

小型灌区渠道混凝土强度现场检测方法实践研究

沈玓华

浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院）浙江 杭州 310020

【摘要】：小型灌区混凝土衬砌渠道是农田水利节水灌溉的重要设施，结构实体强度直接关乎输水安全与工程服役年限。受工程布局分散、施工条件简陋、野外服役环境复杂等因素制约，传统实验室试块检测难以真实反映渠道实体质量，现场检测成为把控衬砌混凝土强度的核心手段。本文以回弹法、超声回弹综合法、钻芯法三类常用现场检测技术为研究对象，剖析各类方法检测原理、适用条件与实操特点，结合实际灌区工程开展对比检测试验，分析不同检测手段的数据差异与误差成因，总结适配小型灌区渠道的检测作业要点。实践表明，单一回弹法检测效率高、经济性好，适用于大范围质量普查；超声回弹综合法可规避表层缺陷干扰，检测精准度显著提升；钻芯法检测结果客观权威，可作为强度判定争议的复核依据。采用分级组合检测模式，能够兼顾检测效率、工程成本与数据可靠性，可为基层小型灌区渠道混凝土质量检测及运维管控提供技术参考。

【关键词】：小型灌区；渠道混凝土；强度检测；无损检测；工程实践

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.016

1 研究背景

粮食稳产增收离不开农田水利基础设施支撑，小型灌区承担着区域农田灌溉、排涝泄洪、生态补水等基础功能，在乡村农业发展体系中占据关键地位。相较于传统土质渠道，混凝土衬砌渠道防渗效果突出，输水损耗大幅降低，结构抗冲刷、抗变形能力更强，目前已广泛应用于各地灌区续建配套与节水改造项目。小型灌区渠道多为线性野外工程，线路跨度大、施工点位零散、衬砌结构厚度偏小，现场浇筑、振捣及养护条件难以达到标准化施工标准。渠道混凝土长期经受干湿交替、水流冲刷、土壤盐碱侵蚀与季节冻融作用，若浇筑成型强度不达标，极易出现表层起砂、结构裂缝、衬砌剥落等病害，不仅缩减工程使用寿命，还会降低输水效率，严重时引发边坡坍塌、灌溉中断等问题，造成农业经济损失。混凝土抗压强度是评判渠道衬砌施工质量的核心指标，常规标准试块养护试验流程繁琐、反馈周期较长，无法体现现场实际浇筑成型质量，也不能满足已建成渠道病害排查、质量核验的工作需求。依托便携设备开展现场实体强度检测，能够快速掌握结构真实质量状态，及时排查安全隐患。现阶段混凝土检测相关规范多针对大型水工建筑物编制，针对小型薄壁渠道的专项检测研究偏少，现场作业中易出现检测偏差。结合小型灌区工程实际工况，探究科学合理的现场强度检测方式，对提升基层水利工程质量管理水平具备现实意义。

2 渠道混凝土结构特征与检测难点

2.1 结构基本特征

小型灌区渠道衬砌混凝土常用设计强度为 C20、C25，衬砌厚度普遍处于 8cm 至 15cm 区间，断面以梯形、矩形、U 型为主，整体属于薄壁现浇结构。构件厚度偏小使得混凝土密实度极易受施工操作影响，强度数值离散性偏大。工程整体露天布设，无封闭防护措施，常年接触水体与土体，外部侵蚀作用持续影响结构性能。施工以人工现场作业为主，机械化施工覆

盖率低，施工工艺稳定性不足。结构主要承受水压力、土体侧压力、冻胀力等荷载，表层最先出现质量损伤，内部隐蔽缺陷不易直观察觉。

2.2 现场检测现存难点

渠道边坡地势狭窄陡峭，作业空间受限，大型检测设备无法进场施工，仅可使用轻便型仪器开展作业。现浇混凝土表面平整度较差，浮浆、麻面、局部疏松等问题普遍存在，会直接干扰检测数据准确性。野外温度、空气湿度不断变化，混凝土表层碳化程度不均，进一步加大无损检测误差。渠道里程较长，质量检测工作量庞大，要求检测方式兼顾速度与有效性。基层水利从业人员专业技术水平参差不齐，复杂检测工艺落地难度较高，检测规范性难以统一保障。

