

滑道高程偏差对 PC 顶推箱梁梁体受力行为影响研究

唐霁¹, 李松林²

(1. 龙山县交通建设质量安全监督管理所, 湖南 龙山 416800; 2. 江苏兆信工程项目管理有限公司湖南分公司)

摘要:以某顶推连续 PC 箱梁为研究对象,对比分析滑道高程偏差对滑道支座反力、梁体应力及变形的影响。计算结果表明:中滑道下降或边滑道上升对中滑道支反力均有显著影响,当中滑道 B 下沉 0.5 mm 时,对应支座反力降幅 78%,中滑道 B 下沉 1 mm 时,对应位置完全脱空;当边滑道上升 0.5 mm 时,中滑道支座反力降幅 38.9%,边滑道上升 1.5 mm 时,中滑道完全脱空;滑道发生毫米级偏差,都将对梁体应力产生显著影响,其压应力变化幅度显著,梁体存在局部压应力集中现象。

关键词:顶推连续 PC 箱梁;滑道高程偏差;支座反力;梁体应力

在混凝土箱梁顶推时,为保证主梁在滑道上顺利滑动,防止施工中的误差使得主梁出现较大的次内力,对预制主梁、预制平台及滑道的标高提出了较高的精度要求。但是由于材料参数差异、永久墩及临时墩沉降等都有可能引起标高变化,从而导致横向滑道反力分配不均匀,某些滑道局部反力过大,滑道存在变形、开裂和损伤破坏,与滑道接触的梁体局部应力过大,主梁的安全储备降低。

该文在前人研究成果的基础上,以某四滑道顶推施工 PC 箱梁为研究对象,揭示滑道高程偏差对箱梁受力影响的差异及规律,为多滑道顶推施工 PC 箱梁施工及安全控制提供借鉴。

1 工程概况

某三跨预应力混凝土连续箱梁,跨径组合为(32+40+32) m,桥型布置见图 1。桥址上跨高速公路,上部结构为单箱三室箱梁,材料标号为 C55 混凝土,桥墩使用 C40 混凝土,导梁使用 Q345 钢材,长 28 m,横向共分为 4 片主纵梁,导梁主纵梁最大梁高 2.2 m,厚 0.45 m,通过横向联系保证其共同受力,为确保主梁在顶推过程中的安全,在 0[#]墩和 1[#]墩之间布置了临 5[#]墩及在 1[#]墩和 2[#]墩之间布置了临 6[#]墩作为过渡墩及顶推主施力墩,采用分段浇筑,逐段顶推的方法进行顶推。整桥共划分为 5 个梁段进行浇筑和顶推施

工,1、3、5 号梁段长为 24 m,2、4 号梁段长为 16 m。顶推总距离为 112 m,最大跨径为 34 m,总重达 4 044.1 t。从 0[#]墩向 3[#]墩顶推,当主梁的前端顶推至 3[#]墩时顶推就位。此次顶推采用 4 片导梁,分别布设在主梁对应的腹板位置,同时在横向布置 4 个滑道,滑道 A 和 D 设在两边腹板的位置,滑道 B 和滑道 C 设在中腹板的位置。箱梁节段横向示意及顶推滑道示意分别见图 2、3。

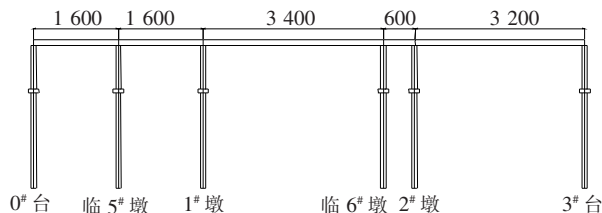


图 1 桥型布置图(单位:cm)

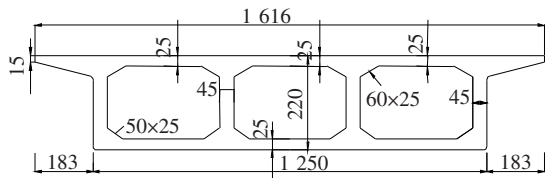


图 2 箱梁节段横向示意图(单位:cm)

2 有限元模型建立

使用 Ansys APDL 建立该桥“实体—梁—壳”接

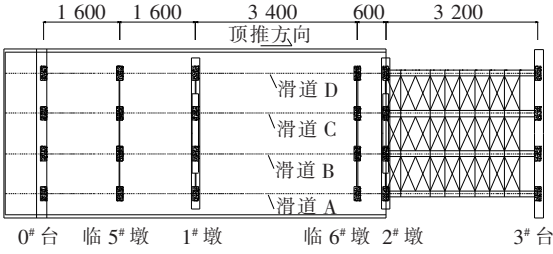


图 3 顶推滑道示意图(单位:cm)

