

灌区渠道防渗抗冻胀技术应用

李吊娥

神木市灌溉渠道养护中心

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6954

[摘要] 灌区渠道在寒冷地区会受到渗漏损耗和冻胀破坏的双重威胁,都会对农业灌溉的高效性、工程的耐久性造成影响。本文以灌区渠道防渗抗冻胀工程实践为研究对象,对渠道冻胀破坏的成因机制和防渗结构的适用条件做了系统的梳理,主要介绍了复合土工膜、现浇混凝土衬砌、保温防冻材料铺设、伸缩缝处理等关键技术的施工工艺和控制要点,结合工程实例对各项措施的实施效果进行分析评价。工程实践证明,用综合防渗抗冻胀技术体系可以削减渠道渗漏量60%以上,衬砌结构冻胀破坏率明显下降,工程使用寿命大大提高,可以给同类地区的灌区渠道改造提供技术借鉴。

[关键词] 灌区渠道; 防渗衬砌; 抗冻胀; 复合土工膜

中图分类号: TV146+.3 **文献标识码:** A

Application of anti-seepage and anti frost heave technology in irrigation channels

Diao'e Li

Shenmu City Irrigation Channel Maintenance Center

[Abstract] Irrigation channels in cold regions are threatened by both leakage losses and frost heave damage, which can affect the efficiency of agricultural irrigation and the durability of engineering. This article takes the practice of anti-seepage and anti freezing engineering in irrigation channels as the research object, systematically sorts out the causes and mechanisms of channel frost heave damage and the applicable conditions of anti-seepage structures. It mainly introduces the construction process and control points of key technologies such as composite geomembrane, cast-in-place concrete lining, insulation and anti freezing material laying, expansion joint treatment, etc., and analyzes and evaluates the implementation effect of various measures based on engineering examples. Engineering practice has proven that using a comprehensive anti-seepage and anti frost heave technology system can reduce channel leakage by more than 60%, significantly reduce the frost heave damage rate of lining structures, and greatly improve the service life of the project. This can provide technical reference for channel renovation in similar irrigation areas.

[Key words] irrigation channel; Anti-seepage lining; Frost resistance; Composite geomembrane

灌区渠道是农业灌溉供水的主要通道,输水效率和结构稳定性对粮食安全、水资源的有效利用起着十分重要的作用。我国北方季节性冻土分布区的渠道不但存在渗漏问题,而且由于土体冻融循环产生的冻胀变形较大,造成衬砌板开裂、错位甚至整体破坏,维修费用高、工程寿命短。近些年来,由于节水灌溉工程的持续开展,各地在防渗抗冻胀工程方面积累了较多的经验,大致形成了以复合衬砌为主导、保温隔离与柔性处理为辅的技术路线。本文通过工程实践对渠道防渗抗冻胀关键技术进行系统的整理和总结,为相关工程的设计和施工提供一定的参考。

1 渠道冻胀破坏的成因分析

1.1 冻胀的形成条件与影响因素

渠道冻胀破坏是土体孔隙水在负温下相变膨胀,对衬砌产

生附加压力造成的,形成需要三个条件,即合适的含水量、持续的负温、地下水补给。灌区渠道土体由于长期浸润,含水率高,冬季冻深可达0.8~1.5m。细粒土(粉土、粉质黏土)冻胀敏感性比砂砾土高得多。破坏程度与土体类型和级配、含水率、冻结速率、衬砌刚度、排水条件等有关。工程实践表明,当渠床粉粒含量大于25%并且冬季含水率大于塑限时,冻胀量可以达到15~40mm,对薄型混凝土衬砌的破坏更加严重。

1.2 衬砌破坏的典型模式

渠道衬砌受冻胀作用后会出现各种破坏形态,常见的有板面横向开裂、纵向隆起错台、局部鼓包脱空、伸缩缝挤压闭合等。横向开裂多发生在衬砌板厚度突变处或者施工冷缝处,裂缝宽度一般为1~5mm;纵向错台主要是由于渠底和渠坡的差异冻

