

文章编号: 1005-0523(2007)04-0008-05

填石路堤研究进展与展望

雷位冰¹, 方彦², 余斌¹, 张开顺¹, 杨成忠³

(1. 中铁十一局集团第五工程有限公司, 重庆 400037; 2. 湖北沪蓉西高速公路指挥部, 湖北 恩施 445000;
3. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:通过填石路堤压实与检测、稳定性分析、沉降预测三方面回顾, 指出级配不能准确地反映填石材料的结构特征、不同压实检测方法相关性差、压实质量评定标准模糊、稳定分析和沉降预测参数获取方法和考虑因素简单是目前填石路堤研究中存在的主要问题。准确描述填石材料的结构特征、对各种施工工艺组合下的压实质量的检测方法的相关性进行研究, 并提出定量的统一的评定标准, 以及应用可靠的方法获取稳定分析和沉降预测所需要的参数, 建立多场耦合作用下稳定性分析和沉降预测模型, 并对各种模型的适应性进行检验是填石路堤进一步的研究方向。

关键词:路基工程; 填石材料; 压实方法; 稳定性; 沉降; 质量控制

中图分类号: U416

文献标识码: A

0 引言

随着公路建设的迅速发展, 高速公路不断向山区延伸, 地形地质条件更加复杂, 路基高填深挖和隧道工程成为不可避免。为了克服山区缺乏优良土质填料的缺点, 并充分利用路堑和隧道开挖产生的工程性能优良的大量石质弃渣, 并减少弃渣对沿线生态环境破坏和诱发地质灾害, 高填石路堤已经成为山区高等级公路较普遍的路基形式。公路部门对细粒类材料工程特性研究成熟, 而对于填石类大粒径填料研究则很少。因此, 研究填石路基的填筑理论和应用技术, 避免高填石路基失稳、不均匀沉降和过大的工后沉降等灾害发生, 对于实现安全、质量、进度、费用控制目标和促进公路交通的迅速发展都具有十分重要的意义。

1 填石路堤压实与检测

80年代前, 在我国, 不规则石料修筑公路施工及质量控制的研究几乎是空白。80年代后期填石路堤的应用逐渐增多, 但有关规范对填石路堤施工质

量控制与检测涉及的条文仍然很少^[1~3]。1998年, 交通部公路科学研究所等单位以河北石太高速公路、山西太旧高速公路等工程为依托对“公路填石路堤压实标准与检测方法”进行了研究, 建议采用冲击压实技术配合50T以上振动压路机施工保证工程质量, 并通过灌砂法、面波仪和压实计对压实质量的检测对比后认为^[4]: 标定后的压实计在填石路堤的质量控制检测中具有较好的效果。1999年, 李丕武、郭庆国等研究了堆石体密度测定的附加质量法^[5,6]。2000年, 冯居忠等在309国道武涉段通过对填石层厚度、颗粒粒径、压实功能等影响压实效果的因素进行分析, 研究填石路堤施工工艺^[7]。

2001年, 于晓飞在丹本高速公路上也对填石路堤施工方法和质量控制进行了研究^[8]。徐立章、徐刚研究了基于便携式计算机的路基压实度测定方法的实现^[9], 张润利等研究了振动压路机压实度连续检测仪^[10]。

刘宇等通过室内振动试验获得填石体的最大干密度, 对现场取样则用振动台法测定相对湿度后再测定含水量, 计算填石体的干密度从而得到施工压实度^[11]。郑治等在福建某高速公路进行研究后,

收稿日期: 2007-05-18

基金项目: 华东交通大学和中铁十一局五公司合作项目资助。(赣技合同: 0636001000475)。

作者简介: 雷位冰(1968-), 男, 湖北仙桃人, 高级工程师, 主要从事公路与铁路建设施工研究。

建议采用沉降差控制填石施工质量^[12]。於永和等通过现场试验和对高填石路堤压实机理、压实效果影响因素、施工工艺和冲击压实技术研究提出最优碾压参数控制技术^[13,14]。谭智军等提出采用落锤式弯沉仪检测填石路堤的压实质量^[15]。2002年贾侃在填石路基施工工艺进行研究的基础上,指出需要对填石的结构特性、岩石的爆破技术、特殊路段的填石路基包括高填石路基进行研究系统研究^[16]。2003年闫从军、杨士敏从振动压实的原理出发,通过不同压路机组合研究了不同工况的碾压效果^[17]。研究认为:振动压路机以18T左右为宜,过大的压实功能会破坏填石体结构。同时提出冲击压实效果以及灌水法、FWD、快速评判等质量检测方法有待进一步验证。其间,邓学欢、王太勇、李青山、张献民、孙党生、李红英、李国占、赵建三、李亭等人都研究了瑞雷波在土基或填石路基压实质量检测中的应用^[18~21],但研究结果并未达成共识。

