的关键环节,其核心目的在于全面且精准地测试锚索在复杂工况下的稳定性,尤其着重考量模拟底板围岩不均匀变形、高湿度腐蚀等极端恶劣条件。(1)在验证过程中,围岩变形模拟试验是重要手段之一。借助特定的加载装置,对精心制作的试验模型施加不均匀荷载,使其产生与实际工况高度相近的变形情况。在此期间,运用高精度传感器等先进设备,实时且精准地测试锚索结构在变形过程中的承载性能与密封性能变化。通过详细记录和分析这些数据,能够精准验证锚索对围岩变形的适应能力,为后续优化提供数据支撑。(2)开展腐蚀环境模拟试验也必不可少。将锚索试件放置在含有侵蚀性介质的高湿度环境中,严格按照预定的时间周期,测试其在不同腐蚀周期下的力学性能变化,如抗拉强度、屈服强度等关键指标。通过对比分析不同腐蚀周期下的测试数据,能够科学评估结构优化对提升抗腐蚀性能的实际效果,确保锚索能够充分适配底板出水区域的复杂工况,切实保障工程安全。

4 底板出水防治锚索优化结构的施工适配要求

4.1 施工工艺适配调整

优化后的底板出水防治锚索结构,对施工工艺的精准性提出了更为严苛的要求。这就要求必须紧密结合结构优化特点,对施工流程与工艺参数进行细致调整。(1)在

钻孔环节, 钻孔孔径、孔深必须与优化后的锚固体结构参数严格匹配。为此, 要采用精准导向钻孔技术, 利用先进的导向设备, 实时监测钻孔轨迹, 避免钻孔出现偏斜, 从而影响锚索的安装精度, 为后续施工奠定良好基础。(2) 注浆环节同样关键。针对优化后的注浆材料配比以及密封注浆要求, 应采用高压注浆工艺。通过高压将浆液充分注入孔内, 确保注浆体饱满、密实, 杜绝空洞、裂隙等缺陷的产生。同时, 要精准控制注浆压力与注浆速度, 若压力过大, 可能引发孔壁坍塌或破坏密封结构, 影响锚索的防渗和承载性能。(3) 在锚索安装环节, 施工人员需格外小心, 做到轻拿轻放, 防止损坏锚索体外部的防护套管与密封结构, 保证锚索体与锚固体、密封装置能够精准对接, 确保整个锚索结构能够正常发挥其应有的功能^[4]。

4.2 施工质量控制要点

施工质量控制是保障底板出水防治锚索优化结构性能的关键, 需聚焦关键施工环节, 构建涵盖施工全流程的质量管控体系。(1) 材料进场环节是质量控制的首道关卡。必须严格检验锚索体、密封材料、注浆材料等各类原材料的性能指标, 如锚索体的强度、韧性, 密封材料的抗渗性、耐久性, 注浆材料的流动性、凝固时间等, 确保所有原材料完全符合优化设计要求, 从源头上杜绝质量隐患。(2) 钻孔质量直接影响锚索的安装与锚固效果。采用专业测量仪器, 如测斜仪、测深仪等, 实时监测钻孔的孔径、孔深、垂直度等关键参数。一旦发现偏差, 及时采取纠偏措施, 保证钻孔质量满足设计标准。(3) 注浆过程中, 要实时监测注浆压力与注浆量, 确保注浆体均匀填充孔隙, 避免出现局部空洞或注浆不足的情况。同时, 详细做好注浆记录, 为后续质量追溯提供可靠依据。(4) 锚索安装完成后, 需检查其垂直度、锚固深度以及密封装置的安装精度, 保证各结构部件安装准确、到位, 确保锚索能正常发挥功能。

4.3 施工环境适配措施

底板出水区域特有的潮湿、高水压环境, 给锚索优化结构施工带来诸多挑战, 必须采取具有针对性的环境适配措施。(1) 为保持施工环境干燥, 应在施工区域科

学设置排水系统。依据现场地形与渗水情况, 合理规划排水沟、集水井等设施, 及时排出底板渗出的积水, 防止积水对注浆质量产生不良影响, 避免因积水导致密封结构安装不紧密、出现空隙等问题。(2) 在高水压区域施工时, 采用分级减压施工方法至关重要。通过逐步降低施工区域的水压, 避免高压水流直接冲击施工过程, 防止出现孔壁坍塌、注浆材料被冲走等情况, 保障施工的顺利进行。(3) 要切实做好施工人员与设备的防护工作。为施工人员配备专业的防水、防滑设备, 如防水服、防滑鞋等, 确保其施工安全。对施工设备进行防水处理, 提高设备在潮湿环境下的稳定性与可靠性。此外, 需密切关注天气变化, 合理安排施工时序, 避免在暴雨、地下水暴涨等恶劣天气条件下施工, 最大程度减少环境因素对施工质量的不利影响^[5]。

结束语

底板出水防治锚索的结构优化设计、性能验证及施工适配研究是一个系统而复杂的工程。通过对其结构特性的深入剖析, 明确了优化方向与重点; 经过全面的性能验证, 确保了优化后锚索的可靠性与稳定性; 而合理的施工适配要求则为实际工程应用提供了有力保障。在未来的地下工程建设中, 应持续关注底板出水防治问题, 不断优化锚索结构与技术, 提高施工质量与效率, 以更好地应对各种复杂的地质条件与工程挑战, 为地下工程的安全与可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 吴卫. 地下室人防结构的主要构件设计[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (11): 91-93.
- [2] 张忠. 高层建筑地下室底板后浇带防水施工技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(08): 76-78.
- [3] 胡历贞. 地下室底板防水施工技术及其质量控制[J]. 散装水泥, 2024, (05): 121-123.
- [4] 冯建明. 大型地下室底板防水施工技术[J]. 四川建材, 2024, 50(01): 110-111+117.
- [5] 朱琳. 地下室底板防水结构设计及施工裂缝控制要点分析[J]. 四川水泥, 2023, (03): 103-105.