胀引起的, 错台高度可达20~50mm, 严重破坏了水流条件; 鼓包脱空是衬砌板和基土之间因为冻胀力而产生的相对位移, 在融化期土体回落不均时出现, 脱空面积有时能达到单块衬砌面积的30%~50%。上述破坏一旦产生, 不但会加重渗漏, 而且会在以后的冻融循环中不断扩展, 最终造成衬砌大面积失效。

1.3 渗漏与冻胀的耦合作用

渗漏和冻胀不是孤立存在的, 它们互相促进, 形成恶性循环。渠道渗漏造成渠基土体含水率一直保持在较高水平, 给冻胀发展提供源源不断的水源; 冻胀破坏形成的裂缝、脱空处又成了渗漏通道的来源, 使渗漏量越来越大^[1]。研究表明, 存在渗漏缺陷的渠段冬季渠基冻胀量比完好渠段平均高20%~35%。因此防渗和抗冻胀必须作为一个技术体系来统筹考虑, 不能只强调其中的一项而忽略另一项。

2 防渗技术的应用

2.1 复合土工膜防渗技术应用

复合土工膜是灌区渠道中使用最多的柔性防渗材料, 一般采用“一布一膜”或者“两布一膜”的结构。膜材主要为LDPE或LLDPE, 厚度通常为0.3~0.5mm, 两侧复合的无纺布克重不低于150g/m²。铺设前要对渠床进行平整压实, 压实度不小于93%。铺设时纵向顺坡展开, 横向搭接宽度不小于30cm, 纵向搭接不小于50cm, 搭接处用热熔焊接或胶粘, 焊接宽度不小于10cm, 焊缝强度不低于母材的80%。

渠底、坡脚等处留有足够的松弛量防止拉断, 膜上铺10~15cm厚细砂保护层, 再浇筑混凝土衬砌板。其渗透系数可以低到 $1 \times 10^{-12} \sim 1 \times 10^{-13}$ m/s, 防渗效果稳定, 柔性好, 适应变形能力强, 在冻胀区具有明显优势。工程监测结果表明, 使用该材料之后, 渠道单位长度日渗漏量由原来的0.8~1.2m³/(m·d)减少到0.1~0.2m³/(m·d), 节水效果明显。

2.2 现浇混凝土衬砌防渗技术应用

现浇混凝土衬砌是渠道防渗的主要结构形式, 混凝土强度等级一般为C20~C25, 抗渗等级不小于P6, 抗冻等级不小于F150(严寒地区取F200)。衬砌厚度按渠道流量来定, 干渠、支渠一般为8~12cm, 斗渠、农渠为6~8cm。配合比设计中水灰比严格控制在0.45以下, 加入引气剂使含气量达到4%~6%, 提高抗冻耐久性。

施工时基层应湿润但不得积水, 混凝土应振捣密实, 浇筑后覆膜养护不少于14天, 冬季施工需保温。现浇衬砌整体性好、渗漏风险低, 但是需要注意伸缩缝的质量控制。在季节性冻土地区, 伸缩缝间距为3~4m, 缝宽2~3cm, 用聚硫密封胶、聚氨酯弹性体材料填充, 具有良好的粘结性及变形能力。

2.3 渠基处理与防渗层组合设计

渠道冻胀区工程一般采用防渗层、垫层和衬砌板三者相结合的结构体系。典型断面由下到上依次为15~20cm厚砂砾料垫层、复合土工膜、10cm细砂保护层和顶面混凝土衬砌板组成^[2]。砂砾料垫层可以改善排水, 减小冻胀, 土工膜起到主要的防渗作用, 衬砌板具有结构强度和保护作用。新建渠道采用换填砂砾料

