

深厚软土区城市道桥近距下穿京沪高铁 桥梁影响及处置研究

冯印

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430063)

摘要:新建城市道路下穿运营的高速铁路桥梁,近距离取土施工必定会扰动高铁桥梁桩基周围土体,引起高铁桥墩的不利附加变形及桩侧摩阻力变化,从定量、定性的角度判断其是否会影响高铁的正常运营,以及选取影响最小的设计、施工方案十分重要。该文通过精细数值仿真模拟分析某城市道桥下穿高铁桩基不同建造次序,尤其关注施工、运营过程对高铁桥墩的变形、桩基承载能力的影响,得到以下主要结论:不同的道桥基础施工顺序对高铁桥墩的影响不同,其中施工方案的选取应以变形为主要控制要素;选取对角对称的道桥桩基施工方案可将不利影响控制在最小范围,满足高铁桥墩在施工过程与最终附加变形均在2 mm以内的要求;高铁桥墩附加变形最大发生在施工过程,最终变形相比施工过程变形较小,应加强过程监测;不同施工方案会引起高铁桩侧摩阻力变化,进而影响桩基承载力总体减小,但影响的幅度仍在高铁桥桩基承载力允许值范围。

关键词:京沪高铁;城市道桥;施工顺序;附加变形;桩侧摩阻

随着地方经济的快速发展,城市规模不断扩张、外延,越来越多的新建城市道路立体交叉高速铁路,通常优先选择铁路上跨、城市道路下穿高铁已成为高铁交叉工程主要技术方案。

城市道路建造过程中高铁通常不限速,边界约束对下穿工程的设计、施工要求非常严格,实施难度较大,近些年下穿构筑物的建造与运营已成为影响高速铁路安全的主要因素之一。新建道桥施工会改变高铁桥梁周边土体应力场,造成周围土体的扰动,产生不可忽视的干扰与负面影响,设计时需进行充分的数值分析与方案研究,评估下穿工程建造、运营对高铁桥梁的不利影响,以此选择合适的设计、施工方案。

1 工程概况

某城市道路下穿京沪高铁,双向四车道,设计速度40 km/h,桩号K0+112~K0+202段道路采用桥梁下穿京沪高铁秦淮河特大桥,道路断面正宽近42 m,设中分带。该城市道路与京沪高铁交叉的平面图、立面图如图1所示。

道路下穿高铁主要有路基、“U”形槽、桩板结构、

桥梁等方案,经比选该道路下穿采用(20+30+18+13+16+13) m 预应力混凝土简支梁在京沪高铁秦淮河特大桥234[#]~236[#]墩之间下穿,道桥采用双幅分幅布置,高铁235[#]墩置于中分带之间。与高铁桥墩距离最近的1[#]墩、2[#]墩采用盖梁桩式结构,钻孔桩桩径1.2 m,桩长25 m,桩顶竖向荷载约2 500 kN,桩底置于弱风化碳质粉砂岩层。

京沪高铁桥梁采用两孔32 m 整孔简支箱梁上跨该城市道路,桥墩为圆端形实体墩,墩高14 m,墩身尺寸宽×长=3.0 m×8.0 m,承台尺寸宽×长×厚=6.8 m×10.5 m×2.0 m,承台接10φ1.0 m 钻孔桩,桩长分别为26.0(234[#]墩)、22.5(235[#]墩)、28.0 m(236[#]墩)。

2 位置关系

该道桥采用跨度30 m 并列式简支小箱梁在高铁234[#]~236[#]墩之间分双幅下穿,公、铁路桥夹角约71°,道桥上方净空约10.9 m。左半幅道桥在235[#]~236[#]墩之间下穿,道桥桩基与高铁桥桩基最近中心距10.5 m,道桥桥面与铁路桥墩最近距离1.4 m;右半幅

