

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.06.043

连续箱梁桥同步顶升技术研究

徐子玉

(淮北市市政工程管理处, 安徽 淮北 235000)

摘要: 为对连续箱梁桥同步顶升技术进行研究,以淮北某立交桥为研究对象,通过顶升全过程监测以及有限元分析,分析了连续梁桥顶升过程中位移和应力变化情况以及顶升位移偏差对结构内力的影响。结果表明,在更换支座的过程中,结构会产生较大横向和纵向偏位,应密切关注各顶升支点位移情况,同时做好限位措施;顶升过程中,梁底受力方向与桥梁竖向位移差异变化基本一致,顶升施工安全可靠;截面的附加应力对中墩的位移偏差更加敏感。

关键词: 连续箱梁;同步顶升;有限元;位移偏差

中图分类号: U445.46

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)06-0159-05

0 引言

桥梁同步顶升,是通过同步顶升装置将桥梁上部结构整体抬升的技术,在桥梁支座更换、维修加固、旧桥改造中得到广泛运用^[1-3]。该技术整体过程较为复杂,涉及到力学、机械、施工、计算机等多方面的知识^[4-5]。要想在实际工程中更好地实施这一技术,需要对该技术进行深入研究。现以淮北某立交桥主线桥为研究对象,对连续梁桥同步顶升技术的相关问题展开研究。

1 工程概况

现所研究的立交桥主线桥采用预应力混凝土连续箱梁,采用单箱双室截面,共分四联(5×22.5)+(25+34+25)+(2×25+30+3×25)+(4×25)=451.5(m),主线桥联间为牛腿结构搭接。主线桥的平面图如图1所示。主线桥主梁为单箱双室截面,梁高1.4m,标准段顶板宽度16m,其截面具体形式如图2所示。主线桥箱梁采用C50混凝土。

2 顶升过程监测内容

桥梁顶升施工监测内容为整个结构在顶升过程中实施全程监测。施工过程中的监测主要包括:结构的位移监测、结构内力监测、裂缝监测、温度监测,以及相关仪器和设备的检查等。其中,结构位移和内力是最关键的监测指标,能够实时呈现结构的具体状

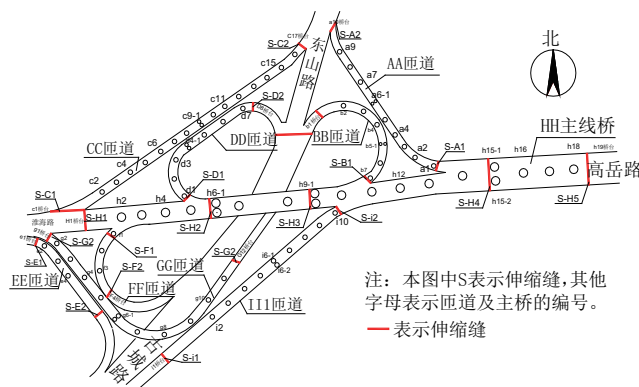


图1 立交桥主线桥平面图

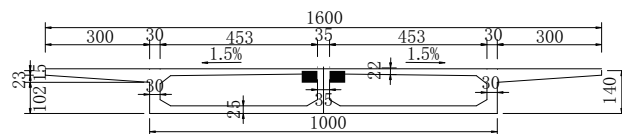


图2 主线桥主梁截面示意图(单位:cm)

态,以及顶升施工的安全性,在顶升过程中需重点关注。

2.1 位移监测

位移监测包括阶段位移监测和实时位移监测。阶段位移监测为根据结构顶升规模,将施工过程分成若干阶段,每一施工阶段完成时实施的累计位移监测;实时位移监测为在顶升施工过程中对桥梁结构位移实施的全过程跟踪监测。

阶段位移监测应按测点精度要求确定监测网等级,并根据结构规模、结构特征和场地条件等因素,确定位移监测控制网和监测方案。阶段位移监测点宜分为基准点、工作基点和监测点。位移监测点的测点布置,仪器安装应在改造施工前完成,并获得初始数据。

