

# 锦州民用机场沉降变形监测及预测研究

杨明<sup>1</sup>, 刘志刚<sup>2</sup>, 张学磊<sup>1</sup>

(1.中国建筑材料工业地质勘查中心辽宁总队, 辽宁 锦州 121000; 2.锦州市财政投资评审中心, 辽宁 锦州 121000)

**摘要:** 采用二等闭合水准路线测量方式对锦州民用机场跑道、站坪及联络道的工后沉降进行周期性监测, 选用不同回归数学模型对沉降监测结果进行回归分析, 并与实测沉降进行对比, 确定合适的工后沉降预测模型。结果表明, Peal 回归模型的预测沉降与工后实测沉降极为接近, 对数模型的后期预测结果与实测值接近, 采用 Peal 模型、结合对数模型对锦州机场工后最终沉降进行预测更准确; 机场工后沉降监测宜采用多模型结合方案。

**关键词:** 公路; 民用机场; 沉降监测; 沉降预测; 回归分析

中图分类号: U418.5

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)01-0085-03

对机场及周边地基处理进行周期性的系统观测, 并对观测数据进行整理、计算和统计分析, 有助于明确道面结构层施工后的地基变形规律和发展趋势, 为异常现象的解决提供依据。目前, 很多学者对机场特别是特殊地质条件下的机场建设工程, 如软土路基、高填方地基、山区及其他特殊土质路基等的工后沉降变形监测及预测进行了研究, 其所采用的沉降回归分析模型并不相同, 说明不同地质条件的机场工后沉降规律并不一致, 不存在适用于各种地质条件的统一的模型。该文对锦州民用机场的沉降变形进行周期性监测, 寻找合适的工后沉降回归预测模型, 为这一地区同类建设工程提供借鉴。

## 1 工程概况

新建锦州民用机场位于辽宁省锦州市主城区南部、锦州湾北岸、小凌河口东侧, 南邻滨海大道, 距主城区约 38.2 km、锦州港约 30 km。场区内原本分布着大面积海鲜养殖基地、盐池、水沟和冲沟, 长期的积累作用使其地面承载力较差, 易发生较大与不稳定的沉降。经回填、地基夯实和平整碾压, 通过沉降观测, 跑道、站坪及联络道形成稳定的地基后铺设水泥砼路面。在场区跑道、站坪及联络道上均匀布置沉降标, 于 2014 年 11 月—2015 年 10 月对其进行周期性的沉降观测, 以妥善解决高填方地基的稳定与变形等问题。

## 2 变形监测方案

采用二等闭合水准路线对机场飞行区跑道、站坪及联络道沉降标进行观测, 所用仪器见表 1。

表 1 变形测量仪器

设备名称	型号规格	数量	精度
水准仪	天宝(DINI03)水准仪	1 台	±0.3 mm/km
钢钢尺	2 m	2 副	
联想电脑	XP 系统	2 台	
数据处理软件	Trimble Data Transfer	1 套	
打印机	Canon IR-ADV 4025/4035 UFR II	1 台	
吉普车	三菱/帕杰罗	1 辆	

观测前, 先对 3 个水准点(GPS4、GPS5、GPS6)进行联测(见图 1), 以检核其高程值的变化, 确保水准点的稳定性, 使其能作为沉降观测的起算依据。通过联测, GPS4、GPS5、GPS6 的检核结果都在毫米以下, 满足限差要求, 可作为沉降观测的高程基准。

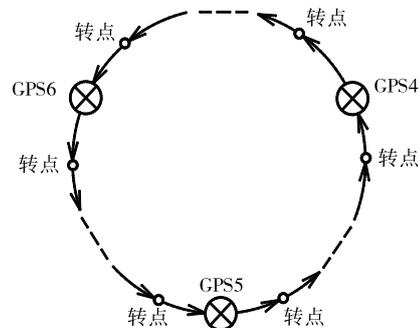


图 1 联测示意图

以 GPS6 作为观测起始点, 依次观测各沉降标 S1、S2、…、S154、S155 后, 经数次转站最终闭合到起始点 GPS6, 完成一条闭合线路的测量。同理, 由

GPS4起算,依次观测各沉降标 N1、N2、…、N384、N385,再闭合到 GPS4,完成另一条线路的测量。2条闭合线路共同完成整个跑道的沉降观测。

由 GPS5起算,依次观测各沉降标 E1、E2、…、NE91、L1、…、L21、…、D1、…、D18,然后闭合到起始点 GPS5,完成站坪及联络道的沉降观测。

### 3 沉降监测数据处理及预测

#### 3.1 监测结果

采用电子水准仪自带的记录程序记录沉降观测数据,观测完成后形成原始电子观测文件,通过数据传输处理软件传输至计算机,检查合格后使用专用水准网平差软件进行严密平差,得出各测点高程及累积沉降值(见图2)。

