

文章编号: 0451-0712(2005)10-0098-09

中图分类号: U412.221

文献标识码: B

高速公路膨胀土路基施工探索

连佳机

(路桥集团第一公路工程局天津工程处 天津市 300451)

摘要: 膨胀土分布在我国江苏、安徽、湖北、广西、四川、河南等许多省、区。随着我国高速公路建设的高速发展,由膨胀土修筑的路基在交工运营之后,不同程度发生路基下沉、沥青混凝土路面开裂、翻浆、边坡坍塌、滑坡等病害。本文通过蚌明高速公路五合同段的施工,提出了对膨胀土路基病害成因分析、治理措施及施工控制要点。

关键词: 高速公路; 路基; 膨胀土; 治理; 施工控制

1 工程沿线土情况

蚌明高速公路五合同段桩号K110+400~K117+640,全长7.24 km,路线位于滁州地区凤阳县小溪河镇,路线处于平原微丘地区,沿线土质为高液限粘土,由于沿线没有合适的直接用于路堤的土源,但为了不增加成本,不得不用沿线的膨胀土来填筑路堤。沿线所征用取土场的各项土质指标见表1。

表1 蚌明高速公路五合同段取土场土质情况汇总

土场编号	土场位置	取土深度 m	试验 单位	液限 W_L %	塑性指数 I_P	备注
1号	K110+490	1.4~1.8	承包人	52.3	26.3	$W_L I_P$ 超限
			监理	51.8	26.8	$W_L I_P$ 超限
		3.4~3.8	承包人	44.7	19.7	
			监理	45	17.9	
2号	K111+700	1.1~1.5	承包人	61.7	32.9	$W_L I_P$ 超限
			监理	57.6	28.3	$W_L I_P$ 超限
		1.5~2.5	承包人	49.6	23.6	
			监理	48.9	22.0	
3号	K113+800	1.4~1.8	承包人	51.5	25.2	W_L 超限
			监理	52.3	26.5	$W_L I_P$ 超限
		2.6~3.0	承包人	59.1	28	$W_L I_P$ 超限
			监理	58.1	28.1	$W_L I_P$ 超限
4号	K117+000	1.4~1.9	承包人	54.3	26.9	$W_L I_P$ 超限
			监理	53.6	27.6	$W_L I_P$ 超限
		2.2~3.2	承包人	51.6	20.3	W_L 超限
			监理	51.2	21.0	W_L 超限

从表1可以看出五合同段沿线土质都不符合《公路路基施工技术规范》(JTJ 033-95)要求,不

能直接用于高速公路路基填筑施工中,必须进行改性处理。

根据蚌明高速公路五合同段土场情况,蚌明高速公路开发有限公司又委托河海大学土木工程学院和东南大学交通学院对几个标段的土质情况进行了试验研究,结果见表2、表3、表4。

河海大学土木工程学院结论:根据《公路路基施工技术规范》(JTJ 033-95)规定, $W_L > 45\%$;自由膨胀率 $F_s > 90\%$ 属于强膨胀土; $65\% < F_s < 90\%$ 属于中等膨胀土; $45\% < F_s < 65\%$ 属于弱膨胀土。初步判断五标路段土为中等膨胀土,六、九标路段土为弱膨胀土。

东南大学交通学院结论:根据要求,蚌明高速公路五标路段、九标路段先后分3次送五标路段3号取土场、九标路段2号和5号取土场土样,从试验结果来看,除了第1次九标路段5号取土场的土不属于膨胀土外,其他土样试验结果与原来试验数据基本吻合。本文只列出第2次试验结果的汇总见表4。五标路段3号取土场的膨胀土的性质最差,即土的液限含水量、塑性指数和自由膨胀率相对最高,变异性相对较低,土样相对均匀。

结论:两所大学对蚌明高速公路五合同段土场情况试验结论是吻合的。

2 膨胀土的基本特点

膨胀土主要是由亲水性较强的粘土矿物成分(蒙脱石、伊利石和高岭石)组成,是具有较大胀缩性

表2 河海大学土样物理性能试验成果

取土场标段	界限含水量					比重 G_s	颗粒分析/%		
	100 g 锥		76 g 锥		塑限 W_p /%		0.25~ 0.075 mm	0.075~0.005 mm	<5 μ m
	液限 W_L /%	塑性指数 I_p	液限 W_L /%	塑性指数 I_p					
5标(膨胀土)	70.2	46	53.9	29	24.5	2.73	1.5	50.99	47.51
6标(膨胀土)	41.6	18	55.1	22	23.6	2.71	0	63.8	36.2
9标(4号0~2 m)	53.5	31	41.2	18	22.8	2.73	5.63	53.25	41.2
9标(4号2 m以下)	57.2	37	44.7	23	21.5	2.73	2.36	52.78	44.86
9标(3号0~2 m)	48.9	30	39.2	21	18.7	2.73	0	67.1	32.9