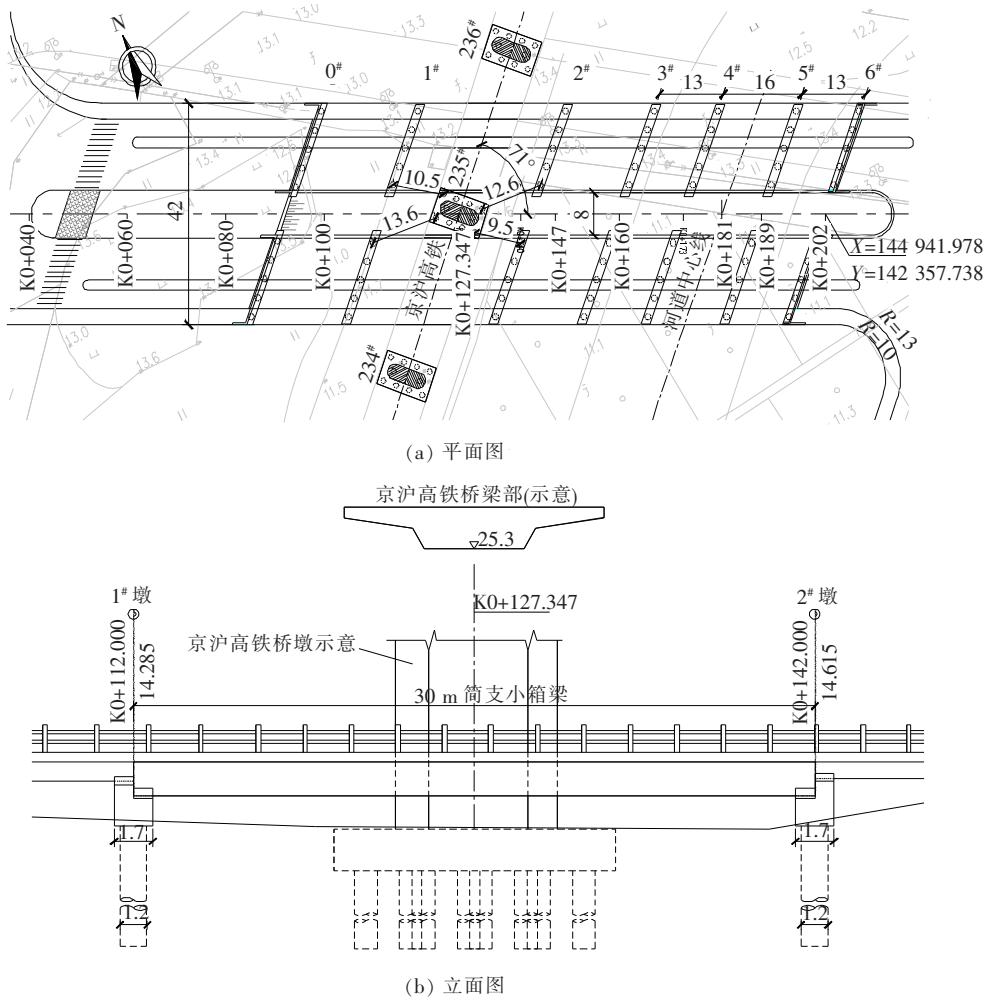


图 1 城市道路与京沪高铁交叉平、立面图(单位:m)

道桥在 234[#]~235[#]墩之间下穿,道桥桩基与高铁桥桩基最近中心距 9.5 m,道桥桥面与高铁桥墩最近距离 2.0 m。

3 地质参数

京沪高铁秦淮河特大桥工程地质勘察报告揭示,交叉位置岩土层按其成因分类自上而下主要为:① 表层第四系全新统冲洪积层:粉质黏土,硬塑且土质较均匀,厚度约 4.0 m;② 长江高阶地坳谷第四系全新统冲洪积层:淤泥质粉质黏土,软塑且土质较均匀,厚度约 9.7 m;③ 侏罗纪中下统象山群:碳质粉砂岩,全风化层,原岩结构基本风化,岩芯呈土柱状,岩性不均,厚度约 1.0 m;强风化层,节理裂隙较发育,岩芯呈碎块状,厚度约 4.7 m;弱风化层,裂隙较发育,岩质较软,岩芯较破碎,局部夹砂岩,高铁桩基持力层位于此弱风化层。岩土层主要参数取值如表 1 所示。

