

水利工程边坡喷锚支护施工质量通病及改进路径

李 俊

四川德成工程质量检测有限公司 四川 德阳 618000

【摘 要】：水利工程边坡喷锚支护施工中质量通病频发，对结构稳定与运行安全造成影响。常见问题包括喷射混凝土强度不足、锚杆成孔偏差、浆液饱满度不达标及排水系统不完善等。形成原因多与施工工艺控制薄弱、材料性能不稳定及现场管理不足相关。基于典型通病特征，从工序优化、质量检测强化、材料管控及信息化施工等方面提出改进路径，以增强边坡整体防护效果并提高工程质量可靠性。

【关键词】：水利工程；边坡支护；喷锚施工；质量通病；改进路径

DOI:10.12417/2811-0528.26.04.014

水利工程建设中，大量边坡需依靠喷锚体系维持稳定，其质量直接关系到结构安全与后期运维成本。随着建设规模扩大，不同地区的实践表明喷锚支护施工仍易出现多种反复发生的质量问题，既影响防护效果，也增加潜在风险。深入解析这些通病的成因，有助于在施工阶段更精准地把控关键环节，从而提升支护系统的可靠性。结合常见施工现象，总结其规律并探索可行的改进路径，可为水利工程边坡治理提供更具针对性的技术参考。

1 水利工程边坡喷锚支护中常见质量问题解析

水利工程边坡在成型后暴露于复杂地质环境，喷锚支护施工中极易出现一系列质量偏差。喷射混凝土层普遍存在厚度不均、强度波动与表面空鼓的现象，根源多与风压调整不稳、喷嘴移动速度变化大以及骨料级配不合理有关。部分施工区段因受基岩风化程度影响，喷射层与基底的黏结性能下降，出现早期脱层趋势^[1]。锚杆施工环节中，钻孔轴线偏移、孔壁掉块、粉尘未清理彻底等问题削弱了锚固段有效长度，使设计承载力难以完全落实。地下水发育区的浆液渗漏更会造成孔内充填不足，使钢筋与围岩之间形成隐性空隙，影响整体受力协调。

在复杂地层条件下，支护结构往往面临更高的施工难度，质量通病呈现集中且隐蔽性强的特点。部分项目在雨季或低温环境中推进喷射作业，导致混凝土凝结时间延长，回弹率上升，喷层致密性明显下降。部分边坡因地形陡峭，机械臂角度受限，使喷射轨迹难以覆盖所有薄弱点，从而形成局部强度低带。锚杆的钢筋加工精度、螺纹成型质量以及防腐涂层均可能影响使用寿命，而现场常出现钢筋存放不当导致表面氧化、螺纹扭损等情况，使后期锚定力不足。排水构造布设不当也会使坡体孔隙水压力上升，使喷锚体系承载条件发生改变，从而诱发新的变形。

材料、设备与管理流程之间的衔接不够紧密，也是通病产生的重要因素。配合比调整缺乏实时检测手段，使喷射混凝土

的流动度与粘结力难以保持稳定；搅拌设备老化或维护不及时则会造成入仓混合料偏析。锚固浆液未按照压力注浆工艺执行，将导致饱满度不足或浆液早期析水。部分施工区域未建立连续记录制度，对风压、喷距、砂浆稠度等关键参数缺少量化控制，使质量波动难以追踪。人员专业性参差不齐，也会影响工序执行的规范度。边坡环境动态变化，而施工组织未能及时调整，造成喷锚体系与坡体真实受力状态不匹配，进一步放大质量隐患。

2 喷锚支护质量改进的关键技术与控制路径

喷锚支护质量的提升依赖于更精准的工艺控制与更稳定的材料体系，在施工阶段对关键环节进行深度干预极为重要。喷射混凝土应在保证骨料级配合理的前提下，采用持续监测的方式控制塌落度与水胶比，使喷层保持良好粘结能力和早期强度。喷射设备的风压、输料速率与喷嘴角度需结合坡面实际形态调整，通过定距喷射和均速移动降低回弹量，提高面层致密度^[2]。对于风化带或软弱夹层，应先行凿除松动界面并增设钢筋网片提升附着能力，使喷层与基底形成稳定传力路径。在施工组织上，通过分区分层推进，可减少一次性大面积喷射带来的厚度不均问题，使面层质量更易受控。

