

文章编号: 1674—8247(2019)01—0046—04
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.01.009

斜坡段路基椅式桩板支挡结构力学特性分析

张礼财 王顺豪 刘思阳 蒋婧睿 汤睿

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:椅式桩板支挡结构是一种根据陡坡地段的特殊要求提出的新型支挡结构,为研究该新型支挡结构在高速铁路陡坡路基段的内力及变形规律,文章采用有限元软件 Abaqus 建立了陡坡路基段的椅式桩板三维模型进行研究,结果表明:(1)椅式桩板支挡结构构件中横梁受力最为复杂,是支挡结构中的薄弱构件;(2)桩土作用力受到覆土厚度变化的影响较大,桩悬臂段土压力分布近似为抛物线分布;(3)椅式桩板整体结构具有较强的抗变形能力以及整体协同性,能有效维持陡坡的稳定。

关键词:高速铁路;斜坡路基;椅式桩板结构;受力特性;数值分析

中图分类号:U213.1⁺52 **文献标志码:**A

Analysis of Mechanical Characteristics of the Chair-shaped Pile-board Structure in Steep Slope Subgrade

ZHANG Licai WANG Shunhao LIU Siyang JIANG Jingrui TANG Rui

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The chair-shaped pile plate retaining structure is a new type of retaining structure proposed according to the special requirements of the steep slope section. In order to analyze the internal force and deformation characteristics of the new retaining structure on the steep slope subgrade section of the high-speed railway, the finite element software Abaqus is used in this paper. A three-dimensional calculation model for the chair-shaped pile plate on the steep slope subgrade section is established. The results show that: (1) The cross beam in the chair-shaped pile plate retaining structure is the most complex and the weakest member in the retaining structure; (2) Pile soil force is affected by the change of the soil cover thickness, and the distribution of earth pressure in the cantilever section is approximately parabolic distribution; (3) The chair-shaped pile plate retaining structure has strong resistance to deformation and good cooperating performance, and can effectively maintain the stability of the steep slope.

Key words: high-speed railway; slope subgrade; chair-shaped pile-board structure; mechanical characteristic; numerical analysis

随着西部大开发政策的持续推进,在西部复杂山区修建高速铁路及公路时,因山脉纵横,地势起伏,出现了大量的陡坡路基地段,又伴随着高速铁路大提速的潮流,使得传统支挡结构,如重力式挡土墙、衡重式挡土墙以及其他支挡结构等已经难以保证陡坡的稳定

性,因此保持陡坡路基的平顺性、长期稳定性已成为支挡结构设计中不可回避的问题。鉴于目前陡坡路基工程的数量快速增长,对勘察、设计以及施工工艺的要求越来越高,为适应需求急需一种安全可靠的新型支挡结构^[1-4]。

收稿日期:2018-03-20

作者简介:张礼财(1990-),男,工程师。

引文格式:张礼财,王顺豪,刘思阳,等. 斜坡段路基椅式桩板支挡结构受力及变形特性数值分析[J]. 高速铁路技术,2019,10(1):46-49.

ZHANG Licai, WANG Shunhao, LIU Siyang, et al. Numerical Analysis of Stress and Deformation Characteristics of the Chair-Shaped Pile-Board Structure in Steep Slope Subgrade. [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(1): 46-49.

椅式桩支挡结构组成中,因合理设计和布置长桩、短桩、横梁、承载板与挡土板的尺寸和位置,因此该新型结构具有较好的承重性能、抗滑性能以及支挡作用。传统支挡结构通过理论分析、数值计算、室内试验等方法对其结构内力、结构变形、结构-土体相互作用等方面进行了较多的研究^[5-9],鉴于目前对该结构形式的受力和变形特性研究成果不多见,本文利用数值仿真方法,建立椅式桩支挡结构有限元模型,分析该新型支挡结构的内力分布及变形特性,为我国陡坡路基的新型支挡结构优化设计作理论指导。

1 工程概况

叙大铁路是连通叙永县叙永镇和古蔺县大村镇的货物运输线,龙山车站位于四川省境内泸州古蔺县龙山镇,车站附近地表斜坡坡度约为1:2,最大坡度达到20°,地表土层覆盖厚度为2~20 m的粉质黏土,车站中最大填方高度和挖方高度分别为19 m和17 m,基岩为灰岩,基岩面横坡与地面横坡基本相同,因此在路堤填方较高处易形成一系列的滑坡体或地震带。椅式桩板结构应兼具抗滑和支挡作用,且轻质、施工快捷方便,是控制陡坡地段铁路路基变形的有效措施,故在本段设置了椅式桩支挡结构,如图1所示。