主线桥位移监测测点横断面布置如图3所示。

收稿日期: 2023-02-09

作者简介: 徐子玉(1974—),男,本科,高级工程师,从事市政工程施工、技术管理工作。

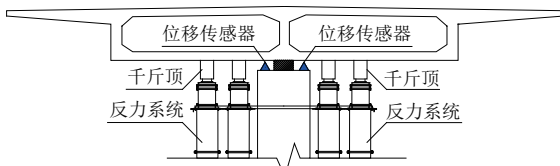


图3 位移监测测点横断面布置示意图

2.2 应力监测

桥梁顶升过程中,通过在桥梁顶升跨主梁底部顶升位置处以及连续梁为最大负弯矩处的下表面设置混凝土表面应变计,来监测主梁应力的变化。应力监测测点横断面布置如图4所示。

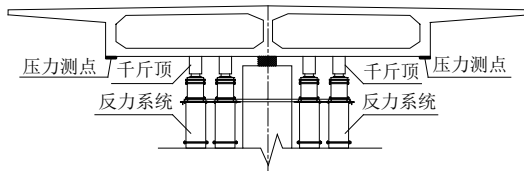


图4 应力监测测点横断面布置示意图

3 监测结果

3.1 位移监测结果

以主线桥第二联为例,第二联位移监测测点布置见图5所示,监测结果分布图见图6~图8所示。主桥第二联在桥梁顶升过程中位移监测结果总结如下:

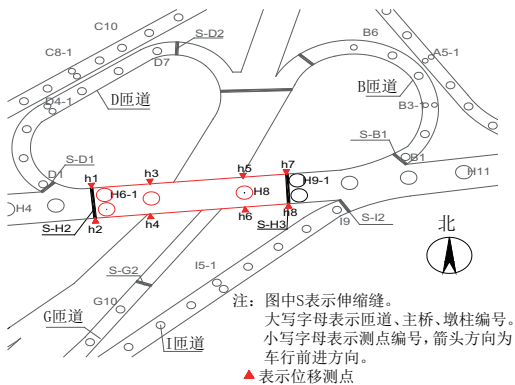


图5 主线桥第二联位移测点布置图

3.1.1 桥梁横向位移

桥梁顶升后横桥向最大位移发生在 H6 墩 h2 测点,最大偏移为 0.6 mm;更换支座落梁后,横向最大位移发生在 H9 墩 h7 测点,最大偏移为 4.1 mm,从桥梁整体姿态分析,桥梁整体向北侧横向移动,整体偏移量较少。

3.1.2 桥梁纵向位移

桥梁顶升后纵桥向最大位移发生在 H1 墩 h1 测点,最大偏移为 0.4 mm;更换支座落梁后,纵向最大位移发生在 H9 墩 h8 测点,最大偏移为 2.2 mm,整体偏移量较少。

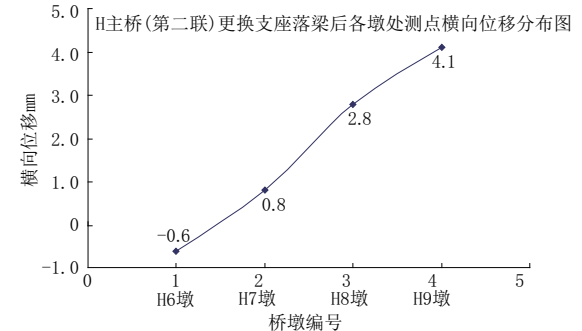
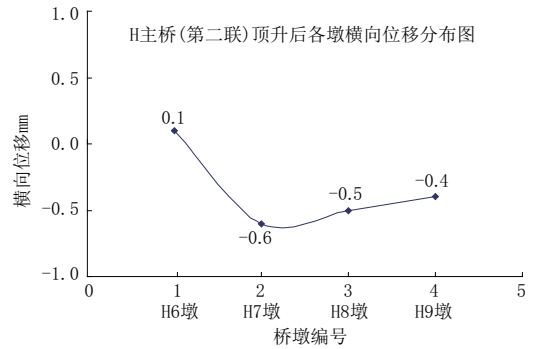


