

季节性冻土地区渠道防渗防冻胀技术与应用模式

何武全¹, 张绍强², 吉 晔², 杜秀文²

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054)

摘 要:在我国北方季节性冻土地区, 混凝土衬砌防渗渠道的冻胀破坏比较广泛, 对工程的危害程度最大。在灌区续建配套与节水改造中, 目前常用的渠道防冻胀技术措施主要有保温措施、置换措施、隔水排水措施和结构措施等。根据北方 16 个大中型灌区调查资料, 总结了不同条件下渠道防渗防冻胀技术的应用模式, 认为在渠道防渗工程冻胀破坏严重的地区, 应结合灌区的具体情况, 采用防渗防冻胀复合结构形式, 才能起到较好的防冻胀效果。

关键词:渠道防渗; 冻害破坏; 防冻胀; 应用模式

中图分类号: TV698.2⁺6 文献标识码: A

Techniques and Application Modes for Canal Seepage Control and Frost Heave Prevention in Seasonal Frozen Soil Area

HE Wu-quan¹, ZHANG Shao-qiang², JI Ye², DU Xiu-wen²

(1. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shanxi Province, China; 2. China Irrigation and Drainage Water Development Center, Beijing 100054, China)

Abstract: This paper analyzes the freezing types and damage forms in canal seepage control project and points out that the frost heave damage in concrete lining canal is extensive in seasonal frozen soil area of northern China; it is also the main freezing type and does the biggest harm to canal seepage control project; in the continuous equipping construction and water-saving reconstruction project of irrigation district, the common technical measures of canal seepage control mainly includes heat preservation measures, the replacement measures, water drainage measures and structural measures, etc. According to the investigation data of 16 northern large and medium size irrigation districts, the application modes of techniques for canal seepage control and frost heave prevention in different conditions are summarized in this paper. It is also pointed out that in irrigation district with serious frost heave damage in canal seepage control project, the composite structure mode combined with the actual situation should be adopted to obtain better prevention effect.

Key words: canal seepage control; frost damage; frost heave prevention; application mode

0 引 言

我国是一个水资源短缺的国家, 水资源总量约为 2.84 万亿 m³, 人均水资源占有量为 2 210 m³, 仅为世界人均占有量的 1/4, 耕地平均分摊水量只有世界平均数的 3/4^[1]。水资源开发利用中, 农业用水所占比例大。据统计, 2010 年全国总用水量为 6 022.0 亿 m³, 其中农业用水量为 3 689.1 亿 m³, 占总用水

量的 61.3%^[2]。农业用水普遍存在灌溉效率低和用水浪费严重的现象, 农业灌溉水利用系数仅为 0.5 左右, 输水渠道渗漏是灌溉用水浪费的主要方面^[3,4]。渠道衬砌防渗是目前世界各国应用最广泛的节水灌溉工程技术措施, 可以极大地减少渠道输水过程中的渗漏损失^[5,6]。截止 2010 年底, 我国节水灌溉工程总面积为 2 733 万 hm², 其中渠道防渗灌溉面积为 1 160 万 hm², 占总节水灌溉工程面积的 42.4%。“十二五”期间全国规

收稿日期: 2012-08-08

基金项目: 水利部科技推广计划项目(TG1214); 国家“十二五”科技支撑计划课题(2012BAD08B01)。

作者简介: 何武全(1967-), 男, 副教授, 主要从事节水灌溉理论与技术研究工作。E-mail: hewuquan1967@sina.com。

划发展节水灌溉工程面积 1 300 万 hm^2 , 其中新增渠道防渗工程面积 354.2 万 hm^2 , 约占总规划节水灌溉工程面积的 27.2%。

季节性冻土地区刚性衬砌渠道的冻胀破坏严重。我国大部分地区属于温带气候, 季节性冻土地区面积大约 513.7 万 km^2 , 占国土面积的 53.5%, 分布比较广泛, 刚性材料衬砌渠道在冬季由于负温的作用, 常常遭受到不同程度的冻害破坏, 不仅严重影响了工程的正常运行和防渗效果, 也增加了工程管理维修的难度和费用, 缩短了工程的使用寿命^[7]。因此, 在季节性冻土地区必须重视衬砌防渗渠道的防冻胀技术。