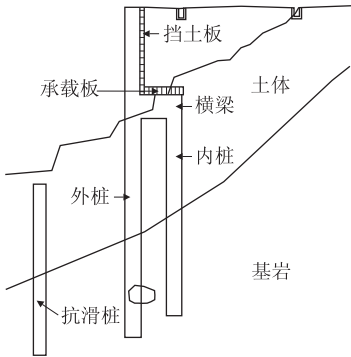


图1 龙山车站椅式桩支挡结构—土质边坡

2 数值计算模型

本文选取DK 64+355断面处的椅式桩支挡结构,桩结构尺寸如表1所示。

表1 桩结构尺寸

结构	尺寸		
	长/m	宽/m	高/m
长桩	2.25	3.25	46.50
短桩	2.25	3.25	34.00
横梁	6.00	2.25	3.00
悬臂段	长度13 m,纵向桩间距为6 m,横向的桩间距为9.25 m,横向净间距6.00 m		

基于有限元软件 ABAQUS 建立斜坡路基椅式桩

板支挡结构三维模型,其中采用 Solid 单元来模拟椅式桩支挡结构和岩土体均选取 Mohr – Coulomb 准则为填料与覆土层本构模型,而基岩本构为线弹性,采用换算土柱法来模拟列车荷载。有限元模型中,横向断面和纵断面上 Z、X 方向约束法向位移,底部约束 X、Y、Z 方向位移。计算参数如表2所示,结构模型如图2所示。

表2 数值模拟参数取值

材料类别	密度/(kg/m³)	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	弹性模量/MPa	泊松比
人工填料	2 000	25	20	15	0.3
粉质黏土	2 200	105	35	60	0.3
灰岩	2 300	200	40	21 000	0.2
C35 混凝土	2 500	—	—	32 500	0.2

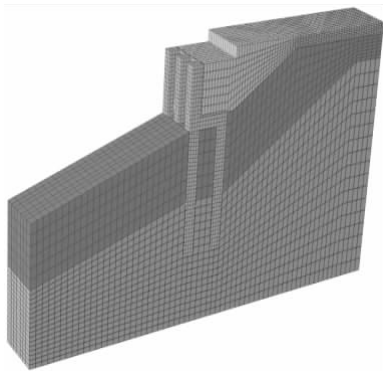


图2 数值计算模型

3 计算结果分析

3.1 结构变形

椅式桩水平位移图,如图3所示。

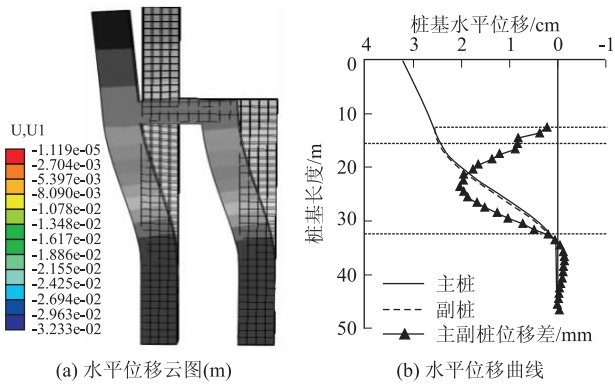


图3 水平位移图

由图3可知,长桩和短桩的水平位移分别为3.23 cm和2.55 cm,两者之间的水平位移差值为6 mm,表明在荷载作用下椅式桩支挡结构作为整体共同抵抗外荷载,且能够提供较高的抗力。而横梁的变形位移变化较为复杂,由图3可看出横梁的两端位置

有约0.3 mm的位移差,通过受力分析可以发现,拉伸变形和挠曲位移对横梁的影响显著,其受力较复杂,因此这里建议对于椅式桩支挡结构中的横梁做单独计算。

另一方面,通过对椅式桩支挡结构的水平位移和竖向位移的分析,以研究整体结构的抗滑能力,计算结果如图4所示。

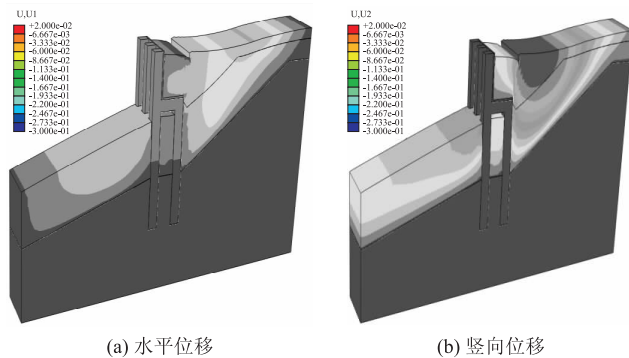


图4 路堤位移云图(m)

由图4可知,短桩后侧范围内的路基发生了较大的位移,竖向位移最大值达30 cm,最大竖向位移小于无桩的工况,这主要是归结于横梁的承载作用,使得填料基本压在横梁上,相当于提高了桩整体的重量,从而使得桩的重心向后移动,增加了路基整体的稳定性。

