

文章编号:1001-5485(2010)11-0033-07

丘陵山区农村道路路基稳定性及影响因素研究

修维宁¹,魏朝富¹,张仕超¹,张平仓²,丁文峰²

(1. 西南大学 资源环境学院 三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400715;

2. 长江科学院 水土保持研究所,武汉 430010)

摘要:从土壤条件、工程地质条件和水文及水文地质条件3方面,阐述了道路路基稳定性及其影响因素。路基填土稳定性主要依赖土体粘聚力和内摩擦角,而承载力取决于填土含水量和压实度;道路沿线岩石的种类、风化程度和裂隙情况,岩石走向、倾向、倾角、层理和岩层厚度,有无夹层或遇水软化的夹层以及有无断层或其他不良地质现象等,都对路基稳定性有一定的影响;水的渗透不仅产生渗透力对土体造成破坏,更能降低土体的抗剪强度等。这些研究成果对丘陵山区农村道路的路基设计具有重要的理论价值。

关键词:路基;稳定性;承载力;渗透性

中图分类号:U416

文献标识码:A

农村道路作为直接服务于农民生活与生产活动的农业基础设施,把握着农业生产农机化水平、农民生活水平及农村社会经济的重要命脉,是新农村建设的基本途径^[1]。但我国农村范围广、人口多,农村道路建设要受到社会经济条件的约束,其建设相对滞后且质量水平较低。路基承受着土体自重和路面结构静荷载,又承受由路面传递下来的人畜行车动荷载,作为道路的承重主体,路基稳定性的好坏影响着道路整体质量的水平。道路网的空间延伸需穿越有不同水文、地质等条件的区域,而路基的稳定性在很大程度上取决于不同区域的这些自然条件^[2]。我国丘陵山区地形地貌、水文地质环境复杂,岩性多样,从而造成农村道路路基土体的力学特性各异,因而,对不同自然条件下路基稳定性设计提出了更高的要求。如路基的材料选用、软路基的填充压实、路基沉降坍塌与拓宽垫高、路基边坡防滑稳定、路基的防护与加固、路基排水、路基的施工工艺等处理技术^[3,4]。目前,道路路基设计及特定情景的处理技术^[5-8]、施工工艺及质量的控制技术^[9-11]研究多停留在投资大、技术支撑强的铁路、公路、市政道路的建设,而对区域自然条件依赖更大的农村道路路基的稳定性分析与设计的研究较少,为此,本文在总结国内外道路路基建设的经验基础上,概述了不同土壤条件、工程地质条件,水文和水文地质条件下道路

路基稳定性及其设计,可为农村道路路基建设提供理论基础。

1 土壤条件对路基的影响

路基工程材料较多,包括条石、块石、碎石、电石渣、水泥粉煤灰及石灰粉煤灰碎石与砂砾等^[12,13],但土是道路路基建设的最根本的基础材料。尤其是农村道路路基,受到自然条件和社会经济条件的约束较大,路基建设更与土壤条件密不可分。土壤与其他连续介质的建筑材料相比,具有压缩性高、抗剪强度低以及透水性大3个显著的工程特性,同时,土类多而复杂,且不同土类的成因、成分、颗粒大小、级配、结构等均不同,从而造成其力学性质、工程性质也不同,因而直接影响到路基的强度和稳定性^[14],这也给土应力应变关系的确定、路基变形和稳定性的计算与分析带来了困难。土壤性质对路基稳定性的影响主要分为土壤性质对土体抗剪强度的影响和土壤性质对土体承载力的影响。

1.1 路基土体稳定性

由路基填方或路基挖方形成的边坡,在各种自然因素或者人为因素的作用下,边坡土体的力学平衡破坏时,土体就会沿着其中某一滑面产生滑动。这种破坏主要是由于土坡中土体的剪应力达到了土

收稿日期:2010-09-10

基金项目:国家科技支撑计划课题(2008BAD98B02)

作者简介:修维宁(1984-),男,山东海阳人,硕士研究生,主要从事土壤工程与技术方面研究工作,(电话)023-68216497(电子信箱)xiuweining@qq.com

通讯作者:魏朝富(1962-),男,四川乐山人,教授,博士生导师,主要从事土壤物理学、土地利用与生态过程方面研究,(电话)023-68251249(电子信箱)weicf@swu.edu.cn。

的抗剪强度,以致在土坡内形成了连续的滑动面,其上的土体沿剪切面发生滑动破坏。因此,对路基土体的稳定性分析主要是对路基土体抗剪强度的分析,而土体的抗剪强度指标主要是粘聚力和内摩擦角,这样,分析土壤性质对路基土体稳定性的影响主要是分析土体粘聚力和内摩擦角与土壤性质的关系。土壤水可以通过影响土体中粘土矿物的胀缩性和收缩性来影响路基土体的稳定性,膨胀土的膨胀量与含水量成反比,收缩量与含水量成反比,膨胀土体的含水量减小,摩擦力和内摩擦角也会随着增大^[15]。在强度方面,土体的粘聚力随干密度减小和含水率增加显著降低,而密实度和含水率对内摩擦角的影响不太显著。土体的粘聚力随干密度、含水率的变化规律具有较好的相关性^[16,17]。

