

文章编号:1006-2106(2014)08-0037-07

新开河道并行沪宁城际高铁安全影响分析^{*}

冯 印^{**}

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘要:研究目的:随着高铁投入运营范围逐步扩大,城市升级扩容对正在运营的高铁的影响正在逐渐凸现,尤其是我国较发达的东、南部地区,新建道路、河道疏浚、城市轨道交通等工程的建设已无法避免与高铁交叉或近距离并行,研究此类工程对高铁的安全影响已成为工程技术人员需要解决的问题。本文针对新沟河新开河道对沪宁城际高铁桥梁的安全影响通过有限元定量数值分析,主要研究河槽开挖、河堤堆载以及安全防护隔离桩施工作业对高铁桥梁的附加影响,提出安全施工的要求及主动防护隔离措施。

研究结论:(1)控制开挖及堆砌土体相关物理参数,必要时采取隔离主动保护措施,可在高铁正常运营速度情况下进行河道开槽及堆砌施工;(2)新开河道并行沪宁城际高铁,数值分析表明主要影响在桥墩附加横向变形,对桥墩附加沉降的影响极小;(3)隔离桩钻孔施工引起的应力释放与河道开挖引起的不利影响形成同向叠加,使得高铁桥墩附加变形结果更趋不利;(4)减小高铁桥墩附加水平向变形,通过增加隔离桩刚度不如增加隔离桩桩长效果明显,尤其是隔离桩持力层较好时;(5)该研究成果对于在高铁桥梁附近进行大体量土体扰动的安全评估方面具有参考价值。

关键词:高铁;沪宁城际;附加变形;新开河道;隔离桩;安全影响

中图分类号:U24 文献标识码:A

Analysis of Safety Impact on Newly - built Channel Paralleled with Shanghai - Nanjing Intercity High - speed Railway

FENG Yin

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co. Ltd, Wuhan, Hubei 430063, China)

Abstract: Research purposes: With the spread of high - speed railway (HSR) operation, the impact of urban upgrading and expansion to operating high - speed railway gradually appears. Especially in southern and eastern China, which is more developed area, newly - built roads, channels, urban railway transit and some other projects face to cross HSR or parallel with it at very close spacing. Study on safety impacts of these projects to HSR has become a significant issue to engineers and technicians. This paper mainly studies on safety analysis of the effect of a newly - built channel of Xingou River on bridges of Shanghai - Nanjing Intercity by finite element quantitative analysis, specializes on riverbed evacuation, embankment loading and additional effect of isolated piles construction on HSR bridge. Besides, methods of safety construction and active protection are given.

Research conclusions: (1) At the condition of control relevant physical parameters of excavation and piling, measures of isolation to protection if necessary, channel excavation and piling can be done with HSR at normal operating speed. (2) Numerical analysis of newly - built channel paralleled with Shanghai - Nanjing Intercity shows that the main impact of the additional lateral deformation of the piers on additional settlement of pier is very small. (3) Stress releasing caused by isolated pile drilling, together with unfavorable effects caused by channel excavation, leads to adverse

^{*} 收稿日期:2014-03-11

^{**} 作者简介:冯印,1983年出生,男,工程师。

additional deformation of HSR bridge pier. (4) To reduce the additional lateral deformation of HSR bridge pier, increasing the length, instead of stiffness of the isolation pile is effective, especially at good bearing layer. (5) The research results have the reference value in safety evaluation of HSR bridge disturbed by large volumes soil engineering nearby.

Key words: high – speed railway (HSR); Shanghai – Nanjing Intercity; additional deformation; newly – built channel; isolation piles; safety impact

目前我国高铁采用无砟轨道板较多,相比普通铁路的有砟轨道与较低速度,高铁对支撑结构体系附加变形的要求苛刻得多,尤其是正在运营的高铁,基本不允许外界物理活动对高铁结构体系产生永久非弹性扰动。

近些年随着高铁布局成网以及城市的升级扩容,与高铁近距离的物理扰动已不可避免,研究此类工程行为对高铁的影响程度以及如何尽最大限度的减小影响显得尤为迫切。城市附近因节约用地,高铁常采用桥梁形式跨越,研究工程对高铁的影响核心在于研究工程对高铁桥梁的影响。

