

文章编号: 1002-0268 (2005) 06-0050-04

安楚高速公路红层软岩公路路堤病害处治方法

孙乔宝¹, 刘涌江², 李华昆¹, 杨青²

(1. 云南省安楚高速公路建设有限公司, 云南 昆明 650200; 2. 重庆交通科研设计院, 重庆 400067)

摘要: 以云南安宁—楚雄高速公路为依托工程, 全面研究了红层软岩路堤填料的工程特性, 并在此基础上研究了红层软岩公路路堤病害的加筋防治措施, 并在工程实际中得到了很好的应用和验证, 研究成果对红层软岩地区路堤修筑具有一定的指导意义。

关键词: 红层; 路堤; 土工格栅; 病害处治

中图分类号: U416.1⁺2

文献标识码: A

The Red Beds Embankment Disaster Treatment of Anning-Chuxiong Highway

SUN Qiao-bao¹, LIU Yong-jiang², LI Hua-kun¹, YANG Qing²

(1. Yunnan An-chu Highway Co. Ltd., Yunnan Kunming 650200, China;

2. Chongqing Communications Research & Design Institute, Chongqing 400067, China)

Abstract: The paper studies the characteristic of the embankment filling in red beds area in Yunnan Anning-Chuxiong highway and the added-tendon measure for treatment of the embankment for disaster prevention. The measure is primarily applied in engineering practice. The result of the paper is very valuable to embankment construction in red beds area.

Key words: Red beds; Embankment; Geogrid; Disaster Prevention

红层在我国分布非常广泛, 在红层软岩地区的高等级公路中, 其路堤稳定性及因沉降变形引起的路基病害问题一直是普遍和突出的问题。本文在对云南红层软岩地区高等级公路详细调查的基础上, 总结发现, 半填半挖路堤、斜坡上路堤、稻田等局部软基上路堤是出现路基病害的主要路段, 填挖结合部位的处理、软基的处理、填料的压实是路堤填筑应当关注的重点。

1 红层软岩粗粒土填料的特性

从云南安楚高速公路路堤施工现场取样, 进行红层软岩填料的工程特性室内试验研究, 根据试验结果, 提出了不同含石比例的红层软岩路堤填料的设计参数的建议值。

1.1 红层软岩路堤填料的密度特性

为使室内试验结果更加接近工程实际, 试验填料级配是以安楚高速公路9标段施工现场进行的碾压前后的筛分试验为依据设计的(分别称为级配1和级配2), 同时还增加了一种对比设计级配(称为级配3)。

通过对3种不同级配进行室内大型击实试验, 得出了填料最大干密度与含石量的关系曲线及填料中软岩的破碎率情况。试验结果表明, 红层软岩土石混合料的最大干密度与填料中的 P_5 含量(即粗颗粒含量)有较大的关系, 在 P_5 含量 $< 60\%$ 范围内, 随 P_5 含量的增加, 其最大干密度也逐渐增加, 在 P_5 含量达到 $60\% \sim 70\%$ 时, 填料的干密度达到最大值, 在 P_5 含量 $> 70\%$ 后, 其最大干密度又逐渐降低。

试验结果还表明, 红层软岩填料的密度特性在含

收稿日期: 2005-02-24

基金项目: 交通部西部建设资助项目(2002 318 00026)

作者简介: 孙乔宝(1958—), 男, 云南陆良人, 高级工程师, 主要从事道路与岩土工程研究。

石量变化不大的范围内与填料的级配无明显的影响, 在一定的级配范围内, 都可以达到较高的密实程度。

1.2 填料的力学特性

采用压力室直径 $\phi=300\text{mm}$, 高 $h=600\text{mm}$ 的 SZ30-3A 型高压三轴仪对该填料的力学特性进行试验研究。试验方法为最佳含水量及饱和状态下不固结不排水剪切试验 (UU)。为进行比较, 以一个试样四级围压及一个试样一级围压进行试验。由两种试验方法得到的结果得知, 一个试样一级围压所测出的 C 值较一个试样四级围压所测出的 C 值大 $20\% \sim 30\%$, 而 ϕ 值基本一致。由于本次一个试样四级围压试验每级应变控制在 2% , 使在各级围压剪切过程中, 土样破裂角已出现, 但土样原有结构破坏不明显, 能较大程度地控制土样强度指标 C 下降过多, 可为工程所接受。

总体来说, 红层软岩填料的力学特性主要与填料的密实程度、含石量以及饱水程度有关, 填料饱水后的强度降低幅度较大。密实程度良好、含石量适宜的红层填料强度较高, 路堤自身稳定性好, 完全可以满足公路路基填筑要求。