图6 主桥(第二联)顶升后及更换支座落梁后各墩处测点横向位移分布图

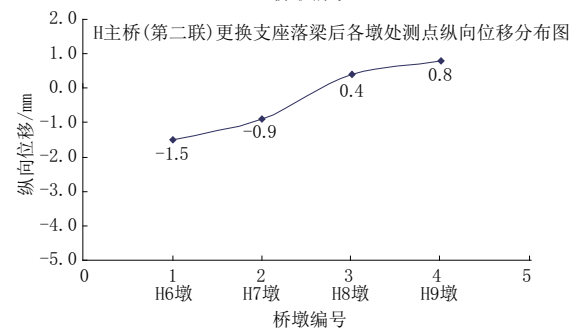
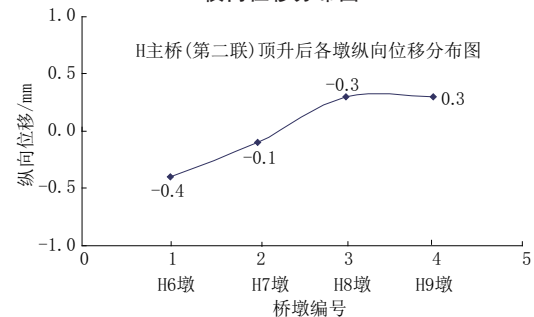


图7 主桥(第二联)顶升后及更换支座落梁后各墩处测点纵向位移分布图

3.1.3 桥梁竖向位移

桥梁顶升后桥梁竖向最大位移发生在 H9 墩 h8 测点,最大竖向顶升位移为 33.5 mm;更换支座落梁后,桥梁竖向最大位移发生在 H9 墩 h8 测点,与顶梁前相比最大抬高位移为 22.9 mm,从桥梁整体姿态分析,桥梁在两个梁端处抬高量最大,相对最大偏差为 7.1 mm。

由位移监测结果可以发现,在顶升过程中,桥梁横向及纵向偏移量相对较小,但更换支座之后,桥梁横向和纵向都产生了较大的偏移。这表明桥梁顶升

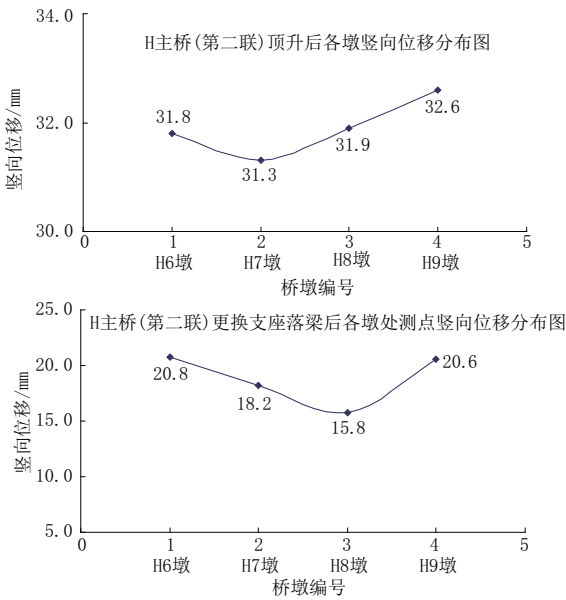


图8 主桥(第二联)顶升后及更换支座落梁后各墩处测点横向位移分布图

施工在更换支座的过程中,应密切关注各项顶升支点位移情况,同时做好限位措施。

3.2 应力监测结果

主线桥第二联应力监控测点主要布置在H7、H8、H9墩柱支座附近的梁底截面处及墩柱周围的临时钢管支撑处。详细测点布置见图9所示,应力监测结果见表1所列。桥梁顶升过程中应力监测结果总结如下:

桥梁顶升后梁底最大压应力值为-2.378 MPa,最大拉应力值为1.794 MPa;更换支座落梁后,梁底最大压应力值为-1.171 MPa,最大拉应力值为0.551 MPa;梁底受力方向与桥梁竖向位移差异变化基本一致。这表明在顶升过程中,桥梁结构位移未出现明显偏差,顶升施工安全可靠。

