

# 机场填高作用下道槽沉降模型研究

刘 锋, 黄崇伟

上海理工大学交通运输工程系, 上海

收稿日期: 2025年3月30日; 录用日期: 2025年4月23日; 发布日期: 2025年4月30日

## 摘 要

本研究聚焦于机场高填方地基在道槽区施工结束后, 因地基工后沉降不均引发的一系列问题, 借助有限元仿真软件, 建立填高作用下道槽沉降模型, 研究了工后沉降对道槽结构应力分布的规律。通过有限元法, 构建了不同填方高度的沉降模型, 提取道槽区工后沉降数据发现, 最大沉降为90 m填高的18.6 cm (自监测之日起算)。研究表明, 填筑完成后沉降速度较快, 高填方模型沉降量大小逐渐增加, 随着时间的增加沉降值逐渐增大之后趋于稳定。这项研究对于理解机场道槽区在高填方地基下的工后沉降具有重要意义, 为提高机场道面使用寿命和安全性提供了关键信息。

## 关键词

道槽沉降, 机场高填方工程, 有限元模拟

# Research on Settlement Model of Runway Trough under Airport Fill Height Influence

Feng Liu, Chongwei Huang

Department of Transportation System Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Mar. 30<sup>th</sup>, 2025; accepted: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2025; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2025

## Abstract

This study addresses the issue of stress variations in the runway slab structure caused by uneven post-construction settlement of high-fill airport foundations in the runway area after construction. By employing the finite element method and utilizing finite element software, a two-dimensional finite element model of the runway area on a high-fill airport foundation was established. The research delves into the influence patterns of post-construction settlement on the stress

distribution within the runway slab structure. Through a combination of theoretical analysis and finite element simulation, high-fill models with varying fill heights ranging from 30 m to 90 m were constructed. Analysis of the post-construction settlement data in the runway area revealed that the maximum settlement was 18.6 cm for a fill height of 90 m (calculated from the start of monitoring). The study indicates that settlement occurs rapidly after the completion of filling, with the settlement amount gradually increasing over time before stabilizing. This research holds significant importance for understanding the post-construction settlement of runway areas on high-fill airport foundations and provides critical information for enhancing the service life and safety of airport pavements.

## Keywords

Runway Slab Settlement, High-Fill Airport Engineering, Finite Element Simulation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

机场作为现代交通枢纽的重要组成部分,其场地建设对地基工程的要求极为严格。尤其是在机场扩建或新建过程中,填高施工成为解决场地不平整和优化土地利用的重要手段。道槽区沉降主要是由基础沉降和填筑体自身变形两部分叠加而来[1]。然而,大量填土对地基的应力重分布和沉降特性产生显著影响,尤其是对道槽(跑道和滑行道槽体)区域,其长期沉降将直接威胁机场运营的安全性和可靠性。因此,研究填高作用下道槽的沉降规律,建立合理的沉降预测模型,具有重要的理论和工程意义。

道槽沉降的复杂性主要体现在两个方面:一是填高过程对地基的非均匀加载引起应力和变形的耦合效应,导致道槽区域的沉降特性具有显著的空间差异性;二是地基的沉降行为受多种因素影响,包括填土高度、地基土质特性、地下水位变化以及施工工艺等,具有较强的非线性与时变性。张洁珂[2]针对岩溶地质条件下山区机场的高填方道槽区施工沉降稳定问题进行了全面分析,并提出相应的技术措施与对策;彭召伟等[3]以某机场扩建工程为例,对机场沉降观测数据进行分析,研究如何确保机场跑道的安全性;满立[4]基于西南某机场通过数值模拟方法针对机场高道槽区沉降进行仿真模拟。侯斌[5]开展高填方沉降变形规律和边坡稳定性研究,采用有限元数值分析方法,提出并验证高填方边坡设计方案。可以看出,目前大多研究集中在理论分析与数值模拟方面,对于实际道槽区影响机理及解决方案存在一定的差距,尤其是针对复杂地基条件的沉降模型尚未形成系统的理论框架。

