

文章编号: 1005-0523(2010)06-0017-06

高速铁路 CFG 桩网复合结构设计参数分析

王 漾, 周 萌, 宫全美, 王炳龙

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要:采用数值分析方法,依托京沪高速铁路徐沪段 CFG(Cement Fly-ash Gravel)桩复合地基处理方法,分析了有无桩帽、不同桩长、不同桩间距等设计参数的桩网结构在高速列车荷载作用下对路基高度 4.15 m 的地基动力响应的影响,为高速铁路 CFG 桩复合地基的设计提供理论依据。结果表明,地基面(碎石垫层以下)动位移与有无桩帽、桩长、桩间距有关。无桩帽比有桩帽的位移大 7.8%;随着桩长增加 30%, 70%, 120% 时,地基面最大动位移分别减小 10.4%, 19.6%, 25.9%。随着桩间距增加 0.8, 2, 2.5 D (D 为桩径) 时,地基面最大动位移分别增加 8%, 12.4%, 23.4%。地基面动应力的大小与有无桩帽、桩间距有关;在持力层相同的情况下,与桩长基本无关。在该文地质条件下,桩土动分担比与地基面桩、桩间土处的动位移呈正比。

关键词:路基工程;高速铁路;复合地基;CFG 桩
中图分类号: TU473.11 **文献标识码:** A

随着我国高速铁路的飞速发展,高速铁路的高平顺性等要求对铁路地基的变形要求越来越严格,但我国拟建和在建的线路在许多地区都必须穿越软土地基,由于工程性质较差,天然软土地基往往不能满足高速铁路建设的要求,必须对地基进行处理。地基处理的方法很多,CFG 桩复合地基因其费用低、施工方便、承载力高和适应性强等优点而得到广泛的推广和应用。

国内学者针对 CFG 桩复合地基做了大量的研究。阎明礼等^[1]研究了复合地基的承载和变形特性、设计计算方法、施工工艺和施工质量控制。谢志英等^[2-4]从垫层厚度、垫层模量、桩土模量比与沉降的关系分析了复合地基的沉降规律。李少和等^[5]探讨了垫层厚度和模量对桩土应力比、桩侧摩阻力、沉降变形、承载力的影响,并得出一些规律。元翔等^[6]将轨道列车荷载简化为换算土柱分析了不同地基处理方案如水泥土、桩帽网、和桩板方案对沉降规律和桩土应力比的影响。杨龙才等^[7]研究了低路堤 CFG 桩不同垫层结构形式的动力响应。国内外学者对 CFG 桩复合地基性状虽有了一定的研究,但由于其受力、变形机理的复杂性,尚无形成一套较合适的设计理论。因此 CFG 桩设计参数研究还有待于进一步的深入,以在保证列车长期运营安全的基础上,控制工程造价。

本文针对京沪高速铁路软土地区徐沪段的 CFG 桩复合地基,以动力有限元数值模拟为主要研究手段,就有无桩帽、不同桩长、不同桩间距下的 CFG 桩复合地基的动应力、动位移等沿地基面的变化和桩土分担比的变化进行研究,以为高速铁路 CFG 桩复合地基的设计提供理论依据。

1 计算断面及计算方案

京沪线徐沪段地层岩性如下:①黏土,硬塑, $\sigma_0=180$ kPa;①1 淤泥质黏土,流塑, $\sigma_0=80$ kPa;①2 黏土,软塑, $\sigma_0=120$ kPa;②1 角闪岩,全风化, $\sigma_0=250$ kPa;②2 角闪岩,强风化,节理裂隙发育,岩体破碎, $\sigma_0=500$ kPa;②3 角闪岩,弱风化,节理裂隙发育,岩体破碎, $\sigma_0=800$ kPa。

计算断面取自京沪线徐沪段 DK849+570.000,见图 1。线路为板式轨道,地基处理方式桩网结构,

收稿日期: 2010-09-21

基金项目: 铁道部科技研究开发计划项目(2008G032-1);铁道部科技研究开发计划项目(2010G003-A)

