

# 基于裂隙影响的膨胀土路堑边坡柔性防护法

倪宏革, 周 红

(鲁东大学土木工程学院 烟台市 264025)

**摘 要:** 膨胀土的反复胀缩变形及强度衰减特性, 对路堑边坡具有长期潜在的破坏作用, 而刚性防护措施难以解决此类问题。通过配制一种新型的液体改良剂, 对膨胀土边坡进行化学喷洒渗透改良, 使之形成结硬的表面封闭层, 使边坡长期处于稳定状态, 成功实现了膨胀土路堑边坡的柔性防护, 为膨胀土路堑边坡处理提供了新途径, 具有较好的推广应用价值。

**关键词:** 膨胀土; 裂隙; 路堑边坡; 柔性防护

膨胀土是一种吸水膨胀软化、失水收缩开裂的特殊粘性土, 其反复胀缩变形及相应引发的强度衰减特性, 对路堑边坡工程设施具有长期潜在的破坏作用。膨胀土边坡的失稳在工程中屡见不鲜, 一般具有显著的特征: 往往在持续降雨的情况下发生, 多数属于浅层滑坡, 大部分滑坡是渐进式的或牵引式的, 在相当平缓的边坡上也会发生。降雨入渗是膨胀土边坡失稳的主要诱因。路堑开挖后, 原来不受大气降雨影响的深部膨胀土暴露于大气环境中, 大气干湿循环变化引发表层膨胀土体反复胀缩变形, 产生大量裂隙, 并伴随着抗剪强度的显著衰减。裂隙的发育引导雨水向深部渗入, 直至形成一个深约 1.5~2.0 m 的大气影响风化带<sup>[1]</sup>。该浅层带一旦受降雨影响吸水饱和, 有效凝聚力将急剧降低, 引发边坡浅表层土体崩塌破坏。若不对膨胀土路堑边坡做有效表层防护, 该类型破坏将极大地影响高速公路的运营效益。

## 1 传统膨胀土路堑边坡稳定加固效果

膨胀土边坡的处理方法通常有封闭保湿处理、化学改良处理、土工合成材料加固处理和土钉加固处理等, 这些处理方法对膨胀土边坡的稳定有一定的效果, 但有些方法施工较困难, 费用较高, 土工合成材料和土钉的锚固作用还受膨胀土反复胀缩变形的影响。对于膨胀土挖方边坡, 传统的处置方案一般采用全封闭形式的刚性防护。采用边坡封闭刚性防护以阻止降水被非饱和土吸收时, 其主要方式有浆

砌片石满铺防治、水泥混凝土六角块满铺防护以及土钉墙加固边坡等。

实践证明, 刚性防护方案治理膨胀土的效果较差, 不能从根本上解决在大气风化作用层影响深度范围内膨胀土体的胀缩问题<sup>[2]</sup>。因为膨胀土新开挖的坡面受大气、地下水、土压力变化等多种因素影响, 即使没有降水的侵入, 也会发生膨胀与收缩, 必然产生一定的变形, 以求达到新的平衡。即使这种变形不大, 也会对刚性防护结构起破坏作用, 进而慢慢形成裂缝, 雨水就会从裂缝中渗入, 加剧膨胀土的胀缩变形。长期恶性循环, 将引发连锁破坏。设计采用浆砌片石全封闭防护的膨胀土边坡, 经 3~5 年大多会破坏。刚性防护结构还有产生眩光、噪声, 不能还原生态环境等缺陷。

针对目前膨胀土边坡处理的状况, 我们采用了一种边坡渗透改良稳定技术, 配制了一种新型液体改良剂, 对膨胀土边坡进行化学喷洒渗透改良, 成功实现了膨胀土路堑边坡的柔性防护。

## 2 膨胀土路堑边坡的柔性防护机理

### 2.1 边坡渗透改良稳定技术作用机理

膨胀土边坡渗透改良技术基本原理为: 通过对边坡表面进行化学改良, 形成一定厚度的封闭保湿层, 由化学改良层抵抗干湿循环作用和雨水冲刷作用, 使膨胀土层的含水量保持不变和免受冲刷影响, 从而达到稳定目的。

