

# 双排桩加固素填土高边坡方法研究

高 乐

中国铁路设计集团有限公司，天津

Email: gaole@crdc.com

收稿日期：2021年4月3日；录用日期：2021年4月22日；发布日期：2021年4月29日

## 摘 要

研究目的：本文通过对双排桩加固素填土高边坡治理的案例介绍及有限元分析，明确了在填土高边坡工程中，勘察、设计、施工及监测各领域应该注意的问题和解决方法。研究结论：1) 素填土边坡设计过程应与数值分析方法相互验证，提高设计成果的可靠性及合理性。2) 前后排桩桩身弯矩呈左右镜像的S型分布；3) 前桩承担了更大的剪力与弯矩，结构设计过程应对前桩进行加强。4) 本研究结论对同类岩土工程治理具有指导意义。

## 关键词

素填土，高边坡，支护工程，监测

# Research on Reinforce Method of Plain Fill High Slope by Double-Row Pile Structure

Le Gao

China Railway Design Corporation, Tianjin

Email: gaole@crdc.com

Received: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2021; accepted: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2021; published: Apr. 29<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

**Research purpose:** Through analyzing reinforce method of plain fill high slope by double-row pile structure, the author gets the problem and solution in investigation, design, construction and monitoring of the plain full high slope. **Research conclusion:** 1) The design process of plain fill slope should be mutually verified with the numerical analysis method, which is improving the reliability and rationality of the result. 2) It is found that the bending moment of the pile in front and rear row is an s-shaped distribution with left and right mirror images. 3) The front pile bears

文章引用：高乐. 双排桩加固素填土高边坡方法研究[J]. 土木工程, 2021, 10(4): 383-391.

DOI: 10.12677/hjce.2021.104044

greater shear force and bending moment, so the front pile should be strengthened in the structural design process. 4) The conclusion of this study could guide the similar geotechnical engineering.

### Keywords

Plain Fill, High Slope, Support Engineering, Monitoring

Copyright © 2021 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/>



## 1. 引言

滑坡是主要的地质灾害类型之一，对人类的生产、生活有很大的危害及影响[1]。填土边坡因其成分复杂，密实度变化大，滑动面均质性差，对勘察、分析和合理防止带来了较大的困难[2]，同时由于边坡通常具有三维效益，此类边坡稳定性及加固效果评价已经成为了山区及丘陵地区土木工程建设的一个重要工程地质问题[3] [4]。现阶段针对素填土高边坡研究多针对具体工程[5]，缺乏对这一类型工程问题的治理的归纳性总结。