3.2 结构内力

椅式桩支挡结构的长桩、短桩以及横梁的内力分布曲线如图5~图7所示。

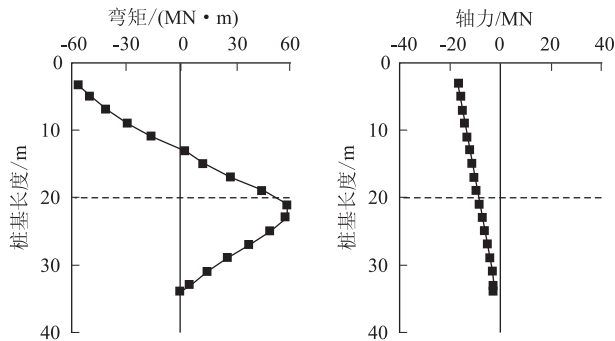


图5 长桩内力分布曲线

由图5、图6可知,除长桩和短桩的弯矩在桩顶的一部分有较大差距外,其余位置变化规律类似,长桩的最大弯矩与短桩的最大弯矩值变化不大。另一方面,轴力的变化差别则较大,长桩先受压后受拉,而短桩一直保持受拉状态,且拉力随着桩基长度越来越小。

由图5~图7可知,桩与横梁相交位置和覆土层中层,此时短桩和长桩的弯矩值达到最大,设计合理的横梁的布置可有效减小弯矩,增大轴力,因此,长、短桩

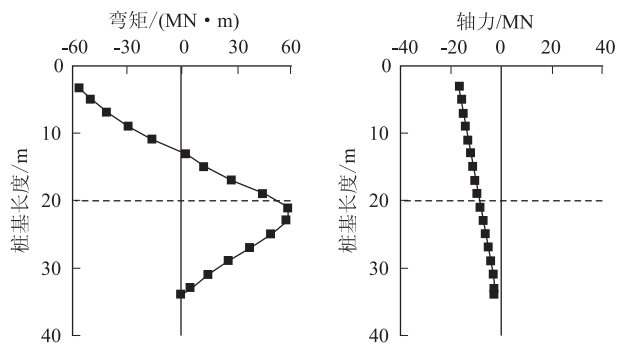


图6 短桩内力分布曲线

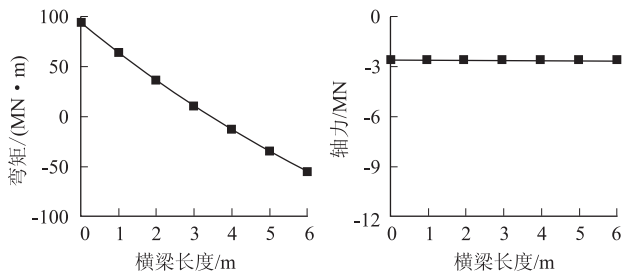


图7 横梁内力分布曲线

之间连接的横梁可以优化桩的受力。同时发现,在横梁上两端部位置弯矩值很大,是椅式桩结构中的易破坏的位置。

3.3 岩土相互作用

长、短桩的各位置的土压力变化曲线,如图8所示。

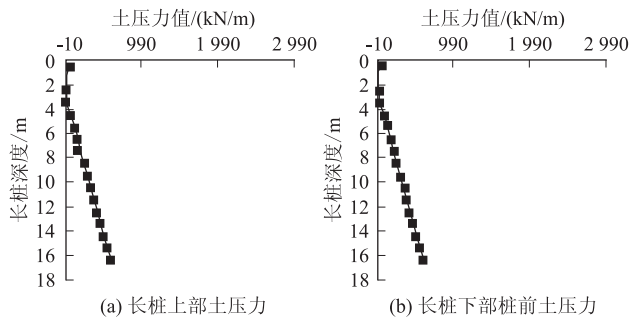


图8 长桩土压力分布

从图8(a)中可以看出,长桩上部土压力分布趋近于三角分布,且随着长桩的埋深土压力也逐渐增大,在桩底部最大值达到900 kN·m,同时发现土压力合力值与主动土压力埋置相差很小,但是合力作用点位置偏下,位于长桩的1/4高度处。图8(b)为长桩下部的桩前土压力,通过计算发现,被动土压力较桩前抗力要大很多,桩前抗力合力只有被动土压力的1/3左右。

