

长距离输水渠道衬砌施工质量通病防治技术

谢胜涛

河南省水利第一工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

摘要:长距离输水渠道衬砌施工易出现裂缝、渗漏脱空、表层破损、边坡失稳等质量通病,直接影响渠道输水安全与使用寿命。本文系统剖析各类病害的产生机理与核心成因,针对性提出材料优化、标准化施工、病害处置、边坡防护等专项防治技术,构建施工全流程质量管控体系。经实际工程应用验证,该技术体系可有效根治施工质量问题,显著提升渠道衬砌施工质量与运行稳定性。

关键词:长距离输水渠道;衬砌施工;质量通病;防治技术

引言:长距离输水渠道是跨流域调水、水资源优化配置的核心水利设施,衬砌工程作为渠道防渗、防冲、稳结构的关键环节,施工质量至关重要。受复杂地质条件、温差冻融、施工工艺不规范及运维荷载等多重因素影响,衬砌结构易频发各类质量病害,制约工程长效安全运行。为解决行业共性难题,本文结合工程实践,系统梳理质量通病成因,细化专项防治技术与全过程管控措施,为同类渠道施工提供技术参考。

1 长距离输水渠道衬砌施工质量通病及成因分析

1.1 衬砌裂缝质量通病及成因

(1)干缩裂缝多呈龟裂状,系混凝土表面水分蒸发过快所致;温度裂缝常表现为贯穿性或深层横向开裂,源于内外温差形成的拉应力;沉降裂缝多发生于地基突变处,呈纵向或斜向延伸。(2)水泥安定性不合格或骨料含泥量超标的原材料性能缺陷,直接削弱混凝土的抗裂能力;水灰比过大、单位水泥用量过多等配合比设计不合理问题,则显著增大混凝土的干缩变形量。(3)施工期昼夜温差产生的温度应力、长期运行中干湿循环导致的收缩变形,均会使衬砌结构内部累积疲劳应力,当超过混凝土极限抗拉强度时即引发开裂。(4)渠道基础压实度不匀或软弱未处理,导致地基不均匀沉降,衬砌底部因失去稳定支撑而产生剪切或弯拉结构性裂缝。

1.2 衬砌渗漏、脱空通病及成因

(1)渗漏病害表现为潮湿斑、明水流或压力水喷射;脱空则指衬砌与基层局部脱离,敲击呈空响,整体脱空将严重威胁结构安全。(2)渠道基层碾压遍数不足、填筑含水率控制不当造成压实度不达标,致使基层在运行期发生压缩沉降,形成衬砌脱空区。(3)伸缩缝填料不密实、止水带安装偏位或搭接长度不足等接缝工艺缺陷,使接缝成为集中渗漏通道。(4)运行期高水位运行时,高地下水压力直接作用于衬砌背面,不仅加剧

渗漏,其扬压力更会促使脱空范围扩大,甚至顶托破坏衬砌^[1]。

1.3 衬砌表层破损、平整度超标通病及成因

(1)表面起砂、掉皮表现为表层砂浆疏松剥落;蜂窝麻面系内部空隙暴露;凹凸不平则破坏过流面平顺性。(2)浇筑时过振导致离析或欠振造成不密实,收面抹压时机不当、次数不足及养护缺水或失养,均直接影响表层强度和致密度。(3)模板安装拼接不严造成错台,支撑刚度不足导致浇筑中跑模变形,直接导致成型面尺寸偏差超标。(4)运行期高速含砂水流冲刷、推移质撞击磨损,逐步破坏表层砂浆保护层,裸露骨料后加速结构破损。

1.4 衬砌结构变形、边坡失稳通病及成因

(1)鼓包表现为衬砌局部隆起,错位指板间发生相对位移,边坡滑移则表现为整体向下蠕动,严重时衬砌撕裂。(2)开挖坡度陡于设计值、坡面修整不平整,加之土体含水率偏高,降低了坡面土体的自身抗滑稳定性。(3)渠顶施工机械集中堆载产生的附加土压力、渠内水位骤降产生的渗透压力,共同导致衬砌结构受力失衡。(4)季节性冻融循环使衬砌及基层土体产生反复冻胀与融沉,加之土体干湿交替引起的胀缩变形,诱发结构累积性失稳。

2 长距离输水渠道衬砌施工质量通病防治关键技术

2.1 衬砌裂缝专项防治技术

(1)水泥选用低热硅酸盐水泥,其3d水化热不宜大于240kJ/kg,7d水化热不宜大于270kJ/kg;细骨料采用级配Ⅱ区中粗砂,含泥量不大于1.0%,粗骨料采用5~31.5mm连续级配碎石,含泥量不大于0.5%。配合比中掺入粉煤灰(掺量20%~30%)及聚丙烯纤维(掺量0.8kg/m³),控制水胶比不大于0.40,有效降低混凝土绝热温升和干缩变形。(2)采取分段跳仓浇筑,仓格长

度8~10m, 相邻浇筑间隔不少于7d。夏季施工混凝土入仓温度不超过26℃, 骨料预冷降温, 水泥入机温度不超过60℃。分层厚度不大于40cm, 层间间歇不超过混凝土初凝时间。大体积部位埋设冷却水管, 通水流量不小于1.5m³/h, 持续通水7d, 使内部最高温度不超过65℃^[2]。