4 数值分析

有限元软件 Abaqus 对于岩土工程具有较强的使用性,能够相对方便地进行对比研究,采用该软件分析道桥各施工方案对高铁桥梁的影响,其中主要分析不同建造次序及道桥运营加载对桩基位移、桩侧摩阻力的影响,所引起的高铁桥墩附加变形和桩基承载力改变。

仿真研究主要运用的方法:① 应力应变本构理论采用 Mohr—Coulomb 线弹塑性模型;② 桩土接触通过 General Contact 模式实现自动识别计算,设置独立摩擦系数实现真实摩阻力计算;③ 利用单元生死技术模拟开挖过程。

分析主要分为 4 个步骤:① 施加重力,设置零桩侧摩擦系数避免初始负摩阻力,进行初始地应力场平衡,位移清零;② 设定桩与不同土层的摩擦系数,施加

表 1 岩土层主要参数取值

地层	内摩擦角/(°)	黏聚力/kPa	压缩模量/MPa	饱和抗压强度/MPa	基本承载力/kPa
粉质黏土(硬塑)	10.4	28.4	4.4		150
淤泥质粉质黏土(软塑)	6.4	14.1	3.9		80
全风化层	25.0	0	10.0		180
粉砂岩 强风化层	32.0	30.0	25.0	21.5	300
弱风化层	35.0	100.0	50.0	32.9	400

铁路荷载,进行地应力场平衡,位移清零;③ 模拟多种建造组合次序钻孔桩施工过程;④ 将道桥桩顶荷载转化为等效剪力,在不同土层道桥桩基与孔壁接触面分段施加面剪力,以模拟运营过程中道桥桩基加载。

桩长、桩径相异的桩间相互作用分析目前仍具有一定的局限性。该工点钻孔桩施工过程模拟主要包括:① 将开挖的土体单元去除,同时将等效泥浆压力施加于开挖孔壁;② 撤去泥浆压力,将与流态混凝土等效的正压力施加于孔壁,以模拟混凝土灌注;③ 固定孔壁处单元水平位移,模拟混凝土桩身凝固。

4.1 分析方案

道桥采用分离式双幅桥梁,两半幅道桥大致对称于京沪高铁 235# 桥墩,故选取 235#、236# 高铁桥墩为分析目标。综合考虑边界效应、土层条件、单元划分等因素,模型宽度沿高铁桥方向取80m,公路桥方向取

40 m,土层向下深度取 35 m。采用三维单元减缩积分模拟,采用结构化网格划分技术对模型进行网格划分,其中边界条件选取顶面为自由面,四周取面对称约束,底面取完全固定约束。模型示意图如图 2 所示。桩顶最不利荷载如表 2 所示。

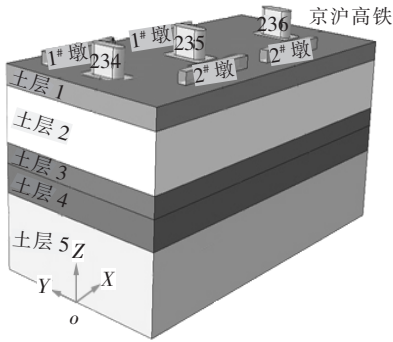


图 2 模型示意图

表 2 桩顶最不利荷载

墩号	P_X /kN	P_Y /kN	N_Z /kN	M_X /(kN·m)	M_Y /(kN·m)	M_Z /(kN·m)
235#	3 046.8	-2	-12.3	1.9	15.4	3.7
236#	3 039.8	-12	7.6	1.8	-1.3	-18.6

