

土壤固化剂在葛沟灌区节水改造工程中的应用

朱步祥¹, 王 慧², 冉建新³

(1. 山东省临沂市河东区水务局, 山东 临沂 276034; 2. 山东省临沂市水利勘测设计院, 山东 临沂 276000

3. 中土奥特赛特科技发展有限公司, 北京 100020)

摘要:葛沟灌区节水改造工程是国家投资建设的大型灌区节水改造项目, 一期工程以渠道防渗为主, 该工程总干渠现状渠道多数为土渠, 坍塌、淤积、渗漏严重。在节水改造工程中, 针对不同地质情况, 在处理 23+709~25+380 砂壤土地质段, 为解决渠底防渗、防冲问题, 改三合土防渗方案为新材料——土壤固化剂处理。工程完工后, 通过夏灌运行观察, 新材料具有良好的性能, 用于渠道防渗、防冲具有造价低、施工简便、性能可靠等优点。

关键词:土壤固化剂; 节水工程; 渠道防渗; 灌区改造

中图分类号:TV411

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2002)01-0041-03

山东省临沂市葛沟灌区节水改造工程, 是列入 1999 年度国家基本建设计划的大型灌区节水改造项目, 包括总干渠 6.6 km 防渗, 一干渠 8.9 km 衬砌、清淤。为提高防渗效果, 并结合使用新材料、新技术, 指挥部决定对总干渠 23+709~25+380 段土渠底部原设计采用的三合土防渗, 改为土壤固化剂处理。通过水利部科技推广中心推荐, 在中土奥特赛特科技发展有限公司的指导帮助下, 采用固化剂对渠道底部进行了固化处理, 共处理面积 2.51 万 m², 使用固化剂 300 t。

1 固化剂简介

自 20 世纪初一些经济发达国家在兴建道路、港口、机场等工程中, 采用土壤固化技术如使用石灰、水泥对土壤进行改良以来, 取得了良好的效果。在 20 世纪 70 年代, 美、日、德等国家土壤改良技术进行了深层次的开发, 技术水平获得长足进步, 改良土壤的材料由原来单一的石灰、水泥、粉煤灰等, 发展到专门用来固结土壤的新材料——土壤固化剂, 目前国外已广泛使用于道路、土木建筑、环境保护、农田水利工程等各个领域。

我国目前土壤固化技术基本处于国外 20 世纪六七十年代的水平, 主要沿用单一的石灰、水泥、粉煤灰等作为拌和物。1994 年, 北京中土奥特赛特科技发展有限公司从日本引进先进的无公害、高性能土壤固化剂生产技术, 生产的土壤固化剂具有较高

的性能价格比, 先后被列为 1997 年国家级星火计划和 1999 年国家重点技术创新项目, 水利部科技推广中心也要求在水利工程中进行推广使用。

中土奥特赛特科技发展有限公司开发的 Aught-set(As)系列土壤固化剂, 有 C₁ 型、D₁ 型、B₁ 型等, 目前已形成规模生产。该产品按照北京中土奥特赛特固化剂研究开发中心企业标准 Q/ZASH898-1999 生产, 细度(80μm 筛余)6.4%, SO₃ 含量不超过 4.0%, 符合要求。自 1998 年以来, 先后在中南海清淤工程、昆玉线河底改良固化工程、钓鱼台湖底固化工程、永定河防渗加固工程等水利工程中得到应用。中国水利水电科学研究院岩土所对中土奥特赛特公司与山东高密亚盛水利机械研制有限公司共同合作的土质 U 形渠构件进行了强度和渗透性试验; 北京市水利科学研究所对土壤固化剂在水利工程应用的室内研究已完成, 这都为固化剂广泛应用提供了技术保障。这次在大型灌区渠道防渗工程中大面积推广试验取得成功, 积累了一定的施工经验, 为该材料的推广应用打下了良好的基础。

1.1 固化剂的作用机理

a. 土体经过固化剂处理后, 在成型压力作用下, 颗粒紧密接触, 在土壤颗粒附近, 固化剂水化生成水化硅酸钙、沸石、方钠石及硅酸等物质, 使黏土颗粒表面形成凝结硬化壳。固化剂的激活组分以不同的方式渗入颗粒内部, 与黏土矿物发生物理化学作用, 形成水铝酸盐、水硅酸盐等胶凝物质, 使黏土

作者简介: 朱步祥(1965—), 男, 山东临沂人, 工程师, 主要从事水利工程规划、设计和施工等工作。

颗粒表面产生不可逆凝结固化,固化后的黏土具有水稳定性和强度稳定性。

b. 极性水分子和 OH^- 离子进入黏土内部空穴^[1],使土体分散,比表面积增加。这些被分散的黏土颗粒表面一般带有负电荷,其动电电位增大,固化剂的某种成分可代换土体中凝聚能力低的离子、降低动电电位、促使黏土颗粒凝聚,同时电解质浓度增加、胶粒双电层减薄、也有利于颗粒凝聚。

c. 疏松土体的联结,主要是靠矿物与胶结物界面上的化学力实现的,层状硅酸盐自身建立空间网状结构;固化剂的主要水化产物以及其与黏土矿物反应的生成物,均属上述胶结物之一,能牢固地胶结分散的土壤颗粒,增强和加固这种网状结构,使之成为一个具有较高强度的整体。

