

物理处治技术在膨胀土路堤修筑中的应用

刘炳浩

(湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412008)

摘要: 分析膨胀土物理处治技术的原理, 列举了物理处治技术在膨胀土实体工程路堤修筑中的几种技术方案。通过对采用物理处治技术的路基实体工程的效果分析, 论证了物理处治技术在膨胀土路堤修筑中的有效性及正确性, 总结了物理处置膨胀土路堤的技术要点。

关键词: 物理处治技术; 改进 CBR 试验; 填料分类指标; 现场跟踪观测

中图分类号: U416.1+2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)04-0011-05

The Application of Physical Treatment in Constructing Expansive Soil Embankment

Liu Binghao

(School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China)

Abstract: Analyzes the technique principle of physical treatment of expansive soil, cites technical solutions of physical treatment in constructing expansive soil embankment. Through an analysis of the effect of subgrade works using physical treatment technology, demonstrates the physical treatment's validity and accuracy in expansive soil embankment construction, and sums up the technical points in the physical treatment of expansive soil embankments.

Key words: physical treatment technology; improve CBR tests; fill classification indicators; follow-up observations at the scene

1 研究背景

膨胀土是一种主要由强亲水性粘土矿物蒙脱石及其混层粘土矿物组成的特殊土, 超固结性、裂隙性、吸水膨胀软化、失水收缩开裂且反复变形是其典型的工程特性。修筑在典型膨胀土分布区的公路常常是“逢玺必滑, 有堤必坍”, 而且这种破坏作用常具有浅层牵引性、多次反复性及长期潜在危害性, 被称之为“工程中的癌症”。目前, 国内外采用的膨胀土处治方法仍以化学改性为主, 工程实践也证明, 土质改良是处治膨胀土的一种可行方法。但化学改性造成的环境及工程造价大幅度增高等问题一直没能很好解决, 且采用该方法修筑膨胀土路堤对施工机械及施工工艺要求较高, 这些均限制了该方法在膨胀土地区公路修筑中的推广和应用。

结合交通部西部膨胀土研究项目的开展, 有关专家创新性地采用了物理处治技术在广西南友路宁明膨胀土地区修筑了几段实体工程, 并进行了1 a多系统的现场跟踪观测。结果表明, 采用该技术修筑的膨胀土路堤无论是强度, 还是变形都能满足规范要求, 且路堤在经历过几次大暴雨的影响下依然运营完好。这一新技术的应用也基本解决了广西地区膨胀土路堤的修筑问题^[1-3]。

2 物理处治技术的原理及应用

2.1 物理处治技术原理

广西南友高速公路(南宁—友谊关)穿越宁明盆地边缘时遇到第三系始新统那读组粘土岩及其风化残

收稿日期: 2009-04-07

作者简介: 刘炳浩(1982-), 男, 湖南涟源人, 湖南工业大学教师, 主要研究方向为道路与铁道工程,

E-mail: beef0459@hotmail.com

积形成的厚层膨胀土，开挖量达 200 多万 m²。由于成片连续分布，使得路基施工采用换填法变得不经济，且易造成较严重的生态环境问题，膨胀土填料的处治成了最大的工程技术问题。针对南友路膨胀土工程地质特性，有关专家进行了大量室内试验研究，并开展了模拟封闭条件下的土性试验，发现通过有效的封闭包盖措施，把握好路堤土含水率的变化范围，膨胀土作为填料完全能满足强度要求。因此，根据路基不同层位的工作状态和受力特点，将膨胀土填于特定的路基部位，并采取有效的保湿防渗措施，设法控制路堤中膨胀土的湿度在一定范围内变化，使它们能保持足够的强度，成为合格的填料来加以利用。这就是所谓物理处置技术的基本原理，其中保湿防渗是该技术的基本思想。

2.2 实体工程概述

2.2.1 非膨胀性粘土包边方案（方案一）

该实体工程设在广西南友路 K133+640~K133+810 处，采用宁明青灰色泥岩风化土填芯，包边填料采用膨胀土分布区内的碳酸岩风化表层土，土性见表 1。路堤最大填高为 12 m，膨胀土填芯高 6 m，包边宽度为 3.5 m，见图 1。