表3 河海大学土样物理性能试验成果

编号	取土场位置	自由膨胀率/%		编号	取土场位置	自由膨胀率/%	
1	5标2号土场1号点0~1.2 m	70	70	13	5标3号土场3号点0~1.2 m	55	58
2	5标2号土场1号点1.2 m以下	45	40	14	5标3号土场3号点1.2 m以下	38	41
3	5标2号土场2号点0~1.2 m	48	42	15	5标4号土场1号点0~1.2 m	29	32
4	5标2号土场2号点1.2 m以下	36	38	16	5标4号土场1号点1.2 m以下	45	51
5	5标2号土场3号点0~1.2 m	44	42	17	5标4号土场2号点0~1.2 m	29	32
6	5标2号土场3号点1.2 m以下	42	42	18	6标K121+645段1.5~3.0 m	45	45
7	5标2号土场4号点0~1.2 m	48	58	19	9标4号土场(1)	45	45
8	5标2号土场4号点1.2 m以下	43	43	20	9标4号土场(2)	35	32
9	5标3号土场1号点0~1.2 m	54	54	21	9标3号土场1.0~2.0 m	35	35
10	5标3号土场1号点1.2 m以下	39	43	22	9标3号土场2.0~3.0 m	30	28
11	5标3号土场2号点0~1.2 m	45	41	23	9标3号土场3.0 m以下	10	13
12	5标3号土场2号点1.2 m以下	40	39	24			

表4 东南大学土样物理性能试验成果

取土场标段	界限含水量						自由膨胀率/%				
	100 g 锥/200 mm			76 g 锥/17 mm			编号	自由膨胀率	编号	自由膨胀率	备注
	液限 W_L /%	塑限 W_p /%	塑性指数 I_p	液限 W_L /%	塑限 W_p /%	塑性指数 I_p					
5标3号/2-1	76.1	23.4	52.7	76.0	22.9	53.1	1	55.0	7	61.0	
5标3号/2-2	73.0	24.5	48.5	70.6	23.7	46.8	2	60.0	8	59.0	
5标3号/2-3	73.0	24.7	48.3	71.5	24.7	46.8	3	49.0	9	54.0	
5标3号/2-4	77.1	24.7	52.4	75.5	24.0	51.5	4	50.0	10	50.0	
5标3号/2-5	79.8	30.0	39.8	70.2	28.1	42.1	5	65.0	11	51.0	
5标3号/2-6	65.6	24.3	41.3	63.4	24.7	38.7	6	60.0	12	49.0	
变异系数	6.6	9.5	11.7	6.5	7.3	11.8				10.1	
平均	74.1	25.3	47.2	71.2	24.7	46.5				55.3	
9标2号/2-1	70.8	23.6	47.2	67.5	24.8	42.7	1	40.0	7	50.0	
9标2号/2-2	61.7	29.1	32.6	59.9	28.0	31.9	2	45.0	8	49.0	
9标2号/2-3	64.3	25.1	39.2	62.8	25.3	37.5	3	49.0	9	47.0	
9标2号/2-4	57.8	25.6	32.3	55.5	31.3	24.2	4	50.0	10	47.0	
9标2号/2-5	63.7	25.8	37.9	61.0	24.8	36.2	5	51.0	11	50.0	
9标2号/2-6	61.2	25.1	36.1	59.9	21.8	38.1	6	56.0	12	49.0	
变异系数	7.0	7.0	14.6	6.5	12.7	18.2				7.8	
平均	63.3	25.7	37.6	61.1	26.0	35.1				48.6	
9标5号/2-1	55.4	21.8	33.6	54.2	21.0	33.2	1	39.0	7	50.0	
9标5号/2-2	64.8	22.6	42.2	63.9	20.6	43.0	2	40.0	8	58.0	
9标5号/2-3	74.1	22.1	52.0	70.3	23.3	47.0	3	42.0	9	40.0	
9标5号/2-4	63.5	22.9	40.6	60.5	23.9	36.6	4	40.0	10	40.0	
9标5号/2-5	58.2	23.1	35.1	56.7	23.5	33.2	5	56.0	11	52.0	
9标5号/2-6	52.5	27.4	25.2	50.7	27.2	23.5	6	54.0	12	59.0	
变异系数	12.7	9.0	23.9	12.0	10.3	23.0				16.8	
平均	61.4	23.3	38.1	59.4	23.3	36.1				47.5	

能和相对较高的液限、塑限和塑性指数的粘性土。这种土在半固态时的干强度很高,土块表面干硬,但土块内含水量较大,很难破碎压实。受生成地质条件、水文及气候环境等因素的影响,膨胀土具有明显的胀缩性、崩解性、多裂隙性、风化性和强度衰减性等一系列的特殊、复杂的物理力学性质。

(1) 胀缩性。

膨胀土吸水体积膨胀,如果膨胀受阻,就会产生膨胀力。失水体积收缩,土体收缩开裂。

(2) 崩解性。

膨胀土浸水后体积膨胀,发生崩解。强膨胀土浸水后数分钟即可完全崩解,弱膨胀土崩解缓慢且不完全。

(3) 多裂隙性。

膨胀土中裂隙发育,将土层分割成具有一定几何形状的块体,破坏了土体的完整性。

(4) 风化性。

膨胀土对气候因素的影响很敏感,极易产生风化破坏作用。

(5) 强度衰减性。

膨胀土的抗剪强度为典型的变动强度,半固体时具有极高的峰值,而一旦浸水强度又极低。

从表2颗粒分析中知膨胀土中的蒙脱石和伊利石粘粒都是细粒土,经专家的多年研究发现,渗透压力确实存在于土—水体系中,而且是膨胀机理的根据。蒙脱石和伊利石粘土的膨胀是由于粘土粒中的亲水吸附离子对水有很强的渗透压力,土体的密度越高,粘土粒中的亲水吸附离子密度越高,渗透压力就越大,膨胀土的渗透压力可高达2~4 MPa。利用膨胀土直接作为路堤填料时,其压实后的膨胀土与天然原状结构膨胀土的工程特性有很大不同,主要是压实土的膨胀潜势较原状土要大5~8倍,甚至达20~30倍之多,填土的密度愈大,含水量愈低,则膨胀土浸水后,其膨胀量和膨胀力愈大,浸水时间越长影响深度越深,最深能达到60 cm以上。在多雨潮湿地区,膨胀土即使在旱季施工,晾晒到重型击实时的最佳含水量压实后,本身也极不稳定。雨季时,在湿气侵入和路基毛细水作用下,土体中的亲水吸附离子吸收水分,含水量很快增加,强度和密度亦随之而降低,这种现象在《公路沥青路面设计规范》(JTJ 014—97)第6.1.4条和《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)第9.7.4条中都有明确的说明。