本文通过有限元定量数值分析,主要研究河槽开挖、河堤堆载以及安全防护隔离桩施工作业对高铁桥梁的附加影响,提出安全施工的要求及主动防护隔离

措施。

1 工程概况

新沟河延伸拓浚工程是太湖流域防洪规划洪水北排长江工程,工程在出五牧河后右拐新开河道约 1.5 km 与沪宁城际客运专线无锡西特大桥并行,后再左拐与西直湖北枢纽连接。

沪宁城际无锡西特大桥 46 ~ 91 号桥墩与新沟河新开河段并行,铁路桥墩承台与北侧河堤坡脚距离最近约 27.3 m,新建河堤堤高最高约 3.8 m,堤顶宽 5.0 m,新建河槽开挖下切既有地面 1.9 ~ 6.7 m 不等,河槽底宽 30 m,顶宽约 50 m。平面图及代表性横断面图分别如图 1、图 2 所示。

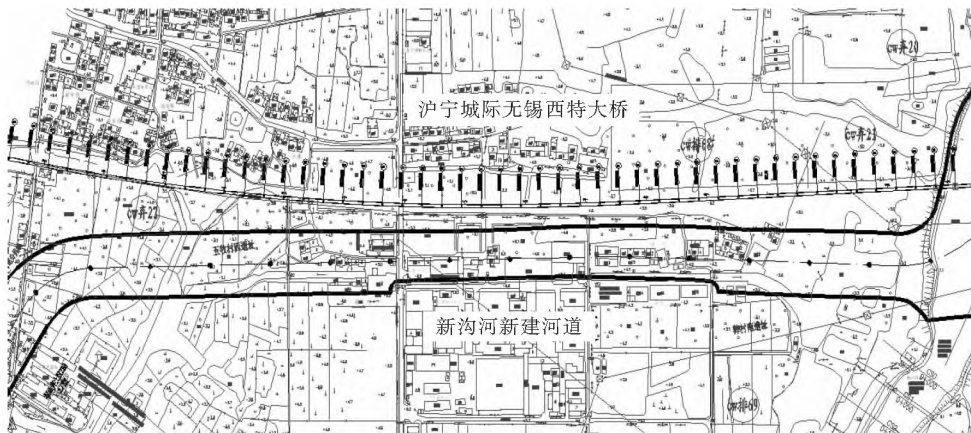


图 1 新开河道与沪宁城际并行段平面图

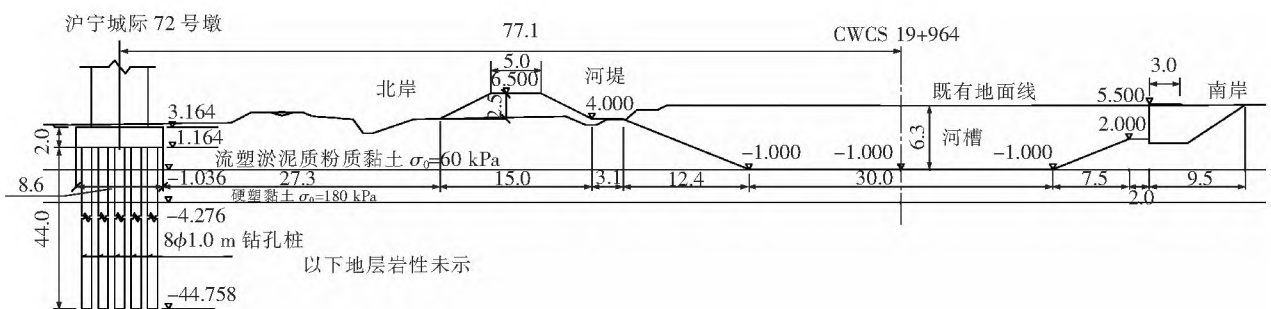


图 2 代表性横断面(距离最近断面)

与新开河道并行的沪宁城际高铁桥梁均为 32 m 高在 5.5 ~ 14.5 m 之间,钻孔桩长 42.5 ~ 51.5 m 之间,并行段桥墩与河道的位置关系如表 1 所示。

