

土壤固化剂新材料在衬砌渠道中的应用研究

程满金¹, 步丰湖², 王俊英², 叶德忠³, 曾利彬³, 高文慧¹

(1. 内蒙古自治区水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020;

2. 河套灌区永济试验站, 内蒙古 临河 015000; 3. 临河区水务局, 内蒙古 临河 015000)

摘 要:在内蒙古河套灌区首次采用固化土衬砌渠道作为渠道防渗抗冻的新技术。简要说明土壤固化剂原理, 通过室内试验得出固化土性能, 通过施工实践总结出固化土施工工艺。应用已有和自行开发的土壤固化剂制作固化板, 进行防渗、抗冻观测试验, 对冻深、冻胀量、防渗效果和工程造价作出定量结论, 已在大型灌区田间渠道衬砌中推广应用。

关键词:土壤固化剂; 固化土; 固化板; 渠道衬砌; 防渗; 冻深; 冻胀量

中图分类号:S275.5 **文献标识码:**A

Application of New Soil Solidifying Agent Material in Canal Lining

CHENG Man-jin¹, BU Feng-hu², WANG Jun-ying², YE De-zhong³, ZENG Li-bin³, GAO Wen-hui¹

(1. Institute of Water Conservancy Science Research of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010020, China;

2. Yongji Experiment Station of Hetao Irrigation District, Linhe 015000, Inner Mongolia, China;

3. Water Resources Bureau of Linhe District, Linhe 015000, Inner Mongolia, China)

Abstract: Lining canal with solidified soil was used as a new technique for seepage control and frost heaving control of irrigation canal in Inner Mongolia Hetao Irrigation District for the first time. The seepage control and frost heaving control principles of solidified soil were explained briefly. The physical properties of solidified soil were obtained through laboratory test and the solidified Soil construction technique was summarized on basis of its construction practice. The frost depth, frost heaving amount, seepage control performance and construction cost of existing and self-developed solidified soil slab made from soil solidifying agent were quantified through frost heaving control and seepage control observations and were applied in the reconstruction project for water-saving in the large-scale Irrigation district.

Key words: soil solidifying agent; solidified soil; solidified soil slab; canal lining; seepage control; frost depth; frost heaving amount

1 概 述

随着水资源的紧缺, 内蒙古河套灌区引黄灌溉供需矛盾越来越突出, 节水已成为该地区迫在眉睫、势在必行的大事。大搞防渗衬砌工程是河套地区节水的主要措施之一, 而探讨一种经济、实用的新型防渗衬砌材料, 是促进、加快渠道防渗衬砌工程实施步伐所面临的重要课题。为此从 1999 年以来由内蒙古水科院主持, 河套灌区管理总局、河套灌区一干管理局、永济管理局试验站、临河市水务局等单位参加协作, 结合水利部安排的隆胜节水示范区建设开展了自治区“九五”水利重点科技攻

关项目“河套灌区节水改造工程综合节水技术试验与示范研究”, 先后引进了路特固(LPC-600、LPC-300I)、帕尔玛土壤固化酶、HY-高性能土壤固化剂和 SSS 砂特固等多种土工防渗材料, 在干渠、分干渠、支渠、斗渠四级渠道上开展了固化剂新材料在渠道衬砌中的的试验研究。2006 年以来在“十一五”国家科技支撑计划重点项目“北方渠灌区节水改造技术集成与示范”示范区, 继续开展了采用固剂材料在田间渠道衬砌中的应用研究。主要通过渗漏试验和冻胀观测试验, 研究固化剂在田间衬砌渠道中的应用效果。

经过多年的试验研究, 基本掌握了几种材料的力学特性、

收稿日期: 2009-09-16

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAD11B09-1)。

作者简介: 程满金(1955-), 男, 教授级高工, 主要从事节水农业与水利工程研究与示范推广。

适用范围、施工技术、防冻、防渗效果及技术经济指标。已在内蒙古河套灌区 16 条支、斗、农渠上采用固化板衬砌 25.43 km, 并在三湾子灌区和莫力庙灌区干渠上衬砌 2 km。为不同类型灌区节水改造工程规划设计、施工运行管理提供科学依据和示范样板作用。

