

黄河巴彦淖尔段灌区渠道防渗工程设计及应用

武剑¹ 胡睿琦²

1.河南省水务规划设计研究有限公司内蒙古分公司 内蒙古 呼和浩特 010010

2.内蒙古恒源水利工程有限公司 内蒙古 呼和浩特 010010

【摘要】：黄河巴彦淖尔段灌区渠道防渗工程存在防渗层老化破损、特殊地质制约、与灌溉需求适配不足等问题，造成水资源渗漏流失，还危及工程运行安全。结合区域冻融频发、盐碱化突出、地下水位高且变幅大的地域特征，研究采用复合土工膜与改性混凝土构建新型防渗材料体系，开展地质适配型结构优化，优化渠道断面、渠基处理及抗冻胀构造，并统筹防渗工程与灌溉系统协同调控，实现输水与配水动态适配。该方案有效提升渠道防渗能力、结构稳定性和灌溉效率，缓解渗漏损失与次生盐碱化，为同类灌区治理提供可借鉴技术范式。

【关键词】：渠道防渗；巴彦淖尔灌区；复合土工膜；地质适配设计；灌溉系统协同

DOI:10.12417/3041-0630.26.08.034

引言

黄河巴彦淖尔段灌区是河套平原核心粮食生产基地，农业灌溉高度依赖黄河水源，渠道输水效率直接影响区域农业可持续发展。受高寒干旱气候、复杂地质条件及传统工程设计局限，现有渠道防渗工程存在结构老化、适配性弱、功能匹配不足等突出问题，既造成水资源严重浪费，又引发土地次生盐碱化及工程安全隐患。伴随节水农业与现代化灌区建设提速，需要立足当地实际，从防渗材料、结构型式及系统协同层面推进技术革新。本文剖析灌区渠道防渗现存核心难题，提出适配性设计思路与实施路径，构建耐久稳定、运行灵活的新型防渗体系，为提升水资源利用率、保障灌区工程安全提供技术支撑。

1 黄河巴彦淖尔段灌区渠道防渗工程现存核心问题

1.1 渠道防渗层老化破损导致水资源流失

黄河巴彦淖尔段灌区渠道防渗层长期服役期间，区域气候与水文地质条件共同作用下，材料老化与结构损毁问题较为普遍（见图1）。该区域昼夜温差悬殊且冬季严寒持久，防渗层经多次冻融交替后，混凝土或砌体内部会滋生微裂隙且逐步贯通，整体抗渗能力随之下降。早期修建渠段采用的黏土或三合土防渗方式，因压实质量欠佳或后期干缩产生裂缝，难以有效阻挡水流渗漏。防渗层表面易发生风化脱落、板块移位及伸缩缝填料缺失等状况，灌溉水流沿破损部位不断渗入渠基，造成水资源大量无效消耗的同时弱化渠床承载强度，渗流持续作用还会软化基础土体，引发局部沉陷或边坡滑动，对渠道结构安全性构成威胁。

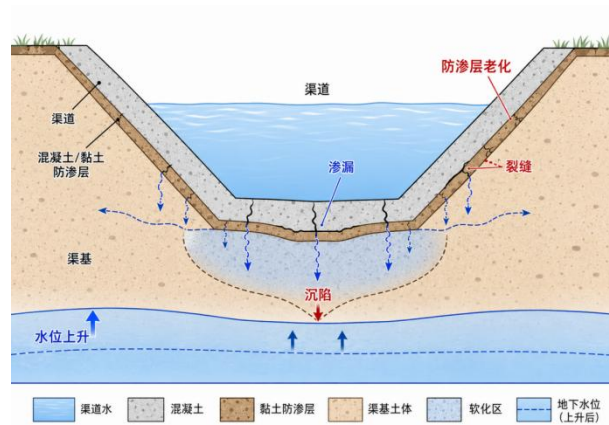


图1 灌区渠道防渗层老化破损及渗漏危害示意图

1.2 灌区特殊地质条件加剧防渗工程失效

黄河巴彦淖尔段灌区地处河套平原北部，区域地质条件复杂，地基土层以粉质黏土、粉细砂及盐渍土为主，具有明显的冻胀敏感性、盐胀性与高矿化度特征。渠道在运行过程中，地下水位波动频繁，导致渠基土体反复吸水膨胀与失水收缩，引发防渗结构不均匀沉降与开裂^[1]。部分渠段穿越古河道或冲积扇边缘地带，地下存在透水性强的砂砾层，形成渗流通道，使防渗层承受较大水头压力，易发生渗透破坏。此外，土壤中硫酸盐与氯离子含量较高，在长期浸润环境下对混凝土防渗材料产生化学侵蚀，造成其膨胀开裂与表层剥落。冻胀作用在冬季尤为显著，含水量较高的渠基土冻结后体积膨胀，对刚性防渗层施加侧向推力，造成板块隆起、错缝甚至断裂。这些特殊地质因素相互叠加，显著削弱防渗工程的整体稳定性与耐久性，使其难以维持长期有效的防渗功能。