触混合有限元模型,其中上部结构混凝土箱梁及预应力部分分别使用 Solid65 及 Link10 杆单元模拟,二者通过定义约束方程建立联系以模拟共同受力,钢导梁部分使用 Shell63 壳单元,壳与实体之间建立刚域耦合,钢垫块使用 Shell63 壳单元模拟,调用 Taree170 和 Conta173 模拟钢垫块与混凝土箱梁刚性接触面,因钢垫块刚度大于混凝土箱梁刚度,故以钢垫块顶面为主面,混凝土箱梁底面为从面,通过设置一较大的接触刚度参数来保证接触面互不穿透,同时耦合目标面与接触面位移约束条件(u_x 、 u_y 、 u_z),基于增广朗格朗日算法模拟其接触行为,以高斯积分点作为接触分析收敛检查点。

基于“墩动梁不动”的思想,以 1 m 为一个顶推工况模拟箱梁顶推施工全过程,在桥墩位置,施加水平横向及竖直方向上约束,在最后一个桥墩施加水平纵向约束。滑道高程偏差通过施加 u_z 方向强制位移及修改坐标参数的形式模拟。

使用六面体扫掠划分结构网格,通过 ACEL 命令计入结构自重、预应力张力使用初应变法施加。

根据整体有限元模型计算结果,主梁顶推至 42 m 时,主梁位于顶推过程中最大跨径工况,此时主梁处于最大悬臂状态,导梁竖向变形达到最大值,与混凝土主梁连接处负弯矩值达到 36 452.03 kN·m,为一典型最不利工况。以 1# 永久墩为例,选取该工况为研究对象,分析滑道高程变化对梁体的影响。

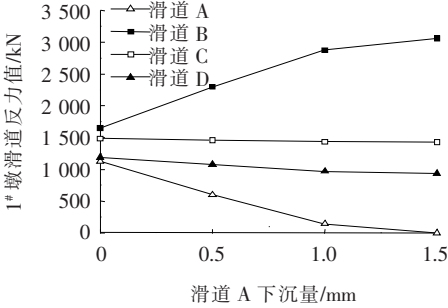
有限元计算结果表明:当 4 条滑道水平时,滑道 B 和滑道 C 的反力大于边滑道即滑道 A 和滑道 D 的反力,滑道 B 的反力最大,为 1 648.5 kN,滑道 A 的反力最小,为 1 126 kN。根据计算结果,该文拟选取表 1 所示 3 种滑道高差工况进行研究。

表 1 滑道偏差工况

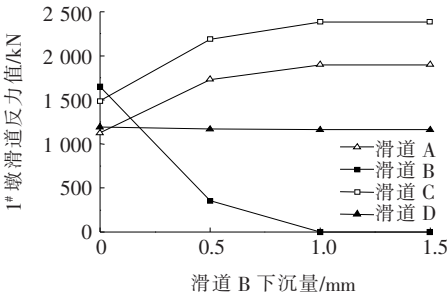
工况	工况说明
1	滑道 A 分别下降 0.5、1、1.5 mm
2	滑道 B 分别下降 0.5、1、1.5 mm
3	滑道 A 分别上升 0.5、1、1.5 mm

3 滑道高程差对滑道横向支撑反力的影响

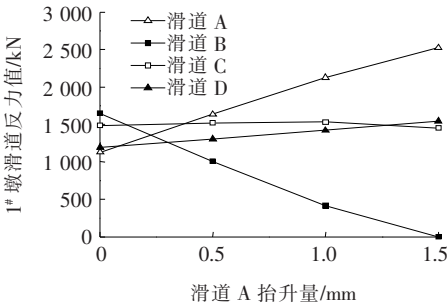
以 1# 墩为例,分析 3 种工况下滑道横向支撑反力的变化规律,在 Ansys APDL 中对 1# 墩滑道标高坐标参数进行修改,得到滑道横向支撑反力结果见图 4。



(a) 工况 1



(b) 工况 2



(c) 工况 3

图 4 滑道横向反力变化图

图 4 表明:

(1) 滑道高程下降对滑道反力变化影响明显,随着中滑道 B 标高下沉,其支反力迅速下降并最终出现脱空,当高程差从 0 变化到 0.5 mm 时,滑道 B 反力由 1 648.5 kN 下降至 355.52 kN,降幅 78%,边滑道 A 和中滑道 C 支反力则迅速上升,边滑道 D 反力变化幅度则相对较小;当边滑道 A 下沉量从 0 变化到 0.5 mm 时,中滑道 B 反力由 1 126 kN 下降至 600.55 kN,降幅 46%,滑道 C 与滑道 D 反力也存在减小趋