作者简介: 王 漾(1987-),女,硕士研究生,研究方向为铁道工程。

路基高度 4.15 m, 其中基床表层 0.4 m, 碎石垫层厚 0.6 m, 垫层内铺设一层土工格栅。桩为端承桩, 桩径 0.5 m, 桩间距 1.8 m, 持力层为强风化角闪岩。地层分布从上而下依次为①黏土(6 m), 和②2 强风化角闪岩。

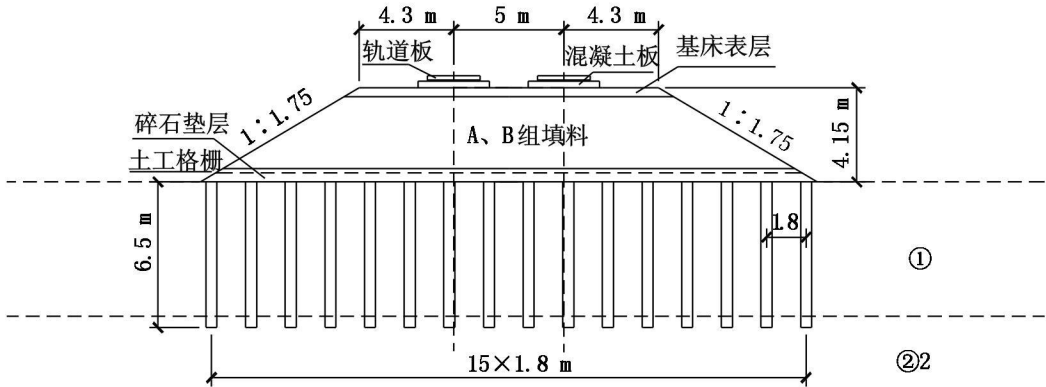


图 1 DK849+570 横断面设计图

为了比较不同垫层形式、不同桩间距、不同桩长等对地基动力特性的影响, 根据 DK849+570.000 的设计参数组合了 8 种计算方案, 见表 1。8 种计算方案中桩径均为 0.5 m, 桩帽直径为 1 m, 桩帽厚度为 0.4 m。

表 1 不同计算方案

计算方案编号	垫层结构	桩长/m	桩间距/m	桩帽
1		5.0	1.8	有
2		6.5	1.8	无
3		6.5	1.5	有
4	桩网结构(0.6 m 厚垫层, 垫层内铺设一层土工格栅)	6.5	1.8	有
5		6.5	2.0	有
6		6.5	2.5	有
7		8.5	1.8	有
8		11.0	1.8	有