1.3 防渗工程与灌区灌溉需求适配性不足

黄河巴彦淖尔段灌区灌溉制度呈现显著季节性、间歇性与

大流量特点,春灌、夏灌输水强度大,渠道需频繁启闭及变幅运行。现有防渗工程多采用现浇混凝土、预制板等刚性衬砌结构,设计偏重静态防渗指标,未充分考量动态水流冲击、水位骤变与干湿交替的长期作用^[2]。渠道断面尺寸、糙率调控未与灌溉调度精准适配,易出现局部高流速冲刷防渗接缝、过水能力不足引发漫顶溢流等问题,危及渠坡稳定性。部分工程采用统一标准断面,未区分不同支斗渠灌溉面积、轮灌周期及取水方式差异,水资源调配效率偏低。同时防渗结构缺少合理伸缩缝、排水减压设施与检修通道,难以适配灌区灵活用水工况,高强度灌溉期易产生结构疲劳、裂缝延展及局部坍塌,防渗体系与实际灌溉运行适配性不足。

2 黄河巴彦淖尔段灌区渠道防渗工程设计及应用实施

2.1 新型防渗材料适配设计与应用

针对黄河巴彦淖尔段灌区土壤盐碱化严重、冻胀变形显著及干湿循环频繁的特点,新型防渗材料的适配设计聚焦于复合土工膜与改性混凝土的协同应用。复合土工膜选用高密度聚乙烯(HDPE)或线性低密度聚乙烯(LLDPE)基材,结合无纺布增强层,提升抗穿刺与抗老化能力,并在膜下设置砂砾过渡层以缓冲冻胀应力。改性混凝土则掺入引气剂与纤维材料,优化孔隙结构,增强抗冻融与抗裂性能,适用于渠底与渠坡关键部位。材料选型充分考虑当地气候条件与施工工艺,如在高地下水水位区域,于复合土工膜下方设置砂砾石排水层或排水盲沟,有效导排地下水、降低扬压力;在大断面干渠中,结合预制混凝土板与柔性接缝密封胶,兼顾整体刚度与局部变形适应性。施工过程中严格控制基面平整度、焊接质量及覆土保护层厚度,确保材料性能稳定发挥,实现防渗结构与区域环境、运行工况的高度适配。

2.2 地质适配型防渗结构优化设计

黄河巴彦淖尔段灌区地质条件复杂,广泛分布粉细砂、粉质黏土及盐渍土,局部区域存在高地下水水位与强冻胀性,对防渗结构稳定性构成挑战。地质适配型防渗结构优化设计依据渠

段所处地层特性进行差异化构造配置,在粉细砂层区域采用“复合土工膜+混凝土预制板”复合断面,利用土工膜阻隔隔流路径,预制板提供抗冲刷保护并抑制膜体变形;在盐渍土区域,增设低渗透性黏土隔离层或膨润土防水毯,阻断盐分迁移对防渗层的侵蚀;针对冻胀敏感区,防渗结构底部设置聚苯乙烯保温板或碎石置换层,削弱冻深影响,同时采用梯形或弧底梯形断面形式,减小侧向冻胀力作用面积。

2.3 防渗工程与灌溉系统协同调试

防渗工程与灌溉系统协同调试是确保工程整体效能的关键环节。该过程聚焦于渠道衬砌结构与输配水设施的动态匹配,通过分阶段、分区域的通水试验,精确校验防渗层在不同水位和流量条件下的实际表现^[3]。调试工作涵盖对节制闸、分水口及量测水装置等关键节点的联动操作,检验其在防渗渠道特定糙率和断面尺寸下对水流的调控精度与响应速度。同时,密切监测渠床与渠坡在持续浸润状态下的稳定性,以及伸缩缝、施工缝等细部构造的止水效果,及时发现并处理潜在的渗漏点或结构缺陷。在此基础上,依据实测的水力参数与设计指标进行比对分析,对灌溉制度中的轮灌编组、供水时序及流量分配方案进行适应性优化,使防渗后的渠道输水能力、配水均匀度与灌区用水需求实现动态平衡,最终实现水资源高效利用与工程长期安全运行的双重目标。

3 结语

黄河巴彦淖尔段灌区渠道防渗工程的实施,需紧密结合区域气候、地质与灌溉运行特征,通过材料创新、结构优化与系统协同多维度推进。针对防渗层老化、地质复杂性及灌溉适配不足等核心问题,采用复合土工膜与改性混凝土组合、差异化断面设计及精细化渠基处理等措施,有效提升了工程的耐久性与适应性。防渗体系与灌溉系统的协同调试进一步保障了输配水效率与结构安全的统一。未来,应持续强化工程全生命周期管理,融合智能监测与动态调控技术,推动灌区水资源利用向高效、稳定、可持续方向发展,为河套平原农业高质量发展提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 傅建国.静水法在黄河下游灌区渠道测渗中的应用[J].灌溉排水学报,2020,39(S1):88-91.
- [2] 费祥俊.黄河下游引黄灌区输沙渠道优化设计[J].人民黄河,2022,44(04):1-3+9.
- [3] 刘宁.黄河下游引黄灌区渠系工程技术问题分析[J].河南水利与南水北调,2020,49(09):40-41.