

合肥膨胀土的工程特性及路基处治对策

曹光伦¹, 陈善雄², 许锡昌²

(1. 安徽省交通投资集团公司, 安徽 合肥 230011; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所)

摘 要: 从物理特性、压实特性、胀缩特性、力学与变形特性等方面对合肥弱、中膨胀土的工程特性进行了研究, 并提出了相应的处治方法。弱膨胀土的 *CBR* 值在 3%~4% 左右, 只能用于填筑下路堤; 中膨胀土若用于路基填料, 必须作改性或包边处理, 路基形式有全断面改性、普通包边和三明治包边 3 种。

关键词: 合肥膨胀土; 击实特性; 胀缩特性; *CBR* 值; 路基; 处治对策

膨胀土是一种颗粒高分散、成分以粘土矿物(蒙脱石、伊利石等)为主、对环境的湿热变化非常敏感的高塑性粘土, 具有吸水膨胀软化和失水收缩干裂的特性以及超固结性和多裂隙性。安徽省是我国膨胀土覆盖的典型区域之一, 皖中膨胀土分布面积约占安徽全省总面积的 65%~80%, 主要分布于安徽省中部的合肥市区、肥西县、长丰县、肥东县、滁州市区、全椒县及巢湖市西北部, 土层主要由第四系上更新统粘性土构成。膨胀土的不良工程特性使得合肥地区已建高速公路普遍出现纵裂、塌肩、滑坡等病害, 不仅严重影响了公路的行车速度和行车安全, 还提高了管养成本, 已成为安徽中部高速公路建设的主要技术难题。全面认识膨胀土的工程特性以确定合理的路基处理对策, 对于保证路基的填筑质量具有重要意义。

1 合肥膨胀土的工程特性

1.1 物理特性

根据对合六叶高速公路沿线挖方段和取土场的土

性判别资料, 合肥膨胀土的天然含水量一般在 19.5%~29.1% 之间, 在大气作用影响深度内受旱季与雨季的影响较大; 天然湿密度为 1.84~2.00 g/cm³; 液限为 37.0%~74.8%, 属高液限粘土; 塑性指数 20.5~48.5; 粒度组成以粘粒为主, <0.002 mm 胶粒含量占 33.0%~50.0%; 自由膨胀率 33%~79%, 标准吸湿含水量 3.5%~9.5%, 属弱-中膨胀土。

本文将合六叶高速公路某弱膨胀土(取自 K43+940 附近取土坑, 深度 0.3~0.5 m)和中膨胀土(取自 K44+020 附近取土坑, 深度 0.3~0.5 m)为研究对象, 开展压实特性、胀缩特性、*CBR* 与变形特性的研究。土样基本物理特性见表 1。

1.2 压实特性

膨胀土的压实特性直接影响到路基压实的难易程度, 最大干密度和最佳含水量一般通过室内击实试验获得。压实过程和压实效果受多种因素的影响, 包括内因和外因两方面, 内因主要指含水量和土的性质, 外因指压实功、压实机具和压实方法等。

击实方法按击实器械分为轻型与重型两种, 按备

表 1 土样基本物理特性

土 样	天然含水量 /%	湿密度 /g·cm ⁻³	液限 /%	塑限 /%	自由膨胀率 /%	<2 μm 粘粒含量 /%
弱膨胀土	25.1	1.89	50.0	22.5	59	34.0
中膨胀土	22.7	1.90	68.1	28.1	70	40.0

收稿日期: 2006-07-10

基金项目: 安徽省 2005 年交通科技进步计划项目(编号: 15)

作者简介: 曹光伦, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: jtcgl@163.com

样方法则分为干法和湿法。轻型与重型击实最主要的区别在于击实功的不同;而干法与湿法的主要区别在于备样方法,干法击实采用过 5 mm 筛的风干土样,根据试验要求配制不同含水量的土样,而湿法击实则采用含水量接近平衡含水量的天然土样,通过日晒或晾晒方式来获取不同含水量的土样。表 2 给出了不同击实功下膨胀土的击实试验结果。

表 2 不同击实功下膨胀土的最佳含水量与最大干密度

每层击数 /击	最佳含水量/%		最大干密度/ $g \cdot cm^{-3}$	
	弱膨胀土	中膨胀土	弱膨胀土	中膨胀土
98	16.6	19.2	1.80	1.74
50	20.8	21.4	1.70	1.68
30	21.5	22.3	1.64	1.59

