

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.03.017

# 下穿公路桩板路基对既有铁路桥梁的影响分析\*

常瑞祥<sup>1</sup>, 杜晓宇<sup>1</sup>, 赵志强<sup>1</sup>, 郝作锐<sup>2</sup>

(1.中交路桥北方工程有限公司, 北京 100020;2.成都理工大学, 四川 成都 610059)

**摘要:** 依托那曲至拉萨公路改建工程,借助有限元软件建立下穿公路桩板路基与既有铁路桥梁有限元模型,对桩板路基与桥墩不同距离、不同桩板路基桩长和桩径下桥墩位移进行计算,分析下穿公路桩板路基对既有铁路桥梁的影响。结果表明,桩板路基与桥墩的距离及桩板路基桩长与桩径的改变都会对既有桥梁下部结构位移产生影响,合理安排新建公路与桥墩的位置、合理的桩长和桩径可减小既有铁路桥梁结构的位移。

**关键词:** 公路;桩板路基;铁路桥梁;桥墩位移

中图分类号:U418.8

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2023)03-0079-04

新建公路下穿既有铁路桥梁会导致铁路桥梁线路变形,引发铁路不平顺等现象,从而影响铁路运营的安全性与乘客的舒适性。詹永祥等通过室内大比例动态模型试验分析了循环加载条件下桩板结构路基的动态力学特性<sup>[1]</sup>。高霞等分析列车在静、动荷载作用下不同桩间距和桩长对桩板路基垂向、横向位移的影响,认为桩板结构应用于斜坡地段时应合理设置桩间距并采用不等桩长结构<sup>[2]</sup>。王义等建立挖井基础桥墩有限元模型,分析了水平往复荷载作用下挖井基础桥墩的受力特性及影响因素<sup>[3]</sup>。陈刚等利用有限元方法分析了在建跨线桥桩基施工对被跨既有高速公路土质边坡、路面稳定和变形的影响<sup>[4]</sup>。高世强从桥梁承载力、垂直沉降和水平位移等方面分析了新建下穿工程引起的土层变形对铁路桥梁安全的影响<sup>[5]</sup>。谢钦方分析了道路施工前自身荷载、施工过程中道路施工荷载及道路运营过程中车辆荷载对桥梁基础位移的影响<sup>[6]</sup>。目前对路堑开挖和路堤填筑对既有桥梁影响的研究较完善,但对新型结构如桩板路基施工对既有建筑物的影响鲜有研究。本文依托那曲至拉萨公路改建工程,研究桩板路基施工荷载及公路运营过程中车辆荷载对既有铁路桥梁基础位移的影响。

## 1 工程概况

那曲至拉萨公路改建工程在 K3662+350 处与青藏铁路交叉,其分离式路基采用(10+13+13+

13+10) m 刚架结构并以下穿的形式从青藏铁路九子纳大桥 1#、2# 桥墩之间穿过。九子纳大桥为 32 m 简支梁桥,采用挖井基础。那曲至拉萨公路桩板路基采用 C40 钢筋混凝土,板厚 0.9 m(见图 1),单桩桩径为 1.2 m。0#、5# 位置桩基采用钻孔工艺施工,单桩桩长为 14 m;1#~4# 位置桩基采用人工挖孔工艺施工,单桩桩长为 6 m。桩板路基桩长深度范围内土层分为 2 层,自上而下依次为:1) 圆砾,层厚 11 m,褐灰色。骨架颗粒成分主要为花岗岩和砂岩,粒径 2~20 mm,混少量 30~50 mm 卵石;充填物主要为中粗砂和粉土,稍密。2) 下部为粉土,黄褐色,土质不均匀,结构疏松;以粉粒为主,含 20%~30% 圆砾及粉砂,很湿,中密。

