

文章编号:1006-2106(2007)05-0012-04

## 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\*

薛照钧\*\*

(铁道第四勘察设计院, 武汉 430063)

**摘要:**研究目的:通过全面研究,提出软弱地基低矮路堤采用无梁板桩柱结构,保证结构可适应有碴及无碴轨道,达到结构沉降可控,施工方便,造价经济的目的。

**研究方法:**根据相关规范和规定,分析了既有特殊路基和桥梁结构工程,研究了各种构造的优缺点,针对客专拟定可直接用于工程的软弱地基低矮路堤的无梁板式桩柱结构设计参数,采用空间计算模型分析该结构在静力和动力情况下的各项性能指标。

**研究结果:**经静力检算该结构板内力及应力均较小,支撑无梁板采用预制预应力混凝土管桩可行,结构设计按构造布设钢筋即可。经车线结构的动力分析表明该结构可以满足高速行驶列车安全、平稳、舒适性的要求。

**研究结论:**无梁板桩柱作为软弱地基低矮路堤结构可以满足有碴或无碴轨道结构的要求,工程沉降达到可控,技术成熟,施工不必碾压路基,简化了施工环节,方便、环保、节约土地,它的推广应用必将具有良好的社会及经济效益。

**关键词:**铁路;客运专线;无梁板;桩柱;路堤

**中图分类号:**U213      **文献标识码:**A

## Research on the Technology of Flat - slab Beamless Pile Structure for Low Embankment of Soft Weak Subgrade of Passenger Dedicated Railway Line

XUE Zhao - jun

(The Fourth Railway Survey and Design Institute, Wuhan, Hubei 430063, China)

**Abstract: Research purposes:** Through doing overall researches, it is proposed to adopt flat - slab beamless pile structure for low embankment of soft weak subgrade, which can be suitable for ballast and ballastless tracks and control the structure's settlement with easy construction and low construction cost.

**Research methods:** According to the standards and regulations, the analyses are made for the previous constructions of special subgrade and bridge beam structure and the researches are done on the advantages and disadvantages of all kinds of structures. For the structural design parameters of flat - slab beamless pile structure which can be directly used for the low embankment of soft weak subgrade of passenger dedicated line, the analyses are made for the all performance indexes of the structure under the static and dynamic conditions by using a space calculation model.

**Research results:** The checking calculations show the internal force and stress in the slab of the structure are small, it is feasible to support the beamless slab by prefabricated prestressed concrete pipe pile, and the structure design can be

\* 收稿日期:2007-01-10

\*\* 作者简介:薛照钧,1956年出生,男,教授级高级工程师,铁道第四勘察设计院副总工程师。

made in accordance with the distribution of reinforcements to be laid. The dynamic analyses of the structures of train and track show the structure can satisfy the requirements of safety, stability and comfortableness for high-speed train.

**Research conclusions:** As a structure of low embankment of soft weak subgrade, beamless slab can satisfy the requirements of ballast and ballastless tracks and can control the structure's settlement. Adopting this structure, it is unnecessary to roll the subgrade with the features of simplifying construction procedures, easy construction, aiding environment protection and saving land, so the good social and economic benefits can be obtained by application of this technology.

**Key words:** railway; passenger dedicated line; beamless slab; pile; embankment

铁路客运专线要为高速行驶的列车提供一个高平顺、高稳定性的轨下基础,而作为支撑轨道结构的路基应由强度高、刚度大、稳定及耐久性好的性能,以保证线路轨道参数在标准范围之内。为此需要我们高度重视线下结构,不仅要保证列车运营安全、平稳、舒适,同时还应该有合理的工程造价。

## 1 问题的提出

铁路客运专线列车运行速度高,对线下工程动力性能要求严,尤其是在软弱地基的路堤设计控制因素较多,一般采用桥梁跨越,但当填土高度在4 m以下时,由于桥梁建筑高度的控制孔跨难以布设,设计通常采用路堤,控制路基沉降成为首要因素。路基控制沉降技术一般主要有5类:(1)换土法;(2)排水固结法(含超载预压);(3)复合地基法;(4)动力固结法;(5)刚性桩基法(含桩网结构路基、桩板结构路基)。实施时根据地质的不同情况进行设计,其宗旨是对地基进行处理,而后再填土筑路形成路基。