本文采用数值模拟方法进行定性分析，指导加固设计方案，通过与监测数据的对比验证，确定的分析成果的可靠性，为素填土高边坡治理提供了指导性方法与建议。

## 2. 素填土边坡治理实践

### 2.1. 工程及地质概况

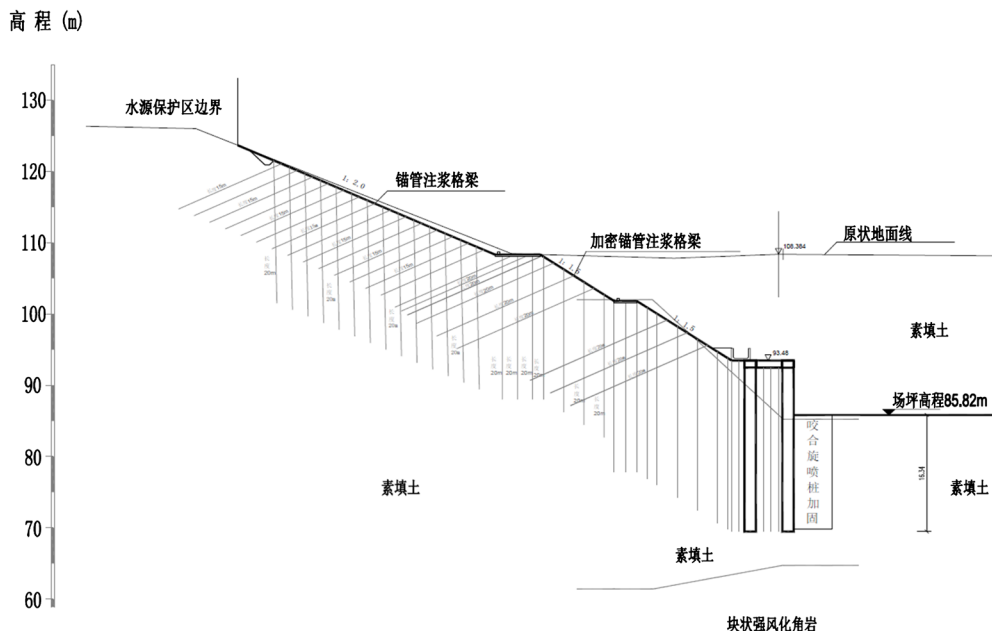


Figure 1. Typical section of plain fill slope under limited site conditions  
图 1. 场地受限条件下素填土边坡断面图

图1 设计工点位于深圳地铁10号线凉帽山车辆段场区西侧位置,边坡东西长度320 m, 堑坡顶部至开挖后场坪最大高差达41.25 m, 组成边坡的岩土体为周边建筑工程的无序弃渣形成(基坑开挖的土、石及建筑垃圾), 素填土未经过专门的压实处理, 仅由运输车辆通过时简单压实。现状地面0~20 m 高程为素填土地层, 20~40 m 高程为一坡率2~2.4 的自然缓坡, 同时场地北侧紧邻二级水源保护区, 距离场地边界很近, 高堑坡工程处理空间极其有限。

## 2.2. 设计方案

设计先结合现场原位试验, 利用素填土松散空隙大的特性, 采用锚管注浆浆液渗透。浆液充填素填土之间的空隙, 不仅改善了素填土的粘结强度, 随着浆液扩散凝固, 形成的结石体也提高了素填土的内摩擦角, 有效地改良了素填土的性质。之后采用双排桩挡墙收坡, 上部对改良加固过的素填土采取放坡处理设计思路。

