

文章编号:1001-4179(2013)20-0001-03

南水北调中线膨胀土高填方路基填筑方案研究

刘新利,汪小茂

(长江勘测规划设计研究院 市政与交通工程设计院,湖北 武汉 430010)

摘要:南水北调中线一期工程沿线膨胀土分布广泛,若直接将其用于高填方路基,易出现多种病害,而直接采用外购土料,工程投资又增加较大。通过分析膨胀土的特性,提出了一种对膨胀土进行有效处治之后再用作路基填筑的方法,即对高填方路基采用自由膨胀率小于55%的弱膨胀土作为“芯土”,外包一定厚度的石灰改性土作为包边土(金包银),以隔离外界水体,防止弱膨胀土遇水失稳等一系列病害。经试验验证,所提处理方法可以满足路基填筑要求,具有明显经济和社会效益。

关键词:膨胀土;高填方路基;工程投资;南水北调中线工程

中图法分类号:TV67 文献标志码:A

南水北调中线工程路线长,沿线地质条件复杂,尤其是在黄河以南地区膨胀土分布广泛,给总干渠及相关构造物的建设造成较大的影响^[1]。本文通过对膨胀土特性的介绍和膨胀土地区跨渠桥梁引道高填方路基常见的病害及成因分析,提出膨胀土地区高填方路基的施工处治方案。

1 膨胀土特性

膨胀土是一种具有特殊性质的黏性土,除具有一般黏性土所共有的物理化学性质外,还具有如下特性。

(1) 多裂隙性。反复的干缩湿胀造成的裂隙,不仅降低了土体强度,也为地表水的侵入形成了通道。水的侵入加速了土体的软化及裂隙生成并逐渐向周围扩展,造成土的抗剪强度急剧降低,使土体容易沿裂隙面滑动。因此,裂隙性是影响边坡稳定的关键因素。

(2) 超固结性。膨胀土初始强度虽高,但风化后强度衰减很快。随卸载及风化产生应变能量,应力集中于卸载面,引起土体局部或连续破坏。超固结性促进了裂隙的发展和土体强度的应变软化,不仅使路堑边坡脚产生较大的剪应力,而且还会带来强度的应变软化。这对路基边坡的短期及长期稳定性都为不利。

(3) 强胀缩性。膨胀土由强亲水性黏土矿物组

成,有遇水膨胀、失水收缩的特性。岩性愈破碎或蒙脱石含量愈高,其胀缩性愈强。此外,土的初始含水量和干密度也对其胀缩性有明显影响。

(4) 风化分带性。膨胀土对水、热特别敏感,暴露于大气中会很快产生风化。其风化程度由地表向下逐渐减弱。风化带分界面是一个主要的软弱面,边坡的破坏大多沿此面发生。

考虑到膨胀土作为路基填料,其压实后的膨胀土与天然原状膨胀土的工程特性有很大的差别。主要是压实的膨胀土的膨胀性较原膨胀土要大5~8倍,有的甚至达到20~30倍之多。填土的密实度愈大,含水量愈低,其膨胀量和膨胀力愈大;在相同压实含水量下,密实度愈高,其膨胀量和膨胀力愈大;膨胀土在原状结构时,有较高的初始结构强度,很难压实,浸水膨胀后,强度大幅降低。因此,强膨胀土不得直接用作路基填料^[2]。

2 路基处理方式

2.1 工程特性

根据《南水北调中线一期工程总干渠渠道膨胀土处理施工技术要求》(NSBD-ZXJ-2-01)的相关规定,一般渠道土方填筑指采用非膨胀土(自由膨胀率小于40%)直接填筑,或采用“金包银”的形式进

行弱膨胀土(自由膨胀率在 40% ~ 65% 之间)填筑。结合南水北调中线一期工程的特点,从节约工程投资和土方资源分布考虑,跨渠桥梁接线道路路基填筑采用渠道建筑物开挖出的或就近料场提供的具有弱膨胀性的土料作为填料,并外包一定厚度的非膨胀土或石灰改性土,即“金包银”。

根据长江勘测规划设计研究有限责任公司制定的《南水北调中线一期工程总干渠水泥改性土、水泥土补充施工技术要求》(见表 1),本工程所选用天然土料的自由膨胀率应限制在 60% 以内,同时根据改性要求及施工选择料源的统一性,最终确定选用的天然土料的自由膨胀率小于 55%。土料通过掺加水泥(3% ~ 6%)或石灰(6% ~ 8%)进行处理后,28 d 自由膨胀率小于 40%,可以满足路基填方的要求。考虑到石灰改性较水泥改性的经济优势,道路工程统一考虑采用掺 6% ~ 8% 的石灰。

