

水利工程中渠道防渗施工技术及其质量控制

张金丽¹ 赵云¹ 步月婷²

1.内蒙古河套灌区水利发展中心解放闸分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015400

2.内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：农业灌溉渠道渗漏加剧水资源损耗，复杂地质与气候条件也制约防渗工程施工质量。本文依托实际工程，应用土料、混凝土、沥青混凝土、高压喷射灌浆等多种防渗施工技术，配套实施全流程技术管控措施。工程应用复合防渗体系后，渠道渗漏量明显下降，输水效率与结构耐久性显著提升，各项技术指标均达到设计要求，可为同类农田渠道防渗施工提供技术参考。

【关键词】：渠道防渗；施工技术；质量控制；复合防渗；农田水利

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.030

引言

我国农业水资源供需矛盾突出，渠道渗漏造成大量灌溉用水浪费，现有防渗施工易受地质、气候、材料及工艺影响。为提升渠道防渗效果与工程稳定性，结合黄土区域渠道工程实际工况，各类防渗核心施工技术与全流程管控技术。在优化渠道施工工艺，解决渗漏、结构变形等问题，提升水资源利用效率，助力农田水利工程长效运行。

1 工程概况

本工程为山东聊城茌平区黄土区域农田防渗渠道项目，渠道总长 8.5km，设计灌溉面积 800 公顷。场区以黄土状粉土为主，土体透水性强、存在湿陷性，冬季冻融循环频繁，地下水埋深较浅。工程采用土料、沥青混凝土与高压喷射灌浆相结合的复合防渗技术，针对性解决渗漏、冻胀、不均匀沉降等问题，整体工期 6 个月^[1]。

2 水利工程渠道防渗关键施工技术

2.1 土料防渗与改良土料施工技术

施工前期清理渠基范围，剔除表层草根、碎石与松散土体，维持基面平整密实。选取塑性指数大于 10、不含有机杂质的粉质黏土作为防渗用料，把控含水率区间在 10%-20%，含水率偏低时洒水调湿，含水率偏高时摊置风干^[2]。运用湿式混合搅拌方式处理土料，单次搅拌时长不少于 15min，让水分分布均匀。逐层铺填土料，单层铺筑厚度不超 15cm，借助羊角碾、振动碾反复碾压，收紧土体内部空隙。结合颗粒重组与密实成型调整工序，依靠材料固有属性形成连贯防渗体系，借着分层作业让防渗层贴合渠基，让整体结构衔接顺畅，适配黄土地层的防渗工况。

2.2 渠道断面优化设计防渗技术

结合现场地形、土层渗透系数与设计流量确定断面参数，依托公式 $Q=B \times h \times v$ 核算水力参数（ Q 为渠道流量， B 为渠底宽度， h 为渠内水深， v 为水流流速）。结合土层抗剪强度设定渠道边坡比值（1.0 : 2.0 至 1.0 : 1.5），平衡边坡稳定性与工程占地。依据渠道底坡、水力半径等布设伸缩缝，依托公式

$V = k\sqrt{RS}$ 计算水流参数（ V 为水流速度， k 为谢才系数， S 为渠道底坡， R 为水力半径）。通过断面精细化设计改善水力运行条件，依托伸缩缝抵消结构应力，依托参数化设计提升抗裂能力，从设计层面强化渠道防渗能力。

2.3 混凝土防渗衬砌施工技术

按照设计坐标开展放样作业，搭设刚度达标模板体系，避免浇筑阶段模板发生变形。混凝土分层浇筑并配合分层振捣，单层厚度控制在 30cm 以内，插入式与平板振动器分区作业，单处振捣用时 20s 至 30s，排出混凝土内部气泡。拌合时长结合现场坍落度确定，单次拌合时长不小于 1.5min，相邻浇筑段落间隔控制在 45min 以内，防止冷缝产生。环境温度高于 30℃ 时做入仓降温，降低水化热带来的影响。非受力侧模板在混凝土强度达到设计值五成后拆除，承重位置模板待强度达到设计值七成后拆除。分层作业夯实衬砌层状态，温控与时序管理减少结构裂缝，模板分段管控规整衬砌外观，形成完整的混凝土防渗衬砌体系。