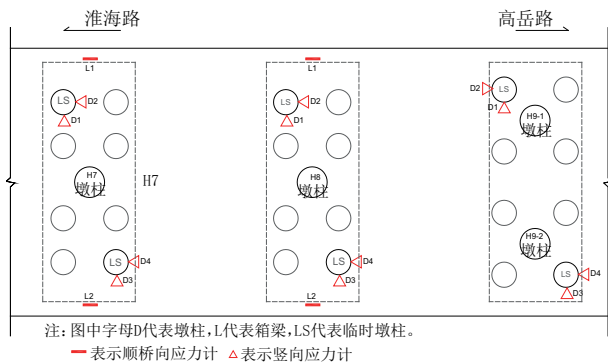


图9 主线桥第二联应力测点布置图

4 顶升位移偏差分析

桥梁在同步顶升过程中虽然采用同步顶升控制系统,但在实际施工过程中,由于各项顶升支点千斤顶

表1 H主桥第二联应力测试结果一览表

墩柱编号	测点编号	顶升后		落梁前		落梁后	
		温度 / °C	应力值 / MPa	温度 / °C	应力值 / MPa	温度 / °C	应力值 / MPa
H7墩柱	L1	19.2	-1.666	—	—	—	—
	L2	20.1	-1.141	26.3	-0.564	19.1	-0.616
	LSD1	19.4	-32.812	27.1	-33.131	18.9	1.357
	LSD2	19.4	-29.299	26.6	-30.736	18.9	0.958
	LSD3	19.8	-33.291	27.1	-29.459	18.8	5.349
H8墩柱	LSD4	19.5	7.105	26.4	4.311	18.8	13.013
	L1	19.9	-2.378	25.9	-2.446	18.5	-1.171
	L2	20.3	1.794	26.4	1.738	18.5	0.551
	LSD1	19.7	-32.333	26.1	-31.454	18.5	0.399
	LSD2	19.8	-24.349	26.1	-8.143	18.5	22.593
H9墩柱	LSD3	20.4	-35.286	26.2	-39.917	18.6	-2.874
	LSD4	20.3	-22.194	26.6	-23.551	18.7	3.433
	L1	—	—	—	—	—	—
	L2	—	—	—	—	—	—
	LSD1	20.5	-25.627	26.4	-34.568	18.6	—
H9墩柱	LSD2	19.8	-32.093	26.4	-13.971	18.6	-10.458
	LSD3	19.2	-55.484	26.3	-32.891	18.6	—
	LSD4	19.6	-41.513	25.9	-36.165	18.5	—

的性能及泵站的工作性能存在差异,再加上顶升位置处的施工条件不同,在顶升过程中各项顶升位置的位移会存在竖向及横向偏差。若顶升位移完全同步,主梁可视为刚体运动,不会产生附加内力;但当各项顶升支点的位移不同步时,则会对结构产生附加内力。附加内力将对顶升施工的安全性以及桥梁结构本身产生影响。现以主线桥第二联为研究对象,对顶升位移偏差的具体影响展开研究。

4.1 有限元模型的建立

选取主线桥第二联进行有限元分析,其立面图如图10所示。采用CIVIL MIDAS软件建立主线桥第二联的有限元模型,如图11所示。在分析过程中,采用节点强制位移模拟主梁顶升节点位移,同时忽略顶升过程中预应力的变化对结构内力的影响。

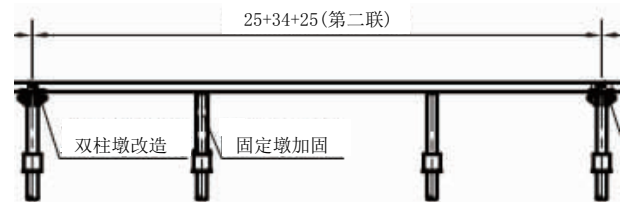


图10 主线桥第二联立面图

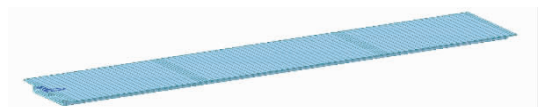


图11 主线桥第二联有限元模型

由于6#墩~9#墩处的各项升支点均布置千斤顶,因此各项升支点均约束竖向位移。其中7#墩~8#墩处布置有两排千斤顶,故在模型中布置两处约束,模型的约束布置见图12所示。

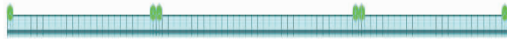


图12 模型的约束布置图

4.2 竖向顶升位移偏差分析

在连续箱梁顶升过程中,箱梁整体上升和整体下降所产生的附加内力大小相同,方向相反,因此本节仅针对向上顶升偏差进行分析。在本例中,主线桥连续箱梁的顶升值为30 mm,拟考虑当某墩顶升位移值分别出现5 mm和10 mm的误差时,计算附加内力引起的主梁截面上缘和下缘的附加应力值。

