

文章编号:1673-2049(2018)06-0080-08

重型机械荷载作用下邻近高铁桥墩的扰动性分析

王飞球^{1,2}, 荀智翔³, 王浩³, 朱克宏²

(1. 中南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410075; 2. 中铁二十四局集团有限公司, 上海 200071;
3. 东南大学 混凝土及预应力混凝土结构教育部重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘要:为了解重型机械施工期间邻近高铁桥梁及其周围土体的扰动情况,从而保障重型机械施工期间邻近高铁的运营安全,依托宁和城际轨道交通一期工程,基于 PLAXIS 3D 软件建立了高铁桥墩及相应土层的有限元模型,分析了重型机械荷载作用下周围土体的变形影响范围和高铁桥墩的变位值。在此基础上,对履带吊静置前后土体侧向应力,以及重型机械施工期间邻近高铁桥墩的竖向位移、水平位移和倾斜度进行了实时监测,并将数值计算与现场实测的结果进行了对比分析。结果表明:履带吊静压后,测试点处侧向土压力明显增大,但对深层土体无明显影响,履带吊就位后各测点土压力值均无明显变化;土体附加应力随着深度的增加而迅速衰减,且土体变形的水平影响范围不超过 20 m;施工过程中高铁桥墩的竖向位移、倾斜度变位情况稳定,且均小于预警值(0.8 mm),但水平位移受重型机械施工影响相对较大,接近于预警值;所得结论可为今后类似邻近既有高铁线施工工程提供可靠参考。

关键词:重型机械荷载;高铁桥墩;扰动性分析;数值模拟;现场实测

中图分类号:U472 **文献标志码:**A

Disturbance Analysis of Closed High-speed Railway Piers Under Heavy Mechanical Load

WANG Fei-qiu^{1,2}, XUN Zhi-xiang³, WANG Hao³, ZHU Ke-hong²

(1. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, Hunan, China; 2. China Railway 24th Bureau Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China; 3. Key Laboratory of C & PC Structures of Ministry of Education, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu, China)

Abstract: In order to understand the disturbance of heavy machinery closed the high-speed railway bridge and surrounding soil during the construction period, and ensure the operation safety of the high speed railway, the first-stage project of Nanjing-Hexian intercity rail transit was taken as the example, finite element model of high-speed railway piers and corresponding soil layer were developed based on PLAXIS 3D software. Furthermore, the deformation range of surrounding soil and the displacement value of high-speed railway pier under heavy machinery load were analyzed. The settlement, horizontal displacement and inclination of the closed high-speed railway bridge piers were also investigated during the construction. The numerical calculation and field monitoring results were compared and analyzed. The results show that after the static pressure of crawler crane, the lateral earth pressures at measuring points increase obviously, but

收稿日期:2018-04-10

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“九三七”计划)项目(2015CB060000);

中国铁路总公司科技研究开发计划重点项目(2017G002-K)

作者简介:王飞球(1979-),男,江西九江人,中铁二十四局集团有限公司高级工程师,中南大学工学博士研究生,

E-mail:wangfeiqiu@163.com.

have no obvious influence on the deep soil, and the earth pressure values at measuring points have no obvious change after the crawler crane is in place. The additional stress of the soil decreases rapidly with the increase of the depth, and the horizontal influence scope caused by heavy machine is less than 20 m. During the construction process, the settlement and inclination of the high-speed railway pier are stable and less than the warning value (0.8 mm). However, the horizontal displacement is relatively large and close to the warning value caused by heavy machinery. The results can provide a reliable reference for similar projects near the existing high-speed railways.

Key words: heavy machinery load; high-speed railway pier; disturbance analysis; numerical simulation; field test

0 引言

重型施工机械是中国大型工程建设因施工需求而专门设计开发的一类专用施工机械设备,具有大推力、高负载的工作特性和优势,在工程建设中起着举足轻重的作用,是国家重大工程建设成功与否的关键装备^[1]。重型施工机械体积庞大、结构复杂,而且施工环境比较恶劣,一旦发生安全问题,小则影响施工进度、工程质量,大则危害到施工人员的生命财产安全,甚至带来灾难性的后果^[2-3]。

