

文章编号 1001-8166(2004)增-0324-05

# 山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究

刘 宏<sup>1,2</sup>, 李攀峰<sup>2</sup>, 张倬元<sup>2</sup>, 韩文喜<sup>2</sup>

(1 贵州工业大学喀斯特环境与地质灾害防治重点实验室 贵州 贵阳 550003

2 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室 四川 成都 610059)

**摘 要** 以四川九寨黄龙机场 104m 高填方地基为例,阐述了山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究方法和步骤。认为高填方地基工程研究、设计与施工必须紧密结合,研究工作可分为 5 个阶段:第一,开展高填方地基基础地质条件研究和环境工程地质评价;第二,结合工程情况进行高填方地基变形与稳定性试验研究并提出软弱地基处理方法;第三,进行软弱地基处理试验和填料碾压夯实试验;第四,结合工程实践进行高填方地基变形与稳定性原位监测,并结合监测研究成果对前期试验研究进行反馈分析;第五,综合各阶段研究成果,对高填方地基将来的变形与稳定进行预测,并以此为依据进行场道工程设计。

**关 键 词** 机场,高填方,变形,稳定,系统

中图分类号 P642 文献标识码 A

随着我国西部大开发战略实施,多山的西南地区机场建设进入迅猛发展阶段。据不完全统计,目前西南地区在建和拟建的机场有攀枝花机场、九寨黄龙机场、南充高坪机场、万州五桥机场、黎平机场、兴义机场、康定机场、林芝机场、阿里机场、日喀则机场、荔波机场、龙洞堡机场、六盘水机场、新舟机场、毕节机场、昆明第二机场、红河机场、文山机场、黔江机场,扩建机场有达州河市机场、重庆江北机场、贡嘎机场、邦达机场等 30 多个<sup>[1]</sup>。这些机场的特点是:高填方、高地震烈度、场区地质条件复杂、常分布有软弱土层,且机场建设周期短。因而妥善解决机场高填方地基的稳定与变形(沉降与差异沉降)是该地区机场建设的核心问题和首要问题。但国内外对机场高填方地基变形与稳定性系统研究仍不多见,甚至连“高填方”的标准也无统一论。因而,山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究是我国西南地区乃至全国山区机场建设过程中迫切需要解决的课题。

九寨黄龙机场位于四川省阿坝州松潘县漳腊盆地东部谷坡上,机场场区地形条件复杂,处于高海拔

(海拔 3 430 m)、高地震烈度(地震基本烈度为 8.1 度)地区,场道工程具有高土石方量(挖方 3 093 万 m<sup>3</sup>,填方 2 763 万 m<sup>3</sup>)、高填方(最大填方高度 104 m)和快速加载(主体工程加载期仅有 14 个月)的特点,且高填方体底部分布有厚度大于 10 m 的软弱土层。因而,九寨黄龙机场是西南地区乃至全国机场建设史上最为复杂的和最具挑战性的机场。课题组基于前人的初勘、详勘等基础地质资料和环境工程地质评价,开展了高填方地基处理检测试验、砂砾石填料压缩蠕变试验、高填方地基变形与稳定性离心模型试验和数值模拟研究,以及长达 2 年的高填方地基变形原位监测,形成了九寨黄龙机场高填方地基变形与稳定性系统研究体系。

## 1 高填方地基变形与稳定性系统研究

西南地区山高谷深,机场场区地形地貌复杂,机场建设势必进行深挖高填,且场区地层岩性变化大,地基土性状极不均匀,在沟谷高填方地段,各种基岩强风化层、残坡积层、冲洪积层和风成黄土在地表水和地下水长期浸泡下往往形成软弱土层。使机场高

收稿日期 2004-04-10

作者简介:刘宏(1976-)男,博士,主要从事区域稳定与岩体稳定、地质灾害与防治研究。E-mail: liuhong1234@schu.com

填方地基具典型的二元结构(图 1)。因此,山区机场高填方地基是特指由下部包括软弱土层在内的原地基土体和上部人工填筑体两部分共同组成的特殊地质体,高填方地基变形则是指由包括软弱土层在内的原地基土体所发生的变形和由人工填筑体压缩引起的变形两部分构成。

山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究如图 2 所示。从中可看出,山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究是以大量的试验和观测资料为基础,把高填方地基设计、施工融合一体的高度信息化的生产管理方式,系统分 5 个阶段实施。