2 土壤固化剂的分类及固化原理

土壤固化剂是在常温下能直接胶接土体中土壤颗粒表面或能够与粘土矿物反映生成胶凝物质的硬化剂。

2.1 电离子类固化剂

电离子类土壤固化剂是一种高浓度的溶液。主要由石油裂解产品加以磺化物配制而成,属于液体状。溶解于水后形成离子交换中介物。当它施入土壤后于土壤颗粒通过电离子交换,改变水分子和土壤颗粒的电离子特性,破坏土壤孔隙毛细管结构,在外力作用下,土壤孔隙游离子的水分被逐出后土壤由亲水性变为斥水性。土颗粒被外力作用挤压填充密实后,由于密度增强土壤结构增强了相互内聚力,提高了土壤整体的聚结性及粘聚力。试验中引用 SSS 特砂固,路特固属于这一类固化剂。

2.2 生物酶类固化剂

受动物如蜜蜂、蚂蚁等分泌出一种物质可固结泥土构筑巢穴的后发,人类研制出生物酶固化剂。此类固化剂是由有机物质发酵而成的属蛋白质多酶基产品,为液体状。按一定比例与水溶制成水液洒入土中,通过生物酶的催化作用,经外力挤压密实后,使土壤粒子中间黏合性增强,形成牢固的不渗透性结构。试验使用的帕尔玛固化酶属这一类。

2.3 水化类固化剂

水化类固化剂主要由石灰石、黏土、石膏、矿物质等加入不同化学激素,经过一定工艺加工而成为固体粉状物质。土壤固化剂按一定渗入量施于土壤中,通过与土壤中的水分作用而发生凝胶化。当外界施以一定压力时,将土壤中气体水分逐出,使土壤粘结固化形成有相当抗压强度和抗渗能力的砌块。HY 高性能土壤固化剂和自行研制开发的固化剂属于这一类。

表 1 固化土技术指标

序号	检测项目	技术指标	检测标准
1	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	$< 6 \times 10^{-8}$	标准试块在室内自然条件下养护 28 d
2	干密度($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.75~1.86	
3	抗压强度/MPa	7.15~12.17	
4	初凝/h	6	
5	终凝/h	16	

3 固化土的性能

3.1 抗压强度

固化土标准试块在室内自然条件下 28 d 抗压强度。用 HY 固化剂和混合土或粘土拌和在不同固化剂掺入量测试抗压强度指标为 7.12~12.17 MPa。

3.2 渗透系数

现场用同心环法测试,在室内用南 55 型渗透仪测试。用

HY 固化剂渗入制作的预制固化板测试 28 d 龄期达到渗透系数小于 $6 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 。

3.3 抗冻性能

冻融循环试验是固化土标准试块在非饱和状态下在室内自然条件养护后,经 16 次非饱和状态冻融循环后区分不同土料配合比的抗压强度为 9.0~11.3 MPa。28 d 龄期在 $\pm 20^\circ\text{C}$ 环境下,经 50 次冻融循环平均强度损失率 28%~32.4%。

3.4 干湿循环

干湿循环试验是固化土标准试块在室内自然条件下养护 28 d,并经 16 次干湿循环后的抗压强度及其变化,区分不同土料配合比的抗压强度为 3.50~11.90 MPa。28 d 龄期经 50 次干湿循环,强度损失率 2.74%~4.6%。通过对固化土试件试验结果相当于 C10 混凝土。

4 固化土施工方法及技术要求

4.1 土料、土壤固化剂的选取及拌和

(1)就近选用土料,分析确定其性质。对土料进行晾晒,使其含水率低于 10%。用粉碎机将土料粉碎并过筛,筛网孔径 30 mm 以下。

(2)根据土料的性质,设计选取固化剂的型号和配合比。

(3)固化剂与土料拌和:将粉碎好的土料和固化剂按设计的配合比用搅拌机进行拌和,观察拌和的颜色,如果拌和料颜色一致,说明拌和均匀,否则,需要继续拌和。

(4)固化土料与水拌和(湿拌):土料和固化剂干拌均匀后即可加水进行湿拌,要根据土料的类型和含水情况严格控制水的加入量,预制前拌和料的含水率一般在 13%~15%之间。其中黏土拌和料的含水率一般控制在 17%~20%之间,土壤拌和料的含水率一般控制在 14%~18%之间,砂土拌和料的含水率一般控制在 13%~15%之间。在预制厂用混凝土成型机压实,拌和料的含水率要取低值。在压制前要测试拌和料的含水率。