(3) 浇筑终凝后立即覆盖土工布并洒水养护, 表面始终处于湿润状态, 养护期普通混凝土不少于14d, 掺加粉煤灰的混凝土不少于21d。冬季施工加盖保温棉被和防风帆布, 混凝土表面温度不低于5℃, 内外温差控制在15℃以内, 拆模后及时喷涂养护剂封闭表面毛细孔。(4) 对缝宽小于0.2mm的细微裂缝采用表面涂刷环氧树脂封闭处理; 缝宽0.2~0.5mm的裂缝采用低压注浆(压力0.3MPa)灌注改性环氧浆液; 缝宽大于0.5mm的受力裂缝, 沿缝开V型槽(宽3cm、深2cm), 嵌入遇水膨胀止水条后用聚合物砂浆抹平压实。

2.2 渗漏与脱空病害防治技术

(1) 渠基填筑分层厚度不大于25cm, 采用重型振动碾碾压不少于8遍, 压实度不低于98%。每1000m²检测压实度不少于3点, 不合格立即补压。局部软土采用碎石土换填, 换填深度不小于50cm, 分层回填压实至设计标高。(2) 止水带采用651型橡胶止水带或紫铜片止水, 中心偏差大于5mm, 接头采用热硫化焊接, 搭接长度不小于30cm。伸缩缝内填充聚苯乙烯闭孔泡沫板, 顶部预留2.5cm×2.5cm嵌缝槽, 灌注双组份聚硫密封胶, 灌注饱满密实。(3) 采用地质雷达检测脱空范围及高度, 布孔间距1.0m×1.0m, 注入水泥基微膨胀浆液(3d自由膨胀率0.02%~0.05%), 注浆压力分级提升0.2MPa→0.5MPa, 稳压3min后封孔, 7d后复检脱空填充率不低于95%^[3]。(4) 渠底及边坡铺设复合土工膜(两布一膜, 膜厚0.6mm), 搭接宽度不小于15cm, 采用热熔焊接。高水位渠段衬砌背后设置竖向排水盲沟(间距10m)和横向排水暗管, 引排至渠外, 形成可靠排水体系。

2.3 表层质量缺陷防控与规整技术

(1) 定型钢模厚度不小于4mm, 面板平整度偏差不大于1mm, 拼缝处设定位销, 接缝间隙不大于1.5mm。支架采用承插式盘扣脚手架, 立杆间距0.9m, 横杆步距1.2m, 抗倾覆系数不小于1.5。(2) 采用分层平铺法浇筑, 每层厚度30~40cm。使用插入式振捣器, 振捣点间距不大于35cm, 每点振捣时间20~30s, 以表面泛浆、无气泡逸出为准。初凝前进行二次收面, 收面后立即覆盖薄膜保湿。(3) 蜂窝麻面凿除松散层2cm深, 高压水冲洗干净, 用聚合物水泥砂浆(聚合物掺量3%~5%)填补压实。起砂掉皮处打磨至坚实层, 清理后涂刷水泥基渗透

结晶涂料两遍(用量1.5kg/m²), 硬化后进行表面密封处理。(4) 拆模后逐段检测平整度(2m靠尺), 平整度偏差不大于5mm/2m。局部超标采用角磨机打磨, 偏差大于10mm处凿除重浇。采用激光水准仪控制纵向线型, 相邻板高差控制在±3mm以内^[4]。

2.4 结构变形与边坡失稳防治技术

(1) 开挖坡比按设计要求控制, 偏差不超过±0.5%。坡面采用坡度尺逐段校核, 局部欠挖人工修整。土质松散段坡面铺设土工格栅(抗拉强度≥50kN/m), 间距1.5m打入直径25mm土钉, 长度3~5m, 锚固力不小于50kN。(2) 纵缝间距8~12m设置伸缩缝, 缝宽20~30mm; 地质变化处增设沉降缝。所有结构缝贯穿衬砌全截面, 缝内填充闭孔泡沫板, 顶部灌注密封胶, 确保能有效释放温度应力和不均匀沉降变形。(3) 冻土区渠底换填50cm砂砾石垫层, 其上铺设5cm挤塑聚苯乙烯保温板(压缩强度≥300kPa)。过流面采用C40抗冲磨混凝土, 或涂刷3mm厚聚脲弹性涂层, 抵抗推移质冲刷磨蚀。(4) 沿渠每50m设沉降观测点, 每100m设位移监测桩, 施工期每天观测一次, 运行期每周观测一次。累计沉降超过15mm或单次变形超过3mm即启动应急预案, 采取卸载、钻孔卸压、坡脚反压等措施控制变形, 确保渠道结构安全稳定。

