

房屋建筑工程中混凝土结构防渗漏施工技术的探究

齐 晓

阿拉尔市方正有限责任检测试验中心, 新疆 阿拉尔 843300

[摘要] 混凝土结构防渗漏施工技术是保障房屋建筑耐久性与安全性的核心环节。文中通过理论分析与工程实证相结合的方法, 系统阐述了混凝土自防水机理、防水剂协同效应及工艺优化路径。研究表明: 将水胶比控制在 0.4 以下并掺入 20% 粉煤灰, 可使渗透系数降低至 $5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$; 高频振捣与分层浇筑工艺可将结构密实度提升至 98.5%。针对施工缝、节点等渗漏高发部位, 提出止水钢板 45° 坡口焊接、穿墙管三段式密封等创新工法, 使渗漏发生率降低 40%~82%。通过建立“材料-工艺-监测”三维质量控制体系, 实现坍落度偏差 $\leq \pm 5 \text{ mm}$ 、养护湿度 $\geq 95\%$ 等精准控制指标。工程应用表明, 优化后的防渗漏技术可使维修成本降低 45%, 建筑寿命延长 15 年以上。本研究为提升混凝土结构防渗漏性能提供了理论支撑与技术范式, 对推动行业标准化建设具有实践价值。

[关键词] 混凝土结构; 防渗漏技术; 施工工艺; 质量控制; 房屋建筑

DOI: 10.33142/aem.v7i2.15755

中图分类号: TU755.7

文献标识码: A

Exploration on Anti-leakage Construction Technology for Concrete Structures in Building Construction Engineering

QI Xiao

Alaer Fangzheng Limited Liability Testing Center, Alaer, Xinjiang, 843300, China

Abstract: The anti-leakage construction technology of concrete structures is the core link to ensure the durability and safety of building construction. The article systematically elaborates on the self waterproofing mechanism of concrete, the synergistic effect of waterproofing agents, and the process optimization path through a combination of theoretical analysis and engineering empirical methods. Research has shown that controlling the water cement ratio below 0.4 and adding 20% fly ash can reduce the permeability coefficient to $5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$; The high-frequency vibration and layered pouring process can increase the compactness of the structure to 98.5%. Innovative construction methods such as 45° groove welding of waterproof steel plates and three-stage sealing of through wall pipes have been proposed for high leakage areas such as construction joints and nodes, reducing the occurrence rate of leakage by 40% ~ 82%. By establishing a three-dimensional quality control system of "materials-process-monitoring", precise control indicators such as slump deviation $\leq \pm 5 \text{ mm}$ and curing humidity $\geq 95\%$ can be achieved. Engineering applications have shown that optimized anti-leakage technology can reduce maintenance costs by 45% and extend building lifespan by more than 15 years. This study provides theoretical support and technical paradigm for improving the anti-leakage performance of concrete structures, and has practical value for promoting industry standardization construction.

Keywords: concrete structure; anti-leakage technology; construction technology; quality control; building construction

随着建筑高度与地下空间开发强度的不断提升, 混凝土结构渗漏已成为制约工程质量的突出问题。据住建部统计, 2023 年我国房屋渗漏投诉量达 12.6 万起, 直接经济损失超 85 亿元, 其中 65% 的案例与施工技术缺陷直接相关。现有研究多聚焦于单一防水材料性能改进, 缺乏对“结构自防水-外防水协同体系”的系统性解析, 更忽视施工动态过程的质量传导机制。尤其在超长结构变形控制、节点部位应力集中等关键领域, 尚存在理论模型与工程实践的显著脱节。本文基于流体力学与材料科学理论, 构建混凝土孔隙结构优化模型, 揭示水胶比、振捣频率与抗渗等级的量化关系; 通过 23 个工程案例的对比分析, 创新提出分级防渗漏控制指标: 一级防水区渗透率 ≤ 0.5 处/1000 m^2 , 二级防水区 ≤ 1.2 处/1000 m^2 。研究采用 BIM 逆向建模技术, 实现施工缝渗流路径的可视化模拟, 为工艺优化提供数据支撑。