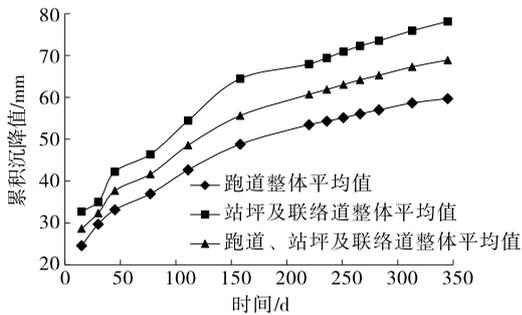


图2 实测累积沉降值

从图2可看出:1)不同位置的累积沉降值在前期增长较大,沉降变形较明显;后期趋于平缓,逐渐接近稳定值。跑道、站坪及联络道的累积沉降值在158d时分别为343d时的81.74%和82.50%,前期沉降变形迅速增大,达到343d的80%以上,累积沉降值的后期增长则较慢。在251d时,跑道、站坪及联络道的累积沉降值均达到343d时的90%以上,说明251d之后累积沉降值增长缓慢,地基沉降趋于稳定,地基变形处于稳定状态。2)跑道的整体累积沉降值低于站坪及联络道的整体累积沉降值。接近1年时,跑道、站坪及联络道的整体沉降平均增长率分别为0.03、0.07 mm/d,沉降增长率均较低。接近1年时路基整体累积沉降平缓,接近最终沉降。

#### 3.2 回归分析及预测

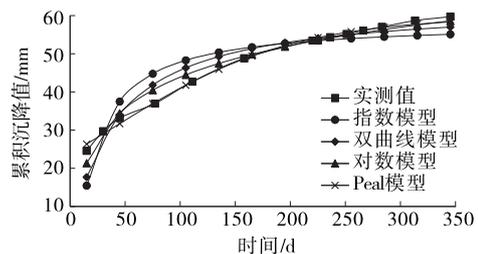
采用合理的模型对地基沉降进行预测对于了解工后最终沉降十分重要。很多学者根据不同现场实测沉降规律提出了不同沉降回归预测模型,主要有指数模型、幂函数模型、双曲线模型、对数模型、Peal模型及灰色预测模型(见表2)。

表2 常用沉降回归预测模型

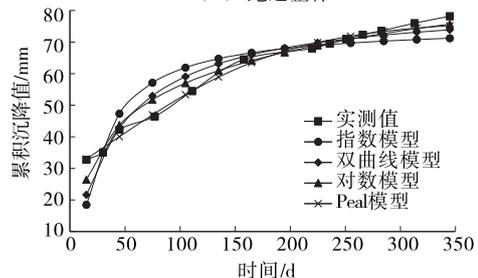
模型	数学表达式	拟合参数
指数模型	$S = Ae^{-B/t}$	A、B
双曲线模型	$S = t/(A+Bt)$	A、B
对数模型	$S = A \ln t + B$	A、B
Peal模型	$S = L/(1 + Ae^{-Bt})$	A、B、L

分别采用表2所示4种模型对锦州机场累积沉降值进行回归分析,包括跑道整体平均累积沉降值、站坪及联络道整体平均累积沉降值和跑道、站坪及联络道整体平均累积沉降值,结果见图3。以最后一次监测(343d)为例,各模型计算累积沉降值与实际沉降值的偏差见表3。

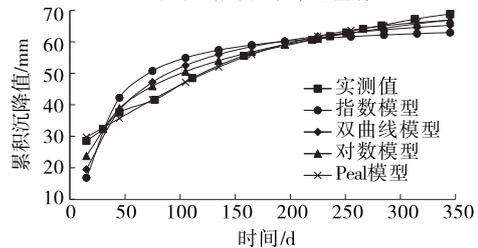
从图3和表3可看出:1)4种回归预测模型中,Peal模型的沉降预测曲线与实测沉降曲线非常接近,跑道整体、站坪及联络道的相关系数均达到0.99以上,说明Peal模型对于锦州机场工后沉降回归分析的适用性最好。其他3种模型沉降预测曲线的形式相似,与实测曲线存在偏差,尤其是在沉降监测的早期,但对数模型的后期沉降预测值与实测沉降值较接近,且相关系数较高。2)在监测后期,对数模型和Pea模型的预测累积沉降值与实测沉降值较接