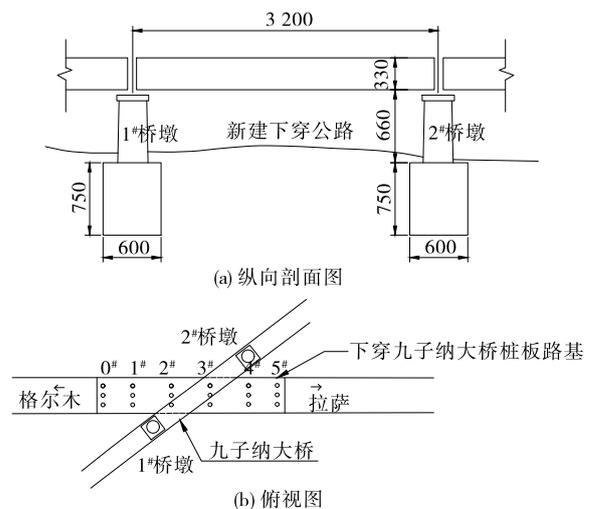


图 1 桩板复合路基与桥梁的相对位置(单位:cm)

\* 基金项目:国家自然科学基金面上项目(51978088)

## 2 有限元模拟

选取新建公路与桥梁交叉段建立模型,模拟公路施工及运营对桥梁下部结构变形的影响。对单跨简支梁的桥墩只考虑重力的作用。

表1 土体和基础的材料参数

土体及基础	弹性模量/kPa	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	泊松比	密度/(kg·m <sup>-3</sup> )
粉土	40 000	7	22	0.32	2 000
圆砾	70 000	0	34	0.21	2 100
挖井基础	3.00×10 <sup>7</sup>	—	—	0.25	2 500
桩板路基	3.45×10 <sup>7</sup>	—	—	0.18	2 500

### 2.2 初始条件

桥墩挖井基础及上部结构荷载已经完成,对应的基础内力和变位及地基土所处的应力和位移是模型的初始条件。计算分析时求出桥墩基础在上部结构荷载及自质量作用下的应力和位移,在此基础上,分别对桩板路基施工期及公路运营阶段相应工况进行模拟。

### 2.3 计算范围和边界条件

对模型底部施加  $x$ 、 $y$  方向约束,对侧边施加相应法向约束,模型顶部为不施加任何约束的自由面,计算荷载主要考虑自质量和车道荷载布置。文献[7]的研究表明接触单元设置与否对计算结果的影响较小,为节约计算时间、提高计算效率,桩土界面不设置接触单元。

### 2.4 模拟过程

(1) 新建单元重新建立和初始地应力平衡。对模拟区域内土体及桥墩进行网格划分,其中土层采用修正摩尔-库伦计算模型,然后对天然条件下初始地应力进行模拟。为确保后续计算的准确性,通过位移清零来忽略初始土体位移场。

(2) 施工期土体开挖引起的应力松弛会使既有桥梁及周围土体产生一定位移,采用钝化部分土体单元来实现其模拟。

(3) 在运营期,首先激活设置好的桩板路基,然后采用拟静力法对车道荷载进行布置,模拟在桩板路基重力荷载和车道荷载作用下周围土体及既有铁路桥梁桥墩的变形,分析桩板路基对桥墩的影响。计算模型见图2,计算结果输出路径见图3。