3 长距离输水渠道衬砌施工全过程质量管控措施与工程应用

3.1 施工前期质量预控管理

(1) 组织设计、监理、施工三方进行施工图纸会审, 重点核查渠道纵断面线型、边坡坡比、分缝布置及配筋构造的合理性, 结合现场实际情况优化专项施工方案, 明确裂缝、渗漏、变形等通病的防控技术路线。(2) 建立原材料进场“批批检”制度, 水泥、砂石料、外加剂、止水带等主要材料每批次见证取样送检, 合格后方可使用; 拌合站计量系统、振捣设备、模板系统安装调试后试运行验收, 计量误差不超过±1%。(3) 实行分级技术交底制度, 项目技术负责人向管理人员交底, 班组长向操作工人交底, 重点讲解振捣工艺、收面时机、养护要点等关键操作要领, 组织标准化作业实操培训, 考核合格方可上岗。(4) 施工前补充地质勘探, 查明渠基软弱夹层、地下水位及冻深分布, 对不良地质段提前制定换填、排水或加固预案, 建立地质风险分级管控清单, 实现风险源头预判与主动防控。

3.2 施工过程动态质量管控

(1) 基槽开挖时由测量人员全程跟踪放线, 严禁超挖欠挖, 基底经监理验收合格后方可进入下道工序; 基

底处理时换填厚度、压实度逐层检测,每层检测不少于3点/1000m²。(2)混凝土浇筑全过程旁站监督,重点检查入仓温度、坍落度及含气量(每班检测不少于3次),振捣过程实行网格化责任分区,养护期间悬挂养护标识牌,专人记录养护温湿度日志。(3)隐蔽工程(渠基处理、止水带安装、钢筋绑扎、防水层铺设)实行“三检制”(自检→互检→专检),合格后报监理验收;浇筑、止水安装、注浆等关键工序实行监理全程旁站,留存影像资料。(4)现场配备专职质量员每日巡查,发现蜂窝、漏振、平整度超标等问题立即标识并下达整改通知单,一般问题2h内整改完毕,重大质量问题停工分析原因,制定专项处置方案经审批后方可复工^[5]。

3.3 后期质量检测与运维管控

(1)衬砌成型后采用地质雷达检测衬砌厚度及脱空状况,采用回弹仪或钻芯法检测混凝土强度,采用超声波平测法检测裂缝深度,检测结果形成质量评估报告,作为验收依据。(2)严格按《渠道防渗衬砌工程技术标准》逐项验收,平整度、强度、厚度、缝宽、止水安装质量等指标达标后方可通水,验收资料完整归档,实现质量可追溯。(3)通水运行后建立健康监测系统,沿渠道布设渗压计、位移计、温度计,数据自动采集上传,设定预警阈值(渗流量突增20%或位移速率>2mm/月即报警),实现病害早发现早处置。(4)制定年度养护计划,每月巡视检查一次,汛期加密至每周一次,发现细微裂缝及时封闭,止水老化定期更换,排水系统定期清淤疏通,形成“巡查→发现→处置→复核”闭环治理模式。

3.4 工程实例应用与效果分析

(1)某大型跨流域调水工程渠道总长86.5km,设计流量35m³/s,沿线穿越黏土、砂卵石及季节性冻土等多种地层,最大挖深18m,施工面临裂缝控制难度大、地下水位高、防渗要求严等突出难点。(2)工程全面应用了

低热水泥+聚丙烯纤维抗裂配合比,渠基采用重型碾压+换填处理,伸缩缝设置铜片止水+聚硫密封胶双道防护,过流面采用定型钢模+二次收面工艺,脱空区实施注浆填充全覆盖。(3)实施后渠道衬砌混凝土强度合格率达100%,平整度偏差控制在5mm/2m以内,通水一年后全线无贯穿性裂缝,渗漏量较设计允许值降低62%,伸缩缝止水完好率96.3%,边坡无滑移变形,质量通病得到有效控制。(4)工程实践表明,全过程质量管控体系与防治技术集成应用成效显著,建议后续工程进一步推广智能化振捣监控、无人机巡检等数字化手段,持续提升长距离渠道衬砌施工质量管控水平。

结束语

本文总结的衬砌施工质量通病防治技术与全流程管控体系,精准适配长距离输水渠道施工特点,有效解决了裂缝、渗漏、结构失稳等核心问题。工程实践证实,整套技术可大幅提升衬砌施工精度与结构耐久性,降低运维病害发生率。后续可结合智能化监测、数字化施工技术持续优化工艺,进一步完善质量管控体系,为水利输水渠道工程高质量建设与长效运维提供坚实技术支撑。

参考文献

- [1]王正中,江浩源,刘全宏.基于周向冻缩变形协调的衬砌渠道防冻胀纵缝计算方法[J].工程力学,2024,41(10):225-234.
- [2]李刚,张军,王磊.大型引调水工程渠道衬砌失稳病害成因及综合防控技术[J].长江科学院院报,2025,42(7):98-104.
- [3]范金东,王思强.引水渠道衬砌面板裂缝修补及预防施工技术[J].四川水力发电,2024,43(5):17-20.
- [4]郝世飞,蔡慧.长距离输水工程渠道混凝土衬砌施工质量控制与通病防治[J].工程技术研究,2023,8(15):136-138.
- [5]谭超文.水利工程长距离渠道衬砌施工技术及其质量通病治理[J].珠江水运,2023,26(10):65-67.