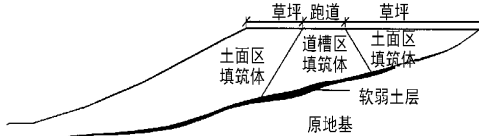


图 1 九寨黄龙机场高填方地基横断面结构示意图

Fig.1 The schematic structural section of the high embankment of Jiuzhai-Huanglong airport, Sichuan China

(1) 开展高填方地基基础地质条件研究和环境工程地质评价。主要研究内容包括机场场区的地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、气象条件、水文地质条件、土石力学性质和不良地质现象等,工作应在初勘和详勘阶段完成。如通过对九寨黄龙机场场区地形地貌和地层岩性研究,认为元山子沟高填方区位于跑道中部,由南北两条次级支沟构成,填方区前缘沟谷坡度 5~6°,后缘坡度 14~15°,沟口部位为锁口地形,利于填筑体稳定,但高填方体底部分布有厚度大于 10 m 的软弱土层,它对高填方地基稳定性和地基沉降与不均匀沉降起着决定性作用。对气象条件和水文地质条件研究,认为元山子填方区地下水储量小,仅分布于浅表层范围之内,为就地补给、就地排泄类型的上层滞水,形成了高填方地基变形与稳定性“概化模型”。对不良地质现象研究,认为场区处于滑坡、泥石流、崩塌落石等地质灾害低发区,且场区出现高强度暴雨机率低,因而发生大规模泥石流的可能性较小,但由于降雨主要以地表洪水形式排泄,因而水土流失较为严重,高填方体必须采取有效的防护措施。

(2) 结合工程情况进行高填方地基变形与稳定性试验研究并提出软弱地基处理方法。针对九寨黄龙机场高填方地基具有高填方、高地震烈度、底部软弱土层厚度大等特点,采取多种试验研究手段相结

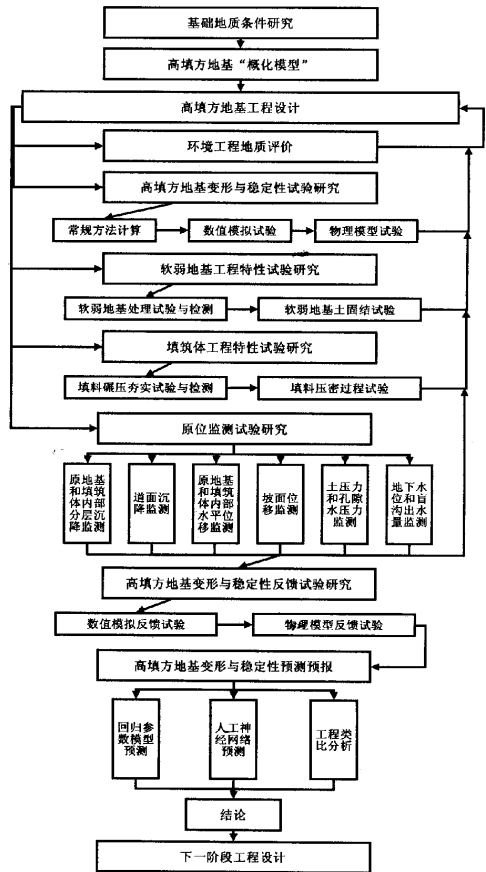


图 2 九寨黄龙机场高填方地基变形与稳定性系统研究

Fig.2 The systematic research on the deformation and stability of high embankment of Jiuzhai-Huanglong airport, Sichuan China

合的方法研究高填方地基的变形与稳定性。

九寨黄龙机场高填方地基所采取的常规方法有岩土体的常规物理力学指标测定,底部软弱地基土进行高压压缩试验,上部人工砂砾石填料进行压缩蠕变试验等。通过常规试验研究,全面认识了解九寨黄龙机场高填方地基岩土体的工程地质特性和高填方地基变形发展规律及其稳定状况。发现高填方地基底部的软弱土是由力学性质较差的土层在地下水长期浸泡下形成,其力学性质较一般土层差,但却高于软土,不是真正意义上的软土,但软弱土层的压缩量在地基总沉降量中所占的比例达 37%~55%<sup>[2]</sup>。软弱土对九寨黄龙机场高填方地基稳定