2 计算理论及计算参数

采用 ADINA 有限元计算软件, 按平面应变问题考虑。在平面应变计算中, 将桩简化成桩墙, 同时对桩墙模量按(1)式进行折减。

$$E_{sp} = \frac{\pi D}{4l} E_p + (1 - \frac{\pi D}{4l}) E_s \quad (1)$$

式中: E_{sp} —桩墙的弹性模量; E_p —桩体弹性模量; E_s —土体弹性模量; l —桩间距; D —直径。

2.1 模型及边界条件

因路基横断面沿路基中心是对称的, 有限元模型按半断面建立。地基土的计算宽度为半路基底部宽度的 3 倍, 深度为最大桩长的 2 倍。

地基土体、路基填土、垫层和结构(如桩、桩帽、钢筋混凝土板)本构模型为理想弹性模型, 均采用 4 节点实体单元进行模拟。

模型上表面为自由边界, 左右两侧水平位移约束, 底部为全约束。

动荷载以点激振的形式施加在轨道板上两股钢轨位置处。

2.2 计算参数

根据勘察资料及相关经验, 确定该断面的动力计算参数见表 2。此外, 将土工格栅视为弹性模量提高

为临近碎石垫层的 1.4 倍弹性模量的均质实体单元,并改变泊松比以模拟土工格栅对侧向变形的影响^[5]。

表 2 动力计算参数

材料类型	厚度或长度/m	重度/(kN·m ⁻³)	泊松比	动弹性模量/MPa	最大阻尼比
轨道板	0.19	25	0.49	45 000	—
CA 砂浆	0.05	18	0.49	184	0.1
混凝土板	0.3	24	0.49	40 000	—
基床表层	0.4	20	0.49	480	0.1
路基本体	3.2	20	0.49	320	0.1
碎石垫层	0.6	20	0.49	240	0.1
桩/桩帽	0.4	23	0.49	8 770	—
①黏土	6	18.6	0.49	111	0.2
②2 强风化角闪岩	14	20.5	0.49	160	0.1

2.3 列车荷载

根据 CRH3 型动车轴重 15 t,速度 300 km·h⁻¹,冲击系数 1.2,构造列车轮轨冲击荷载,以移动荷载的形式施加在板式轨道模型^[8]钢轨上(如图 2)。轨下胶垫静刚度值取 60 MN·m⁻¹,垂向阻尼系数取 75 kN·s·m⁻¹。道床刚度取 120 MN·m⁻¹,阻尼取 60 kN·s·m⁻¹。计算得扣件支点力,如图 3 所示。

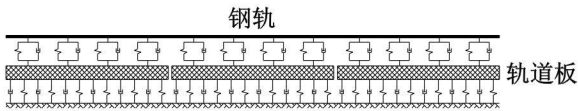


图 2 板式轨道模型

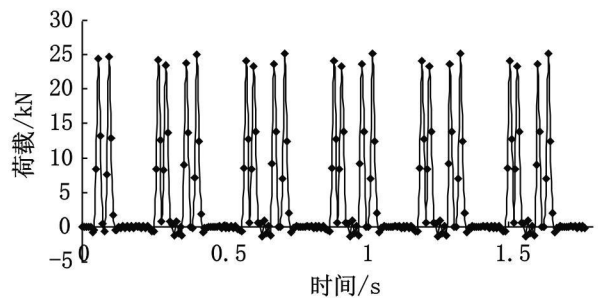


图 3 扣件支点力

3 计算结果与分析

8 种方案计算结果见表 3,比较有无桩帽、不同桩长、不同桩间距下的地基面沉降和应力变化,得到不同设计参数下的 CFG 桩复合地基的动应力、动位移等沿地基面的变化和桩土分担比的变化规律。

表 3 不同方案计算结果

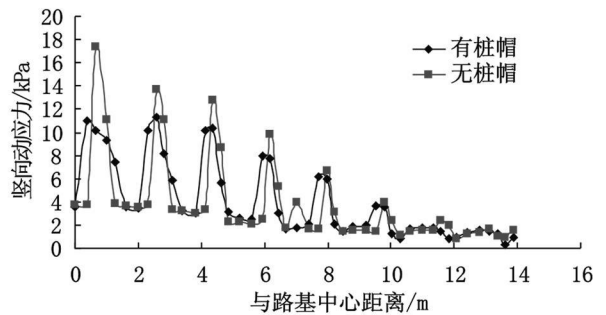
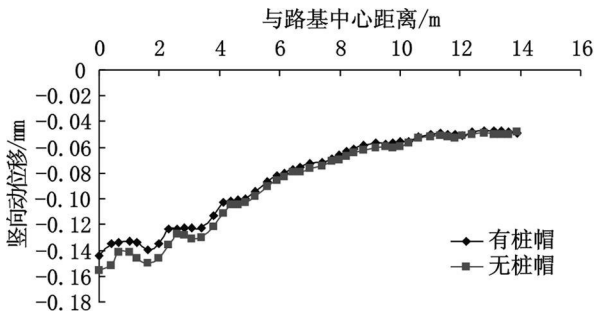
计算方案编号	地基面最大动位移/mm	地基面最大动应力/kPa	桩土最大动应力比
1	0.161	14.19	5.00
2	0.155	23.00	7.60
3	0.133	12.65	3.51
4	0.143	14.56	4.74
5	0.150	15.25	4.92
6	0.164	17.52	5.09
7	0.129	14.46	4.42
8	0.119	14.02	4.08