表 1 新开河道与沪宁城际高铁桥位置关系表

墩号	承台与坡脚 距离/m	北岸堤高 /m	堤顶宽 /m	堤底宽 /m	河槽中心 挖深/m	河槽底宽 /m	河槽顶宽 /m	说明
72 号	27.3	2.5	5	15.0	6.3	30	50	距离最近
58 号	43.9	3.8	5	17.8	3.6	30	55	填方最高
89 号	60.0	3.8	5	17.8	1.9	30	50	距离近 60 m
54 号	59.0	3.4	5	16.8	4.0	30	50	距离近 60 m
71 号	27.3	2.5	5	15.0	6.3	30	50	左侧软基分界点
76 号	29.9	2.5	5	14.9	5.4	30	50	右侧软基分界点
73 号	27.6	2.5	5	15.0	6.3	30	50	软基最深点

新开河道与沪宁城际并行段的位置关系有以下主要特点:(1)新开河道中间段距离高铁最近,两端趋远;(2)因堤顶与河底高程恒定,地面高程决定了填或挖的体量与深度,新开河道既有地形中间高两端低,故河堤填方中间段低两端趋高,河槽开挖深度中间段深两端趋浅;(3)地质情况较差,黏土及粉土层贯穿整个桩基(含桩底持力层),其中 71 ~ 76 号桥墩之间上层分布较厚淤泥质黏土。

2 评估标准

河道施工引起附近地层应力重分布和变形,破坏了桩基与土体既有平衡,其中部份释放弹性能被桩基以变形的形式进行吸收^[3],造成桩基附加沉降与挠曲变形,这种附加变形塑性不可恢复,与高铁桥桩在列车作用下桩体的振动以弹性振动为主存在差异^[4],若变形过大就会影响行车舒适性,甚至危及行车安全。

《高速高铁无砟轨道线路维修规则》(铁运[2012] 83 号)规定,线路静态几何尺寸容许偏差管理值均在数毫米以内,如表 2 所示。

表 2 200 ~ 250 km/h 线路轨道静态几何尺寸容许偏差管理值

项目	作业验收	经常保养	临时补修	限速 (160 km/h)
轨距/mm	1	4	6	8
	-1	-2	-4	-6
水平/mm	2	5	8	10
高低/mm	2	5	8	11
轨向(直线)/mm	2	4	7	9
扭曲(mm/3 m)	2	4	6	8
轨距变化率	1/1 500	1/1 000	-	-

注:(1)高低和轨向偏差为 10 m 及以下弦测量的最大矢度值。(2)扭曲偏差不含曲线超高顺坡造成的扭曲量。

《高速高铁无砟轨道养护维修管理办法》说明高铁无砟轨道主要采用四种扣件:WJ-7 型、WJ-8 型、300-1 型和 SFC 型,每种扣件都预留了一定范围的钢

轨位移调整量,在高铁无缝线路轨道精调过程中,会适当使用钢轨扣件位移调整量,以致轨道达到要求的平顺度,沪宁城际铺设 CRTS I 型板式无砟轨道,采用 WJ-7B 型扣件,根据《WJ-7 型扣件系统技术条件》:

单股钢轨左右位置调整量:-6 ~ +6 mm;
轨距调整量:-12 ~ +12 mm。

新沟河工程为高铁施工完成并运营后的新建工程,以上限值原本不包含该工程的影响值,故只能在原设计及施工富余量中考虑本工程的实际影响。轨道变形控制标准的制定应以利于养护维护、维修可用为原则,一般可取轨道结构累积变形控制值的 30% ~ 50%^[5]作为变形控制值。

高铁是一个时间和空间分布极广的开放的动态运输系统,其与行车安全相关的因素不仅量大面广而且极其错综复杂^[6]。从高铁后期维修养护及高铁结构物变形控制严格的角度考虑,因该工程实施用掉后期维修养护的极少富余调整量不适宜,评价标准按本工程实施对高铁桥墩的横向及竖向附加塑性位移不超过 1 mm 的要求控制,从而可将本工程的实施对运营的高铁的不利影响控制在最低程度。

3 研究方法

新开河道区段与沪宁城际并行,影响高铁桥墩附加变形的主要因素有:影响范围地质情况;填或挖工程与高铁桥的空间距离;填或挖的体量。如何界定距离、体量、地质、位移三者的非线性关系目前比较困难,本研究采用列举法进行有限元平面数值定量分析的方法,研究分析的主要思路如图 3 所示。

