

文章编号: 0451-0712(2007)01-0020-05

中图分类号: TU442;U416.1

文献标识码: B

高液限粘土填筑设计方法研究

刘银生, 蒋理珍

(湖南省交通科学研究院 长沙市 410015)

摘 要: 高液限粘土易开裂,可压实性差,水稳定性欠佳,且在我国南方地区广泛分布,合理利用高液限粘土具有现实意义。在分析高液限粘土不饱和土理论、高液限粘土包芯机理和改良机理的基础上,系统地提出了高液限粘土的设计方法及设计参数,并得出了高液限粘土的典型设计结构和适用条件,为工程设计及工程决策发挥了重要的作用。

关键词: 高液限粘土; 填筑方法; 设计

受南方地区高温、湿热的历史气候条件影响,我国长江以南大部分地区分布着大量的高液限粘土。该种土平时易开裂,可压实性较差,有的压实后压缩性仍较高,塑性区含水量范围宽,浸润后持水时间长、天然稠度低、*CBR* 值变化范围宽,水稳定性欠佳。在我国路基设计和施工规范^[1,2]中,要求高液限粘土不得直接作为路基填料,必须采用满足要求的技术措施后方可使用,但由于在南方地区高液限粘土点多面广,全部废弃必将极大地影响工程费用和

环保要求。因此,对高液限粘土填筑的设计方法进行研 究,具有很重要的现实意义。

1 高液限粘土填筑设计理论概述

高液限粘土填筑设计理论,包括能用于直接填筑的高液限粘土设计理论和不能直接填筑的高液限粘土设计理论。前者在文献^[3]中已得到了充分的论述,本文重点介绍不能直接填筑的高液限粘土设计理论体系。

收稿日期: 2006-08-08

Drainage Asphalt Concrete Pavement Technology and its Developments in Japan

FAN Tong-jiang, JIA Jing-peng, CHEN Fu-qiang, XU Dong-liang

(School of Civil Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Drainage asphalt concrete pavement, because of it's good road performances on providing speedy drainage and skid resistance, reducing spray from vehicles and thickness of water membrane in rain, improving driver visibility, reducing headlight glare after rain and road noise and so on, is widely applied on the road in Europe, America and Japan etc. On the basis of developed experiences for drainage asphalt concrete pavements in Japan, the design of mixtures, requirements of material qualities, relating properties between material qualities and road performances, pavement construction and maintenance are introduced in order to offer some referenced informations for the people engaged in research, design and application on that pavements.

Key words: drainage asphalt concrete pavement; design of mixtures; requirements of material qualities; road performances; construction; maintenance

目前,高液限粘土填筑路基典型的质量问题,表现在路基纵向裂缝及表面龟裂,特别是路基纵裂。因而,高液限粘土设计理论必须对这一问题有一个理论上的分析。

1.1 不饱和土理论解析高液限粘土路堤纵向裂缝形成机理

高液限粘土路堤的纵向裂缝形成机理很复杂,主要是由于水压力改变致使有效应力发生变化,有效应力的波动控制着土骨架的位移场,并且导致含水层系统的变形。纵向裂缝形成机理体现在以下两方面:一方面由于土体中剪应力达到了土的抗剪强度,以致沿剪切面产生裂缝;另一方面,因剪应力不变而抗剪强度降低,也会产生裂缝。引起剪应力增加和抗剪强度降低的因素很多,最主要的是连续降雨。因为,对于处在地下水位以上的非饱和和高液限粘土路堤,存在一个自由水面线,在自由水面线上方的土中,随着路堤高程的增加,负孔隙水压力愈来愈大,而上覆压力愈来愈小。雨季连续降雨时,水位逐渐增高(水压力增高),路堤上部土体逐渐进入饱和状态,负孔隙水压力愈来愈小。经过一定时间,暴雨停止后,水位降低(水压力降低),饱和和前沿深入土坡中并延续到有保护层的坡面下,最终达到稳定状态。随着饱和前沿下移,坡内深处的负孔隙水压力增大为零(即基质吸力消失),在最终稳定状态下,土坡上部仅恢复初始基质吸力的一部分,而下部则全部失去其初始基质吸力。因此,由于基质吸力大幅度下降,抗剪强度降低,路堤的安全系数有可能显著下降,从而形成纵向裂缝,引起土坡滑动。在文献[4]中,已得出在离路基边缘 1.7~2.2 m 范围内出现纵向裂缝的机率最大。