膨胀土如果处理不当,对公路工程建设具有潜

在的破坏性,主要病害如下。

(1) 对公路建筑物结构基础造成的病害。

由于气候季节变化因素的影响,膨胀土会发生多次干—湿循环变化,一方面,胀缩导致地基的隆起或下沉;另一方面,干—湿循环变化会使抗剪强度急剧衰减而造成地基失稳破坏。

(2) 对公路路基造成破坏。

路基含水量的不均匀性,将引起不均匀胀缩,导致地基路基变形或开裂。膨胀土路基的长期环境稳定含水量与施工控制含水量的不一致性,易导致路基变形或裂缝等病害。

(3) 对路基边坡稳定的破坏。

膨胀土坡面最易受大气风化营力的作用,干旱时蒸发开裂,破碎剥落;降雨时坡面冲蚀。膨胀土易吸水饱和,在重力和渗透压力作用下,发生流塑状溜塌,甚至会产生破坏性极大的滑坡。

因此《公路路基施工技术规范》(JTJ 033—95)条文说明9.13条明确规定:强膨胀土难于捣碎压实,故条文规定不应作为路堤填料。对于中、弱膨胀土,经处理后(一般掺石灰)可作为路床填料。

3 膨胀土石灰改良的工作机理

目前,膨胀土改良的方法主要是化学改性,如掺加石灰、水泥、粉煤灰、氯化钠等外掺稳定剂。其中,石灰改良膨胀土被认为是最普遍、最有效的方法之一。石灰与膨胀土之间的化学作用非常复杂,石灰改良膨胀土的工作机理一般认为如下。

3.1 化学与物理化学作用

(1) 离子交换作用。

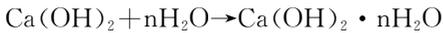
即石灰中钙、镁离子置换土中钠、钾离子,或吸收作用,导致离子单位重量增加。石灰与膨胀土接触后,这一离子交换作用立即发生,使得胶体吸附层减薄,从而使粘土胶状颗粒发生凝聚,粘胶粒的亲水性减弱,细颗粒产生絮凝和凝沉,形成较大的集力或积聚体。

(2) 碳酸化作用。

即石灰中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 吸收 CO_2 形成质地坚固、水稳性好的 CaCO_3 晶体。这一结晶作用使得土的胶结能力得到加强,从而提高了石灰土的后期强度。试验表明,碳酸化反应只能在有水的条件下才能进行,在干燥的碳酸气作用于完全干燥的石灰粉末时,碳酸反应几乎停止,说明这种作用需有水。

(3) 结晶作用。

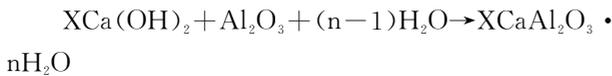
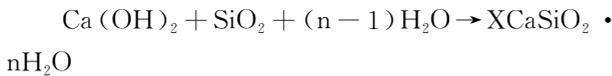
在石灰土中除了一部分 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生碳酸化反应外,另一部分则在石灰土中自行结晶。



由于结晶作用, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 胶状体逐渐变成晶体,这种晶体能互相作用与土结合成晶体,从而把土粒胶结成整体,提高了石灰土的水稳定性。

(4) 灰结作用。

即膨胀土加灰后,使土呈碱性,在碱性环境中石灰与土中的氧化铝逐渐硬结,即:火山灰作用——活性硅产品矿物在石灰的碱性激发作用下离解,并在水的参与下与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成含水的碳酸钙和铝酸钙,即:



火山灰反应是在不断吸收水分的条件下逐渐发生的,因而其具有水硬性。另外,石灰本身会产生化学反应。 CaO 生成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 后体积增大近一倍,使土固结。

3.2 土的组织结构变化的增强机理

化学和物理—化学作用是粘胶粒絮凝、胶结,并使聚粒体表面形成水硬性包膜,水化能力的降低,导致土结构的疏松,胀缩作用也因土的结构疏松而在结构内部消化。当化学和物理—化学作用充分,土的结构基本稳定,其胀缩性随之消失,同时也增强了土的结构强度。

石灰改良膨胀土主要体现在使膨胀土塑性指标下降,以及粘粒含量降低。但是,在一定石灰掺入量条件下,改良膨胀土的性质随着石灰掺量而变化。而当石灰掺量超过某一值后,石灰稳定土的力学指标和水稳定性反而有所下降。正是这一稳定机制的复杂性,石灰稳定膨胀土的石灰掺入量,宜通过试验对比后确定。