4 数值分析

采用 ABAQUS 建立二维数值模拟能够较好地模拟工况^[7],模型含高铁桥梁下部结构及其周边土体,土体采用二维平面应变单元 CPE4 模拟,采用结构化

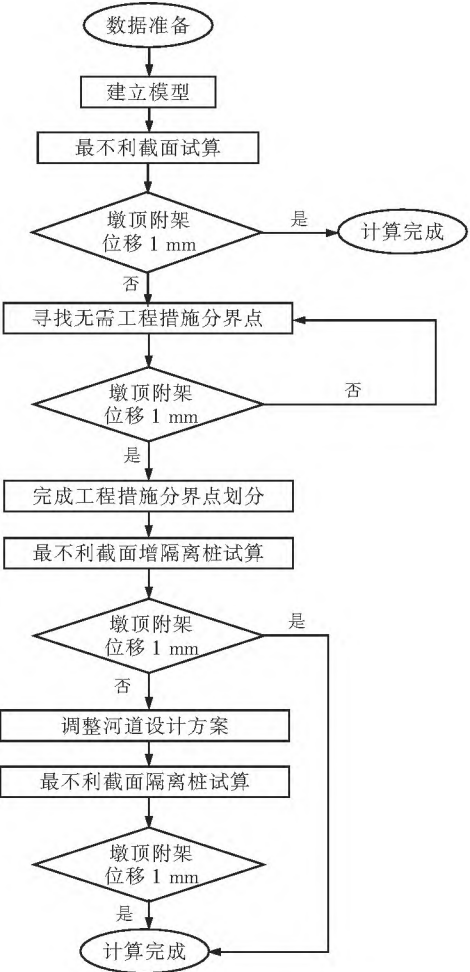


图 3 数值分析主要思路

网格划分技术对模型进行网格划分。模型的边界条件为:顶面为自由面,两侧水平约束,底面取竖向和水平向约束。

4.1 无隔离措施最不利位置

选择距离高铁最近位置及北岸河堤填土最高位置两个最不利截面。72 号墩截面距离河道最近,高铁承台边缘距离北岸河堤坡脚约 27.3 m,河堤高度 2.5 m,河槽中心开挖深度 6.3 m;58 号墩截面北岸河堤填筑最高,河堤高度 3.8 m,高铁承台边缘距离北岸河堤坡脚约 43.9 m,河槽中心开挖深度 3.6 m。

新开河道与高铁桥梁距离最近的断面,72 号墩位置墩顶横向附加位移如图 4 所示。从图 4 看出,72 号墩截面位置施工对桥墩的沉降影响几乎为零,对横向水平位移的影响不超过 +3.8 mm(出现在河道开挖卸载施工过程),在填、挖完成后最终横向水平位移在 +1.7 mm。

新开河道河堤填方最大的断面,58 号墩位置墩顶横向附加位移如图 5 所示。从图 5 看出,58 号墩截面

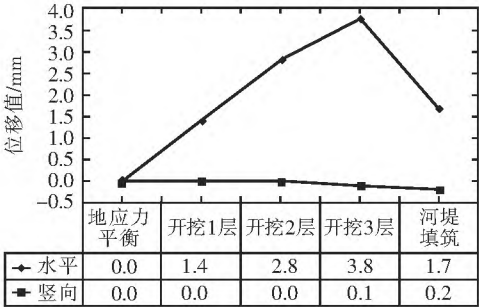


图 4 72 号墩位置墩顶横向附加位移
(无隔离措施,距离最近)

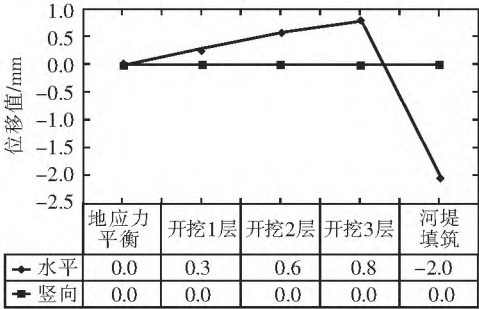


图 5 58 号墩位置墩顶横向附加位移
(无隔离措施,填方最高)