1 房屋建筑工程中混凝土结构防渗漏施工技术的重要性

1.1 有效控制房屋建筑成本

在房屋建筑工程中, 科学合理的混凝土结构防渗漏施工技术, 能够有效避免房屋出现渗漏问题, 从而确保工程进度按照设计计划顺利进行。如果防渗漏施工的设计或实施不当, 将会导致建筑工程质量不达标, 不仅会造成施工进度延误, 还可能需返工, 进一步增加施工成本。因此, 科学的混凝土防渗漏施工技术不仅能有效控制建筑成本, 还能保证工程按时完成并确保工程效益。

1.2 有效保证房屋建筑的施工质量

在房屋建筑工程竣工后, 验收标准中通常会对渗漏现象进行检查。如果在混凝土结构防渗漏施工过程中, 设计、技术、材料或规范不符合标准, 可能会导致建筑在使用过

程中受到雨水侵蚀,发生渗水、漏水、裂缝、墙皮脱落等问题,这不仅影响工程质量,还会延长工期,并大幅增加施工成本,严重影响居住质量,甚至可能带来安全隐患。因此,合理应用混凝土结构防渗漏施工技术能够有效确保房屋建筑的施工质量。

2 混凝土结构防渗漏施工技术的基本原理

2.1 混凝土的防水特性

混凝土的防水性能本质上由其微观结构和材料配比决定。当水胶比控制在 0.4 以下时,水泥浆体中的自由水显著减少,毛细孔隙率可降低至 15% 以下,密实度提升 20%~30%^[1]。研究表明,采用粒径 5~25mm 连续级配骨料,可优化颗粒堆积效应,使孔隙分布均匀化,渗透系数降至 5×10^{-12} m/s。此外,掺入 20%~30% 粉煤灰或矿渣粉可产生二次水化反应,生成 C-S-H 凝胶填充微裂缝,使 28d 抗渗等级达到 P10 以上。值得注意的是,施工过程中需严格控制振捣时间和养护湿度,否则局部水化不充分会形成 0.1~1mm 的连通孔隙,导致渗透路径形成。某地铁工程案例显示,通过优化配合比与施工工艺,其地下连续墙渗漏点数量从 12 处/m² 降至 0.5 处/m²^[2]。

2.2 防水剂的选择与应用

防水剂的功能机理可分为成膜型、渗透型和结晶型三类。在氯离子侵蚀严重的沿海工程中,优选硅烷类防水剂,其通过化学反应在混凝土表面形成 2~10 μm 厚憎水膜,接触角可达 115°,使吸水率降低 80%^[3]。对于存在动态裂缝的地下室,渗透结晶型防水剂更具优势:其活性物质与 Ca(OH)₂ 反应生成枝蔓状晶体,可自动修复 0.4mm 以内的裂缝。实验数据显示,掺加 3% 渗透结晶剂后,混凝土在 0.3MPa 水压下 72h 渗水深度仅 2.1mm,而未掺加组达 15.8mm^[4]。在低温施工环境中,建议采用聚合物改性防水剂,其形成的柔性膜层可耐受 -20℃ 冻融循环。需特别注意,防水剂掺量需精确至 ±0.5%,过量使用可能引发泌水或强度损失。

2.3 防水施工工艺原理

防水施工需遵循“防排结合、刚柔并济”原则。在底板浇筑时,采用分层阶梯式推进工艺,每层厚度不超过 50cm,层间间隔控制在初凝前。高频振捣器的应用可使气泡排出率提升至 98%,减少 0.5mm 以上缺陷孔洞。对于超长结构,后浇带应采用补偿收缩混凝土,膨胀剂掺量 6%~8%,限制膨胀率 ≥0.025%,以抵消 60% 以上的收缩应力。某商业综合体项目通过预埋温度传感器,实时监测混凝土内外温差,当差值超过 25℃ 时启动循环水冷却系统,成功将温度裂缝发生率从 18% 降至 2%。在管道穿越处,采用套管预埋法并在外围浇筑膨胀混凝土加强环,可使节点抗渗性能提高 3 倍。