上述技术经过多年运用具有成熟的经验是可以满足通常工程要求的。对于客运专线路基沉降,不仅要考虑地基,同时对路堤本身的压实控制都提出了较高的要求,其路堤本身的造价必随之提高。鉴于此笔者认为:研究一种技术可行、结构简单、施工方便、造价经济合理的建筑形式很有必要。

## 2 结构形式的选择

针对软弱地基的路基处理经过对多种路基形式的分析研究,笔者认为采用桩柱直接支承的无梁板式结构,构造简单,施工方便,技术及经济指标良好,是可供选择的形式之一,如图1所示。

鉴于这一新型无梁板桩柱结构的特点,应用于双线铁路客货共线、客运专线上,有必要对其关键技术予以研究:(1)梁板合理的结构厚(高)度,包括约束条件桩侧及桩底地基土性能,分析其内力及刚度差别;

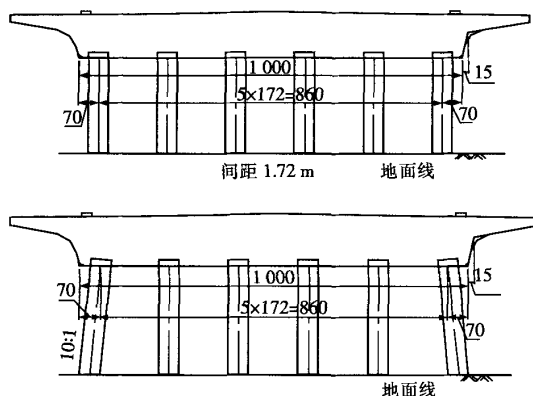


图1 无梁板桩柱结构横断面(单位:mm)

(2)梁板合理的纵向分节长度;(3)桩柱的设计及合理的布置形式,特别是考察横向刚度;(4)在高速列车下车线结构的动力性能。(5)提出设计简化意见。

## 3 结构分析

为结合实际研究无梁板桩柱结构的性能时,根据构造要求和受力特点对其截面尺寸拟定为:承载轨道结构的无梁板横宽为1340 cm,顺铁路方向纵长18.2 m,板中间厚(高)度120 cm,为了减少圬工两边均设悬臂板;桩柱采用直径为 $\phi 50$  cm的预应力混凝土管桩,桩长入土深50 m,桩柱纵横向间距 $\leq 200$  cm,横向设六排直立桩柱;桩柱在地面以上的高度(计算自由长)300 cm;桩侧地基系数的比例系数 $m = 500$  kPa/m<sup>2</sup>、桩底地基系数的比例系数 $m_0 = 10\,000$  kPa/m<sup>2</sup>。结构受力以“中-活载”控制;在高速列车下车线结构响应的动力性能以相应列车进行检算,本次用上述参数进行重点研究。

计算分析建立空间模型,模型考虑桩柱基础的组成及桩周土力学性质对结构约束作用,利用等代弹簧刚度模拟桩侧土的弹性抗力,桩侧为水平弹性约束,桩底竖向固结,桩柱的柱与无梁板固结。计算软件采用MADIS,静力计算成果比较见表1。

表 1 静力计算比较

桩侧土地基系数的比例系数 $m$ 值/ ( $\text{kPa} \cdot \text{m}^{-2}$ )	板顶最大位移/mm		板梁最大拉应力/MPa		板梁最大压应力/MPa		桩头最大弯距 横/纵 ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )	板长厚 /cm
	横向	纵向	板顶	板底	板顶	板底		
1 000	5.08(6.75)	1.34(4.69)	0.82	1.00	1.00	0.82	44.4(59.5)/13.5(45.2)	1820/120
500	6.45(8.04)	1.38(5.14)	0.82	1.00	1.00	0.82	46.3(61.2)/11.6(44.1)	1820/120
500	5.08(6.75)	1.34(4.69)	0.82	1.00	1.00	0.82	44.4(59.5)/13.5(45.2)	1400/120
500	4.69(6.36)	1.34(4.25)	0.61	0.74	0.74	0.61	43.5(58.9)/11.8(43.7)	1820/150