4.2 固化土铺料与压实

(1)预制板的铺料与压实:将搅拌均匀的固化土拌和料均匀地铺撒到预制板模具内,放在预制砌块成型柜上压制。压实是固化土预制板强度能否达到设计强度要求的关键环节,压实后固化土预制板的密实度必须达到 95%以上,干密度大于 1.75 g/cm^3 。用成型机压制固化土预制板,拌和料送往模具后,须压制两遍。然后即可脱模,脱模后,预制板要立放,间距 1~2 cm,搬运放置时应轻拿轻放。

(2)保护层的铺料与压实:将湿拌均匀的固化土拌和料均匀地铺撒到已清好的地基表面,铺撒厚度 8~10 cm。用人工或平地机将表面摊平整,用石碾或小型压实机将铺好的拌和料均匀压实,碾压须 3 遍以上,压实干密度不得小于 1.6 g/cm^3 。成型后的固化土预制构件及现浇砌体要及时进行养护。养护预制构件强度达到设计强度的 70% 时方可拉运,砌筑时板下可用 3 cm 后的固化泥做过度层。其他工序与混凝土预制块方法相同。

5 防冻防渗试验方案及观测项目

5.1 试验场情况

试验场分为两处,一处是在河套灌区一干渠东一支渠,为

1999 - 2002 年“内蒙古河套灌区节水改造工程综合技术与示范研究”项目试验段,半挖半填式梯形断面,渠道为东西走向。另一处是在临河区治丰示范区“十一五”国家科技重点项目“北方渠灌区节水改造技术集成与示范”项目试验示范区公安斗渠,渠道为南北走向。

5.2 试验方案

5.2.1 一干渠在东一支渠试验段

一干渠东一支渠试验段长为 400 m,采用现浇和预制两种方案衬砌,设计断面为梯形断面形式,对两种衬砌方案进行冻胀试验。

5.2.2 公安斗渠试验段

采用 0.3 mm 厚聚苯乙烯膜防渗,5 cm 厚预制固化板护面,板下设 3 cm 厚固化泥过度层。设计断面为梯形断面形式。分别进行了防冻胀和防渗效果对比测试。防冻胀观测是对公安斗渠预制固化板衬砌渠道段,结合东一支渠研究资料分析固化板衬砌渠道的应用效果。防渗效果测试是对固化板加膜衬砌渠道段,在治丰试验区田间渠道试验段分别做衬砌前后的渗漏试验。

5.3 观测项目及方法

- (1)冻深:采用丹尼林冻深器,每个断面阴坡、阳坡上、中、下不同部位及渠底分别布置 7 组冻深观测仪。
- (2)冻胀量:按每个断面阴坡、阳坡延坡从上至下不同部位布设 3~7 个冻胀变形观测点,渠底延横断面方向分别布设 3~5 个冻胀变形观测点。渠道冻胀量采用衬砌面板与固定标准断面比测的方法。
- (3)地下水位:每个试验段设地下水位观测井一眼。
- (4)含水率:人工取土样烘干法。
- (5)渗漏试验:在治丰试验示范区斗、农、毛渠道做衬砌前后静水试验。

6 试验结果与分析

防冻胀效果以治丰公安斗渠为主结合以前年度观测资料成果综合分析其固化剂衬砌渠道的防冻胀效果。防渗效果以 2007 - 2008 年治丰试验示范区斗、农、毛渠静水试验资料分析。

6.1 防冻胀效果

6.1.1 冻深

根据观测资料可知,在自然条件下本试验区冻结规律与以前年度观测成果所反映的河套地区土壤随基土地温降、升变化规律基本相同。即大致可分为不稳定冻结阶段、缓慢冻结阶段、快速冻结阶段、拟稳定冻结阶段和消融阶段。但由于渠道的走向及坡向不同,各阶段冻深出现时间、冻深持续时间和冻深结束时间不尽相同。对于东西走向渠道阴坡和阳坡的冻深发展过程差异较大,而南北走向渠其冻深发展过差异较小些。公安斗渠冻深发展过程与以前年度无措施渠段比较其拟稳定阶段相对缩短,消融阶段提前并缩短。公安斗渠边坡最大冻结深度过程线见图 1 所示。一干渠东一支渠和治丰公安斗渠两级渠道冻结期最大冻结深度见表 2。

