

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.05.032

北方不同地域混凝土衬砌渠道聚苯乙烯泡沫板 保温防冻胀适宜厚度分析

吉 晔,张绍强,沈莹莹
(中国灌溉排水发展中心,北京 100054)

摘要:通过对北方季节性冻土地区开展混凝土衬砌渠道聚苯乙烯泡沫板保温防冻胀应用情况调查、试验研究及计算验证,系统性地提出了北方不同地域、不同渠道走向、不同渠道流量大小、不同渠坡灌溉渠道铺设聚苯乙烯泡沫板适宜厚度,为实际工程的设计与建设提供参考。

关键词:北方不同地域;聚苯乙烯泡沫板;适宜厚度

中图分类号:U61

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2018)05-0168-04

Analysis of Suitable Thickness for Thermal Insulation and Frost Heaving of Polystyrene Foam Board for Concrete Lined Canal in Different Regions of North China

Ji Ye, ZHANG Shaoqiang, SHEN Yingying

(China Irrigation and Drainage Water Development Center, Beijing 100054, China)

Abstract: Based on the investigation on the test and application of polystyrene foam board insulation and frost heave prevention technology for concrete lining canal in seasonal frozen soil area of North China, the test and calculation verification were carried out. The suitable thickness of polystyrene foam board for irrigation canal laying in different areas, canal direction, canal flow and sunny slop in northern China was proposed systematically, which can provide references for the design and construction of practical projects.

Keywords: different regions of North China; polystyrene foam board; suitable thickness

大型灌区是我国农村经济社会发展和生态环境保护的重要基础设施,是国家粮食安全和用水安全的重要保障^[1]。目前,我国现有大型灌区456处,总灌溉面积 $1.853 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[2],北方地区187处,占全国大型灌区总灌溉面积的45.1%。其中,西北地区大型灌区93处,占全国大型灌区总灌溉面积的29.4%;华北地区大型灌区48处,占全国大型灌区总灌溉面积的11.1%;东北地区大型灌区48处,占全国大型灌区总灌溉面积的4.6%。北方大型灌区地处欧亚大陆东部的中高纬度地带,属中温带半干旱大陆性气候,冬季漫长寒冷,为季节冻土区。受气温、土质、地下水位等方面原因的影响,已建的渠道衬砌与防渗工程都不同程度地遭受到冻胀破坏,不

仅影响了工程的正常运行,增加了工程管理维修费用,也降低了渠道防渗效果和使用寿命^[3]。

渠道保温防冻胀技术可以减轻或消除渠道基土的冻胀变形,有效地解决混凝土衬砌渠道的冻胀破坏问题,在北方大型灌区节水改造中已得到应用^[4]。试验和应用实践表明,聚苯乙烯泡沫板作为一种新型的渠道防冻胀保温材料,防冻胀效果十分明显^[5],但北方地区地域广阔,不同地域气候、地质条件相差较大,局部的试验或应用成果较多,而混凝土衬砌渠道聚苯乙烯泡沫板保温防冻胀适宜厚度缺乏全局性和系统性分析,相关人员在本地域进行渠道工程规划设计中,对聚苯乙烯泡沫板厚度的选取无据可依,影响了渠道保温防冻胀技术的推广应用。

因此,进行北方不同区域混凝土衬砌渠道聚苯乙烯泡沫板保温防冻胀适宜厚度分析具有重要的现实意义。

1 聚苯乙烯泡沫板保温防冻胀效果影响因素分析

北方地区影响聚苯乙烯泡沫板保温防冻胀效果的因素主要包括区域因素(如负积温、地下水埋深、强冻胀性土壤)、渠道级别(一般按流量划分)、渠道走向及渠道部位^[6]。

1.1 区域划分

考虑北方地区的气候特点,将北方地区划分为华北地区、西北地区、东北地区。华北地区属亚热带和中温带的过渡带,冬季寒冷干燥,年最低气温多出现在1月份,最低可达 -35°C ;根据土壤、地温、地下水埋深浅等条件,华北地区细分为河北南部、山西、天津地区,内蒙、北京、河北北部地区。东北地区是我国纬度位置最高的区域,属大陆性季风型气候,冬季严寒而漫长,1月份为最冷月,平均气温 $-25^{\circ}\text{C}\sim-29^{\circ}\text{C}$,年极端最低气温为 -45°C ,东北地区可细分为辽宁、吉林地区,黑龙江地区。西北地区地域广阔,冬季寒冷,气温的空间分布差异较大,1月平均气温的变化范围在 $-27^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 之间。西北地区可细分为陕西的北部、甘肃、宁夏、青海及新疆南部地区,新疆北部地区。