2005年,于德阶等通过在高填石路堤模型上的密实度动测实验,提出用修正单模态法测试衰减系

数评价压实效果的方法,并将修正单模态法与冲击响应频谱法、动刚度法做了对比^[22]。试验表明:衰减系数基本能够反映路堤压实过程中的平均沉降量。附加质量法测试结果表明附加质量法测得的参振质量也基本能够反映填石路堤修筑压实后达到的密度,可以用来测试填石路堤压实度。该方法操作简便,不损伤路堤,比灌水法工作效率高,是一种快速的无损的原位检测方法。邵腊庚等人从填石材料结构角度进行分类,将填石材料分为骨架孔隙结构和悬浮密实结构进行研究^[23]。结果表明:对于骨架空隙结构采用固体体积率进行检测,对于悬浮密实结构采用压实度检测;沉降量和沉降率控制是填石路堤质量控制中较好的方法;通过PFWD测定动态模量得到碾压时的各种指标进行质量控制,在测定动态模量时在其上用细砂找平,减少试验结果的离散性。表1为部分填石路堤压实与检测方法的试验。从表1可以看出:填石路堤施工工艺比较复杂,检测手段没有统一的标准,各种检测结果离散性大。许多检测方法停留在试验阶段,其可靠性有待检验。

表1 填石路堤压实与质量检测试验结果比较

工程名称	填料类型	压实质量检测			结论或建议
		压实方法	检测方法	检测指标	
石太高速	坡体石料	冲击和振动压路机	灌砂法、面波仪、压实计	密度、波速	标定后的压实计较好
309国道	坡体石料	振动压路机	轮迹法、沉降检测	轮迹、沉降差	沉降差稳定
重庆某路	坡体石料	25T以上振动压路机	灌水法、灌砂法、轮迹法	密度	压实度可行
福建某线	坡体石料	YZJ12振动压路机	灌水法、沉降检测、面波仪	密度、沉降差、空隙率	沉降差稳定
晋焦高速	坡体石料	CA30等振动压路机	轮迹法、沉降观测	无轮迹、沉降量	沉降量可以检测压实程度
昆石高速	土石混填	强夯法、振动压路机	灌水法、沉降观测、面波仪	密度、沉降、波速	强夯可行、灌水法可用于自检
常张高速	土石混填	冲击压实、振动压实	灌砂法、沉降检测	密度、沉降量	冲击压实厚度不超过100cm
安新高速	土石混填	YZT160振动压路机	灌砂法	密度	压实度能反映压实情况
武合高速	土石混填	VV170振动压路机	灌砂法、沉降检测、面波仪	密度、沉降差、波速	面波仪适应粗粒料检测
京泰高速	土石混填	振动压路机	灌砂法、面波仪	密度、波速	面波仪可用于压实检测
福宁高速	隧道弃渣	振动和冲击压路机	轮迹法、沉降检测	轮迹、沉降差	冲击压实机补压可提高密实度
京珠高速	隧道弃渣	50T振动压路机	灌水法、沉降检测	密度、沉降差	沉降差稳定
河邕高速	隧道弃渣	羊足碾、振动碾压	灌水法、沉降观测、轮迹法	密度、沉降率、轮迹	压实度无意义、沉降率较好
北京某路	坡体石料	冲击压实、振动碾压	灌砂法、沉降检测、面波仪、DGP、FWD	密度、沉降差、波速、贯入值、动态模量	沉降差稳定
丹本高速	隧道弃渣	振动压路机	灌水法、K30承载板、沉降检测、面波仪	密度、模量、沉降差、波速	面波仪、K30精度差,灌水法烦琐;沉降差可行
宜长高速	隧道弃渣	TYF18等压路机	灌水法、沉降检测、PFWD	密度、沉降差(率)、固体体积率、动态模量、碾压参数	灌水法可作抽检;沉降量(率)、碾压参数较好