2.4 混凝土混合浆砌筑防渗技术

严格把控拌合物料配比，将混合浆水灰比设定在 0.5 至 0.6 区间，机械拌合时长控制在 3min 至 5min，保证浆液内部物料混合均匀，无结块现象产生^[3]。混合浆制备完成后，需在 3h 至 5h 时限内投入使用。砌筑前完成渠基整平清理，先均匀铺设底层浆液，再放置大粒径块石作为基础骨架，后续逐层摆放石料与混凝土块。作业过程中对石料间隙进行满浆填充，渠道角隅位置选用规整石料铺设，保证砌筑面平顺连贯。依托公式 $F=N \times T$ 核算整体拌合时长，式中 F 代表总搅拌时长， N 代表搅拌作业次数， T 代表单次搅拌时长。依托浆液填充工艺封堵结构缝隙，依托石料与浆液的嵌合作用提升结构整体性，依托时序管控保障浆液固化效果，利用砌筑结构的致密特性实现防渗目标。

2.5 沥青混凝土防渗施工技术

沥青混凝土原料按照固定油石比完成配料组合，物料输送至拌合设备后保持连续拌合，保证骨料与沥青完全裹覆。拌合

完成的混合料转运至作业面开展摊铺作业，全程采用红外测温设备实时监测物料温度，摊铺阶段温度波动区间控制在 2°C 以内。摊铺作业保持匀速行进，摊铺层整体厚度保持均匀一致，摊铺完成后立即启动碾压工序，按照先静压后振压的顺序作业，多遍碾压逐步提升结构压实度与层间黏结性能。碾压作业沿渠道纵向匀速推进，碾压机具行驶速度保持恒定，消除层间脱空与表层松散问题。结合材料热稳定特性规划连续施工流程，利用沥青自身延展性能适配渠道基底微小形变，依托温控与碾压协同工艺构建整体连续的防渗面层，依靠混合料致密结构阻断水体下渗通道，适配温差变化明显区域的渠道防渗工况。见图1。

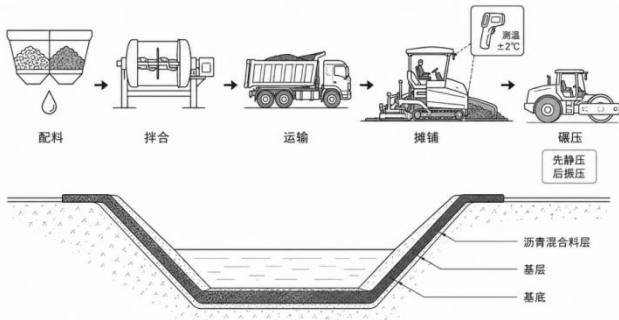


图1 沥青混凝土防渗工艺

2.6 防渗膜铺设与焊接施工技术

渠道基底完成整平与压实作业后开展防渗膜铺设作业，膜体沿渠道走向平顺展开，膜面保持无褶皱、无拉伸状态，相邻膜体搭接宽度维持固定数值。搭接位置采用专用焊接设备实施热熔焊接，焊接设备运行温度与行进速度保持稳定，保证焊缝区域膜体完全熔合。焊接作业沿搭接缝线性连续推进，焊缝整体保持平直连贯，杜绝断点与虚焊区域。膜体铺设完成后对膜面进行梳理，膜体与基底表面完全贴合，边角及转折位置按照曲面形态自然弯折，避免膜体出现硬折破损。依托热熔熔接原理实现膜体之间的密封连接，利用高分子材料物理特性形成整体隔水层，采用连续化铺设焊接工艺提升施工连续性，依靠膜体整体密闭结构形成长效防渗体系，适配多种土质条件下的渠道防渗施工。

2.7 高压喷射灌浆防渗施工技术

按照设计点位布置灌浆孔位，钻机沿垂直方向钻进至指定地层深度，成孔完成后下入高压喷射管路。设备启动后输出恒定压力的浆液，浆液流量与管路提升速度保持稳定参数，压力数值波动范围控制在标准区间内。高压浆液冲击切割周边土体，土体与浆液充分混合形成固结体，管路按照匀速向上提升的方式完成全孔段喷射作业。单孔喷射作业结束后依次移至下