从表 2 可以看出,不管是弱膨胀土还是中膨胀土,最大干密度均随击实功的增大而增大,最佳含水量则呈相反的变化规律。从施工实践来看,采用重型击实标准是可行的,虽然施工的难度有所增大,但完全可以达到要求。

根据合六叶高速公路弱膨胀土击实试验结果,干、湿法击实得出的最大干密度分别为 $1.80 g/cm^3$ 和 $1.69 g/cm^3$,最佳含水量分别为 16.6% 和 19.8%,即干法击实的最大干密度大于湿法,而最佳含水量则相反。

在合肥地区,填土的天然含水量在 19.5% ~ 29.1% 之间,现场的施工条件接近湿法击实,采用湿法击实的成果来制定填筑控制标准是比较理想的。由于室内湿法击实制样时间较长,且含水量不易控制,现场推广难度较大,可通过对比试验找出干法击实和湿法击实的最佳含水量与最大干密度的差值,然后根据干法击实的成果来确定施工控制标准。对弱膨胀土来讲(重型击实标准):

施工控制 $w_o =$ 干法击实 $w_o + (2\% \sim 3\%)$; 施工控制 $\rho_{dmax} =$ 干法击实 $\rho_{dmax} - (0.06 \sim 0.10) g/cm^3$ 。

1.3 胀缩特性

胀缩特性是膨胀土的基本特性,各类工程特性无不与之相关,而且对路堤和边坡也将产生必然影响。对于给定的膨胀土种类,影响其胀缩性能的内在因素为矿物成分和微观结构等,而主要外在因素为含水量和干密度。膨胀土的主要胀缩特性指标有 50 kPa 膨胀率、无荷膨胀率、膨胀力、收缩系数、体缩率和缩限等。对胀缩特性的研究主要利用人工压制样,压实度控制在 93% ~ 96% 之间,含水量在最佳含水量 - 3% ~ 最佳含水量 + 3% 之间,各主要指标的试验结果见表 3。

对击实膨胀土胀缩特性的研究表明:当含水

表 3 膨胀土的胀缩指标

土样	50 kPa 膨胀率/%	膨胀力/kPa	收缩系数
弱膨胀土	0.58~4.80	85~242	0.24~0.36
中膨胀土	0.80~6.40	150~358	0.30~0.41

量一定时,压实度越高,膨胀量与膨胀力越大;当压实度一定时,含水量越高,膨胀量与膨胀力越小。这是在膨胀土路基设计中特别值得注意的问题。在确定路基碾压含水量时,应综合考虑膨胀土胀缩特性的影响,含水量过低易导致路基在浸水时的膨胀变形过大,含水量过高易导致路基在失水时的收缩变形过大,不利于路基的稳定。因而常规的做法是根据击实曲线和要求达到的压实度确定允许含水量的范围,再考虑膨胀特性与收缩特性之间的平衡含水量区间,即可得到碾压含水量的最佳范围。

1.4 CBR 与变形特性

加州承载比 CBR,可表征材料抵抗局部荷载压入变形的能力,是一种评定土基(或其他路面材料)在浸水状态下承载能力的极限状态指标。近年来,我国交通部门已将 CBR 值作为路基填料强度指标的控制参数和路基填料选择的依据,并将其与压实度一起作为路基施工质量控制的主要指标。图 1 和图 2 分别给出了膨胀土 CBR 值和膨胀量的试验结果。

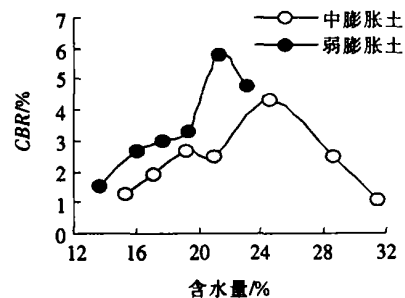


图 1 膨胀土 CBR 与含水量关系曲线

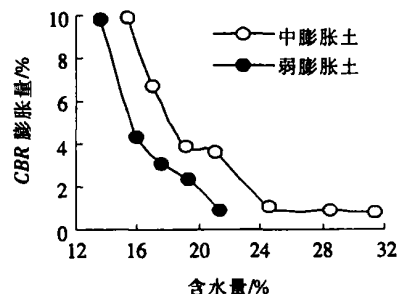


图 2 膨胀土 CBR 膨胀量与含水量关系曲线

从图 1 和图 2 可以看出:

(1) 对弱、中膨胀土而言,膨胀土的 CBR 值受起始含水量影响明显,其最大值对应的含水量高于最佳

含水量5%左右;总体上, CBR 值有随起始含水量呈抛物线变化的趋势。

(2) CBR 膨胀量随起始含水量增大而减小。起始含水量越低, CBR 膨胀量就越大, 路基的水稳性越差。所以, 在路基填筑过程中, 控制起始含水量是关键因素。

室内击实试验结果表明, 当弱膨胀土的起始含水量比最优含水量大2%~4.7%时, 其压实度可以达到93%, CBR 值能达到3%以上, 可以用于直接填筑下路堤; 中膨胀土的 CBR 值较小, 虽然在含水量很高时接近或超过3.0%, 但在如此高的含水量下进行压实, 其压实度均小于90%, 粘锤情况严重, 且易出现“橡皮土”现象, 如不采用处理措施(如改性或包边处理), 不宜直接用来填筑路堤。

2 膨胀土路基处治对策

在全面认识膨胀土工程特性的基础上, 确定合理的路堤形式, 对于保证路基的稳定性具有重要意义, 合六叶高速公路在参考其他高速公路路堤处理成功经验的基础上, 提出了适合合肥膨胀土的路基处治对策。

2.1 中膨胀土填方路基的处治对策

鉴于中膨胀土的 CBR 值较低, 中膨胀土必须改性处理, 目前主要作掺石灰处理, 掺灰比例在4%~6%之间。根据掺灰改性试验结果, 改性后液限变化很小, 塑限增大, 小于0.002 mm 的胶粒含量远远小于改性前, 砂化效果显著, 物理特性改变明显, 且随着掺灰比的增加其效果越显著, 胀缩特性明显降低, CBR 值均大于8%, 胀缩总率小于0.7%, 可满足路用要求。

由于全线全断面改性的经济成本较高, 所以根据填筑高度确定了3种断面形式: 全断面改性、一般包边和三明治结构, 具体的路堤形式见图3~5。

全断面改性的断面形式主要用于填方高度小于2 m 的情况, 施工便捷, 但成本较高; 普通包边形式用于填方高度在2~5 m 的情况; 夹层包边形式主要用于填方高度超过5 m 的情况。对包边路堤, 一般设置厚40 cm 的底封层, 以阻断毛细水或减小其上升高度; 包边路堤中设水平夹层同样也是为了达到阻断毛细水的目的。顶封层(路床部分)采用6%的改性土。

2.2 弱膨胀土填方路基的处治对策

弱膨胀土可用于直接填筑下路堤, 不必采用包边形式, 只需设底封层。弱膨胀土路堤的断面形式主要有两种, 底封层采用4%的改性土或砂石垫层, 顶封层(路床部分)采用6%的改性土。详细情况见图6。

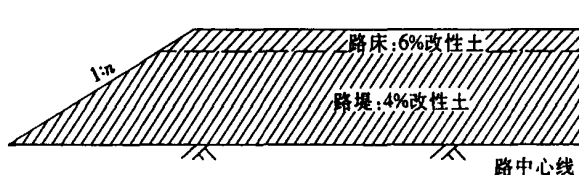


图3 中膨胀土全断面改性路堤断面形式

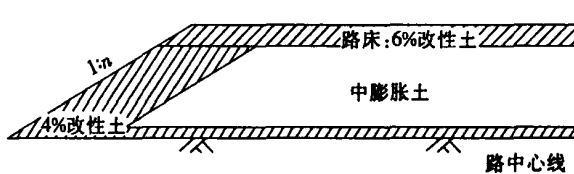


图4 中膨胀土包边路堤一般断面形式

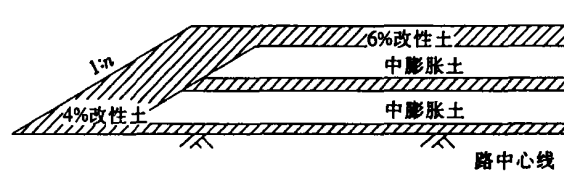


图5 中膨胀土包边路堤三明治断面形式

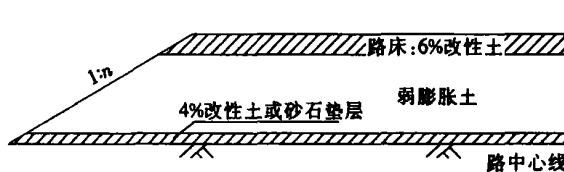


图6 弱膨胀土直填路堤断面形式

3 结语

影响膨胀土工程特性的因素很多, 除与膨胀土的矿物成分、结构性能等内因有关外, 还与密实度和含水量等外因有关, 根据对皖中膨胀土工程特性的研究, 可得到以下结论:

(1) 重型击实得到的最佳含水量低于轻型击实, 最大干密度却相反, 现场施工可采用重型击实标准施工。

(2) 干法击实的最大干密度大于湿法, 而最佳含水量小于湿法。合肥膨胀土的施工条件接近湿法击实, 但推广难度较大, 填筑控制标准可在参考干、湿法击实的差别的基础上, 通过修正干法击实的试验结果来完成。

(3) 合肥膨胀土有较强的胀缩特性, 受压实度和含水量的影响较大。当含水量一定时, 压实度越高, 膨胀量与膨胀力越大; 当压实度一定时, 含水量越高, 膨胀量与膨胀力越小。

(4) 弱膨胀土的 CBR 值为3%~4%, 只能用于填

文章编号: 1671 - 2579(2007)03 - 0045 - 05

土工格栅加筋路堤机理研究进展

苗英豪^{1,2}, 王秉纲²

(1. 北京工业大学, 北京市 100022; 2. 长安大学)

摘要: 文章对土工格栅加筋路堤的机理和强度特性研究进行了综述。土工格栅加筋路堤机理的研究主要借助于室内外试验和数值分析等手段进行, 研究问题主要集中在土工格栅与土之间相互作用机理、土工格栅加筋土强度特性以及土工格栅加筋路堤的变形破坏机理、稳定性影响因素及影响规律等方面。这些方面的研究都取得了较为丰硕的成果, 并为土工格栅加筋路堤的设计提供了依据。实际工作状态下土工格栅与土相互作用的机理、土工格栅对周围土体的有效影响范围以及水对土工格栅与土相互作用的影响等问题仍值得进一步研究。

关键词: 土工格栅; 加筋路堤; 机理研究

1 前言

早在几千年前人类就开始将天然植物纤维作为加筋材料应用于铺路、筑城工程中, 当时的“加筋”完全依靠经验。20世纪60年代法国工程师 H. Vidal 首次将加筋土技术上升为理论, 分析了“加筋”的机理, 并提出了一套分析计算方法。当时所采用的加筋材料为金属镀锌条带, 随着塑料等合成材料的发展, 专用于岩土工程的合成材料相继出现, 20世纪70年代后期土工合成材料开始应用于加筋工程。

在欧洲, 1980年土工格栅首次用于滑坡处治, 并于1981年在美洲应用。随着在滑坡处治中的成功应用, 土工格栅陆续用于道路路堤工程中。20世纪80年代后期, 我国开始出现土工格栅加筋路堤。随着土工格栅加筋路堤的推广, 各国研究人员利用不同手段对土工格栅加筋路堤机理进行研究, 经过20多年经验的积累, 取得了丰硕的成果。这些研究主要集中在如下几个方面:

- (1) 土工格栅与土之间的相互作用机理。
- (2) 土工格栅加筋土强度特性。
- (3) 土工格栅加筋路堤的变形破坏机理、稳定性影响因素及影响规律。

筑下路堤, 但必须做好底封层处理, 处理形式有改性土和砂石垫层两种; 中膨胀土若用于路基填料, 必须作改性或包边处理, 路基形式有全断面改性、普通包边和三明治包边3种。

参考文献:

[1] 郝安宁. 皖中膨胀土的危害机理研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003(3).

[2] 陈善雄, 孔令伟, 郭爱国. 膨胀土工程特性及其石灰改性试验研究[J]. 岩土力学, 2002(增刊).

[3] 孔令伟, 郭爱国, 赵颖文, 等. 荆门膨胀土的水稳定性及其力学效应[J]. 岩土工程学报, 2004(6).

[4] 程国忠, 张冰心. 南友路膨胀土路堤处治方法[J]. 黑龙江交通科技, 2004(9).

[5] 李瑞耀, 李东升. 公路穿越膨胀土地区路基的施工[J]. 北京公路, 2004(4).

[6] 刘元志. 膨胀土路堤填筑施工技术的研究[J]. 国外建材科技, 2003(3).

[7] 刘文刚, 林春. 高液土及膨胀土填筑路基施工技术[J]. 山西交通科技, 2003(2).

收稿日期: 2006 - 09 - 27

作者简介: 苗英豪, 男, 博士研究生. E-mail: miaoyinghao@163.com