1.2 高液限粘土包芯机理分析

高液限粘土包芯填筑路堤中 A、B 两点将有沉降差(如图 1),假定基底沉降忽略不计,则 A、B 两点沉降差为 $S_{AB}=S_A(h_0)-S_B(h_0)=S_A(h)-S_B(h)$,其中 $S_A(h_0)$ 、 $S_B(h_0)$ 分别为 A、B 对应路堤填高 h_0 时的固结变形, $S_A(h)$ 、 $S_B(h)$ 分别为对应高液限粘土的固结变形和普通低液限粘土的固结变形。按文献[5]的研究成果,路面不出现不符合要求的平整度或裂缝的基本条件是 $|S_{AB}| \leq 0.4\% \times L$ (L 为 A、B 间的间距)。因而,在进行变形控制时应合理配置包芯填料,避免产生较大的不均匀变形。

1.3 高液限粘土的改良机理分析

高液限粘土不能直接用于路基填筑的主要原因

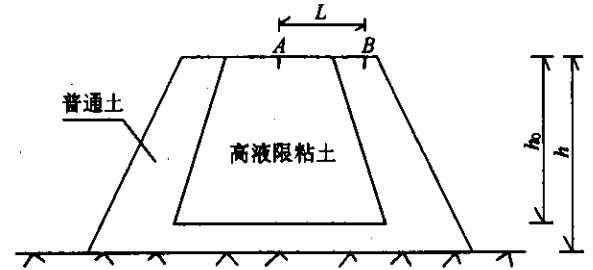


图 1 高液限粘土包芯填筑

液限粘土的改良机理本质上就是指标设计,即将不符合要求的指标经改良处理后变为符合要求的指标。采用外加剂进行改良后可使其液限、塑性指数降低,尤其是塑性指数降低较为明显、CBR 值提高很快。而从稠度的定义 $S_r = \frac{(\omega_L - \omega_0)}{I_p}$ (式中 S_r 为土的稠度, ω_L 、 ω_0 、 I_p 分别为液限、含水量、塑性指数)可知,改良后高液限粘土的塑性指数降低较多,则稠度相应会增加,从而可以采用重型压实,进而改变高液限粘土的性质,使其各项指标满足施工规范的有关要求。

2 高液限粘土路堤的设计方法和参数确定

从理论分析可知,对高液限粘土路堤的设计需解决下面几个问题:一是隔离水对路基土的影响,保证路基稳定;二是降低边缘土体含水量的蒸发,使路基土体保持均匀固结;三是改善路基土的性质与压实特性。高液限粘土填筑路基的标准横断面如图 2 所示。

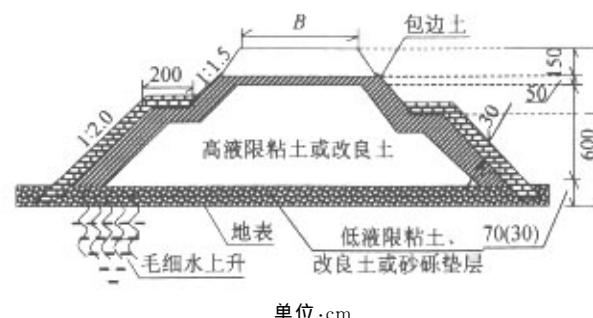


图 2 高液限粘土路基标准横断面

2.1 基底设计及外观

基底要求:基底应具有较高的强度,应能防止基底毛细水上升进入路堤,基底的承载力宜大于 150~200 kPa,土样的 CBR 值不低于 2%,压实度宜大于湿法重型标准的 88%。

当基底不满足上述要求时,从设计上考虑如下方法:

(1)换填 30~50 cm 厚的透水性材料,如果填料塑性指数大于 6 时,还宜加土工布防止毛细水上升;

(2)换填透水性材料,如果填土高度大于 6 m 时,为了提高基底承载力,可设一层土工格栅加强基底坡脚部位;

(3)石灰、水泥改性土的回填;

