

抽水蓄能电站土建施工质量通病分析与防治措施

安和民

中国水利水电第四工程局有限公司, 青海西宁, 810000;

摘要: 抽水蓄能电站作为电力系统调峰调频的关键设施, 其土建工程质量对电站运行安全性和耐久性具有决定性影响。本研究基于典型工程案例, 系统分析了地下厂房、压力管道及大坝等关键构筑物施工过程中的典型质量问题, 包括混凝土裂缝、渗漏及结构变形等。通过机理分析, 揭示了材料性能不足、施工工艺缺陷及环境因素影响等主要成因, 并提出了优化配合比设计、改进施工工艺及加强过程监控等系统性防治对策。研究成果可为抽水蓄能电站土建工程的质量控制提供技术参考, 对保障电站长期稳定运行具有重要意义。

关键词: 抽水蓄能电站; 工程质量; 土建施工; 混凝土; 防治措施

DOI: 10.69979/3060-8767.26.01.044

抽水蓄能电站作为现代电力系统的重要调节单元, 其土建工程质量直接影响电站运行效能。地下厂房、输水系统等关键构筑物具有结构复杂、施工精度要求高等特点。工程实践表明, 混凝土结构裂缝、地基不均匀沉降及钢筋保护层厚度不足等质量缺陷普遍存在, 严重威胁工程耐久性和运行安全。这些问题的产生主要源于材料性能不足、施工工艺缺陷及环境因素影响。通过系统分析质量通病成因并制定针对性防治措施, 对确保工程结构完整性、提升电站运行可靠性具有重要工程价值, 同时为行业发展提供技术支撑。

1 抽水蓄能电站土建施工质量通病

1.1 裂缝

混凝土裂缝作为抽水蓄能电站土建工程中的典型质量缺陷, 其形成机理主要涉及材料特性、环境因素及结构受力三个方面。材料方面, 水泥水化过程中产生的干燥收缩和自收缩应力超过混凝土抗拉强度(通常2-4MPa)时即会引发开裂, 这一现象在大体积混凝土结构中尤为显著。环境因素方面, 当混凝土内外温差超过25°C时, 温度梯度产生的热应力往往导致表面龟裂或深层裂缝。结构方面, 地基不均匀沉降产生的附加应力超过设计允许值(一般 $\leq 0.1\%L$)时, 可能引发贯穿性裂缝, 严重影响结构整体性。

裂缝的危害性主要体现在三个方面: 首先, 表面裂缝(宽度 $\geq 0.2\text{mm}$)直接影响结构外观质量; 其次, 裂缝形成的渗水通道会加速钢筋锈蚀(锈蚀速率可提高3-5倍), 导致结构承载力下降; 最后, 深层裂缝(深度 $\geq 1/2$ 截面厚度)可能改变结构受力状态, 影响抗震性能。监测数据表明, 裂缝宽度超过0.3mm时, 结构

耐久性将降低30%以上。

1.2 渗漏

渗漏问题在抽水蓄能电站土建工程中主要表现为结构性和施工性两类缺陷。结构性渗漏多发生在混凝土接缝部位, 包括施工缝(新旧混凝土结合面抗渗强度不足)、伸缩缝(变形量超过止水带允许值)以及穿墙管周边(密封材料失效)。施工性渗漏则源于混凝土浇筑缺陷, 如振捣不密实导致的孔隙率超标($> 5\%$)、养护不当引发的收缩裂缝(宽度 $\geq 0.2\text{mm}$)等。监测数据表明, 当混凝土渗透系数超过 $1 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ 时, 结构渗漏风险显著增加。防渗体系设计缺陷也是重要诱因, 包括帷幕灌浆深度不足(< 0.8 倍水头)、排水系统布置不合理(间距 $> 5\text{m}$)等。

渗漏造成的工程危害具有渐进性特征。初期表现为局部湿润(渗水量 $< 0.1\text{L/min}$), 此时混凝土碳化深度每年增加0.5-1mm; 中期发展为明显渗流(0.1-1L/min), 钢筋锈蚀速率提高3-5倍; 严重渗漏($> 1\text{L/min}$)将导致地基渗透破坏(渗透坡降 $>$ 临界值)和结构失稳。针对不同渗漏程度应采取分级处理: 对湿润区采用表面渗透结晶材料处理; 对渗流区实施化学灌浆(浆液粘度 $< 20\text{cp}$); 对喷射状渗漏需进行结构加固和系统防渗改造。

1.3 蜂窝和麻面

混凝土蜂窝和麻面缺陷在抽水蓄能电站工程中主要源于施工工艺控制不当。蜂窝状孔洞多因振捣不充分导致, 实测数据显示当振捣间距超过振捣棒作用半径1.5倍时, 缺陷发生率提高40%以上。麻面问题则与模板处理质量直接相关, 研究表明模板表面粗糙度大于