由图9(a)可知,短桩后面的土压力值由土体自身产生的推力和后期填土所产生的附加推力组成。由图可知,短桩后部土压力沿桩埋深呈现抛物线分布,与砂

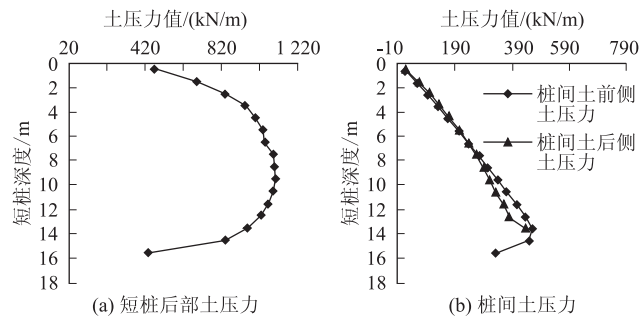


图9 短桩后部及桩间土土压力分布

土散体材料产生的滑坡推力分布曲线类似,为简化计算,可按照矩形的分布形式计算。由图9(b)可知,在短桩埋深8 m范围内,桩间前后侧向土压力大小相同,且呈线性分布,但当深度达至8 m后,桩间前侧的变化较为复杂,略大于桩间后侧的土压力,主要原因在于桩本身整体性好,刚度大,变形较小,桩间土体压缩量低,使得桩间土压力较小。

4 结论

本文通过选取DK 64+355断面处的椅式桩支护结构,基于有限元软件Abaqus建立了陡坡路基段的椅式桩板三维模型,分析该新型支护结构的内力分布及变形特性,主要得出以下结论:

(1)长桩和短桩两者之间的水平位移差值为6 mm,表明在荷载作用下椅式桩支护结构作为整体共同抵抗外荷载,且能够提供较高的抗力。而横梁的变形位移变化较为复杂,由图可看出横梁的两端位置有约0.3 mm的位移差,通过受力分析可以发现,拉伸变形和挠曲位移对横梁的影响显著,其受力较复杂,因此这里建议对于椅式桩支护结构中的横梁做单独计算。

(2)椅式桩板结构具有较大的刚度,主、副桩的弯矩量都比较接近,主、副桩的协调性比较好,而横梁上的弯矩极值发生在两端位置,且极值数值较大,是椅式桩结构中的易破坏的位置。

(3)长桩悬臂段的土侧压力分布近似为三角线分,土压力合力值与主动土压力埋置相差很小,但是合力作用点位置偏下,位于长桩的1/4高度处。

参考文献:

[1] 苏谦,李安洪,丁兆锋,等. 郑西客运专线深厚湿陷性黄土地基桩

板结构设计分析[J]. 铁道建筑技术, 2007, 24(2): 1-4.

SU Qian, LI Anhong, DING Zhao Feng, et al. Analysis on Design on Pile-board Structure of Deep Collapsible Loess Ground Along Zhengzhou-Xi'an Passenger Dedicated Railway line [J]. Railway Construction Technology, 2007, 24(2): 1-4.

[2] 白皓. 椅式桩板墙受力机制与设计计算方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.

BAI Hao. Research on Stress Mechanism and Calculation Method of Chair-shaped Sheet-pile Wall [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.

[3] 姚裕春,袁碧玉. 无砟轨道铁路陡坡路基加固结构创新方法分析[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(4): 31-35.

YAO Yuchun, YUAN Biyu. Analysis on Innovative Methods of Reinforcing Structure of Steep Slope Subgrade of Ballastless Track Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2015, 6(4): 31-35.

[4] 薛照钧. 铁路客运专线软弱地基低矮路堤采用无梁板桩柱结构技术研究[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(5): 12-15.

XUE Zhaojun. Research on the Technology of Flat-slab Beamless Pile Structure for Low Embankment of Soft Weak Subgrade of Passenger Dedicated Railway Line [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(5): 12-15.

[5] 詹永祥,蒋关鲁,牛国辉,等. 武广线高边坡陡坡地段桩板结构路基的设计理论探讨[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(S1): 94-101.

ZHAN Yongxiang, JIANG Guanlu, NIU Guohui, et al. Design Theory of Pile-slab Embankment on High Slope Steep Slope Section of Wuhan-Guangzhou Railway Line [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, 24(S1): 94-101.

[6] 姚裕春,李安洪,苏谦. 陡坡椅式桩板结构受力模式及计算方法分析[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(8): 71-76.

YAO Yuchun, LI Anhong, SU Qian. Analysis of Force Model and Calculation Method of Chair-shaped Sheet-pile Structure Constructed on Steep Slope [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(8): 71-76.

[7] 詹永祥. 高速铁路无砟轨道桩板结构路基设计理论及试验研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.

ZHAN Yongxiang. Theory and Experimental Research on the Design of Pile-slab Roadbed of High-speed Railway Ballastless Track [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.

[8] JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范[S].

JGJ 94-2008 Building Pile Foundation [S].

[9] 李中国. 基于结构-土相互作用的高填方锚索桩板墙设计理论的研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2011.

LI Zhongguo. Research on the Design Theory of High Fill Anchor Slab-pile Wall Based on Structure-soil Interaction [D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2011.

(编辑:赵立红 苏玲梅)