(1)当边墩出现5 mm和10 mm的顶升竖向位移误差时,主梁上下缘截面引起的应力值见图13所示,边墩顶升位移出现5 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为0.05 MPa和0.06 MPa;边墩顶升位移出现10 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为0.09 MPa和0.12 MPa。这表明当边墩支点产生整体位移偏差时,产生的附加内力很小。

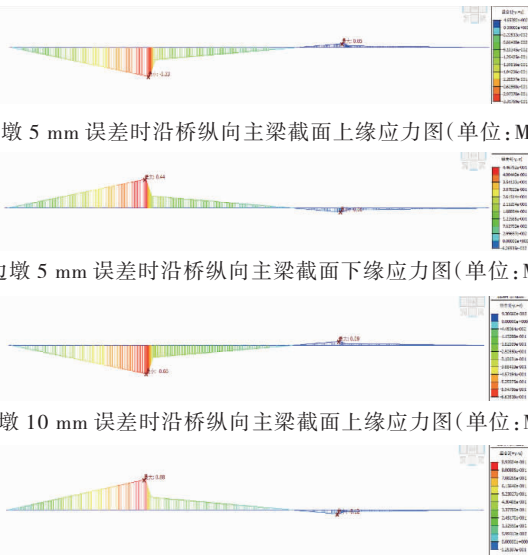


图13 边墩竖向顶升位移误差引起的主梁应力图

(2)当中墩出现5 mm和10 mm的顶升竖向位移误差时,主梁上下缘截面引起的应力值见图14所示,中墩顶升位移出现5 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力均为0.47 MPa;中墩顶升位移出现10 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为0.93 MPa和0.94 MPa。说明当中墩支点产生整体位移偏差时,产生的附加内力比边墩支点产生整体位移偏差时引起的附加内力更大,且会引起较

大的混凝土拉应力,顶升过程中应加强监控。

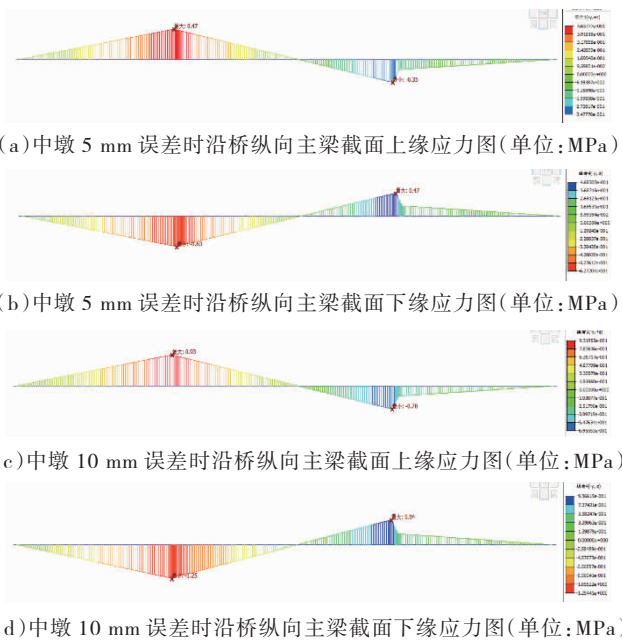


图14 中墩竖向顶升位移误差引起的主梁应力图

4.3 横向顶升位移偏差分析

本节针对向上顶升过程中墩顶处横向位移偏差进行分析。在本例中,拟考虑当某墩横向位移值分别出现5 mm和10 mm的误差时,计算附加内力引起的主梁截面上缘和下缘的附加应力值。

(1)当边墩出现5 mm和10 mm的顶升横向位移误差时,主梁上下缘截面引起的应力值见图15所示,边墩位移出现5 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为5.6 MPa和3.3 MPa;边墩位移出现10 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为11.2 MPa和6.6 MPa。这表明当边墩支点产生横向位移偏差时,产生的附加内力较大。