1 渠道冻害类型及破坏形式

在季节性冻土地区, 冬季气温都要降到零度以下, 负温对于混凝土衬砌防渗渠道有着一定的破坏作用, 即冻害。根据负温造成各种破坏作用的性质, 冻害可以分为冻胀破坏、冻融破坏和冰冻破坏 3 种类型, 并具有不同的破坏形式。其中, 混凝土衬砌防渗渠道的冻胀破坏最为严重, 在我国北方季节性冻土地区比较广泛, 对工程的危害程度较大。

1.1 冻胀破坏

冻胀破坏指渠基土冻胀和融沉对混凝土衬砌结构的破坏。当渠基土为冻胀性土, 且其含水量大于起始冻胀含水量时, 在冬季负温的作用下, 由于渠基土中的水冻结后体积增大, 造成土体膨胀, 而使衬砌结构隆起。当冻胀变形超过衬砌结构的允许变形时, 或因冻胀而产生的冻胀力超过衬砌结构的抗裂或抗拉强度时, 衬砌结构就会开裂, 甚至折断。在春季消融时又造成渠床表土层过湿, 使土体失去强度和稳定性, 往往会导致衬砌体的滑塌。

1.2 冰冻破坏

冰冻破坏指冬季输水渠道水体结冰对混凝土衬砌结构的破坏。我国寒冷地区大部分灌溉渠道在最冷月份停止输水, 但少数兼有输水发电和向下游输水功能的渠道, 在负温期间通水时, 渠道里的水体常常会结冰, 产生冰冻破坏。渠水完全封冻后, 冰冻层逐渐加厚, 对渠坡衬砌体产生冰压力, 造成衬砌体的移位和破坏; 或在冰压力和渠基土冻胀力的作用下鼓胀, 发生破坏变形。同时, 漂浮的冰块或冰屑团会在局部积累, 减少过水断面, 严重时使断面完全封堵, 形成冰坝, 造成渠水漫溢, 甚至溃渠的事故。

1.3 冻融破坏

冻融破坏指混凝土衬砌材料内部孔隙水的冻融导致衬砌板的破坏。混凝土衬砌材料具有一定的吸水性, 又经常处在有水的环境中, 因此材料内总是含有一定的水分, 这些水分在负温下冻结成冰, 体积会发生膨胀, 比原体积增大 9%。当这种膨胀作用引起的应力超过材料的强度时, 材料就会产生裂缝, 第 2 个负温周期中, 其吸水性增大, 结冰膨胀破坏的作用更为剧烈, 经过多个冻融循环应力的反复作用, 最终导致衬砌材料的冻融破坏, 如混凝土衬砌板表层剥落、冻酥等。

2 渠道防渗防冻胀主要技术措施

衬砌防渗渠道是否产生冻胀破坏, 其破坏程度如何, 主要

取决于渠床的土质条件、土体含水量、负温条件及工程结构形式等因素。如果采取措施消除或改善其中一个因素, 就可以减轻或防止衬砌结构的冻胀破坏。实践证明, 防治衬砌防渗渠道的冻胀破坏, 应针对产生冻胀的因素, 结合工程具体条件, 从渠系规划布置、渠基处理、衬砌材料与结构形式、施工质量和运行管理等方面着手, 全面考虑, 采用适宜的防冻胀措施。目前, 渠道衬砌与防渗工程多为旧渠道改造, 常用的防冻胀技术措施主要有保温、置换、防水排水和结构措施等^[8]。

2.1 保温措施

保温措施是在渠道衬砌体下铺设隔热保温层, 阻隔大气与渠基土的热量交换, 提高衬砌体下基土温度, 消减或消除冻胀, 防止发生冻胀破坏。保温材料宜采用憎水性材料, 目前常用的保温材料有聚苯乙烯泡沫板、硬质聚氨酯泡沫板和高分子防渗保温卷材等。近年来, 在渠道衬砌与防渗工程建设中, 采用混凝土衬砌板下铺设聚苯乙烯泡沫板的保温方法, 取得了良好的防冻胀效果, 因此, 在新疆、内蒙、甘肃、黑龙江等省(区)得到广泛应用。