1.3 填料的变形特性

合格的填料, 在碾压后, 应具备较高的强度、较小的变形以及在经受雨水冲刷和在干湿循环中抵抗湿陷、膨胀和收缩的能力。为了研究红层软岩粗粒土填料是否满足路基填筑用料的要求, 本文采用直径 504mm , 高 210mm 的大型压缩仪对红层软岩粗粒土填料的变形特性进行了压缩试验研究。试验级配为级配 1 和级配 2 (级配曲线如图 1 所示), 制样压实度为 $90\%、93\%$, 试验方法结合现场施工情况及路基排水条件良好, 采用最佳含水量下固结, 加载等级分别为 $100、200、300、400\text{kPa}$ 。

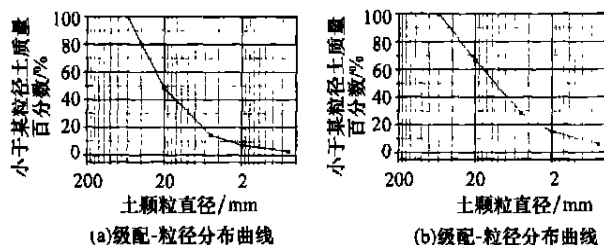


图1 试验级配曲线

试验结果证明, 安楚高速公路第 9 标实际采用的红层软岩填料其 P_s 含量达 $70\% \sim 85\%$, 根据试验结果和试验过程的现象观察, 该填料的压缩性较低, 固结系数较大, 其压缩特性完全可以满足路基填筑要求。

2 红层软岩公路路堤病害处治技术

根据对红层软岩路堤病害调查结果可知, 在红层软岩地区填筑公路路堤, 在危险段落如不采取专门的加固防护措施, 则在公路的运营期会产生不同程度的路堤病害。为了防止填筑路堤在工后产生不允许的沉降及开裂变形, 在施工期除严格施工规范及设计文件进行填筑压实外, 采用其他相应的防治措施, 如采用加筋路堤可大大降低或预防路堤病害的发生。在路堤中铺设土工格栅等柔性的抗拉材料形成加筋土路堤, 能有效地约束侧向变形, 犹如增大了加筋土的粘聚力, 从而可较大程度地改良土的力学特性。目前, 这种方法正在越来越多地被实际应用, 并取得了很好的防治效果。云南安楚高速公路正是采用了这一技术。该公路在修筑过程中, 大量使用了路堤加筋的病害防护措施, 从目前的使用情况来看, 效果很好。

2.1 平坦地基缓坡比路堤加筋处治措施

在平坦地基填筑缓坡比 ($1:1.5 \sim 1:1.75$) 路堤, 数值分析结果显示, 当采用红层软岩素填土路堤时, 其稳定系数较小, 约为 1.314 , 而当采用加筋土路堤时, 其稳定系数会有较大程度的提高, 且随加筋间距的缩小, 其稳定系数增加越大。如当加筋间距为 1.0m 时, 其填筑完成时的稳定系数约为不加筋时的 1.46 倍, 加筋间距缩小至 0.5m 时, 为 1.58 倍。

另外, 随着筋材单宽刚度的增大, 其对路堤边坡稳定性的贡献也逐渐增大, 且较明显, 而且, 筋材刚度的增大对降低路堤的沉降也有一定的作用。同时, 筋材受力也随筋材刚度的增大而逐渐增大, 如对刚度为 $3.0 \times 10^5 \text{ kN/m}$ 、加筋间距为 1.0m 的筋材在刚填筑完成时单位宽度所受的最大拉力为 164.311kN , 这已大大超过了一般筋材的抗拉强度, 因此将被拉断。随着填筑完成后固结时间的推移, 筋材内所受的拉力呈逐渐减小的趋势; 而对刚度相同的筋材而言, 缩小加筋间距, 其所受轴力略有降低, 但降低幅度极小。因此, 在实际工程应用中, 应根据填筑路堤的具体特点, 通过计算分析, 在保证筋材抗拉强度不至于因受力过大而被拉断的条件下, 尽可能选择单宽刚度较大的筋材。由于边坡坡度较缓, 素填土路堤自身已能保持稳定, 因此加筋的加固作用不太明显, 故在安楚高速公路实际工程中, 对于这种平坦地基上缓坡比路堤极少采用加筋, 加筋路堤主要应用于平坦地基上受地形等条件限制的陡坡比路堤或斜坡地基路堤等自身稳定性差或可能产生较大不均匀沉降的路堤中。

2.2 平坦地基陡坡比路堤加筋处治措施

在安楚高速公路的实际工程中,很多情况下由于受地形等条件的限制,填土路堤不得不采用较陡的坡比,这样,如果不采取相应的措施,则其自身的稳定性很难得到有效保证。如该公路第5、6、7、12等标段均不同程度存在这种情况。