由于膨胀土有失水收缩的特点,施工一般在干旱季节。膨胀土路堑边坡开挖成型后,日晒风干使坡面表层水分蒸发,加上原生裂隙和卸荷裂隙,膨胀土坡面满布长短不一的大小裂纹,随时间不断扩展而逐步形成较大的纵贯坡面的竖向裂缝。不同成因和产状的裂隙,将膨胀土切割成具有特定形态的若干块体,这些裂隙有的互相连通,在土体内部构成软弱结构面。

当改良液喷洒在干燥边坡表层以后,由于膨胀土吸力作用将溶液迅速吸入,表层的土体饱和后,未被土体吸收的溶液顺着裂隙下渗进入内部,然后由裂隙两侧渗入,直至整个风化层被浸湿。经过几次这样的喷洒,边坡表面就可以形成结硬的表面封闭层,从而使边坡内部土体水分得到保持,边坡长期处于稳定状态<sup>[3]</sup>。

## 2.2 膨胀土化学改良溶液的改性原理

化学改良溶液是生态改性剂和具有交换性阳离子的熟石灰按一定比例配制的水溶液,加入土中后可以在土颗粒表面产生一系列的物理化学反应和化学反应。膨胀土生态改良剂是一种阳离子表面活性剂,具有电解和离子交换的作用,有较强的渗透性,能溶于水,在水中离解出带正电荷的阳离子和带负电荷的阴离子。阳离子与膨胀土胶体表面的低价阳离子产生交换作用,将这些原本吸附在膨胀土颗粒表面、亲水性极高的低价阳离子置换,代之以亲水性较低、粘结力较强的铝离子及其水合物,使膨胀土颗粒上吸附水的化学键破坏形成自由水。改性后土颗粒形成键状和网状结构,加快了反应和离子交换。自由水通过重力、蒸发、压实作用排除,改变了膨胀土颗粒的结构特征,从而提高膨胀土的抗剪强度,增强膨胀土的水稳性,永久地改变膨胀土的属性,将膨胀土改性为非膨胀土。

膨胀土生态改良剂是在水中电解出离子,并与膨胀土颗粒离子进行交换作用,从而达到将膨胀土改性的目的。它与其他胶合材料不同,自身与土粒并不结合,而且具有再生功能,它与膨胀土作用时其总量并没有减少。其功效并不会随着时间的推移而逐渐减弱,相反,只要膨胀土中有水分,它的功效就会延续下去,这种作用是永久的、不可逆的<sup>[4]</sup>。

熟石灰具有阳离子的交换、凝聚与结块、碳化作用及凝聚反应作用。前两个作用使土的可塑性增大,因而改变了粘土矿物的电荷。后两个作用是粘结反应过程,使土的承载强度提高。因此,石灰稳定分为

两个阶段:第一阶段包括粘土表面阳离子交换与凝聚过程;第二阶段是从粘土矿物晶格中分离二氧化硅和少量的氧化铝过程。离子交换与化学反应引起钙质硅酸盐的凝胶,使颗粒发生胶结,进而包裹成粘土团块并堵塞土颗粒间孔隙。膨胀土生态改良剂、熟石灰与土颗粒作用的结果,是在土颗粒表面形成不溶于水、具有疏松作用的结构。

## 3 膨胀土路堑边坡的柔性防护施工工艺

施工工艺包括:边坡准备;多次喷洒化学改良溶液;施工无砂大孔混凝土边坡内部排水骨架;施工网格式浆砌边坡表面排水骨架;夯实坡面;将坡面表层土翻松后进行植物防护。

边坡准备工作要求将坡面修整好,适当放置一段时间,使坡面水分蒸发,以有利于化学改良溶液的渗入。但边坡开挖后不能长时间放置,以防坡面应力释放后疏松,难以进一步处理。放置时间一般不超过1个月,且不能放置至雨季。为增加化学改良溶液的渗入量和渗入深度,在边坡上用钢钎插梅花状小孔,间距50~80 cm,深80~100 cm。边坡高度大于10 m时,边坡要分级开挖并设置台阶。对于弱膨胀土路段,可在路堑全部开挖后,再在坡面上打孔,随后进入下一道工序;对于中等或强膨胀土路段,采取边开挖边处治的方法,也可以在每一级平台处和坡面中部挖设50 cm×80 cm的无砂大孔混凝土盲沟排水,待全部开挖后进行下一道工序。