2.2 置换措施

置换措施是在冻结深度内将渠道衬砌板下的冻胀性土换成非冻胀性土的一种方法, 置换材料宜采用砂砾石或中粗砂。级配良好且纯净的砂砾石或中粗砂垫层不仅本身无冻胀, 而且能排除渗水和阻止下卧层水分向表层冻结区迁移, 所以能有效地减少冻胀, 防止冻胀破坏现象的发生。目前, 在新疆、内蒙等地, 混凝土衬砌板下采用戈壁料或风积沙置换垫层, 取得了良好的防冻胀效果。

2.3 隔水排水措施

采用塑料薄膜、膨润土防水毯、复合土工膜等, 设置隔水层, 隔断渠道渗水、大气降水和地下水等对冻结层的补给, 从而削减或消除冻胀。当地下水位高于渠底, 或地下水位虽不很高, 但渠基土透水性差, 渠道的渗漏水和浸入渠基的雨水不能很快渗入基层深处时, 应根据渠道所处的地形和水文地质条件, 按不同情况设置排水设施, 以达到排泄畅通、地基疏干、冻结层无水源补给的目的。

2.4 结构措施

结构措施就是在设计渠道断面和衬砌结构时, 采用合理的形式和尺寸, 使其具有削减、适应或回避冻胀的能力。适应不均匀冻胀能力较好的渠道断面形式有 U 形、弧形底梯形和弧形坡脚梯形等, 小型渠道宜采用 U 形断面, 中型渠道宜采用弧形底梯形断面, 大型渠道宜采用弧形坡脚梯形断面。当地下水位较深且无外水源侵入渠基时, 采用混凝土板膜复合衬砌防渗结构, 具有很好的防冻胀效果。对于大中型混凝土衬砌渠道, 还可采用架空梁板式、预制空心板式、楔形板、肋梁板以及新型连锁板衬砌等结构形式, 具有削减冻胀变形能力, 比矩形板的抗冻胀能力强。

3 渠道防渗防冻胀技术应用模式

3.1 保温措施防冻胀应用模式

采用聚苯乙烯泡沫板(简称聚苯板)保温防冻胀是目前广泛应用的渠道防冻胀措施, 新疆、甘肃、内蒙等省(区)的灌区采

用混凝土衬砌板+砂浆过渡层+聚苯板保温防冻胀结构形式(见图1),取得了良好的防冻胀效果。聚苯板具有吸水性小、强度高、耐腐蚀和抗老化等优点,根据试验资料,1 cm厚的泡沫塑料保温层相当于14 cm厚填土的保温效果,具有良好保温效果。该结构形式适用于在冻深较大、缺少沙砾石地区、地下水埋深浅等地区的大中型渠道。该结构形式应用时要注意,多数保温材料的保温效果随着潮湿及吸水率的增大而降低,因此,一般应与塑料薄膜或复合土工膜配合使用,防渗防冻胀效果更好。当地下水位高于渠底时,应设置排水措施。