4 石灰改良膨胀土试验研究

由于五标、六标、九标路段的土质基本一样,河海大学土木工程学院只以九标路段的膨胀土作为试验研究土样,现将河海大学土木工程学院石灰改良膨胀土的成果叙述如下。

4.1 击实试验

击实试验采用干土法,分别按2%、4%的水泥和石灰4种情况进行重型击实试验,击实试验结果见

表5。

表5 蚌明高速公路9标路段膨胀土重型击实试验结果

取土场	掺灰方式	掺灰率	最佳含水量	最大干密度
		%	%	g/cm^3
9标路段 膨胀土	掺水泥	0	16	1.83
		2	15.8	1.83
		4	15.2	1.83
	掺石灰	0	16	1.83
		2	14.8	1.83
		4	14.8	1.81

4.2 压缩模量试验

压缩试样均分非饱和试样与饱和试样两种,按干土法重型击实试验测得的最佳含水量和90%、93%的最大干密度制备试样,饱和试样是制备后抽气饱和的。为了比较不同的掺灰剂(石灰、水泥)对九标路段膨胀土的改良效果及改良后压缩性质随龄期的变化,每种掺灰率的试样分别做了龄期为1d、7d、14d、28d的试验,其中掺灰率为2%、4%两种。

结论:不掺灰的情况下素土的压缩性较高,压缩模量 E_s 约为10 MPa;掺石灰后压缩模量增加比较明显,可提高到3~5倍达到30~50 MPa;掺水泥后压缩模量的增加相对缓慢,可达到20~40 MPa。因此,对压缩模量来说,只要2%的掺灰率就能满足工程要求,并且在同等配比的情况下,石灰的改良效果明显优于水泥。

4.3 无侧限抗压强度试验

与压缩试样相同,无侧限抗压强度试验试样分非饱和试样与饱和试样两种,按干土法重型击实试验测得的最佳含水量和90%、93%的最大干密度分4种情况制备试样。为了比较不同的掺灰剂(石灰、水泥)对九标路段膨胀土的改良效果及改良后强度随龄期的变化,每种掺灰率的试样分别做了龄期为1d、7d、14d、28d的试验,其中掺灰率为2%、4%两种。

结论:未掺灰的情况下90区、93区非饱和试样的无侧限抗压强度分别为230 kPa、280 kPa,试样抽气饱和后饱和土样的无侧限抗压强度降低,90区、93区土样的无侧限抗压强度降为30 kPa、90 kPa。掺加不同的掺灰剂后,以7d龄期的饱和强度为参考,在掺2%石灰的情况下,90区、93区的强度增长到220 kPa、280 kPa;在掺2%水泥的情况下,90区、93区的强度增长到89 kPa、116 kPa。对于非饱和强度而言,2%石灰配合比90区、93区试样强度提高到

500~600 kPa;2%水泥配合比 90 区、93 区试样强度提高到 1 500~1 600 kPa。增加石灰及水泥的掺量,强度增加明显。

4.4 膨胀力

试样按干土法重型击实试验测得的最佳含水量和 90%、93% 的最大干密度分 4 种情况制备试样,膨胀力试验结果见表 6。

表 6 蚌明高速公路 9 标路段膨胀土膨胀力试验结果

掺加剂	掺灰率/%	含水量/%	压实度/%	试样干密度/g/cm ³	膨胀力/kPa			
					1 d	7 d	14 d	28 d
无		16	90	1.647	40.35			
			93	1.702	54.48			
石灰	2	14.8	90	1.647	9.44	4.72	1.09	0.00
			93	1.702	23.57	20.09	17.61	0.30
	4	14.8	90	1.629	4.62	1.32	0.33	0.00
			93	1.683	5.59	4.97	2.48	0.00
水泥	2	15.8	90	1.647	39.47	24.69	8.38	5.59
			93	1.702	43.90	36.14	15.18	9.11
	4	15.2	90	1.647	19.82	9.91	6.86	0.82
			93	1.702	28.13	17.41	8.74	1.47

结论:9 标路段素土 90 区、93 区试样的膨胀力分别为 40.35 kPa、54.48 kPa。掺水泥、石灰以后膨胀力随龄期逐渐降低,掺 2%水泥试样 28 d 龄期的膨胀力降低到 5.59~9.11 kPa,而掺 2%石灰试样 28 d 龄期的膨胀力降低到 0~0.3 kPa,膨胀性已基本消除。掺入相同剂量的水泥、石灰时,石灰的效果优于水泥。

4.5 膨胀率

试样按干土法重型击实试验测得的最佳含水量和 90%、93% 的最大干密度分 4 种情况制备试样,膨胀率试验结果见表 7。

结论:由 9 标路段膨胀土的膨胀率试验结果可知,90 区、93 区素土在 50 kPa 压力作用下膨胀率分别为 1.1%和 1.6%,根据《公路路基设计规范》(JTJ 013-95)第 6.7.1.1 条进行计算,则两者的膨胀总率都超过 0.7%的规定,需要处理。以 7 d 龄期的膨胀率为参考,从表 7 可知掺灰后膨胀性得到改良,在掺 2%石灰的情况下无压膨胀率降到零,有压膨胀率则为负值;掺入 2%水泥后,有压膨胀率也都为负值,满足规范的规定要求,但同比效果不如石灰明显,建议掺用 2%石灰进行改良。