位置施工对桥墩的沉降影响几乎为零,对水平位移的影响不超过 -2.7 mm(出现在河堤填方堆载施工过程中),在填、挖完成后最终横向水平位移在 -1.9 mm。

通过填与挖的平衡虽可控制施工过程中墩顶位移在 2 mm 以内,但最终横向水平位移不能满足墩顶附加塑性水平位移不超过 1 mm 的要求。

4.2 隔离桩设置分界点

不采取任何隔离防护的情况下进行河道的施工,分析表明不能满足评价标准要求,结合新开河道的填、挖、距离特点,并行段河道由中间向两端趋于有利,即并行段河道中间段对高铁桥梁影响较大,而两端的影响趋于减小,故需寻找设置与不设置的隔离桩的分界点,选取距离 60 m 的断面进行试算,选定 89 号桥墩横断面(近起点)及 54 号桥墩横断面(近终点)进行分析,如图 6、图 7 所示。

89 号墩横截面分析表明,河道施工对墩顶水平附加位移达到了 -1.29 mm,其绝对值略大于评价标准要求值 1.0 mm,桥墩的竖向位移小于 1.0 mm,89 号桥墩位置已接近新开河道起点,因此隔离桩的设置起点在新开河道的起点。

54 号墩横截面分析表明,河道施工对墩顶水平附

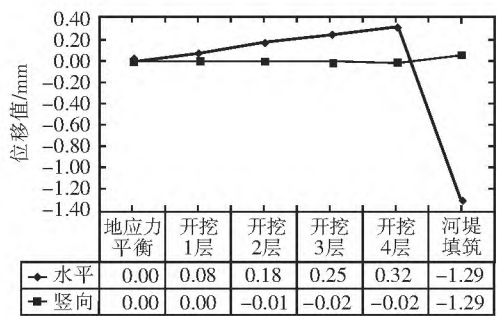


图 6 89 号墩位置墩顶横向附加位移(近并行段起点)

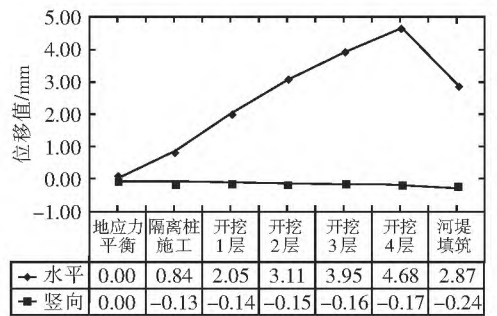


图 8 72 号墩位置墩顶横向附加位移(增隔离桩/桩长 36 m)

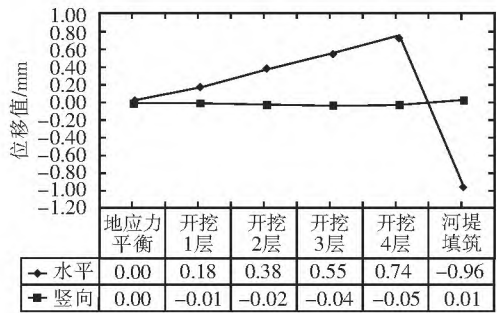


图 7 54 号墩位置墩顶横向附加位移(近并行段终点)

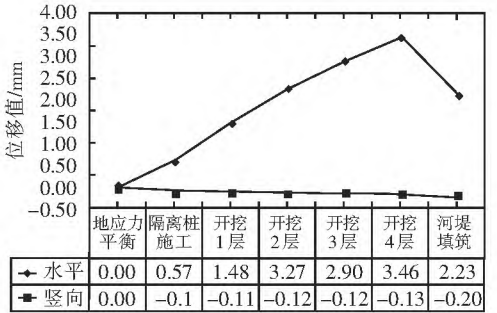


图 9 72 号墩位置墩顶横向附加位移(增隔离桩/桩长 48 m)

加位移达到了 -0.96 mm ,其绝对值略小于评价标准要求值 1.0 mm ,桥墩的竖向位移小于 1.0 mm ,因此隔离桩的设置终点在与 54 号墩对应位置结束。