观测资料表明:边坡由上至下冻深逐渐减小;阴坡冻深大于阳坡平均 20 cm 左右。两种衬砌方式阴坡和阳坡差异基本

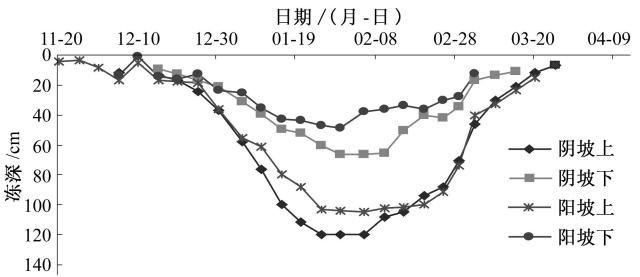


图 1 公安斗渠 2008 - 2009 年边坡最大冻深过程线

		表 2 试验渠段最大冻深							cm	
试验渠道	衬砌方式	日期/月-日	阴坡			阳坡			渠底	
			上	中	下	上	中	下		
东一支渠	现浇	02-20	116	103.0	83.5	82.0	79.0	66.5	84.0	
	预制	02-25	106	97.0	83.0	80.0	62.0	60.0	90.0	
公安斗渠	预制	02-20	120		66.6	102		48.8	51.1	

一致,上部分别相差 34 cm、26 cm,下部均相差 17 cm,两种衬砌形式相比较现浇段冻深略大于预制段冻深。两级渠道阴阳坡冻深发展均表现出较大差异性。支、斗渠冻深差异较小,说明冻深的大小与渠道级别没有太大的影响,同一级别渠道两种衬砌形式相比较现浇段冻深略大于预制段冻深。

6.1.2 冻胀量

冻胀量是土体冻结过程中,伴随孔隙水相变而产生的垂直于冻结锋面的位移量。公安斗渠边坡最大冻胀量过程线见图 2,一干渠东一支渠和治丰公安斗渠两级渠道最大冻胀量见表 3。

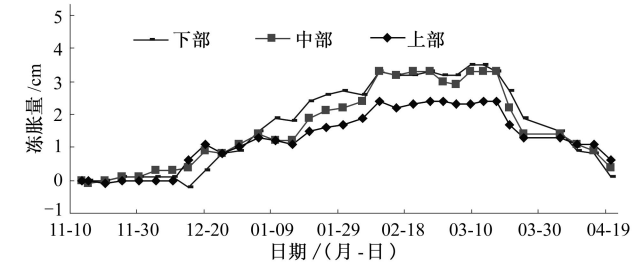


图 2 公安斗渠 2008 - 2009 年边坡最大冻胀量过程线

		表 3 试验渠段最大冻胀量							cm	
试验渠道	衬砌方式	日期/月-日	阴坡			阳坡			渠底	
			上	中	下	上	中	下		
东一支渠	现浇	2.20	3.0	5.1	6.6	1.9	3.2	3.4	2.3	
	预制	2.25	3.5	5.1	7.4	3.8	5.7	5.8	9.8	
公安斗渠	预制	2.20	2.2	2.8	3.4	2.4	3.3	3.3	4.4	

观测资料表明:渠道边坡最大冻胀量均发生在下部,支渠不同衬砌方式及斗渠阴坡最大冻胀量分别为 6.6~7.4 cm、3.4 cm;阳坡最大冻胀量分别为 3.4~5.8 cm、3.3 cm。一干渠东一支渠采用现浇和预制两种方式衬砌时,预制段冻胀量大于现浇段,分析其原因,现浇段的厚度大于预制板厚,其次现浇段整体性好,所以抵抗能力强。

东一支渠资料和公安斗渠 2 年冻融循环观测成果表明:渠道冻胀变形均能消融后自然复位,整个坡面无顶托或沉陷破坏现象。

6.2 防渗效果

田间渠道(斗、农)衬砌前后渗漏试验结果见表4、5。公安斗渠土渠道与固化板衬砌后渠道到达稳定的时间分别为5.15和11.28 h。其中斗渠衬砌前平均渗漏强度为 $8.2 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,衬砌后平均渗漏强度为 $4.0 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,衬砌后平均渗漏强度比衬砌前减少渗漏51.2%。

表4 田间渠道衬砌前后渗漏试验结果

渠道衬砌情况	渠道	渗漏强度/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	湿周/ m	计算 长度/ m	渗漏 面积/ m^2	年运行 时间/ h
衬砌前	斗渠	0.008 2	7.77	1761	13 682.97	600
	农渠	0.012 9	2.67	420	1 121.4	480
衬砌后	斗渠	0.004	3.432	1761	6 043.752	600
	农渠	0.005 92	1.745	420	732.9	480