Ra12.5 μm 时,麻面面积占比可达 15%-20%。配合比设计不当也是重要诱因,水胶比超过 0.45 或砂率低于 35% 时,混凝土工作性能显著下降,离析风险增加 3 倍。这些缺陷不仅影响外观质量,更会降低混凝土抗渗性能,加速钢筋锈蚀速率。

1.4 钢筋锈蚀

钢筋锈蚀问题在抽水蓄能电站工程中主要表现为电化学反应过程。当混凝土保护层厚度不足 (<设计值 80%) 或碳化深度超过保护层厚度时,钢筋表面钝化膜遭到破坏。试验数据表明,当氯离子含量超过 0.1% 水泥质量时,钢筋锈蚀速率显著提高。锈蚀产物体积膨胀 2-4 倍,产生的膨胀应力可达 30MPa,导致混凝土保护层开裂(裂缝宽度 ≥0.3mm)。这种损伤会进一步加速腐蚀介质渗透,形成正反馈效应。在动荷载作用下(频率 0.5-5Hz),锈蚀钢筋的疲劳寿命可能降低 50% 以上。

2 抽水蓄能电站土建施工质量通病防治措施

2.1 裂缝防治措施

2.1.1 优化混凝土配合比

混凝土配合比设计是控制收缩裂缝的关键技术措施。研究表明,水灰比每增加 0.1,混凝土干燥收缩率将提高 15%-20%。工程实践推荐采用 0.35-0.45 的水灰比范围,并掺加高性能减水剂(减水率 ≥20%)和膨胀剂(掺量 8%-12%),可使混凝土收缩率降低 30%-40%。通过精确控制胶凝材料用量(380-450kg/m³)和骨料级配,可有效提升混凝土抗裂性能。

2.1.2 加强温度控制

温度控制是确保大体积混凝土结构完整性的关键技术环节。在材料选择方面,应优先采用水化热特性优良的水泥品种,从源头上控制温升幅度。施工过程中需建立完整的温度调控体系,包括内部降温系统和外部保温措施的双重保障。内部降温可采用循环水冷却等方式,外部则需根据环境条件采取相应的保温或散热手段。同时,应科学安排浇筑时间,避开极端温度时段作业。通过全过程温度监测和动态调整,实现混凝土内部温度场的均匀分布。这种系统化的温度控制方法能有效缓解温度应力集中现象,防止温度裂缝的产生,确保混凝土结构的整体性和耐久性。

2.1.3 提高地基处理质量

地基处理质量直接影响上部结构的稳定性。施工前应进行详细地质勘察,根据土层特性选择适宜的地基处

理方法。施工过程中需严格控制填筑工艺参数,并设置必要的变形监测系统。通过合理布置结构缝和采取其他构造措施,可有效缓解不均匀沉降对建筑物的不利影响。

2.2 渗漏防治措施

2.2.1 优化防渗体系设计

防渗体系设计应基于工程地质条件和水文特征进行系统性规划。通过综合分析岩体裂隙发育状况和地下水动态特征,建立“堵截结合、排防并举”的立体防渗网络。坝基区域宜采用多排帷幕灌浆形成连续防渗屏障,输水系统则应结合渗流场分析合理设置排水设施。运用数字化设计手段进行方案优化,确保防渗系统各组成部分协同工作,提升整体防渗效果。重点部位应采取多重防渗措施,形成完整的防渗体系。

2.2.2 提高混凝土浇筑质量

混凝土浇筑质量的控制应从原材料把关开始,确保各项指标符合设计要求。施工过程中宜采用分层浇筑工艺,合理控制每层浇筑厚度,避免形成冷接缝。振捣作业应采用规范化操作流程,确保混凝土均匀密实。同时应建立全过程质量监控机制,对关键工艺参数进行实时监测与调整。通过系统化的质量控制措施,可有效预防各类浇筑缺陷的产生,保证混凝土结构的整体性和耐久性。

2.2.3 加强施工缝、伸缩缝等部位的处理

结构接缝部位是防渗体系的薄弱环节,需采取专项处理措施。施工缝宜采用特殊断面形式,并做好界面处理,确保新旧混凝土结合质量。伸缩缝应设置多道止水系统,包括预埋止水带和弹性密封材料。重要部位可增设附加防水层,形成复合防渗体系。通过系统化的接缝处理工艺,可显著提升结构接缝的密封性能,有效预防渗漏水问题的发生。

2.3 蜂窝麻面防治措施

2.3.1 加强模板表面处理

模板表面处理是确保混凝土外观质量的重要环节。施工前应对模板进行彻底清洁,采用专业方法去除表面污染物。钢模板应进行防锈处理,木模板需做好防水保护。脱模剂应选用合适类型并均匀涂刷,确保形成有效的隔离层。同时应仔细检查模板接缝密封情况,防止漏浆现象发生。规范的模板处理工艺可有效预防混凝土表面缺陷,保证结构外观质量。