3 混凝土强度现场检测技术分析

3.1 回弹法

回弹法是水利现场检测应用最为普遍的无损检测技术，核心依据为混凝土表面硬度与抗压强度存在正向关联关系。借助回弹仪固定动能撞击构件表面，获取回弹数值，结合表层碳化深度参数，对照规范换算公式即可得出混凝土抗压强度推定值。实际检测作业中，先清理检测区域表层杂物、浮浆与积水，保证检测面平整干燥，按照规范划定检测区域并布置测点，规范控制仪器撞击角度，剔除异常回弹数据后计算平均值，同步检测碳化深度，最终核算结构强度。该检测方式仪器轻便、操作简单、检测耗时短，无需损伤结构体，检测成本低廉，能够满足长距离渠道大范围普查筛查需求。不足之处在于仅能反映表层混凝土状态，骨料规格、表面缺陷、环境湿度都会造成数据偏差，检测结果精准度有限。

3.2 超声回弹综合法

超声回弹综合法融合两项检测技术优势，属于复合型无损检测手段。回弹数值表征混凝土表层硬度性能，超声波传播速

度可以反映结构内部密实程度，整合两项参数进行综合计算，能够弥补单一检测方法的短板，降低外界因素带来的数据干扰。检测过程同步采集回弹数据与声波传播参数，测算声波传输距离与声速指标，结合碳化深度完成强度换算计算。该技术兼顾表层与内部结构质量状态，有效削弱表层缺陷、碳化侵蚀产生的检测误差，检测精度优于单纯回弹检测。缺点是检测流程更为繁琐，仪器购置与使用成本偏高，对操作人员专业实操能力有着更高要求，适用于重点渠段、质量存疑断面的精细化检测工作。

3.3 钻芯法

钻芯法属于微破损检测技术，也是混凝土强度判定的基准复核手段。利用专业钻芯设备在结构完好区域钻取圆柱形混凝土芯样，对芯样切割打磨处理后，通过压力试验机开展抗压试验，直接测得实体强度数值。取样作业需避开钢筋、裂缝及疏松缺陷位置，保证芯样结构完整，试验结束后采用高强度砂浆封堵修复取样孔洞。该检测方式数据直观真实，不受表面状态与环境条件干扰，还可直观观察内部骨料分布、密实度及隐蔽病害，检测结论具备法律效力。但检测会轻微损伤衬砌结构，作业流程复杂、检测周期长、经济成本偏高，不适用于大面积批量检测，主要用于检测数据争议判定、关键部位质量核验工作。

3.4 三类检测方法综合对比

回弹法无损无损伤，检测效率最快、成本最低，检测精度偏低，适配全线渠道初步质量筛查；超声回弹综合法同样无结构损伤，检测精度良好，作业效率中等，多用于重点断面精准检测；钻芯法存在轻微破损，检测精度最高，作业效率低、成本偏高，作为质量复核仲裁检测手段使用。

4 工程实例检测与结果分析

本次检测选取县域小型节水改造灌区作为实践载体，渠道总长 3.2km，衬砌混凝土设计强度 C25，衬砌厚度 12cm，采用现场人工浇筑、机械振捣施工，自然洒水养护。工程完工后选取 7 处代表性断面，同步采用三种方式开展平行对比检测，检测执行现行水工混凝土检测相关规范，作业环境温度保持在 18 至 25 摄氏度，检测面提前清理晾干。实测数据显示，钻芯法测得强度数值整体最高，超声回弹综合法检测数值居中，回弹法推定强度数值最低。回弹检测受表层碳化、浮浆影响，数据整体偏小，部分断面检测结果略低于设计参考值，易出现误判情况；综合检测经过参数修正，数值更加贴近结构真实强度；钻芯取样直接检测内部实体，数据稳定性与真实性最优。对比数据离散程度能够看出，回弹法检测结果波动幅度最大，数据稳定性较差；超声回弹综合法有效缩小数值偏差，检测稳定性明显提升；钻芯法数据离散性最小。结合工程质量评定标准判定，以钻芯检测结果为参照，所有检测断面混凝土强度均满足