喷洒化学溶液渗透改良是关键环节。改良溶液按改良最佳效果设计配合比配制成水溶液,装入溶液罐中,用湿式喷播机沿边坡一侧自上而下喷洒,直到整个边坡湿透。2~3 d后进行第二次喷洒。一般喷洒3~5遍,直到改良深度满足要求。完成最后一遍喷洒后,经过7 d方可检测改良深度。坡顶以上6 m范围内也应喷洒。

经化学改良后,边坡表层土膨胀性减弱或变为非膨胀土,层间吸附水大量蒸发,留下大量孔隙,因此须将表层改良土夯实。夯实的目的是增加土体密实程度,减少表层土的孔隙率,提高防水效果。施工中,用人工打夯一遍即可。

经化学改良后,膨胀土的pH值由原来的4~5增大至12~13,经过一段时间的离子交换反应后,pH值逐渐降低至7~8,然后保持稳定,这时才适合于植物的生长。pH值达到稳定后,需要1个月以上才能种草。种草前应测试土壤的pH值,当pH<8时

种植草皮比较容易成活。种草之前,须将边坡表面约 2 cm 厚土层翻松<sup>[3]</sup>。

4 工程实例

潭邵高速公路 K81+280~K211+160 路段,均断续分布有厚薄不等的具有弱~中等膨胀性的膨胀土路堑边坡。路堑边坡开挖后,由于降雨沿干缩裂隙渗入,土体强度降低,经历多次的干缩湿胀作用,边坡产生浅层滑动破坏,且往往在边坡滑塌后,新边坡体继续受坡面水流的作用,造成强度衰减。当坡面土体强度降低到一定程度时,又会再次滑塌,形成“一年一塌”的恶性循环。采用植被防护、浆砌片石全封闭护坡、土钉加固护坡等方法进行坡面防护处理,效果均不理想。后来经过试验研究,选用膨胀土生态改性剂:熟石灰:水=1:5:100 的化学改良溶液对坡面进行处理<sup>[5]</sup>。

首先按设计坡比 1:1.5 将挖方边坡修整成型,然后在边坡上用铁钎打出 $\phi 25$  mm、深 80~100 cm、间距 50 cm 的梅花状分布小孔,用喷播车将配制好的混合溶液洒到边坡上,直到边坡湿透为止。1 d 以后,再喷洒第二次,此边坡喷洒 2~3 次即可。化学改良后,用浆砌片石在坡面上修筑相邻间距为 4 m 的“菱形”骨架,1 个月以后进行植草防护。经长期稳定性观测,边坡均稳定。

改良剂喷洒结束并经过 5 d 以后,进行了边坡取样对比试验,改良前后膨胀土的工程性质试验结果见表 1。

检验项目	K170+920~K171+040		AK1+320 右	
	改良前	改良后	改良前	改良后
含水量/%	34.8	26.3	29.7	22.8
自由膨胀率/%	63	34	54	32
塑性指数	29	9.8	33.2	23.5
无侧限抗压强度 MPa	1.2	2.3	1.4	2.8
凝聚力/kPa	45	112	21.2	88
内摩擦角/(°)	13	16.3	14.3	17.8
承载力 CBR(压实度 K=90%)/%	3.3	6.7	1.1	4.3
崩解现象	遇水塌落	72 h 无变化	遇水塌落	72 h 无变化

从检测结果可以看出:  
(1)改性土的可塑性发生了变化,液限变化较小,塑限有很大程度的增加,塑性指数明显降低,表明改性土亲水性大大减弱;

(2)自由膨胀率是体现膨胀土特征的重要指标,一般自由膨胀率小于 40%时视为非膨胀土,不同深度 4 个改性土样的自由膨胀率均在 40%以下,达到了将膨胀土改性为非膨胀土的目的;

(3)颗粒分析结果显示,土体的土颗粒表面积减少,土体相互聚集形成结构较为紧密的絮凝结构,土颗粒与水分的接触面积减少;

(4)改性土各项强度指标大幅度提高,内摩擦角提高明显,凝聚力、无侧限抗压强度和承载比提高幅度很大,说明改性土的工程性质得到了很大程度的改善;