势,但相对滑道 B 变化幅度较小。

(2) 当边滑道 A 标高量从 0 抬升至 0.5 mm 时,其支反力由 1 126 kN 上升至 1 635.3 kN,增幅 45.2%,且基本呈线性关系;滑道 B 支反力则由 1 648.5 kN 下降至 1 007.1 kN,降幅 38.9%;随着滑道 A 抬升量持续增加至 1.5 mm 时出现脱空;在整个抬升工况中,滑道 D 支反力缓慢增加,滑道 C 反力变化幅度较小,在抬升量达到 0.5 mm 后有减小趋势。

4 滑道高程差对箱梁应力的影响

当滑道高程变化时,由于支撑反力变化剧烈,对箱

梁底板位置应力的影响不可忽视,尤其是底板与滑道接触位置。该文选取 1#墩墩顶附近箱梁节段(节段长为 5 m)为分析对象,分别分析边滑道 A 下沉 1.5 mm、中滑道 B 下沉 1.5 mm 两种工况梁体节段应力状态。使用 Ansys 后处理的路径操作功能,以滑道中心线为路径线,横向分为 4 条路径,提取路径上关键节点应力结果。定义滑道 A~D 中心线路径分别为路径 1~路径 4,沿顶推正方向为路径前进方向,各工况下应力结果如表 2 所示。

由表 2 可得:墩顶边滑道 A 下沉 1.5 mm 时,对应路径上(路径 1)压应力变化剧烈,在 2.5 m 范围内混凝土底板压应力由 6.2 MPa 迅速增至 29.4 MPa,

表 2 A、B 滑道下沉 1.5 mm 箱梁底板路径应力结果

路径位置/ m	A 滑道/MPa				B 滑道/MPa			
	路径 1	路径 2	路径 3	路径 4	路径 1	路径 2	路径 3	路径 4
0	-6.2	-8.6	-6.8	-5.2	-9.6	-7.9	-8.9	-5.7
0.5	-8.1	-9.6	-8.1	-7.3	-10.8	-9.7	-10.0	-8.0
1.0	-11.6	-10.9	-10.4	-8.9	-12.2	-11.1	-11.3	-9.7
1.5	-16.9	-12.5	-12.6	-10.2	-14.0	-16.1	-13.0	-11.2
2.0	-23.5	-17.2	-14.2	-12.4	-16.3	-21.4	-15.1	-13.6
2.5(1#墩墩顶)	-29.4	-21.8	-17.8	-14.9	-20.5	-26.1	-19.0	-16.3
3.0	-25.3	-19.4	-15.4	-13.8	-18.8	-24.1	-17.4	-15.1
3.5	-22.6	-16.9	-14.1	-11.7	-17.0	-21.6	-15.7	-12.8
4.0	-18.5	-14.3	-11.8	-10.1	-16.5	-17.7	-13.3	-11.1
4.5	-13.8	-12.5	-10.6	-8.4	-14.3	-13.2	-11.2	-9.2
5.0	-11.4	-11.7	-8.7	-6.8	-13.1	-10.9	-10.1	-7.4

其他路径上局部压应力也有明显集中现象,从路径 2~路径 4,压应力增幅逐渐放缓,应力变化趋势逐渐减小;墩顶中滑道 B 下沉 1.5 mm 时,混凝土底板压应力由 7.9 MPa 增至 26.1 MPa,其他路径上压应力变化与边滑道 A 下沉工况类似。

对于混凝土结构箱梁,顶推过程中滑道高程发生微小变化时,都将导致局部压应力发生明显变化,甚者可能发生混凝土局部受压集中导致混凝土开裂破坏,在实际施工中应严格对高程进行监控,防止高差导致支座反力迅速变化造成的梁体压应力集中现象。

5 滑道高程差对箱梁变形的影响

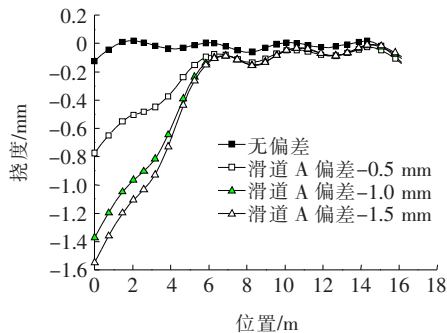
图 5 为 3 种工况下 1#墩箱梁顶板横向(0~16.16 m)范围内的变形趋势图。

(1) 由图 5(a)可知:在横桥向方向,箱梁节段挠度变化呈逐渐下降趋势。顶板横向从 0 到滑道 B 处范围内无其他支撑,挠度受滑道 A 下沉影响较大,且随着滑道偏差量增大而增大;从滑道 B 到 16.16 m 处由于滑道 B 的支撑作用,使得顶板挠度受滑道 A 影响逐渐减少,至 16.16 m 处几乎无影响。

