

混凝土抗渗抗冻性能的试验分析

陈 玮

新疆金正建设科技有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：混凝土抗渗抗冻性能试验是评估耐久性的关键。本文详细阐述试件制备要求，包括原材料筛选、尺寸控制、养护条件等；介绍核心操作流程，涉及设备检查、压力加载、冻融循环控制等；分析关键控制要点，如温度、含水状态、数据记录等。同时探讨原材料、环境条件、操作细节对试验的影响，提出试件制备、操作流程、控制体系的优化路径，为提升试验准确性、保障混凝土耐久性提供参考。

关键词：混凝土；抗渗性能试验；抗冻性能试验；试验优化；耐久性

引言：混凝土作为建筑工程主要材料，其抗渗抗冻性能直接影响结构耐久性与安全性。在复杂环境条件下，混凝土易因渗水、冻融循环等作用出现损伤，降低使用寿命。准确评估混凝土抗渗抗冻性能，对优化配合比设计、改进施工工艺具有重要意义。开展混凝土抗渗抗冻性能试验分析，明确试验核心内容、影响因素及优化路径，是提升试验科学性与实用性的重要举措。

1 混凝土抗渗性能试验的核心内容

1.1 抗渗性能试验的试件制备要求

混凝土抗渗性能试验的试件制备是确保试验结果准确性的基础环节。试件成型前需严格筛选原材料，水泥应选用符合标准要求的品种，骨料粒径级配需满足设计规范，避免粗细骨料比例失衡导致孔隙率异常^[1]。试件尺寸通常采用圆柱体或圆台体，直径与高度需符合试验设备要求，以保证压力传递均匀性。搅拌过程中需控制用水量与外加剂掺量，水灰比偏差应控制在极小范围内，避免因配合比波动影响孔隙结构。振捣工艺对密实度影响显著，需根据混凝土工作性选择合适的振捣方式与时间，既要保证内部气泡充分排出，又要防止过度振捣引发离析。成型后试件需立即移入标准养护室，养护温度与湿度应严格控制在规定范围，避免早期干缩裂缝影响抗渗性能。脱模时间需根据混凝土强度发展规律确定，过早脱模易造成表面损伤，过晚脱模则可能因养护条件变化产生附加应力。试件表面处理需平整光滑，端部密封面需与轴线垂直，确保加压过程中压力分布均匀。

1.2 抗渗性能试验的核心操作流程

试验开始前需对设备进行全面检查，抗渗仪压力系统需校准至规定精度，密封装置需确保无泄漏。试件安装时需在表面涂抹专用密封材料，涂抹厚度与均匀性直接影响试验有效性。安装过程中需避免试件倾斜或偏心，防止压力集中导致局部破坏。压力加载需遵循分级递增原

则，初始压力值应根据混凝土强度等级确定，后续每级压力保持时间需足够使渗透稳定。试验过程中需持续观察压力表读数变化，记录各级压力下的初始渗水时间与稳定渗水量。当试件端面出现连续渗水或压力无法维持时，应立即停止试验并记录最终压力值。试验结束后需对试件进行剖面检查，观察渗水路径与内部孔隙分布特征，为性能分析提供微观依据。整个操作流程需严格按规范执行，避免人为因素导致数据偏差。

1.3 抗渗性能试验的关键控制要点

温度控制是首要环节，试验环境温度波动需控制在极小范围，避免混凝土热胀冷缩影响密封效果。压力加载速率需保持恒定，过快加载可能导致非线性渗透，过慢加载则延长试验周期。试件含水状态需统一规范，试验前需根据标准要求进行饱水处理，确保内部孔隙充满水分。密封材料性能直接影响试验成败，需选用与混凝土相容性好的专用材料，涂抹后需静置固化至规定时间。数据记录需详细准确，包括压力值、渗水时间、环境参数等，为后续分析提供完整依据。试验过程中需避免振动干扰，防止压力波动影响渗透稳定性。

2 混凝土抗冻性能试验的核心内容

2.1 抗冻性能试验的试件制备要求

混凝土抗冻性能试验的试件制备需以材料均匀性与结构稳定性为核心。原材料选择需严格把控，水泥强度等级应与工程要求匹配，骨料粒径级配需符合规范，避免含泥量过高或有害物质超标影响孔隙结构。配合比设计需兼顾强度与耐久性，水灰比应控制在合理范围，过大会增加连通孔隙数量，过小则可能导致施工困难^[2]。引气剂掺量需根据含气量目标值精确调整，气泡直径与分布均匀性直接影响抗冻效果。搅拌工艺需确保各组充分混合，引气剂需在适宜阶段加入以形成稳定气泡体系。试件成型宜采用分层振捣方式，每层厚度不宜超过振捣