注:括号内数字为主+附荷载组合

研究采用铁路现行的设计规范和相关规定。技术标准为双线铁路客货共线、客运专线;纵坡  $G=0\%$ ,设计“中-活载”;ZK 标准活载。混凝土收缩梁板按降温  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  计算,结构整体升降温  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;无梁板顶非线性升温  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,进行最不利荷载组合。

3.1 无梁板结构的桩柱研究

3.1.1 桩柱设计与受力分析

无梁板结构桩柱设计采用钢筋混凝土预制管桩,其优点是桩在工厂预制生产,质量可以得到有效的控制,施工方便、快捷,桩入土深度明确,根据施工锤击检

验单桩承载力使基础承载达到可控。

研究的空间计算模型中,假定部分桩发生强迫位移  $\Delta=1\text{ mm}$ ,计算结果显示:相邻桩基产生内力重分配,梁板受力发生变化其值均很小,分析表明整体桩基础对强迫位移具有较强的自我调整能力,不产生较大的不均匀沉降。

为研究无梁板桩柱结构在纵向分段长度内基础端部桩与中部桩轴力的差别,计算纵向采用  $18.2\text{ m}$  的分节长计算桩底支反力,在主力组合工况时计算成果如图 2 所示。

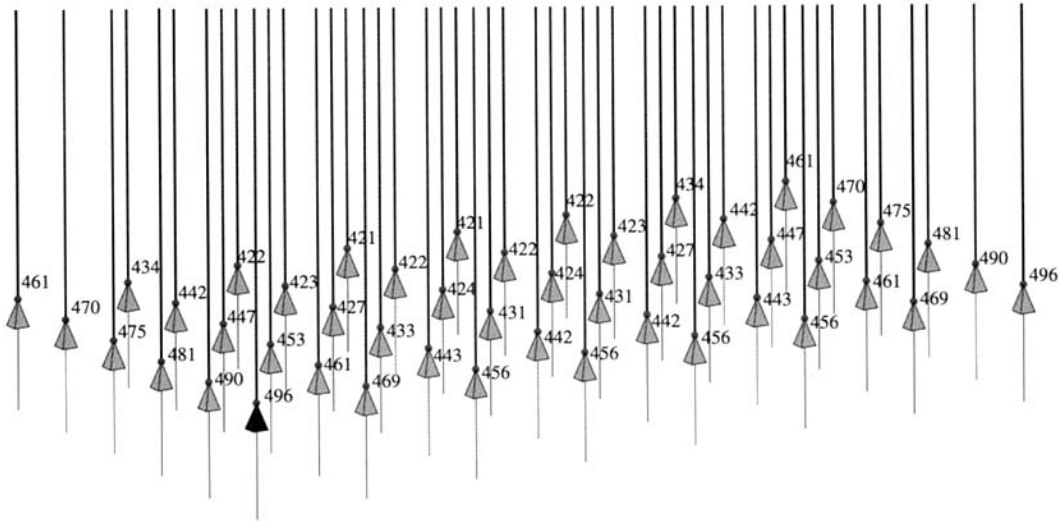


图 2 桩底支反力

从(图 2)可以看出:在纵向分段内基础端部桩底反力与中部桩底支反力值有差别,端部桩底支反力较中部约大 10%,基桩横向的边桩与中桩轴力也略有差异但量值不大。

3.1.2 直桩和斜桩分析

无梁板结构设计全部采用直桩施工方便,为研究板梁横向刚度问题,在结构横向最外侧各布置一排

10:1斜桩(见图 1)。在相同条件下分析直桩和斜桩的内力,静力计算比较见表 2。分析表明,布置斜桩的无梁板结构板顶横向位移略有减少但没有明显的降低(直桩最大位移发生在单列车+横向附加力,斜桩最大位移发生在双列车+横向附加力)两者静力刚度基本相当。

表 2 直斜桩静力计算比较一览表

横向外排桩形式	板顶最大位移/mm		板梁最大拉应力/MPa		板梁最大压应力/MPa		桩顶最大弯距/ $\text{kN} \cdot \text{m}$ 横/纵
	横向	纵向	板顶	板底	板顶	板底	
全部直桩	4.67(6.75)	1.49(4.69)	0.82	1.00	1.00	0.82	44.4(59.5)/13.5(45.2)
两侧斜桩	4.06(6.26)	1.46(5.33)	0.83	0.98	0.98	0.83	46.6(62.7)/13.7(47.3)