一孔位循环施工，相邻孔位固结体相互搭接形成连续防渗墙体。定时记录压力、流量、提升速度等运行参数，保障不同孔位固结体形态与密实度保持统一。借助高压射流扰动土体并与浆液胶结的作用机理，形成整体性强、渗透系数低的地下防渗结构，利用连续搭接的固结墙体阻断基底渗流路径，应对地下水水位偏高、存在富水层的渠道基底防渗需求。

3 渠道防渗施工全流程质量控制技术

3.1 防渗原材料性能检测与管控技术

砂石骨料检测颗粒粒径分布与含泥指标，筛分作业按照固定筛序逐层分级，筛选出符合级配要求的骨料投入使用。沥青混合料检测延展性能与耐老化指标，借助专业设备测定材料抗拉参数，检测完成后转入恒温仓储区域存放^[4]。防渗膜与土工布取样后开展渗透系数检测，利用专用仪器测定材料隔水能力与形变性能。所有原材料按照进场批次依次取样，各项检测流程遵循标准化试验流程，检测数据同步录入物料追踪体系。各类防渗材料依据自身存储特性划分堆放区域，隔离不同品类物料避免混杂，材料转运过程采用密闭输送方式，减少外界环境对材料本体性能的干扰，依托系统化检测流程把控原料基础性能，从物料源头维持防渗结构的物理稳定性。见图2。

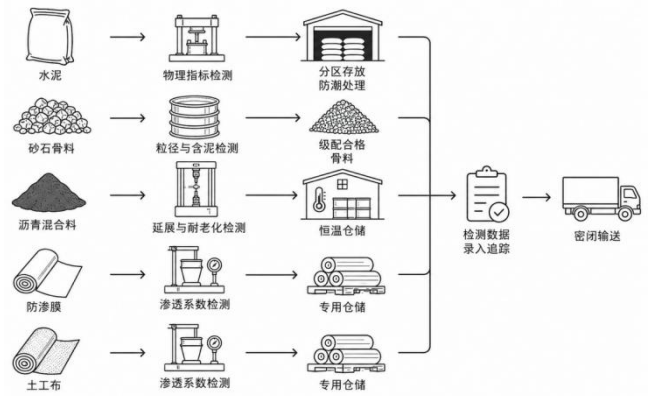


图2 原材检测与管控

3.2 现场施工配比精准调控技术

土料施工过程中跟踪检测土体含水率，每两小时抽取试样，借助烘干设备完成检测工作，参照实测数据调整洒水、晾晒时长，把含水率稳定控制在10至20区间。混凝土与砂浆拌合期间用计量设备投放各类原料，水灰比设定在0.5至0.6区间，单次拌合用时3至5分钟，拌合完成后抽查拌和物坍落度，结合检测结果微调原料投放量。沥青混合料作业时跟踪油石配比，结合现场气温稳住物料配比，让骨料和沥青融合状态保持统一。灌浆作业中监测浆液稠度，参照地层裂隙尺度调整水灰参数，使浆液拥有适配的流动与固化效果。

3.3 基底处理与碾压密实控制技术

渠基表层开展清理作业，彻底剔除草根、碎石以及松散浮

土,采用平整设备对基底整体修平,保证基底表面高程与坡度符合设计标准。黄土类基底完成清理后做预压处理,消除土体内部潜在空隙结构。分层铺筑作业按照单层厚度不超过15Cm的标准执行,每层铺筑作业结束后启动碾压工序,依次采用羊角碾与振动碾沿渠道纵向匀速行进作业。压实作业完成后采用环刀法与核子密度仪开展密实度检测,检测点位沿线路均匀布设,检测所得数据作为下一层铺筑作业的参考依据。高地下水水位区域的基底增设排水构造,疏导基底内部积水,降低孔隙水压力对碾压作业的影响。

3.4 混凝土浇筑振捣与养护控制技术

混凝土分层入仓浇筑,单层浇筑厚度控制在30cm,插入式振动器与平板振动器配合作业,单点位振捣时长维持在20s至30s,促使内部气体完全排出。物料拌合时长不低于1.5min,相邻浇筑段间隔时长控制在45min,规避结构冷缝生成。环境温度超过30℃时,对入仓物料实施降温处理,抑制水化热集中释放引发的形变。模板拆除遵循强度指标执行,非受力侧模板待结构强度达到设计标准五成后拆除,承重部位模板待强度达到设计标准七成后拆除。