路基填土是一种不均匀的和非连续的中低压缩性土,其土力学性质及处理技术需要考虑土体物理性质和基本力学性质,涉及天然含水量、最佳含水量、最大干密度、液限、塑限、塑性指数、压缩特性、无侧限抗压强度、三轴抗剪强度和弹性模量等^[14-18]。路基的稳定性随着填土层或软土层内聚力和内摩擦角的增大而增加,随着填土重度的增大而减小,在一定厚度范围内,随下卧层厚度增大而减小,高水位和高路堤都在一定程度上降低了路基的稳定性^[19]。路基填筑过程中,淤泥路基的强度增长要考虑不同位置增长速率差异,因此,需分级填筑施工,以保证淤泥路基的预压工程安全合理^[20]。

填方高度、地下水和填土粘聚力是影响路基稳定的较敏感因素^[21],而影响填方边坡整体稳定性主因子是地形坡度和填土内摩擦角以及二者之间的定性关系^[22]。地形坡度较大时,采用降低填方高度的方法不能保证填方边坡的整体稳定性,此时应采用如开挖台阶填方、设置路肩墙、半路半桥等处理措施保证路基稳定性,填方岩土内摩擦角必须大于地形坡角,否则边坡将处于失稳状态。而地形坡度等条件一定时,路基稳定系数随填方高度的增加而迅速减小。填方高度较小时,路基基本不存在稳定性问题,随着填方高度的增加,路基渐趋于不稳定直至失稳破坏,因此填方高度对路基稳定性影响很大^[21]。

1.2 路基土体承载力

路基回弹模量是反映路基承载能力的主要力学参数,多用于分析不同路基土的含水量、压实度等对路基承载能力的影响。压实可以提高土的密实程度,降低其透水性和压缩性,可以提高路基土体的稳定性。

提高低液限粘土路基的压实度,可有效提高路

基的回弹模量。粉砂土的变形与强度性质随路基压实系数和含水率的变化而变化。黄河冲积粉土的颗粒级配不良,难于压实,压实后空气体积率较大。最佳含水率条件下,压实系数为0.90的粉土变形为软化型,随着含水率增加,试样的变形性状逐渐由软化型转变为硬化型,尤其围压高、含水率大时,塑性剪切位移更大;压实系数不超过0.85、含水率不低于最佳含水率的试样,变形均为硬化型。压实粉土的粘聚力随压实系数减小或含水率增加显著降低,而内摩擦角的变化不大。压实粉砂土湿化变形,土体的压实系数对变形量影响显著^[16,17]。不同土质的回弹模量对含水量变化的敏感性不同,其中粘土最强,粉土其次,砂砾土最弱。不同土质情况下,在压实度不变时路基回弹模量随含水量的变化而变化。当含水量低于最佳含水量时,回弹模量随压实度的增加而增加;当含水量大于最佳含水量时,回弹模量随压实度的增加而减小;含水量越大,减小的幅度越大^[23,24]。路基基底承载力与基底压实度和含水量间存在很强的相关性。

存在一个最佳含水量,当基底土含水量不大于最佳含水量时,随着压实度的增加,承载能力也逐渐增大;当基底土含水量大于最佳含水量时,基底承载力和压实度的关系线将出现一个峰值(对应的压实度为临界压实度),当压实度小于临界压实度时,基底承载力随压实度增大而增大,当压实度大于临界压实度时,基底承载力随压实度增大而减小。当基底土含水量继续增大到一定数值后,基底承载力就随压实度的增大而不断减小^[25]。基础压实时,应考虑水在土中的物理状态及其与压实功能的关系,并确定填料含水量、最优碾压系数、含水量控制范围和碾压系数,以使基础填土做到既经济又满足密实度要求,保证路基工程质量和使用年限^[26-29]。

2 工程地质条件对路基的影响

道路沿线的地质条件,如岩石的种类、成因、节理,风化程度和裂隙情况,岩石走向、倾向、倾角、层理和岩层厚度,有无夹层或遇水软化的夹层、以及有无断层或其他不良地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震等)都对路基稳定性有一定的影响^[2]。

2.1 道路沿线地质条件对路基的影响

道路沿线的工程地质条件对路基的稳定性及设计的影响较大。如冲积湖平原工程地质区地质条件差,上覆土层以全新统软土、软弱土为主,连续分布,埋深浅,属中-厚层软(弱)土,厚度、分布形态变化