3.1 有无桩帽比较

针对方案 2,4,对桩径为 0.5 m,桩间距 1.8 m,桩长 6.5 m 的有桩帽和无桩帽的桩网结构进行计算分析。

图 4 为有无桩帽地基面的动位移沿地基宽度的分布,可以看出不同垫层结构的地基面动位移有明显的差别。地基面桩的动位移小于桩间土的。最大动位移在地基中心处,无桩帽的桩网结构地基面动位移较大,较有桩帽的桩网结构大 7.8%。

图5为有无桩帽地基面动应力的分布,可以看出有无桩帽对地基面的动应力有明显影响。桩网结构有桩帽下的地基面动应力较小,桩网无桩帽结构下的地基动应力较大,这是由于无桩帽桩网结构在地基面上桩的表面面积较有桩帽桩网结构小,因此易承担更大的应力。桩网无桩帽的地基面桩土承担的动应力比较有桩帽大。桩土动应力比越大,地基面桩、桩间土处的动位移越大。



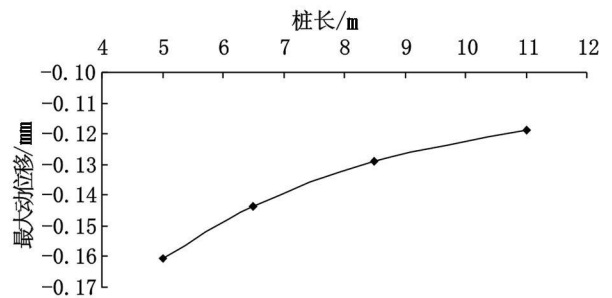
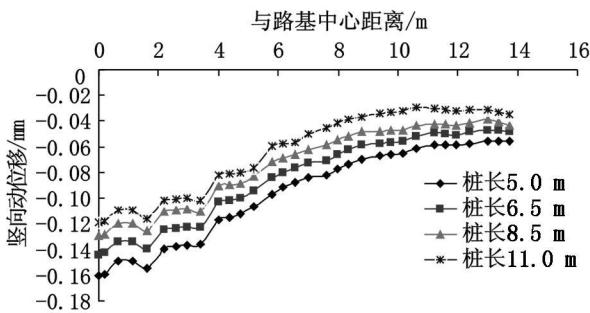
3.2 不同桩长比较

针对方案1,4,7,8,对桩径为0.5 m,桩间距1.8 m,桩长分别为5,6.5,8.5,11 m,持力层都是②2强风化角闪岩的有桩帽的桩网结构进行计算分析。

图6为不同桩长最大竖向动位移沿地基面的分布,可以看出桩间土和桩的差异沉降。如图7所示,桩长为6.5 m地基面最大动位移较桩长5 m减小了10.4%;桩长为8.5 m最大动位移较桩长5 m减小了19.6%,桩长为11 m最大动位移较桩长5 m减小了25.9%。

图8为不同桩长最大竖向动应力地基分布,在持力层相同的情况下,不同桩长在地基面的动应力没有明显变化,最大动应力在14 kPa左右。

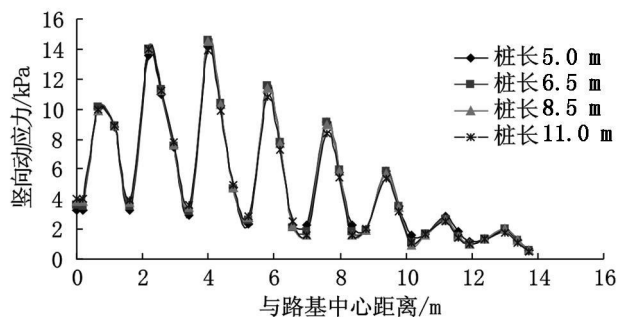
桩长5,6.5,8.5,11 m的地基面桩土承担的应力比依次减小,地基面桩、桩间土处的动位移越小。