目前,随着中国城市化进程的飞速发展,高铁与城市地铁的路线网络化在方便广大市民出行、缓解市内交通的同时,也必然伴随着新旧结构的相互穿越,邻近既有路线的施工日益增多,所造成的邻近结构变形问题已成为项目建设的重点难点问题,国内外众多学者均对此做了深入研究^[4-7]。褚一等^[8]通过数值仿真分析的手段研究了软土地区基坑开挖对邻近高铁的影响。张学钢等^[9]通过数值模拟研究了隧道施工对邻近既有铁路桥桩基的扰动规律。田雨等^[10]对邻近并行的高铁桥梁与高速公路相互影响性进行了安全风险评估,提出了多种有效措施来降低高铁桥梁与高速公路邻近所带来的不利影响。于廷新^[11]针对软土地区某邻近高铁基坑进行了支护设计及监测分析,提出了预警、调整施工方案,保证了基坑开挖安全、高铁正常运营。曹权等^[12]基于三维数值法和自动化监测研究了基坑群开挖对邻近既有地铁隧道影响,对复杂条件下基坑群信息化施工、确保隧道的安全运营具有重要的指导意义。Sharma等^[13]研究了大面积开挖对邻近隧道变形的影响,发现隧道衬砌的刚度对开挖引起的隧道位移和变形具有重要的影响。Hu等^[14]通过研究上海地铁隧道附近的软土深层开挖施工,提出了一种简化的理论方法来估计由于泵送固结而导致的软黏土层中不排水剪切强度的增加,并采用传统的有限元方法预测挖掘引起的土体垂直和水平位移。Cao

等^[15]提出了一种邻近高速铁路基础施工对现有高速线路运行安全性和乘坐舒适性影响的预测方法。以上针对邻近既有工程施工的安全性与影响性均开展了有效的研究,但通过实时监测的手段对重型机械邻近高铁线施工过程的定性理论研究仍不多见。

为此,本文基于宁和城际涉铁工程,通过数值计算预测重型机械设备施工时的安全隐患,并对重型施工机械施工过程中土体应力变化以及邻近高铁桥墩的变位情况进行了现场监测,相关监测数据为施工过程的安全性提供了真实基础资料,对今后类似工程具有重要的参考价值。

1 工程背景

宁和城际轨道交通一期工程位于京沪高铁与沪蓉铁路两侧,板桥河段涉铁工程分为左、右两线,左线位于沪蓉铁路左侧,右线位于京沪高铁右侧。本工程中,新建桥墩与既有高铁桥墩的间距最近不足10 m,故邻近既有线的桩基施工安全风险较大,为减少因钻孔桩对地层的扰动而造成既有桩基位移或沉降,邻近高铁桥墩的 SBY020, SBY021 墩的桩基均采用全套管工法逐桩、逐墩施工,钢护筒跟进至桩底,具体见图1。

钻机选用徐州景安重工的 JAR200H 全套管全回转钻机,钻机主机外形尺寸为 4 800 mm×3 285 mm×4 020 mm,主机质量达 46 t。吊装设备选用日本住友 LS248RH5 型号履带吊,主臂长为 18.3 m,最小工作半径为 5 m,全面配重可达 180 t。由于机械自身配重大,施工周期长且施工邻近运营的高铁线,故有必要研究重型机械施工对邻近高铁桥墩的影响,为今后类似工程的安全施工提供可靠参考。

2 重型机械荷载作用下邻近高铁桥墩的数值分析

2.1 有限元建模

结合本工程实际,采用有限元软件 PLAXIS 3D

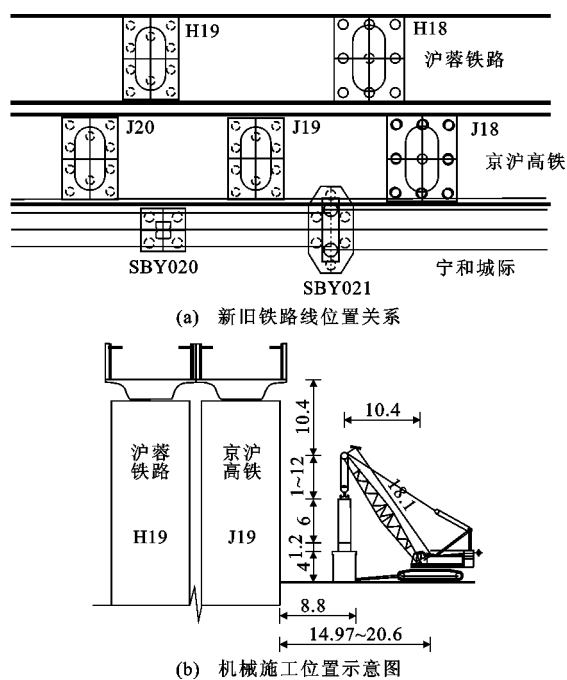


图 1 现场施工的位置关系(单位:m)

Fig. 1 Position Relationship of Site Construction (Unit:m)