均较大,为该区主要特殊土层,一般路基和构筑物基础需要加固处理。

堆积阶地工程地质区工程地质条件良好,上覆土层以上更新统下蜀土为主,层位稳定,厚度大,物理力学性质良好,是路基和一般浅基础的良好持力层^[30]。风化岩作为路基填料,最大粒径宜控制在 20 cm 以内,虚铺应控制在 30 cm 以内,当颗粒粒径大于 40 mm 时,应采用大型振动压路机,使土的结构呈骨架密实或骨架悬浮结构,尽量避免骨架空隙结构^[31]。强风化软岩路基填料具有良好的压实性能^[32],如泥质千枚板岩、砂质千枚板岩与泥质粉砂岩等^[33],但压实度为 90% 时,在较大的偏应力作用下,湿化不仅产生较大的附加轴向应变,而且还能引起相当大的附加体变和偏应变,湿化使填土的强度降低^[34],当然只要方法得当,施工工艺合理,可用于公路路基填筑^[35]。千枚状板岩强度低,抗风化能力、抗水性及抗变形能力较差^[36],但全风化体抗剪强度性能较好,路基填筑压实后不易沉降,采用 1:1.5 的路基边坡坡度进行填筑,边坡基本稳定,且从回弹模量值看,千枚状板岩能满足路堤在刚度和强度方面的要求^[37]。层状或具有密集定向节理的岩体,节理面的厚度较小,在受压时裂隙可能闭合,填充物可能压密,受拉时易于脱开,受剪时上、下两壁往往沿软弱面发生相对错动,在道路建设中若处理不当,路基也会失稳破坏^[38]。在不同的岩层倾角与岩体层面抗剪强度下,顺层坡的稳定性受岩层产状、岩体中软弱面的抗剪强度参数、路基边坡开挖深度控制,若顺向坡的岩层产状越陡,边坡的临界开挖深度越浅;越缓则临界开挖深度越深。同时,岩体中软弱面的抗剪强度参数越高,边坡的临界开挖深度越深;越低则临界开挖深度越浅^[39]。

2.2 不良地质条件对路基的影响

土洞、溶洞及危岩等不良地质情况对路基稳定性和运营安全性存在较大影响,为此必须进行填充加固处理。岩溶充填基底加固后,基底最大变形量大幅度减小。如水泥浆体在填土体中的扩散,凝固后的浆体可形成骨架,使得原有溶洞内的淤泥状承载力提高。岩腔的存在既降低了地基的稳定安全系数,又造成了路基的不均匀变形,为此必须对岩腔进行填充处理,且填充时要确保填充的片石混凝土与岩腔顶部的岩体结合紧密,并且在岩腔底部要进行一定的排水设计^[40]。岩堆地段的地质结构松散,空隙度大,其组成结构很不均匀,在自重和附加荷载作用下容易产生不均匀沉降,岩堆地段的地质结构松散,空隙度大,其组成结构很不均匀,在自重和附加

荷载作用下容易产生不均匀沉降。岩堆自然固结时间越长越密实,岩堆路基的工后沉降越小,反之则越大;而在岩堆土体密度相同或相近的条件下,岩堆的含石量越大,其工后沉降反而越小;另外,相同土石比和密度的岩堆,其高度越大,沉降也越大但不成比例关系增加^[41]。钢筋砼盖板跨越无填充类型溶洞时,砼盖板最大拉应力值为 0.54 MPa,路基经过处理后最大变形量由处理前的 13.32 cm 下降至 0.52 cm^[42]。路堤不均匀沉降和路基失稳作为岩溶路基病害的具体表现,而石芽、漏斗、洼地、溶洞、溶隙、岩溶泉等多种岩溶形态具有尺度效应,不同地段岩溶路基的具体处理措施也应各异^[43]。

随着道路施工扰动、新荷载的剧增,往往滋生路基岩隙裂缝、山体滑坡等地质灾害,为此,要做好裂缝表面的封闭、排水工作,分段设置预应力锚杆(索)抗滑桩,修建河流调治构造物(堤坝、丁坝、稳定河床等)及修建浸水挡土墙处理且挖方路基尽量不用爆破方式进行,填方路基尽量少用带强夯的振动机械,同时加强监测与提前预警^[44]。