桩顶荷载的编号及方向如图 3 所示,图中 P_X 、 P_Y 、 N_Z 及 M_X 、 M_Y 、 M_Z 分别为桩顶轴力和弯矩。

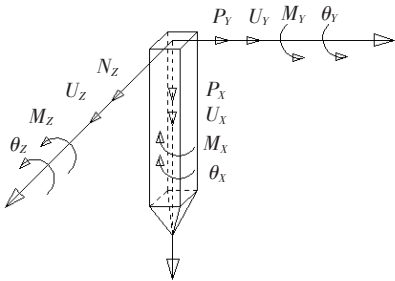


图 3 荷载编号及方向

4.2 施工方案

结合设计方案、场地条件,考虑表 3 所示的 4 种建造次序。

4.3 分析结果

对于各承台的桩基而言,外侧桩位移及内力的变化高于内侧桩,故以各承台角桩的位移及内力为主要研究对象。高铁桥墩对应桩的编号如图 4 所示。

4.3.1 墩顶位移

道桥桩基钻孔施工产生的侧向应力解除会使土体向钻孔中心部位产生水平位移,在应力松弛和土体位移的影响下,高铁桥的桩基会向道桥桩基钻孔的方向产生水平位移,并会产生附加沉降。混凝土浇筑会使钻孔孔壁的土体向外挤压,从而引起高铁桥桩基向远离钻孔的方向产生水平位移,却不能完全抵消由于钻孔所引起的水平位移。

高铁桥梁桩基作为被动桩,桩、土相互作用主要为

桩与土之间的接触,所受荷载与桩土相互作用处于动态的平衡状态,并最终引起桥墩偏向,各建造次序引起的最不利墩顶位移如表 4 所示。

表 3 各方案施工建造次序

方案	步骤	施工内容
1 (左右)	1	右半幅 2 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔,泥浆护壁
	2	右半幅 2 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基混凝土浇筑
	3	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 1 [#] 墩桩基钻孔,泥浆护壁
	4	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 1 [#] 墩桩基混凝土浇筑
	5	桩基加载
2 (上下)	1	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔,泥浆护壁
	2	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩混凝土浇筑
	3	右半幅 1 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔,泥浆护壁
	4	右半幅 1 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩混凝土浇筑
	5	桩基加载
3 (对角)	1	左半幅 1 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔,泥浆护壁
	2	左半幅 1 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩混凝土浇筑
	3	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔,泥浆护壁
	4	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩混凝土浇筑
	5	桩基加载
4 (同步)	1	道桥 1 [#] 墩、2 [#] 墩左、右幅桩基钻孔,泥浆护壁
	2	全部道桥桩基混凝土浇筑
	3	桩基加载

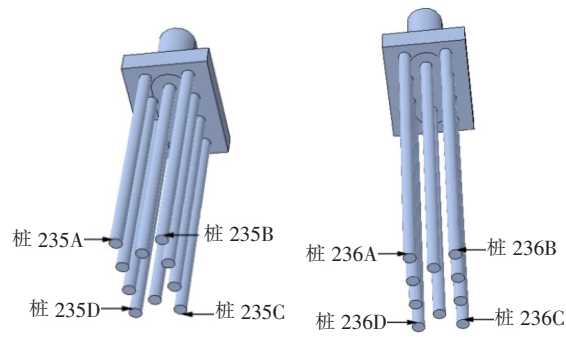


图 4 桩基编号

从表 4 可知:①引起 235[#]墩 X 向(顺桥向)变形最小的是方案 3,X 向变形为-0.11 mm,其原因为方案 3 桩基钻孔对 235[#]墩来说在 X 向最接近对称分布;②引起 235[#]墩 X 向变形最大的是方案 2,X 向变形为 0.82 mm,其原因为方案 2 桩基钻孔先在垂直 X 向的单侧施工;③引起 235[#]墩 Y 向(横桥向)变形最小的是方案 3,Y 向位移为 0.40 mm,其原因为方案 3 桩基钻孔对 235[#]墩来说在 Y 向最接近对称分布;④引起 235[#]墩 Y 向变形最大的是方案 1,Y 向位移为 1.45 mm,其原因为方案 1 桩基钻孔先在垂直 Y 向的单侧施工;⑤引起 235[#]墩 Z 向(竖直向)变形最小的是方案 1,最小 Z 向位移为-0.86 mm,其原因为 235[#]墩的左、右侧分别进行桩基钻孔后再加载的叠加影响相对小些;⑥引起 235[#]墩 Z 向变形最大的是方案 4,最大 Z 向位移为-1.01 mm,其原因为 235[#]墩的四周同时进行桩基钻孔施工并加载。

