

文章编号: 1007-2993(2021)04-0249-06

云南某机场地基处理后沉降分析

魏海涛¹ 孙兰宁² 蔡智¹ 宋斌¹

(1. 中航勘察设计研究院有限公司, 北京 100098; 2. 中国民航工程咨询有限公司, 北京 100621)

【摘要】 综合西南地区已建机场工程实例, 针对其地质条件复杂、高填方、建设周期短等特点, 总结出常用的经济合理的地基处理方案。以云南某机场高填方地基工程为研究对象, 通过类比区内地层岩性、水文地质特征, 提出了针对泥炭质软弱土及高填方机场场道地基处理技术方案。并根据软基区域监测数据采用双曲线拟合分析剩余工后沉降规律, 以指导后续工序, 为类似工程提供借鉴。

【关键词】 西南机场; 泥炭质软弱土; 高填方; 地基处理; 工后沉降; 双曲线拟合

【中图分类号】 TU 433

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.04.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Analysis of Post-construction Settlement After Foundation Treatment in an Airport of Yunnan

Wei Haitao¹ Sun Lanning² Cai Zhi¹ Song Bin¹

(1. AVIC Institute of Geotechnical Engineering Co., Ltd., Beijing 100098, China;

2. China Civil Aviation Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing 100621, China)

【Abstract】 Based on the examples of airport projects built in southwestern China, in view of its complex geological conditions, high filling, short construction period and other characteristics, the commonly used economic and reasonable foundation treatment schemes are summarized. Taking the high-fill foundation engineering of an airport in Yunnan as the research object, through analogy with the stratum lithology and hydrogeological characteristics in the area, a technical solution for peaty soft soil and high-fill airport ground foundation treatment was proposed. According to the monitoring data of the soft foundation area, hyperbolic fitting is used to analyze the remaining post-construction settlement law to guide the subsequent procedures and provide a reference for similar projects.

【Key words】 airport in southwestern China; soft peaty soil; high fill; foundation treatment; post-construction settlement; hyperbolic fitting

0 引言

为完善我国机场布局体系, 根据《中国民用航空发展第十三个五年规划》, 西南地区将继续增加机场数量以形成机场群。由于该地区处云贵高原及青藏高原边缘, 场地多为削山填谷而成, 机场场地地质条件复杂, 常分布有软弱土, 且机场建设周期较短。综合已建的机场工程实例如表 1 所示^[1-6]。

由表 1 可知, 西南地区机场建设过程中地基处理关键在于原场地软弱土及填筑体(包括土面区、道槽区及边坡区)的加固处理, 其中填筑体的稳定是立足于原地基稳定的基础之上的, 机场场区高壑深谷, 各类基岩强风化层、冲洪积层在地下水长期浸泡下

多成为软弱地层, 若不经处理, 必将造成过大的地基沉降及不均匀沉降, 严重者将危害高填方地基的整体稳定性^[7]。

大量西南地区机场工程实践表明, 原地基软弱土常用强夯、换填进行处理。当地层含水量大时, 常采用碎石桩作为排水固结通道, 同时发挥复合地基功能。为节省造价, 挖填平衡, 填筑体多就地取材, 采用碎石土、黏土等作为填筑材料, 主要采用强夯、碾压进行处理, 并依据现场试验确定施工参数。针对上述工程关键问题, 结合云南某机场工程实践, 对泥炭质黏土软弱地基及填筑体的方案设计作具体阐述, 并分析工后沉降监测数据, 指导进行机场后续工序, 为类

作者简介: 魏海涛, 男, 1983 年生, 汉族, 江苏泰州人, 硕士, 注册土木工程师(岩土), 主要从事岩土工程设计施工工作。E-mail: whatsay@163.com

表1 西南地区已建机场工程实例^[1-6]