1.2 渠道级别划分

我国北方地区大中型灌区规模差异大,大到灌溉 $6.667\times 10^5\text{ hm}^2$ 以上的耕地,小到灌溉 666.667 hm^2 的耕地,使得不同灌区干支渠道流量存在较大的差距。在实际工程中,设计流量大于 $50\text{ m}^3/\text{s}$,当采用聚苯乙烯泡沫板防冻保温时,所选保温板厚度较大,施工难度也大;而设计流量小于 $1\text{ m}^3/\text{s}$ 的田间渠道,如果采用聚苯乙烯泡沫板防冻保温则不经济。因此,在调查研究的基础上,根据国家及地方规范标准以及建设管理办法等文件,综合考虑经济性及施工可行性,混凝土衬砌渠道保温防冻胀灌溉工程级别划分^[7]为 $\geq 50\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $20\text{ m}^3/\text{s}\sim 50\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $5\text{ m}^3/\text{s}\sim 20\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $1\text{ m}^3/\text{s}\sim 5\text{ m}^3/\text{s}$ 四个级别。

1.3 渠道走向划分

北方灌区渠道走向通常为东西向、南北向、西北东南、东北西南,从试验与调查分析来看,西北东南、东北西南向渠道的聚苯乙烯泡沫保温板厚度介于东西向、南北向之间,实际应用中以东西向保温板厚度

作为参考^[8]。因此,渠道走向划分为东西和南北两个方向。

1.4 渠道部位划分

试验研究中,为了更能准确反映渠道边坡上下段的冻胀情况,试验设计为阴坡上、阴坡下、阳坡上、阳坡下、渠底等5个处理。试验结果也表明,5个处理的厚度不同,坡下大于坡上,按此结论进行工程建设也是最经济的,但大规模工程实际应用时,从材料选购、安装、接缝处理到上部衬砌等环节来看,施工难度加大,质量难以保障。因此,综合考虑技术性、经济性和和施工方便程度,不同厚度保温板的铺设部位划分为阴坡、阳坡、渠底^[9]。

2 渠道防冻胀保温板适宜厚度

基于渠道防渗保温防冻胀技术应用情况调研、渠道保温防冻胀试验验证、渠道衬砌防冻胀应用耐久性评价及聚苯板厚度计算方法的验证,并根据《灌溉与排水工程设计规范》^[10](GB 50288—1999)灌溉工程分级指标以及北方地区应用情况,按不同区域、不同渠道走向、不同流量大小总结渠道防渗保温适宜铺设厚度。

2.1 华北地区

在分析南水北调中线京石段渠道、河北石津灌区、山西潇河灌区和内蒙河套灌区等灌区渠道铺设聚苯板应用情况基础上,参考潇河灌区近30 a聚苯乙烯泡沫塑料板在渠道衬砌防冻胀中的应用评价结果^[9],通过内蒙河套灌区试验研究和理论计算验证,分析确定华北地区渠道铺设聚苯板适宜厚度见表1。

2.2 西北地区

在分析甘肃景电一期灌区、宁夏引黄灌区^[7]、甘肃双塔灌区、新疆兵团农一师塔里木和沙井子灌区等灌区渠道铺设聚苯板应用情况基础上,通过在新疆布尔津河灌区^[11]的试验和理论计算验证,提出西北地区基于地温、渠道走向及流量等级渠道铺设聚苯板适宜厚度如表2所示。

2.3 东北地区

东北地区主要分析了吉林白沙滩灌区、辽宁东港灌区^[12]等灌区混凝土衬砌渠道聚苯乙烯泡沫板保温防冻胀应用情况,通过在黑龙江蛤蟆通灌区的试验和理论计算验证^[13-14],提出东北地区基于地温、渠道走向及流量等级渠道铺设聚苯板适宜厚度如表3所示。