(5)改性土能长期受水浸泡不崩解。  
采用上述施工方法,完成了潭邵高速公路 12 余万 m<sup>2</sup> 坡面的膨胀土边坡处理,经过 3 年雨季的考验,边坡稳定情况十分良好。通过经济成本分析,与 M7.5 浆砌片石护面相比,为潭邵高速公路全线节约 2 000 万元。

5 结语

采用新型改良液的柔性防护对膨胀土边坡进行处理,施工方法简单易行,对原有膨胀土边坡扰动极少,改良深度较大,封闭保湿效果好,施工速度快,价格十分低廉,为膨胀土路堑边坡处理提供了新途径,具有较好的推广应用价值。

参考文献:

[1] 孟黔灵. 膨胀土的裂隙性对边坡稳定性的影响[J]. 公路,2001,(10).  
[2] 吴礼舟,等. 膨胀土路堑边坡防护之讨论[A]. 第八届全国岩石力学及工程学术大会论文集[C]. 成都:西南交通大学出版社,1999.  
[3] 王浩. DAH 石灰混合溶液渗透方法改良膨胀土技术研究[D]. 长安大学,2003.  
[4] 陈永烽. 膨胀土生态改性剂在工程中的应用[J]. 中国建筑文献,2005,18(4).  
[5] 中南大学. 潭邵高速公路膨胀土病害治理措施研究报告[R]. 2003.

文章编号:0451-0712(2007)01-0028-04

中图分类号:U418.8

文献标识码:A

# 事前反馈质量控制技术在汉宜公路加铺工程中的应用

水中和<sup>1</sup>, 刘松<sup>1</sup>, 刘道斌<sup>2</sup>, 玄东兴<sup>1</sup>, 余安明<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学硅酸盐材料工程教育部重点实验室 武汉市 430070; 2. 湖北汉宜高速公路沥青加铺工程指挥部 仙桃市 433000)

**摘 要:** 采用水泥混凝土成分分析仪(Water-checker)、新拌水泥混凝土快速测定仪(Fresh concrete tester)、水泥混凝土成熟度测定仪(Maturity meter),跟踪检测汉宜高速公路路面加铺工程中新拌水泥混凝土的初始性能,预测水泥混凝土的后期性能,并对比分析了传统的质量控制方法。结果表明:事前反馈质量控制技术与传统的质量控制方法相关性良好;该技术为水泥混凝土工程质量超前预报提供了依据。

**关键词:** 水泥; 新拌水泥混凝土; 事前反馈质量控制

水泥混凝土作为当今世界最重要的工程材料之一,它的质量好坏,既关系到水泥混凝土结构物的营运安全性,又影响到结构物的后期维护费用。当前水泥混凝土性能检测的主要试验手段为:在浇注水泥混凝土时预留一定数量的水泥混凝土试块,经一定时间的标准养护,然后做相关的力学性能和耐久性试验<sup>[1,2]</sup>。这种评定方法虽然在一定程度上控制了水泥混凝土的质量,但存在以下两个明显的弊端<sup>[3]</sup>。

(1)滞后性。预留的水泥混凝土试块经过一定时

间养护后,现场浇注的水泥混凝土结构物已经硬化成型,如果此时发现水泥混凝土的性能达不到设计要求,势必影响结构物的安全并导致经济上的损失。

(2)局限性。预留的水泥混凝土试块,因为成型条件和养护条件与实际施工过程存在差异,所以其后期性能并不能完全代表实际工程中水泥混凝土材料性能的发展情况。

为了保证水泥混凝土结构的性能,国内外科技工作者和工程技术人员进行了大量的研究和探索,

基金项目:湖北省交通科技项目(鄂交[2005]1504)

收稿日期:2006-08-09

## Methods of Flexible Protection for Roadcut Slope of Expansive Soil Based on Effect of Fissure

NI Hong-ge, ZHOU Hong

(Institute of Civil Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China)

**Abstract:** Properties of strength reduction and repeated expansion and contraction deformation of expansive soil produce long-term potential destruction on roadcut slope of expansive soil, it is difficult for using measure of rigid protection to solve the problem. A new type liquid amendment agent is made to spray on roadcut slope. So the hard sealing coat is formed to ensure stability of roadcut slope. Then a successful way which has greater value for treating expansive soil is presented and application is carried out to protect the slope flexibly.

**Key words:** expansive soil; fissure; roadcut slope; flexible protection