表 7 蚌明高速公路 9 标路段膨胀土膨胀率试验结果

掺加剂	掺灰率/%	压实度/%	试样干密度/g/cm ³	膨胀率/%							
				1 d		7 d		14 d		28 d	
				无压膨胀	有压膨胀	无压膨胀	有压膨胀	无压膨胀	有压膨胀	无压膨胀	有压膨胀
无		90	1.647	4.75	1.10	4.75	1.10	4.75	1.10	4.75	1.10
		93	1.702	4.05	1.60	4.05	1.60	4.05	1.60	4.05	1.60
石灰	2	90	1.647	2.75	-2.65	0.05	-4.45	0.35	-3.75	1.00	1.90
		93	1.702	1.15	-1.00	0.40	-4.35	0.05	-4.40	0.15	-1.50
	4	90	1.629	1.30	-5.46	0.35	-7.90	0.65	-3.05	0.00	-5.15
		93	1.683	1.05	-3.20	0.65	-3.05	0.40	-4.40	0.15	-6.00
水泥	2	90	1.647	3.70	1.65	2.30	-2.90	2.75	-5.10	1.55	-5.60
		93	1.702	4.80	1.40	1.60	-4.30	0.40	-2.65	1.55	-6.65
	4	90	1.647	4.00	-2.35	0.30	-4.65	1.50	-3.95	1.2	-7.40
		93	1.702	2.65	-4.55	0.45	-4.15	1.90	-2.20	0.65	-5.95

通过以上的试验研究得出:(1)5 标、6 标、9 标路段均为膨胀土,其中 5 标路段接近中等膨胀土,6 标、9 标路段为弱膨胀土;(2)膨胀土改良掺石灰比掺水泥的效果好,掺 2%的石灰即能达到规范要求,建议掺 2%的石灰处理。根据规范要求,现场施工掺灰率要比室内试验的掺灰率增加 1 个百分点,所以

建议路基填料的现场掺灰率不少于 3%。

根据河海大学土木工程学院石灰改良膨胀土试验研究成果,蚌明高速公路开发有限公司拟定 90 区、93 区采用 3%石灰进行改良,95 区第 1 层、第 2 层采用 5%石灰进行改良,第 3 层、第 4 层采用 8%石灰进行改良。

5 石灰改良膨胀土施工中存在的主要问题

石灰改良膨胀土的工作机理相对简单、明确,然而在高速公路建设中,在石灰改良膨胀土的实际应用中却存在大量的问题有待进一步研究和完善。

5.1 石灰改良膨胀土地施工方案的研究

蚌明高速公路五合同段桩号K116+837~K117+042段第1层5%石灰改良土于2004年7月30日拌和碾压成型。该段落中土的标准干密度(采用干土法)为 1.73 g/cm^3 。8月1日自检,监理复检,压实度全部合格,蚌埠市交通建设工程检测中心代表业主于2004年8月20日进行压实度抽检,抽检结果全部合格,并铺上了第2层5%石灰改良土准备施工。8月21日、22日连续下了2d中雨。2004年8月24日~8月29日安徽省恒达交通建设质量检测有限公司受蚌明高速公路开发有限公司的委托,代表省交通厅质量检查站对已完工程进行交工验收,在检测该段压实度时发现其结果比自检、抽检时的压实度降低了约10个百分点,路基的含水量增大了10个百分点左右(见表8)。恒达交通建设质量检测有限公司在检测其他几个标段时也同样存在以上问题,而且有的标段连续几层都存在压实度降低的问题。经现场考察研究分析,主要有以下几方面原因造成了压实度降低。

表8 K116+837~K117+042段第1层5%石灰改良土检测结果对比

施工单位检测结果			业主抽检结果		恒达检测结果	
序号	检测位置	压实度/%	检测位置	压实度/%	检测位置	压实度/%
1	K116+847 左5m	96.1	K116+900 左9m	98.8	K116+860 右7m	97.1
2	K116+870 右7m	95.4	K116+950 右1m	96.4	K116+875 左8m	88.9
3	K116+905 左8m	95.9	K117+000 左5m	99.2	K116+910 右4m	88.4
4	K116+940 右7m	95.4	K116+960 左2m	97.1	K116+970 左3m	91.5
5	K116+973 左7m	95.9	K116+920 左1m	98.8		
6	K117+010 右10m	96.7	K116+900 右10m	94.8		
7	K117+034 左9m	95.9				

(1)从石灰改良膨胀土试验研究中我们知道,试验所用的试样的成型方法都是采用干土法,即将在 50°C 温度下烘干的土样放在橡皮板上,用木锤或木碾捣碎到都能通过5mm筛孔的土样作为试验的土样进行各项指标试验,这与实际施工是完全不相符的。实际施工工艺是采用一次性掺灰,用拌和机拌和3遍后,虽然土块都在5cm以下(满足规范要求),但是大于1.5cm的土块含量在30%左右,大于5mm的土块含量在60%以上,这说明一次性掺灰达不到石灰改良试验研究中的效果,这些没有充分改良的土块遇水后照样膨胀。

(2)施工单位、监理单位和检测中心的检测都是在每层石灰改良土成型后马上检测,而安徽省恒达交通建设质量检测有限公司的验收都是在每层成型后1~2个月进行,而且是连续检测3层的压实度,在这期间又经过了几场雨水,导致没有充分改良的土块遇水后膨胀,路基土含水量增大,压实度下降。

(3)从河海大学土木工程学院石灰改良膨胀土试验研究结果(表6、表7)中,我们知道即使膨胀土土块都达到5mm以下,一次性掺灰改良后的膨胀土在强度没有形成前一样有膨胀性,密度越高膨胀力越大,遇水后压实度一样有一定的下降,只有当板结强度形成平衡膨胀内力,土体的膨胀力才为零。