4.3 中间段隔离桩比较

找到设置隔离桩的起讫点后,进一步研究在目前的河道设计方案条件下是否隔离桩区段所有位置设置隔离桩均能满足高速高铁的安全要求,故对最不利截面进行隔离桩的设置研究。

模拟隔离桩施工过程包括:(1)将开挖的土体单元去除,同时将等效的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,以模拟混凝土回筑过程;(3)固定孔壁处单元水平位移,模拟混凝土桩身凝固。

在无隔离桩防护的条件下研究表明,72 号墩截面位置的最终总的墩顶附加位移约 2 mm ,需采取隔离桩措施,布置采用 1.0 m 钻孔桩,隔离桩中心距 1.5 m (净距 0.5 m),隔离桩布置在河堤坡脚并沿坡脚延伸,针对不同的隔离桩桩长工况,选取 36 m 、 48 m 和 60 m 三种工况进行计算,如图 8~图 10 所示。

72 号桥墩与河道距离最近,河槽挖方接近最深,地质条件接近最差,经过比较分析,河道施工完成后,隔离桩桩长分别为 36 m 、 48 m 、 60 m 时,对应的三种工况的墩顶横向水平位移分别为 $+2.87\text{ mm}$ 、 $+2.23\text{ mm}$ 和 $+1.94\text{ mm}$,仍不能满足要求,同时因隔离桩施工引

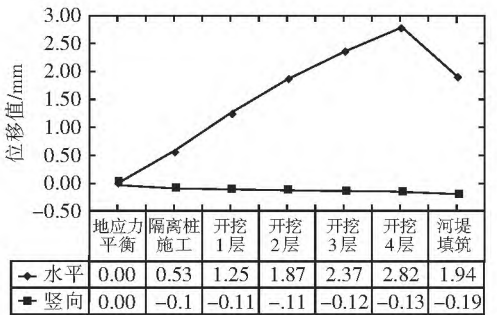


图 10 72 号墩位置墩顶横向附加位移(增隔离桩/桩长 60 m)

起的应力释放与河道开挖引起的不利影响形成同向叠加,在一定范围内使得结果更趋不利。

58 号墩河堤填方最高,但距离较远,经过比较分析,河道施工完成后,隔离桩桩长分别为 36 m 、 48 m 时,对应的二种工况的墩顶横向水平位移分别为 -1.60 mm 、 -0.95 mm ,如图 11、图 12 所示。后者略小于评价标准要求值 1.0 mm ,即 58 号墩位置通过设置与高铁桥梁桩基几近等长的隔离桩防护措施,可满足高铁要求。

4.4 调整河道设计方案

上述分析表明,最不利位置设置单层隔离桩仍不能完全满足高铁附加变形的要求,有必要对河道设计方案进行深化研究,以满足高铁安全运营要求。

新开河道若整体南移,则南岸需拆除大批厂房,工

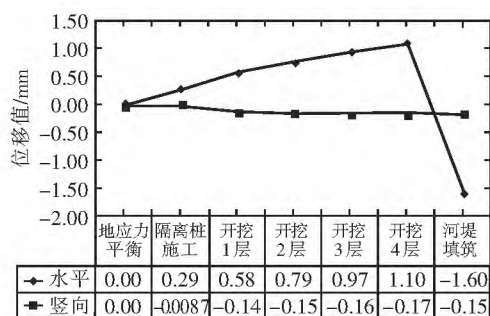


图11 58号墩位置墩顶横向附加位移(增隔离桩/桩长36 m)

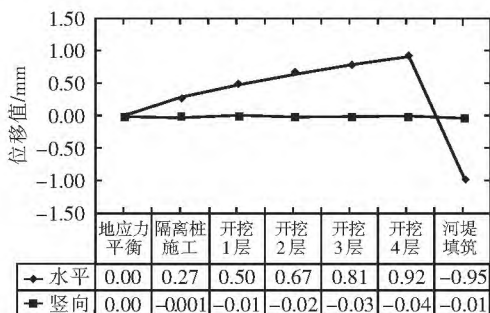


图12 58号墩位置墩顶横向附加位移(增隔离桩/桩长48 m)

程费用较高,因此在河道中间段调整河堤形式,原土质河堤改为防护桩河堤,这样主要调整了河道与高铁的距离,使得北岸河堤与高铁承台的距离在50 m开外。调整的河道设计方案平面图如图13所示。