## 3 计算结果与分析

### 3.1 桥墩及土体的位移变化

根据实际工况,选取桩板路基与既有桥梁最近

### 2.1 计算参数

强度破坏准则选用莫尔-库伦强度准则,土体材料模型选用摩尔-库伦模型,土体参数见表1。挖井基础及桩板路基均在弹性工作范围内,采用线弹性材料模拟,力学参数见表1。

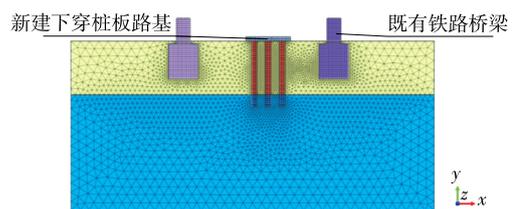


图2 桩板路基与既有铁路桥梁计算模型

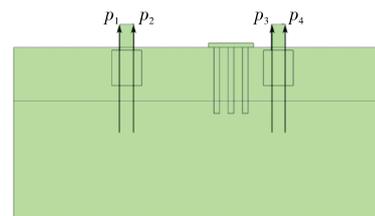


图3 模型计算结果的输出路径

的一段作为计算对象,计算得到下穿公路运营期间桥墩的顺桥向水平位移和竖向位移(见图4)及桥墩和下部土体的位移(见图5)。

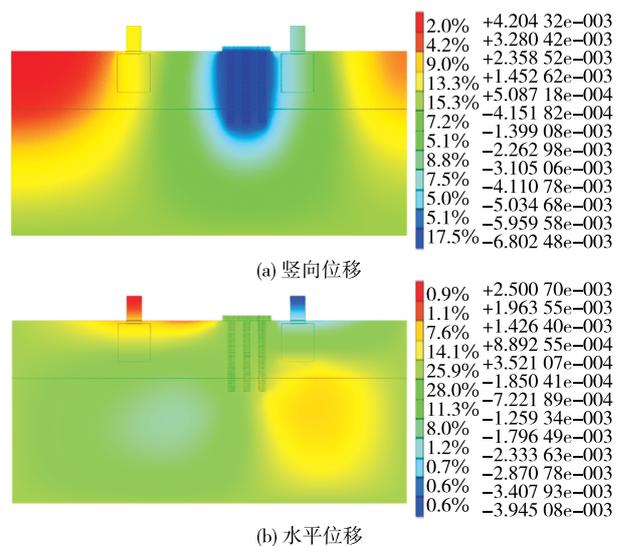


图4 桩板路基引起的桥墩位移变化(单位:m)

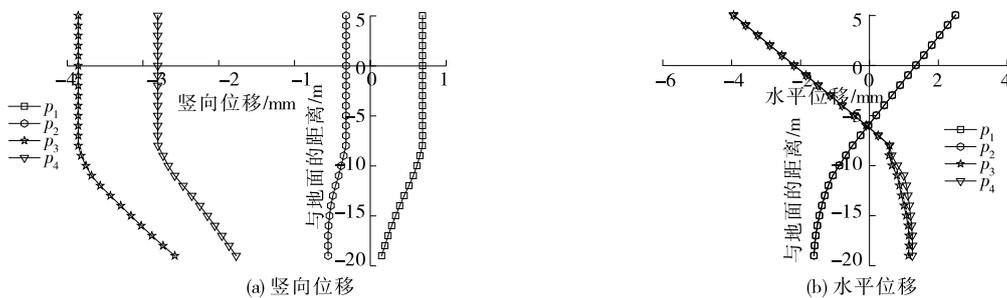


图5 桩板路基引起的桥墩及下部土体的位移变化

由图4可知:道路运营阶段,在自质量荷载及行车荷载作用下桩板路基产生一定位移,并通过土体传递给桥墩,对其产生不利影响。近侧桥墩的最大竖向位移变化为-6.8 mm,最大水平位移变化为-3.9 mm;远侧桥墩的最大竖向位移变化为4.2 mm,最大水平位移变化为2.5 mm。近侧桥墩由于更接近桩板路基,所受影响更大。