(2)当中墩出现5 mm和10 mm的顶升横向位移误差时,主梁上下缘截面引起的应力值见图16所示,中墩位移出现5 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为5.3 MPa和3.5 MPa;中墩位移出现10 mm误差时,主梁上缘和下缘出现最大拉应力分别为10.6 MPa和7.0 MPa。说明当中墩支点产生横向位移偏差时,产生的附加内力与边墩支点产生横向位移偏差时引起的附加内力相近;横向位移偏差产生的附加内力远大于竖向位移偏差产生的附加内力,在实际顶升过程中应尽量避免横向位移偏差。

4.4 位移整体偏差敏感性分析

由有限元分析结果可知,在顶升位移整体偏差分析中,当整体偏差出现在6#边墩和7#中墩时,沿

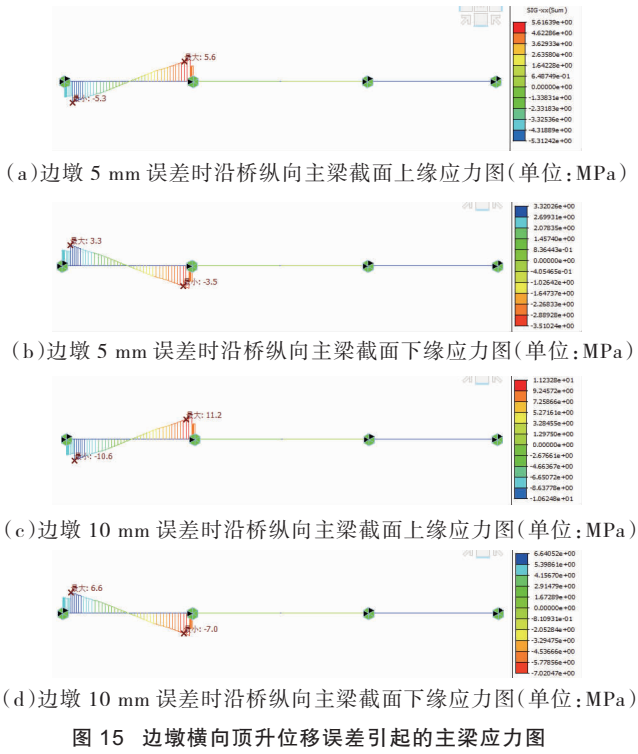


图 15 边墩横向顶升位移误差引起的主梁应力图

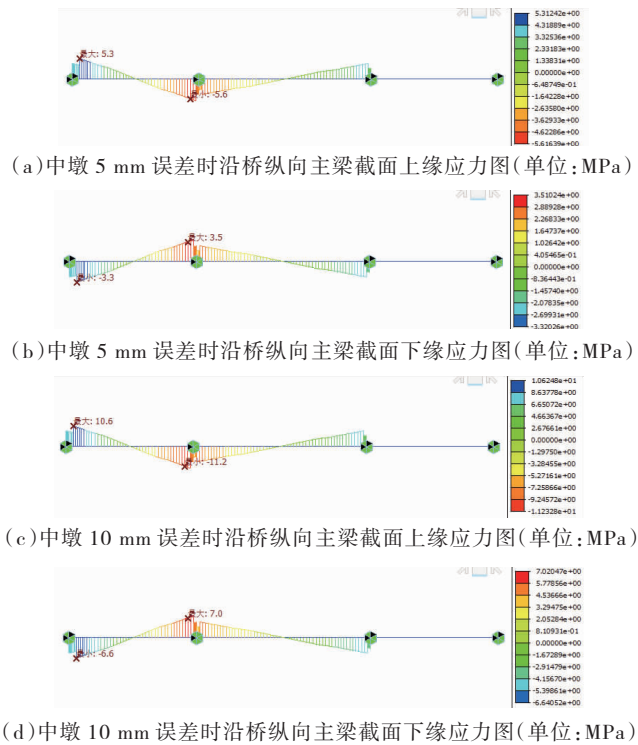


图 16 中墩横向顶升位移误差引起的主梁应力图

主梁纵向,上下缘截面最大的附加应力均出现在 7# 中墩附近的截面。主线桥连续箱梁的顶升值为 30 mm,分别考虑边墩和中墩出现 5%、10%、15%、20%、25%、30%的误差,对 7# 中墩附近截面的上下缘应力进行位移偏差的敏感性分析,分析的结果如图 17~18 所示。