名称	软弱土	最大填筑高度	填筑材料	原地基处理	填筑体处理
攀枝花机场	粉质黏土、碳质泥岩	跑道区64 m, 边坡区120 m	土石混合料, 土料为黏性土, 石料为中等风化和强风化的砂岩	强夯	强夯, 边坡区碾压
九寨黄龙机场	粉土、粉质黏土和含砾粉质黏土	104 m	砂砾石土, 含卵砾、砂和粉质黏土	碎石桩, 强夯, 碾压	碾压, 道槽区堆载预压
南充高坪机场	素填土、粉质黏土		砂泥岩混合料	原地面碾压; 软基换填、抛石挤淤、掺石灰	碾压, 边坡区振动碾压+土工加筋边坡
贵州黎平机场	红黏土	35 m, 跑道区20 m	红黏土	碎石桩	碾压
兴义机场	红黏土	跑道区42 m	红黏土	强夯	强夯
康定机场	高原冰碛土	46.6 m	冰碛土粗粒土填料	强夯, 碾压	强夯, 碾压
龙洞堡机场	红黏土	54 m	大块石灰岩混合料	挖除红黏土覆盖层	强夯
六盘水机场	冲洪积层及湿地软土, 碳质泥岩	85 m, 跑道区62 m	碎石土、砾质粉土和块石土混合料	挖除软弱土层	道槽区强夯, 边坡及土面区碾压

似工程提供一定的借鉴。

1 工程及地质概况

机场跑道长 1800 m, 宽 30 m, 道肩宽 1.5 m, 飞行区技术等级为 2B, 跑道区最大填筑厚度约 13 m。机场场区平面如图 1、图 2 所示。



图1 机场场区全貌图

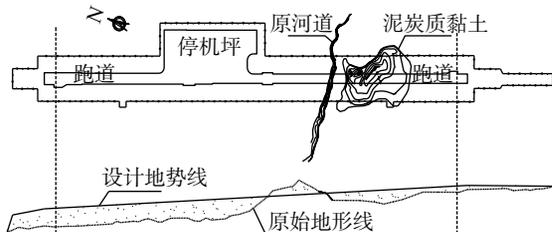


图2 软基区域分布图

1.1 地形地貌

场区整体属河流侵蚀堆积地貌阶地地形, 现状地表主要为耕作区、道路区、居住区、生产养殖、种植区等, 在中部有河流横穿, 地形地貌受人类工程活动破坏强烈, 地形全貌如图 1 所示。

1.2 地质概况

场区主要土层情况如下:

(1) 第四系全新统地表土, 据成因可分为①₁ 耕土、①₂ 素填土、①₃ 淤泥土。

(2) 第四系全新统冲洪积层, 为近期河流作用堆积产物, 在场区内广泛分布。②₁ 卵石、②₂ 卵石, 整体力学性能好, ②₁ 砾砂、②₂ 粉砂、②₃ 泥炭质黏土零星分布。

(3) 第四系上更新统冲洪积层, 河流作用堆积形成, 分布于第四系全新统冲洪积层之下。岩性以④圆砾、④₁ 砾砂等砂砾石为主、夹杂粉土、黏性土、泥炭质黏土等。

部分地层物理力学参数如表 2 所示。

表2 部分岩土层物理力学参数表

岩土层	厚度/m	天然重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	压缩系数 $\alpha_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	承载力 f_{ak}/kPa	渗透系数 $k_v/(\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$	有机质含量 /%	备注
① ₁ 耕土	0.3~1.25	18.0			80			
① ₂ 素填土	0.4~3.7	18.6			90			
① ₃ 淤泥		13.2	3.42	1.32	40			超固结
② ₁ 卵石	0.5~4.5	23.5		$E_0=45$	650			
② ₂ 泥炭质黏土	0.3~12.9	15.1	0.79	3.18	50	$1.90\times 10^{-8} \sim 3.95\times 10^{-6}$	14.85	欠固结
③ ₁ 卵石	0.7~14.7	23.5		$E_0=45$	680	0.0163		
④ ₁ 圆砾	0.7~18.4	22.0		$E_0=35$	480	1.216		
④ ₂ 泥炭质黏土	0.7~4.6	17.9	0.76	5.70	90	$4.55\times 10^{-8} \sim 3.01\times 10^{-6}$	6.12	超固结
⑤ ₁ 圆砾	0.6~31.9	22.5		$E_0=32$	520			
⑤ ₂ 泥炭质黏土	0.4~2.5	15.2	0.77	3.21	70	1.53×10^{-6}	15.96	超固结