由图5可知:在路基水平位移与竖向位移的综

合作用下,桥墩及下部土体产生变形,最大位移出现在桥墩顶部。因此,下面以近侧桥墩墩顶为观测点,计算分析不同桩板路基下穿位置及桩长、桩径下桥墩位移的变化。

### 3.2 新建桩板路基与桥墩距离的影响

变化桩板路基中心点与桥墩的距离,计算桩板路基施工及公路运营阶段桥墩的顺桥向水平位移和竖向位移,结果见图6。

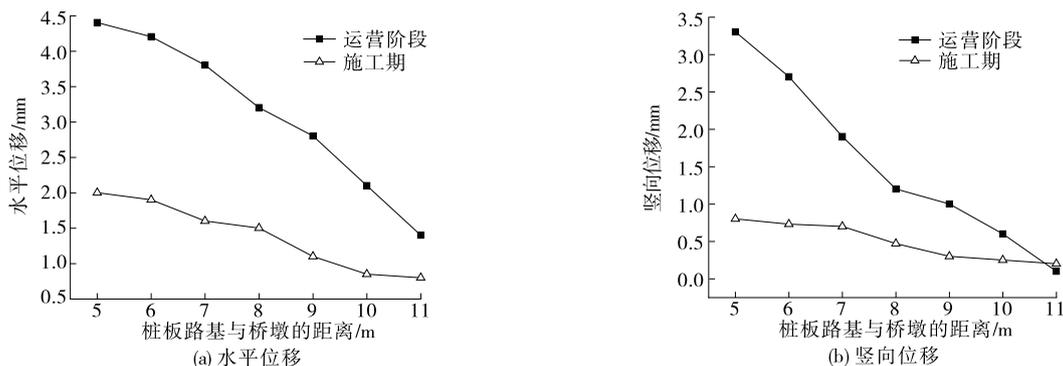


图6 桩板路基与桥墩不同距离时桥墩的位移变化

由图6(a)可知:在公路运营阶段,桥墩的顺桥向水平位移的最大值为4.4 mm,对应的桩板路基与桥墩的距离为5 m;两者的距离增加至11 m时,桥墩的顺桥向水平位移减小至1.4 mm,下降幅度为68.2%;在施工阶段,桥墩的顺桥向最大水平位移为2.0 mm,对应的桩板路基与桥墩的距离为5 m;两者的距离增加至11 m时,桥墩的顺桥向水平位移减小至0.8 mm,下降幅度为60%。

由图6(b)可知:在道路运营阶段,桥墩的最大竖向位移为3.3 mm,对应的桩板路基与桥墩的距离为5 m;两者的距离增加至11 m时,桥墩的竖向位移减小至0.1 mm,下降幅度为97.0%;两者的距离为5~8 m时,桥墩竖向位移的平均下降幅度为70%,而两者的距离为8~11 m时,桥墩竖向位移的平均下降幅度为36.7%。在施工阶段,桥墩的竖

向位移由两者的距离为5 m时的0.8 mm减小至两者的距离为11 m时的0.2 mm,下降幅度为75%。

综上,新建路基距离桥墩越近,对桥墩顺桥向水平位移与竖向位移的影响越大。

### 3.3 新建桩板路基桩长的影响

保持1.2 m桩径不变,对不同桩长(5 m、7 m、9 m、11 m、13 m、15 m)时桩板路基及桥墩的位移进行计算,结果见图7。

由图7可知:桩板路基桩长由5 m增大至15 m时,桥墩的最大竖向位移由6.4 mm减小到5.8 mm,下降幅度为9.4%;桥墩的最大顺桥向水平位移由3.0 mm减小到2.4 mm,下降幅度为20%;桩板路基的沉降由9.5 mm减小到8.1 mm,下降幅度为14.7%。增加桩长可有效减小桩板路基的沉降,桥墩的位移也随着桩长增加而减小,但变化幅度较小。