(4)低液限粘土回填。

采用低液限粘土回填时,须考虑毛细水上升高度的影响(必须高于毛细水面)。经过对两种高液限粘土毛细水上升高度的试验研究(表1),及考虑到压实层厚度对压实功能的影响(便于分层压实),回填高度(h_0)须高于毛细水面 50 cm。

表 1 高液限粘土毛细水试验

| $h_0 = 50 \text{ cm}$ | 土类 | 强烈毛细水上升高度/cm |
|-----------------------|----------|--------------|
| (h_0 应有一定的安全储备) | 红色高液限粘土 | 24.0 |
| | 黄白色高液限粘土 | 26.0 |

2.2 边坡设计

边坡设计直接牵涉到路基的稳定性。从高液限粘土计算理论可知,当填筑高度大于 6 m 时,稳定性将降低。这类特殊土,填土高度为 6 m 已属于高填方路堤。从路基顶面以下,最上一级边坡坡度为 1:1.5,下部其余分级的边坡坡度为 1:2,使路堤下部的边坡缓于规范规定,以增加稳定性。

2.3 边坡的防护设计

高液限粘土由于土中含水量大,靠近边坡表面土体的水分过分蒸发,将使靠近表面部分的土体形变,明显大于中间部分的土体形变,从而导致离路基边缘 1.7~2.2 m 处产生纵向裂缝。因此,从设计上需考虑边坡表面防护措施,如植被防护、三合土抹面、水泥混凝土预制块封闭、骨架护坡、浆砌片石防护等。

2.4 路基边缘设计

高液限粘土最易开裂的部位是距路基边缘 1.7~2.2 m 处,因此在设计时应应对路基采取如下设计措施。

(1)在距路基边缘 2.5~3 m 的范围内,用低液限粘土对高液限粘土进行包边处理。通过路基的包边处理,可以起到如下作用:降低靠近边坡表面处土体水分的蒸发,使路基土体保持均匀固结;抵抗地表水对高液限粘土的侵蚀。

(2)在距路基边缘 2.5~3 m 的范围内,铺筑土工网加强高液限粘土边坡,能够有效约束路基土体、减少不均匀沉降,从而抑制纵向开裂。

2.5 路基本体的设计

对于路基本体的设计,高液限粘土路堤主要有

如下设计方案。

(1)材料要求。对天然稠度 <0.8 (即结块很难分散)或液限 $\geq 70\%$ 的高液限粘土,实施废弃方案。

(2)对于碾压稠度 >1.15 、液限 $<70\%$ 、 $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土,当限制填土高度时,也可以使用。法国、瑞典、美国以及日本的路基规范以 $CBR > 2\%$ 控制,限制填土高度为 4~6 m,同时采取路基边坡封闭与加固的处理措施。

(3)在高液限粘土路基中设置粒料吸收层。沿路堤高度在可能产生固结的土层内,每隔一定高度铺筑一吸收层,用以吸收土中的多余水分并排出路堤外,以加速路基的固结。

(4)在高液限粘土路基中,特别是填高 $>6 \text{ m}$ 的高路堤,直接填筑高液限粘土会产生较大的不均匀沉降。如果所在地段有一定量低液限粘土,可每填筑一层高液限粘土再填筑一层低液限粘土,这样既可保证沉降的可控制,也有利于下雨时防止地面水直接侵蚀到高液限粘土,影响高液限粘土的强度。

(5)每填筑 1~7 层高液限粘土,用加石灰或水泥的改良土再填筑一层,这样能防止下雨行车对高液限粘土路基的破坏。

3 高液限粘土路基典型设计及组合方案

高液限粘土填筑须综合考虑路基本底、边坡、路基本体及下路堤顶面封顶处理等因素,各因素方案设定如下:

A 方案为基底处理方案,其中 A1 为换填透水材料+土工布+土工格栅(填土高度 $>6 \text{ m}$),A2 为低液限粘土回填或石灰、水泥改性土回填;

B 方案为边坡坡率设计,填土高度在 6 m 范围内的坡率为 1:1.5,填土高度大于 6 m 时设台阶,顶部边坡坡率为 1:1.5,其余边坡的坡率为 1:2.0;

C 方案为边坡防护,包括柔性防护、植被防护,刚性防护等;

D 方案为路基边缘处理,其中 D1 为低液限粘土包边,D2 为土工格栅加筋;