1.3 软弱土层

软基区位于飞行区南段,从地表到地下 20 m 范围内断续分布,分布的软弱土类型除了表层分布填土及①₃淤泥外,主要软土层为②₅、④₄、⑤₄泥炭质黏土,其中④₄、⑤₄泥炭质黏土零星以透镜体赋存在④、⑤圆砾层中,泥炭质黏土②₅多以透镜体形式分布,集中分布在跑道南侧。软基平面分布形态不规则,最长约 290 m,最宽约 180 m,场区围界内分布面积约 29000 m²,如图 2、图 3 所示。该区域泥炭质黏土②₅加固处理是原地基处理的重点。



图 3 软基区域原始地貌图

2 地基处理及填筑体方案

本工程地基处理重点为道面区原地面软基区域和填筑体处理,地基处理目的是解决地基的不均匀问题,满足机场对地基的承载力及沉降要求。

2.1 原地面软基处理方案比选及现场试验

(1) 方案比选

泥炭质黏土是一种高含水量、高有机质含量、大孔隙的高压缩性软土,在以往机场建设过程中经验积累不多。建筑和铁路领域^[8-10]泥炭质黏土地基处理以排水固结法、置换法(水泥石搅拌、碎石桩、旋喷桩等)、换填垫层法应用比较广泛。

阮永芬等^[8]通过对昆明地区建筑工程事故分析,认为采用深层搅拌法和振冲法一般都不适用泥炭类土处理。根据表 2,分布较厚的②₅层泥炭质黏土为极弱透水层,且该区域与穿过场地的水系相通,不适宜采用单纯的排水固结法。综合以上并结合当地经验,工程前期拟采用柱锤夯扩三合土桩、强夯置换复合地基方案。

(2) 现场试验

由于泥炭土含水量较高,采用套管柱锤冲扩设备,夯锤直径 370 mm,质量 4 t,在试验过程中,柱锤套管成孔至 8 m 以下粘锤无法进尺,拔管时填料和周边土体会明显上浮,柱锤三合土桩试桩失败。同时现场也进行了强夯置换小区试验,有效置换墩长度 3.0 ~ 5.0 m,无法完全置换软弱土层(道面区以下②₅

层泥炭质黏土最大埋深接近 11 m)。

综合以上分析及试验情况,结合文献^[9]对泥炭土固结强度和压缩变形的研究,在施工期采用置换及动力固结,施工期完成 80% 以上固结沉降。本工程飞行道面影响区软基区域拟采用“换填垫层+强夯置换”进行处理。

2.2 原地基处理方案

土面区原地基清表后采用表面压实处理,道面影响区及边坡影响区一般素填土范围采用清淤、排水后强夯处理。

场地原有河流改道、清淤、回填夯实处理,防止地下水沿原有水系造成冲刷、水土流失等破坏,原河道中部设置排水盲沟,以保证土基稳定。

根据②₅泥炭土分布,跑道主要压缩层 4 m 深度范围内采用换填山皮石碾压或强夯处理;边界按台阶开挖,台阶高宽比不大于 1:2。4 m 深度以上区域,考虑主要压缩层厚度及沼气的影 响,开挖 4 m 铺设块砾石后进行强夯置换处理(见图 4、图 5)。