性和地基沉降与不均匀沉降起着决定性作用。为保证高填方地基稳定和控制地基沉降量,必须对其采取特殊工程措施进行处理。数值分析法中采取了日本软脑公司的 3D - 和美国 ITASCA 公司的 3D - FLAC 分析软件,进行了正常工况下的静力分析和地震工况下的动力分析,发现高填方地基的填筑体与原地基接触面和道槽区(压实度 98 区)与土面区(压实度 95 区)接触面为 2 个薄弱介面(潜在滑面),且在 50 年发震超越概率为 20% (地震烈度为 7.7) 条件下,高填方体稳定性系数小于 1.0,必需进行工程加固处理。并开展了以碎石桩、块碎石强夯为主的软弱地基处理方案研究<sup>[3]</sup>。物理模型试验中采取土工离心模型试验研究高填方地基变形与稳定性随工程施工的动态发展过程。研究结果表明,高填方地基的沉降特征为“沉降大、压实快”,沉降主要发生于土方工程的施工期,最大沉降值为 4.144 m,土方工程结束后的最大沉降值为 0.442 m,占总沉降量的 9.6%<sup>[4]</sup>。为下一阶段研究工作奠定了坚实的理论基础。

(3) 进行软弱地基处理试验和填料碾压试验。

试验的目的是为实现设计提出的技术要求,按照预先拟订并已通过审查的施工方案,采用一定施工工艺和方法,通过一定量的具有代表性和针对性的试验性工作,从多个施工方案中比较、总结出能实现设计要求的科学、合理、经济、便于应用的施工工艺和方法,并通过评估,最终成为设计的依据,指导具体施工。中国民航机场建设总公司对九寨黄龙机场软弱地基处理制定了详细的试验方案(表 1)。地基处理检测结果表明,软弱地基按试验方案处理后,高填方地基稳定系数可提高 12.3% ~17.3%,达到工程设计要求。同时,为减小高填方地基不均匀沉降和缩短沉降固结时间,软弱土最厚的 A 区采取换填措施。砂砾石填料碾压试验结果表明,粗粒含量、含水量和碾压方法是影响砂砾石料压实效果的最主要因素,其中粗粒含量直接影响着砂砾石料的最大干密度和最佳含水量。砂砾石料在碾压过程中存在最佳碾压遍数,试验中碾压机械为全液压牵引式振动压路机,轮径 1.5 m,宽 2.0 m,自重 22 t,激振力 89 t,碾压速率为 2 ~3 km/h,填料松铺厚度为 60 cm,其最佳碾压遍数为 6 ~8 遍<sup>[5]</sup>。

表 1 软弱地基处理试验方案  
Table 1 Treatments of the weak soil

试验段分区	A 区	B 区	C 区	D 区	E 区
相对软弱土层厚度 H (m)	H > 10	7 H < 10	5 H < 7	3 H < 5	H < 3
处理方案	挖土 + 碎石桩	挖土 + 3000 kN · m 强夯	3000 kN · m 强夯	3000 kN · m 强夯(少击数)	挖土 + 碾压

注:据中国民航机场建设总公司“四川九寨黄龙机场高填方地基处理方案及施工技术要求”

(4) 结合工程实践进行高填方地基变形与稳定性原位监测,并结合监测研究成果对前期试验研究进行反馈分析。土和岩土工程的复杂性决定了原位监测试验的重要性,工程知识和经验的积累在相当程度上来自对监测资料系统分析,它也是验证一切理论和计算成果的重要手段。原位观测试验一般由“内观”和“外观”两部分组成,“外观”主要观测高填方地基的外形和相关部位的水平位移、垂直位移和倾斜位移等。水平位移观测主要有监测网法、导线法、交会法、激光准直和摄影测量等方法,如葛洲坝坝面水平位移观测采用直伸边角网和激光准直法,丹江口大坝采用导线法,陆水枢纽工程采用前方交会法。垂直位移观测主要有几何水准法、电磁波测距三角高程法、弦矢导线法、激光交会法和应用沉降仪、垂直位移计等方法。倾斜位移采用测斜仪观测。“内观”主要观测高填方地基的土压力和孔隙

水压力等,一般用专门仪器观测。目前,国内的原位监测试验正处于以常规的大地测量为主,其它方法为辅,并逐步向自动化过渡的阶段,如凤滩、万安、葛洲坝、富春江等工程都已实现了原位监测的自动化。国外原位监测正向多媒体可视化的监测网络技术发展,它具有遥测、遥控、遥信、遥警和遥视(5 Remote)一体化功能。