表 4 各施工方案引起的最不利墩顶位移

方案	墩号	方向	位移/mm	工况	方案	墩号	方向	位移/mm	工况
1	235 [#]	X	-0.12	左半幅 1 [#] 墩、右半幅 1 [#] 墩桩基钻孔	3	235 [#]	X	-0.11	左半幅 1 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔
		Y	-1.45	左半幅 2 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔			Y	0.40	双幅桥墩施加外部荷载
		Z	-0.86	双幅桥墩施加外部荷载			Z	-0.92	双幅桥墩施加外部荷载
	236 [#]	X	-0.48	左半幅 2 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔		236 [#]	X	-0.50	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔
		Y	-0.62	左半幅 2 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔			Y	-0.59	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔
		Z	-0.09	左半幅 2 [#] 墩、右半幅 2 [#] 墩桩基钻孔			Z	-0.07	右半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔
2	235 [#]	X	0.82	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔	4	235 [#]	X	-0.11	双幅桥墩同时桩基钻孔
		Y	0.94	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔			Y	0.42	双幅桥墩同时施加外部荷载
		Z	-0.91	双幅桥墩施加外部荷载			Z	-1.01	双幅桥墩同时施加外部荷载
	236 [#]	X	-0.63	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔		236 [#]	X	-0.77	双幅桥墩同时桩基钻孔
		Y	-0.44	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔			Y	-0.45	双幅桥墩同时桩基钻孔
		Z	-0.10	左半幅 1 [#] 墩、左半幅 2 [#] 墩桩基钻孔			Z	-0.11	双幅桥墩同时桩基钻孔

道桥桩基施工完成并施加桩顶荷载后,不同施工方案引起 235[#]、236[#]墩墩顶的最终变形如表 5 所示。

从表 5 可知:不同施工方案引起墩顶最终变形有差异,不同施工方案引起的 236[#]墩变形差异不大,但

表 5 施加外部荷载后最终墩顶变形

方案	235 [#] 墩/mm			236 [#] 墩/mm		
	X 向	Y 向	Z 向	X 向	Y 向	Z 向
1	0.07	-0.53	-0.86	-0.11	-0.28	-0.01
2	0.11	0.46	-0.91	-0.11	-0.28	-0.02
3	0.04	0.40	-0.92	-0.12	-0.28	0.00
4	0.08	0.42	-1.01	-0.12	-0.29	-0.02

对 235[#] 墩顶变形的影响有相对明显的差异,表中数值对选择建造次序具有指导价值。

从引起的最终变形最小的角度来看,方案 3 引起 235[#] 墩 X、Y、Z 向的变形均较小;方案 3 引起的 236[#]

墩 Z 向变形最小,且 X、Y 方向的变形与不对称施工方案接近。综合比较不同建造次序引起的高铁桥墩的过程与最终附加变形,方案 3 均为影响较小的施工方案。

4.3.2 桩侧摩阻

钻孔灌注桩桩侧摩阻力的影响因素较多,如土层性质、长径比、土层深度、施工方法等。新建道桥对已运营多年的京沪高铁桥梁桩基而言,高铁桩基本身的沉降变形已趋于完成,而在其附近近距离施工道桥桩基,土体钻孔开挖、桩基混凝土灌注、外部荷载加载等均会引起高铁桥桩基侧土压力变化,从而引起桩侧摩阻力变化。桩侧摩阻力最大变化值如图 5 所示。

