

渠道边坡薄壁混凝土衬砌施工技术在河套灌区的应用

郭宇坤

内蒙古河套灌区水利发展中心义长分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015100

【摘要】：河套灌区陡边坡渠道衬砌面临下滑、密实度不足、冻胀防渗效果不佳等难题，结合灌区温带大陆性气候、盐碱化地层及“十五五”现代化改造需求，本文阐述薄壁混凝土坡面自稳控制、防下滑与振捣密实及灌区适配性工艺三大核心原理，梳理坡面修整、防渗钢筋安装、混凝土施工、振捣养护等关键流程与操作要点，提出全流程质量保障措施。实践证明，该施工技术可解决无对拉模板条件下陡边坡薄壁浇筑难题，提升衬砌密实度与耐久性，适配灌区灌溉调度节奏，为河套灌区“十五五”特大型灌区现代化改造、水资源高效利用及粮食安全保障提供可靠技术支撑。

【关键词】：河套灌区；陡边坡；薄壁混凝土；衬砌施工；防冻胀防渗

DOI:10.12417/2811-0722.26.06.037

引言

河套灌区作为我国特大型灌区，是北方粮食生产与生态保护的重要载体，“十五五”期间灌区现代化改造聚焦节水高效、设施完善目标，渠道衬砌工程是提升灌区效能的核心环节。灌区渠道多为陡边坡结构，受温带大陆性气候影响，冬季低温冻胀、春季大风蒸发、土壤盐碱化问题突出，传统衬砌施工存在薄壁混凝土下滑、振捣不均、防渗防冻效果不佳等痛点，影响渠道使用寿命与输水效率。适配灌区工程实际需求，本文结合灌区“十五五”续建配套及储备项目实践，系统阐述陡边坡薄壁混凝土衬砌施工的原理、流程、要点及质量保障措施，为同类灌区衬砌工程提供技术参考。

1 施工工艺原理

1.1 薄壁混凝土坡面自稳控制原理

薄壁混凝土坡面自稳控制以河套灌区陡边坡衬砌工况为核心，依托低坍落度混凝土与坡面锚固体系协同作用实现稳定成型，该原理在河套灌区相关“十五五”续建配套项目中得到规模化验证^[1]。混凝土采用低坍落度配制，根据坡比不同控制坍落度参数，降低流动性，配合预制钢筋网片与坡面锚固体系形成整体摩擦约束，未铺设防渗土工膜段落用梅花形布置锚固钉固定，满铺土工膜段落采用保护层垫块架空布设，避免土工膜破损影响防渗效果，结合预制铝合金梯子与拦木装置形成多级拦截，使混凝土在薄壁浇筑状态下保持坡面稳定，解决河套灌区渠道陡边坡、薄壁、无对拉模板条件下的浇筑下滑难题，为灌区衬砌提供可靠自稳支撑，契合“十五五”灌区现代化改造“节水高效、设施完善”的目标要求。

1.2 防下滑与振捣密实技术原理

防下滑与振捣密实技术以机械牵引与分层振捣组合为核心，适配河套灌区渠道长距离、大坡度、薄壁衬砌的施工需求，在灌区相关渠系工程衬砌中应用效果显著。坡顶设置卷扬装置牵引振捣梁，自坡脚向坡顶匀速往复振捣，配合平板振动器复振，轮迹搭接符合规范要求，以混凝土不再下沉、均匀翻浆为

密实判定标准，最后用盘式磨光机整平提浆，形成成套振捣体系，解决传统分层装模振捣不均、易爆模问题，通过拦截装置与振捣时序控制，防止混凝土在陡边坡摊铺与振捣过程中滑移，保障衬砌密实度、平整度与结构强度，满足河套灌区渠道长期输水与抗冻胀、抗冲刷要求。

1.3 河套灌区适配性工艺核心原理

河套灌区适配性工艺核心原理立足温带大陆性气候、冻胀敏感、盐碱化地层特点，整合自稳控制、振捣密实与防冻胀防渗技术，形成适配灌区的定制化施工逻辑，已在灌区相关保温一体化衬砌、防渗加固等“十五五”储备及实施项目中落地应用^[2]。以低坍落度混凝土、无面模跳仓浇筑、多级振捣成型为基础，结合灌区冬季低温、春季大风、蒸发强烈的气候特征，优化养护与防渗体系，采用土工膜全断面铺设、分缝密封与保温防护措施，抵御冻胀变形与盐碱侵蚀，简化装模、脚手架工序，缩短停工期施工周期，适配灌区灌溉调度节奏，实现节水增效、质量可靠与工期可控的统一，为河套灌区“十五五”特大型灌区现代化改造、提升灌区整体效能提供技术支撑，助力实现水资源高效利用与粮食安全保障目标。