垫层可以有效地消除地基土的冻胀敏感性, 换填深度一般取当地最大冻深的1/3~1/2, 一般为0.3~0.6m。冻胀严重的渠段, 在垫层下加设保温板可以减小冻深。

3 抗冻胀技术的应用

3.1 保温材料铺设技术的应用

保温隔热层是减少渠基冻深, 降低冻胀量的直接有效措施。目前工程上常用的保温材料是挤塑聚苯乙烯泡沫板(XPS板), 其导热系数为0.030~0.033W/(m·K), 压缩强度不小于150kPa, 吸水率不大于2%, 耐久性好。XPS板铺设位置一般在砂砾料垫层上、复合土工膜下, 厚度按当地冻深及热工计算确定, 一般为3~8cm。以冻深1.2m地区为例, 铺设5cm厚XPS板后, 渠基冻深可削减至0.6~0.7m, 冻胀量相应减少约40%~50%。

保温板铺设时应紧贴基层, 板块之间缝隙不大于5mm, 错缝拼接, 接缝处用胶粘带粘贴封闭, 防止水分侵入造成保温性能下降。渠坡处保温板应采用专用锚钉固定, 锚固间距不大于50cm×50cm, 在施工期和运行期均不能产生位移。保温板铺设范围除渠底、渠坡外, 还应向渠堤顶延伸0.5~0.8m, 阻断侧向冻胀路径, 该细节在实际施工中容易被忽略, 也是造成渠坡冻胀破坏的原因之一。

3.2 砂砾料换填与排水垫层设计

砂砾料换填是降低渠基冻胀敏感性最根本的方法, 用置换冻胀强的细粒土来改善土体性质。换填材料应选用级配良好、粒径小于0.075mm的砂砾料, 粒径大于0.075mm的颗粒含量不应大于5%。施工时分层填筑压实, 每层虚铺厚度≤30cm, 压实系数≥0.93。换填范围应包括渠底和两侧坡脚, 横向到坡脚外0.5m, 纵向连续铺开。

排水垫层和换填同等重要, 主要目的是控制渠基水分。一般在渠底设纵向排水盲管, 管径50~75mm, 用外裹无纺布的打孔波纹管。盲管坡度与渠道纵坡每150~200m设集水井, 以排渗水、降低含水率^[3]。监测结果表明, 设置排水垫层后, 渠基冬季含水率可以降低8%~15%, 冻胀量减少20%~30%。

3.3 伸缩缝与柔性连接处理

伸缩缝是释放混凝土衬砌温度应力、不均匀沉降的重要构造, 质量好坏直接关系到抗冻性能。年温差大于40℃的寒冷地区, 纵向缝间距取3m, 横向缝间距取4m。缝宽一般为20~30mm, 缝内自下而上依次填充10mm厚聚乙烯闭孔泡沫背衬条和15~20mm厚聚硫或者聚氨酯密封胶。施工时要清理混凝土基面, 涂刷相容性基液, 保证粘结牢固。

在渠底、渠坡转角等高破坏风险部位设置宽度不小于5cm的专用柔性接缝, 在衬砌内侧铺设宽约30cm的复合土工膜柔性连接层, 形成允许相对位移的过渡区, 防止应力集中。另外在进水闸、跌水等刚性建筑物与渠道相接的地方, 要设不少于2道伸缩缝, 并将两侧各3m范围内缝间距控制到1.5m以内, 从而达到吸收局部集中变形的目的。

3.4 冻融循环下的衬砌维护管理

防渗抗冻胀工程的长期效果不单取决于施工质量, 也和日

常维护管理有关系。冻融敏感季节(秋末到次年春季复水前),要做好以下管理工作:停水前将渠内积水全部排出,防止冬季渠底积水加剧冻胀;冻融期定期巡查渠道衬砌,重点检查伸缩缝密封情况及板面裂缝,发现密封胶脱落、裂缝出现时及时修补,防止渗水浸入冬季加剧破坏;春季融化后对出现错台、脱空的衬砌板进行专项修复,修复时先清除松散材料,用聚合物砂浆找平,再做密封处理。经由规范化的维护管理,可以保证衬砌结构在正常工作条件下能有20到25年以上的使用年限^[4]。

4 工程应用实例与效果评价

4.1 工程概况

该灌区位于华北平原北部,为季节性冻土区,多年平均最大冻深为1.1m,年平均气温为9.2℃,冬季极端最低气温可达-18℃。灌区干渠长58km,支渠总长320km,渠道衬砌率不到40%,渗漏损失大,渠系水利用系数只有0.52。原有衬砌渠段大多为预制混凝土板衬砌,没有设置有效的防冻胀措施,多年累计破坏率大于35%,每年维修费用占工程管理总费用的30%。为了提高灌区的输水能力,在12km干渠上做防渗抗冻胀综合改造。