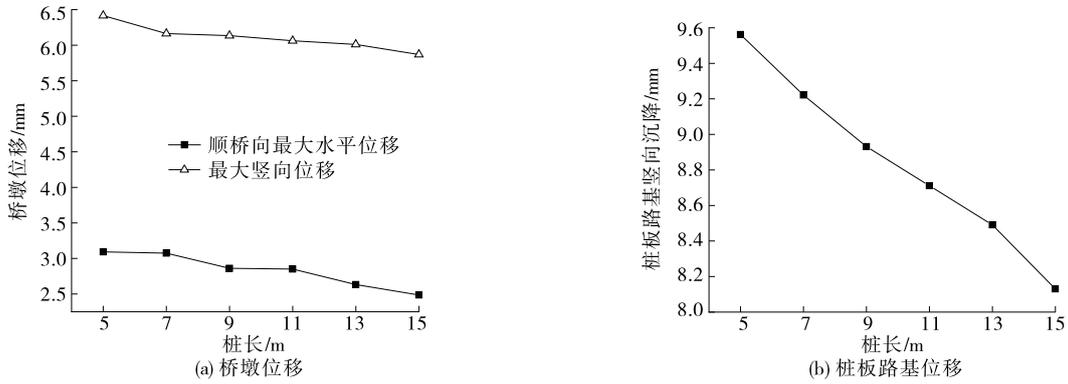


图7 桩板路基不同桩长时桥墩及桩板路基的位移变化

### 3.4 新建桩板路基桩径的影响

桩长分别为5 m、9 m时,不同桩径(1.0 m、1.2 m、1.5 m、2.0 m)下桥墩的位移见图8。

由图8可知:桩长为5 m时,桩径由1 m增加到2 m,桥墩水平位移由3.104 mm降至3.011 mm,

竖向位移由6.163 mm降至6.126 mm;桩长为9 m时,桩径由1.0 m增加到2.0 m,桥墩水平位移由2.94 mm降至2.78 mm,竖向位移由6.132 mm降至6.109 mm。随着桩径的增加,既有铁路桥梁桥墩的竖向位移及顺桥向水平位移减小,但变化幅度小,

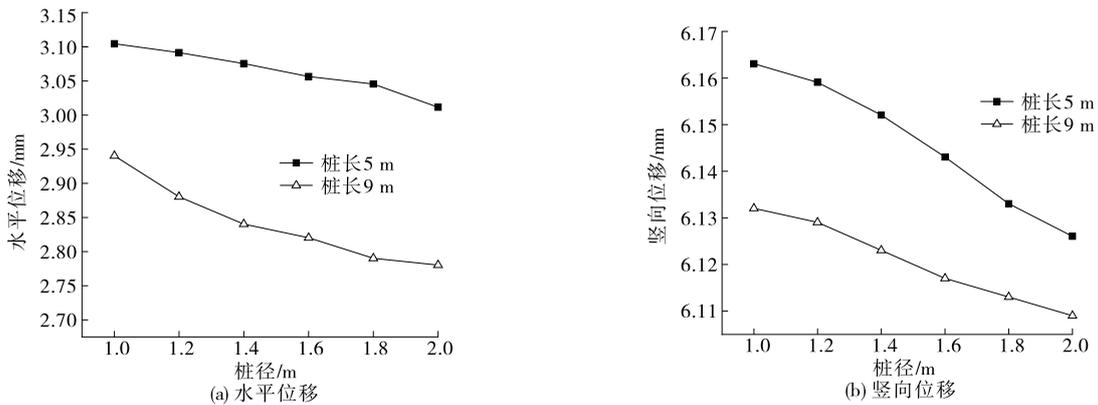


图8 桩板路基不同桩径下桥墩的位移变化

设计上更偏向经济的原则进行桩径选取。

## 4 结论

(1) 下穿公路工程打破了地基土的平衡状态,改变了桥梁基础与周围土体的初始耦合关系,引起桥墩不均匀沉降和水平位移,使邻近公路的桥梁桩基的竖向荷载增加、上部结构变形增大,对桥梁结构造成安全隐患。

(2) 路基施工期,原来土体的位置经过开挖并替换成混凝土,会导致土体一定程度变形,进而影响到既有铁路桥梁桥墩,由此造成的桥墩位移虽小于道路运营阶段,但增加速度较快,下穿公路桩基施工时应多加防护。

(3) 在路基荷载作用下,桥台会发生不均匀沉降,并且随着新建路基与既有铁路桥墩距离的减小,

这种位移变化进一步加大。下穿公路选线时,应尽可能将其与既有桥梁的距离保持在安全距离范围内。

(4) 随着桩长和桩径的增加,桩板路基的沉降和桥墩的位移不同程度减小,结构设计及施工中可根据实际情况合理选取桩长和桩径。

### 参考文献:

[1] 詹永祥,蒋关鲁,魏永幸.桩板结构路基沉降影响因素的有限元分析[J].路基工程,2007(3):12-14.

[2] 高霞,肖宏,王洪刚.高速铁路斜坡桩板结构路基稳定性影响因素分析[J].铁道标准设计,2013,57(8):23-27.

[3] 王义,陈兴冲,张熙胤,等.挖井基础铁路桥墩的抗震性能影响参数分析[J].应用力学学报,2020,37(6):2544-2550.