注:括号内数字为主+附荷载组合

3.1.3 基础简化设计研究

为方便进行无梁板结构的桩基设计,研究认为:板结构纵向长度较大,存在竖向变形的不一致性,但桩基布置均匀、数量较多、受力协调桩头弯矩较小,管桩与上部板结构刚度相比较柔,上部板结构可认为刚性,群桩共同受力,经分析检算采用常规设计预制管桩可行。

3.2 无梁板桩柱结构板的设计研究

梁板结构内力随桩基布置形式、桩柱的高度、无梁板的纵横向尺寸、板的厚度以及地质条件的不同会有变化,对此进行了分析研究。

3.2.1 无梁板结构受地基影响分析

地质情况不同,对于桩基来讲反映在桩侧土的抗力,将直接影响桩顶位移、结构的整体刚度及梁板结构内力。在桩基等长的条件下,计算模型中采用桩侧地基系数的比例系数  $m = 500$  和  $1\,000\text{ kPa/m}^2$ ,并将部分桩基的桩尖处地基系数的比例系数  $m_0$  调整为  $10\,000$  和  $20\,000\text{ kPa/m}^2$ ,以此计算梁板的内力变化见(表1)。分析表明,梁板结构不均匀沉降值很小,内力变化不大。

3.2.2 梁板厚(高)度影响分析

基础采用设计预应力混凝土管桩间距较小,一般为桩径的4~5倍,无梁板结构范围内几乎是满布支撑跨径小,研究在保证结构整体刚度的前提下,尽量降低梁板厚度节省圬工。分析选取板结构高度为150 cm和120 cm两方案比较。静力计算结果见表1。研究表明,板厚150 cm较120 cm,板横向位移、桩头最大弯矩、板顶底板应力均有所减小,但差别不大,最大拉、压应力均在1 MPa左右。梁板的板厚采用120 cm,钢筋按构造要求设置可行。

3.2.3 梁板结构纵向分段长度

为减少梁板间伸缩缝的数量,应选择合理的分节长度。在桩基布置等不变的条件下,选择纵向分节14 m和18.2 m两种长度进行比较,计算见表1。分析表明,无梁板结构纵向分节长度大,梁板位移、桩头最大弯矩有增加的趋势,但对板顶底板应力影响不明显,分节长主要受混凝土收缩徐变影响。分节长度在20 m左右是可行的,若分节过短伸缩缝装置则过多。

4 车线动力特性及列车走行性分析

我们对上述所拟参数进行了列车—桥梁时变系统空间振动响应计算。计算列车分旅客列车和货物列车2种,分客货混跑阶段、客运专线阶段进行计算,经综合分析结论为:采用货车C62( $V = 50 \sim 90\text{ km/h}$ )、SS8客车( $V = 160 \sim 200\text{ km/h}$ )及DDJ客车( $V = 160 \sim 220\text{ km/h}$ )、XFH客车和中华之星客车( $V = 160 \sim 270\text{ km/h}$ )、德国

ICE3和国产高速列车( $V = 160 \sim 350\text{ km/h}$ )通过无梁板桩柱结构时的各项动力响应和列车的各项动力响应,计算值均在容许范围以内,行车安全性有保障,旅客列车行车舒适度均为“合格”及以上。

表3 横向6排φ50直管桩与边排倾斜桩 动力计算比较

计算方案	第一阶横向 自振频率/Hz	跨中振动横向 位移/mm		桩顶横向 位移/mm	
		C62 货车	客车	C62 货车	客车
全直桩	1.907 3	3.21	0.86	3.26	0.92
1:10斜桩	2.083 8	2.27	0.61	2.31	0.65

注:轨道不平顺标准为美国6级谱

动力性能研究了结构横向采用6排φ50直管桩与边排倾斜的管桩受力性能见图1,计算结果见表1和表3,静力计算结构内力差别不大,动力核实显示:两边排倾斜的管桩基础横向刚度略有增大,列车的动力性能改善较明显,因此设计时为提高结构的动力性能加大桩径和桩的横向排数以及倾斜布置均是有效的手段。