针对九寨黄龙机场高填方地基变形与稳定问题,高填方地基原位监测试验主要目的有:通过道面及填筑体内部的沉降监测,研究不同深度填筑土体压缩过程和原地基土体固结过程,为分析高填方地基工后沉降与差异沉降提供依据;通过坡面及填筑体内部的水平位移监测,实时了解和掌握高填方体稳定状况;通过长期监测资料掌握高填方地基沉降变形规律,预测高填方地基工后沉降;开展原位监测,及时将监测结果反馈到高填方地基工程

设计与施工中,进行信息化管理和生产,且可对将来高填方机场建设提供监测资料和建设经验。因此,高填方地基变形与稳定性监测系统主要内容包括深部分层沉降监测和道面沉降监测、深部位移监测和

坡面位移监测、孔隙水压力监测、坡脚部位地下水位监测和盲沟出水量监测(图3),以及坡体形态的巡视观察等。

经长达2年的原位监测结果表明,高填方地基

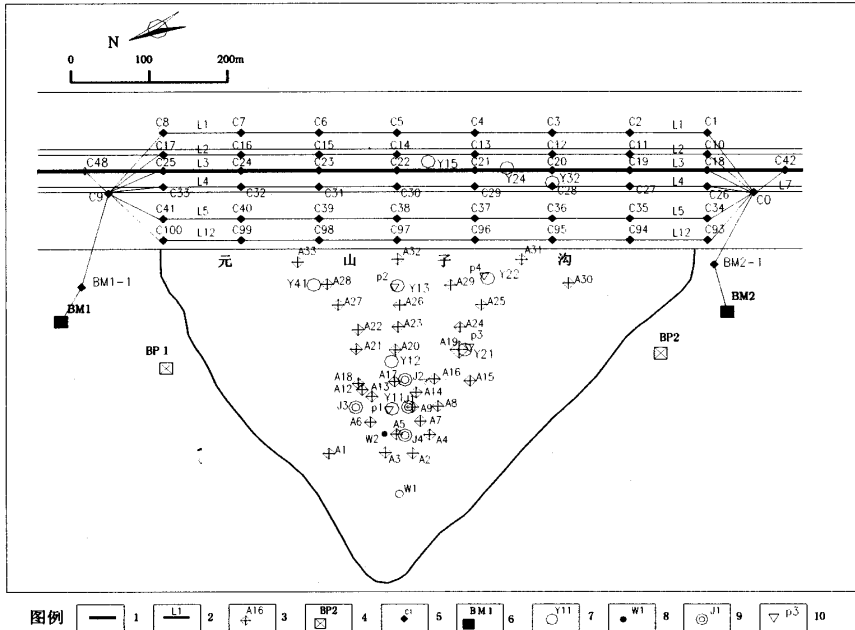


图3 九寨黄龙机场元山子沟高填方地基变形与稳定性监测网

Fig.1 The in-situ monitoring net of the settlement and stability of the high embankment in Yuanshanzigou, Jiuzhai-Huanglong airport

- 1.跑道中心线 2.道面沉降观测线路 3.坡面水平位移监测点 4.坡面水平位移监测基准点 5.道面沉降监测点;
- 6.道面沉降监测基准点 7.分层沉降监测点 8.水位观测孔 9.降水井 10.孔隙水压力监测点

沉降包括底部原地基沉降和填筑体压缩沉降两部分(图4)。原地基(尤其是强夯地基)沉降是软弱土体较为缓慢的排水固结过程,填筑体沉降则是非饱和土体的快速自重压实过程,两者对荷载响应特性有较大区别。前者的沉降曲线较为舒缓,沉降随荷载增加而逐渐发展,在停止加载后一段时期内,沉降速率才逐渐降低。后者加载期间沉降曲线陡而急,快速加载产生快速沉降,加载停止后,沉降速率迅速减小,导致加载期间沉降曲线与停止加载后沉降曲线之间存在明显拐点,并随工程间歇性施工加载沉降随加载呈阶坎状发展。此外,高填方地基在土方施工过程中有较大的侧向位移产生。元山子沟高填方地基在发生0.256 m侧向位移,月平均位移速率高达6.02 cm/月条件下仍处于稳定状态,且深部并