表 1 华北地区渠道铺设聚苯板适宜厚度

适宜区域	渠道设计流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	铺设聚苯板适宜厚度/cm			
		东西走向渠道			南北走向渠道
		阳坡	阴坡	渠底	渠坡、渠底
河北南部、山西、天津地区	≥ 50	3~4	7~8	5~6	4~6
	20~50	3	5~6	5	3~4
	5~20	3	3~5	3~5	3
	< 5	3	3	3	0
内蒙、北京、河北北部	≥ 50	5~8	8~10	8~10	6~9
	20~50	4~6	6~10	6~10	5~8
	5~20	3~4	4~6	6	4~6
	< 5	3	5	5	5

表 2 西北地区渠道铺设聚苯板适宜厚度

适宜区域	渠道设计流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	铺设聚苯板适宜厚度/cm			
		东西走向渠道			南北走向渠道
		阳坡	阴坡	渠底	渠坡、渠底
陕西的北部、甘肃、宁夏、青海及新疆南部地区	≥ 50	4~5	6~8	6~8	5~6
	20~50	4~5	6	6	5
	5~20	4	4~6	4~6	4~5
	< 5	0	0	0	0
新疆北部		6~8	8~12	8~12	8~12

表 3 东北地区渠道铺设聚苯板适宜厚度

适宜区域	渠道设计流量 $/(m^3 \cdot s^{-1})$	铺设聚苯板适宜厚度/cm			
		东西走向渠道			南北走向渠道
		阳坡	阴坡	渠底	渠坡、渠底
辽宁、吉林地区	≥ 50	9~10	10~11	10~11	10
	20~50	9	10	10	8~9
	5~20	5~7	8~10	8~10	6~8
	< 5	5	8	8	6
黑龙江地区	≥ 50	10	12	12	12
	20~50	10	12	12	10~12
	5~20	10	10~12	10~12	10
	< 5	8	10	10	8~10

3 结 论

(1) 在北方地区渠道衬砌防冻胀应用中,保温板厚度是关键指标,考虑经济因素保温板的厚度应按照国家不同走向的渠坡(阴坡、阳坡)和渠底分别确定,厚度的确定以理论计算为基础,缺少基本资料不具备计算条件的可参考本文渠道铺设聚苯板适宜厚度成果。

(2) 在北方地区渠道防冻胀聚苯板适宜厚度在

3 cm ~ 12 cm 之间。其中,华北地区:河北南部、山西、天津地区适宜厚度 3 cm ~ 8 cm,内蒙、北京、河北北部地区适宜厚度 3 cm ~ 10 cm;西北地区:陕西的北部、甘肃、宁夏、青海及新疆南部地区适宜厚度 4 cm ~ 8 cm,新疆北部地区 6 cm ~ 12 cm;东北地区:辽宁、吉林地区适宜厚度 5 cm ~ 11 cm,黑龙江地区适宜厚度 8 cm ~ 12 cm。

(3) 南北向渠道不分阴阳坡,可铺设相同厚度保温板;东西向渠道冻胀明显,铺设不同厚度保温

板^[15-16];东北西南或西北东南渠道阴坡铺设保温板厚度参考东西向阴坡的铺设厚度、阳坡铺设保温板厚度参考南北向的阳坡铺设厚度。

参考文献:

- [1] 程文辉.对灌区水生态文明建设的思考[J].中国水利,2013(6):13-15.
- [2] 李仰斌,韩振中,姚宛艳,等.灌区基本情况普查报告:第一次全国水利普查成果丛书[M].北京:中国水利水电出版社,2017:61.
- [3] 何武全,张绍强,吉 晔,等.季节性冻土地区渠道防渗防冻胀技术与应用模式[J].节水灌溉,2012(11):67-70.
- [4] 李 根,何武全,宋清林,等.混凝土衬砌渠道置换防冻胀标准化技术模式[J].节水灌溉,2015(4):79-83.
- [5] 张文智.聚苯乙烯泡沫塑料板在渠道防冻胀中的应用[J].水利与建筑工程学报,2003,1(2):56-57.
- [6] 程满金,申利刚,步丰湖,等.聚苯乙烯保温板在衬砌渠道防冻胀中的应用研究[J].灌溉排水学报,2011,30(5):22-27.
- [7] 灌溉渠道衬砌工程技术规范:DB64/T 811—2012[S].银川:阳光出版社,2012:21.
- [8] 程满金,申利刚,步丰湖,等.内蒙古河套灌区节水改造工程综合节水技术研究[J].灌溉排水学报,2011,30

(6):70-72.