本研究以机场填高作用下的道槽沉降为研究对象,采用理论分析与数值模拟相结合的方法,基于地基沉降的力学特性,综合分析填土加载、地基性质和施工条件对道槽沉降的影响机理。通过数值模拟与现场数据校核,构建适用于机场填高条件的道槽沉降模型,为机场工程的设计与施工提供理论支持,为道槽沉降控制及后期运维管理提供参考,保障机场工程的长期稳定性和安全性。

## 2. 有限元模型建立

### 2.1. 有限元基本理论

有限元模型基本理论是基于连续介质力学和数值分析方法的结合,通过将复杂的连续体结构离散化为有限数量的简单单元(如三角形、四边形等),并在每个单元内假设位移场或应力场的分布形式,从而将

复杂的偏微分方程转化为线性代数方程组进行求解。在机场高填方地基与道槽沉降的研究中, 有限元法能够有效模拟填土加载、地基沉降及道面板应力分布的复杂耦合行为。

具体而言, 本研究采用二维有限元模型, 将高填方地基和水泥混凝土道面板视为连续介质, 通过划分网格将研究区域离散化为有限数量的单元。模型的边界条件采用静力边界条件, 在初始分析步中, 限定模型两侧的水平位移和模型底部两个方向的位移, 如图 1 所示。在每个单元内, 基于弹性力学理论, 假设位移场为线性或高阶函数, 并通过虚功原理或最小势能原理建立单元刚度矩阵。通过组装所有单元的刚度矩阵, 形成整体刚度矩阵, 并结合边界条件和外部荷载(如填土自重、道面板荷载等), 求解节点位移场进一步, 根据位移场计算应变和应力分布, 从而分析道面板底部的应力变化规律。有限元模型的精度依赖于网格划分的精细程度、材料本构关系的合理性以及边界条件的准确性。回填土层选用四结点双线性轴对称四边形 CPX4 单元, 碎石夹黏性土及基岩采用四结点轴对称四边形单元, 双向线性位移, 双向线性孔隙压力 CPE4P 单元, 对全局布设不同种子进行网格划分。

本研究通过理论分析与有限元仿真相结合, 构建了不同填方高度下的高填方模型, 为揭示机场道面板在高填方地基下的受力特性提供了可靠的理论基础。

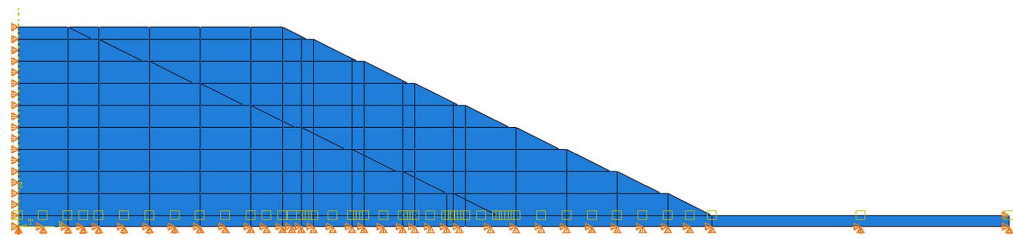


Figure 1. Schematic diagram of high fill force and boundary  
图 1. 高填方受力及边界示意图

2.2. 数值仿真模型构建

本节针对某机场工程中不同填方高度的填筑体, 结合施工现场勘察资料确定填筑土体参数, 并引入道面层, 研究高填方工程中道面板层底应力的变化规律。在利用有限元软件建模时, 边界尺寸对计算结果的影响较大。为避免边界效应对边坡稳定性分析的不利影响, 参考国内外相关研究成果, 在保持填方边坡坡度和原始地面线位置不变的前提下, 适当扩大原始边坡尺寸。基于上述分析, 构建了如图 2 所示的几何模型。