表 1 膨胀土填料、包边粘土土性指标

Table 1 The soil character indexes of expansive soil filler and hemming clay

土性指标	指标值	
	填芯	包边填料
含水量 / %	25	19.7
液限 / %	57.3	52
塑指 / %	31.0	30
(< 0.074 mm) 含量 / %	93.7	72.38
(< 0.002 mm) 含量 / %	28.2	
(< 0.001 mm) 含量 / %		23.12
最佳含水量 (湿法) / %	20.5	16
最大干密度 / (g·cm ⁻³)	1.74	1.7
自由膨胀率 / %	42	
CBR / %		10

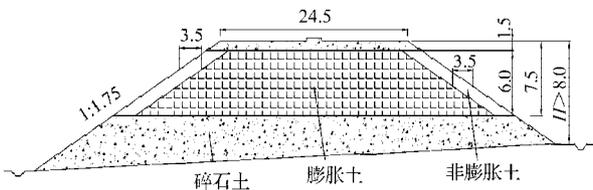


图 1 非膨胀性粘土包边方案断面图

Fig. 1 The sectional drawing of non-expansive clay hemming program

2.2.2 土工格栅包边，膨胀土、碎石土互层填筑方案（方案二）

该实体工程设在广西南友路一级路路段 (K135+420~K135+510) 处，互层土采取全断面填筑，其

最大填高 10 m，互层填芯高小于 6 m，共填 10 层，加筋包边宽度为 3 m，上下层格栅采取连接棒反包连接，详见图 2。

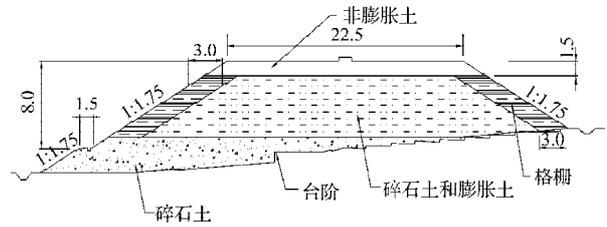


图 2 格栅包边，膨胀土、碎石土互层方案断面图

Fig. 2 The sectional drawing of grating package edge, expansive soil and gravel soil interbedded

2.2.3 石灰土、膨胀土互层填筑，土工格栅包边方案（方案三）

该实体工程设在广西南友路 K135 + 510~K135 + 580 段，互层土为全断面填筑，最大填高为 12 m，互层填芯高小于 6 m，加筋包边宽度为 3 m，见图 3。

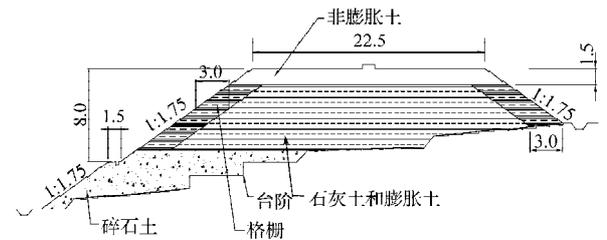


图 3 石灰土、膨胀土互层填筑，格栅包边方案断面图

Fig. 3 The sectional drawing of limestone soil, expansive soil interbedded and grating package edge

2.2.4 土工格栅包边处治方案（方案四）

该实体工程设在南友高速公路与宁明县城的联络线 AK2+300~AK2+500 (长 200 m) 上，路堤最大填高为 6 m，加筋包边宽度为 3 m，见图 4。

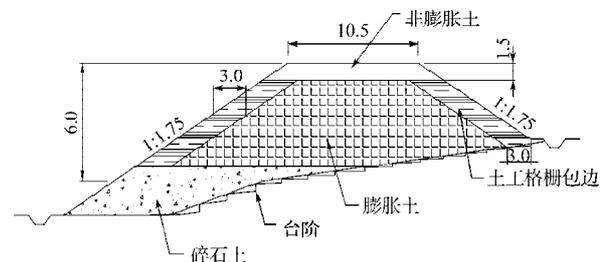


图 4 土工格栅包边方案断面图

Fig. 4 The sectional drawing of hemming geogrid program

3 物理处治效果分析

3.1 路基实体工程的强度检验

每段实体工程路堤修筑完工后，均测试了其回弹弯沉值，然后根据《公路路面基层施工技术规范》附录 A 式 (A0.2) 可计算出该段路堤的回弹模量。4 段实

体工程路段的代表弯沉、回弹模量值见表2。

表2 实体工程代表弯沉、回弹模量值统计表
Table 2 The table of entity works deflection and resilient modulus values

方案	代表弯沉 $\times 10^{-2}/\text{mm}$	回弹模量 /MPa
一	361.99	26.56
二	182.90	54.99
三	199.47	50.10
四	173.06	58.33