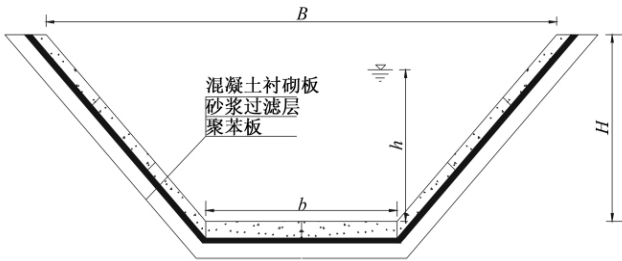


图1 混凝土衬砌板+砂浆过渡层+聚苯板防渗防冻胀结构形式

3.2 置换措施防冻胀应用模式

置换措施是渠道衬砌与防渗工程中普遍应用的防冻胀技术措施。图2为混凝土衬砌板+置换材料防渗防冻胀结构形式。在灌区节水改造中,新疆、内蒙等地采用戈壁料和风积沙作为置换材料,不仅起到了很好的防冻胀作用,而且降低了工程投资。该结构形式适用于季节性冻土地区、渠基土为冻胀性土、地下水位较低、附近有砂砾石或中粗砂等非冻胀性土的大中型渠道。当冻结深度较大时,为完成消除冻胀影响,需要全部置换冻结深度内的冻胀性土,因此,工程量较大,一般不经济。该结构形式应用时要注意,若置换层有可能饱和冻结时,应保证冻结期置换体有排水出路,即需要设置排水措施;当置换层有被淤塞危险时,应在置换体迎水面铺设土工膜或土工织物保护。

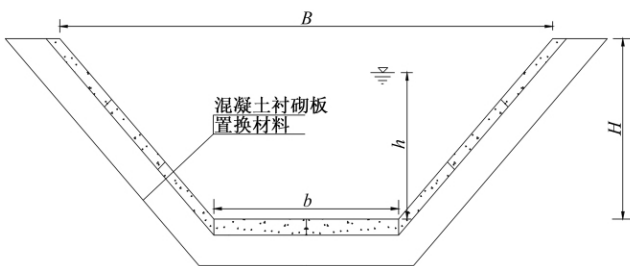


图2 混凝土衬砌板+置换材料防渗防冻胀结构形式

3.3 复合措施防冻胀应用模式

采用单一的渠道防渗防冻胀结构形式,一般很难达到理想的防冻胀效果,下面是几种在灌区节水改造中应用比较成功的渠道防渗防冻胀复合结构形式。

3.3.1 渠道边坡混凝土衬砌+渠底柔性结构防护

该结构形式是在进行渠道衬砌防渗时,渠道边坡采用混凝土衬砌,渠道底部采用非刚性材料防护的方法。这种结构形式适用于大中型渠道,在应用时应分两种情况。

(1)当地下水位高于渠底时,渠道边坡宜采用混凝土板+置换材料,渠底采用透水材料防护。这种情况时不宜采用混凝

土衬砌+膜料全断面防渗,防冻胀也不宜采用聚苯板保温措施。图3为新疆北屯灌区三干渠防渗防冻胀形式,渠道边坡采用现浇混凝土板+戈壁料垫层,渠底采用雷诺护垫填充砾石。这种结构形式具有防冻胀、渠底防冲、排水等作用,渠底适应冻胀变形能力强,一般适用于季节性冻土地区、地下水位较高、渠道纵坡较大的大中型渠道。

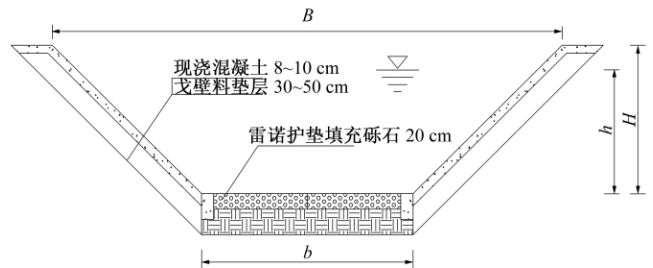


图3 新疆北屯灌区三干渠防渗防冻胀结构形式

(2)当地下水位低于渠底时。渠道边坡宜采用混凝土板+膜料+置换材料或混凝土板+膜料+聚苯板,渠底采用膜料防渗+土料保护层防护。图4为内蒙古河套灌区永济干渠防渗防冻胀形式,渠道边坡采用预制混凝土板+膜料+聚苯板,渠底采用膜料+土料保护层。这种结构形式防渗、防冻胀效果好,一般适用于季节性冻土地区、地下水位较低、渠道纵坡较小、宽浅式的大中型渠道。