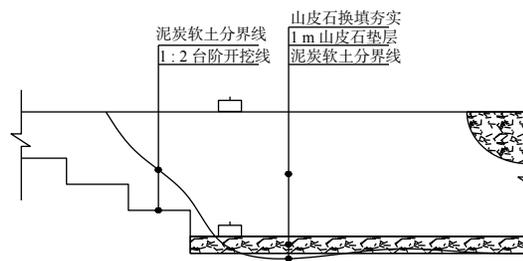


图 4 泥炭质黏土区域地基处理剖面图

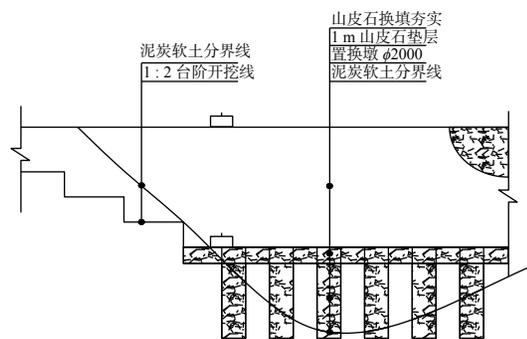


图 5 深厚泥炭质黏土区域地基处理剖面图

2.3 填筑体处理

工程回填土料来源主要为从料场外运的土石方,填筑材料主要为灰岩、砂岩、粉质黏土等。根据前述已有实例,采用强夯或碾压均能满足处理后填筑地 基强度及沉降要求。填筑压实的工艺主要有压实和夯 实两种,各分区处理如表 3 所示。

泥炭质黏土区域上部填筑体高度约 2~5 m,采用一次回填强夯+预留 1.0 m 分层碾压处理。强夯采用

表3 机场填筑体分区处理表

序号	分区	处理流程
1	飞行区道面影响区	填筑厚度不超过3.0 m的区域采用分层碾压处理;填筑厚度超过3.0 m的区域采用分层强夯+分层碾压,每层填筑厚度4.0 m,表层预留1.0 m进行分层碾压
2	土面区挖方区	填筑厚度不超过3.0 m的区域采用表面压实处理;填筑厚度超过3.0 m的区域采用分层强夯+表层碾压平整处理,每层填筑厚度4.0~4.4 m

“两遍点夯,一遍满夯”形式(见图6)。点夯能级3000 kN·m,满夯能量1000 kN·m。单点夯击数6~8击。面层满夯锤印搭接不小于1/4,单点夯击数不小于2击。

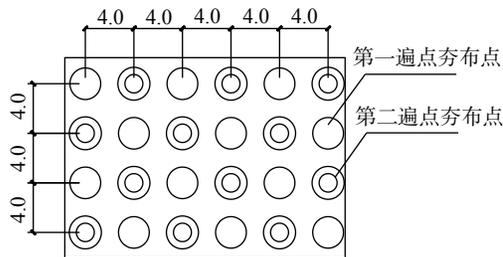


图6 强夯大样图(单位:m)

3 工后沉降分析

土基完成后,对道面原地基及土基顶面均按照《民用机场勘测规范》(MH/T 5025—2011)要求设置了监测点,软土区部分沉降监测点布置见图7。

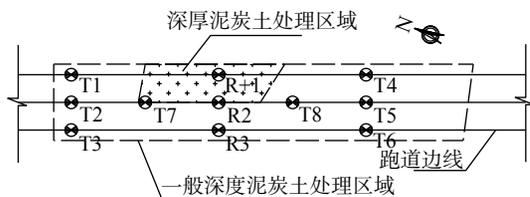


图7 软土区域部分沉降监测点布置

通过沉降监测,研究其压缩变形,为填方地基沉降判断提供依据。根据监测结果预测填筑体沉降变形规律,指导后续施工。

工程中常用的沉降预测方法按照预测原理可分为参数反演、系统分析和曲线拟合3类。参数反演、系统分析类方法在进行沉降预测时数据样本要求高,预测模型、函数选择困难,而且计算过程复杂,所以工程实际应用上有一定难度。曲线拟合预测方法是将已经取得的实测沉降数据拟合,建立与之相适应的曲线模型,并用合适的计算方法推出模型中所需的参数,然后进行后期的工后沉降预测。这类方法计算简单、参数易确定,在工程实际中得到广泛应用,其中

