

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.01.024

桩板结构下穿多条运营高铁桥梁的变形研究分析

兰鸿翔

(杭州铁路设计院有限责任公司, 浙江 杭州 310000)

摘 要: 为研究新建市政道路桩板结构下穿对高速铁路桥梁变形的影响, 现以某新建市政道路工程下穿既有高铁桥梁为工程实例, 为确保铁路运营的安全, 利用桩土共同作用有限元软件 Midas GTS NX 模拟分析该工程实施以及运营期间引起的既有高铁桥梁的附加变形。结果表明: 该新建市政道路工程采用桩板结构下穿方案对高铁桥梁影响较小, 且理论结果与现场自动化监测高铁桥梁变形趋势大体一致, 结果较吻合, 均在规范变形控制范围内。

关键词: 市政道路; 自动化监测; 桩板结构; 下穿高铁; 有限元分析

中图分类号: U41

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)01-0097-03

0 引 言

随着我国越来越多的高速铁路建成投入运营, 其他新建市政道路的施工将会与高速铁路产生交叉, 因此对于新建工程下穿高速铁路的方案研究是一项重要的工作。李悄^[1]等人针对软土地区公路下穿高速铁路方案引起的变形进行分析, 得出采用路基下穿并减小和换填路基填方的方式可减小对高速铁路的变形影响; 孙宗磊^[2]等人针对新建高速铁路下穿京沪高铁不同桥墩方案对京沪高铁桥梁沉降进行分析, 结果表明实体墩方案铁路桥梁影响较小; 解建超^[3]针对下穿高速铁路 U 型槽结构采用不同路基填料和不同桩基长度引起高铁桥梁附加变形分析, 结果表明轻质混凝土填料和增加桩长可减小铁路桥梁附加变形。现以某新建市政道路下穿铁路桥梁不同方案引起的桥梁附加变形进行分析, 为其他类似工程提供参考。

1 工程概况

1.1 新建市政道路概况

某新建市政道路现状为双向两车道, 现拓宽为双向四车道, 设计速度 50 km/h, 两侧设置机非混行道和人行道, 机动车道分别从既有某高速铁路 14#~15#、15#~16# 桥墩、某高速铁路 5#~6# 桥墩之间穿越; 北侧辅道某高速铁路 12#~13# 桥墩、某高速

铁路 4#~5# 桥墩下穿越; 南侧辅道从既有某高速铁路 17#~18# 桥墩、某高速铁路 6#~7# 桥墩之间穿越, 如图 1 所示, 具体铁路设计参数如表 1 所列(为便于区分将上述高速铁路分别命名为 1# 高速铁路和 2# 高速铁路)。