3 水文和水文地质条件对路基的影响

3.1 水文条件对路基的影响

水文条件是指道路沿线地表水的排水状况,河流洪水位,有无地表积水和积水期的长度,河岸的淤积情况等。在洪水期间,河水水位上升,作用于路基侧面的静水压力增大、河流流量增大、流速加快、河水对沿河路基的冲刷作用增强,因此路基更加容易发生失稳破坏,但冲刷作用的强弱程度除与河流的水文条件密切相关外,主要受河流与路线的位置关系和路基岩土体的性质等因素控制^[45]。水是诱发路基失稳破坏的最重要的因素。水对浸水路基的破坏主要体现在静水浮力使土体有效重力减少,动水渗透力可以使土体颗粒受到渗流方向的拖拉力,加大剪应力,且有可能随水流被带走,另外,路基中水对路基边坡有浸泡软化的作用从而降低路基边坡的抗剪强度^[46]。浸水路基遭受洪水的浸泡、冲刷和淘蚀,在水位暴涨时,路堤上、下游的水位差较大,在路堤内将产生水的渗透压力,使路堤稳定性降低^[47]。顾德银还针对道路路基穿过不干涸水塘的特殊情况,提出强夯法对抛填炮渣石的夯实处理、过渡层天然砂砾的填筑以及加荷载预压减小工后沉降的施工技术^[48]。

3.2 水文地质条件对路基的影响

水文地质条件是指如地下水位、地下水移动的

规律,有无层间水、裂隙水、泉水等。所有这些地面水及地下水都会影响路基的稳定性,如处理不当,常会引起各种病害^[2]。水对土体的浸湿、饱和及冲刷作用,常常会造成土体的强度降低,导致路基的各种病害发生,如:基床产生翻浆冒泥、下沉和冻害,路基边坡产生滑动和坍塌等,影响线路的正常运营。水在土中渗流时,受到土颗粒的阻力作用,水流同时也会有一个相反的力作用在土颗粒上,形成了渗透力,渗透力的存在对路基工程设计有非常重要的影响,因渗透力使土壤颗粒流失或局部土体产生移动,导致土体变形甚至失稳,渗透力还可降低岸坡滑动或挡土墙等构筑物的整体稳定性。

路基在地表水和地下水的作用下,其强度降低。要保持路基的稳定,必须使路基能经常处于干燥和坚固状态,应将可能停止在路基范围内的地面和地下水即时排除,并防止路基范围以外的水流入或渗入路基范围内。随着地表水入渗强度的逐渐增大,基础内部水流流速和孔隙水压力也逐渐增大,并由基础顶部开始从非饱和状态转变为饱和状态,饱和状态的范围逐渐向下增大,破坏路基稳定性。因此,控制道路基础稳定的关键是控制孔隙水压^[49],同时,水的渗流作用对路基的稳定性也是致命的,无粘性土的土坡只有当坡角小于无粘性土的内摩擦角时,土坡才稳定,而粘性土的稳定性则随着动水力的增大而减小^[50]。地下水的动态变化和渗流状态的变化,将影响路基岩土体内的孔隙水应力、有效应力的分布和分布等路基岩土体的物理力学性质,因而也就影响路基岩土体的稳定性和路基挡墙的稳定^[51,52]。要采取各种有效防治地下水对路基的侵害的措施:提高路基标高、降低地下水位、加强路基压实、不良土质地基换填、设置路基的隔离垫层^[53];完善路基排水设施如采用拦截、汇集、隔离和导流等形式利用天然砂砾、盲沟、暗沟、渗沟、深边沟等排除地下水^[54];设置路堑边坡利用软式透水管^[55]等。因此,要从材料、施工、防护与加固等方面提出浸水路路基防治加固处理措施,以使路基稳定性得到保障^[56]。

4 结 语

丘陵山区地形切割厉害,耕地破碎,旱坡地多,水田少,水土流失较严重而水土保持设施不足,路基穿越坡耕地、水田、鱼塘、河塘地段普遍,且多为软土路基。随着农村社会经济的发展,农业机械化、现代化以及新农村建设的推进;农村人流量、车流量迅速增加,也对农村道路路基承载力和稳定性的要求越

来越高。目前国内外就土壤性质对路基稳定性及设计的影响,主要从土壤的质地、颗粒级配、三相比例指标、土的密实度、土的渗透性、土的压实性、土的压缩性、土的抗剪强度和土压力等方面进行特殊路基土的研究。如膨胀土路基、黄土路基、多年冻土路基、软土路基以及盐渍土;工程地质研究集中于软岩路基的压实性、承载力等分析及其路基处理技术,重点针对不良地质条件下路基稳定性设计;水文和水文地质主要集中在地表水和地下水对路基的影响及其防治方面。这些研究成果对农村道路路基稳定性及设计具有重要的理论价值。

参考文献:

- [1] 李 丽,吴群琪,张跃智.农村道路对农业现代化发展的影响分析[J]. 长安大学学报(社会科学版), 2008, 10(3):22-26. (LI Li, WU Qun-qi, ZHANG Yue-zhi. Influence of the country road on country modernization [J]. Journal of Chang-an University (Social Science Edition), 2008, 10(3):22-26. (in Chinese))
- [2] 刘建坤,曾巧玲,侯永峰,等.路基工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2006 (LIU Jian-kun, ZENG Qiao-ling, HOU Yong-feng. Subgrade Engineering [M]. Beijing: Architectural Industry Press of China, 2006. (in Chinese))
- [3] 罗 竟,邓廷权.路基工程现场施工技术[M]. 北京:人民交通出版社, 2004 (LUO Jing, DENG Ting-quan. Live Construction Feature of Subgrade Engineering [M]. Beijing: People Transportation Press, 2004. (in Chinese))
- [4] 郭书云.铁路膨胀土路基的设计研究[J]. 山西建筑, 2009, 35(15):270-271. (GUO Shu-yun. The study on design for expansive soil foundation on railways [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(15):270-271. (in Chinese))
- [5] 王多青.青藏铁路望昆-布强格段多年冻土路基设计[J]. 资源环境与工程 2009, 23(增刊):143-147. (WANG Duo-qing The design of frozen soiled subgrade in Kun-Bu Part, Qinghai-Tibet Railway [J]. Resources Environment & Engineering, 2009, 23(supp):143-147. (in Chinese))
- [6] 刘永胜,李 毅.广西山区高速公路分离式路基设计实践[J]. 西部交通科技, 2009, (9):166-172. (LIU Yong-sheng, LI Yi. The designing and application of discrete highway roadbed in Guangxi's Mountain Area [J]. Western China Communications Science & Technology, 2009, (9):166-172. (in Chinese))
- [7] 李坤明.高填方多级挡土墙路基设计及施工[J]. 科技促进发展, 2009, (4):90-91. (LI Kun-ming. Designing and application of subgrade which is high fill and multiple retaining wall [J]. Science Promote Development, 2009, (4):90-91. (in Chinese))
- [8] 陈致远.市政道路有关膨胀土地段的路基处理技术[J]. 科技创新导报, 2008, (27):97. (CHEN Zhi-yuan. Treatment technology on inflated municipal road