同时坡顶及平台设置排水沟对降雨及地表径流引排; 同时排桩桩间设置仰斜排水孔, 采用打孔钢管外裹土工布, 长度10~20 m, 对素填土边坡内部水进行引排。

## 3. 有限元分析

借助MIDAS/GTS 软件, 建立有限元模型, 见图2, 对素填土边坡加固方案进行模拟。

### 3.1. 有限元模型参数

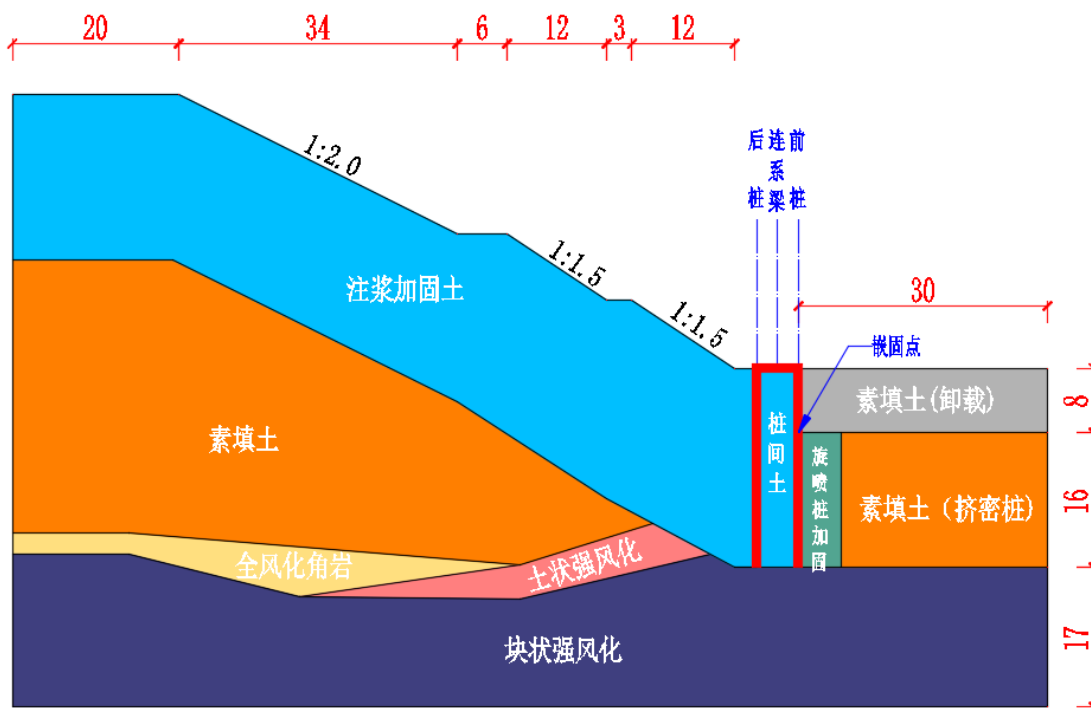


Figure 2. Finite element model geometry size diagram

图2. 有限元模型几何尺寸示意图

本工程采用模拟土体卸载特性较好的修正摩尔-库伦模型, 桩身及连系梁为各向同性均质线弹性体, 采用梁单元模拟, 材料参数见表1、表2。

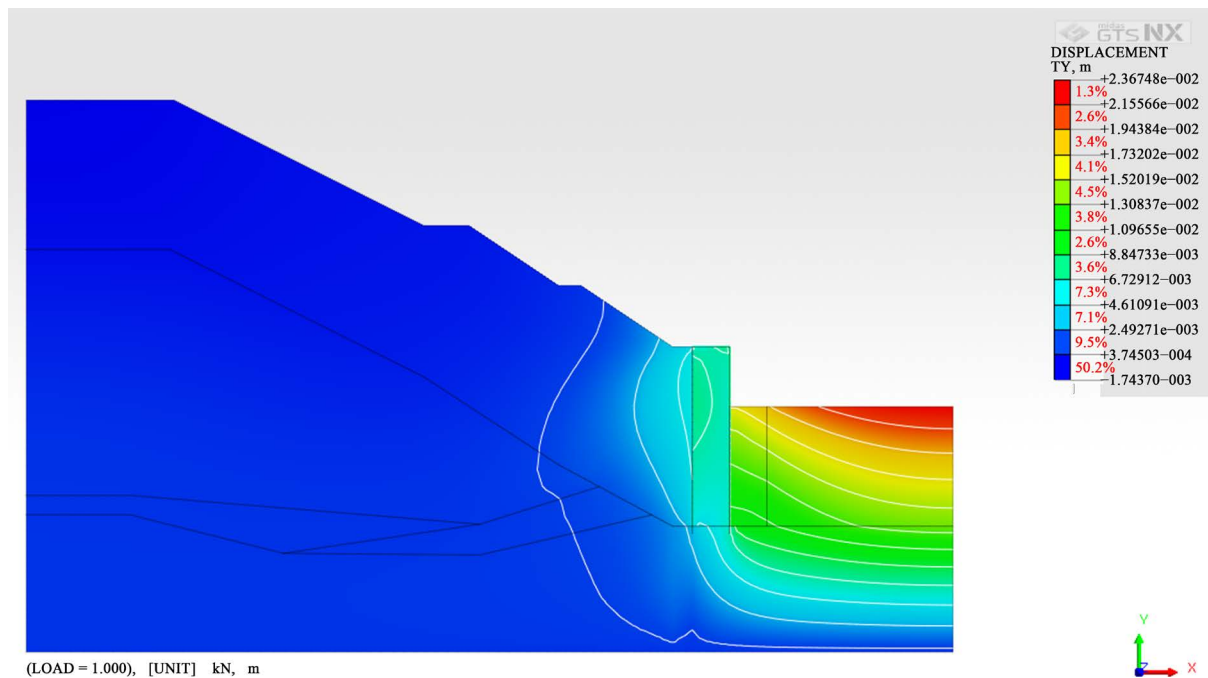
**Table 1.** Parameter of geo-technical material  
**表 1.** 岩土材料参数