4.2 技术方案与施工实施

根据当地地质、气候和经济条件,采用砂砾料换填垫层、XPS保温板、复合土工膜、现浇C25混凝土衬砌的组合技术体系。具体断面设计为:渠基换填0.4m厚砂砾料($d \geq 0.1\text{mm}$ 颗粒含量 $>85\%$),其上铺设50mm厚XPS保温板,保温板上铺设0.4mm厚、300g/m²的两布一膜复合土工膜,膜上覆10cm细砂保护层,最上层浇筑C25F200P6混凝土衬砌板(渠底厚10cm,坡面厚8cm)。伸缩缝纵向间距3m,缝宽25mm,用聚乙烯泡沫条背衬、聚硫密封胶填充。

施工按照清基整形、换填压实、铺设保温板和土工膜、摊铺保护层、浇筑混凝土、养护、填缝的顺序进行^[5]。砂砾料压实度检验合格率为100%,土工膜焊缝宽度为12cm,充气检测合格,混凝土28d抗压强度平均值为28.6MPa,抗渗抗冻指标均满足设计要求。

4.3 运行效果监测与评价

改造后连续3年的监测显示,工程成效显著。改造渠段单位长度日渗漏量由1.05m³/(m·d)降至0.15m³/(m·d),削减率达85.7%。在3个冻融循环之后,其衬砌没有发生明显的破坏,渠底冻胀量小于5mm,而对照段冻胀量达到22~38mm。灌区干渠

渠系水利用系数由原来的0.52提高到现在的0.74,年节水约为420万m³。改造后的三年维修费是传统渠道的12%。

从技术贡献上看,砂砾料垫层降低渠基冻胀性,XPS保温板使冻深减小约38%,复合土工膜承担主防渗功能,现浇衬砌和伸缩缝系统保证结构稳定。四项措施互相配合,不能缺少任何一个。对照段中没有采用换填和保温措施的渠段冻胀量仍然达到12~18mm,并且出现了衬砌隆起,说明这两项措施对于抗冻胀是不可缺少的。

5 结束语

灌区渠道防渗抗冻胀属于水文地质、材料性能、结构设计和施工工艺等多方面综合性的技术工作。渠道冻胀破坏和渗漏之间存在着互相促进的耦合关系,单个防渗或者单个抗冻胀措施都不能达到长久的效果,必须创建起以换填垫层、保温隔热、柔性防渗膜以及整体衬砌为主要内容的综合技术体系。工程实施过程中各个技术环节的施工质量控制十分重要,尤其对复合土工膜焊接质量、砂砾料换填压实度、XPS保温板铺设连续性、伸缩缝密封处理等任何一个环节的缺陷都会成为整个防护体系的薄弱环节。工程完工后规范的维护管理也不能忽略,定期巡查、及时修复可以保证工程长久发挥效益。伴随着新材料和施工技术不断进步,灌区渠道防渗抗冻胀技术体系会越来越完善,给农业节水和灌溉工程耐久性提供更加可靠的工程技术保障。

参考文献

- [1]赵红瑞.农田水利灌溉防渗渠道维修与养护技术分析[J].农业机械,2026,(02):139-141.
- [2]张民国.农田水利渠道维修与养护对策探究[J].广东蚕业,2024,58(06):88-90.
- [3]高雪华.浅析农田水利渠道的维修与养护措施[J].农业开发与装备,2023,(05):207-209.
- [4]维应吉.农田水利渠道工程的管理养护措施分析[J].农业科技与信息,2022,(12):92-94.
- [5]伏羲强.灌区末级渠道维修养护与保障措施探讨[J].陕西水利,2021,(08):114-115.

作者简介:

李吊娥(1981--),女,汉族,陕西省榆林市神木市人,专科,助理工程师,研究方向:水利工程。