E 方案为路基本体填筑,其中 E1 为直接填筑,采用 $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土直接填筑(填高 $<6 \text{ m}$),E2 为夹层填筑(如设置粒料吸收层,填筑低液限粘土层、改良土层);

F 方案为下路堤顶面封顶防水处理,如低液限粘土封层、改良土封层等。

具体组合方案及适用条件见表 2。

表 2 方案组合示意图及适用条件

| 序号 | 方案组合 | 典型横断面图(长度单位:cm) | 适用条件 |
|----|----------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | A1+B+C+D1+E2+F | | <ul style="list-style-type: none">① 填土高度大于 6 m 时设置台阶;② 地下水位较高,地基潮湿;③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体;④ 设计洪水位较高,边坡有浸泡冲刷的可能。 |
| 2 | A2+B+C+D1+E2+F | | <ul style="list-style-type: none">① 填土高度大于 6 m 时设置台阶;② 地下水位不高;③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体;④ 设计洪水位较低,边坡无浸泡冲刷的可能。 |
| 3 | A1+B+C+E2+F | | <ul style="list-style-type: none">① 填土高度大于 6 m 时设置台阶;② 地下水位较高;③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体;④ 设计洪水位较低,边坡无浸泡冲刷的可能。 |
| 4 | A1+B+C+D2+E2+F | | <ul style="list-style-type: none">① 填土高度大于 6 m 时设置台阶;② 地下水位较高;③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体;④ 设计洪水位较高,边坡有浸泡冲刷的可能。 |
| 5 | A2+B+C+D2+E2+F | | <ul style="list-style-type: none">① 填土高度大于 6 m 时设置台阶;② 地下水位较低;③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体;④ 设计洪水位较低,边坡无浸泡冲刷的可能。 |
| 6 | A2+B+C+D1+E1+F | | <ul style="list-style-type: none">① 填土高度小于 6 m (不设台阶);② 地下水位较低;③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体;④ 设计洪水位较低,边坡无浸泡冲刷的可能。 |

续表

| 序号 | 方案组合 | 典型横断面图(长度单位:cm) | 适用条件 |
|----|------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 | $A1+B+C+D1+E1+F$ | | ① 填土高度小于 6 m(不设台阶); ② 地下水位较高,地基潮湿; ③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体; ④ 设计洪水位较低,边坡无浸泡冲刷的可能。 |
| 8 | $A2+B+C+E2+F$ | | ① 填土高度小于 6 m(不设台阶); ② 地下水位较高; ③ $2\% < CBR < 3\%$ 的高液限粘土填筑路堤本体; ④ 设计洪水位较低,边坡无浸泡冲刷的可能。 |

4 结语

高液限粘土填筑设计必须结合具体的工程实际、费用、进度及当地自然条件,再选用提出的设计方案。经过几年的研究,本文较系统地简述了高液限粘土的设计机理及设计方法,极大地方便了广大工程设计及管理工作者掌握高液限粘土路基填筑的特性,从而更好地为工程服务。

参考文献:

[1] JTG D30—2004,公路路基设计规范[S].
[2] JTJ 033—95,公路路基施工技术规范[S].
[3] 刘银生.高液限粘土适于直接填筑的分类指标研究[J].中南公路工程,2004,(1).
[4] 容玲聪,刘银生.高液限土路堤纵向裂缝形成分析[J].公路,2003,(6).
[5] 周虎鑫,陈荣生.软基处理路堤沉降指标确定方法的研究[J].华东公路,1995,(6).

Research on Filling Design Methods of High Liquid Limit Clay

LIU Yin-sheng, JIANG Li-zhen

(Communications Research Institute of Hunan Province,Changsha 410015,China)

Abstract: High liquid limit clay is easy to crack and has poor compactness and unsatisfactory water stability, and further, it is distributed widely in the southern area of China. Thus, rational use of high liquid limit clay is practical meaningful. On the basis of analyzing the unsaturated soil theory, core mechanism and improvement mechanism of high liquid limit clay, the design method and design parameters of it are systematically put forward, and meanwhile its typical design structure and suitable conditions are got. All of these can play the very vital role in project design and engineering decision.

Key words: high liquid limit clay; filling methods; design