材料名称	$\nu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
素填土	0.33	18	20	20
素填土(注浆)	0.3	18	35	40
全风化角岩	0.3	20	35	23
土状强风化角岩	0.3	20	50	30
块状强风化角岩	0.28	22	60	35
桩间土	0.28	22	35	30
桩前旋喷桩	0.25	22	60	35

**Table 2.** Parameter of structure  
**表 2.** 梁单元材料参数

材料名称	$E$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
排桩	25,000,000	0.2	25
联系梁	25,000,000	0.2	25

### 3.2. 变形结果分析



**Figure 3.** Nephogram: Vertical displacement  
**图 3.** 竖向位移云图

由图 3 可知，在竖直方向上，桩前土体卸载后，土体在重力作用下，桩后土体发生沉降，最大沉降量为 1.74 mm。相反，桩前土体开挖后，产生卸载作用，开挖面开挖隆起，隆起位移最大值为 23.6 mm。开挖面底部隆起在实际基坑开挖过程中也是比较常见的一种现象。

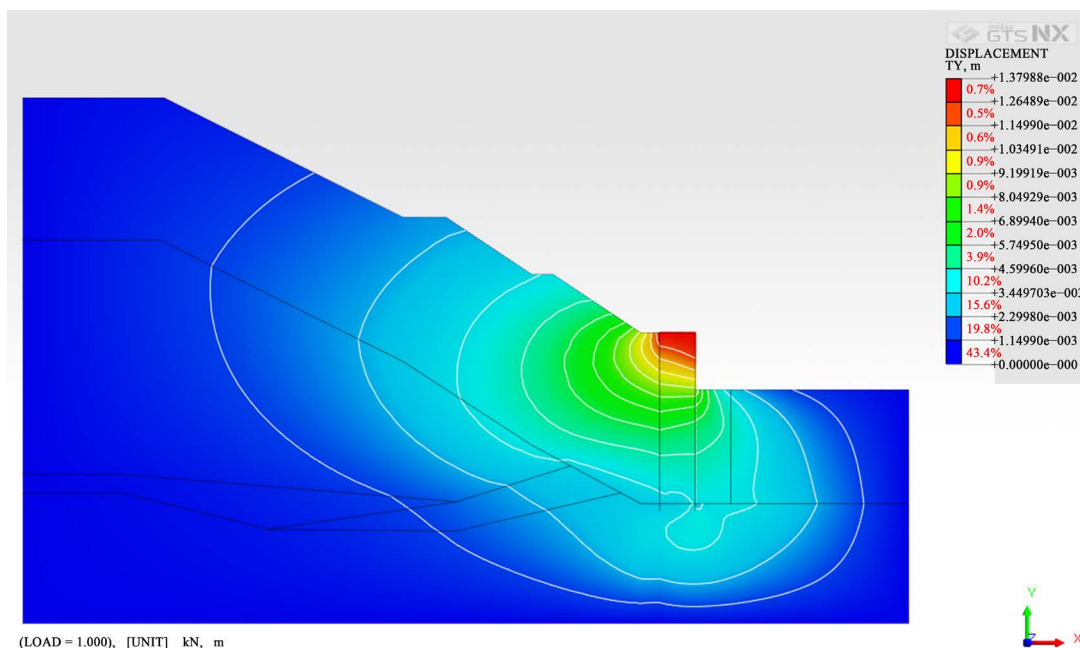


Figure 4. Nephogram: Horizontal displacement  
图 4. 水平位移云图

由图 4 可知, 在水平方向上, 开挖过程中, 支撑结构外侧土体在重力作用下, 向内部发生移动, 越靠近开挖面, 土体位移越大, 产生最大水平位移为 13.80 mm。