表 1 京沪高铁桥墩结构参数

Tab. 1 Structural Parameters of Beijing-Shanghai High-speed Railway Bridge Piers

墩号	桩长/m	桩径/m	桩端持力层	承台宽度/m	承台长度/m	承台高度/m	墩身高度/m
J18	59	1.5	弱风化泥质粉砂岩	10.4	12.8	3.5	27.05
J19	59	1.5	弱风化泥质粉砂岩	10.4	12.8	3.5	27.05

表 2 地基土物理力学指标

Tab. 2 Physical and Mechanical Indexes of Foundation Soils

土体名称	厚度/m	含水率/%	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	重度/(kN·m ⁻³)	压缩模量/MPa
粉质黏土	0.0~3.0	29.1	29.0	14.5	19.4	4.93
淤泥质粉质黏土	0.6~11.8	37.2	16.4	12.1	18.0	3.76
粉砂	2.0~17.5	24.4	2.8	35.4	19.5	10.92
细圆砾土	2.9~30.3					13.00
强风化泥质粉砂岩	0.8~12.5					120.00
弱风化泥质粉砂岩	2.0~21.0					800.00

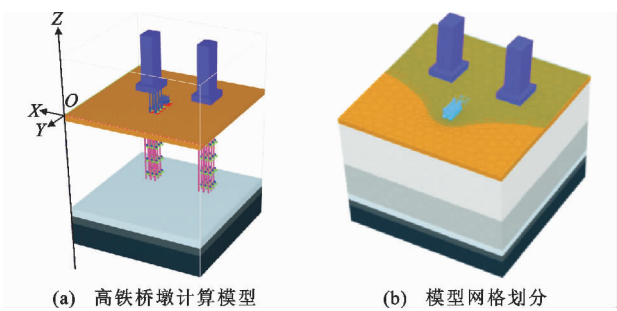


图 2 有限元模型

Fig. 2 Finite Element Model

2.2 数值计算及分析

读取重型机械荷载作用下周围土体不同方向的

对重型机械荷载作用下邻近高铁桥墩的扰动性进行数值模拟与分析,土层材料本构为摩尔-库仑模型,模型中桥梁承台和桥墩采用线弹性的钢筋混凝土实体单元模拟,高铁桩基采用桩单元模拟。模型底部施加完全固定约束,取 X 方向为顺桥向,Y 方向为横桥向,Z 方向为竖向。考虑到各高铁桥墩受施工影响大小不一,选取受影响较大的 J18,J19 桥墩为主要分析对象。京沪高铁桥墩结构参数及地基土物理力学参数分别如表 1,2 所示。

经试算,选取有限元模型尺寸为 60 m×60 m×70 m,可避免边界约束问题的影响,全回转钻机及履带吊荷载等效为面荷载,如图 2 所示。数值计算具体分为 3 个施工步,以清晰模拟重型机械施工过程中周围土体变形、应力变化及其对邻近高铁桥墩的影响。工况 1:初始应力场计算,分析模型中岩土体由于受自重形成的应力场,位移清零。工况 2:在地层中建立桩基及上部高铁桥墩,位移清零。工况 3:施加重型机械荷载并读取土体应力变化值及邻近高铁桥墩变位。

变形位移等值线,见图 3。同时,读取 J18,J19 桥墩顶部所有单元节点位移值,并求出均值以反映桥墩墩顶位移变化,统计结果如表 3 所示。

由表 3 及图 3 可知:①J18 与 J19 桥墩在顺桥向、横桥向、竖向均在重型机械作用的影响范围内,其中顺桥向桥墩周围土体变形范围为 0~0.5 mm,横桥向为-0.8~-0.4 mm,竖向位移为-1~0 mm;②J18 与 J19 桥墩竖向位移极小,不超过 0.1 mm,表明桥墩周围土体虽有变形,但桥墩自身竖向位移几乎不受重型机械作用的影响;③桥墩水平位移受重型机械作用的影响较为明显,其中 J18 与 J19 桥墩水平位移分别为0.888,0.929 mm,均已超越

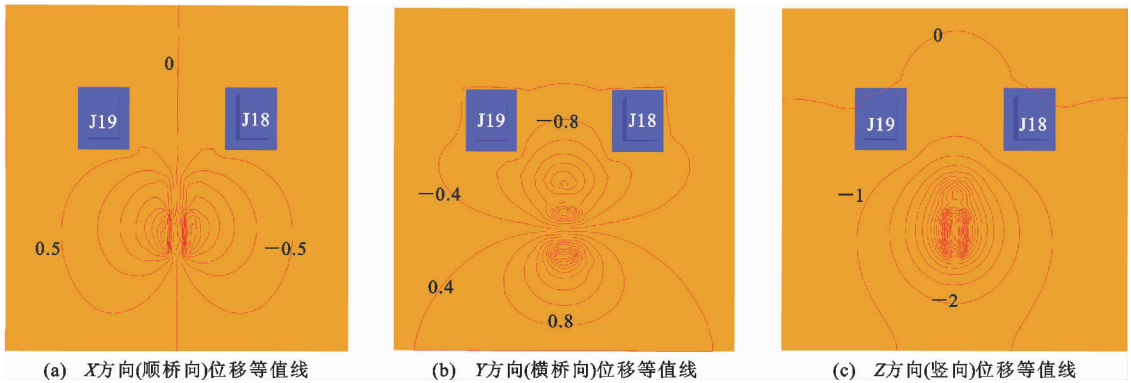


图 3 重型机械荷载作用下土体位移等值线 (单位:mm)