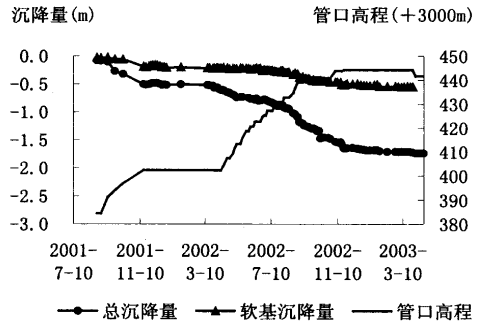


图4 九寨黄龙机场元山子沟高填方地基Y15号点分层沉降监测结果

Fig.4 Layerwise settlement of Y15 of the high embankment in Yuanshanzigou, Jiuzhai-Huanglong airport

未出现沿某个层面滑移,有力指导了机场土石方工程顺利施工。

(5) 综合各阶段研究成果,对高填方地基将来的变形与稳定进行预测,并以此为依据进行下一阶段工程设计。地基沉降预测方法较多,有回归分析、时间序列分析、灰色理论预测、人工神经网络模型预测等。综合九寨黄龙机场高填方地基各阶段研究成果,以人工神经网络模型、回归参数模型和工程地质类比等方法对高填方地基工后沉降进行了预测,认为机场道槽区土方工程结束后的最大沉降量较小,仅为 0.57~0.65m,为下一阶段场道工程设计与施工提供了坚实的理论依据。

## 2 结 论

山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究,是总结九寨黄龙机场高填方地基变形与稳定性的一系列课题研究成果而建立的,可为山区机场建设过程出现的高填方地基变形与稳定性研究提供理论指

导。它的研究思路和方法一直贯穿于九寨黄龙机场高填方地基变形与稳定性研究的一系列课题之中,并取得了显著成效。但山区地质条件复杂,控制高填方地基变形与稳定性的主导因素往往存在较大差别,山区机场高填方地基变形与稳定性系统研究在具体实施过程中,应针对具体情况而突出研究重点。

### 参考文献(References):

- [1] 谢春庆·山区机场高填方块碎石夯实地基性状及变形研究[D]·成都 成都理工大学,2001.2-3.
- [2] 刘宏,张俾元,刘亚波·九寨黄龙机场地基软弱土工程地质特性研究[J]·中国地质灾害与防治学报,2003,14(2):42-43.
- [3] 许强,黄润秋,张俾元,等·四川九寨黄龙机场高填方变形与稳定性的 FLAC3D 分析[J]·成都理工学院学报,2001,28(5):335-336.
- [4] 刘宏,张俾元,韩文喜·用离心模型试验研究高填方地基沉降[J]·西南交通大学学报,2003,38(3):325-326.
- [5] 刘宏,韩文喜,张俾元·砂砾石土料的压实特性[J]·三峡大学学报,2002,24(4):298-299.

## A SYSTEMATIC RESEARCH ON THE DEFORMATION AND STABILITY OF HIGH EMBANKMENT OF AIRPORT IN MOUNTAINOUS AREA

LIU Hong<sup>1,2</sup>, LI Pan-feng<sup>2</sup>, ZHANG Zhuo-yuan<sup>2</sup>, HAN Wen-xi<sup>2</sup>

(1. Provincial Laboratory of Karst Environment And Geological Hazard Prevention, Guizhou University of Technology, Guiyang 550003, China 2. The Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** By taking the 104m - high embankment of Jiuzhai - Huanglong airport as an example, a systematic research method and its job steps on the deformation and stability of high embankment of airport in mountainous area are explained in detail. It is recommended strongly that research, design and construction be integrated tightly, and its implementation be divided into 5 job steps. That's first, study the basic geologic conditions of the high embankment and carry out its environmental geologic engineering assessment. Second, associating with the engineering situation, carry out the deformation and stability of the high embankment tests and work out the reinforcement of the weak ground. Third, actualize the reinforcement tests of the weak ground and the rolling compaction tests of the filling material. Forth, implement the in-situ monitoring during the whole construction period and feed the monitoring results back to the prephase tests study in time. Fifth, Based on the comprehensive analysis of all research results, predict the coming deformation and stability of the high embankment, then start the runway's design.

**Key words:** Airport; High embankment; Deformation; Stability; System.