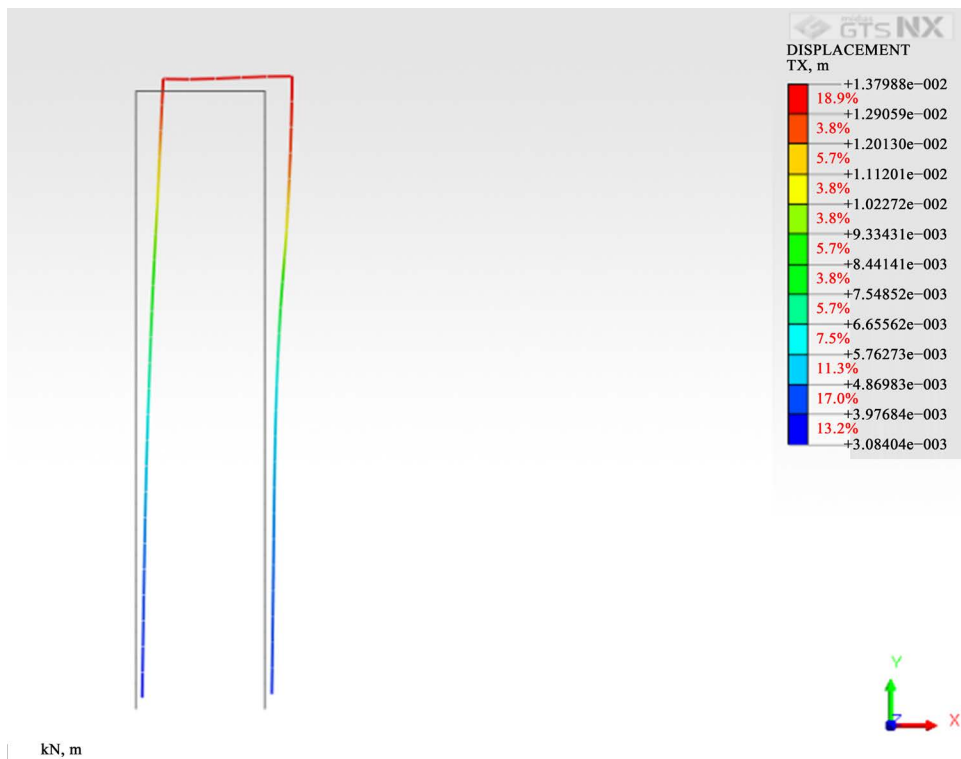


Figure 5. Nephogram: Horizontal displacement of double-row piles  
图 5. 双排桩水平位移云图