表 1 天然土料及水泥改性土使用要求

原状土自由膨胀率/%	改性土水泥掺量参考值/%	改性土 28 d 自由膨胀率/%	可使用部位
35 ~ 60	0(不改性)		填方渠堤、跨渠交通连接道路、挡土墙后指定区域填筑体
≤35	0(不改性)		填方渠堤、跨渠交通连接道路、挡土墙后指定区域填筑体
≤20	0(不改性)		填方渠堤、跨渠交通连接道路、挡土墙后指定区域填筑体
20 ~ 35	3	≤30	一般用于保护膨胀土坡面或建筑物地基
35 ~ 45	4	≤35	一般用于保护膨胀土坡面或建筑物地基
45 ~ 55	5	≤40	一般用于保护膨胀土坡面或建筑物地基
55 ~ 65	6	≤40	一级马道以上渠坡、坡顶防水层、建筑物地基处理换填层
改性土超填削坡余料		≤40	一级马道以上渠坡、坡顶防水层、建筑物地基处理换填层

2.2 清表压实

挖除路基范围内的树根灌木、清除表土、挖除淤泥、排除积水,填平夯实坑穴,切断或降低地下水,清除深度一般为 50 cm,然后对基底进行压实,必要时可将地基土翻松、打碎,再整平压实。高速公路、一级公路和二级公路基底的压实度(重型)不小于 90%;三、四级公路不应小于 85%^[2-3]。

2.3 换填处理

清表压实完成后,对一般填方路基应换填 50 cm 厚的 6% ~ 8% 石灰改性土,并碾压密实,压实度应满足表 2 要求。

对低填路基(路基填土高度小于路面和路床总厚度),应将地基层土进行超挖回填压实处理,超挖范围为路槽下 80 cm,并不小于清表深度 50 cm,压实度要求应满足表 2 要求。

2.4 高填方路基处理

膨胀土路段高填方路基一般采用自由膨胀率小于 55% 的弱膨胀土作为“芯土”(银),并外包一定法向厚度的石灰改性土作为包边土(金),以隔离外界水,防

止弱膨胀土遇水失稳等一系列病害。因桥梁引道路路基边坡为 1:1.5,考虑压实机械作业的平台宽度,路基边坡两侧的包边土一般采用的法向厚度为 2 m。

表 2 路基压实度标准

填挖类型	路床顶面以下深度/m	压实度/%		
		高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
填方路基	上路床 0 ~ 0.3	≥96	≥95	≥94
	下路床 0.3 ~ 0.8	≥96	≥95	≥94
	上路堤 0.8 ~ 1.5	≥94	≥94	≥93
	下路堤 > 1.5	≥93	≥92	≥90
零填路基	0 ~ 0.3	≥96	≥95	≥94
	0.3 ~ 0.8	≥96	≥95	-

注:① 表列压实度系按《公路土工试验规程》(JTJ 051)中重型击实试验法求得的最大干密度的压实度。② 三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时,其压实度标准应采用二级公路的规定值。

根据《公路路基设计规范》(JTG D30 - 2004)第 3.2 和 3.3 节对路基填料最小强度的要求(表 3),沿线桥梁引道路基采用的弱膨胀土 CBR 值普遍较低,仅为 3% 左右,若直接用于路床和上路堤,则不满足规范的要求。故从路基填料最小强度等因素考虑^[4],弱膨胀土顶部的改性土厚度采用与路基边坡的包边土同样的厚度 2 m。

表 3 路基填料最小强度要求

填挖类型	路床顶面以下深度/m	填料最小强度(CBR)/%		
		高速、一级公路	二级公路	三、四级公路
填方路基	上路床 0 ~ 0.3	8	6	5
	下路床 0.3 ~ 0.8	5	4	3
	上路堤 0.8 ~ 1.5	4	3	3
	下路堤 > 1.5	3	2	2
零填路基	0 ~ 0.3	8	6	5
	0.3 ~ 0.8	5	4	3

注:① 当路基填料的 CBR 值达不到表列要求时,可掺石灰或其他稳定材料处理。② 三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时,应采用二级公路的规定。

路基处理步骤为:清表换填完成之后先在路堤中心下部采用弱膨胀土作为填料。当路基填土高度 H 小于 $12 + h$ (m) (h 为路面结构厚度)时,则将膨胀土填至距路槽底 2 m 结束,每 6 m 设置一级 2 m 宽马道,一级边坡坡率为 1:1.5,二级边坡坡率为 1:1.75,之后在膨胀土路基填料处外包一层 6% ~ 8% 的石灰改性土(改性后土的自由膨胀率不超过 40%),外包土的法向厚度为 2 m(如图 1)。

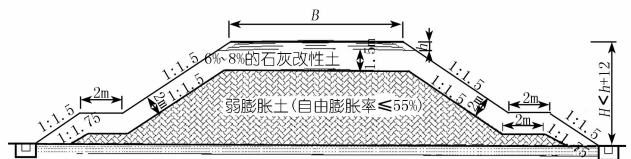


图 1 路基处理图 ($H < 12 + h$ (m))