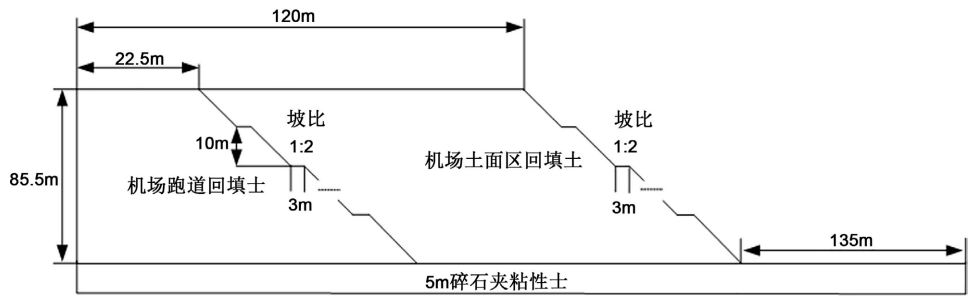
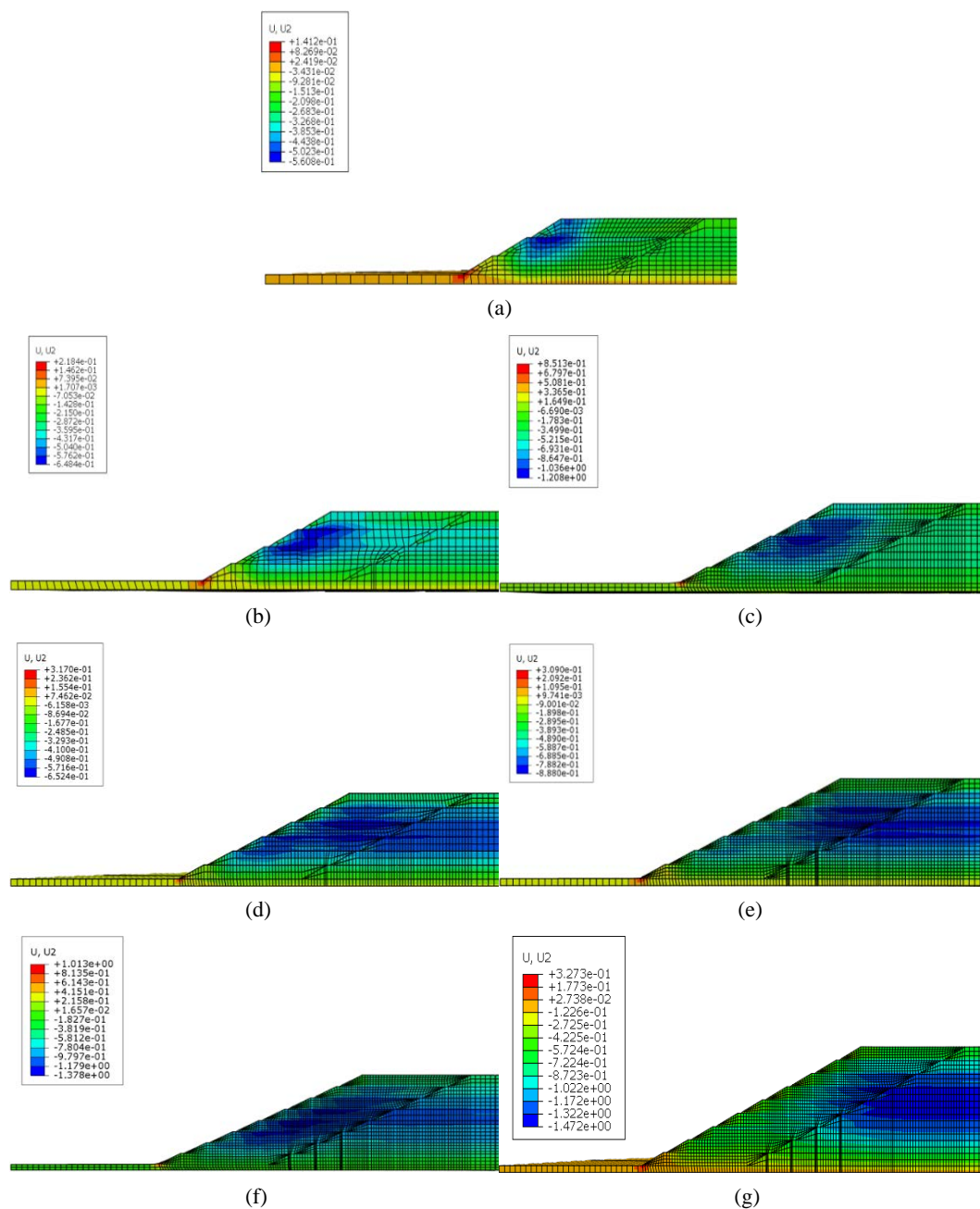