3.5 分段接缝与伸缩缝施工控制技术

渠道结构按照既定段落划分施工区间,分段位置预留规整施工缝,缝面清理至露出新鲜骨料,再涂刷同配比水泥净浆,保障新旧混凝土嵌合紧密。依据土体抗剪强度与温度形变规律布设伸缩缝,缝体内部填充柔性密封材料,填充深度与缝体宽度保持统一,密封材料与缝壁完全贴合。沥青混凝土结构的分段接缝处对接缝端面做加热处理,保证新旧物料熔融结合,衔接位置碾压轨迹相互重叠,消除缝隙空隙。全段施工完成后对所有缝体表层做平顺处理,让缝体与主体结构表面保持齐平,利用密封材料的形变能力抵消温度、干湿交替产生的结构应力,阻断水分沿缝隙渗透的通道。

3.6 不同地质气候条件下施工适配技术

黄土地层施工前对基底做预压处置,削弱土体湿陷特性带来的结构影响,分层铺筑与碾压工序严格执行既定厚度参数,降低不均匀形变概率。砂性土层在基底增设反滤构造,阻断细颗粒土体随水流迁移形成渗流通道。地下水位偏高区域提前布

设排水管路,持续疏导基底积水,降低孔隙水压力对防渗层成型的干扰。低温冻融区域选用抗冻型防渗物料,调整摊铺与碾压的作业时段,避开低温冻结区间。多雨区域缩短土体露天静置时长,基底作业完成后及时开展上层施工,控制基底含水率处于合理区间,依托针对性工艺适配不同外界条件,维持防渗结构成型状态稳定。

3.7 完工后防渗性能检测技术

灌浆墙体采用单点法压水试验开展检测,沿渠道线路每间隔50m布设一处检测点位,以透水率3Lu作为判定界限,测定结构内部渗流状态。沥青复合防渗层采用地质雷达实施无损扫描,设备扫描分辨率设定为1cm,逐层排查结构内部脱空、裂隙等缺陷。土料防渗段选取代表性点位取样,测定土体渗透系数与压实状态。混凝土衬砌结构采用声波检测设备探测内部密实程度,排查深层细微裂缝。

4 工程实施效果

该8.5km农田防渗渠道采用土料、沥青混凝土与高压喷射灌浆组合的复合防渗结构,各类主体施工工艺均按既定技术参数落地执行^[5]。渠道水体渗漏指标得到明显优化,单位里程日渗漏量降至13.2 m³,区域灌溉水利用系数实现稳步提升。整套防渗结构抗冻融、抗不均匀沉降能力显著增强,结构整体使用周期大幅延长。机械化施工搭配智能化监测设备,让各道工序衔接更为顺畅,整体施工周期得到有效压缩。渠道沿线土体压实状态、焊缝密封性、灌浆墙体透水率等各项技术指标,均满足设计标准,全线结构内部无明显裂隙与脱空区域。工程投入运行后,区域输水损耗大幅降低,有效拓展灌溉覆盖范围,地层渗流问题得到彻底管控,复合防渗体系的技术优势在现场工况中充分显现。

结语

渠道防渗是农田水利节水建设的关键环节,多样防渗施工技术与系统化技术管控相结合,可有效应对地层湿陷、冻融、基底渗水等工况。本次采用的复合防渗工艺及配套技术,有效降低渠道渗漏量,延长工程使用年限。相关技术方案适配区域地质气候特点,施工成效突出,能够为同类型农田防渗渠道工程的建设与运维提供可行的技术借鉴。

参考文献:

- [1] 张旺勇.农田水利工程防渗渠道施工的核心技术及质量控制措施[J].农村科学实验,2026,(5):105-107.
- [2] 王勇.农田水利渠道防渗工程关键技术与施工质量控制措施[J].农业科技与装备,2026,48(1):74-76.
- [3] 陈楚伟.水利渠道防渗施工管理质量控制的技术优化策略[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(2):73-75.
- [4] 刘瑞宁,李萍.农田水利工程防渗渠道施工的关键技术和质量控制措施[J].农村科学实验,2025,(16):94-96.
- [5] 赵广霞.农田灌溉渠道防渗施工技术及其质量控制[J].现代农村科技,2024,(10):124.