(下转第86页)

分子材料改性后,低温性能得到提升。

### 3.4 水稳定性

选取浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验对乳化沥青混合料的抗水损害能力进行评价。按照室内确定的配合比成型马歇尔试件,模内 90 ℃下养生 24 h、室温 25 ℃下放置 12 h 后脱模进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,试验结果分别见表 6、表 7。

表 6 乳化沥青混合料浸水马歇尔试验结果

混合料类型	稳定度/ kN	浸水稳定 度/kN	残留稳定度/%	
			试验结果	规范要求
冷拌乳化沥青 混合料	10.45	8.76	83.14	≥80
	10.52	8.64		
	10.46	8.52		
	10.38	8.84		
普通热拌改性 沥青混合料	10.67	8.85	82.9	

表 7 乳化沥青混合料冻融劈裂试验结果

混合料类型	劈裂强 度/MPa	冻融劈裂 强度/MPa	冻融劈裂强度比/%	
			试验结果	规范要求
冷拌乳化沥青 混合料	0.71	0.59	80.9	≥75
	0.69	0.56		
	0.73	0.56		
	0.75	0.62		
普通热拌改性 沥青混合料	0.81	0.65	80.2	

由表 6、表 7 可知:高固含量复合型冷拌冷铺乳化沥青混合料的残留稳定性和冻融劈裂强度比与普通热拌改性沥青混合料相当,抗水损害性能达到热拌沥青混合料的技术要求。

## 4 结论

(1) 高固含量复合型冷拌冷铺乳化沥青混合料的最佳乳化沥青用量为 8.5%,最佳总用水量为 5.88%。

(2) 在冷拌冷铺乳化沥青混合料中,通过提高乳化沥青固含量、引入减水剂可有效减少用水量,缩短后期施工养生时间 1~3 d。

(3) 采用 SBS、SBR 复合改性方式制备改性乳化沥青,可提升乳化沥青的各项性能,使冷拌冷铺乳化沥青混合料的马歇尔稳定度、水稳定性、高温性能和低温性能等达到热拌沥青混合料的技术要求,满足沥青路面使用要求。

### 参考文献:

[1] 徐世法,黄玉颖,蔡硕果,等.冷拌冷铺沥青混合料技术进展[J].筑路机械与施工机械化,2018,35(2):34-36.

[2] 李思童,何志敏,蔡硕果,等.乳化型冷拌冷铺沥青混合料室内加速模拟养生条件[J].筑路机械与施工机械化,2018,35(2):37-42.

[3] 夏朝彬,马波.国内外乳化沥青的发展及应用概况[J].石油与天然气化工,2000,29(2):88-91+52.

[4] 张志婷,叶长文,罗雷,等.新型冷拌冷铺沥青混合料路用性能研究[C]//中国地质学会.第二十一届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2021:91-96.

[5] 谢伟伟,郑全,陈兆南,等.SBR 乳化型冷拌冷铺沥青混合料室内性能试验研究[J].湖南交通科技,2019,45(4):22-25.

[6] 金晓晴.LB(冷拌冷铺)沥青及其路面修补技术研究[D].西安:长安大学,2005.

[7] 李林涛,李思童,李建民,等.不同养生方式下的乳化型及溶剂型冷拌冷铺沥青混合料性能对比[J].石油沥青,2018,32(1):52-56.

[8] 李思童,黄玉颖,蔡硕果,等.AC-10 冷拌冷铺乳化沥青混合料路用性能评价[J].石油沥青,2018,32(3):12-16.

[9] 徐世法,许鹰,索智,等.冷拌冷铺沥青混合料开发及其在重载长寿命路面中的应用[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

收稿日期:2022-03-02

\*\*\*\*\*

(上接第 82 页)

[4] 陈刚,洪宝宁,周斌.跨线桥桩基施工对既有高速公路影响的有限元分析[J].中外公路,2015,35(2):21-24.

[5] 高世强.高速铁路桥梁桥下新建公路工程的安全性分析[J].铁道标准设计,2015,59(4):63-67.

[6] 谢钦方.新建公路下穿某铁路桥梁基础位移分析[J].铁道建筑技术,2013(增刊 1):11-13+25.

[7] HARA T, YU Y Z, UGAI K. Behaviour of piled bridge abutments on soft ground: A design method proposal based on 2D elasto-plastic-consolidation coupled FEM[J]. Computers and Geotechnics, 2004, 31(4): 339-355.

收稿日期:2022-03-31