2 填石路堤沉降

地基沉降是土力学研究的主要课题之一^[24]。填石路堤的沉降预估是填石路堤面临的主要问题之

一。90年代以来,我国在土质路基沉降预测方面取得了较为令人满意的效果。然而,由于填石体本构模型的复杂性,各种沉降预测理论在应用于填石体沉降预测时遇到了困难,相关成果报道也不多。

2002年,黎莉等通过观测地表和填石体中两块

沉降板的沉降差异研究发现在给定的填石高度和压实工艺条件下,填石体处于弹性工作状态,本身能承受路面和车辆荷载产生的应力^[25].钟守宾等^[26]提出基于反分析方法^[26]的填石路堤工期沉降预测方法.曹喜仁、黎莉等则以分层总和法为基础,分别对路基和填石路堤进行了沉降分析与计算,借助依托工程的沉降观测资料,提出了高填石路堤工后沉降的工程计算方法^[27,28].梁军等通过研究填石料的蠕变特征用来预估高填石方工后剩余沉降量,并对填石体颗粒的破碎特征进行了研究.2005年,彭建国等采用水管式沉降仪、剖面沉降仪等方法对常张高速公路沉降变形进行观测,分析填石路堤在自身荷载作用下的变形规律^[29].赵明华等对利用沉降观测资料预测填石路堤沉降模型进行改进,利用组合预测思想提出采用双曲线、指数曲线、时间平方根曲线等多种常规预测模型进行变权重组合的方法预测高填石路堤的沉降发展规律,结果表明该预测模型比任一单项模型都具有明显的优越性^[30].

3 填石路堤稳定性

填石路堤的稳定性直接与填石材料的物理力学参数、填石体的本构模型以及环境条件和荷载有关.早期用于稳定性分析的物理力学通过取样在室内试验获得,后来发展到大型原位试验^[31].本构模型的研究也从正分析发展到反演分析的方法.稳定性分析考虑的因素也从较单一的应力场发展到多场耦合等复杂因素.

2002年,谭智军等利用土工合成材料综合处治填石路堤以满足填石体刚度均匀性防止局部失稳和提高填石体承载能力,并对处治结构进行了有限元分析^[16].2003年邓卫东研究了高路堤的稳定性,建议稳定性分析应对材料的结构性能和振动荷载作用下的路堤的应力应变特征进行研究^[32].张良用 Geo-slope 软件研究了斜坡软弱土地基路堤的工程特性^[33].黎莉等在阐述山区高填石路堤填料及其压实后工程力学特性的基础上,结合潭邵高速公路高填石路堤的稳定性研究后认为^[34]:在设计、施工中可以通过把握好码砌层的厚度、针对不同的地形地基采取不同的施工措施、控制高填石路堤的压实标准和质量检测方法,加强地基勘察和处理等途径来提高填石路堤的稳定性.吴超凡则对浸水填石路堤稳定性进行了探讨^[35].2004年,王爱红结合工程实践从工艺上分析了土工格栅对填石路堤稳定性的影响^[36].吴大志研究了高填土路堤的稳定性^[37].邓英尔等全面研究了多孔隙材料的渗流运动规律^[38].曾革等在分析填石路基现行设计方法的基础上,从填