由图中曲线可知,当位移整体偏差出现相同的百分比时,中墩位移偏差引起的截面上缘和下缘的附加应力值均较大;随着位移整体偏差百分比的变

大,中墩位移偏差引起的截面上缘和下缘的附加应力值变化更大,表明截面的上下缘附加应力值对中墩的位移偏差更加敏感。

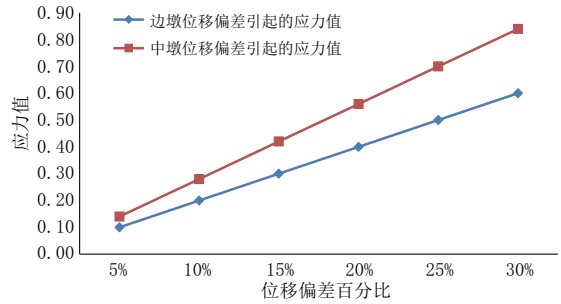


图 17 7# 中墩附近截面的上缘应力敏感性分析图 (单位: MPa)

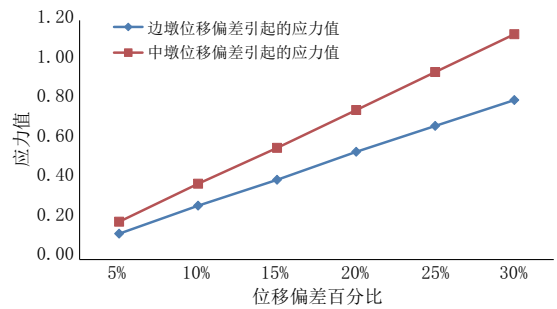


图 18 7# 中墩附近截面的下缘应力敏感性分析图 (单位: MPa)

5 结论

本文以淮北某立交桥主线桥为研究对象,结合现场实测和有限元分析,对连续箱梁桥同步顶升技术进行了研究,得出以下结论:

(1)顶升施工在更换支座之后,桥梁横向和纵向都产生了较大的偏移,因此在更换支座的过程中,应密切关注各顶升支点位移情况,同时做好限位措施。

(2)顶升过程中,梁底受力方向与桥梁竖向位移差异变化基本一致,这表明了顶升施工的安全可靠性。

(3)当顶升位移偏差相同时,中墩位移偏差引起的截面附加应力相比于边墩更大;随着位移偏差的增大,中墩位移偏差引起的截面附加应力变化更明显。这表明截面的附加应力对中墩的位移偏差更加敏感。

(4)横向位移偏差产生的附加内力远大于竖向位移偏差产生的附加内力,在实际顶升过程中应尽量避免横向位移偏差。

参考文献:

[1] 朱强.大跨径连续梁桥支座更换的研究[D].广州:华南理工大学, 2012.
 [2] 曾松涛.连续梁桥半桥同步顶升施工监控研究[J].城市道桥与防洪, 2019(1):112-114.

(下转第 194 页)

2.4 地表振动

这次试验也对打桩过程中周边地表的振动进行了记录(见图7)。从记录数据可以看出在测试过程中,打桩时随着水平距离的增大,地表振动幅度明显衰减,另外打入底桩时产生的地表最大振动为6.266 mm/s,明显高于中桩与顶桩的4.184 mm/s和2.870 mm/s。由于打入底桩时振源较浅,反映到地表的振动明显;而在打入中桩和顶桩时,振动产生的能量部分被深层土体吸收,因此反映到地表的振动相对较小。同时也记录了现场背景振动约为0.367 mm/s,明显小于打桩造成的振动幅度。

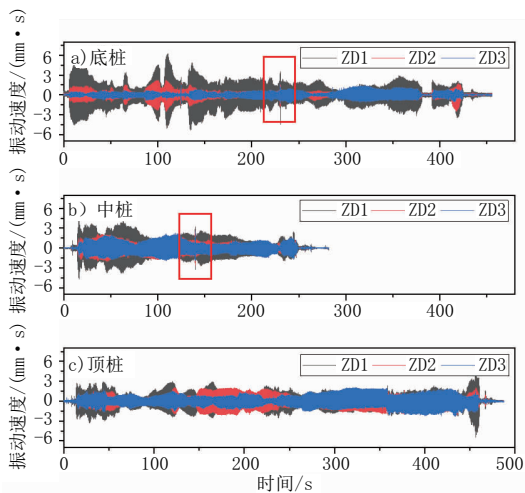


图7 地表振动速度波形

此外在监测时也记录了外侧车道车辆行驶时产生的振动现象(图7红框处的数据)。车辆产生的最大振动值为3.281~3.572 mm/s,大于多数因打桩引起的振动幅度。这从侧面表明,高频免共振沉桩工艺引起的振动较小,甚至小于车辆引起的振动。