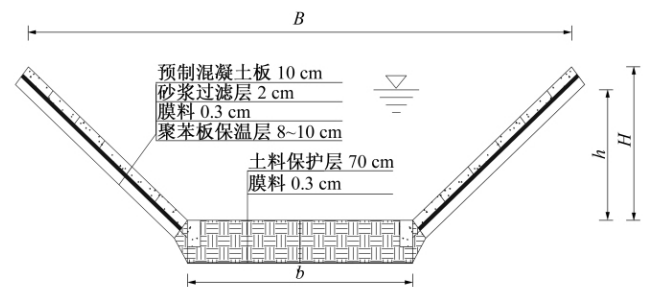


图4 内蒙古河套灌区永济干渠防渗防冻胀结构形式

3.3.2 膨润土防水毯+土料保护层

膨润土防水毯+土料保护层渠道防渗防冻胀结构形式适用于冻胀破坏比较严重的地区、渠道纵坡较小的大中型渠道。这种结构形式防渗防冻胀效果好,投资较少,一般比混凝土板+膜料+聚苯板结构形式投资可以降低约30%。图5为内蒙古河套灌区永刚分干渠防渗防冻胀结构形式,其采用膨润土防水毯防渗+塑性固化土作为保护层的结构形式,具有很好的防渗防冻胀效果。

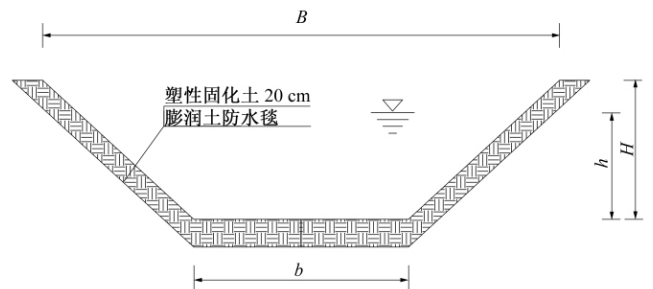


图5 内蒙古河套灌区永刚分干渠防渗防冻胀结构形式

3.3.3 混凝土衬砌+置换措施+适应冻胀变形的断面形式

该结构形式采用混凝土衬砌防渗,戈壁料垫层置换冻胀性渠基土,横断面采用弧形坡脚梯形断面或弧形底梯形断面,适用于寒冷地区、渠基土为冻胀性土、地下水埋深较大、有非冻胀置换材料地区的渠道。当渠道纵坡较大时,渠坡采用混凝土衬砌、渠底采用浆砌卵石的结构形式,不仅防冻胀效果好,而且可以有效的防止冲刷破坏。图6为渠坡混凝土衬砌+渠底浆砌卵石+弧形坡脚梯形断面+置换垫层防冻胀结构形式,适用于大中型渠道;图7为渠坡混凝土衬砌+渠底浆砌卵石+弧形底梯形断面+置换垫层防冻胀结构形式,适用于中小型渠道。

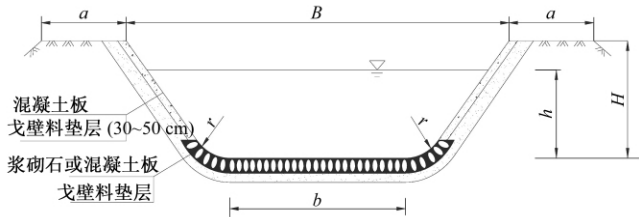


图6 渠坡混凝土衬砌+渠底浆砌卵石+弧形坡脚梯形断面+置换垫层防冻胀结构形式

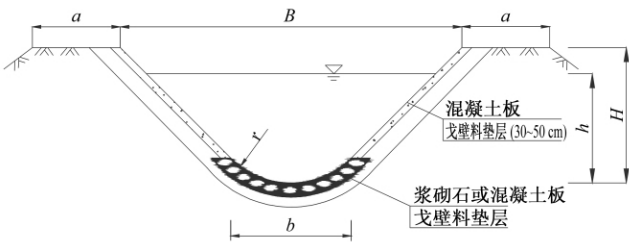


图7 渠坡混凝土衬砌+渠底浆砌卵石+弧形底梯形断面+置换垫层防冻胀结构形式

4 结语与建议

4.1 结语

(1)衬砌防渗渠道的冻害分为冻胀破坏、冻融破坏和冰冻破坏3种类型,并具有不同的破坏形式。其中,混凝土衬砌防渗渠道的冻胀破坏最为严重,在我国北方季节性冻土地区比较广泛,对工程的危害程度较大,是渠道衬砌与防渗工程的主要冻害型式。