5 结论


在软弱地基较低矮的铁路客运专线路堤,设计采用所拟参数的无梁板桩柱式结构是完全可行的。其优点为:(1)板顶之上可直接铺设无碴或无碴轨道结构。(2)桩柱基础采用预应力混凝土管桩,预制桩在工厂生产质量有保证,桩基入土深度容易控制。(3)该结构基础的单桩承载能力在施工过程中可把握,相应的结构沉降达到可控。(4)上部板结构设计为钢筋混凝土构件,不设预应力钢筋其耐久性好。(5)桩柱直接支撑的无梁板置于地面以上,利用桩柱搭设支架和模板施工方便,施工板结构时一般不需要开挖基坑,尤其对位于深厚软弱地基的基坑更显优势。(6)直接用混凝土结构作为路基,不必再填土筑路,减少了施工环节和控制工程。(7)工程基础的沉桩、钢筋混凝土板结构的施工技术成熟、方便、简单、经济。

参考文献:

[1] TB10002.5—2005,铁路桥涵地基和基础设计规范[S].  
[2] 京沪高速铁路设计暂行规定[S]. 北京:中国铁道出版社,2005.  
[3] 铁道第四勘察设计院. 客运专线管桩基础无梁板桥技术研究报告[R]. 武汉:铁道第四勘察设计院,2006.  
[4] 魏永幸,蒋关鲁. 无碴轨道路基关键技术探讨[J]. 铁道工程学报,2006(5):39-44.  
[5] 尹洪波. 基于蠕变试验路堤工后沉降的数值模拟[J]. 铁道工程学报,2006(5):45-47.

(编辑 慕成娟)

# 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

作者: [薛照钧](#), XUE Zhao-jun  
作者单位: [铁道第四勘察设计院](#), 武汉, 430063  
刊名: [铁道工程学报](#)   
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)  
年, 卷(期): 2007, 24(5)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(5条)

1. [TB10002.5-2005. 铁路桥涵地基和基础设计规范](#)
2. [京沪高速铁路设计暂行规定](#) 2005
3. [铁道第四勘察设计院 客运专线管桩基础无梁板桥技术研究报告](#) 2006
4. [魏永幸;蒋关鲁 无碴轨道路基关键技术探讨](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(05)
5. [尹洪波 基于蠕变试验路堤工后沉降的数值模拟](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(05)

## 本文读者也读过(10条)

1. [李文刚](#). LI Wen-gang [桥上板式轨道结构动力特性研究](#)[期刊论文]-[山西建筑](#)2010, 36(6)
2. [范巍](#) [公路路基施工承载比\(CBR\)试验方法](#)[期刊论文]-[河南科技](#)2004(17)
3. [叶丙昀](#) [浅谈关于铁路工程软弱地基的处理](#)[期刊论文]-[甘肃科技纵横](#)2010, 39(4)
4. [张剑如](#). [毕震龙](#) [渝怀铁路十八标段软弱地基处理方法](#)[期刊论文]-[科技情报开发与经济](#)2004, 14(9)
5. [王庆云](#) [我的交通发展观\(续完\)](#)[期刊论文]-[交通运输系统工程与信息](#)2004, 4(4)
6. [秦松](#) [浅谈如何保证低矮路堤的施工质量](#)[期刊论文]-[广西城镇建设](#)2006(4)
7. [王忠文](#). [徐鹤寿](#). Wang Zhongwen. Xu Heshou [德国纽伦堡——英格尔施塔特新建线的无碴轨道](#)[期刊论文]-[中国铁路](#)2006(6)
8. [宋格安](#). SONG Ge-an [岳常高速公路路基路面的排水设计改进措施](#)[期刊论文]-[湖南交通科技](#)2007, 33(3)
9. [高亮](#). [马鸣楠](#). [王冬梅](#) [直线电机运载系统桥上无碴轨道结构力学特性的研究](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#)2007(7)
10. [门强](#). MEN Qiang [预应力混凝土管桩加固软弱地基施工技术](#)[期刊论文]-[山西建筑](#)2010, 36(2)

## 引证文献(1条)

1. [刘永超](#). [许再良](#). [张劲松](#). [王清龙](#) [客运专线路基工程中管桩应用机理研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2011(2)

引用本文格式: [薛照钧](#). XUE Zhao-jun [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](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2007(5)