- [9] 刘群昌,史 源,吉 晔,等.聚苯板在渠道衬砌防冻胀中的应用性能评价[J].水利与建筑工程学报,2018,16(4):1-5.
- [10] 灌溉与排水工程设计规范:GB 50288—1999[S].北京:中国计划出版社,1999.
- [11] 沈莹莹,杨宏志,杨发业,等.新疆布尔津河灌区渠道衬砌防冻胀试验研究[J].中国农村水利水电,2018(1):19-22.
- [12] 张 欣,宗兆博,宋立元,等.东港灌区苯板保温渠道衬砌抗冻胀试验研究[J].中国农村水利水电,2013(8):95-98.
- [13] 张宇峰,何武全,赵彦琳.渠道保温防冻胀中冻土层等效导热系数的计算[J].灌溉排水学报,2017,36(6):69-73.
- [14] 宋清林,何武全,李 根,等.混凝土衬砌渠道保温防冻胀技术研究[J].灌溉排水学报,2015,34(4):43-47.
- [15] 周振民,徐苏容,刘 月.黄河下游引黄灌区衬砌渠道工程防冻胀破坏措施研究[J].水利与建筑工程学报,2005,3(1):5-9.
- [16] 朱思远,陆立国,顾靖超.宁夏引黄灌区渠道砌护破坏原因分析与防治措施研究[J].节水灌溉,2011(4):44-46.

(上接第 133 页)

- [2] Sridharan A, Rao A S. Mechanisms controlling the secondary compression of clays[J]. Geotechnique, 1982, 32(3):249-260.
- [3] Taylor D W, Merchant W. A theory of clay consolidation accounting for secondary compression[J]. Studies in Applied Mathematics, 1940, 19(1/4):167-185.
- [4] 周卫滨,程 兴.基于颗粒接触应力的软土次固结机理分析[J].公路交通科技(应用技术版),2014,10(1):150-152.
- [5] 倪小东,尹学谦,蔡 钟.基于 PFC-COMSOL 联合开展软土固结细观机理研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2017,34(2):30-36.
- [6] 殷宗泽.土工原理[M].北京:中国水利水电出版社,2007.
- [7] 曾玲玲,刘松玉,洪振舜,等.天然沉积软黏土的次固结变形机理分析[J].岩土工程学报,2010,32(7):1042-1046.
- [8] Mesri G. Time and stress-compressibility interrelationship [J]. Journal of the Geotechnical Engineering, 1979, 103(5):417-430.
- [9] 殷宗泽,张海波,朱俊高,等.软土的次固结[J].岩土工

程学报,2003,25(5):521-526.

- [10] 冯志刚,朱俊高.软土次固结变形特性试验研究[J].水利学报,2009,40(5):583-588.
- [11] 陈晓平.海陆交互相沉积软土固结效应[J].岩土工程学报,2011,33(4):520-528.
- [12] 雷华阳,张文振,丁小冬,等.考虑软土结构强度的次固结特性试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(7):1221-1227.
- [13] 陈 宽,艾英钵,胡建林,等.软黏土主次固结划分及其模型应用[J].水利与建筑工程学报,2014,12(1):174-178,218.
- [14] 扈胜霞,李 平,吴小强,等.预压作用下软土固结蠕变及微观结构试验研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(3):611-618.
- [15] 桂 跃,余志华,刘海明,等.高原湖相泥炭土次固结特性及机理分析[J].岩土工程学报,2015,37(8):1390-1398.
- [16] 杜雅峰,夏欢欢,刘会平,等.广州地区海积软土蠕变特性试验研究[J].水利与建筑工程学报,2013,11(2):12-16.
- [17] 卢廷浩.土力学[M].南京:河海大学出版社,2002.