(2)衬砌防渗渠道的冻胀破坏程度主要取决于渠床的土质条件、土体含水量、负温条件及工程结构型式等因素。渠道改造中,常用的防冻胀技术措施主要有保温措施、置换措施、防水排水措施和结构措施等。

(3)总结了常用的渠道防渗防冻胀技术应用模式,认为渠道防渗工程冻胀破坏严重的地区,采用单一的渠道防渗防冻胀结构形式,一般很难达到理想的防冻胀效果。在灌区续建配套与节水改造中,应根据渠道沿线的土壤质地、气象水文及地形特点等,因地制宜,采用防渗防冻胀复合结构形式,具有很好的防冻胀效果好。

4.2 建议

大型灌区续建配套与节水改造实施已经10多年了,各个灌区在渠道防渗防冻胀方面取得了许多成功的经验,但也存在一些问题,渠道冻胀破坏仍然存在。因此,建议组织开展渠道防渗防冻胀技术专项研究,总结近年来应用比较成熟的渠道防渗防冻胀技术,筛选适用于不同地区和不同工程形式的渠道防渗防冻胀技术模式,使之标准化和规范化,并进行推广应用。

参考文献:

[1] 张正斌,徐 萍.中国水资源和粮食安全问题探讨[J].中国生态农业学报,2008,16(5):1 305-1 310.
[2] 中华人民共和国水利部.中国年水资源公报(2010)[M].北京:中国水利水电出版社,2011.
[3] 何武全,刘群昌.我国渠道衬砌与防渗技术发展现状与趋势[J].中国农村水利水电,2009,(6):3-6.
[4] 冯广志,周福国,季仁保.渠道防渗衬砌技术发展中的若干问题与建议[J].节水灌溉,2004,(5):1-4.
[5] V Phogat, R S Malik, Sanjay Kumar. Modelling the effect of canal bed elevation on seepage and water table rise in a sand box filled with loamy soil[J]. Irrig Sci, 2009,27:191-200.
[6] Muhammad Akram Kahlown, W D Kemper. Reducing water losses from channels using linings:Costs and benefits in Pakistan[J]. Agricultural Water Management, 2005,74:57-76.
[7] 何武全,孔 东.渠道衬砌与防渗工程技术[M].河南郑州:黄河水利出版社,2011.
[8] 郭慧滨,何武全.不同类型区典型工程渠道防渗防冻胀技术应用模式及效果评价报告[R].中国灌溉排水发展中心,2010.

· 信 息 ·

摘要编写须知

摘要(abstract)是对科技论文、学术报告的主要内容(primary contents)的准确概括而不加任何注释和评论的简短陈述(brief)。其内容可分为两大类:一类是说明性或陈述性摘要(descriptive or indicative abstract)。说明性摘要或称指示性摘要,只说明论文或报告的主题思想,一般不介绍文章的内容。而陈述性摘要除了陈述主题思想外,还要陈述论文的中心句及中心事物。另一类是资料性摘要(informational abstract)和报道性摘要(informative abstract)。这类摘要除了介绍文章的要点外,还要扼要地介绍文章的主要内容,即主要信息(primary information)。一般摘要的篇幅以200~300字为宜。从语言修辞上讲,应是开门见山,直入主题,准确简练,内容精练。从语言结构上讲,尽量不要使用复杂的长句,应广泛使用非谓语动词和被动语态常见形式。英文摘要的基本内容:①从事此项研究的目的,即研究工作的缘由、问题、重要性;②研究内容及过程;③所取得的成果或结论;④所获成果或获结论的意义及重要性。(本刊编辑部)