- [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2008, (27): 97. (in Chinese))
- [9] 付治国. 关于路基改善土在公路施工中应用的研究[J]. 山西建筑, 2009, 35(4): 301 - 302. (FU Zhi-guo. Research of road foundation improving soil in highway construction [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(4): 301 - 302. (in Chinese))
- [10] 张敬伟. 浅谈市政道路工程路基施工质量控制[J]. 中国新技术新产品, 2009, (1): 71. (ZHANG Jing-wei. Control on the quality of subgrade municipal road project [J]. China New Technologies and Products, 2009, (1): 71. (in Chinese))
- [11] 张泰安. 过、强盐渍土地区路基施工工艺试验研究[J]. 西部探矿工程, 2009, (1): 200 - 201. (ZHANG Tai-an. Research on crafts of subgrade construction on over and strong salty area [J]. West-China Exploration Engineering, 2009, (1): 200 - 201. (in Chinese))
- [12] 田永, 刘彩红, 刘海燕. 电石渣制作公路路基材料的生命周期评价及经济性分析[J]. 黑龙江环境通报, 2008, 32(2): 64 - 66. (TIAN Yong, LIU Cai-hong, LIU Hai-yan. Life cycle assessment and economic analysis of base material made from carbide slag [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2008, 32(2): 64 - 66. (in Chinese))
- [13] 张永德, 韩庆华, 魏建明. 重交通下路基材料抗冲刷性能的研究[J]. 交通标准化, 2009, (z1): 99 - 102. (ZHANG Yong-de, HAN Qing-hua, WEI Jian-ming. Scour resistance of subgrade materials under heavy traffic [J]. Transport Standardization, 2009, (supp): 99 - 102. (in Chinese))
- [14] 刘红军, 程显春, 马介峰. 多年冻土的力学性质[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(2): 102 - 103. (LIU Hong-jun, CHENG Xian-chun, MA Jie-feng. Mechanic property of perennial frozen earth [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2005, 33(2): 102-103. (in Chinese))
- [15] 秦勤, 徐建东, 程华龙, 等. 公路工程特殊地基处理技术[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2007. (QIN Qin, XU Jian-dong, CHENG Hua-long, et al. Treatment Technology of Special Subgrade of Road Engineering [M]. Hefei: Hefei Industrial University Press, 2007. (in Chinese))
- [16] 钱春香, 刘建坤, 肖军华. 铁路粉土路基土的变形与强度特性试验研究[J]. 铁道建筑技术, 2007, (6): 66 - 69. (QIAN Chun-xiang, LIU Jian-kun, XIAO Jun-hua. Test study on deformation and strength behaviors of compacted silt soil of railroad subgrade [J]. Railway Construction Technology, 2007, (6): 66 - 69. (in Chinese))
- [17] 肖军华, 刘建坤, 彭丽云, 等. 黄河冲积粉土的密实度及含水率对力学性质影响[J]. 岩土力学, 2008, 29(2): 409 - 414. (XIAO Jun-hua, LIU Jian-kun, PENG Li-yun, et al. Effects of compactness and water content of Yellow River alluvial silt on mechanical behaviors [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(2): 409 - 414. (in Chinese))
- [18] 黄明奎, 张学福, 王成. 多年冻土区路基填土力学参数实验研究[J]. 重庆交通大学, 2008, 27(3): 413 - 415. (HUANG Ming-kui, ZHANG Xue-fu, WANG Cheng. Experimental study on mechanical parameters of the roadbed filling with permafrost [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2008, 27(3): 413 - 415. (in Chinese))
- [19] 黄雨, 江溪苗, 刘高. 软土路基稳定性影响因素分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(2): 372 - 377. (HUANG Yu, JIANG Xi-miao, LIU Gao. Influence of some factors on the stability of soft soil subgrade [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(2): 372 - 377. (in Chinese))
- [20] 向先超, 朱长岐. 考虑强度增长的淤泥路基稳定性研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2008, 30(6): 60 - 63. (XIANG Xian-chao, ZHU Chang-qi. Research on silt roadbed stability considering shear strength increment [J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2008, 30(6): 60 - 63. (in Chinese))
- [21] 刘建磊, 仉磊, 习晓红. 半填半挖路基稳定性影响因素灵敏度分析[J]. 中外公路, 2009, 29(2): 26 - 28. (LIU Jian-lei, NAI Lei, XI Xiao-hong. Analysis of sensitive factor on the stability of cut and filled subgrade [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2009, 29(2): 26 - 28. (in Chinese))
- [22] 周娟, 仉磊. 影响半堤半填方边坡整体稳定的因素分析[J]. 路基工程, 2007, (6): 104 - 105. (ZHOU Juan, NAI Lei. Analysis on entirety stability factors of part-cut and part-filled slope [J]. Subgrade Engineering, 2007, (6): 104 - 105. (in Chinese))
- [23] 龙海翔, 刘涛, 兰伟. 路基土回弹模量湿度调整系数研究[J]. 公路工程, 2009, 34(1): 67 - 71. (LONG Hai-xiang, LIU Tao, LAN Wei. Study on adjusting factor of resilient modulus of subgrade soil [J]. Central South Highway Engineering, 2009, 34(1): 67 - 71. (in Chinese))
- [24] 欧伟宾. 含水量对路基回弹模量影响分析[J]. 广东建材, 2009, 32(6): 215 - 216. (OU Wei-bin. Analysis on rebound of subgrade by water content [J]. Guangdong Building Materials, 2009, 32(6): 215 - 216. (in Chinese))
- [25] 闵涛, 熊彬彬, 李启. 压实度与含水量对路基基底承载力影响的研究[J]. 山西建筑, 2008, 34(11): 18 - 19. (MIN Tao, XIONG Bin-bin, LI Qi. Influence of compactness and water-content on the subgrade bearing capacity [J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(11): 18 - 19. (in Chinese))
- [26] 曹著. 粘性土路基的施工[J]. 山西建筑, 2008, 34(1): 111 - 112. (CAO Zhu. Construction of clay soil subgrade [J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(1): 111 - 112. (in Chinese))
- [27] 胡雪梅. 土质对路基压实度控制的影响[J]. 中国西部科技(学术版), 2007, (4): 25 - 26. (HU Xue-mei. Influence of soil quality on the control of subgrade compactness [J]. Science and Technology of West China, 2007, (4): 25 - 26. (in Chinese))
- [28] 金元德. 路基土的压实度分析[J]. 山西建筑, 2006,