(4)石灰改良膨胀土的击实试验方法在《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)中明确规定焖料24h的“干法”击实试验,但是这一方法在实际工程应用中,易出现最佳含水量偏低,最大干容重偏高的试验结果,显然这种高密度状态,土粒内部力系平衡处于强势的状态,而这种强势的平衡是极其不稳定的。

通过以上分析,同时借鉴江苏省的成功经验,我们初步制定了2次掺灰石灰改良膨胀土施工方案。

膨胀土采用二次掺灰的施工工艺,第1次掺灰的目的是“砂化”(改性的别称),降低膨胀土的塑性指数,使膨胀土易破碎。第2次掺灰的目的是保证膨胀土掺灰后能形成强度。对于天然含水量高于最佳含水量7%以上的膨胀土,为了“砂化”和快速降低含水量,先在取土坑加2%生石灰,至少堆放3d进行焖灰(建议不长于5d,以免石灰中有效成分过分损失),每天翻拌一次,使土体“砂化”并初步降低含水量,运到路上后整平第2次掺消石灰到设计的生石灰剂量,用拌和机拌和、平地机整平后碾压成型。对于天然含水量较低的膨胀土,仍采用二次掺灰工艺,

不同的只是第1次在取土坑加相当于2%生石灰剂量的消石灰。成型前土块大小控制标准为:颗粒小于5 cm,大于1.5 cm的土块含量一般低于15%。

由于采用了二次掺灰的施工工艺,有效石灰剂量将有所降低,所以将95区第1层、第2层石灰剂量由原来的5%提高到6%,93区石灰剂量由原来的3%提高到5%。

采用上述工艺后我们做了一个试验段,施工过程中发现土块粒径很难满足“大于1.5 cm的土块含量低于15%”的要求(见第2次掺灰拌和次数和筛分结果,表9),成型检测完压实度后,用洒水车洒水模拟下雨,发现石灰改良后的膨胀土还有膨胀现象,一个星期后再检测压实度时发现压实度结果比洒水前普遍降低4%。

表9 第2次掺灰拌和次数和筛分结果

拌和次数	筛前总质量/kg	大于16 mm土块质量/kg	大于16 mm土块所占百分比/%
2	32.90	7.065	21.5
3	29.20	7.180	24.6
4	30.35	6.677	22.0
5	35.70	6.105	17.1
6	20.00	3.875	19.4
7	26.75	3.885	14.5
8	24.65	3.426	13.9

通过试验段的施工,效果比一次掺灰的施工方案有了很大的改善,压实度的降低值从10个百分点左右减小到4个百分点左右。但是第2次拌和后仍有约20%的土块含量大于1.5 cm,这说明第1次掺灰“砂化”没有达到预期效果,仍然存在没有被充分改良的土块,这些没有被充分改良的土块遇水后照样膨胀。

经分析和查阅有关资料,我们认为延长第1次掺灰“砂化”时间,利用膨胀土的崩解性和风化性的特性,在第1次掺灰拌和1遍,焖料3 d~5 d后,将土运到路基上摊开后充分洒水,放置一个星期左右,使土块充分崩解、风化,再进行翻晒拌和第2遍,这样大于1.5 cm土块含量就会大大降低,这样做的话第1次掺灰后“砂化”的时间将会延长到20 d左右。

采用这种工艺在学术界有很多不同的看法,认为:一来“砂化”时间过长会使土的性质发生根本变化,土的最大干密度将会降低,土的粘性完全丧失,石灰土将形成不了强度;二来“砂化”时间过长,第1次掺灰的有效灰剂量将全部损失。

由于下了2 d中雨的原因,在K116+550~K117+000段落我们铺完第1次掺灰“砂化”了5 d的膨胀土后,不能及时掺第2次灰,导致第1次“砂化”时间达到20 d,但膨胀土进行了充分崩解和风化。经过翻晒使土的含水量达到高于最佳含水量2个百分点时,平地机整平稳压后,采用人工布灰法掺入第2次石灰,拌和整平后检测土块含量,结果大于1.5 cm的颗粒含量一般低于6%。成型检测完压实度后,用洒水车洒水模拟下雨,发现石灰改良后的膨胀土基本没有膨胀现象,一个星期后再检测压实度时发现压实度结果比洒水前基本没有降低(见表10)。

表10 洒水车洒水模拟下雨7 d压实度对比

编号	标准干容重 g/cm ³	成型时压实度			洒水保湿7 d后压实度		
		实测干容重 g/cm ³	含水量 %	压实度 %	实测干容重 g/cm ³	含水量 %	压实度 %
1	1.62	1.557	21.9	96.1	1.549	23.1	95.6
2	1.62	1.576	22.0	97.3	1.555	23.3	96.0
3	1.62	1.570	22.2	96.9	1.545	23.5	95.4
4	1.62	1.545	19.5	95.4	1.533	22.8	94.6

为了证明第1次掺灰过分“砂化”对石灰改良膨胀土粘性和强度不会产生影响,同时也为用膨胀土做石灰稳定土底基层做技术准备,我们取第1次掺灰“砂化”1个月的膨胀土作为土样(因为“砂化”1个月的时间,第1次掺的石灰与膨胀土的化学与物理化学作用基本上都已结束),进行液限、塑限、塑性指数试验和第2次掺石灰的强度试验,试验结果见表11。

表11 第1次掺灰过分“砂化”试验结果

编号	第1次掺灰量 %	砂化时间 d	液限 W _L /%	塑限 W _p /%	塑性指数 I _p	第2次掺灰量 %	28 d强度 kPa	标准差	偏差系数 %
2	2	28	50.7	30.7	20.0	9	2.94	0.28	9.5
3	2	28	49.5	30.7	18.8	10	2.86	0.258	9.0
4	2	28	44.9	27.1	17.8	11	2.58	0.242	9.4
5	2	28	48.3	31.2	17.1	12	2.33	0.137	5.9