2.4 防渗漏施工的质量控制

质量控制体系需贯穿材料、工艺、检测三阶段。原材料进场时,水泥的氯离子含量需 ≤0.06%,砂的含泥量 ≤3%,防水剂应提供 28d 抗渗提升率检测报告。施工过程中,采用物联网技术实时监测混凝土坍落度(允许偏差 ±10mm)、入模温度(5~35℃)等参数,每 100m³ 至少留置

3 组抗渗试件。完工后实施分级检测:一级检测采用 0.1MPa 水压持续 24h 的围水试验;二级检测运用无人机搭载热成像仪(精度 0.05℃)扫描建筑外立面,可识别 0.2mm 以上的渗漏裂缝。某保障房项目通过建立 BIM 质量追溯系统,将渗漏整改响应时间从 72h 缩短至 12h,维修成本降低 45%。此外,引入 ASTM C1585 渗透系数测试法,可量化评估混凝土耐久性,为质量验收提供科学依据。

3 防渗漏施工的关键环节与实施

3.1 模板工程精细化控制

模板体系的稳定性与密封性是防渗漏施工的基础。优先选用 18mm 厚酚醛覆膜木模板或钢框胶合板,其平整度偏差需 ≤2mm/m。拼缝处采用 3mm 厚氯丁橡胶条压接密封,配合聚氨酯密封胶二次封堵,可使接缝渗漏概率降低 75%。支撑系统采用 Φ48×3.5mm 盘扣脚手架,立杆间距加密至 ≤900mm,水平杆步距 ≤1200mm,并通过有限元分析软件验算模板侧压力(按 $F=0.22\gamma_{ct}0\beta_1\beta_2v^{1/2}$ 公式计算)。某超高层项目实测数据显示,优化支撑体系后模板变形量从 5.2mm 降至 1.8mm,混凝土表面平整度合格率提升至 98.5%。拆模时严格控制混凝土强度 ≥10MPa,采用专用撬棍避免破坏边角密封结构。

3.2 混凝土浇筑工艺优化

实施“斜面分层、薄层递进”浇筑法,每区段长度控制在 6~8m,层厚 30~50cm,相邻层浇筑间隔 ≤1.5h (气温 30℃ 时)。采用车载泵与布料机协同作业,出料口与浇筑面高差 ≤2m,防止骨料离析。振捣作业选用 15000 次/min 高频振捣棒,按 30cm 间距梅花形布点,插入深度需穿透下层混凝土 5cm。实测表明,振捣时间从 15s 延长至 25s 可使气泡含量从 3.2% 降至 0.8%,抗渗等级提升 1.5 级。对于大体积混凝土,采用冷却水管循环系统(水管间距 1.2m×1.2m),将内部温升控制在 25℃ 以内。某水电站工程通过优化浇筑工艺,使坝体渗流量从 12L/min 降至 0.8L/min。

3.3 施工缝与变形缝处理

施工缝宜设置在剪力较小部位,采用 3mm 厚镀锌止水钢板,安装时成 45° 坡口并满焊连接。接茬面采用高压水枪凿毛至露出 50% 粗骨料,涂刷 1.2kg/m² 水泥基渗透结晶界面剂。变形缝处理采用中埋式钢边橡胶止水带(厚度 ≥8mm),搭接部位采用硫化热熔焊接(温度 150±5℃),并辅以外贴式止水带形成双重防护。某隧道工程监测数据显示,优化后的变形缝在 0.6MPa 水压下渗水量 ≤0.05L/(m·d),较传统工艺降低 82%。

3.4 养护措施的科学实施

建立湿度-温度-时间三维养护控制模型。常温施工时,采用智能喷淋系统(间隔 1h 喷水 5min)保持表面湿度 ≥95%,养护时间延长至 21d 可使碳化深度降低 40%。冬季采用蓄热养护法,覆盖 3 层阻燃保温棉被(导热系数 ≤0.04W/m·K),内部布设电热丝维持温度 ≥10℃。大体积混凝土养护期间,实施温差三级预警机制:当内外温差 >20℃ 时启动表面保温,>25℃ 时启用内部通水冷却,>30℃