(a) 跑道整体



(b) 站坪及联络道整体



(c) 跑道、站坪及联络道整体

图3 沉降实测曲线与预测曲线

表 3 不同模型沉降预测结果的偏差

监测区域	实测累积沉降/mm	指数模型预测结果		双曲线模型预测结果		对数模型预测结果		Peal 模型预测结果	
		累积沉降/mm	偏差/%	累积沉降/mm	偏差/%	累积沉降/mm	偏差/%	累积沉降/mm	偏差/%
跑道	59.69	55.07	7.74	56.97	4.56	58.59	1.84	58.32	2.30
站坪及联络道	78.12	71.16	8.91	73.82	5.50	75.64	3.17	75.13	3.83
跑道、站坪及联络道	68.90	63.01	8.55	65.30	5.22	67.01	2.74	66.92	2.87

近,可采用 Peal 模型对锦州机场工后沉降监测数据进行分析,并结合对数模型进行预测。这也再次说明,对于不同施工项目的工后沉降,没有绝对统一的分析预测模型,适用性只是对特定样本而言,且需要补充长期监测数据进行对比分析,才能确定模型的适用性。机场工后沉降预测宜综合采用多模型。

#### 4 结论

(1) 锦州新建民用机场跑道、站坪及联络道的工后沉降,早期增长速度很大,251 d 后累积沉降趋于平缓并接近最终沉降。

(2) Peal 模型的沉降预测值与锦州新建民用机场工后实测累积沉降值非常接近,各测点的相关系数均在 0.99 以上,可较好地表征该机场工后沉降的发展变化规律。

(3) 对数模型预测的锦州新建民用机场 343 d 累积沉降与实测值接近,可用于该工程最终沉降量预测。

(4) 对于特定工程项目工后沉降的计算和预测,应结合工程实际选用合适模型,并结合多模型对比进行最终沉降量预测。

#### 参考文献:

[1] 丛斌龙.大连海上机场软基沉降计算[D].大连:大连理工大学,2013.  
 [2] 张军辉,黄湘宁,郑健龙,等.河池机场填石高填方土基工后沉降离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(4).

[3] 何涛,刘玉财,羊远新.机场沉降监测数据处理的探讨[J].城市勘测,2009(4).  
 [4] 闫俊.机场高填方沉降变形分析与预测及数据可视化研究[D].成都:成都理工大学,2015.  
 [5] 顾强康,李宁,黄文广.机场高填土地基工后不均匀沉降指标研究[J].岩土力学,2009,30(12).  
 [6] 吴宗皓.机场水泥搅拌桩复合地基沉降分析[D].杭州:浙江大学,2010.  
 [7] 李秀珍,许强,孔纪名,等.九寨黄龙机场高填方地基沉降的数值模拟分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(12).  
 [8] 李群善.康定机场北段高填方边坡稳定性及场道沉降变形研究[D].成都:西南交通大学,2008.  
 [9] 张文斌.昆明新机场高填方地基沉降变形监测及预测研究[D].成都:成都理工大学,2013.  
 [10] 朱才辉,李宁,刘明振,等.吕梁机场黄土高填方地基工后沉降时空规律分析[J].岩土工程学报,2013,35(2).  
 [11] 曹光棚.山区机场高填方工后沉降变形研究[D].北京:清华大学,2011.  
 [12] 王成锋.山区机场高填方体沉降变形控制与评价[D].贵阳:贵州大学,2008.  
 [13] 王广德,韩黎明,柴震林,等.上海浦东机场一跑道地基沉降规律[J].工程地质学报,2012,20(1).  
 [14] 闫玉兴.遂宁机场泥岩碎石土高填方地基沉降研究[D].成都:成都理工大学,2013.  
 [15] 任佳丽.碎石桩处理昆明新机场红粘土地基的固结沉降分析研究[D].武汉:长江科学院,2008.

收稿日期:2018-04-18

(上接第 84 页)

施工技术研究[J].重庆交通学院学报,2000,19(1).  
 [6] 邢傲雪.乳化(泡沫)沥青冷再生混合料技术性能深入研究[D].西安:长安大学,2010.  
 [7] 俞韶秋.水泥-乳化沥青冷再生混合料水稳性的研究[J].中外公路,2013,33(1).  
 [8] 郝培文,徐金枝,周怀治.应用贝雷法进行级配组成设计的

关键技术[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(6).  
 [9] 林烈琼,包双雁.泡沫沥青冷再生技术在海南公路改建中的应用[J].公路与汽运,2017(6).  
 [10] 刘娜.乳化沥青冷再生混合料压实特性研究[J].公路与汽运,2018(2).

收稿日期:2018-08-10