当路基填土高度 H 大于 $h + 12$ (m) 时,则膨胀土的填筑高度为 10 m,每 6 m 设置一级 2 m 宽马道,一级边坡坡高 6 m,坡率为 1:1.5,二级边坡坡高 4 m,坡率为 1:1.75,膨胀土顶部至路槽底填以 $h_1 = H - 10 - h$ (m) 的 6%~8% 石灰土(改性后土的自由膨胀率不超过 40%),两侧外包土的法向厚度为 2 m,如图 2。路床应采用符合《公路路基设计规范》表 3.2.1 规定的材料填筑。

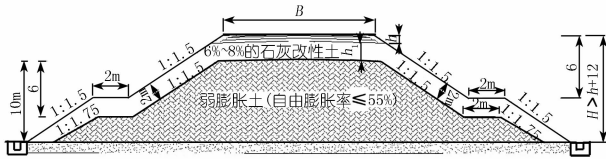


图 2 路基处理图 ($H \geq 12 + h$ (m))

2.5 路基填筑试验成果分析

本试验选用内乡石灰厂生产的石灰,石灰中 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 含量为 61.5%。试验用土料为蜂王土料场桩号 47 + 000 ~ 49 + 000 范围内,清除耕作层 0.5 m 后,深 3 m 的混合料,含水率为 20% 左右。试验成果见表 4,5。

表 4 自由膨胀率试验成果 %

组数	弱膨胀土	6% 石灰掺量改性土 (室内配制)	7% 石灰掺量改性土 (室内配制)	8% 石灰掺量改性土 (室内配制)	6% 石灰掺量改性土 (现场路拌机拌制)
1	43	26	23	21	28
2	45	27	24	21	29
3	44	25	21	19	28
4	46	24	22	19	28
5	48	27	24	20	29
6	41	23	20	18	27

表 5 弱膨胀土改性土试验结果

项目	最大干密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	最优含水率/ %	设计压实度 95% 对应的干密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	95% 压实度对应的 CBR 值
弱膨胀土	1.842	16.88	1.750	3.0
6% 石灰掺量改性土	1.783	17.80	1.694	30.7
7% 石灰掺量改性土	1.759	18.89	1.671	47.2
8% 石灰掺量改性土	1.744	19.70	1.657	50.4

注:松铺厚度 30 cm,20 t 自行式凸块碾静碾 2 遍、动碾 8 遍,行驶速度 2 km/h。

弱膨胀土最优含水率为 16.88%,即弱膨胀土含水率范围值为 16.0%~20% 时最适宜,此时可以直接用于路基回填。若含水率小于该范围值,则拌和时需加适量水;若含水率大于该范围值,必须经晾晒含水率合适后方可使用。

石灰改性土拌和前,弱膨胀土含水率应略大于石

灰改性土最优含水率,即弱膨胀土含水率范围值为 20.0%~22.0% 时最适宜,此时可以直接用于拌和改性土。若含水率小于该范围值,则拌和时需加适量水;若含水率大于范围值,必须经晾晒后至含水率合适后方可使用。经试验验证,作为“芯土”的弱膨胀土填筑压实度满足设计指标,同时石灰掺量 6%~8%,改性后土(包边土)的自由膨胀率小于 40%,压实度和 CBR 值也满足设计指标。

2.6 效益分析

按 2010 年第 4 季度材料单价,弱膨胀土、8% 石灰改性土(方案 1)和外购碎石土(方案 2)用于路基填筑的投资分析对比见表 6。从表中可看出,方案 1 较方案 2 投资少,且填方越高,经济效益越明显。若考虑现场土方资源分布情况,投资相差将更大。

表 6 不同路基填筑方案投资对比

方案	土类	单价/ (元· m^{-3})	10m 高填方①/ m^3	15m 高填方②/ m^3	①投资/万元	②投资/万元
方案 1	弱膨胀土	24	81850	170450	633.0	1209.6
	石灰土	100	43650	80050	633.0	1209.6
方案 2	碎石土	90	125500	250500	1129.5	2254.5

注:路基宽 8.5 m,长 500 m,运距 5 km 之内。

2.7 路基施工注意事项

(1) 路基采用膨胀土填筑施工时,应根据设计材料分区要求,将弱膨胀土与外层非膨胀土保护层同时上升,路基填筑应连续作业,填筑期间应采取临时措施防止填筑体失水。

(2) 膨胀土路堤施工应一气呵成,并避免雨季施工和长时间的施工间隔。如遇雨天,应暂停施工,长时间停止施工后又恢复施工时,应采取刮除松土、晾晒或洒水、复压等措施,经检验合格后才能缓慢施工。