石路基边坡码砌层和内部填石的力学作用与力学特性出发,导出了填石路基稳定性计算公式,给出了计算参数的选取方法,从而对码砌厚度、内部填石压实质量、地基承载力等因素对填石路基稳定性的影响进行分析,建立了该类路基的稳定性设计方法^[39].陈华进行了交通荷载作用下公路路基的动力有限元分析^[40].陈昌富、龚晓南将启发式蚁群算法引入高填石路堤稳定性分析中为填石路堤稳定性分析开辟了新途径^[41].2005年,陈谦应等对有限元、边界元、神经网络、灰色理论等概念和作用进行了介绍,为研究边坡稳定分析指明了方向^[42].其间还有 Kirsten HAD、Gioda G、Sakural S、Wasmongkol N Dees、Shinji M、李刚、李鹏、陈昌富、曹文贵等将岩土工程反演计算方法引入填石路堤填石体本构模型参数进化计算^[43~48].李刚、李鹏、陈昌富、曹文贵提出填石材料三参数蠕变模型^[46~48].彭建国等详细设计了填石路堤变形观测与实施方案^[49].赵江分析了降雨条件下路基中的渗流及对边坡稳定性的影响^[49].刘万忠、丁继红、吴东浩等采用 Geo-slope 对土石坝应力场-渗流场耦合进行了模拟分析^[50~52].为了分析渗流作用下的边坡稳定性,唐晓松应用 PLAXIS 有限元程序采用有限元强度折减法,考虑渗流场与应力场之间的相互耦合作用,并用 ADINA 和 Geo-slope 程序进行了验算^[53].计算表明利用 PLAXIS 程序对渗流作用下的边坡稳定性进行分析是可行的,对渗流作用下的边坡稳定性分析有极强的适用性,为考虑渗流作用的边坡稳定性分析提供新的数值模拟方法.张乾飞研究了复杂渗流场演变规律及转异特征^[54].

此外,Cheng ZH、Zhang JB、Zhu AN、Bartoil F、Philippy R、黄冠华、詹卫华、冯杰、郝振纯等将分形理论用来研究土壤颗粒结构^[55~58].

4 展望

目前的研究主要是针对平缓地形上填石路堤,填石路堤的高度也较小,级配不能较好地反映填石材料的颗粒组成特征、不同的压实检测方法相关性差和没有统一的评定标准、稳定分析和沉降预测参数获取方法和考虑因素简单.因此,填石路堤应进一步加强以下几个方面的研究:

(1) 填石材料的基本物理力学性能的研究.包括填石材料的颗粒组成、密度、孔隙率、承载力等指标以及内摩擦角和粘聚力的测试方法,有必要引入分形几何描述具有自相似特征的填石材料的结构特征;

(2) 填石材料的压实机理研究.填石材料由于

颗粒粒径、组成等与细粒料不同,其强度形成机理和压实机理也有别于细粒料,而且超大粒径颗粒的存在有可能存在硬点和引起不均匀沉降.从填石路堤强度形成机理出发,研究填石材料的变形特征有助于对工后沉降和不均匀沉降的认识和控制;

(3) 填石路堤的压实质量检测方法研究.2007年1月1日执行的《公路路基施工技术规范》中虽然确定采用工艺参数、孔隙率和沉降率等指标进行质量控制和检测,但参数法控制仍然属于模糊的标准,受操作人员影响较大,而沉降率指标的可靠性也同样受检测程序和人员产生较大的变化;

(4) 填石路堤的本构模型和沉降预测模型适应性研究.材料的本构模型反映了材料应力应变特征,填石材料的本构模型和沉降预测模型研究均很少.填石材料的本构模型和沉降预测模型的适应性对于填石路堤施工期沉降和工后沉降预测具有十分重要的作用;

(5) 土工合成材料在填石路堤加固中的应用研究.应用土工合成材料加固填石路堤有利扩散并均匀分布上部结构传来的荷载、减轻结构自重、提高路基结构的承载力和安全性能;

(6) 渗流和动载耦合作用下的填石路堤的应力场和位移场规律,尤其是陡坡上高填石路堤在渗流场、动荷载等多因素作用下的稳定性和沉降变化规律.

参考文献:

[1] 中华人民共和国行业标准.公路土工试验规程(JTG 051-93)[S].北京:人民交通出版社,1993.

[2] 交通部标准.公路工程质量检验评定标准(土建工程)(JTG F80/1-2004)[S].北京:人民交通出版社,2004.

[3] 中华人民共和国行业标准.《公路路基施工技术规范》(JTG F10-2006)[S].北京:人民交通出版社,1993.

[4] 杨世基.公路填石路压实标准与检测方法总报告[R].北京:交通部公路科学研究所,1998:23-30.

[5] 李丕武,冷元宝,袁江华.堆石体密度测定的附加质量法[J].地球物理学报,1999,42(3):422-427.

[6] 郭庆国,将华安.测原位密度的附加质量法在小浪底工程中的应用与评价[J].西北水电,1999,3:10-20.

[7] 冯居忠,李玮,刘远征等.高等级公路填石路基压实实验研究[J].河南交通科技,2000,3:31-33.