1.2 固化剂的适应性

固化剂中含有的化学成分使固化颗粒和土壤颗粒表面活性化^[2],在水化反应过程中,使固化剂本身比表面积增加了几百倍,因此,即使粒径范围很小的土壤也可以固化(见表1)。

表1 固化材料运用不同粒径的土壤对比 mm

砾石	砂	粉砂	淤泥	黏土
20~2	2~0.1	0.1~0.05	0.05~0.005	0.005~0.001
←水泥混凝土→				
←水泥稳定土→				
←土壤固化剂→				

同时根据工程性质和施工要求,可随意调整延迟时间,并能使固结土体收缩量减小,充分提高固结土的抗渗、抗冻、抗裂性能。

2 土壤固化剂的应用

2.1 固化剂选型及添加量设计

葛沟灌区节水改造工程对总干渠 23+709~25+380 段土渠底部采用土壤固化剂处理,工程施工前,自试验段渠底根据土质情况选择了5个代表点、现场取原状软弱土样 30 kg,由北京中土奥特赛特科技发展有限公司通过室内试验,确定采用 As 普通 B 型 1.0 级土壤固化剂,其成分见表2。该工程设计固化渠底土壤厚度 15 cm,固化剂掺加量 10%(重量比)。

表2 As 普通 B 型 1.0 级土壤固化剂主要成分

成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	MnO_2
含量/%	23.0	18.5	4.0	49.0	1.2	2.3	2.0

2.2 施工方法与施工机械选取

渠底固化施工方法,由现场施工规模、施工目的、土质、成本、加固深度等条件综合确定。该工程固

化土层深度 15 cm,属表层加固。根据 As 土壤固化剂技术要求,表层加固法的施工步骤为:散布、摊铺、搅拌、碾压。因工期紧,虽然面积较大,但分段多,需同期固化,因此施工中没有选用专用土料拌和机,而采用了上海-50 型拖拉机牵引旋耕机翻拌、使用 10 t 轮胎式振动碾压路机碾压。

2.3 施工工艺流程

土壤固化剂固化处理渠底的施工工艺流程为:施工场地平整→测定土类及含水量→摆放和摊铺固化剂→混合搅拌→碾压密实→养护。

2.4 施工技术要求

a. 场地平整。开挖完成的渠底,应由测量人员按设计渠底高程定桩,用推土机或平地机找平,并除去树根、草皮、乱石等杂物。

b. 测量土壤类别和含水量。本工程土壤为黏性壤土,含水量为 20%(一般控制在 18%~30%为宜),含水量低时要补水,含水量高时要进行翻晒。

c. 铺撒固化剂。在平整好的场地上,标定纵横网格,以利固化剂的摊铺。本工程按设计配合比掺量 10%、拌和深度 15 cm,计算每袋(50 kg 装)固化剂铺撒面积 3.33 m^2 ,人工破袋,铺撒均匀,测量土壤含水量在 18%~30%之间,符合要求。

d. 混合搅拌。用五铧犁或圆盘耙翻拌 2~3 遍,人工配合把翻拌出的非土物清出场外,再用旋耕机翻拌 2~3 遍。旋耕由浅至深,翻拌深度控制在 15 cm,用插入法检查,偏差控制在 2 cm。要注意搭接处的翻拌搭接宽度为翻拌机械宽的 1/3。本工程使用上海-50 型拖拉机牵引 2.0 m 宽旋耕机拌和,如大面积施工,可使用专用土料拌和机进行流水作业,效果更佳。

e. 碾压。拌和好的土壤要及时用平碾碾压,6 h 内碾压完成,碾压 2~3 遍。本工程使用 10 t 轮胎驱动式平碾压路机加振动碾压;接缝搭接宽度为 1/3 碾身长度(不小于 50 cm)。检测碾压密实度达 1.60 t/m^3 ,含水量 20%,要求相对密实度控制在 90%以上。

f. 养护。在大风及高温干燥天气,水分挥发快,要及时洒水。碾压完毕,最好用塑料薄膜覆盖 2~3 d 后再洒水湿润养护,养护期 2~3 d。养护期内每日洒水 3~4 次,洒水时不得用水直接冲击固化土表面,对已成型的固化地段注意保护,7 d 内不得上重车或重物。