具有代表性的有指数曲线法、双曲线法^[11]和高填方地基蠕变实用算法^[12]。

根据对本工程已有大部分监测数据趋近于稳定的特点,选择双曲线法进行工后沉降的预测。双曲线法认为工后沉降量与时间的关系是按照双曲线规律变化,即

$$s_t = s_0 + \frac{t - t_0}{\alpha + \beta(t - t_0)} \quad (1)$$

式中: s_0 为初始时间 t_0 时刻的沉降值,mm; s_t 为 t 时刻的预测沉降值,mm; α 、 β 为待定参数。

3.1 深厚泥炭质黏土软基区域

对软基区域沉降监测数据采用双曲线函数拟合的方法对工后沉降进行预测。以R1、R2、R3点为例,分别位于软基区域边缘及中部,沉降预测拟合曲线及预测结果如图8所示。

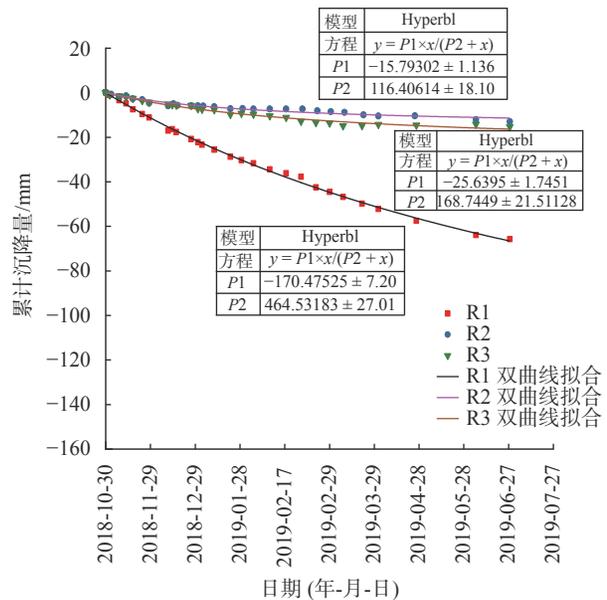


图8 软基实测、预测沉降时程曲线图

(1)R1点双曲线拟合公式为:

$$s = -t/(2.724 + 0.005865t) \quad (2)$$

式中: s 为累计沉降量,mm; t 为监测时间,d。

R1 现有实测沉降量为 65.8 mm, 预测总沉降量为 170.5 mm, 现有实测沉降量占比 38.6%, 剩余工后沉降预测为 104.7 mm。该监测点区域工后总沉降满足要求,但未达到沉降稳定状态,分析可能原因如下:①部分置换墩未完全穿透泥炭质黏土,形成一定厚度软弱下卧层;②该区域原地面以上填筑体厚度小,垫层以上上覆荷载小,从而导致施工期固结沉降偏小。因此建议该区域采用堆载预压使其加速固结。

(2)R2、R3点现有实测沉降量为 13.0 mm、

18.2 mm, 预测总沉降量为 15.8 mm、25.6 mm, 现有实测沉降量占比 82.3%、71.1%, 剩余工后沉降预测为 2.8 mm、7.4 mm。该监测点范围区域内已达到沉降稳定状态, 可进行后续工序。

3.2 一般深度泥炭质黏土软基区域

一般深度泥炭质土软基区填筑体顶面沉降监测曲线如图 9—图 12 所示, 监测区域内监测点 T1—T8 累计沉降量为 4.8~46.1 mm, 最后一期沉降速率为 0.01~0.10 mm/d。区域内沉降特征具有一定的不均匀性, 靠近填筑区域中部的 T7、T8 监测点累计沉降较大, 监测点沉降均趋于收敛。

通过监测分析, 所有测点均能满足设计使用年限内的工后沉降不应超过 30 cm 的要求, 深厚泥炭质黏土软基区域局部差异沉降不满足 1.5‰ 的要求, 其他区域满足设计要求。