由图 5 可知, 双排桩除了受力变形产生了水平位移外, 还跟随土体产生了向基坑内侧及向上的位移。

### 3.3. 剪力分析

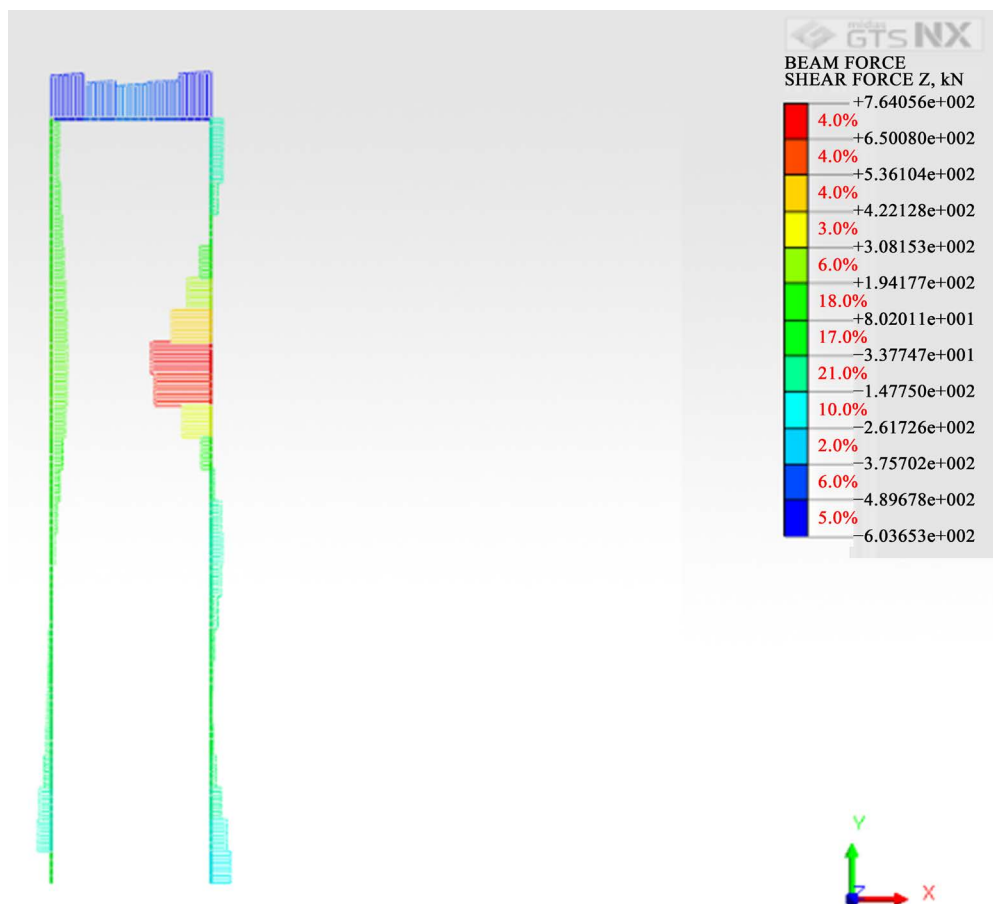


Figure 6. Nephogram: Shear force of double-row piles  
图 6. 双排桩剪力云图

图 6 为双排桩剪力云图, 从图中可以发现前后桩剪力值较大区域均集中在嵌固点高度附近。

### 3.4. 弯矩分析

支挡结构受力分析过程中, 支护结构抗弯能力也是一个十分重要的指标, 因此在本次数值模拟中对支护桩的弯矩进行了计算分析。

图 7 为双排桩弯矩云图, 图中前后排桩桩身弯矩呈 S 型分布, 在前排桩桩顶以下 3~4 m 处负弯矩达到最大, 在嵌固点以下 1~2 m 处出现正弯矩最大值; 后排桩正弯矩最大值出现在桩顶, 最大负弯矩则出现在嵌固点以下 5~6 m 处。

由于前排桩悬臂端临空, 桩前土体抗力通过咬合旋喷桩加固得到了提高, 外部约束条件的突然改变, 使得整个门架式双排桩支挡结构受力体系中, 前排桩承担了更大的剪力与弯矩, 结构设计过程应予以加强。

由图 8 可知, 随着开挖深度增加, 桩身的侧向位移也在增加, 而且不同开挖深度下桩身侧向位移的变化趋势基本一样。从图中还可以看出, 桩身在嵌固点以上的变形比较大, 嵌固点以下的变形比较小,