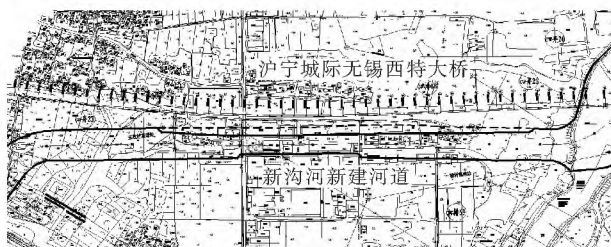


图13 调整河道设计方案平面图

注:北侧虚线为调整前北岸河堤坡脚线。

4.5 调整河道后补充研究

研究优化后的河道方案对高铁桥的影响,因两端河道未调整,故设置隔离桩的分界点未变化,只需深入研究为中间段河道调整部分。

选取影响最大的最不利断面进行补充研究,其中71号墩、76号墩为软土地基与非软土地基的分界点,而73号墩为软基最深的断面(流塑淤泥质粉质黏土,层深11.7 m),且三个断面河槽挖方接近最深,分步骤研究单层桩以及增加隔离桩刚度的双层桩隔离防护方案,并对隔离桩桩长进行补充对比分析。

对于软土地基左分界点即71号墩位置,采用单排

隔离桩且桩长比既有高铁桥桩稍长的情况下,施工过程中墩顶附加水平位移达+0.99 mm,施工完成后,桥墩顶附加水平位移达+0.92 mm,满足评价标准要求的1 mm的要求。

对于软土地基右分界点即76号墩位置,采用单排隔离桩且桩长采用与既有高铁桥桩等长的情况下,施工过程中墩顶附加水平位移达+1.12 mm,施工完成后桥墩顶附加水平位移达+0.96 mm,基本满足评价标准要求的1 mm的要求。

对于软土地基最深的位置即73号墩位置,采用单排隔离桩且桩长采用与既有高铁桥桩等长的情况下,施工过程中墩顶附加水平位移达+0.99 mm,施工完成后桥墩顶附加水平位移达+0.98 mm,满足评价标准要求的1 mm的要求。

5 结论

通过对新沟河延伸拓浚工程新开河道与沪宁城际并行地段进行有限元数值模拟定量分析,研究开挖河槽、填筑河堤、增设隔离桩对桥梁下部结构的附加变形影响,得到如下主要结论:

(1)调整河道距离高铁桥梁50 m开外,部分地段增设单排隔离桩进行主动隔离防护,河堤填筑与河道开挖分层分步同步进行平衡施工,可在高铁正常运营速度情况下进行河道开槽及堆砌施工。

(2)数值分析表明新开河道与沪宁城际并行区段,河道填挖工程对高铁桥梁的安全影响主要表现在桥墩的横向附加位移,对高铁桥墩的附加沉降影响极小。

(3)隔离桩钻孔施工引起的土体应力释放与河道开挖引起的不利影响形成同向叠加,在一定范围内使得高铁桥墩变形结果更趋不利。

(4)减小高铁桥墩水平向变形,通过增加隔离桩刚度不如增加隔离桩桩长效果明显,尤其是隔离桩持力层较好时,增加隔离桩桩长来减小高铁桥梁桩基变形的效果更明显。

参考文献:

- [1] TB 10621—2009,高速铁路设计规范(试行)[S]. TB 10621—2009, Code for Design of High Speed Railway(Trial)[S].
- [2] TG/GW 115—2012,高铁无砟轨道线路维修规则(试行)[S]. TG/GW 115—2012, Rule for Ballastless Track Maintenance of High Speed Railway[S].
- [3] 周正宇. 地铁邻近既有桥梁施工影响分析及主动防护研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.