以安楚高速公路第12标加筋路堤为例建立有限单元分析模型,坡比为1:0.5,高度为24m,堤顶宽度为15m的路堤模型,计算分析表明,当采用红层软岩素填土路堤时,其稳定系数 $k < 1$,即路堤本身不稳定,将产生滑塌,而采用加筋路堤后,其稳定性大大增强,如当加筋间距为0.5m、筋材 $EA = 3.0 \times 10^3 \text{ kN/m}$ 时,其稳定系数增至1.668,故完全可以保证路堤的稳定。当采用较小的加筋间距或采用较大刚度的筋材时,其稳定性增强的更为显著。对于筋材受力,其特点与缓坡比路堤中筋材的受力特点相似,随筋材单宽刚度的增大而增大,对刚度相同的筋材而言,缩小加筋间距,其所受轴力略有降低,但降低幅度极小。计算分析表明,筋材单宽刚度及加筋间距对路堤稳定性的影响显著,但如果筋材刚度过大,其所受轴向力也增大,有被拉断的可能,因此在筋材类型的选择时应予以特别注意;根据现行《公路路基施工技术规范》(JTJ 033-95)中规定的有关填料粒径及碾压厚度等路堤填筑施工工艺的要求,建议在进行加筋路堤设计中采用0.5~0.8m的加筋间距较为合适。

2.3 斜坡地基路堤加筋处治措施

在安楚高速公路实际工程中,较多地遇到斜坡地基上填筑路堤,采用加筋这种防护措施,可很好地预防路堤病害的发生。

为全面分析加筋对斜坡地基上路堤的防治效果,本文针对岩质斜坡地基上路堤和土质斜坡地基上路堤分别进行加筋有限单元分析。模型中,地基坡比为1:2,路堤边坡坡比为1:1,路堤高度为24m。

分析结果显示,对于岩质斜坡地基上路堤,当不加筋时,路堤边坡在填筑完成时的稳定性系数仅为1.132,而当采用加筋土路堤后,即使加筋间距为0.75m,采用 $EA = 3.0 \times 10^3 \text{ kN/m}$ 筋材,其在填筑完成时的稳定性系数也会增大为2.057,如采用较大刚度的筋材,其稳定性系数增加的更为显著。对于土质斜坡地基,当不加筋时,路堤边坡在填筑完成时的稳定系数为1.212,但采用加筋土路堤后,即使加筋间距为0.75m,采用 $EA = 3.0 \times 10^3 \text{ kN/m}$ 筋材,其在填筑完成时的稳定性系数也会增大为1.508,比不加筋路堤的稳定性系数增大24.4%。但与岩质斜坡地基上加筋路堤不同的是,就该分析模型而言,其加筋

路堤边坡的稳定性并不随加筋筋材刚度的增大而明显增大,由滑面预测结果知,路堤加筋后,其整体强度有了明显的增强,最大可能滑面向下延伸,而位于新填路堤与地基的交界面以下,对该滑动面而言,加筋作用对稳定性的贡献作用已不明显,表现为筋材刚度增大,其稳定性系数基本保持不变,但对于路堤的沉降依然存在一定程度的影响,即筋材刚度增大,竖向向沉降与水平向变形逐渐减小。由此可知,这种情况下,加筋对路堤的贡献主要表现为降低不均匀沉降,防止路堤的开裂变形。

为了实际了解加筋路堤内筋材的作用及验证理论分析的正确性,在云南安楚高速公路第12标段K129+520m断面,埋设了量测筋材变形的柔性位移传感器,并对其长期监测。

图2为现场埋设柔性位移传感器的实际监测的筋材变形曲线,图3为634086#柔性传感器埋设处筋材所受轴向拉力的理论分析曲线。由于筋材所受的轴向力与其变形呈线性关系,故可知理论分析与现场实测的筋材变形及受力规律是一致的。

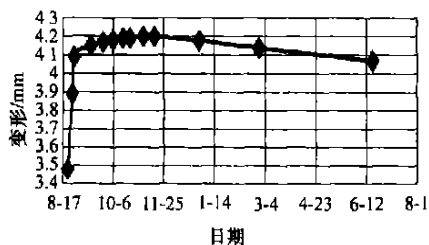


图2 柔性传感器位移变化曲线

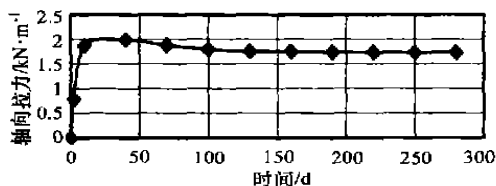


图3 筋材受力理论分析曲线

分析可知,筋材所受轴向拉力在路堤填筑过程中由于荷载的不断增大而随之快速增大,在填筑完成后的一定时期(约1~2个月)内,其所受轴力将继续增大,但速度极慢,之后,又逐渐趋于减小,并最终恒定。与轴向拉伸变形所不同的是,在填筑完成后,轴力继续增大的时间小于其拉伸变形继续增大的时间约1个月左右,即当填筑完成后轴力达到最大值并开始减小的约1个月内,其变形依然继续增大,之后才逐渐减小。这种变形继续缓慢增加而所受轴力却逐渐减小的现象,究其原因是由于筋材的蠕变所致。