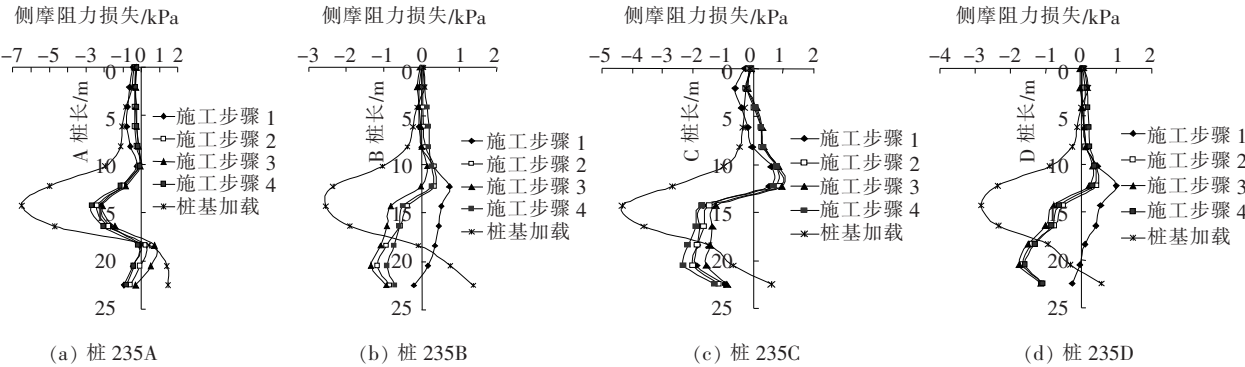


图 5 桩侧摩阻力变化值(方案 3)

由图 5 可知:不论哪种施工顺序,新建道桥桩基施工外加荷载时,即架梁、运营时,高铁桩侧摩阻力减小最为明显,桩基钻孔、灌注混凝土工序对高铁桥桩基侧摩阻力的影响比较有限,且各建造次序的影响效果趋于近似。既有高铁桥桩周摩阻力的变化以减少为主要趋势,从而影响桩基的承载能力。统计分析其减少幅度在 5% 以内,不影响桩基的承载,施工方案的选择应以变形控制为主。

5 结论

高速铁路设计标准高,行车速度快,对桥梁结构刚度、变形控制极为严格。新建道桥施工及运营引起的地层扰动,不仅会使周围土体产生沉降,也改变了附近既有桩基的承载能力。新建道桥施工、运营会对其近距离的既有高铁桥产生一定的不利影响,尤其是处在深厚软土区高铁桥梁,其主要体现在桩基承载力变化,以及基础发生少量变形,致使桥墩产生不利的位移最

终传递至无砟轨道结构。

对某城市道桥下穿京沪高铁桥梁进行了精细数值分析,研究了新建道桥建造、运营对高铁桥梁的不利影响,得到以下主要结论:

(1) 不同的道桥基础施工方案对高铁桥的影响不同,对高铁桥的影响主要表现在桥墩变形、桩基承载力方面,通过数值定量分析和定性判断可以看出:方案的选择应以变形为主要控制要素。

(2) 采取对角对称施工方案,可将既有高铁的不利影响控制在最小范围内,对于该工点而言,此种施工方案可控制桥墩水平附加最终变形在 1 mm 以内,过程变形控制在 2 mm 以内,满足相关规程要求。

(3) 桥墩附件变形最大发生在施工过程中,高铁同侧双幅道桥基础钻孔工况引起的墩顶变形最大,相反因土体弹性回缩和对侧平衡钻孔,最终位移不控制施工方案,设计和施工中应加强对过程的控制。

(4) 不同施工方案引起高铁桩周摩阻力变化,进而影响桩基承载力总体减小,但影响的幅度有限,且最

大值发生在道桥运营加载过程,对该工点而言在 5% 以内,考虑原铁路桥设计桩基承载力尚有冗余,铁路桥桩基承载能力仍在允许值范围。

参考文献:

- [1] 李耐振,闫伟.德大线下穿京沪高速铁路设计方案研究[J].铁道标准设计,2011(5).
- [2] 毛亚平.新建公路下穿高铁对既有高铁桩基的影响分析[J].山西建筑,2015(7).
- [3] 李蓬.高速公路新建工程下穿高铁大桥安全影响评估及处置技术研究[D].郑州大学硕士学位论文,2017.
- [4] 杨玫.高速公路下穿铁路客专桥设计实例研究[J].城市道桥与防洪,2014(5).
- [5] 吉军立.浅析城市道路下穿高铁的影响与分析[J].工程与建设,2016(1).
- [6] 杨菲.桩板及空心板梁桥结构下穿软土区高铁桥梁的数值模拟研究[J].公路,2017(11).
- [7] 张志宙,桂志鹏,章荣军.深厚软土上填筑路堤引起的邻近既有受荷桩基水平附加变形响应分析[J].中外公路,2018(6).
- [8] 杨红春.新建道路下穿高速铁路桥梁对高铁桥墩和桩基影响的分析[J].中国市政工程,2016(2).
- [9] 代汉超,冯征远.新建连镇铁路桩板结构下穿京沪高铁影响分析[J].福建建筑,2017(11).
- [10] 王淑敏.临近既有高铁桥梁工程对运营安全性影响分析[J].铁道勘察,2016(2).
- [11] 王菲,嵯一.基坑开挖对既有铁路桥基础变位的影响分析[J].铁道工程学报,2012(8).
- [12] 高志尧.土体压缩性、成桩方式及约束条件对群桩负摩阻力影响的试验研究[D].深圳大学硕士学位论文,2016.
- [13] 王曼.某新建下穿公路桥施工荷载对既有高铁桩基的影响分析[J].工程建设,2017(11).
- [14] 张文斌.某新建轨道交通工程下穿既有高速铁路桥梁方案研究[J].铁道标准设计,2015(5).
- [15] 张乾青.软土地基桩基受力性状和沉降特性试验与理论研究[D].浙江大学博士学位论文,2012.
- [16] 夏春燕.道路下穿段对高铁桥基础的影响性研究[J].公路工程,2015(1).
- [17] 冯忠居,李孝雄,苏航州,等.深厚软基区桥梁桩基横向承载特性研究[J].中外公路,2018(1).
- [18] 顾培英,王德平,吕惠明.大直径灌注桩桩侧摩阻力试验研究[J].公路交通科技,2004(1).
- [19] 宋兵.桩侧摩阻力特性的研究[D].华南理工大学博士学位论文,2010.
- [20] 马海涛.市政道路下穿既有高铁桥梁板桩防护技术研究[J].铁道勘察,2018(3).
- [21] 林锋.城市道路下穿高铁桥梁的方案研究[D].浙江大学硕士学位论文,2016.
- [22] TB 10182—2017 公路与市政工程下穿高速铁路技术规范[S].

投 稿 须 知

1. 征稿范围:国内外公路概况;国外公路考察见闻;公路路线设计;路基路面工程;桥梁与隧道工程;材料试验与应用;交通工程与管理;公路景观与环保等。

2. 稿件要求:① 请提供 word 文档。文稿以 6 000 字左右为佳;② 投寄本刊的稿件,直接发至 E-mail: zhongwaigonglu@vip. 163. com(本刊唯一投稿邮箱),本刊审稿周期 1~2 个月。若被采用,本刊将 E-mail 通知作者。3 个月未收到通知,作者可另行处理。请勿一稿多投,否则后果自负;③ 题目应简洁明晰,字数不能多于 20 个中文字;④ 作者单位必须注明邮政编码。第一作者须注明出生年、性别、学历、职称、研究方向、电子信箱和联系电话;⑤ 摘要、关键词。摘要请务必按“研究目的、方法、结果、结论”四要素写。关键词:3~8 个;⑥ 基金项目必须写明基金项目名称和编号;⑦ 图表。图表要与文中相对应,(示例:*** 如表 1 所示)。图表要有图名和表名。除照片外,其余图均需提供 excel 或 origin 或 cad 源文件。表格采用三线表。所有图、表中的字体为小 5 号或 6 号;⑧ 文后必须要有参考文献。参考文献参考格式如下:[1] 期刊:作者姓名(列三位,等(姓在前,名在后)). 文章题目[J]. 刊名,出版年份(期);[2] 专著:作者姓名(列三位,等). 专著名称[M]. 版本(第一版不标注). 出版地:出版单位,出版年;[3] 论文集:作者姓名(列三位,等). 题名[C]. 论文集名,出版年;[4] 学位论文:作者姓名. 题名[D]. 单位[硕士(博士)学位论文],年份;[5] 专利:专利申请者姓名(列三位,等). 题名:国别,专利号[P]. 公告日期或公开日期[引用日期];[6] 技术标准:标准代号 标准名称[S].