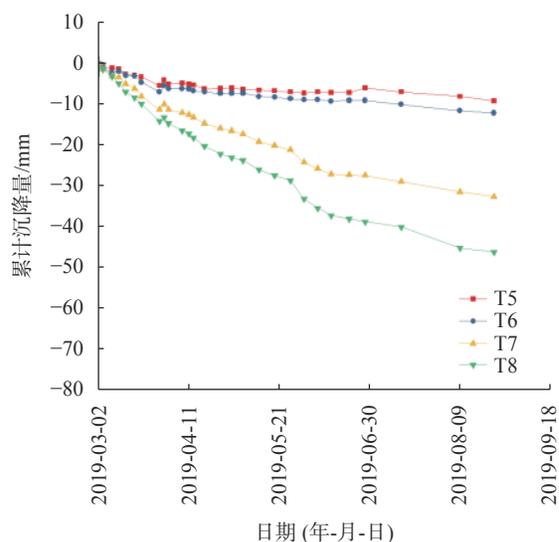


图 9 T1—T4 填筑体累计沉降量曲线图

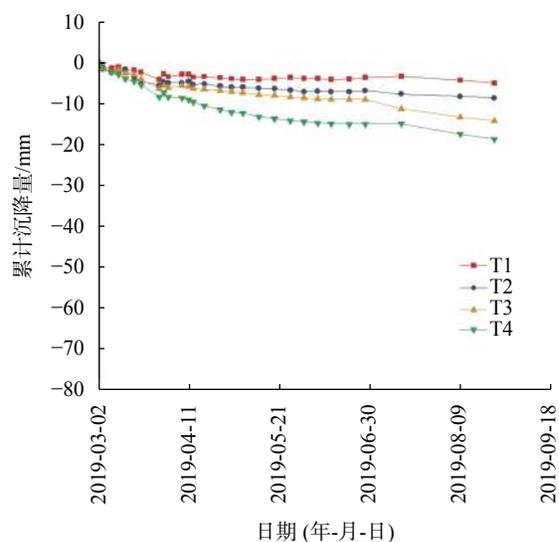


图 10 T5—T8 填筑体沉降量曲线图

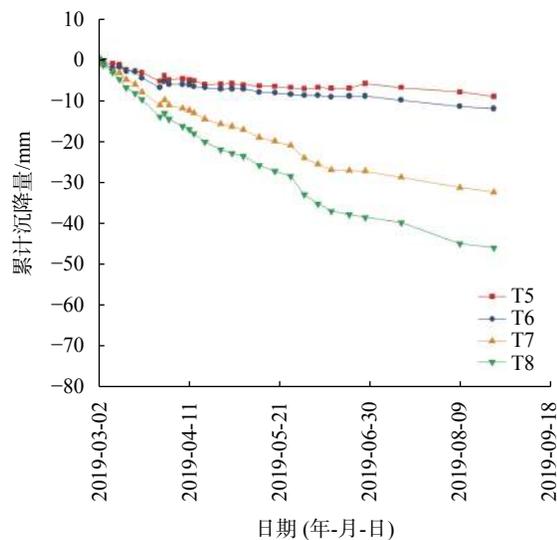


图 11 T1—T4 填筑体沉降速率曲线图

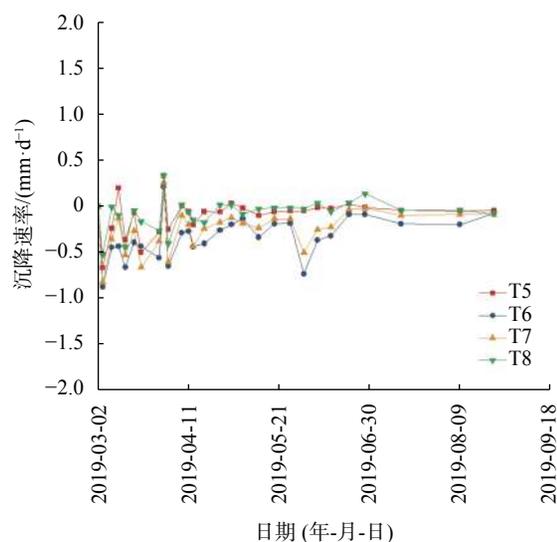


图 12 T5—T8 填筑体沉降速率曲线图

4 结论

(1) 综合西南地区已建成机场实例, 针对其地形、地质条件复杂、软弱土分布、高填方等工程难点, 总结地基处理方案, 强夯、换填、碾压、碎石桩等由于其经济适用而常被采用。

(2) 根据软基区域监测数据分析剩余工后沉降规律, 采用双曲线拟合能够较好地分析其趋势。监测点累计沉降判断已达稳定状态区域可指导进行后续工序; 未达稳定状态的小区域, 建议采用堆载预压加速固结。