(3) 采用 20 t 凸块碾,静碾 2 遍,动碾 8 遍。

(4) 击实试验的最大干密度为 1.78 g/cm^3 ,控制干密度不小于 1.69 g/cm^3 。施工碾压时,控制土料最优含水率 17.8% (+1%~+3%),松铺厚度不大于 30 cm,压实后不大于 26 cm。土料必须充分破碎,最大粒径不大于 10 cm,石灰土一定要拌和均匀,同时加强石灰掺量检测。

3 结语

(1) 南水北调中线一期工程沿线膨胀土分布广泛,直接用于桥梁引道路基的普通土储备不足。

(2) 结合南水北调中线工程膨胀土分布广泛的特点,从土方资源分布和工程投资考虑,在具体分析土质

4 结 语

(1) 结合实际地形及结构设计,专门进行了水工模型试验等多项专题研究,针对性强,分析较深入,为设计提供了依据和参考,使得设计合理、准确、可靠。

(2) 通过调整窄缝挑坎的收缩比和水舌出坎方向,最终找到了较为理想的挑坎体形。窄缝挑坎收缩比减小,出口单宽流量增大,挑距增远,两股水舌纵向拉开并在空中碰撞,减轻了对河床的冲刷,减小了对坝

脚及右岸坡的冲刷下切,同时减弱了两岸的回流强度。经水工模型试验及蓄水汛期泄流证明,窄缝式挑流消能体型设计合理,下泄水流流态较好。

参考文献:

- [1] 刘数华.云龙水库溢洪道泄洪消能设计方案[J].云南水力发电,2002(增),32-33.
- [2] 中南勘测设计院.溢洪道设计规范专题文集[M].北京:水利电力出版社,1990.
- [3] DL/T5166-2002.溢洪道设计规范[S]. (编辑:徐诗银)

Shape design of narrow - channel flip bucket of Shuanghekou Hydropower Station

ZENG Hong, YU Yuliang

(Guizhou Provincial Water Resources & Hydropower Design Institute, Guiyang 550002, China)

Abstract: Shuanghekou Hydropower Station, with power generation as the main object, is a large - II scaled hydropower station in mountainous area. In the design, steep slope terrain was utilized to arrange the spilling channel, thus engineering quantity of the bank spillway was reduced. For mitigating the flow scouring to river bed and bank slope, shrinkage ratio of the flip bucket and jet direction of the water tongue was optimized through hydraulic tests, and the most reasonable narrow - channel ski - jump was proposed. It is proved by hydraulic tests and practical operation in flood season that the design of narrow - channel ski - jump dissipation is reasonable, which can mitigate flow scouring to river bed, dam toe and right bank slope, and the reflux intensity of two banks is decreased.

Key words: shallow - channel flip bucket; shrinkage ratio; spilling channel; Shuanghekou Hydropower Station

(上接第3页)

特性后,对桥梁引道路基进行“金包银”处理,可满足桥梁引道高填方路基填筑对 CBR 值和压实度等要求。

(3) “金”的厚度根据施工作业平台宽度的需要和路基填料对 CBR 值的要求确定,一般采用 2 m。

(4) 若直接采用外购土,工程投资增加较大,若采用“金包银”的方式对路基进行处理,则可大大节约工程投资。

参考文献:

- [1] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,长江科学院.南水北调中线一期工程总干渠膨胀土试验研究(南阳)[R].武汉:长江水利委员会长江勘测规划设计研究院,长江科学院,2007.
- [2] JTG D30-2004 公路路基设计规范[S].
- [3] JTG F10-2006 公路路基施工技术规范[S].
- [4] 杨和平,赵程鹏,郑健龙.膨胀土用作路基填料的分类指标体系研究[J].岩土工程学报,2009,31(2):194-202.

(编辑:徐诗银)

Research on filling scheme of high - filled subgrade in expansive soil area of Middle Route Project of South - to - North Water Diversion

LIU Xinli, WANG Xiaomao

(Institute of Municipal and Traffic Engineering Design, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The expansive soil is widely distributed along the Phase I Works of Middle Route Project of South - to - North Water Diversion. If the expansive soil is directly used in the high - filled subgrade filling, it is prone to a variety of defects, or if the outsourcing soil material is directly used, the project investment will increase greatly. The paper proposes an effective method for subgrade filling by using treated expansive soil through analyzing its characteristics. The weak expansive soil whose free expansion rate is less than 55% is used as the core soil for the high - filled subgrade, and the lime - modified expansive soil is used as surrounding soil for isolating the outside water, preventing water instability of the weak expansive soil. It has been verified by experiment that the proposed method can meet the requirements of subgrade filling, and has obvious economic and social benefits.

Key words: expansive soil; high - filled subgrade; project investment; Middle Route Project of South - to - North Water Diversion