表5 田间渠道衬砌前后渠道及渠系水利用率推算

渠道衬砌情况	渠道	年渗漏 水量/ m^3	年均毛 引水量/ m^3	年均静 引水量/ m^3	渠道水 利用率/ %	渠系水 利用率/ %
衬砌前	斗渠	67 320.21	1 000 000	932 679.8	93.3	89.1
	农渠	6 943.709	155 446	148 502.3	95.5	
衬砌后	斗渠	14 505	1 000 000	985 495	98.50	97.2
	农渠	2 082.609	164 249.17	162 166.6	98.7	

由表可见,斗渠衬砌后渠道水利用率提高5.2%,农渠衬砌后渠道水利用率提高3.2%,示范区斗、农两级渠系水利用率提高了8.1%。

7 造价比较

根据公安斗渠 $2+520 \sim 2+930$ 试验段,计算长度为410 m,测算相同条件下预制土壤固化板和预制混凝土板两种材料衬砌渠道的造价见表6。

比较以上计算结果:公安斗渠衬砌410 m长度,采用预制土壤固化板衬砌造价为32 687元,每延米长度衬砌价格为79.7元;采用预制混凝土板衬砌造价为50 237元,每延米长度衬砌价格为122.5元。两者进行比较,预制土壤固化板是预制混凝土

表6 预制土壤固化板和预制混凝土板衬砌渠道造价比较 元

名称	数量	预制土壤固化板		预制混凝土板	
		单价	合价	单价	合价
聚苯乙烯膜铺设/ m^2	1 381	5.94	8 203	5.94	8 203
预制及衬砌/ m^2	69.06	240.00	16 574	487.07	33 637
固化泥过度层/ m^2	39.55	200.00	7 910		
M5水泥砌筑砂浆/ m^2	39.5			181.52	7 170
M15勾缝砂浆/ m^2	4.03			304.36	1 227
合计造价/元			32 687		50 237
每延米衬砌造价/元			79.7		122.5

土板造价的65.1%左右。即可节省投资34.9%。可见用土壤固化板衬砌渠道是渠道防渗工程中一项新技术,将固化剂加工成预制板衬砌渠道可就地取材,节省了大量砂石料,大幅度降低衬砌渠道工程投资。

8 结 语

通过两个阶段近十年对土壤固化剂试验研究与示范推广,取得了固化土力学性质指标、防渗与防冻效果,现浇与预制施工方法与工艺。实践证明,土壤固化剂具有就地取材、抗压、防渗、防冻胀,工程造价低、施工简单、无污染等优点,已取得较好的经济效益,作为一种渠道衬砌新材料、可以在田间渠道上推广应用。

参考文献:

- [1] 程满金.大型灌区节水改造工程技术试验与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 王 慧,朱步祥,朱步纲.渠道防渗新材料-土壤固化剂及其应用[J].节水灌溉,2006,(6).
- [3] 杜应吉,朱建宏.土壤固化剂对不同土质固化性能影响的试验研究[J].干旱地区农业研究,2004,(4).
- [4] 张丽娟,汪益敏,陈页开,等.ISS土壤固化剂在渠道防渗中的试验研究[J].中国农村水利水电,2004,(6).
- [5] 何武全,邢义川,蔡明科,等.渠道防渗抗冻新材料与新技术[J].节水灌溉,2003,(1).
- [6] 杜应吉,朱建宏.土壤固化剂对不同土质固化性能影响的试验研究[J].干旱地区农业研究,2004,(4).

· 信 息 ·

欢迎订阅 2010 年《节水灌溉》

《节水灌溉》是由中国国家灌排委员会、中国灌溉排水发展中心、武汉大学、国家节水灌溉北京工程技术研究中心共同主办的技术类期刊。是全国中文核心期刊,中国科技论文统计源期刊,省(部)优秀科技期刊,入选“中国期刊方阵”。

栏目设置:试验研究、工程技术、水利经济、工程管理、技术讲座、国外动态、设备与市场、简讯等。

读者对象:从事节水灌溉行业的水利、农业、林业、机械及相关领域的技术人员、管理人员。

《节水灌溉》邮发代号38-17,月刊,6.00元/册,全年定价72元。每月5日出版,全国各地邮局征订,国内外公开发行。也可直接从编辑部订阅。

地址:武汉市珞珈山 武汉大学(二区)《节水灌溉》编辑部,邮编:430072,电话:(027)68776133,传真:(027)68776133,电子邮箱:jieshuiguangai@188.com,联系人:关良宝,单位名称:《节水灌溉》编辑部,开户银行:中行水大支行,账号:84600219531708091001