[8] 于晓飞.高速公路填石路堤施工方法及质量控制[J].东北公路,2001,2:30-34.

[9] 徐立章,徐刚.基于便携式计算机的路基压实度测定方法的实现[J].江苏理工大学学报,2001,17(4):69-72.

[10] 张润利,张俊杰.振动压路机压实度连续检测仪[J].工程机械,2001,8:4-6.

[11] 中国知网大超,吕灿光.粗粒径石料填筑高路堤的施工质量控制与检测[J].路基工程,2002,102(3):60-61.

[12] 郑治,漆光荣,陈礼彪.坚硬石料填石路堤修筑技术试验研究[J].公路交通科技,2002,19(6):13-16.

[13] 於永和.高填石路堤施工技术及其质量控制研究[D].长沙:湖南大学硕士学位论文,2003.

[14] 钟守宾.高填石路堤稳定性及沉降规律研究[D].长沙:湖南大学硕士学位论文,2003.

[15] 谭智军,郑健龙,周志刚.土工合成材料综合处治填石路堤[J].公路与汽运,2002,4:33-34.

[16] 贾侃.填石路路基施工工艺研究[D].西安:长安大学硕士学位论文,2003.

[17] 闫从军,杨士敏.填石路基振动压实试验[J].筑路机械与施工机械化,2003,5:8-9.

[18] 邓学欢,王太勇.压实度自动检测技术及其应用[J].西南交通大学学报,2003,38(5):505-508.

[19] 李青山,张献民,李红英.路基压实度的瞬态瑞雷波检测法[J].河北工业大学学报,2003,32(5):27-30.

[20] 孙党生,李国占.基于时频分析的瑞雷波相速度提取及其应用[J].勘察科学技术,2003,3:4-6.

[21] 赵建三,李亨.瑞雷波法应用于高速公路路基工程质量无损检测研究[J].湖南大学学报,2003,30(1):107-112.

[22] 于德阶,赵明华,赵江.高填石路堤模型密度动测方法的研究[J].中国岩溶,2005,24(2):124-127.

[23] 邵腊庚,傅志勇,李闯民.山区高速公路填石路堤压实质量控制[J].公路交通科技,2005,2:24-27.

[24] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算(第二版)[M].北京:中国水利水电社,1996:56-71.

[25] 黎莉,赵明华,刘小明.高填石路堤施工阶段地基沉降分析分析方法初探[J].公路,2002,(1):64-66.

[26] 钟守兵,赵明华.基于反分析方法的高填石路堤工期沉降计算[J].广西交通科技,2003,28(2):63-65.

[27] 曹喜仁,钟守宾等.高填石路堤工后沉降分析及工程算法探讨[J].湖南大学学报(自然科学版),2002,29(6):112-117.

[28] 黎莉,赵明华,钟守宾.填石路堤沉降观测数据分析[J].中南公路工程,2002,1:1-3.

[29] 彭建国,刘小明,刘江波.填石路堤变形观测方案设计与实施[J].中国岩溶,2005,(24)2:135-139.

[30] 赵明华,刘江波,余颜.高填石路堤沉降变权重组合预测方法研究[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2005,4:53-56.

[31] 刘多文.填石路堤原位抗剪试验研究[J].中南公路工程,2005,30(2):6-9.

[32] 邓卫东.高路堤稳定性研究[D].西安:长安大学博士学位论文,2003.

[33] 张良.斜坡软弱土地基路堤的工程特性研究[D].成都:西南交通大学硕士学位论文,2003.

[34] 黎莉,刘代全,刘晓明.山区高速公路高填石路堤稳定性分析[J].公路,2003,1:72-76.

[35] 吴超凡.高速公路浸水填石路堤设计与施工的探讨[J].公路,2003:82-83.