3.3 不同桩间距比较

针对方案3,4,5,6,对桩径0.5 m,桩长6.5 m,桩间距分别为1.5,1.8,2,2.5 m的有桩帽的桩网结构进行计算分析。

图9为不同桩间距最大竖向动位移沿地基面的分布,桩间距对地基面的动位移影响较大,随着桩间距的增大,最大动位移呈线性增大,最大动位移皆出现在路基线路中心处。如图10所示,桩间距为1.8 m地基面最大动位移较桩间距1.5 m增加了8.0%;桩间距为2 m地基面最大动位移较桩间距



1.5 m 增加了 12.4%；桩间距为 2.5 m 地基面最大动位移较桩间距 1.5 m 增加了 23.4%。

图 10 为不同桩间距下地基面动应力的分布,可以看出桩间距对动应力有明显影响。桩间距越大,在相同地基面范围内,桩的表面积越小,因此承担越大的动应力。如图 12 所示,桩间距为 1.8 m 最大动应力较桩间距 1.5 m 增加了 15.1%；桩间距为 2 m 最大动应力较桩间距 1.5 m 增加了 20.5%；桩间距为 2.5 m 最大动位移较桩间距 1.5 m 增加了 38.5%。

桩间距 1.5, 1.8, 2, 2.5 m 的地基面桩土承担的应力比依次增加,地基面桩、桩间土的动位移增大。

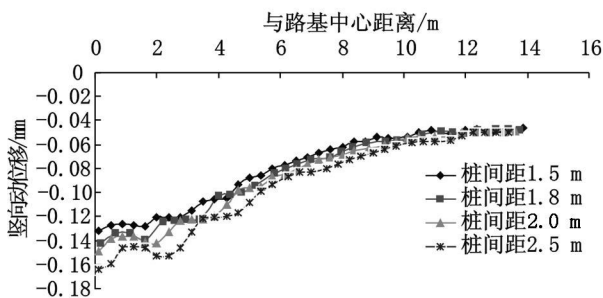


图 9 不同桩间距最大竖向动位移地基分布

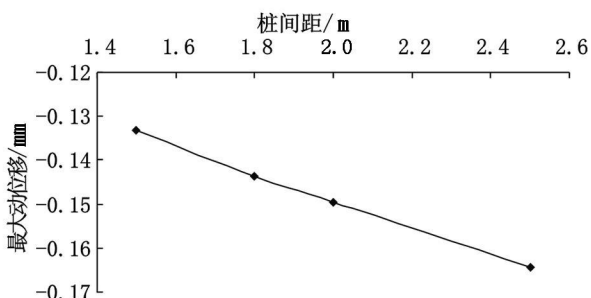


图 10 不同桩间距最大竖向动位移值

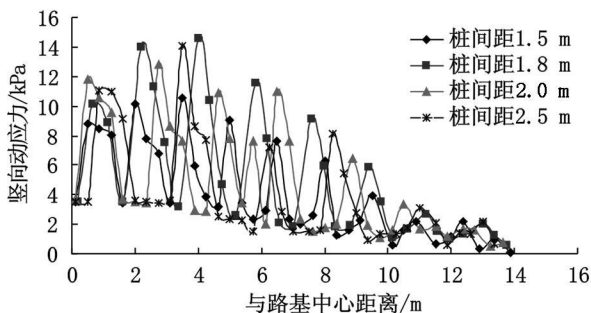


图 11 不同桩间距最大竖向动应力地基分布

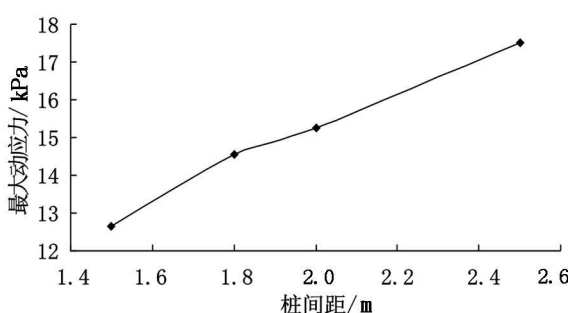


图 12 不同桩间距最大动应力值

4 结论

在本文计算条件的前提下,可得到以下结论:

(1) 地基面动应力受有无桩帽的影响较大。桩网结构有桩帽的最大动应力小于无桩帽的。地基面桩土承担比分别为 5, 7.6。地基面最大动位移无桩帽的较有桩帽的桩网结构大 7.8%。

(2) 在桩持力层都为强风化角闪岩时,桩长对地基面的动应力影响不大,对地基的动位移影响较明显,桩长增加 30%, 70%, 120% 时,地基面最大动位移分别减小 10.4%, 19.6%, 25.9%。

(3) 桩间距对地基面的动应力有影响,桩间距越大桩承担的动应力越大;桩间距对动位移影响较大,桩间距增加 0.8, 2, 2.5 D 时,地基面最大动位移分别增加 8.0%, 12.4%, 23.4%。

(4) 地基面的动应力约 15~20 kPa 左右,桩的持力层为强风化角闪岩,地质情况较好,土体变形处于弹性阶段。在这种情况下,有无桩帽、不同桩长、不同桩间距下桩土分担比与地基面的位移呈正比关系。桩土应力比越大,地基面桩以及桩间土处的动位移越大。

参考文献:

[1] 阎明礼,张东刚.CFG 桩复合地基技术及工程实践[M].北京:中国水利水电出版社,2001.

[2] 谢志英,韩晓涛,崔小勇.CFG 桩复合地基沉降性状有限元分析[J].安徽建筑,2007(5):87-90.

[3] 王瑞芳,雷学文.CFG 桩复合地基沉降数值分析[J].建筑科学,2003(2):38-45.

[4] 李宁,韩焯.热褥层对复合地基承载机理的影响[J].土木工程学报,2001(4):68-73.

- [5] 李少和, 易发成, 王殿刚. 垫层对 CFG 桩复合地基影响的分析[J]. 岩土工程技术, 2005(1): 50-52.
- [6] 元翔, 宫全美, 王炳龙. 高速铁路 CFG 桩复合地基处理方案数值模拟[J]. 华东交通大学学报, 2008, 25(1): 32-36.
- [7] 杨龙才, 宫全美, 彭声应, 等. 低矮路堤 CFG 桩复合地基动力有限元计算分析[J]. 铁道建筑, 2009(7): 27-30.
- [8] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2007.

An Analysis on Design Parameters of CFG Pile-net Composite Structure of High-speed Railway

Wang Yang, Zhou Meng, Gong Quanmei, Wang Binglong

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: With numerical analysis method, based on CGF (Cement Fly-ash Gravel) pile-net composite structure treatment of Xuzhou-Shanghai section in Beijing-Shanghai high-speed railway, the paper analyzes the influence of design parameters pile-net composite structure of cap or non-cap, different pile length, different pile space under high-speed train load on ground dynamic response with the embankment height of 4.15m, which provides theoretical basis for design of the CGF pile-net composite foundation. The results show that the dynamic displacement of soil foundation is related to cap, pile length and pile space. The dynamic displacement of non-cap structure is 7.8% larger than that of cap structure. The maximum dynamic displacement is decreased by 10.4%, 19.6%, 25.9% when the length of pile increases by 30%, 70%, 120%. The maximum dynamic displacement is decreased by 8%, 12.4%, 23.4%, when the space of pile increases by 0.8d, 2d, 2.5D. The dynamic stress of soil foundation is greatly related to the style of cap and pile space. However, the length of pile has little effect on it. In this geological condition, the dynamic load bearing ratios of soil and pile is directly proportional to the soil foundation dynamic displacement in pile and soil.

Key words: subgrade engineering; high-speed railway; composite ground; CFG pile

(责任编辑 王全金)