2 关键施工工艺流程

2.1 坡面修整与基面处理

坡面修整与基面处理以精准成型为目标，执行机械粗修、人工精修、局部补平三步流程，适配河套灌区渠道原状坡陡、线形复杂、土质不均的基底条件。施工前按规范间距测量放样，预留保护层开挖导槽，机械沿导槽粗修避免超欠挖，人工加密测点管控坡顶高程、坡面平顺度，局部超挖区域采用砂浆及时修补，网格挂线法加密控制，确保基面平整度符合规范，为防渗铺设、钢筋安装与混凝土浇筑提供稳定基底，该工序在灌区相关干渠衬砌中有效提升基面合格率。

2.2 防渗体系与钢筋网片施工

防渗体系与钢筋网片施工遵循防渗保护与结构加固协同推进，贴合河套灌区防渗、抗冻胀需求。先完成防渗土工膜截

剪与满铺铺设, 搭接牢固、密封严密, 杜绝渗漏通道; 再进行标准段钢筋网片安装, 未铺膜坡面用锚固钉梅花形布置固定, 满铺膜坡面绑扎保护层垫块架空布设, 严禁穿孔破坏防渗层, 网片拼接顺直、保护层均匀, 形成“防渗膜隔离+钢筋网增强”的复合体系, 保障衬砌结构耐久性, 在河套灌区多段渠道防渗工程中实现渗透系数稳定达标。

2.3 混凝土拌制、运输与入仓

混凝土拌制、运输与入仓全过程严控性能稳定, 适配陡边坡薄壁浇筑要求, 满足河套灌区连续作业需求。采用强制式搅拌机, 按配合比称量原材料, 依据骨料含水率动态调整用水量, 确保拌合物骨料均匀、不离析、细骨料包裹粗骨料; 运输采用自移式搅拌机, 运输与卸料全程保持滚筒转动, 防止分层离析; 入仓采用搅拌机+挖机+人工辅助的方式, 均匀布料, 为坡面摊铺与振捣奠定基础, 该流程在灌区大规模衬砌中保障混凝土性能一致性。

2.4 坡面摊铺与拦截固定

坡面摊铺与拦截固定采用跳仓法施工, 结合河套灌区陡边坡特点实现无面模稳定摊铺^[3]。利用钢筋网片提升坡面摩擦力, 采用低坍落度混凝土降低流动性, 同步在预制铝合金梯子上设置拦木装置形成多级拦截, 按坡度预留虚铺厚度, 严禁薄层贴补与砂浆抹面, 使混凝土快速固定于坡面, 解决陡边坡薄壁衬砌无对拉模板条件下的摊铺难题, 在灌区相关干渠工程中大幅提升施工效率。

2.5 振捣成型与收面养护

振捣成型与收面养护执行分层振捣、精准收面、分段养护流程, 适配河套灌区气候与薄壁结构特点。振捣遵循振捣梁自下而上主振、平板振动器复振、磨光机精平三步法, 确保密实平整; 收面在磨光机作业规定时间内采用人工钢抹子完成, 保证表面光洁无麻面; 养护分阶段实施, 初凝前覆盖塑料膜保水, 初凝后揭膜覆盖湿草帘, 定时洒水, 专人负责管控, 抵御灌区大风、高温、干燥导致的失水开裂, 提升衬砌外观与长期性能, 在河套灌区多标段工程中有效控制裂缝产生。

3 施工操作要点

3.1 基面精准修整控制

基面精准修整以测量管控与分层修整为核心, 适配河套灌区渠道原状坡不规则、土质差异大的特点。机械修坡以导槽为控制线, 严控开挖边线与高程, 人工修坡加密测点, 确保坡面平顺、坡率达标, 局部超挖用砂浆及时填补, 杜绝薄层贴补, 整体平整度满足衬砌要求, 为后续工序提供可靠基面, 该要点在灌区相关灌域渠道衬砌中保障基底成型质量。