Fig. 3 Soil Displacement Contours Under Heavy Mechanical Load (Unit:mm)

表 3 邻近高铁桥墩顶部位移模拟结果

Tab. 3 Simulation Results of Top Displacements of Closed High-speed Railway Piers						
墩号	顺桥向位移 $\Delta X/\text{mm}$	横桥向位移 $\Delta Y/\text{mm}$	竖向位移 $\Delta Z/\text{mm}$	水平位移 $\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}/\text{mm}$	顺桥向倾斜度/ $^{\circ}$	横桥向倾斜度/ $^{\circ}$
J18	-0.444	-0.769	-0.074	0.888	-3.39	-5.87
J19	0.447	-0.814	-0.069	0.929	3.41	-6.22

预警值 0.8 mm。基于桥墩墩顶水平位移超越预警值计算结果,现场采取土地硬化、铺设钢板等方式,并结合现场实时监测系统,以保证施工过程中高铁的运营安全。

3 履带吊静置前后土体侧向应力实测分析

从数值模拟结果来看,因履带吊及全回转钻机质量大,在京沪高铁 J18,J19 高铁桥墩旁施工或长时间停放时对桥台造成较大的侧向压力,从而使桥台变位,邻近桥墩水平位移均超越预警值,极易造成安全隐患。因此,在周边距桥墩一定距离处进行荷载试验,主要测试履带吊静置前后周围土体应力的变化情况。

3.1 测点布置

选择与现场土质相似的空旷地段,开挖长 2 m、宽 1.5 m、深 1.5 m 的土坑,立模浇筑混凝土,并将土压力盒埋设入内,最终使用场地土进行回填并压实。其中土压力盒的布设测点数为 4 个,测点编号分别为 T1,T2,T3,T4,布置方案如图 4 所示。

采集土压力盒初始数据,并按照履带吊的可行走轨迹,调整履带吊朝向,使其沿模拟混凝土承台的边缘行走,直至其中心线与承台中心线平齐,并静置 30 min,随后测试承台测点处的土压力,其中履带吊行走轨迹如图 5 所示。

3.2 测试结果及分析

试验于 2016 年 6 月 11 晚 8 时 15 分进行,初始

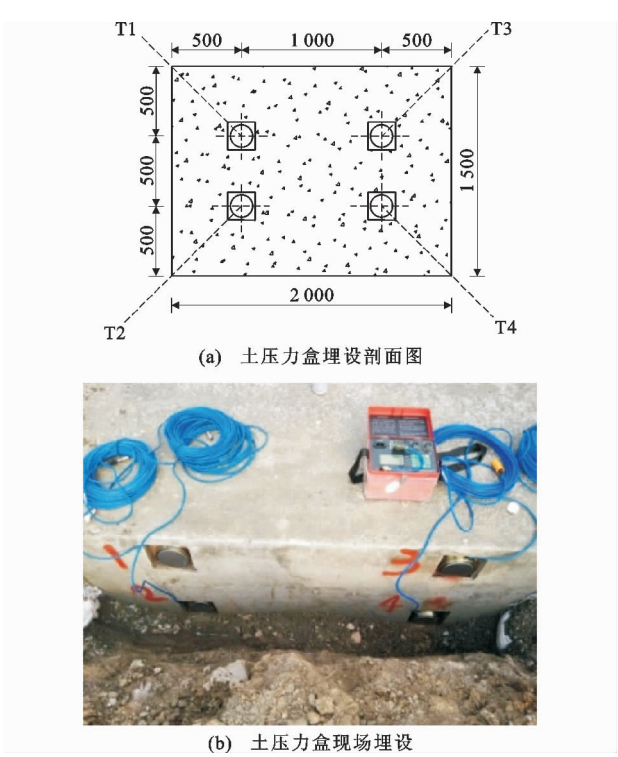


图 4 土压力测点布置 (单位:mm)

Fig. 4 Layout of Earth Pressure Measuring Points (Unit:mm)