棒作用半径，振捣时间需根据混凝土稠度灵活掌握，既要保证密实度又要防止气泡过度逸出。养护条件对早期孔隙结构形成至关重要，标准养护室温度与湿度需保持稳定，避免干湿交替引发微裂缝。脱模时间需结合混凝土强度发展规律确定，过早脱模易造成表面损伤，过晚脱模可能因养护条件变化产生附加应力。试件表面处理需平整光滑，端部需与轴线垂直，确保冻融循环过程中温度应力均匀传递。

2.2 抗冻性能试验的核心操作流程

试验启动前需对冻融设备进行全面检查，温度控制系统需校准至规定精度，循环水泵需确保水流均匀无死角。试件安装时需在表面涂抹专用隔离剂，避免与冻融介质直接接触影响结果准确性。冻融介质通常选用清水或特定浓度盐水，介质温度需与试验要求一致，防止因温差导致试件表面局部冻融。冻结阶段需快速降温至目标温度，融化阶段需缓慢升温至常温，温度变化速率需符合规范要求，避免热应力叠加引发非线性损伤。每完成规定次数冻融循环后，需对试件进行外观检查，记录表面剥落、裂缝扩展等损伤特征，同时测量质量损失与动弹性模量变化。质量测量需采用高精度天平，动弹性模量测试需使用非破坏性检测设备，确保数据连续可靠。当试件质量损失超过限值或动弹性模量下降至初始值一定比例时，应立即终止试验并记录最终循环次数。试验

结束后需对试件进行剖面分析，观察内部孔隙结构变化与冻融损伤分布。

2.3 抗冻性能试验的关键控制要点

温度控制是核心环节，冻结与融化阶段温度波动需严格控制，避免因温度突变引发附加应力。冻融介质需定期更换以保持清洁，防止杂质沉积影响传热效率。试件含水状态需统一规范，试验前需进行饱水处理，确保内部孔隙充满水分，避免因含水率差异导致冻胀压力不均。含气量控制需通过试验优化引气剂掺量，气泡间距系数需满足抗冻设计要求。试验过程中需避免振动干扰，防止试件移位或碰撞导致局部损伤。数据记录需详细准确，涵盖循环次数、温度变化、质量损失及动弹性模量等关键参数。设备运行状态需实时监控，发现异常需立即停机检查，防止因设备故障导致试验中断或数据失真。

3 混凝土抗渗与抗冻性能试验的影响因素分析

3.1 原材料对试验过程的影响

原材料是决定混凝土抗渗抗冻性能的基础，直接影响试验准确性。水泥品种与矿物组成决定水化结构，骨料级配、纯净度及矿物掺合料会影响孔隙连通性与密实度，化学外加剂掺量需精准把控以调控耐久性^[3]。不同工程场景试验需求不同，原材料选择也存在差异，以房建与水工工程为例，二者在水泥品种、骨料粒径等方面的选择区别明显，具体对比见表1。

表1

对比维度	房建工程	水利工程
水泥品种	常用普通硅酸盐水泥，注重早期强度与成本平衡	优先低热水泥、抗硫酸盐水泥，减少水化热与化学侵蚀风险
骨料粒径	粗骨料最大粒径 ≤ 40mm，适应结构截面尺寸	粗骨料最大粒径可达150mm，需满足大体积混凝土施工要求
矿物掺合料	粉煤灰为主，改善工作性并降低成本	硅灰、矿渣粉常用，提升抗渗性与抗化学侵蚀能力
外加剂需求	减水剂为主，控制水灰比；引气剂较少使用	引气剂必备，缓解冻胀压力；减水剂需适应高含气量体系
典型问题	含泥量过高易导致表面渗水	骨料碱活性可能引发膨胀破坏，需严格检测

3.2 试验环境条件对试验过程的影响

环境条件贯穿混凝土制备与试验全过程，对结果准确性产生复合影响。温度波动会改变混凝土水化速率，低温养护延缓强度发展，高温养护加速水分蒸发，均可能导致孔隙结构异常。湿度控制不当易引发早期干缩，表面裂缝成为渗水通道，降低抗渗性；在冻融试验中，干湿交替会加剧冻胀损伤。光照条件对含气量稳定性有影响，长时间阳光直射可能导致气泡逸出，需在阴凉处完成试件制备与养护。空气流动速度过快会加速表面水分蒸发，形成塑性收缩裂缝，尤其在抗渗试验中，试件端部密封前需保持湿润状态。环境中的酸性气体或盐雾会腐蚀混凝土表面，在抗冻试验中可能加速介质渗透，