3.2 防渗与钢筋网安装要点

防渗与钢筋网安装突出防渗保护与结构安全, 贴合河套灌

区防渗防冻胀需求。土工膜铺设平整、搭接严密、锚固可靠, 避免褶皱、破损; 钢筋网片采用成品网, 标准块拼接顺直, 铺膜段落仅用垫块支撑, 不穿孔固定, 未铺膜段落锚固钉梅花形布置、绑扎牢固, 保护层厚度均匀, 网片与坡面贴合适度, 既增强混凝土抗裂性能, 又完整保留防渗体系功能, 在灌区渠道中实现防渗与结构协同达标(见图1)。

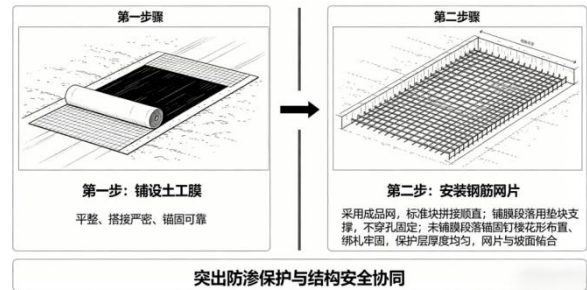


图1 防渗与钢筋网安装要点

3.3 低坍落度混凝土配制要点

低坍落度混凝土配制以坡比定参数、现场动态调控为原则, 适配河套灌区陡边坡自稳需求^[4]。严格按配合比配料, 称量误差符合规范, 依据骨料含水率实时调整用水量, 根据坡比不同控制坍落度, 拌合物均匀不离析, 满足陡边坡自稳不流淌, 保证振捣可密实、提浆收面顺畅, 杜绝现场随意加水, 在河套灌区多工况坡面中保障浇筑性能稳定。

3.4 陡边坡振捣作业要点

陡边坡振捣作业以机械组合、时序管控、厚度控制为关键, 解决薄壁振捣难题。采用适配规格振捣梁由坡脚至坡顶匀速振捣, 平板振动器复振, 轮迹搭接符合规范, 以混凝土翻浆、不再下沉为密实标准, 振捣前预留虚铺厚度, 严禁薄层贴补, 压顶线条平顺、高程统一, 在河套灌区长距离渠道衬砌中保障密实度、平整度与外观质量达标。

3.5 灌区气候适配养护要点

灌区气候适配养护针对低温、大风、强蒸发特点, 采用分段保湿、高频养护策略。正常气温下浇筑后规定时间内启动养护, 初凝前覆盖塑料膜防止水分快速蒸发, 初凝后更换湿草帘, 定时洒水, 保持湿润状态, 专人全程管控, 避免薄壁混凝土因失水、温差产生裂缝, 同时兼顾冬季防冻要求, 提升衬砌抗冻胀与耐久性, 适配河套灌区气候条件。

4 质量保障技术措施

4.1 基底成型质量控制

基底成型质量控制以测量放样、分层修整、局部修补为核心抓手, 是保障衬砌结构稳定性的基础环节, 贴合河套灌区渠道改造工程实际需求。施工前结合灌区渠道原状坡特点, 按规范间距布设断面放样标记, 明确开挖边界与高程控制点, 确保

放样无偏差。旧衬砌拆除采用反铲挖掘机作业，避免扰动基底土体，拆除后人工精细化修坡，严控超欠挖^[5]。修坡全程采用网格挂线法加密测点，实时管控坡面平整度与坡率，局部超挖、凹陷部位用砂浆分层修补，杜绝薄层贴补造成的基底不密实问题。一系列精细化管控措施，确保基底达到密实、平顺、坡率准确标准，为后续防渗铺设、钢筋安装及混凝土浇筑提供坚实的作业基面，减少基底缺陷引发的衬砌裂缝、脱落等病害，保障河套灌区渠道衬砌工程整体质量与使用寿命（见图2）。