锚固系统的质量控制更依赖于成孔、注浆和钢筋安装的一体化管理。钻孔作业应采用稳扭矩、低冲击的钻进方式，以减少孔壁扰动，提高孔径稳定性。成孔完成后应立即采用高压气水联合清孔，使孔内无残留粉尘或碎屑，避免影响锚固段黏结力。钢筋进入孔内前需完成外观检查和力学性能复核，确保表面无腐蚀、无扭伤，并保持锚固段有效长度满足设计要求。注浆工艺以压力注浆方式更能提升饱满度，通过实时监测注浆压力和浆液黏度，使钢筋与周边岩土形成连续胶结体。对于裂隙水丰富的地段，可配合使用速凝型或微膨胀型浆液，提高抗冲刷与填隙性能，使锚固体在复杂水文环境下保持稳定强度。

边坡喷锚施工的全过程还需依靠科学的技术管理与信息

化手段实现持续稳定的控制。现场可配置激光扫描仪、数字化喷射计量装置及锚杆位置校准系统,对喷射厚度、钢筋布设位置和坡面形态进行动态比对,使偏差能够在结构成型前被及时修正。材料进场环节应建立批次追踪制度,对水泥强度、外加剂活性和钢筋防腐层厚度实施抽检,从源头确保材料性能稳定。施工环境也需纳入控制范围,寒冷地区采取保温措施,湿度较高区域采用强制通风或表层预处理方式,使喷射与锚固过程始终处于设计所需的条件窗口内。通过工序衔接优化、参数记录制度强化和质量检测频率提升,可在整体上形成稳定可靠的支护体系,使边坡结构在复杂地质与水文条件下保持所需承载能力。

3 边坡喷锚支护质量提升的综合要点归纳

边坡喷锚支护质量的系统提升需要从结构协同、材料性能稳定性以及地质适应性等角度进行综合把握,使各环节形成相互支撑的整体机制。喷射层与锚固体系是共同承担荷载的组合结构,若两者性能不匹配,即使局部质量达标,也会在外界扰动或水文条件变化时出现不均匀变形^[3]。因此在施工过程中,应将喷层厚度控制、锚杆间距布设与排水构造配置统筹考虑,使传力路径贯通且受力分布合理。坡面在成型后往往存在微裂隙、风化点位,这些薄弱区域若未及时处理,会使喷层产生潜在脱落点,因此需对表面状态不断复核,使支护结构从界面到内部保持稳定。

施工过程的数据化管理在质量提升中具有关键意义,通过对喷射量、风压变化、回弹区分布以及浆液压力曲线进行持续记录,可形成一套可追溯的质量控制链,使薄弱环节在结构隐

蔽前及时暴露。锚固体系的稳定性依赖于浆液扩散范围和钢筋受力状态,若不进行过程监测,往往难以判断锚固段实际成型情况。因此在复杂地层条件中应采用声波检测、射流回填检测等手段,对成孔质量与注浆密实度开展阶段性复核,使锚固体在偏压、渗水或软硬交界面条件下仍能维持设计强度。

边坡喷锚支护质量的持续提升还需要在材料管控与施工组织方面形成长效体系。混凝土外加剂的掺量、钢筋的防腐程度以及浆液组分对支护结构的长期稳定性影响显著,若材料性能波动较大,会直接造成喷层密实度不足或锚固体抗剪能力下降,因此材料应实施分批验收并保持存储环境稳定。施工组织方面,边坡地形多变,应通过分区施工与立体作业相结合的方式,使喷射与锚固作业衔接紧密,避免因间隔过长导致界面污染或湿度变化,从而影响结构粘结性能。排水系统作为边坡整体稳定的重要组成部分,其布设需与支护结构同步推进,使坡体内部水压得以有效释放,减少喷锚体系的额外荷载,使结构在长期服役中保持可靠性。

4 结语

在水利工程边坡治理中,喷锚支护质量直接影响结构稳定性与防护体系的可靠程度。围绕常见通病的成因分析与技术改进路径的梳理,可强化施工过程的可控性,使喷射层、锚固体与排水系统形成协调的整体结构。材料性能、工艺参数与地质条件之间的精准匹配,是减少质量波动与隐患的重要基础。坚持全过程质量把控与现场动态调整,能够使喷锚支护的安全性与耐久性得到充分保障。

参考文献:

- [1] 宁述涛,郭继敏.水利工程项目成本控制策略[J].合作经济与科技,2025,(24):111-113.
- [2] 黄丽霞.业财融合下水利工程专项资金核算模式创新研究[J].合作经济与科技,2025,(24):149-151.
- [3] 耿川,耿长亮.水利工程全寿命周期中高性能混凝土的实践研究[J].水泥,2025,(12):74-76.