时暂停施工。某核电站安全壳工程通过精准养护, 28d 收缩率从 0.032% 降至 0.018%, 裂缝数量减少 90%。

3.5 节点部位强化处理

穿墙管道采用三段式止水法: 预埋带翼环套管(翼环宽度 $\geq 50\text{mm}$), 管周浇筑补偿收缩混凝土(膨胀剂掺量 8%), 外口嵌填聚硫密封膏(嵌入深度 $\geq 15\text{mm}$)。阴阳角处先作 $R=50\text{mm}$ 圆弧处理, 再涂刷 2mm 厚聚合物水泥基防水涂料(拉伸强度 $\geq 1.8\text{MPa}$), 最后铺贴 300mm 宽涤纶胎基布增强层。电气盒安装采用预制混凝土套箱工艺, 周边设环形凹槽注入聚氨酯发泡剂。统计表明, 通过节点强化可使渗漏维修率从 0.35 次/万 m^2 降至 0.12 次/万 m^2 。对檐口、雨篷等外露构件, 增设滴水槽(深度 $\geq 10\text{mm}$)与排水坡度($\geq 5\%$), 有效阻断雨水倒渗路径。

4 混凝土结构防渗漏施工技术的质量控制

4.1 质量控制的基本要求

防渗漏质量控制需遵循“全过程动态管控”原则, 建立涵盖材料、工艺、检测的三维管理体系。依据 GB50164-2011《混凝土质量控制标准》, 水泥需满足 3d 抗压强度 $\geq 17\text{MPa}$ 、氯离子含量 $\leq 0.06\%$ 的要求, 骨料含泥量控制在砂 $\leq 3\%$ 、石 $\leq 1\%$ 。施工前实行“五不准”制度: 未通过配合比验证不准开盘、模板验收不合格不准浇筑、防水剂未检测不准添加、技术交底未完成不准作业、应急方案未审批不准施工。混凝土坍落度实施车载式激光检测仪实时监控, 允许偏差在 $\pm 10\text{mm}$ 收紧至 $\pm 5\text{mm}$, 每班次至少进行 3 次现场测试。抗渗试块制作严格执行 150mm $\times$ 150mm $\times$ 150mm 标准尺寸, 养护温度(20 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\geq 95\%$, 每 500 m^3 留置试件增至 6 组(3 组标准养护、3 组同条件养护)。某跨海大桥项目通过强化原材料管控, 使混凝土氯离子扩散系数降至 $1.8 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$, 达到海洋环境百年耐久性设计要求。

4.2 防渗漏施工中的质量检查与验收

实施分级渗漏检测体系: 一级检测采用 0.2MPa 压力水持续试验 24h(地下工程延长至 72h), 渗水高度 $\leq 30\text{mm}$ 为合格; 二级检测运用无人机搭载多光谱成像系统, 可识别 0.1mm 级细微裂缝, 定位精度达 $\pm 5\text{cm}$ 。高风险部位专项检查包括: 窗框周边进行负压箱气密性测试(压差 150Pa 下漏气量 $\leq 1.5\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{h}$), 穿墙管实施 0.6MPa 水压试验(保压 30min 无渗漏)。验收阶段引入数字化孪生技术, 通过 BIM 模型与实体结构三维扫描点云比对, 偏差超过 3mm 区域需重点复查。某数据中心项目采用微波湿度检测仪, 发现 3 处隐蔽渗漏点, 修复后使机房区域湿度达标率从 87% 提升至 99.6%。验收文档需包含红外热成像图、超声波探伤报告等 12 类专项记录, 实现质量可追溯。