分析表2不难看出,只有方案一路段的代表弯沉值过大,回弹模量值较小,这是由于方案一在路堤填筑时24层填土被雨水浸泡所致,尽管施工单位已采取了掺灰改良补救措施,但石灰土强度形成需要一定龄期,而该段弯沉的检测是在石灰土碾压完成2d后进行,此时土体的强度仍然较低,但随着土与石灰的化学反应,该土的后期强度应该不会太低。尽管该处回弹模量值偏小,但它是下路堤顶面土体的强度值,根据高速公路路面设计对土基强度的要求($E_0 \geq 30 \text{ MPa}$),考虑到上路堤和路床还将填筑1.5m高、强度较大的非膨胀土,这样膨胀土填芯的强度和承载能力还是足够的。其余几段实体工程路堤的回弹模量均能满足规范要求,因此,采用物理处治技术修筑的膨胀土路堤在强度上是能满足要求的。

3.2 膨胀土路堤填芯土体湿度变化规律

由于物理处治技术的核心是保湿防渗,因此,物理技术能成功应用的关键是控制膨胀土路堤填芯部位含水量的变化。结合实体工程中所布设的4个观测断面,在膨胀土填筑层内沿垂直路中线的同一水平面上距边坡面不同部位埋设了大量湿度及水平位移观测元件,并进行1a多的跟踪监测^[2],得到了大量可靠的、有价值的监测数据。将实体工程方案一、方案二的监测结果统计整理如图5~8^[2],图中距离表示距路堤边坡面的水平距离;含水量是各个测点在每个月份所测结果的平均值。

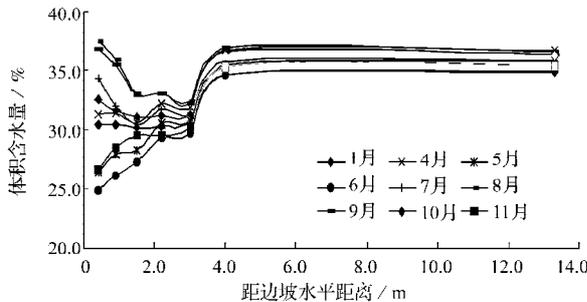


图5 K133 + 700 断面测点含水量随距离变化关系
Fig. 5 The relations of the water content of K133 + 700 cross-section measuring point changed with distance

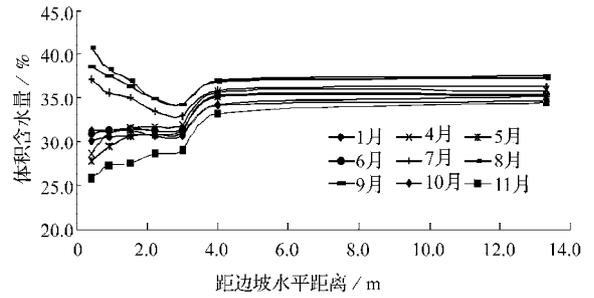


图6 K133 + 720 断面测点含水量随距离变化关系
Fig. 6 The relations of the water content of K133 + 720 cross-section measuring point changed with distance

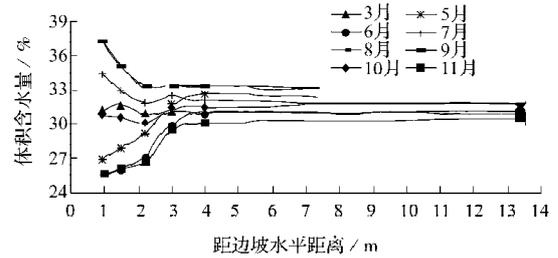


图7 K135 + 460 断面测点含水量随距离变化关系
Fig. 7 The relations of the water content of K135 + 460 cross-section measuring point changed with distance

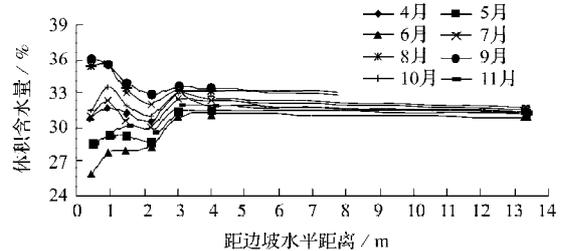


图8 K135 + 480 断面测点含水量随距离变化关系
Fig. 8 The relations of the water content of K135 + 480 cross-section measuring point changed with distance