Figure 2. Finite element geometric model  
图 2. 有限元几何模型

为了探究不同填方高度下对道槽区对沉降的影响, 本节分别对不同填高模型 30 m、40 m、50 m、60

m、70 m、80 m、90 m 引入道槽区, 分析其沉降, 以此来研究不同填方高度对道槽区的影响。图 3 为不同填方高度 10~90 m 下的沉降结果变化云图。



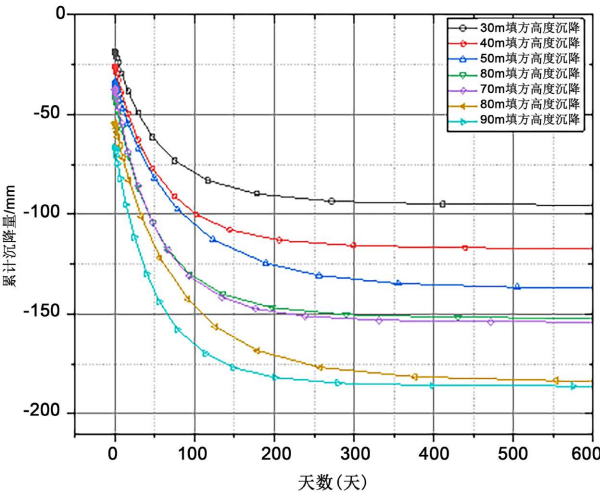
**Figure 3.** Cloud map of settlement changes at different filling heights. (a) Cloud map of settlement changes in the trench area at a filling height of 30 m; (b) Cloud map of settlement changes in the channel area at a filling height of 40 m; (c) Cloud map of settlement changes in the trench area at a filling height of 50 m; (d) Cloud map of settlement changes in the channel area at a filling height of 60 m; (e) Cloud map of settlement changes in the channel area at a filling height of 70 m; (f) Cloud map of settlement changes in the channel area at a filling height of 80 m; (g) Cloud map of settlement changes in the trench area at a filling height of 90 m

**图 3.** 不同填方高度下沉降结果变化云图。(a) 30 m 填方高度下道槽区沉降变化云图; (b) 40 m 填方高度下道槽区沉降变化云图; (c) 50 m 填方高度下道槽区沉降变化云图; (d) 60 m 填方高度下道槽区沉降变化云图; (e) 70 m 填方高度下道槽区沉降变化云图; (f) 80 m 填方高度下道槽区沉降变化云图; (g) 90 m 填方高度下道槽区沉降变化云图