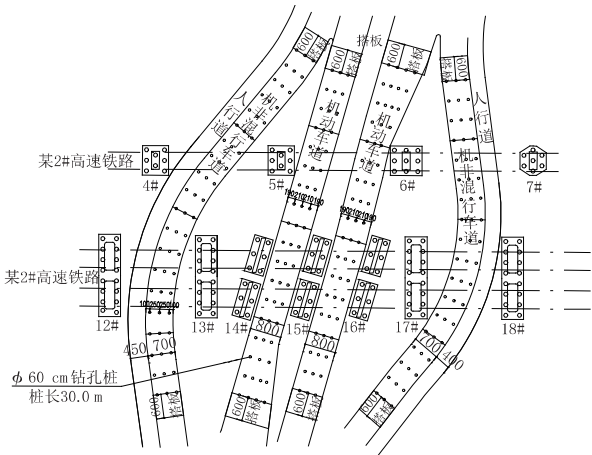


图 1 道路下穿铁路平面图

表 1 1# 高速铁路、2# 高速铁路桥梁设计参数表

铁路名称	墩台号	设计速度 / (km·h ⁻¹)	墩台高 / m	桩长 / m	桩径 / m	桩数	桥梁形式
1# 高速铁路	12	350	5.0	47.5	1.0	8	13#~17# 桥墩为 (11.1+15.0+15.0+12.53) 连续刚构桥: 12#~13#、17#~18# 上部结构为 24.0 m 简支箱梁
	13		5.5	43.0	1.0	8	
	14		8.0	42.0	1.0	6	
	15		8.0	43.0	1.0	6	
	16		8.0	41.0	1.0	6	
	17		8.0	41.0	1.0	8	
	18		7.0	43.5	1.0	8	
2# 高速铁路	4	160	5.7	42.1	1.0		上部结构为 8 × 32 m 连续箱梁
	5		5.7	42.1	1.0		
	6		5.85	42.1	1.0		
	7		5.7	42.3	1.0		

收稿日期: 2022-3-15

项目基金: 中铁上海设计院集团有限公司年度科研课题《下穿铁路桩板桥自动化设计程序开发》

作者简介: 兰鸿翔(1993—), 男, 工学硕士, 从事桥梁设计工作。

1.2 地质资料

桥址沿线主要为江滩地貌,沿线地基土浅部主要为一套全新统海积、冲海积地层,土层厚度、分布及性质均较稳定,土层自上而下为:杂填土、暗塘土、黏质粉土、砂质粉土夹粉砂、粉砂、粉质黏土、中砂、砾砂,地下水位 2.0~3.8 m,具体土层参数如表 2 所列。

表 2 土层参数表

土层编号	岩土名称	土层厚度 / m	重度 / (km·m ⁻³)	黏聚力 / kPa	内摩擦角 / (°)	压缩模量 / MPa
① ₁	杂填土	2.4	18.0	6	12	—
① ₃	暗塘土	1	16.0	5	3	—
② ₁	黏质粉土	2.5	19.1	6.0	24.0	6.5
③ ₁	砂质粉土夹粉砂	6	19.4	5.0	28.0	10.0
③ ₂	粉砂	8.4	19.8	4.0	31.0	16.0
⑥ ₁	粉质黏土	5.1	19.6	35.0	20.0	12.0
⑧ ₁	中砂	10.2	19.5	4.0	35.0	19.0
⑧ ₂	砾砂	15.4	20.0	3.0	38.0	25.0

1.3 桩板结构下穿铁路的方案

新建道路下机动车道桩板结构布跨采用 5.0 m 一跨,板厚 0.8 m,宽度 8.0 m(含两侧防撞护栏宽度),两侧设置 6.0 m 的钢筋混凝土搭板;南北侧机非混行道桩板结构,曲线布置,采用 5.0 m 一跨,板厚 0.8 m,宽度 7.0 m(含两侧防撞护栏宽度),两侧设置 6.0 m 钢筋混凝土搭板;桩基采用 $\phi 60$ cm,长度 30 m。桩板结构与既有 1#、2# 高速铁路桥墩空间位置关系见图 2、图 3 所示。

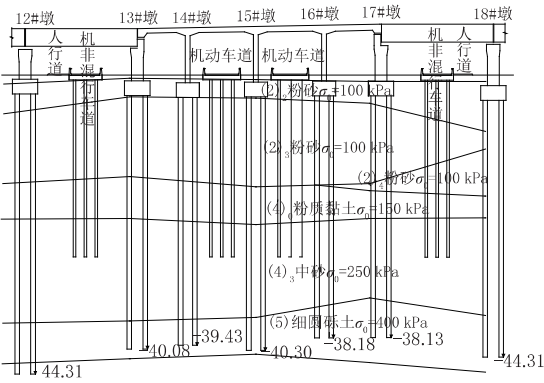


图 2 桩板结构与既有 1# 高速铁路桥墩空间位置关系图

2 计算与分析

2.1 有限元模型建立

理论分析采用大型有限元分析软件 Midas GTS NX,结合现场实际情况和保证模型计算的准确性和收敛性,将模型计算范围取:模型尺寸为纵向 135 m(高铁运营方向)×横向 110 m(道路运营方向)×竖向 51 m(土层方向)。