2.5 施工组织管理

a. 固化剂作为新型土工材料,要求施工前对施工段地质情况进行详细勘察、选择代表性的土样化验,确定使用固化剂型号、掺量,并及时与生产单位签订合同,确保工程顺利进行。

b. 要求施工单位配备性能良好的拌和、碾压机械,并有足够的劳力配合,同时,准备必要的喷洒设备以便洒水养护。

c. 由于土壤含水量及天气情况对施工质量影响较大,当土壤含水量适宜时,应分段及时铺撒固化剂,并在规定时间内完成拌和、碾压,以防影响工程质量,夏季施工更要注意。

d. 施工中,对拌和、碾压层要及时取样,测定干密度,并取试块分别检测 7 d, 28 d 抗压强度等指标。

2.6 施工中需注意的问题

a. 固化剂的运转和储存不得受潮,在码放时,必需设置垛底,垛高不超过 15 袋,上部进行防雨、防潮遮盖。

b. 根据一次需要固化的面积,按照配合比计算出固化剂用量的整袋数目,一次铺撒完成。

c. 从拌和到碾压完成,时间不能超过 6 h。

d. 碾压后若出现“压缩裂纹”、“弹簧”、“松散”、“起皮”等现象,应在施工技术人员的指导下进行修补,修补应在 7 d 龄期后进行,一般修补厚度不小于 50 mm。

3 土壤固化剂的应用效果

3.1 检测试验结果

工程完成后,对土壤固化剂加固效果进行检测试验,结果见表 3。由表 3 可见,固化前土壤含水量在 12%~26%之间,有 2 处含水量偏小地段,施工翻拌前进行了洒水湿润。固化碾压后的密实度达到 90%以上,但沿渠挡土墙内侧边沿(宽约 30 cm)范围,因机械施工,不便采用人工夯实,密实度较差。

表 3 土壤固化剂应用试验结果

取样点	取样日期	含水量 /%	干密度 / $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	相对密度 /%	抗压强度 /MPa		渗透系数 / $(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	抗冻融循环次数
					7 d	28 d		
24+200	18 日	19.2	1.78	96	1.65	2.4	5×10^{-7}	15
24+360	19 日	18.5	1.83	95	1.63	3.2		
24+550	20 日	18.8	1.88	93	1.43	3.3		
24+720	20 日	21.1	1.87	92	1.68	4.5		
24+880	21 日	25.5	1.90	91	0.90	2.0	5×10^{-7}	
25+050	22 日	14.5	1.87	95	1.40	2.8		
25+200	23 日	12.6	1.92	94	0.80	2.4		
25+280	24 日	15.2	1.91	95	0.91	2.2		

注:取样时间均是在 2000 年 5 月。

根据试验结果并结合其它工程试验资料,固化剂强度至 14 d 左右增长平稳,14 d 后受激发素影响,强度增长率大幅度提高。而原土质渠底的渗透系数,由固化前为 $1.0\times 10^{-5}\text{ cm/s}$,经固化压实后,达到了 $5\times 10^{-7}\text{ cm/s}$ 。可见渠底土壤经固化处理后,抗渗性能有很大改善。工程加固后 2 a 的运行情况表明,固

化层坚固、稳定、性能良好。

3.2 固化剂的优缺点

a. 优点。固化剂经过北京市环境监测部门检验证明,无毒、无公害,满足水质毒理化学分析要求,可以成为 21 世纪的绿色建筑产品(见表 4)。固化剂施工简便、迅速,工期较现浇混凝土和预制混凝土板铺砌均有较大的缩短(可缩短一半工期),工程质量有一定的保证,工程造价远低于现浇混凝土和预制混凝土板,综合计算节约 60% (见表 5)。

表 4 水质毒理分析结果

项 目	含量 / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	
	测试结果	标准
氟化物(F^{-})	<0.2	1.0
氰化物(CN^{-})	≤ 0.001	0.05
砷(As)	<0.001	0.05
汞(Hg)	<0.0005	0.001
镉(Cd)	<0.0001	0.01
铬(Cr^{6+})	<0.0001	0.05
铅(Pb)	<0.005	0.05
镍(Ni)	<0.001	
锌(Zn)	<0.01	1.0
锑(Sb)	14	

注:标准采用 GB5749-85《生活饮用水卫生标准》

表 5 不同固化材料经济分析

固化材料	设计结构	工程造价 / $(\text{元}\cdot\text{m}^{-2})$				性能对比
		材料费	机械费	人工费	合计	
固化剂	掺量 10%	7.0	4.0	3.0	14.0	良好
灰土	厚 20 cm	4.5	4.5	4.2	13.2	一般
水泥土	厚 20 cm	6.0	4.0	3.0	13.0	一般
混凝土	现浇厚 8 cm	22.4	5.5	6.0	33.9	优良

固化剂施工基本上无噪声,不用振捣,采用机械施工,人工少,减少环境污染及其它干扰。另外,还可使用固化剂成型构件,做成砌块或 U 形渠,用于渠道护砌等水利工程。

b. 缺点。由于目前还没有统一的国家标准,质量控制难度大;土质及含水量对拌和的均匀性影响较大;在固化剂摊撒时,以无风日为好,高温天气施工应注意及时补水。

这次大型灌区节水改造工程,使用土壤固化剂对渠道底部进行固化处理,是渠道防渗使用新材料的有益探索,取得了一定的施工经验,为今后进一步推广打下了基础。

参考文献:

- [1] 葛立东.土壤固化剂技术的应用[J].铁道设计标准,2000(5):5~8.
- [2] 杨志宏.新型材料——奥特赛特(Aught-set)土壤固化剂的应用[J].铁道设计标准,2000(5):1~4.

(收稿日期:2000-07-14 编辑:熊水斌)