### 3. 仿真模拟分析

不要使用空格、制表符设置段落缩进, 不要通过连续的回车符(换行符)调整段间距。

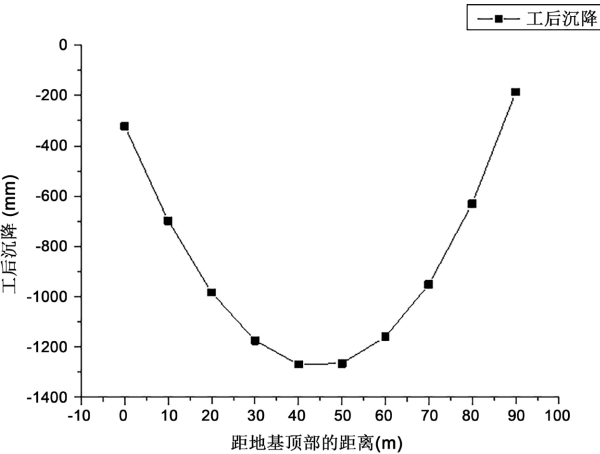
基于建立的道槽沉降的高填方模型, 在不同填方高度(30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, 80 m, 90 m)下从道槽区顶面处取点, 绘制不同填方高度的沉降曲线图, 如图 4 所示。



**Figure 4.** Cumulative settlement at different fill heights  
**图 4.** 不同填方高度的累计沉降量

从不同填方高度的累计沉降量可以看出, 填筑完成后沉降速度较快, 随着时间的增加沉降值逐渐增大之后趋于稳定。随着填方高度的增加, 沉降量稳定的时间增长。虽然不同填方高度的沉降分布规律保持一致, 但是在数值上还是存在着较为显著的差距。随着填方高度的增大, 其最大累计沉降量越来越大。

通过对 90 m 高填方模型道槽中心点处纵断面取计算点分析, 结果如图 5 所示。



**Figure 5.** Settlement distribution curve at the center of the channel at a filling height of 90 m  
**图 5.** 90 m 填方高度下道槽中心处沉降分布曲线

这是由于多个方面的因素共同造成的。首先是材料属性的变化, 在地面线以下材料由机场道基的填土过渡到地基土层, 相应的模量增大, 其抵抗变形的能力也增强; 其次是地基在计算之前已经进行过了

地应力平衡, 其每个计算单元中的应力分布是均匀的, 在土基自重应力作用下的沉降已经发生了, 可以理解为每个单元体是不受其自身重力的影响的。因此到了地面线以下土体所承受的附加应力是恒定的, 而力的传递随着深度的加大必然会逐渐减弱, 因此沉降量也相应减小; 最后是在模型的底部是存在竖向固定的约束条件的, 这种约束也是完全合理的。因此, 在多方面的影响下, 整个模型的总沉降分布就呈现出先增后减的趋势。

#### 4. 结论

1) 通过理论研究以及现场勘探施工资料, 构建了不同填方高度 30~90 m 的道槽沉降的高填方模型, 模拟了不同填高对道槽沉降的影响规律, 此建模思路可为机场高填方道面板层底应力模拟仿真提高指导。

2) 基于高填方沉降仿真模型, 构建了不同填方高度 30 m、40 m、50 m、60 m、70 m、80 m、90 m 下的高填方沉降模型, 分析了不同填高高度下道槽的沉降, 最大沉降为 90 m 填高的 18.6 cm (自监测之日起算)。研究表明, 填筑完成后沉降速度较快, 高填方模型沉降量大小逐渐增加, 随着时间的增加沉降值逐渐增大之后趋于稳定。

#### 参考文献

- [1] 王树华. 高填方机场道槽区沉降的监测控制[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(7): 94-95.
- [2] 张洁珣. 某岩溶地质条件高填方机场道槽区沉降稳定技术探讨[J]. 山西建筑, 2018, 44(20): 42-44.
- [3] 彭召伟, 黄先辉. 民用机场道槽区的沉降观测方法[J]. 江西测绘, 2019(3): 30-32.
- [4] 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.
- [5] 侯斌. 安康机场膨胀土高填方沉降变形规律和多级边坡稳定性分析[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2022.