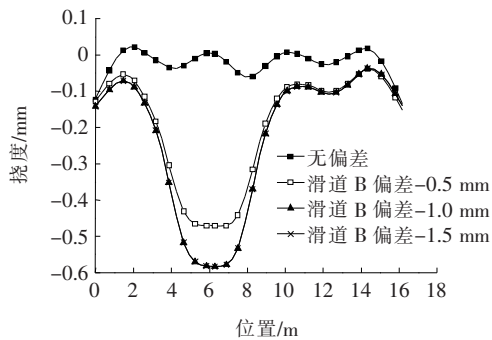
(2) 由图 5(b)可知:在横桥向方向,顶板挠度在滑道 B 处达到最大;在 0 到滑道 A 处及从滑道 C 到 16.16 m 处,由于滑道 A 和滑道 C 的支撑作用,挠度受影响较小;滑道 A 到滑道 C 处挠度变化效应明显,且随着滑道 B 下沉量增加而增大。

(3) 由图 5(c)可知:在横桥向方向,随着滑道 A 的抬升,顶板挠度呈先迅速下降后"扰动下降"的趋势,在滑道 A 各抬升工况下,顶板挠度曲线与无偏差挠度曲线交点依次右移,交点左侧挠度下降较为明显,且随

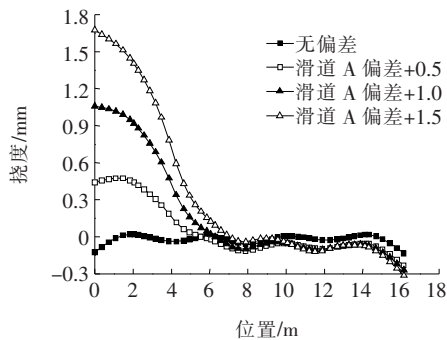
抬升量的上升愈发剧烈,交点右侧挠度总体呈下挠趋势,但变化幅度较小,与无偏差时挠度变化规律相同。



(a) 工况 1



(b) 工况 2



(c) 工况 3

图 5 箱梁顶板变形示意图

6 结论

通过建立某连续梁 Ansys 有限元模型,分析滑道高程变化对滑道横向反力分布、梁体应力及箱梁顶板变形的影响,得到以下结论:

(1) 多滑道顶推时,滑道反力在横向分布不均匀,

中间两滑道的反力较边滑道的反力大。

(2) 滑道高程下沉将导致对应滑道反力值下降,相邻滑道反力增加,较远滑道的反力减少但影响效果较小;抬升滑道高程时使得该滑道的反力增加,相邻滑道的反力减少甚至脱空,在一定范围内对较远滑道的影响较小。

(3) 梁体应力对滑道高程的变化敏感性很高,毫米级别的偏差都会使得梁体应力发生明显变化,尤其墩顶位置会有明显的压应力集中现象,施工时应严格控制滑道高程,防止混凝土局部压碎。

(4) 某滑道产生高程变化时,从该滑道到相邻滑道间的梁体变形受到高程偏差的影响大,其余各处受高程偏差的影响较小,顶推施工过程中可以通过调整滑道高程来改善滑道支反力的分配。

参考文献:

- [1] 杨昌付,宋新刚. 预应力混凝土连续梁横向顶推过程仿真分析[J]. 公路,2013(8).
- [2] 何娅. 连续钢箱梁桥步履式顶推施工过程中的结构行为研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文,2017.
- [3] 张建,王永光,孔祥韶,等. 九堡大桥主桥顶推施工模型试验研究[J]. 中外公路,2017(5).
- [4] 李传习,陈卓,董创文,等. 横向四滑道步履式顶推宽幅箱梁局部应力分析[J]. 公路交通科技,2019(4).
- [5] 张培炎. 桥梁顶推施工过程受力分析及关键问题研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文,2014.
- [6] 朱小青,陈淮,于品德. 支座脱空对西张村大桥受力性能的影响[J]. 郑州大学学报(工学版),2010(5).
- [7] 王娣,梅秀道. 顶推施工算法及临时墩支座标高调整优化[J]. 世界桥梁,2010(3).
- [8] 田仲初,陈耀章,赵利平,等. 连续钢梁顶推过程局部接触分析及改善措施[J]. 长安大学学报(自然科学版),2012(4).
- [9] 马琼锋,刘海庆. 变高截面钢箱梁顶推技术研究[J]. 中外公路,2019(5).
- [10] 董创文,李传习,张玉平,等. 变曲率竖曲线梁顶推过程支点标高调整方案确定的单步模数搜索合成法[J]. 土木工程学报,2015(1).
- [11] 董陈宇,贾艳敏. 预制 PC 梁侧弯变形计算与控制研究[J]. 中外公路,2017(3).
- [12] 陈雄,张建东,刘朵,等. 预制拼装混凝土节段梁的弓形变形研究[J]. 中外公路,2018(2).