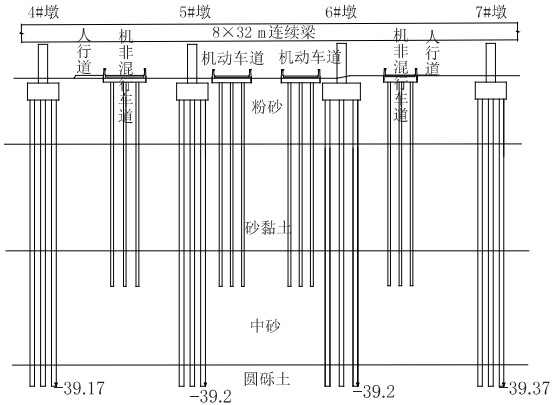


图 3 桩板结构与既有 2# 高速铁路桥墩空间位置关系图

土体采用修正莫尔-库伦模型^[4]模拟其本构关系,模型边界条件为:上部边界为自由、四周边界采用水平约束、底部边界采用固定约束^[5]。模型中除桩基采用梁单元模拟外,其余结构均采用实体单元模拟,模型中只模拟铁路桥梁下部结构实体,上部结构采用等效荷载来模拟^[3],三维空间有限元模型如图 4 所示。

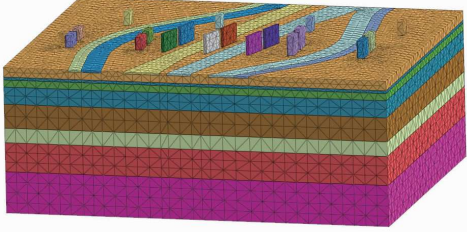


图 4 有限元模型图

2.2 施工阶段模拟

建模基本原则及施工阶段主要划分:首先将 1# 高速铁路、2# 高速铁路两条铁路的结构物作为基本初始状态,计算各土层的初始应力状态;然后在该状态下建立新建市政道路的桩板结构基础模型(见图 5),计算土层应力变化和引起的铁路桥梁附加变形。主要施工阶段划分如表 3 所列。

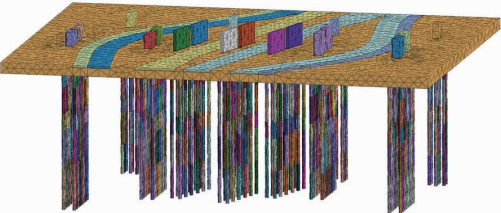


图 5 桩板结构施工阶段模拟图示

2.3 计算结果与分析

根据《高速铁路设计规范》(试行)规定:桥梁下部结构要求工后总沉降不超过 20 mm,相邻墩台不均匀沉降不超过 5 mm。根据《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》(TB 10182—2017)规定,道路下穿高速铁路无砟轨道时,高速铁路桥墩墩顶位移限制:墩顶横向位移、纵向位移、竖向位移均 ≤ 2 mm。

表 3 有限元模型工况划分一览表

工况序号	模拟分析工况内容
1	既有 1# 高速铁路、2# 高速铁路桥梁结构的初始状态
2	施加铁路桥梁上部结构荷载
3	位移清零
4	新建道路桩板结构基础施工模拟
5	新建道路桩板结构面板施工模拟
6	新建道路的运营荷载模拟

3 自动化监测系统

为保证 1# 高速铁路、2# 高速铁路在施工过程中运营的安全,根据《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》(TB 10182—2017)规定:下穿工程施工过程中,应对高速铁路桥梁进行变形监测。结合项目实际情况和监测精度要求,监测采用自动化监测,监测内容主要包括:

- (1)1# 和 2# 高速铁路桥墩的竖向沉降;
- (2)1# 和 2# 高速铁路桥墩的水平、纵向变形。

3.1 监测方案

根据实际工程进展情况及铁路监测要求,现场采用的监测方案如下:

在 1# 高速铁路与 2# 高速铁路的工程涉及沿线自设一个北斗位移监测基准站,分别在 1# 高速铁路 12#~18# 桥墩和 2# 高速铁路 4#~7# 桥墩的每个墩顶的四个角点各设置一个监测点,并对监测点采取一定的保护措施,以免影响监测结果。

3.2 监测结果与理论值对比分析

由于监测系统为实时自动化监测,数据不间断采集且桥墩和监测点布置较多,因此该工程仅选取部分每个桥墩代表性数值和关键施工阶段实测数据进行分析对比,具体数据见表 4、表 5 所列。

根据监测结果与自动化监测结果对比可以看出,两者的数值均在规范允许变化范围内;两者的变化趋势大体上一致,在桩板结构桩基础施工时,由于周围土体的卸载作用导致最邻近桥墩出现沉降且数值较远处桥墩大,在道路运营时,由于道路车辆的荷载作用,位移变化数值较桩板结构施工时,有所增加但是数值变动幅度不大,这是由于道路运营的车辆荷载通过桩板结构的面板传递给下部结构,且下部结构的整体刚度较大,所以变形不大,这也与模型计算结果有较好的吻合。

4 结 论

针对某新建市政道路下穿铁路桥梁工程进行数

表 4 自动化监测与理论分析结果对比表(1) 单位:mm

铁路名称	桩板结构桩基础施工工况						
	墩号	竖向位移		横向位移		纵向位移	
1# 高速铁路	12	0.3	0.5	0.1	0.0	0.2	0.4
	13	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
	14	-1.1	-1.5	0.1	0.3	0.5	0.2
	15	-1.3	-0.9	-0.2	-0.4	0.3	0.2
	16	0.8	0.5	-0.3	-0.3	-0.6	-0.4
	17	0.6	0.5	0.1	0.0	-0.4	-0.6
2# 高速铁路	18	0.7	0.4	0.0	0.1	0.0	0.3
	4	0.5	0.2	0.2	0.0	0.4	0.2
	5	-0.5	-0.9	-0.4	0.2	0.7	0.5
	6	-0.9	-1.2	0.2	0.5	-0.7	-1.0
	7	0.3	0.4	0.4	0.6	-0.3	-0.5

注:表中数值左侧代表监测值,右侧为理论计算值;竖向位移“+”为向上,“-”为向下;横向位移“+”为向桥梁大桩号方向,“-”为向桥梁小桩号方向;纵向位移“+”为向东方向,“-”为向西方向。(表 5 相同)

表 5 自动化监测与理论分析结果对比表(2) 单位:mm

铁路名称	道路运输施工工况						
	墩号	竖向位移		横向位移		纵向位移	
1# 高速铁路	12	0.2	0.1	0.2	-0.2	0.3	0.2
	13	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.5	0.6
	14	-1.6	-1.8	-0.4	-0.2	0.8	1.1
	15	-1.6	-1.3	-0.4	-0.4	1.3	1.1
	16	-0.5	-0.4	0.1	-0.2	-1.2	-1.4
	17	-0.2	0.1	0.3	0.0	-0.9	-1.4
2# 高速铁路	18	0.2	-0.2	-0.4	-0.2	0.8	0.5
	4	-0.3	-0.6	0.2	0.4	-0.2	0.3
	5	-1.2	-1.4	-0.2	-0.6	1.5	0.7
	6	-1.5	-1.6	0.8	1.4	-1.2	-1.5
	7	0.6	0.7	0.8	1.3	-0.5	-0.7

值模拟分析并结合自动化监测系统,主要研究结论如下:

(1)新建道路工程采用桩板结构下穿铁路桥梁方案可行,且工程引起的桥梁附加变形均在《高速铁路设计规范》和《高速铁路无砟轨道线路维修规则(试行)》控制标准范围内。

(2)工程采用桩板结构下穿铁路桥梁理论分析结果与自动化监测结果较吻合,变化趋势一致。由于有限元分析采用的桩土模拟作用,土层参数的实际情况会有些许差异,故计算结果与实际也有一定差异,且实测值受到铁路列车运营的影响,具有一定的波动性,进一步验证了理论仿真分析的可靠性。

参考文献:

[1] 李梢,孙宗磊,等.软土地区新建公路下穿既有高速铁路影响分析及对策[J].高速铁路技术,2013(2):26-30.