从图5~8明显可看出:

1) 无论是雨季还是旱季,距边坡水平距离大于3m的区域含水量变化都较小,这说明实体工程所采取的物理处治方案达到了预期保湿防渗的效果,有效地控制了膨胀土路堤填芯部位的含水量变化范围,同时也证明了物理处治方案的有效性;

2) K133 + 700、K133 + 720 2个断面路堤中部含水量比路堤边部的高,这是由于膨胀土路堤施工时采取的是湿法重型击实控制标准,膨胀土填筑时含水量较高,这也为改进CBR试验(采取湿法重型击实的最佳含水率以及侧向浸水)提供了依据。

3) 宁明膨胀土地区干湿循环显著影响深度为1.49m,同时得出几段实体工程物理处治技术所需最小包边宽度为3m^[2]。

由此可见,只要能采取合适的包边宽度,物理处治技术是可以达到预期保湿防渗的效果,有效地控制路堤膨胀土填芯区的含水量变化范围的^[4]。

4 物理处置膨胀土路堤的技术要点

4.1 填料的分类及选取

4.1.1 改进的 CBR 试验方法

评价膨胀土这类特殊土真实强度的改进 CBR 试验方法要点为: 1) 试件浸泡采用侧向浸水; 2) 浸水时的上覆荷载采用 20 kPa; 3) 土样制件含水率采用湿法重型击实的最佳含水率^[1]。这一新的试验方法的提出为膨胀土地区的路堤修建(直接采用不同胀缩等级的膨胀土填筑下路堤)提供了依据。

4.1.2 物理处治膨胀土路堤填料分类指标

对于膨胀土路堤填料的工程分类不仅要依据国标、行业标准或某种依据(如膨胀潜势)来判别分类,还有必要在采用膨胀土路堤物理处治技术之前,根据改进的 CBR 试验方法测得的 CBR 值、CBR 膨胀量和稠度这 3 个指标来对填料进行分类^[5]。这些分类指标应满足以下原则: 1) 能反映膨胀土的本质特征及工程性质; 2) 指标的测定要简单、便捷,一般的工地试验室都能完成; 3) 指标数据可靠,重现性好; 4) 指标对于路基设计与施工有直接指导意义。

膨胀土路堤填料分类指标体系如表 3。

表 3 膨胀土填料分类指标

Table 3 The classification indicators of expansive soil filler

填料等级	CBR 值	CBR 膨胀量	天然稠度	填筑要求
I	>9	<1		
II	6~9	1~2	≥1	可直接填筑
III	3.9~6	2~3		
IV	<3.9	>3	<1	不可直接填筑

关于表 3 中分类指标的说明:

1) CBR 膨胀量和 CBR 值的测试方法采用的是改进 CBR 试验方法。

2) 稠度为天然含水量下的计算值。天然稠度不参与膨胀土填料等级的判定,而仅用于判定其填筑条件,即 III 级以上填料、仅当其天然稠度 ≥ 1 时方可填筑。

3) 等级 I、II、III 表明膨胀土胀缩性由低到高,强度由高到低。对同一填料测得的 CBR 值、CBR 膨胀量分别属于不同的填料等级中时,该填料的分级以较高的等级确定。在同一路段如果同时存在 2 个级别以上的膨胀土,应优先选择等级小的做填料,或者是把等级小的置于膨胀土填芯下路堤的上部。

此膨胀土分类指标均是建立在物理处治技术修筑膨胀土路堤基础上的。

4.2 基底处理

为保证路基的整体稳定性及强度,原地基土为膨胀土、路堤填高不足 1 m 时,必须挖去地表 50~80 cm 的膨胀土,填换非膨胀土,并按公路路基施工技术规

范的压实要求进行压实;地表土必须挖去湿软土层,换碎、砾石土或将土翻开掺石灰稳定后按规定压实;与路堑交界处的填方应开挖不小于 2 m 的台阶进行搭接,并铺设水平长不小于 4 m 的双向土工格栅于填挖交界部位。

4.3 处治方案的选择

前述实体工程简介中列举了 4 种物理处置技术方案,因此,具体工程应用中就存在方案比选问题。方案的选择和确定可遵循满足工程安全可靠、经济合理性、施工可操作性和建成后环保效应的原则。