2.4 加筋与其它措施的结合处治技术

对于在土质斜坡地基上填筑路堤而言, 由于受地形的限制, 在采用加筋的防治措施时, 仅能在新填筑路堤内铺设筋材, 由于加筋宽度受到限制, 筋材所能产生的拉力也受到极大影响, 因此加筋对路堤病害的防治作用也将大打折扣, 况且新路堤的填筑所产生的附加应力改变了地基的应力状态, 从而可能会造成路堤的整体失稳或产生不均匀沉降, 这时, 就需要采取其它的配套措施以增强加筋对病害的防治作用, 如在加筋的同时采用钢筋锚、砂垫层或碎石桩等。对此, 本文在研究时, 对路堤内加筋材结合钢筋锚的情形进行了数值模拟, 结果显示, 当在土质斜坡地基上路堤内采用加筋结合钢筋锚时, 不仅会大大增加路堤的稳定性, 对于路堤所产生的不均匀沉降也会起到很大的抑制作用, 从而从根本上大大增强路堤病害的防治效果。

由于本文所进行的研究是基于安楚高速公路而进行的, 因此该项研究成果取得后, 及时对安楚高速公路相关标段进行了设计变更, 如该公路第6、7标段等均应用了该项研究成果。在该公路第7标段K86+390~+481.7m段, 即是斜坡地基上填筑路堤, 该段采用了土工格栅结合钢筋锚的处治措施, 其中加筋间距为0.6m, 钢筋锚采用 $\phi 22$ 砂浆锚, 钢筋锚长度为425cm, 钢筋锚一端打入斜坡地基内, 另一端在新填路堤与地基结合处焊接纵向钢筋, 新填路堤中铺设的土工格栅固定于纵向钢筋上, 这样即大大提高了土工格栅对新填路堤的作用力。对采用了该项研究成果的标段所进行的后期监测结果显示, 这些路段路堤的沉降变形很小, 说明加筋与钢筋锚结合的防治措施对路堤稳定及变形的防治效果是非常显著的。

根据前面对路堤变形的理论分析结果知, 沉降速率及其变化特征与路堤本身的渗透系数密切相关。透系数越大, 沉降变形历时越短, 反之, 沉降变形历时越长。因此, 采用透水性良好的填料填筑路堤, 或者每隔一定高度(如5m左右)填筑一层透水性良好的填料, 可以加快填方路基的固结沉降速率, 减少工后

沉降。该研究结果可同样应用于加筋路堤中, 如在加筋路堤中, 若路堤填料的渗透系数较小, 其固结沉降变形将很缓慢, 这时, 可在路堤中设置砂垫层或碎石桩, 不仅可以增加路堤自身的强度, 另一方面还可大大路堤内水的排出速度, 加快路堤的固结沉降速率, 减少工后沉降变形量。这对于路堤病害的防治是极为有利的。安楚高速公路第5、6标段即及时采用这种防治措施, 如第5标段K70+560~650m段即采用碎石垫层+土工布, 其中碎石垫层厚度约为150cm, K70+560~650m段还采用了碎石桩+碎石垫层+土工布的处治措施。这些措施实施后, 为路堤内水的及时排出提供了良好的通道, 工后所进行的沉降观测结果显示, 该项防治措施对减小路堤的工后沉降作用是非常明显的。

3 结语

本文以云南安楚高速公路为依托工程, 研究了红层软岩路堤填料的基本特性, 分析不同地基条件下红层软岩公路路堤的稳定与沉降变形规律, 并在此基础上, 研究并针对性提出了红层软岩公路路堤病害的加筋处治措施, 并将研究成果及时应用于安楚高速公路建设实际中, 监测结果显示, 这些防治措施对于红层软岩公路路堤的病害防治效果是非常显著的, 从而使科研工作真正达到了为生产实际服务的目的。

参考文献:

- [1] 邓卫东. 山区高路堤的破坏与变形形态 [C]. 全国山区地基基础学术会议论文集, 重庆: 重庆大学出版社, 1997.
- [2] 武明. 安楚试验路土石混合非均质填料的力学特性研究 [J]. 云南公路科技, 1995 (1).
- [3] 刘特洪, 林天健. 软岩工程设计理论与施工实践 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [4] 郑治. 填石料的长期变形性能模拟试验研究 [J]. 中国公路学报, 2001 (4).
- [5] 郭庆国. 粗粒土的工程特性及应用 [M]. 河南: 黄河水利出版社, 1998.