- 32(11):307-308. (JIN Yuan-de. Analysis on the compactness of roadbed soil[J]. Shanxi Architecture, 2006, 32(11):307-308. (in Chinese))
- [29] 张明清. 影响路基整体强度及稳定性的因素和防范措施[J]. 山西建筑, 2007, 33(5):285-286. (ZHANG Ming-qing. The factors influenced integral strength and stability of roadbed and their preventive measure[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(5):285-286. (in Chinese))
- [30] 唐善普, 胡光伟. 扬溧高速路基岩土工程地质特性勘察与分析[J]. 西部探矿工程, 2006, 26(增刊):15-16. (TANG Shan-pu, HU Guang-wei. Investigation and analysis of geology features in the Yang-Li highway subgrade project[J]. West-China Exploration Engineering, 2006, 26(supp):15-16. (in Chinese))
- [31] 侯春艳. 路基风化岩石压实标准及检测方法探讨[J]. 湖南交通科技, 2008, 34(1):70-71. (HOU Chun-yan. Discussion of compactedness standard and detection method of weathered rock in roadbed[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2008, 34(1):70-71. (in Chinese))
- [32] 刘新喜, 夏元友, 刘祖德, 等. 强风化软岩路基填筑适宜性研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(6):903-907. (LIU Xin-xi, XIA Yuan-you, LIU Zu-de, *et al.* Study on suitability for embankment of highly weathered soft rock subgrade[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(6):903-907. (in Chinese))
- [33] 熊跃华. 路基软质岩块填料室内试验研究[J]. 路基工程, 2009, (3):32-33. (XIONG Yao-hua. Research on soft stone filler of subgrade[J]. Subgrade Engineering, 2009, (3):32-33. (in Chinese))
- [34] 蔡俊杰, 刘新喜. 强风化软岩用于路基填土时的工程特性研究[J]. 湖南城市学院学报(自然科学版), 2006, 15(1):10-13. (CAI Jun-jie, LIU Xin-xi. Study on engineering character of embankment of subgrade with highly weathered soft rock[J]. Journal of Hunan City University(Natural Science), 2006, 15(1):10-13. (in Chinese))
- [35] 张廷明, 王新增. 强风化岩填筑路基施工技术与质量控制[J]. 公路与汽运, 2008, (2):84-86. (ZHANG Ting-ming, WANG Xin-zeng. Construction technique and quality control of embankment of subgrade with highly weathered rock[J]. Highways and Automotive Applications, 2008, (2):84-86. (in Chinese))
- [36] 郑明新, 方 焘, 刁心宏, 等. 风化软岩填筑路基可行性室内试验研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(增刊):54-56. (ZHENG Ming-xin, FANG Tao, DIAO Xin-hong, *et al.* Experimental study on feasibility of filled subgrade with weathered soft rock[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(supp):54-56. (in Chinese))
- [37] 但汉成, 李 亮, 胡 萍, 等. 风化软岩路基填料击实工程特性室内试验研究[J]. 铁道学报, 2009, 31(4):75-81. (DAN Han-cheng, LI Liang, HU Ping, *et al.* Laboratory experimental study on compaction engineering characteristics of weathered-soft-rock subgrade filling materials[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(4):75-81. (in Chinese))
- [38] 况 漠, 尹 璐. 基于无限元的含节理路基的非线性分析[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2008, 7(2):75-77. (KUANG Mo, YIN Lu. Nonlinear analysis of joint in roadbed based on infinite element theory[J]. Journal of Guangzhou University(Natural Science Edition), 2008, 7(2):75-77. (in Chinese))
- [39] 黄 勇, 章 斌. 山区公路路基顺坡层岩体稳定性分析及施工[J]. 山西建筑, 2008, 34(7):277-278. (HUANG Yong, ZHANG Bin. Stability analysis on along slope rock mass of mountain-adjacent roadbed in mountain highway and construction control[J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(7):277-278. (in Chinese))
- [40] 丁春林, 甘百先, 钟辉虹, 等. 含土洞、溶洞的机场滑行道路基稳定性评估[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(8):1329-1333. (DING Chun-lin, GAN Bai-xian, ZHONG Hui-hong, *et al.* Stability evaluation of air-field runway subgrade containing earth caves and karst[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(8):1329-1333. (in Chinese))
- [41] 王方杰, 邱陈瑜. 基于有限元强度折减法的岩腔路基稳定性分析[J]. 城市道桥与防洪, 2009, (10):62-64. (WANG Fang-jie, QIU Chen-yu. Stability analysis of rock cavity roadbed based on strength reduction finite element method[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2009, (10):62-64. (in Chinese))
- [42] 杨锡武, 赵明阶, 王昌贤. 岩堆路基沉降稳定性及处治方法的离心模型试验研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2009, 28(2):236-240, 322. (YANG Xi-wu, ZHAO Ming-jie, WANG Chang-xian. Experimental study on the sedimentation stability and its treatment for cliff debris subgrade by centrifuge model test[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2009, 28(2):236-240, 322. (in Chinese))
- [43] 方 涛. 溶洞路基稳定性分析研究[J]. 公路工程, 2009, 34(2):147-152, 168. (FANG Tao. Study on stability analysis of subgrade in karst zone[J]. Highway Engineering, 2009, 34(2):147-152, 168. (in Chinese))
- [44] 袁红庆, 王再喜, 汪海生, 等. 高速公路岩溶路基处理措施研究[J]. 华东交通大学学报, 2007, 24(2):33-36. (YUAN Hong-qing, WANG Zai-Xi, WANG Hai-sheng, *et al.* Study on the disposal measures of karst subgrade in express highway[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2007, 24(2):33-36. (in Chinese))
- [45] 全志刚. 路基岩隙裂缝的形成分析、调查验证及防治措施[J]. 中国水运, 2009, 9(9):218-220. (QUAN Zhi-gang. Investigation verification and prevention measures on stone crack of subgrade[J]. China Water Transport, 2009, 9(9):218-220. (in Chinese))
- [46] 黄玉和. 沿河土质路基稳定性影响因素分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(增刊):960-963. (HUANG Yu-he. Analysis on factors affecting stability of soil roadbed along river[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2008, 27(supp):960-963. (in Chinese))