需在洁净环境中开展试验。

3.3 试验操作细节对试验过程的影响

操作规范性是确保试验数据可靠性的关键环节。搅拌工艺中，投料顺序错误会导致外加剂分散不均，搅拌时间不足会引发骨料沉降，均会破坏孔隙均匀性。振捣方式与时间需根据混凝土稠度调整，过度振捣使气泡逸出，抗冻性下降；振捣不足则留下蜂窝孔洞，抗渗性降低。试件成型后表面抹平时机需精准把握，过早抹平会带出水分形成表层疏松区，过晚抹平则难以消除表面缺陷。密封处理是抗渗试验的核心操作，密封材料涂抹厚度不均或固化时间不足会导致边缘渗漏，需采用专用工具确保密封面平整。冻融试验中，试件安装偏心会引发

应力集中,温度传感器位置偏差会记录失真数据,需严格校准设备参数。数据记录需涵盖环境参数与操作时间,任何环节的疏漏都可能导致结果偏离真实值。

4 混凝土抗渗抗冻性能试验的优化路径

4.1 试件制备环节的优化

试件制备是混凝土抗渗抗冻性能试验的基础环节,对试验结果准确性有直接影响^[4]。原材料选择需严格把控,水泥品种应与工程实际需求匹配,骨料级配需满足密实性要求,外加剂掺量需通过预试验确定最佳范围。成型过程中,振捣方式与时间控制尤为关键,过度振捣会导致骨料下沉、孔隙率增加,振捣不足则易形成蜂窝麻面。建议采用分层振捣工艺,每层厚度控制在一定范围内,确保混凝土均匀密实。养护条件对试件性能发展至关重要,标准养护需严格控制温度与湿度,避免早期干缩裂缝产生。对于抗冻试验试件,需在规定的龄期前进行饱水处理,饱水方式应选择真空饱水或浸泡饱水,确保水分充分渗透至混凝土内部孔隙。试件尺寸设计需兼顾代表性及可操作性,过大试件易导致边缘效应,过小试件则难以反映实际结构性能,建议根据试验方法标准选择适宜尺寸。

4.2 试验操作流程的优化

试验操作流程的规范性直接影响数据可靠性。抗渗试验中,加压速率需严格遵循标准要求,过快加压会导致非线性渗透,过慢则延长试验周期。建议采用分级加压方式,每级压力保持一定时间后观察渗水情况。同时在加压过程中增设中途巡检环节,及时排查密封部位是否出现渗漏隐患,发现问题立即停机处理并重新密封试件,避免因局部渗漏导致试验数据失真。抗冻试验中,冻融循环控制需精确到温度波动范围,温度偏差过大会加速试件损伤或掩盖真实性能。建议使用高精度温控设备,并定期校准传感器精度。质量损失测量需在解冻后立即进行,避免水分蒸发导致误差。动弹性模量测试应选择无损检测技术,测试前需确保试件表面平整,探头接触良好。试验过程中需详细记录环境参数,如温度、湿度等,为数据分析提供完整背景信息。

4.3 试验控制体系的优化

试验控制体系需从设备、方法、人员三方面构建。设备方面,定期校准压力机、冻融箱等关键仪器,确保测量精度符合标准要求,同时做好设备的日常维护与保养,降低故障发生率。建立设备运行台账,详细记录每次使用时间、操作参数及维护情况,便于及时发现设备运行异常并进行针对性检修,避免设备隐性故障影响试验结果。方法层面,建立标准化操作手册,明确各环节技术参数与质量要求^[5]。结合不同类型混凝土的试验特点,细化操作规范,针对特殊混凝土制定专项试验方案,确保试验方法的适用性与科学性。人员培训需强化理论与实践结合,重点提升异常情况处理能力,如渗水异常、设备故障等。定期开展技能考核与技术交流活动,分享试验经验与常见问题处理技巧,提升试验人员的专业素养与操作规范性。数据管理应采用电子化记录系统,实现试验过程可追溯,减少人为录入误差。通过构建闭环控制体系,确保试验全流程处于受控状态,为混凝土耐久性研究提供可靠数据支撑。

结束语

混凝土抗渗抗冻性能试验涵盖试件制备、操作流程、控制要点等多方面内容,受原材料、环境条件、操作细节等因素影响。通过优化试件制备环节、规范试验操作流程、完善试验控制体系,可有效提升试验准确性,为混凝土耐久性研究提供可靠数据。持续改进试验方法,对保障建筑工程质量、延长结构使用寿命具有积极作用。

参考文献

- [1]罗青云.水工建筑混凝土抗渗抗冻性能的试验分析[J].河南水利与南水北调,2022,51(10):85-86,89.
- [2]郑志文.水工建筑混凝土抗渗抗冻性能的试验分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(27):55-57.
- [3]赵提.冻融与浸烘循环下的水工混凝土抗冻性能研究[J].黑龙江水利科技,2025,53(7):153-156.
- [4]杨润忠,姜利珍.超高性能混凝土在传统混凝土电杆中的应用[J].居业,2024,(06):70-72.
- [5]张海彬,高玉朋.高性能混凝土抗冻性能影响因素的探讨[J].水泥,2024,(03):15-18.