3 结论

本文以杨高中路改建工程为研究背景,通过在高架桩基附近的原位监测试验,分析了高频免共振沉桩对桩周环境的影响,结果表明:高频免共振钢管桩沉桩施工会对桩周土体的水平位移、分层沉降、孔隙水压力与地表振动产生一定的影响,但监测数据也充分表明该工艺对桩周环境影响较小。主要结论如下:

(1)高频免共振钢管桩沉桩施工会对桩周土体的

水平位移产生一定的影响,挤土效应导致的水平位移主要集中在近地表(10 m内)。

(2)沉桩过程会使桩周土产生沉降变形或隆起变形,这与土层特性差异与挤土效应等因素有关,整体上由高频振动引起的桩周土体变形量较小。

(3)随着沉桩施工地进行,桩周土体出现明显的孔隙水压力上升与累积现象,孔压增量峰值为23.6 kPa。浅层土体孔压消散较快,深层土体孔压消散缓慢。

(4)高频免共振沉桩产生的地表振动随着水平距离的增大衰减明显,并且整体振动较小,甚至小于车辆引起的振动峰值。

参考文献:

[1] 陈福全,汪金卫,李大勇,等.高频液压振动锤打桩的应用概况与研究进展[J].岩土工程学报,2011,33(S2):224-231.
 [2] 耿鹏飞.上海地区高频免共振沉桩抗压承载力规范设计方法[J].上海建设科技,2022(2):16-20.
 [3] 施耀锋.紧邻地铁隧道高频免共振液压沉桩施工技术[J].建筑科技,2018,2(2):30-33.
 [4] Mosher R L.Axial capacity of vibratory-driven piles versus impact-driven piles[C]//the 69th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D C, 1990.
 [5] Bement R A P, Selby A R.Compaction of granular soils by uniform vibration equivalent to vibrodriving of piles[J]. Geotechnical & Geological Engineering, 1997, 15(2):121-143.
 [6] Viking K.Vibro-driveability, a field study of vibratory driven sheet piles in non-conhesive soils[D].Stockholm:Royal Inst of Technology, 2002.
 [7] 陈福全,汪金卫.高频液压振动锤沉桩引起的孔压增长性状分析[J].铁道科学与工程学报,2010,7(1):7.
 [8] 杨春柳.钢管桩免共振施工对邻近地铁的振动影响试验研究[J].建筑施工,2018,40(9):1655-1657.
 [9] 李操,张孟喜,周蓉峰,等.免共振沉桩原位试验研究[J].长江科学院院报,2020,37(9):122-127.
 [10] 王卫东,魏家斌,吴江斌,等.高频免共振法沉桩对周围土体影响的现场测试与分析[J].建筑结构学报,2021,42(4):131-138.
 [11] 王樟.高频免共振液压振动锤沉桩对桩周土影响的研究[J].中国市政工程,2022(5):91-95.
 [12] 王春晖.免共振钢管桩施工对紧临建筑物的影响[J].建筑科技,2020,4(2):15-17.
 [13] 张娟.高频免共振液压振动沉桩钢管桩承载力研究[J].土工基础,2021,35(5):616-620.
 [14] 杨光强.基于免共振液压振动锤系统沉桩施工对周围环境的影响分析[J].建筑施工,2017,39(6):888-889.

(上接第163页)

[3] 赵成功,赵人达,王永宝,等.曲线连续梁桥梁体顶升及顶推复位关键技术研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2020,36(3):395-403.
 [4] 王伟,刘昀,丁毅.连续梁桥多跨整联同步顶升施工计算分析[J].中

外公路,2017,37(3):102-106.
 [5] 谭长建.多跨连续曲线梁桥整体同步顶升监测分析[J].公路,2017(5):91-94.