注:试样击实按“湿土法”做标准干容重,并按95%的标准干容重制件,每种石灰剂量制9个试件。

试验结果证明过分“砂化”不会影响石灰改良膨胀土的粘性和强度,并且塑性指数降低到满足《公路路面基层施工技术规范》(JTJ 034—2000)石灰稳定土的要求,石灰改良膨胀土的膨胀性也降到最低。

5.2 石灰改良膨胀土压实度标准的研究

石灰改良膨胀土的击实试验方法在《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 057—94)中明确规定焖料24 h的“干法”击实试验,但是这一方法在实际工程应用中,易出现最佳含水量偏低,最大干容重偏高的试验结果,而且和实际施工中的施工工艺也不相符合。实际施工采用二次掺灰的施工工艺,第1次掺灰后要“砂化”一段时间,这段时间石灰与膨胀土已发生一系列化学与物理化学作用,膨胀土的性质也发生了根本上的变化。二来实际施工中也不可能将粒径都控制在5 mm以下,总有一定含量的土块大于5 mm,而且含水量的变化过程也和规范完全不同。规范中的“干法”击实试验对于塑性指数小于18,易于粉碎和拌和的粘性土和砂土是适用的,对于塑性指数大于18的不易粉碎粘土和膨胀土就不适用了。

石灰改良膨胀土自由膨胀率掺灰后都有显著降低,可以满足路用要求。同时改良膨胀土的室内CBR值一般都远高于高速公路填料上路床8%的基本要求。目前高速公路建设中,路基填筑普遍采用高密度的技术路线,一般是以压实(或击实)能量提高为手段。土的压机理表明,最佳含水量与能量和密实度具有显著的负相关。由于能量和密实度提高,最佳含水量降低,直接导致了施工控制含水量的降低。这种低含水量、高密度的技术路线,易导致石灰稳定膨胀土、高液相粘土碾压后,处于人为的高稠度的状态,土粒内部力系平衡处于强膨胀潜势的状态,随着环境含水量的变化,特别是南方多雨地区,这种强膨胀潜势将随着膨胀土吸水,体积膨胀,压实度降低,结构强度反而被破坏。所以单一强调高密度,对改良膨胀土、高液相粘土填筑路堤的稳定性未必合理。石灰改良膨胀土填筑路堤的控制含水量的适量提高,有利于石灰改良土的强度形成,从而平衡膨胀力。

标准击实试验的土料准备过程尽量与实际施工工艺要求的掺灰方法、掺灰间隔时间、焖灰时间、拌和时间和含水量变化过程等一致。采用二次掺灰施工工艺时,从第1次掺灰焖料起就要做第1次掺灰量随时间(即1 d、3 d、7 d、10 d、15 d、20 d、30 d)的衰减曲线,然后取对应天数的“砂化”土作为土料进行第2次掺灰、拌和,然后按现场成型对应的天数进行击实试验,击实试验采用“湿土法”,这样就得到了1条随第1次掺灰焖料时间进行第2次掺灰的标准击实曲线,并以该曲线作为施工控制依据。同时还要做成型后石灰土压实度随时间而变化的衰减曲线,作为以

后业主和质量检查站检测的依据。

5.3 石灰改良膨胀土施工工艺与质量控制的研究

(1)材料。

膨胀土要做液限、塑限、塑性指数、膨胀力、膨胀率等指标检测,强膨胀土不能用于工程。要根据膨胀性能通过试验来确定第1次掺灰量和“砂化”时间。石灰标准则要求达到Ⅲ级以上,进场的石灰要及时使用,防止雨淋。尽量缩短石灰存放时间,妥善覆盖保管,消解时间一般控制在7 d,以免有效成分衰减损失过大。

(2)掺灰拌和。

石灰与膨胀土之间发生复杂的化学作用的效果,首要条件是膨胀土的粉碎和拌和均匀,二次掺灰是石灰稳定膨胀土施工最佳工艺之一。第1次在取土场掺3%的消石灰,如果膨胀土含水量偏高则掺2%生石灰,使呈团块状的膨胀土崩解,土团容易粉碎,形成较均匀的混合料。一般采用在单位面积上所铺生石灰(或相当于生石灰剂量的消石灰)厚度与取土深度的比例计算控制石灰量。挖掘机挖土时,将土和石灰同时挖起堆积在取土坑边,当堆积到一定长度和高度时,再用挖掘机翻拌均匀,进行焖料砂化3~7 d,即可上路。初平后用拌和机拌1遍,检测土块含量,如果满足要求,可以掺入设计要求的剩余灰剂量,否则继续洒水崩解翻拌“砂化”直到大于1.5 cm的土块含量满足要求。第2次掺灰在路基上进行,方法是先检测含水量,含水量比最佳含水量高2~3个百分点时,再用平地机细平,整平标高按层厚的1.15~1.2倍控制,用压路机静压一遍,使表面粗平后,检测第1次掺灰“砂化”后还有多少有效灰剂量,确定第2次掺灰的用量,按松铺厚度计算单位面积第2次掺灰的用量,并用石灰在路基上打成方格,计算每个方格的用灰量,运灰、卸灰,用人工均匀撒布,拌和机连续拌1~2遍,要保证无素土夹层,大于1.5 cm的土块含量小于10%时可以整平成型。