- Zhou Zhengyu. Research on Effect and the Active of Protection of Neighboring Existing Bridge with Subway [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.
- [4] 杨龙才,郭庆海,周顺华,等. 高铁桥桩在轴向循环荷载长期作用下的承载和变形特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013(13): 2362 – 2368.
- Yang Longcai, Guo Qin Hai, Zhou Shunhua, etc. Dynamic Behaviors of Pile Foundation Railway Bridge under Long – term in Soft Soil [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013 (13): 2362 – 2368.
- [5] 杨广武. 地下工程穿越既有地铁线路变形控制标准及技术研究[D]. 北京:北京交通大学, 2010.
- Yang Guangwu. Study on the Permissible Value and Technique for Deformation Controlling of underground Construction Crossing Existing Metro Line [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010.
- [6] 王令朝. 中国铁路引入安全评估标准的探讨[J]. 铁道技术监督, 2007(6): 4 – 7.
- Wang Lingchao. Discussing for Introduce Safety Evaluation Standards into China Railway [J]. Railway Quality Control, 2007(6): 4 – 7.
- [7] 王磊,张福海,王纲,等. 高铁桥梁下明挖隧道施工安全分析[J]. 施工技术, 2013(5): 72 – 74.
- Wang Lei, Zhang Fuhai, Wang Gang, etc. Safety Analysis on Open – cut Tunnel Construction under Existing High – speed Railway Bridge [J]. Construction Technology, 2013(5): 72 – 74.
- [8] 吴波,刘维宁,索晓明,等. 地铁施工近邻桩基加固效果三维数值分析[J]. 铁道工程学报, 2005(5): 48 – 52.
- Wu Bo, Liu Weining, Suo Xiaoming, etc. 3 – D Numerical Analysis of the Reinforcing Effect of Adjacent Pile Foundation in Metro Station Construction [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(5): 48 – 52.

(编辑 梅志山)

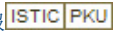
(上接第 26 页 From P. 26)

参考文献:

- [1] 王家映. 关于大地电磁的静校正问题[J]. 地质科技情报, 1992(1): 69 – 76.
- Wang Jiaying. Problem about Static Correction in Magnetotellurics [J]. Geological Science and Technology Information, 1992(1): 69 – 76.
- [2] Simpson F, Bahr K. Practical Magnetotellurics [M]. Cambridge University Press, 2005.
- [3] Torres – Verdin C, Bostick Jr F X. Principles of Spatial Surface Electric Field Filtering in Magnetotellurics: Electromagnetic Array Profiling (EMAP) [J]. Geophysics, 1992(4): 603 – 622.
- [4] Beamish D, Travassos J M. A study of Static of Shift Removal from Magnetotelluric Data [J]. Journal of Applied Geophysics, 1992(2): 157 – 178.
- [5] Jones A G. Static Shift of Magnetotelluric Data and Its Removal in a Sedimentary Basin Environment [J]. Geophysics, 1988(7): 967 – 978.
- [6] Tournier B, Chouteau M, Marcotte D. Magnetotelluric Static Shift: Estimation and Removal Using the Cokriging Method [J]. Geophysics, 2006(1): 25 – 34.
- [7] Sternberg B K, Washburne J C, Pellerin L. Correction for the Static Shift in Magnetotellurics Using Transient Electromagnetic Soundings [J]. Geophysics, 1988(11): 1459 – 1468.
- [8] Pellerin L, Hohmann G W. Transient Electromagnetic Inversion: A Remedy for Magnetotelluric Static Shifts [J]. Geophysics, 1990(9): 1242 – 1250.
- [9] deGroot – Hedlin C. Removal of Static Shift in Two Dimensions by Regularized Inversion [J]. Geophysics, 1991(12): 2102 – 2106.
- [10] Ogawa Y, Uchida T. A two – dimensional Magnetotelluric Inversion Assuming Gaussian Static Shift [J]. Geophysical Journal International, 1996(1): 69 – 76.
- [11] 李坚, 罗世敏, 余年. 物探在铁路隧道地热勘探中的应用[J]. 铁道工程学报, 2011(4): 37 – 41.
- Li Jian, Luo Shimin, Yu Nian. Application of Geophysical Prospecting in Geothermic Survey for Railway Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(4): 37 – 41.

(编辑 赵立兰)

新开河道并行沪宁城际高铁安全影响分析

作者: [冯印, FENG Yin](#)
作者单位: [中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉, 430063](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [Journal of Railway Engineering Society](#)
年, 卷(期): 2014, 31(8)

引用本文格式: [冯印, FENG Yin](#) [新开河道并行沪宁城际高铁安全影响分析](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2014(8)