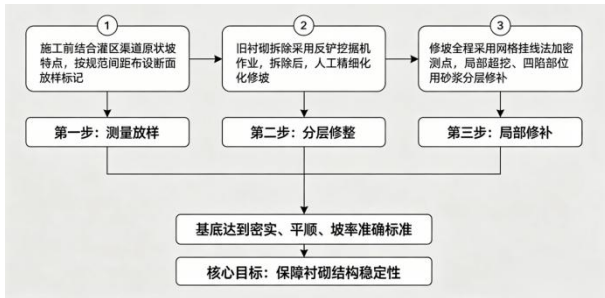


图2 基底成型质量控制

4.2 混凝土性能质量控制

混凝土性能质量控制贯穿拌制、运输、入仓全过程，是陡边坡薄壁衬砌施工质量关键，契合河套灌区渠道使用要求。拌制用强制式搅拌机，按审批配合比精准称量原料，动态调整用水量，保证拌合物均匀无离析；运输用自移式搅拌机，保持滚筒转动防离析；入仓均匀布料，严禁二次加水，控制坍落度，确保各项指标达标，为衬砌结构安全运行提供保障。

4.3 衬砌外观与密实度控制

衬砌外观与密实度控制聚焦振捣、收面、成型全流程，兼顾工程实用性与外观美观度，适配河套灌区渠道输水效率提升与工程标准化建设需求。振捣采用卷扬装置牵引振捣梁与平板振捣器组合作业，振捣梁自坡脚向坡顶匀速往复振捣，平板振

捣器跟进复振，确保振捣均匀无死角，避免蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷，保障衬砌密实度。振捣完成后，用盘式磨光机整平提浆，消除振捣痕迹，规定时间内人工用钢抹子收面，确保坡面光洁平顺、无划痕、无凹凸不平。施工中严控混凝土虚铺厚度与压顶高程，采用分块跳仓施工，减少相邻仓段施工干扰，杜绝错台、裂缝等问题。全过程精细化管控让河套灌区渠道衬砌表面平整、线条顺直、密实度达标，既提升渠道输水效率，又改善工程外观质量，满足灌区现代化改造整体要求。

4.4 灌区防冻胀防渗控制

灌区防冻胀防渗控制立足河套灌区低温冻胀、盐碱侵蚀的地域特点，构建“防渗+防冻+防护”全链条防护体系，契合“十五五”大型灌区现代化改造提升基础设施、强化节水防渗的核心要求。全断面铺设防渗土工膜，铺设时保证膜体平整、搭接严密，搭接处采用专用密封措施，分缝部位填充专用材料并涂抹密封胶，彻底阻断渗漏通道与冻胀源，防止水分渗透引发冻胀破坏。优化混凝土配合比，掺入抗冻、抗渗外加剂，提升混凝土自身抗冻抗渗性能，适配灌区冬季低温冻胀变形，减少裂缝产生。施工全程保护防渗层完整，严禁穿刺、破损，结合保温一体化防护措施，有效抵御冬季严寒冻胀与盐碱土壤侵蚀，延长渠道衬砌使用寿命。

5 结语

河套灌区陡边坡薄壁混凝土衬砌施工技术，立足灌区地域气候与工程特点，整合自稳控制、振捣密实、防冻胀防渗等核心技术，形成定制化施工体系，有效解决传统施工中的关键难题。该技术简化施工工序、缩短停水期施工周期，保障衬砌结构密实度、平整度与耐久性，契合“十五五”灌区现代化改造节水增效目标，已在灌区相关项目中得到有效验证。后续可结合灌区不同灌域地质、气候差异，优化混凝土配合比与养护工艺，持续提升技术适配性，为河套灌区特大型灌区高质量发展、水资源高效利用及粮食安全保障提供更坚实的技术支撑。

参考文献：

- [1] 孙龚圆.陡边坡渠道薄壁混凝土衬砌施工技术的应用[J].湖南水利水电,2025,(03):4-6.
- [2] 李银,王明阳.渠道边坡薄壁混凝土衬砌面板智能化养护技术[J].四川水力发电,2024,43(05):24-27.
- [3] 贺燕.混凝土衬砌机在引江济淮施工中的应用[J].四川水力发电,2024,43(03):41-43+50.
- [4] 莫大源,黄文基.拖架式振捣器在渠道边坡薄壁混凝土施工中的应用[J].广西水利水电,2023,(02):71-74.
- [5] 吴利国,王军红.固增水电站特长引水隧洞薄壁混凝土衬砌施工[J].四川水力发电,2022,41(06):64-67.