数据、履带吊静压下测试数据及土体残余应力测试数据见表 4。

由表 4 可知:①同一土层高度上土压力值基本相同,履带吊静压后,测点处土压力明显增大,且表层测点 T1 与 T3 附加应力(均值 0.048 MPa)远大于下层测点 T2 与 T4 土体附加应力(均值 0.013



图 5 履带吊行走轨迹

Fig. 5 Drive Trajectory of Crawler Crane

表 4 测试数据

Tab. 4 Test Data

测点 编号	初始应力值/ MPa	静压下应力值/ MPa	附加应力值/ MPa	模拟附加应力 值/MPa
T1	0.001	0.049	0.048	0.054
T2	0.004	0.019	0.015	0.032
T3	0.002	0.050	0.048	0.054
T4	0.002	0.013	0.011	0.032

MPa);②对比 T1 与 T3 和 T2 与 T4 测点结果,上下 2 层土体之间的高度差仅为 0.5 m,而土压力值的下降却超过了 2/3,故可认为静载压力的传递深度较浅,衰减较快,对深层土无明显影响,与已有研究结果一致^[16];③实测附加应力值均小于模拟值,这可能是由于现场土压力盒埋设时需回填覆土,而回填土的密实度无法达到其初始密实状态所致。

4 邻近高铁桥墩土体应力的实测分析

为掌握履带吊就位后邻近高铁桥墩附近土体的应力变化情况,在土压力测点采用钻机成孔,将预先焊接在钢筋架固定位置处的土压力盒埋设在孔内 3,6,9 m 深度处。埋设时,保证承受土压力的土面严格整平,回填与周围土料相同的土料,小心用人工分层夯实,保证了土压力盒与周围土体紧密接触。同时将引出电缆埋设在预留沟中以防止碾压而损坏。当土体内测点土应力发生变化时,即可测出土体的压应力值,具体测点布置如图 6 所示。本测试

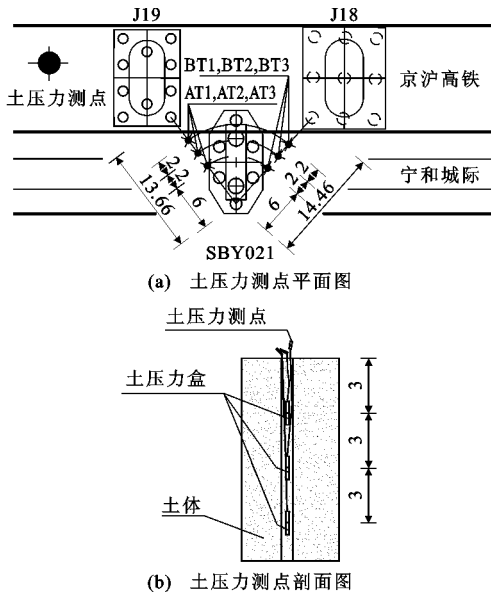


图 6 邻近高铁桥墩土压力测点布置 (单位:m)

Fig. 6 Layout of Earth Pressure Measuring Points near High-speed Rail Pier (Unit:m)

团队于 2016 年 6 月 13 日之前在 J18,J19 号读取桥墩附近土压力测点土体初始应力值。14 日凌晨 1 点,履带吊启动并从桥墩下方钢筋混凝土加固路基通过,在履带吊就位后,即对履带吊与高铁桥墩之间土体应力进行了测试。15~17 日履带吊与全回转钻机配合进行桩基施工。全过程土压力测试结果如表 5 所示。

由表 5 可知:①履带吊就位后大多数测点的土压力值均没有发生变化,只有 AT1(3 m),AT1(6 m),AT2(3 m),AT2(6 m),BT1(3 m),BT1(6 m)这 6 个测点处的土压力发生了小幅度的增长,其中 AT1(3 m)与 BT1(3 m)测点处的增幅最大,分别为 0.005 MPa 和 0.007 MPa,这主要是由于两测点距离履带吊最近且埋置深度最浅,受履带吊自重影响相对较大;②土体的附加应力随着深度的增加而迅速衰减,6 m 深度处的土压力增幅最大仅为 0.003 MPa,9 m 深度处的土压力增幅为 0.001 MPa;③土体附加应力的水平扩展范围也很小,AT3 与 BT3 测点基本不受影响,表明影响范围不足 20 m;④全套管桩基施工期间测点应力几乎不变,与数值模拟结果较为一致,表明该工法对周围土体的扰动较小,适合邻近既有线桩基施工^[15]。