本文中提到的 4 种方案中,从经济、环保和施工便捷性考虑,非膨胀性粘土包边方案最好,若条件允许,宜优先采取该方案。

4.4 施工要点

1) 施工应尽量避免雨季,选在路堤内外土体含水率差别不大的季节进行,同时要做好防排水措施。

2) 分层填筑摊铺土料的松铺厚度不超过 30 cm,采用重型压实标准、湿法最佳含水率进行压实控制,且当日填土必须当日压实。

3) 采用非膨胀性粘土包边方案时,包边土与填芯土必须同时分层摊铺压实;采用土工格栅包边加筋方案时,必须预留格栅实施反包。

4) 膨胀土路堤施工完成后,宜紧接着进行路面结构层施工,或加铺不小于 30 cm 的封层,及时对其进行有效封闭。

5) 路堤完工后,应及时在反包的边坡面上采取防护措施,以防冲刷。

5 结语

物理处治技术与化学改良、弃土换填等传统膨胀土地区路堤修筑方法相比,无论从土地占用量、经济合理性、施工便捷性和建成后环保效应等方面,都有着显著的优越性,综合效益更高。其基本思路是将膨胀土填于路基的特定部位,同时采取有效的保湿防渗措施进行封闭,将路堤中膨胀土湿度控制在一定范围之内,从而使路堤保持足够的强度和稳定性。

目前,该技术已经在广西、湖南、湖北、云南等多省区多条高速公路上成功应用。该技术的应用,大大减少了石灰的用量,基本不影响沿线的生态环境,降低了施工成本和难度,加快了施工进度,产生了良好的经济和生态环保效益,可供其它地区膨胀土工程参考应用。

参考文献:

- [1] 杨和平,曲永新,郑健龙,等.中国西部公路建设中膨胀土工程地质问题的初步研究[J].长沙交通学院学报,2003

- (19): 19-24.
 Yang Heping, Qu Yongxin, Zheng Jianlong, et al. The Engineering Geological Problems of Expansive Soil in Western Highway Construction[J]. Journal of Changsha Communications University, 2003(19): 19-24.
- [2] 冯玉勇, 张永双, 曲永新, 等. 南昆铁路百色盆地膨胀土路堤病害机理研究[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(4): 463-467.
 Feng Yuyong, Zhang Yongshuang, Qu Yongxin, et al. Mechanism of Embankment Defects Caused by Expansive Soils in Baise Basin, Nankun Railway[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(4): 463-467.
- [3] 杨和平, 郑健龙. 云南楚大公路膨胀土的土性试验研究[J]. 中国公路学报, 2002, 15(1): 10-14.
 Yang Heping, Zheng Jianlong. Experimental Research on Properties of Expansive Soil on Chu-Da Expressway in Yunnan [J]. China Journal of Highway and Transport, 2002, 15(1): 10-14.
- [4] 陈善雄, 余 颂, 孔令伟, 等. 中膨胀土路堤包边方案及其试验验证[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(9): 1777-1782.
 Chen Shanxiong, Yu Song, Kong Lingwei, et al. Wrapping Method for Middle Expansive Soil Embankment and Its Experimental Verification[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(9): 1777-1782.
- [5] 杨世基. 公路路基膨胀土的分类指标[J]. 公路工程地质, 1997, 15(1): 23-25.
 Yang Shiji. The Classification Indicators of Subgrade Expansive Soil[J]. Highway Engineering Geology 1997, 15(1): 23-25.

(责任编辑: 张亦静)

《包装学报》创刊

根据湖南省新闻出版局湘新出函[2009]15号“关于同意《湖南冶金职业技术学院学报》更名为《包装学报》及变更主办单位的批复”文件, 我校申请创办的《包装学报》已得到国家新闻出版总署的批准, 新编国内统一连续出版物号为CN43-1499/TB, 国际标准连续出版物号为ISSN1674-7100。我社拟于2009年10月出版第1期《包装学报》。

《包装学报》是一本面向国内外包装行业, 具有国际视野的包装行业学术型期刊。期刊立足学术研究, 以科学发展观为指导, 及时报道和刊发包装科技领域的新技术、新成果, 促进包装科技进步与交流、繁荣包装文化、搭建包装产学研结合的桥梁, 推动我国包装产业可持续发展和包装工业科技进步。

我们将倾力打造《包装学报》这一学术平台, 携手广大包装界孜孜学人、莘莘学子以及包装业界精英, 传播包装科学与技术, 关注学术前沿。

我们期待您的关注和支持!

湖南工业大学期刊社