[36] 王爱红.浅谈土工格栅填石路堤质量控制[J].山西交通

- 科技, 2004, 10, 28—29.
- [37] 吴大志. 路基沉降计算方法及高路堤沉降稳定分析验证[D]. 长沙: 中南大学硕士学位论文, 2004.
- [38] 邓英尔, 刘慈群, 黄润秋. 高等渗流理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004, 1—125.
- [39] 曾革, 郑俊杰. 填石路基稳定性设计方案研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(5), 43—52.
- [40] 陈华. 交通荷载作用下公路路基的动力有限元分析[D]. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文, 2004.
- [41] 陈昌富, 龚晓南. 启发式蚁群算法及其在高填石路堤稳定性分析中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2004, 6, 89—92.
- [42] 陈谦应, 蒋树屏, 柴贺军, 杨建国. 山区公路路基稳定理论与实践[J]. 北京: 人民交通出版社, 2005, 12.
- [43] Kirsten HAD. Determination of rock mass elastic model by back analysis of deformation measurement. In: Proc Sym on Exploitation for Rock Eng. Johnnesburg, 1976, 1154—1160.
- [44] Giada G. Indirect identification of the average elastic characteristics of rock masses. In: Proc Int Conf on Structural Foundations on Rock. Sydney, 1980, 65—73.
- [45] Sakural S, Wasmongkol N Dees, Shinji M. Back analysis for deteminiing material characteristics in cut slopes. In: Pmr Tnt Rvmn nn F. CRP. FteiiinP. Srience Press, 1986, 770—776.
- [46] 李刚. 填石路堤试验研究及填石体本构模型参数进化反演分析[D]. 长沙: 湖南大学硕士学位论文, 2005.
- [47] 李鹏. 高填石路堤蠕变模型与参数反演分析及其应用研究[D]. 长沙: 湖南大学硕士学位论文, 2005.
- [48] 陈昌富, 李刚, 曹文贵. 高填石路堤参数进化反演研究[J]. 中国岩溶, 2005, 24(2), 119—125.
- [49] 赵江. 路基路面在降雨条件下渗流分析及边坡稳定性研究[D]. 昆明: 昆明理工大学硕士学位论文, 2005.
- [50] 刘万忠, 周志芳. 基于 Geo-slope 的土石坝应力场—渗流场耦合分析[J]. 勘察科学与技术, 2005, 2, 15—19.
- [51] 丁继红. 国外地下水模拟软件的发展现状与趋势[J]. 勘察科学技, 2002, 1, 37—42.
- [52] 吴浩东, 胡建平. GEO-SLOPE 在岩土工程地下水中的模拟应用[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2006, 23(3), 49—53.
- [53] 唐晓松. 应用 PLAXIS 有限元程序进行渗流作用下的边坡稳定性分析[J]. 长江科学院院报, 2006, 23(4), 13—16.
- [54] 张乾飞. 复杂渗流场演变规律及转异特征研究[D]. 南京: 河海大学博士学位论文, 2002.
- [55] Cheng ZH, Zhang JB and Zhu AN. Introducing fractal dimension to estimation of soil sensitivity to preferential flow. Pedosphere. 2002, 12 (3), 201—206.
- [56] Bartolo F, Philipp R, et al. Structure and self-similarity in silty and sandy soils; the fractal approach. J. Soil Science. 1991, 42, 167—185.
- [57] 黄冠华, 詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及应用[J]. 土壤学报, 2002, (4), 490—496.
- [58] 冯杰, 郝振纯. 分形理论在描述土壤大孔隙中的应用研究[J]. 地球科学进展, 2004, 19(增), 270—274.

The Progress and Prospect of Embankment Rock-filled Study

LEI Wei-bing¹, FANG Yan², YU Bin¹, ZHANG Kai-shun¹, YANG Cheng-zhong³

(1. The No. 5 Engineering Corp. Ltd., the No. 11 Bureau Group, C. R. E. C., Chongqing, 400037;

2. Hurongxi Expressway Construction Headquarters of Hubei Province, Enshi Hubei, 445000;

3. School of Civil Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang, 330013, China)

Abstract: After the study of embankment rock-filled from the compaction and inspection methods, stability analysis and settlement prediction equation is reviewed, the paper points out that the structure characteristics can not be described by graduation, correlativity is not good between different inspection methods, evaluation standard is fuzzy, and the methods to acquire parameters are imperfect and factors considered are simple for stability analysis and settlement prediction which are the main problems existing in embankment rock-filled study. And it describes the structure characteristics accurately, studies the correlativity between different inspection methods under various compacting technical assembles, raises quantitative consistent evaluating standards and applies reliable methods to acquire parameters and establishes different field coupling models for stability analysis and settlement prediction, and the verification of the models are further studied in embankment rock-filled.

Key words: subgrade engineering; rock-fill material; compaction method; stability; settlement; quality controlling