5 邻近高铁桥墩的变位实测分析

为实时掌握施工全过程中邻近高铁桥墩的变位动态,以确保高铁的运营安全,在测点埋设、履带吊

表 5 邻近高铁桥墩土压力测试结果

Tab. 5 Earth Pressure Test Results near High-speed Rail Pier

测点 编号	深度/m	2016-06-12	2016-06-13	2016-06-14	2016-06-15	2016-06-16	2016-06-17	应力变化最值/MPa	
		应力值/MPa	应力值/MPa	应力值/MPa	应力值/MPa	应力值/MPa	应力值/MPa	实测值	模拟值
AT1	3	0.014	0.015	0.020	0.020	0.019	0.020	0.005	0.001
	6	0.034	0.034	0.037	0.037	0.037	0.037	0.003	0.000
	9	0.051	0.052	0.053	0.053	0.053	0.052	0.002	0.000
AT2	3	0.009	0.010	0.012	0.011	0.010	0.010	0.003	0.000
	6	0.027	0.028	0.030	0.029	0.029	0.029	0.002	0.000
	9	0.043	0.042	0.042	0.041	0.042	0.042	0.002	0.000
AT3	3	0.007	0.008	0.009	0.008	0.008	0.008	0.002	0.000
	6	0.031	0.031	0.032	0.030	0.031	0.031	0.001	0.000
	9	0.046	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.001	0.000
BT1	3	0.016	0.017	0.023	0.023	0.022	0.023	0.007	0.001
	6	0.031	0.033	0.037	0.036	0.036	0.035	0.006	0.000
	9	0.046	0.048	0.049	0.049	0.048	0.049	0.003	0.000
BT2	3	0.008	0.009	0.009	0.008	0.008	0.009	0.001	0.000
	6	0.030	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.001	0.000
	9	0.060	0.059	0.060	0.059	0.059	0.059	0.001	0.000
BT3	3	0.013	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011	0.002	0.000
	6	0.036	0.036	0.038	0.037	0.037	0.037	0.002	0.000
	9	0.045	0.046	0.046	0.045	0.045	0.045	0.001	0.000
工况说明		埋设仪器 回填完毕	日常测试 结果	履带吊 就位	全套管 施工	全套管 施工	全套管 施工		

进场以及全套管桩基施工阶段均对邻近 J18,J19 高铁桥墩的竖向位移、水平位移、倾斜度进行了监测,监测频率为间隔 2 h,其变位情况如图 7~9 所示。

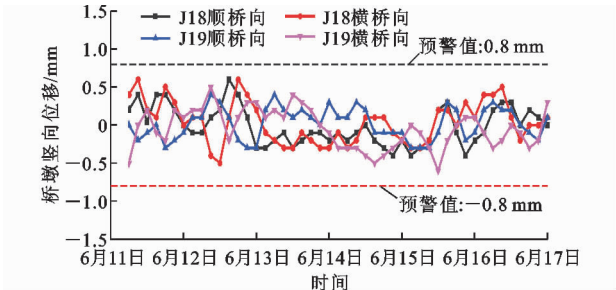


图 7 J18,J19 号高铁桥墩竖向位移监测结果

Fig. 7 Vertical Displacement Measured Results of J18 and J19 High-speed Railway Piers

由图 7~9 可知:①在履带吊与全回转钻机配合施工期间,J18,J19 高铁桥墩的竖向位移、水平位移及倾斜度的变化均在预警值范围^[17]之内,不影响正常高铁运营的行车安全,其中桥墩顺、横桥向竖向位移变化均基本稳定,在预警值±0.8 mm 范围内上下波动;②桥墩的顺桥向水平位移整体变化较小,波动相对平稳,而横桥向水平位移均为负值,但均在预警值±0.8 mm 范围,说明由于重型机械的施工造成邻近高铁桥墩有微小的偏移,但影响程度极小;

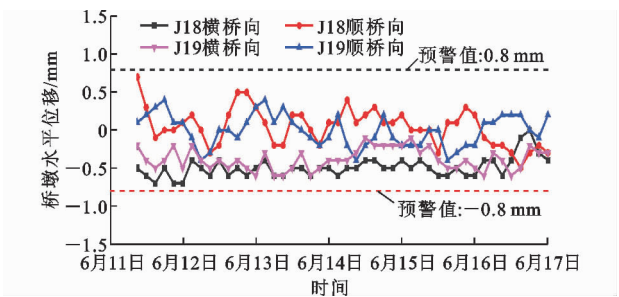


图 8 J18,J19 号高铁桥墩水平位移监测结果

Fig. 8 Horizontal Displacement Measured Results of J18 and J19 High-speed Railway Piers