(3)碾压成型。

一般拌和均匀的灰土静压一遍后,用平地机细平,细平标高按层厚的1.2~1.25倍做出路拱、纵横坡,达到表面平整。适当增大控制含水量1~2个百分点有利于石灰与膨胀土化合消除其膨胀性,但不宜增大太多,以免干密度达不到要求,或引起较大的收缩变形。含灰量要达到标准要求,低于标准的为不合格,要及时掺灰重拌。碾压一般先用大吨位振动压路机从两边向中间轻振一遍,重振一遍,再用三轮压

路机从两边向中间重叠半轮碾压2~3遍,达到无明显轮迹为止。碾压时严禁压路机在已完成的或正在碾压的路段上调头或急刹车,应保证石灰土层表面不受破坏。碾压过程中,如有“弹簧”、松散、起皮等现象,应及时翻开重新处理。

(4) 质量控制与检测。

碾压完成后,应及时自检压实度、石灰剂量、含水量、标高,并做好记录。压实度要依据压实度的标准曲线进行评定。石灰剂量要依据石灰剂量的标准衰减曲线进行评定。石灰改良膨胀土施工前一定要做好这两项工作,并得到监理和业主的认可,才可进行石灰改良膨胀土的施工。

6 结语

通过以上对膨胀土路基病害成因的分析及试验研究,作者总结了如下几点意见,以供参考。

(1) 强膨胀土不能作为路堤填料,中、弱膨胀土经处理后(一般掺石灰)可作为路床填料。

(2) 石灰改良膨胀土必须采用二次掺灰施工工艺,第1次掺灰的目的是“砂化”(改性的别称)以降低膨胀土的塑性指数到15~20范围,此时膨胀土易粉碎,使大于1.5 cm的土块含量低于15%。第2次掺灰的目的是保证膨胀土掺灰后能形成板体强度。

(3) 第1次掺灰必须在土场进行,第1次掺灰量和“砂化”时间要根据试验段来确定。如果土块在土场焖料3~5 d还是不容易破碎的话,最好利用膨胀土遇水崩解的特点,把已焖3~5 d的料土运到路基上初平到设计层厚的1.2倍后,充分洒水或利用下雨使土块崩解,再翻晒拌和来保证“大于1.5 cm的土块含量小于15%”的要求。

(4) 膨胀土第1次焖灰时间越长,膨胀土越容易粉碎,焖灰时间长对石灰改良膨胀土强度没有影响。

第2次掺灰拌和后尽快整平碾压成型是保证石灰改良膨胀土强度的关键。

(5) 为保证石灰改良膨胀土的板体强度的形成,第2次掺石灰量不低于3%(生石灰剂量)。

(6) 标准击实试验的土料准备过程尽量与实际施工工艺要求的掺灰方法、掺灰间隔时间、焖灰时间、拌和时间、含水量变化过程等一致,击实试验应采用“湿土法”。

(7) 石灰改良膨胀土成型后压实度还会随龄期的增长而降低,施工前要做压实度随龄期的衰减曲线,为以后抽检提供标准。

参考文献:

- [1] 蚌明高速公路粉土及膨胀土用作路堤填料试验研究[R]. 河海大学土木工程学院,2004.
- [2] 安徽省蚌明高速公路膨胀土石灰改良试验分析[R]. 东南大学交通学院,2004.
- [3] 沙庆林. 公路压实与压实标准[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [4] 刘吉士,阎洪河. 公路路基施工技术[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [5] JTJ 051—93,公路土工试验规程[S].
- [6] JTJ 014—97,公路沥青路面设计规范[S].
- [7] JTJ 013—95,公路路基设计规范[S].
- [8] JTJ 033—95,公路路基施工技术规范[S].
- [9] 黄元栓. 膨胀土掺灰改性后用作路堤填料标准击实试验的探讨[J]. 华北公路,2000,(3).
- [10] 范文忠. 石灰稳定土最大干密度与龄期关系的试验分析[J]. 公路交通科技,2002,(5).
- [11] 上路床石灰土施工检验标准专家咨询会汇报材料[R]. 河南省叶集至信阳高速公路建设有限公司,2004.
- [12] 孙大权,主编. 沈天勇,主审. 公路工程施工方法与实例[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

江西年内硬化万公里农村公路路面

从2003年到今年8月底,江西省累计完成农村公路建设投资103.2亿元,仅2004年一年完成硬化路面10 640 km,超过1996年~2002年建设里程总和,今年前8个月农村公路建设投资累计完成21.54亿元,同比增长8.2%。2003年7月,江西省委、省政府做出加快农村公路建设的决定。江西省交通公路部门把农村公路建设作为主战场之一,加强行业管理和指导,加大资金支持力度,农村公路建设取得了显著成绩,两年间新增通沥青(水泥)路乡镇249个,新增通沥青(水泥)路建制村3 836个,新增通公路建制村1 080个。到2004年年底,江西全省1 509个乡镇全部通了公路,其中1 360个乡镇已通高级、次高级路面,占90.1%。全省19 821个建制村中,已通公路的村有16 429个,占82.9%,8 071个建制村已通高级、次高级路面,占40.7%。农村公路通车里程已超过10万公里,“九五”以来修建的农村公路沥青(水泥)路里程达到27 200 km。江西今年将完成农村公路路面硬化里程10 000 km,年底基本实现乡镇通沥青(水泥)路,2007年,大部分建制村实现路面硬化。