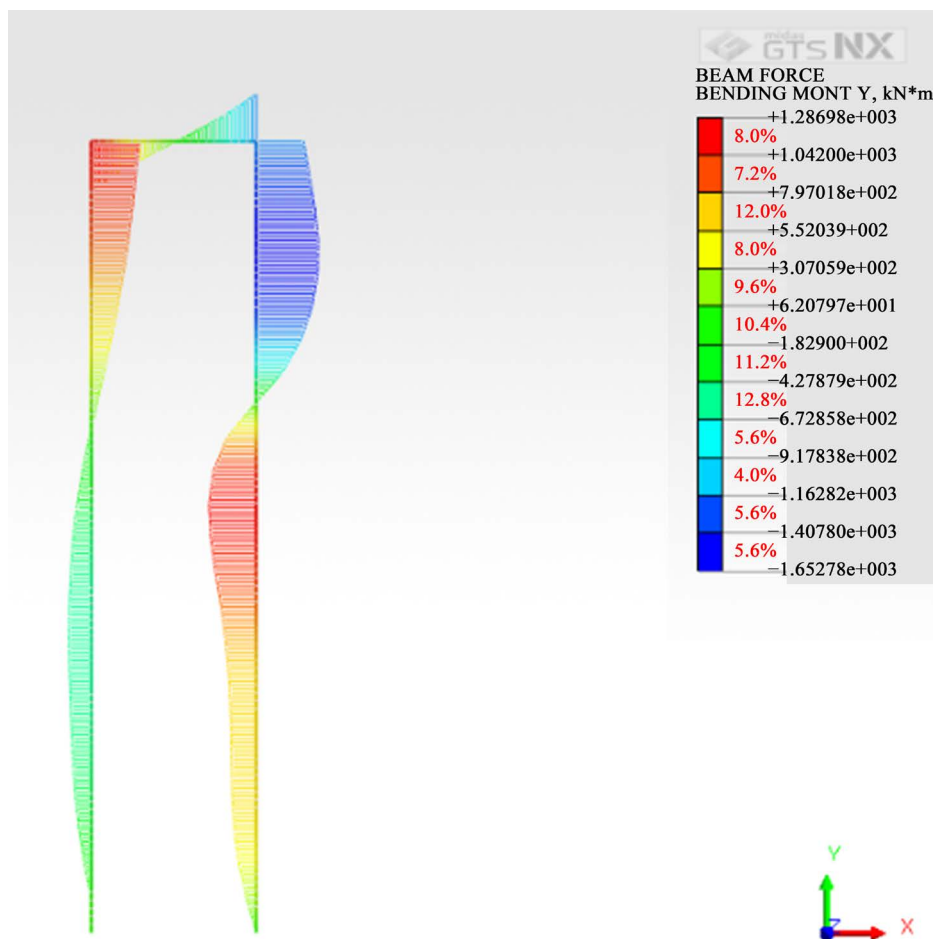


Figure 7. Nephogram: Bending moment of double-row piles  
图 7. 双排桩弯矩云图

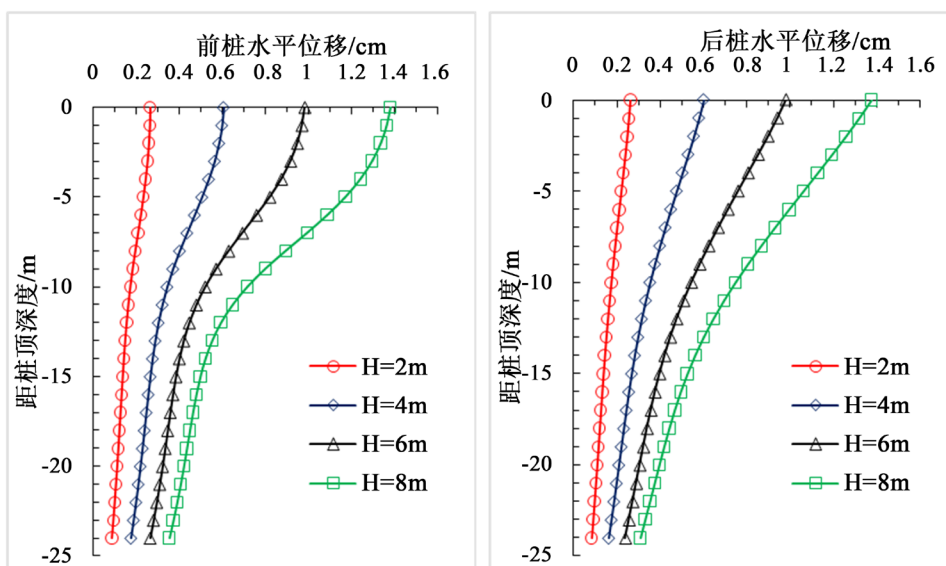


Figure 8. Curve: Horizontal displacement of pile  
图 8. 桩身水平位移曲线



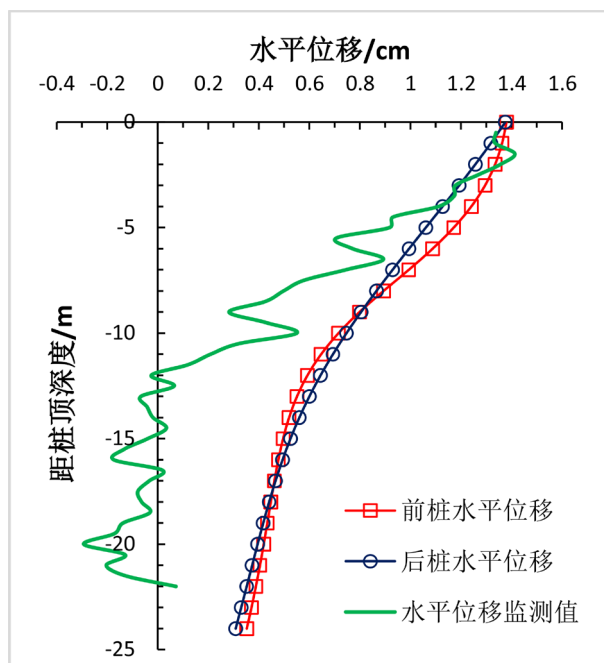


Figure 9. Curve: Comparison of horizontal displacement of pile  
图 9. 桩身水平位移曲线比较

桩身的变形最大值出现在桩顶，最大位移约 14 mm。

### 3.5. 监测结果分析

图 9 为实际工程中监测所得的水平位移与有限元计算结果沿桩身的分布曲线，将二者进行对比分析，来论证数值分析的可靠性。

由于本文双排桩挡墙属于悬臂式支护结构，前后排桩桩顶部有连梁，前后排桩的顶部位移大体一致，最大水平位移均发生在桩顶。在同一深度处，前后排桩侧移差异很小，开挖面以上前排桩略大于后排桩，最大差值不到 2 mm，开挖面以下前排桩和后排桩水平位移几乎相同。

从图中还可以看出，数值模拟结果和实际监测结果位移的变化趋势大体一致，都是随着深度增加桩身位移减小，位移最大值也基本一致。但是监测结果显示，嵌固点以下桩身位移基本为零，而数值模拟中嵌固点处前排桩和后排桩位移约为 3.5 mm。这是由于桩身位移监测采用测斜管，而测斜管是通过监测桩身变形角度得到桩身的水平位移，不能测出由于桩前土体变形桩身整体平移而发生的位移。由对比结果可知，数值模拟结果和实际监测结果变化趋势一致且数值相差不大，因此，数值模拟是可靠的。