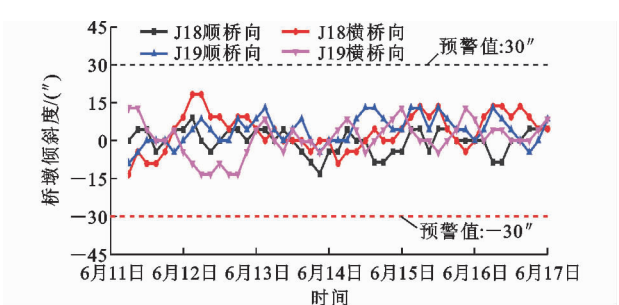


图 9 J18,J19 号高铁桥墩倾斜度监测结果

Fig. 9 Inclination Measured Results of J18 and J19 High-speed Railway Piers

③桥墩倾斜度的顺、横桥向监测结果较为平稳,且远

小于预警值。

为更好掌握重型机械施工期间邻近高铁桥墩的

变位情况,从上述监测结果中提取最值,并计算均值与标准差,统计结果如表 6 所示。

表 6 监测结果统计

Tab. 6 Statistics of Measured Results

监测内容	墩号	方向	变形最值		均值		标准差	预警值
			最大值	最小值	实测值	模拟值		
桥墩竖向位移/mm	J18	顺桥向	0.6	−0.4	−0.01	−0.074	0.25	±0.8
		横桥向	0.6	−0.5	−0.03	−0.074	0.28	
	J19	顺桥向	0.4	−0.3	−0.03	−0.069	0.21	
		横桥向	0.5	−0.6	−0.06	−0.069	0.27	
桥墩水平位移/mm	J18	顺桥向	0.7	−0.5	0.07	−0.444	0.27	±0.8
		横桥向	0.0	−0.7	−0.49	−0.769	0.13	
	J19	顺桥向	0.4	−0.4	−0.01	0.447	0.21	
		横桥向	−0.1	−0.7	−0.39	−0.814	0.15	
桥墩倾斜度/(°)	J18	顺桥向	9.0	−13.0	−0.12	−3.390	4.85	±30
		横桥向	18.4	−13.3	−3.47	−5.870	7.63	
	J19	顺桥向	13.0	−9.0	4.01	3.410	5.59	
		横桥向	13.0	−13.3	1.25	−6.220	7.07	

注:竖向位移,正表示测点上升,负表示测点下沉;水平位移,顺桥向正表示测点朝向上海方向,负表示测点背离上海方向;倾斜度,横桥向正表示测点朝向西南方向,负表示测点朝向东北方向。

由表 6 可知:①桥墩实测竖向位移最值为 0.6 mm,且均值最大值仅为 0.06 mm,J18 与 J19 桥墩模拟值分别为−0.074 mm 和−0.069 mm,均表明邻近高铁桥墩竖向位移受重型机械的施工影响极小;②桥墩的实测水平位移最值为 0.7 mm,接近预警值 0.8 mm,且横桥向 J18 与 J19 桥墩水平位移均值为负值,与桥墩横桥向模拟值相吻合,表明桥墩测点处受施工影响向背离上海方向(面向施工机械场地)有极小的水平位移,受重型机械的施工影响相对较大;③桥墩倾斜度最值为 18.4°,远小于预警值 30°,且施工过程中均值不超过 5°,表明桥墩几乎没有倾斜变形。

6 结 语

- (1)履带吊静压后,测试点处侧向土压力明显增大,且表层附加应力值远大于下层土体附加应力,同时压力的传递深度较浅,对深层土层无明显影响。
- (2)履带吊就位后测点土压力值均没有明显变化,相对而言,距离履带吊较近且埋置深度较浅的测点受其自重影响相对较大,且土体应力变化随着深度的增加而迅速衰减。土体附加应力的水平扩展范围也较小,AT3 与 BT3 测点(距重型机械施工位置 20 m)基本不受影响。
- (3)在履带吊与全回转钻机配合施工期间,J18,J19 高铁桥墩的竖向位移与倾斜度波动变化稳定,

其中横桥向桥墩水平位移均值为负值,表明桥墩测点处受施工影响向施工机械场地方向有极小的水平位移,但均在预警值之内,不影响正常高铁运营的行车安全。

(4)实测与数值模拟结果均表明,邻近高铁桥墩的竖向位移极小,受重型机械施工影响相对较小,而水平位移接近预警值,受其影响相对较大。

参考文献:

References:

[1] 谢文龙.大型施工机械安全监测系统研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2015.

XIE Wen-long. Research of the Safety Monitoring System for Large Construction Machinery[D]. Shijiazhuang:Shijiazhuang Tiedao University,2015.

[2] 杨绍普,王利英,潘存治.基于安全因子的大型施工机械结构安全分析[J].振动与冲击,2013,32(8):55-57.

YANG Shao-pu,WANG Li-ying,PAN Cun-zhi. Safety Analysis of Large Construction Machinery Based on Safety Factor Method[J]. Journal of Vibration and Shock,2013,32(8):55-57.