设计使用要求，能够保障渠道正常输水运行。单一回弹检测仪可作为初步筛查依据，不能直接作为工程验收判定标准，重点部位需依靠综合检测与钻芯复核把控质量。

5 检测误差来源及控制措施

5.1 主要误差成因

渠道自身薄壁结构特性、表层浮浆偏厚、骨料分布不均、局部振捣不密实，会造成基础质量差异，引发检测误差。野外环境温湿度波动、表层碳化深度不一，直接干扰无损检测参数采集。作业人员测点选取不合理、仪器撞击角度偏移、超声波耦合效果不佳、芯样取样位置不当，都会人为造成数据偏差。通用检测换算曲线无法完全匹配小型渠道低强度、水环境服役的结构特点，进一步影响强度换算准确性。

5.2 误差管控措施

检测测点优先选取结构平整区域，规避裂缝、麻面、积水及施工接缝位置，保障检测基础条件达标。正式检测前严格完成检测仪器校验标定，消除设备系统误差。潮湿基面充分晾干后再开展作业，精准测定碳化深度，低温恶劣天气暂停室外检测。遵循先普查、再精测、最后复核的作业顺序，减少重复作业对结构的扰动。结合区域原材料配比、施工养护习惯，优化适配本地灌区的强度换算标准，持续提升检测数据准确度。

6 渠道混凝土检测优化应用建议

6.1 推行分级组合检测模式

依据渠道重要程度划分检测层级，全线渠道采用回弹法完成快速质量普查，标记强度偏低、外观病害明显的区段；针对普查异常点位、主干输水渠段开展超声回弹综合精细化检测；对检测数据存在争议、抽检不达标的部位，采用钻芯法进行最终质量复核判定，分层把控工程整体质量。

6.2 规范现场标准化作业

混凝土强度检测选取浇筑完成 28 天标准龄期开展，避免早龄期结构强度不稳定造成检测失真。作业前彻底清除表层青苔、浮土与松散浮浆，保证检测界面符合规范要求。边坡坡面检测严格把控仪器垂直角度，减少角度修正带来的数据偏差。钻芯取样结束第一时间修补孔洞，规避孔洞渗水、冻胀破坏次生病害。

6.3 强化施工检测联动管控

将现场强度检测融入施工全过程，及时把检测数据反馈至施工班组，针对性整改振捣、养护等薄弱施工环节。建立完整检测数据档案，实现渠道工程建设、质量检测、后期运维全流程质量追溯。常态化开展基层检测人员技能培训，统一作业流程与判定标准，摒弃经验化随意检测方式。

6.4 适配基层选用实用检测技术

结合小型灌区工程资金有限、分布零散的特点，优先选用

轻便易操作、性价比高的检测设备，降低大型专业设备使用频次。基层水利部门配齐基础检测仪器，统一制定现场检测作业细则，以简易实用的检测技术夯实基层水利工程质量管控基础。

7 结论

小型灌区薄壁渠道混凝土服役环境复杂，单一检测技术无法全面满足质量检测需求，回弹法、超声回弹综合法、钻芯法各有适用场景与应用局限。回弹检测便捷高效，适用于大范围

渠道质量筛查；超声回弹综合检测有效降低外界干扰，是中小型渠道常规精准检测的优选方式；钻芯检测结果权威可靠，是质量争议复核判定的核心手段。结合工程实际采用回弹普查、综合精测、钻芯复核的分级组合检测模式，可有效平衡检测效率、经济成本与数据真实性，精准把控渠道混凝土实体强度。后续小型灌区检测工作中，可结合区域气候与结构损伤特点优化检测换算标准，提升基层人员专业检测能力，依托科学现场检测技术，持续保障农田灌区水利工程安全稳定运行。

参考文献：

- [1] 贾雄伟.水利工程材料性能检测与质量控制技术研究[J].工程技术研究,2025,10(7):12-14.
- [2] 李其锦,黄鸿霖,凌晶.水利水电工程中混凝土质量检测及控制研究[J].建筑监督检测与造价,2026,19(1):45-48.
- [3] 张磊.混凝土强度检测技术在水利水电工程应用实践[J].水利技术监督,2025,33(9):67-70.
- [4] 刘浩.混凝土强度现场检测方法的对比研究与优化策略[J].工程建设与设计,2025(14):156-158.
- [5] 王健.小农水灌排渠U型槽混凝土无损检测试验研究[D].南昌:南昌大学,2025.
- [6] 陈明华.水利工程混凝土结构无损检测技术的应用与精度提升研究[J].水利科技,2025(5):89-91.