2.3.2 优化混凝土浇筑工艺

混凝土浇筑应采用分层施工方法,合理控制每层浇筑厚度。振捣作业需按照规范要求进行操作,确保振捣

充分且均匀。对于钢筋密集区域应采取特殊振捣措施，保证混凝土密实度。通过科学的浇筑工艺控制，可有效提高混凝土的均匀性和密实性，避免产生质量缺陷。规范的浇筑过程是保证混凝土结构质量的重要环节。

2.3.3 加强混凝土养护

混凝土养护是保证其强度发展和耐久性的关键环节。浇筑完成后应及时采取覆盖保湿措施，保持混凝土表面湿润状态。针对不同环境条件应采取相应的养护方法，确保适宜的温湿度环境。养护周期应满足规范要求，使混凝土获得充分的强度增长条件。通过规范的养护措施，可有效预防表面缺陷，提高混凝土的最终性能。养护质量直接影响混凝土结构的长期耐久性。

2.4 钢筋锈蚀防治措施

2.4.1 确保混凝土保护层厚度达标

混凝土保护层厚度的控制是防止钢筋锈蚀的重要措施。钢筋安装时应准确定位，采用标准垫块确保设计间距。浇筑过程中需采取保护措施，防止钢筋移位。规范的保护层厚度可有效隔离钢筋与外界环境，延缓腐蚀进程。严格控制保护层厚度对保证结构耐久性具有重要意义。

2.4.2 增强混凝土抗碳化能力

混凝土抗碳化性能的提升对于结构耐久性至关重要。通过优化配合比设计，降低水灰比，可有效减少孔隙率，提高混凝土密实度。同时，掺入适量外加剂能在混凝土表面形成保护层，延缓碳化进程。这些措施共同作用，可为钢筋提供长期有效的防护，显著延长结构使用寿命。科学的材料配比和工艺控制是提高混凝土抗碳化能力的关键。

2.4.3 加强钢筋防腐处理

钢筋防腐措施应根据工程环境特点合理选择。常规条件下可采用表面镀层或涂层处理，特殊腐蚀环境宜选用耐蚀钢筋或电化学保护方法。重点部位应加强防护措施，确保钢筋与腐蚀介质有效隔离。通过系统的防腐处理，可显著提高钢筋耐久性，为工程结构提供长期安全保障。防腐措施的选用应综合考虑技术可行性和经济合理性。

3 工程实例分析

某抽水蓄能电站地下厂房施工过程中，初期混凝土表面裂缝发生率达15%，严重影响结构耐久性。经分析，主要原因为：水泥水化热导致内部温度峰值达75℃，

内外温差超过30℃；养护周期仅7天，无法满足强度发展需求。针对这些问题，实施了综合改进方案：配合比方面掺入15%粉煤灰，降低水化热20%；温度控制方面按1.5m间距布设冷却水管，将温差控制在25℃以内；养护方面采用“覆膜+洒水”方式延长至21天。实施后裂缝率降至3%以下，结构性能显著提升。

地基处理阶段发现软弱夹层承载力不足（<150kPa），采用直径0.8m的深层搅拌桩进行加固，桩间距1.2m，桩长深入持力层2m。通过水泥掺量18%的浆液与软土搅拌，形成复合地基。检测数据显示：加固后地基承载力提升至250kPa，满足设计要求；90天沉降观测值<5mm，差异沉降<0.1%，完全符合规范标准。

该工程实践表明，通过科学的材料改性（粉煤灰掺量15%）、精准的温控措施（温差≤25℃）和规范的工艺控制（养护21天），可有效解决大体积混凝土裂缝问题；采用深层搅拌桩（直径0.8m，间距1.2m）处理软弱地基，能显著提高承载力（提升67%）和均匀性（沉降差<0.1%）。这些技术措施为类似工程提供了重要参考，验证了质量控制方法的有效性。

4 结语

抽水蓄能电站土建工程质量是保障电站长期安全运行的关键要素。通过对各类质量缺陷的系统分析及针对性防治，可显著提升工程整体质量水平。研究表明，优化施工工艺、完善质量管理体系对预防质量通病具有显著效果。未来应持续推进技术创新，强化全过程质量控制，为抽水蓄能电站建设提供更可靠的技术保障。不断提升的施工质量水平将为我国能源基础设施建设奠定更加坚实的基础，助力新型电力系统建设与发展。

参考文献

- [1]张星. 抽水蓄能电站土建施工难点和经验[J]. 水电站机电技术, 2022, 45(9): 116-117, 131.
- [2]高文慧. 抽水蓄能电站土建施工难点与对策分析[J]. 水利电力技术与应用, 2025, 7(5).
- [3]廖国玲. 抽水蓄能电站深竖井施工与质量控制[J]. 广东水利水电, 2023(10): 88-93.
- [4]王上游. 浅论抽水蓄能电站土建混凝土工程质量控制及通病预防措施[J]. 科技风, 2013(1): 134-135.
- [5]沈盼军. 抽水蓄能电站土建施工难点与对策分析[J]. 工程研究与实用, 2023, 4(19).