(下转第 121 页)

同的重现期。

城镇局部低洼地设计要点,一是“高水高排,低水低排”的管网分区避免低洼区域管道转输的外水汇入,二是高低区域分界点设置有效挡水措施(例如挡水墙、反坡“驼峰”等)避免低洼区域地表径流的外水汇入,三是提高低洼区域的设计标准通过自排、抽排、调蓄等多种方式的结合提高排水安全韧性。

4.3 管网与数字的结合

人类历史伴随着通信技术的进步不断发展,在原始采集时代,语言交流促进了集体协作;在农耕时代,文字、纸张、印刷的应用促进了人类文明,在工业时代,无线电波技术(电报、电话、电视)实现了信息长距离快速传递;在信息化时代,互联网、移动通信技术构建了互联互通的线上社交平台,正在进行的数字时代将通过 5G、物联网、大数据、云计算、人工智能创造出未来的无限可能。

雨水系统构建如何拥抱数字时代,核心重点是打通管网数字化信息壁垒,多元拓展数字化信息的收集、共享、应用场景,最大限度的发掘数字化带来的效益。一是从规划、设计、建设、运维的工程全过程构建可共享的基础模型信息,确保基础信息的一致、准确、及时更新;二是对存量和增量管网根据系统构建的需求设置数据采集设施(例如流量监控、视频监

控、水位监测、在线设施等),实现实时数据的采集;三是通过可视化管控平台和实时数据模型的在线分析应用,提升雨水系统的调配功能、维护效率、内涝敏感点应急处置能力。

5 结 语

(1)城镇雨水系统构建与防洪排涝安全息息相关是一项系统工程,系统思维应贯穿工程规划、设计、建设、运营全过程。

(2)依据管网系统功能分工,城镇雨水系统构建可分为源头、收集、转输、排放、应急等五个部分组成。系统构建的计要点,总体来说就是协调城镇降雨产流量与流域水体防洪容量之间的“供需矛盾”,从而确保城镇排水安全和提升城镇应对极端天气的韧性。细化设计源头要“减排”,收集要“效率”,转输要“顺畅”,排放要“安全”,应急要“精准”。

(3)系统构建延申思考的三个方面,一是建设标准的选择与衔接,二是“内涝”敏感点的系统强化,三是管网与数字的结合。

参考文献:

[1] 张辰,章林伟,莫祖澜,等. 新时代我国城镇排水防涝与流域防洪体系衔接研究[J].给水排水,2020,46(10):9-13,58.
[2] GB 50014—2021,室外排水设计标准[S].

~~~~~  
(上接第 99 页)

[2] 孙宗磊,李梢.石济客专桥梁下穿京沪高铁沉降影响分析[J].铁道工程学报,2013(2):53-57.  
[3] 解建超.新建铁路下穿对运营高铁桥梁变形影响研究[J].铁道勘察,2021(3):51-55,60.  
[4] 刘钊,李子春,刘国楠,等.花岗岩残积土的修正莫尔库伦模型参数

取值研究[J].铁道建筑,2017(3):89-92.  
[5] 方浩.基坑开挖对邻近高速铁路基变形影响的预测方法研究[J].铁道标准设计,2019,63(3):26-33.  
[6] 李满来,廖亚莉,石正雄.某大跨连续梁桥变形实时监测系统设计与[J].交通科技,2017(5):15-18.