[3] 杨绍普,邢海军,郭文武,等.施工工艺驱动的大型施工机械安全分析[J].中国机械工程,2013,24(9):1169-1173.

YANG Shao-pu,XING Hai-jun,GUO Wen-wu,et al. Safety Analysis of Large-scale Construction Machine

- [J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(9): 1169-1173.
- [4] 郑刚,杜一鸣,刁钰,等. 基坑开挖引起邻近既有隧道变形的影响区研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(4): 599-612.
- ZHENG Gang, DU Yi-ming, DIAO Yu, et al. Influenced Zones for Deformation of Existing Tunnels Adjacent to Excavations[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(4): 599-612.
- [5] 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, 29(8): 28-33.
- WANG Fei, ZHUO Yi. Analysis of Influence of Foundation Pit Excavation on Displacement of Existed Railway Bridge Foundation[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012, 29(8): 28-33.
- [6] 任建喜,杨锋,朱元伟. 邻近建筑物条件下西安地铁盾构施工风险评估[J]. 铁道工程学报, 2016, 33(7): 88-93.
- REN Jian-xi, YANG Feng, ZHU Yuan-wei. The Risk Assessment of Shield Construction Under the Condition of Adjacent Buildings in Xi'an Metro[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(7): 88-93.
- [7] 杨卓,吴剑波,赵一臻,等. 地铁深基坑开挖对紧邻建筑影响的有限元模拟与监测研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2016, 33(2): 121-126.
- YANG Zhuo, WU Jian-bo, ZHAO Yi-zhen, et al. Research on Finite Element Simulation and Monitoring of Influence Subway Deep Foundation Pit Excavation on Adjacent Building[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2016, 33(2): 121-126.
- [8] 嵯一,张军,宋顺忱. 软土地区基坑开挖对临近高铁影响数值仿真分析[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(2): 41-47.
- ZHUO Yi, ZHANG Jun, SONG Shun-chen. Numerical Simulation and Analysis of Influence of Foundation Pit Excavation on Adjacent High-speed Railway in Soft Soil Area[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 31(2): 41-47.
- [9] 张学钢,张丹锋,刘可,等. 隧道临近既有铁路桥桩基施工扰动影响的数值分析研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版, 2015, 47(2): 217-223.
- ZHANG Xue-gang, ZHANG Dan-feng, LIU Ke, et al. Influence of the Metro Undercut Excavation Tunnel Construction on Existing Railway Bridge Pile Foundation[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology: Natural Science Edition, 2015, 47(2): 217-223.
- [10] 田雨,马如进,陈艾荣,等. 临近并行的高铁桥梁与高速公路相互影响的安全风险评估[J]. 振动与冲击, 2016, 35(21): 69-75.
- TIAN Yu, MA Ru-jin, CHEN Ai-rong, et al. Safety Risk Assessment for Interactive Influences Between Adjacent and Parallel High-speed Railway Bridges and Highway[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016, 35(21): 69-75.
- [11] 于廷新. 软土地区某临近高铁基坑支护设计及监测分析[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(11): 23-29, 54.
- YU Ting-xin. Support Design and Monitoring Analysis of Foundation Pit Adjacent to High Speed Railway in Soft Soil Area[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(11): 23-29, 54.
- [12] 曹权,李清明,项伟,等. 基坑群开挖对邻近既有地铁隧道影响的自动化监测研究[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(增): 552-556.
- CAO Quan, LI Qing-ming, XIANG Wei, et al. Automatic Monitoring of Effects of Excavation of Group Foundation Pits on Existing Adjacent Metro Tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(S): 552-556.
- [13] SHARMA J S, HEFNY A M, ZHAO J, et al. Effect of Large Excavation on Deformation of Adjacent MRT Tunnels[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2001, 16(2): 93-98.
- [14] HU Z F, YUE Z Q, ZHOU J, et al. Design and Construction of a Deep Excavation in Soft Soils Adjacent to the Shanghai Metro Tunnels[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2003, 40(5): 933-948.
- [15] CAO Y M, XIA H, LU W L, et al. A Numerical Method to Predict the Riding Comfort Induced by Foundation Construction Close to a High-speed-line Bridge[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2015, 229(5): 553-564.
- [16] 王甲春,陈峰. 地基中附加应力分布规律分析[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版, 2014, 29(4): 65-68.
- WANG Jia-chun, CHEN Feng. Analysis of Foundation Additional Stress Distribution[J]. Journal of Hunan University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2014, 29(4): 65-68.
- [17] TB 10601—2009, 高速铁路工程测量规范[S].
- TB 10601—2009, Code for Engineering Survey of High Speed Railway[S].