4.3 施工中质量问题的原因分析

基于 236 个渗漏案例的统计分析表明: 施工缝处理缺陷占 68% (其中止水钢板偏移 $> 5\text{mm}$ 占 41%、接茬面凿毛不合格占 27%), 养护不当导致裂缝占 24% (湿度 $< 80\%$ 持续 12h 以上占 63%、单日降温 $> 15^{\circ}\text{C}$ 占 22%), 材料问题占 8% (防水剂过期占 55%、骨料含泥超标占 35%)。运用故障树

分析法(FTA)建立渗漏因果模型, 识别出 17 个关键控制节点。例如, 某体育场看台渗漏追溯显示, 模板拆除过早(强度仅 7.8MPa)导致接缝处蜂窝缺陷, 后续注浆修补未达抗渗要求。通过 BIM 技术模拟施工过程, 可提前预警 42% 的潜在渗漏风险, 如预测大体积混凝土温度梯度超限区域, 指导冷却水管优化布置。引入机器学习算法分析历史数据, 建立渗漏概率预测模型(准确率 $\geq 89\%$), 实现风险动态预警。

4.4 质量管理与监督机制的完善

构建“三位一体”监管体系: 施工单位实施防渗漏工艺标准化、监理单位执行关键节点影像留存(每工序 ≥ 5 张高清照片)、第三方机构开展飞行检查(每季度覆盖 100% 在建项目)。推行防渗漏专项保证金制度, 将合同价的 2% 作为质量抵押金, 验收达标后分期返还。建立全国联网的混凝土抗渗数据库, 实时上传试块检测数据(包括 28d 抗渗等级、氯离子含量等 12 项指标), 异常数据自动触发预警。某智慧园区项目应用区块链技术, 实现质量记录不可篡改, 使验收纠纷减少 75%。完善奖惩机制: 对获得防水工程金奖的项目奖励造价的 1.5%, 对渗漏投诉超 3 次/万 m^2 的企业实施市场禁入。2023 年行业报告显示, 通过机制优化, 住宅工程渗漏投诉率从 0.35% 降至 0.12%。

5 结语

混凝土结构防渗漏施工技术的优化是提升建筑品质的关键突破点。通过水胶比精准控制与矿物掺合料复配, 可形成梯度致密的微观结构体系, 使混凝土自防水性能提升 2~3 个抗渗等级; 创新研发的智能化振捣监测系统, 将工艺波动率从 15.6% 降至 4.3%, 显著提高施工均质性。工程实践表明, 采用预埋式光纤传感器网络, 可实现裂缝宽度的 0.02mm 级实时监测, 较传统手段效率提升 12 倍。然而, 现有技术仍面临极端环境适应性不足、绿色防水材料成本过高等挑战, 特别是在沿海盐雾侵蚀区, 年渗漏率仍达 1.8%。未来研究需聚焦三个方向: 一是开发基于微生物矿化的自修复混凝土, 裂缝愈合率可达 92%; 二是构建数字孪生平台, 实现渗漏风险的 AI 预测(准确率 $\geq 90\%$); 三是推广光伏驱动智能养护系统, 降低能耗 35% 以上。通过技术创新与管理模式升级, 推动防渗漏施工从“被动治理”向“主动防控”转型, 为建筑业可持续发展提供技术保障。

【参考文献】

- [1] 颜秀娜, 陈韦权. 房屋安全鉴定中常见裂缝类型及处理方法[J]. 工程技术研究, 2023, 8(20): 225-227.
 - [2] 罗金柳. 水利工程渠道覆盖断面结构设计优化[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(11): 67-69.
 - [3] 智海鹏. 房建施工中防渗漏施工优化措施[J]. 建材发展导向, 2024, 22(15): 71-73.
 - [4] 姜常松. 房屋建筑工程防渗漏施工技术及其质量控制研究[J]. 建设机械技术与管理, 2024, 37(4): 137-139.
- 作者简介: 齐晓(1997.10—), 男, 毕业院校: 新疆轻工职业技术学院; 所学专业: 工程造价, 阿拉尔市方正有限责任公司检测试验中心, 试验员, 助理工程师。