[47] 孙巧银. 浸水路基的稳定性研究[D]. 西安:长安大学, 2005. (SUN Qiao-yin. Stability analysis of soaking subgrade[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005. (in Chinese))

[48] 郭筱薇. 浸水路基的工程特点和稳定性分析[J]. 黑龙江科技信息, 2009, (8):221. (GUO Xiao-wei. Analysis on the stability and project feature of soaking subgrade[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2009, (8):221. (in Chinese))

[49] 顾德银. 道路路基穿过水塘的施工技术处理方案[J]. 中国高新技术企业, 2009, (6):182 - 184. (GU De-yin. Handle method on construction technology of subgrade across ponds [J]. Chinese Hi-tech Enterprises, 2009, (6):182 - 184. (in Chinese))

[50] 杨大勇, 高 玮. 地表水入渗下道路基础稳定性研究[J]. 路基工程, 2008, (6):158 - 159. (YANG Da-yong, GAO Wei. Research on fundamental stability of surface water infiltration [J]. Subgrade Engineering, 2008, (6):158 - 159. (in Chinese))

[51] 虞 挺, 吴道尧. 渗流水对路基稳定的影响分析[J]. 水运工程, 2007, (6): 90 - 93. (YU Ting, WU Dao-yao. Influence of seepage water on subgrade's stability [J]. Port & Waterway Engineering, 2007, (6): 90 - 93. (in Chinese))

[52] 冯五一, 王俊杰, 柴贺军. 水位升降对岩质路基边坡稳定性的影响分析[J]. 交通运输标准, 2009, (5): 225 - 227. (FENG Wu-yi, WANG Jun-jie, CHAI He-jun. Effect of rise and fall of river water level on stability of rock subgrade bank slope[J]. Transport Standardization, 2009, (5):225 - 227. (in Chinese))

[53] 王 燕. 水对高速公路路基影响的探讨[J]. 山西建

筑, 2009, 35(30):290 - 291. (WANG Yan. Discussion on the Influences of water on roadbed of expressway [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(30):290 - 291. (in Chinese))

[54] 孔小玲. 浅谈山区公路路基的地下水害防治[J]. 湖南交通科技, 2005, 31(3):9 - 10. (KONG Xiao-ling. Prevention the damage of underground water to road in hill area[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2005, 31(3):9 - 10. (in Chinese))

[55] 阿布拉·米吉提. 浅谈地下水对公路路基的影响与防治[J]. 民营科技, 2009, (9):181. (A Bu La · Mi Ji-ti. Prevention and influence on the danger of underground water to subgrade[J]. Private Technolgy, 2009, (9):181. (in Chinese))

[56] 张学志, 杜国臣, 纪小飞. 排除路基地下水问题的探讨[J]. 内蒙古科技与经济, 2005, (z1):38 - 39. (ZHANG Xue - zhi, DU Guo-chen, JI Xiao-fei. Discussion on exclusion of underground water of subgrade [J]. Inner Mongolia Sciencetech and Economy, 2005, (suppl):38 - 39. (in Chinese))

[57] 陈辉棠, 陈培熊, 朱晓锋. 金秀至平南二级公路浸水路基病害成因与处理[J]. 山西建筑, 2009, 35(29): 251 - 252. (CHEN Hui-tang CHEN Pei-xiong ZHU Xiao-feng. Cause of damage in the soaking water subgrade of the secondary road from Jinxiu to Pingnan and the handling method [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(29): 251 - 252. (in Chinese))

(编辑:曾小汉)

On Stability of Rural Road Subgrade and Its Influencing Factors in Hilly Area in China

XIU Wei-ning¹, WEI Chao-fu¹, ZHANG Shi-chao¹, ZHANG Ping-cang², DING Wen-feng²

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region (Ministry of Education), College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Soil and Water Conservation Institute of Changjiang Scientific Research Institute, Wuhan, 430010, China)

Abstract: Subgrade is the main body of road. The subgrade bears its own weight and the static load of the pavement, and the kinetic load caused by people, livestock, and vehicle walking on the pavement. This paper reviews the stability of the rural road subgrade and its influencing factors in terms of soil, engineering geological conditions and hydrogeological conditions. The stability of the subgrade filling soil depends largely on the soil cohesion and the internal friction angle, while the bearing capacity mainly rests upon the water content and compactedness. There are so many geological factors influencing the subgrade stability, such as rock types, weathering degree, fractured degree, the rock trend, tendency, dip angle, stratification, and thickness, with or without dissection or water to soften the interlayer, with or without faults or other undesirable phenomena along the road. Not only does the water permeability damage the soil, but also it can reduce the soil shear strength. These conclusions have great theoretical value for the rural road subgrade design in the hilly-mountainous area.

Key words: subgrade; stability; bearing capacity; permeability