(3) 在设计使用年限内, 所有测点累计(预测)工后沉降均能满足设计使用年限内不应超过 30 cm 的要求, 同时验证了“换填+强夯置换”处理泥炭质黏土地基方案的可行性, 为后续类似工程提供一定的借鉴。

参 考 文 献

- [1] 何兆益,周虎鑫,张弛.山区机场高填方土石混填强夯参数的现场试验研究[J].公路交通科技,2002,19(4):30-32.
- [2] 刘宏,张倬元,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):39-43,49.
- [3] 梁莉,何兆益,谢强.万州五桥机场高填方路堤沉降的有限元分析[J].地下空间与工程学报,2007,(5):806-810.
- [4] 李公水,任剑,刘宏.康定机场冰碛土特性及地基处理[J].地质灾害与环境保护,2007,(4):37-41.
- [5] 甘厚义,焦景有,金幸初,等.贵阳龙洞堡机场大块石填筑地基的强夯处理技术[J].建筑科学,1995,(1):17-26.
- [6] 满立,刘子昂,别江波.西南某机场高填方地基变形与稳定性数值模拟[J].路基工程,2015,(1):181-183.
- [7] 刘宏,李攀峰,张倬元.西南地区高填方机场软基加固处理[J].工程地质学报,2005,12(S1):343-348.
- [8] 阮永芬,刘岳东,王东,等.昆明泥炭与泥炭质土对建筑地基的影响[J].工程地质学报,2003,28(3):121-124.
- [9] 湖南省水利水电勘测设计院.泥炭土的固结强度和压缩变形问题[J].勘察技术,1978,(3):11-15.
- [10] 薛元,崔维秀,封志军,等.滇池地区铁路软土地基加固处理技术[J].铁道工程学报,2015,32(8):35-40.
- [11] 杨涛,李国维,杨伟清.基于双曲线法的分级填筑路堤沉降预测[J].岩土力学,2004,25(10):1551-1554.
- [12] 罗汀,刘引,韩黎明,等.高填方机场工后沉降监测及数据分析[J].中国民航大学学报,2017,35(3):27-32.

收稿日期:2020-07-29

(上接第248页)

参 考 文 献

- [1] 赵国梁.无人机倾斜摄影测量技术[M].西安:西安地图出版社,2019.
- [2] 杨梦梅.无人机在大比例尺地图测绘中的应用[J].大科技,2021,(8):121-122.
- [3] 丹尼尔·佛伦泽尔,亚历克斯·凯斯,等.无人机详解与剖析[M].北京:人民邮电出版社,2019.
- [4] 机械工业勘察设计研究院有限公司.智绘鹰S100~1:500不动产测量和地籍测量专用无人机系统[EB/OL].http://www.jk.com.cn/znzz_p_d/productId=243.html
- [5] 熊一,王琳,罗莎.浅谈无人机航测技术在矿山测绘作业中的运用[J].世界有色金属,2018,(8):33-34.
- [6] CH/Z 3005—2010 低空数字航空摄影规范[S].北京:国家测绘局,2010.
- [7] 罗东山,李相庭,何军,等.无人机航测像控点布设对空三精度的影响[J].测绘标准化,2017,(3):34-36.
- [8] 赵路平,宋玲.无人机航测1:1000地形图的可行性分析[J].工程技术(文摘版),2015,(49):278-278.
- [9] 郭瑞隆,王京,段英.无人机航测像控点布设方法探讨[J].测绘标准化,2017,33(2):24-25.
- [10] 张金波.探究无人机航测在矿山测绘中的运用[J].科技创新与应用,2017,(3):60.
- [11] 彭仪普,程阳,韩征,等.基于多旋翼无人机航测的工程结构三维建模质量影响因素研究[J].铁道科学与工程学报,2019,16(12):2969-2976.
- [12] 罗伟国,薛国建,李博.基于微型无人机航测的大比例尺地形图测绘[J].油气储运,2019,38(2):173-178,184.

收稿日期:2020-06-08