随着边坡开挖及其支护工程的进行及完成，监测过程中积累了详实的边坡表层及内部位移变形数据，通过整理数据与对应时间的发展趋势，判断边坡处于稳定状态。

## 4. 结论

素填土高边坡的设计是一个综合性设计过程，需要勘察、设计、施工及监测各个环节的紧密配合，做好素填土边坡的动态设计、信息化施工，保证素填土边坡的安全和稳定。

1) 素填土边坡设计过程可利用数值方法，合理选取模型及材料参数，认真分析数值结果，对设计结果进行验证，提高设计成果的可靠性及合理性。

2) 双排桩结构前后排桩桩身弯矩呈左右镜像的 S 型分布，在前排桩桩顶以下 3~4 m 处负弯矩达到最



大, 在嵌固点以下 1~2 m 处出现正弯矩最大值; 后排桩正弯矩最大值出现在桩顶, 最大负弯矩则出现在嵌固点以下 5~6 m 处。

3) 由于前排桩悬臂端临空, 桩前土体抗力通过咬合旋喷桩加固得到了提高, 外部约束条件的突然改变, 使得整个门架式双排桩支挡结构受力体系中, 前排桩承担了更大的剪力与弯矩, 结构设计过程应予以加强。

## 基金项目

中国铁设科技开发课题(721575)。

## 参考文献

- [1] 陈祖煜. 土质边坡稳定性分析原理方法程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [2] 李宏杰, 等. 220 kV 盐津变电所填土边坡稳定性研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(12): 3459-3465.
- [3] 唐尧. 深圳“1220”山体滑坡灾害成因及安全防范分析[J]. 国土资源情报, 2016(1): 39-43.
- [4] 林宗元. 简明岩土工程勘察设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [5] 贺刚, 蒋楚生. 边坡岩土工程不确定性及对策分析[J]. 铁道工程学报, 2010(4): 19-22.