

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2021.03.035

深圳市东部过境高速公路高架桥桩基托换工程设计

陈福斌
(深圳市交通公用设施建设中心, 广东 深圳 518000)

摘要: 以深圳市东部过境高速公路某一既有桥墩基础托换为例,说明高架桥桩基托换的设计方案、施工工序,以及设计施工中的关键技术。将理论计算、施工实践及监控量测相结合,说明桩基托换设计的合理性、有效性。
关键词: 高架桥;桩基;托换;截桩;变形;顶升;监控量测
中图分类号: U443.16+3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)03-0113-04

1 工程概况

深圳市东部过境高速公路连接线工程(以下简称连接线)西起爱国路立交,东接东部过境高速公路主线隧道。连接线隧道下穿爱国路立交时,需下穿爱国路高架西侧3号墩和东侧5号墩。为不中断爱国路高架交通,地道穿越桥梁基础采用桥墩基础托换的设计、施工方案。

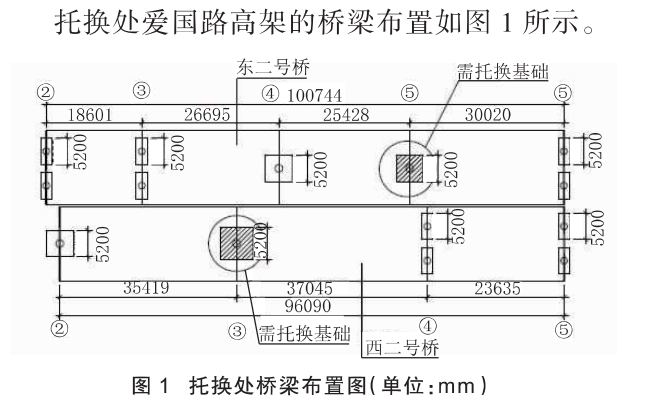


图1 托换处桥梁布置图(单位:mm)

2 桩基托换方案

该工程托换结构采用全预应力混凝土托换承台的受力体系。在托换承台两侧各布置直径为1.8 m的灌注桩(要求桩底注浆),并对现有承台进行接长、加宽、加厚处理,新托换承台支承于两侧新建的桩基上,并通过在桩帽上顶升千斤顶来控制既有老桥上部结构的变形,待结构预应力张拉后,锯除老桥桩基础,并利用千斤顶控制托换承台高程,稳定后浇注桩顶混凝土,完成老桥基础托换,如图2所示^[1-2]。

收稿日期: 2020-10-25
作者简介: 陈福斌(1979—),男,硕士,高级工程师,从事路桥项目管理工作。

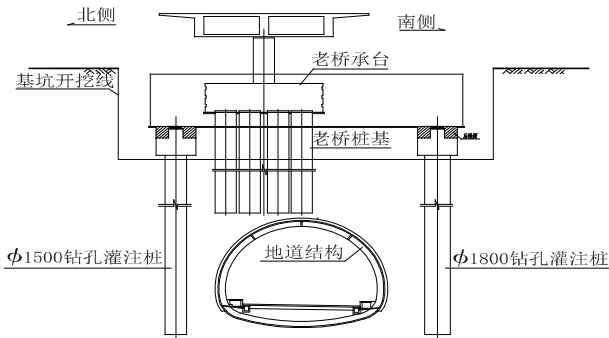


图2 西3桥墩基础托换横断面图(单位:mm)

预应力混凝土托换梁的跨度为25.1 m,横截面尺寸:25.1 m(长)×7.85 m(宽)×4.5 m(高)。为保证既有桥梁结构与托换梁之间的可靠连接和整体性,增强新旧结构之间的抗剪能力,托换梁和既有承台采用植筋连接并对既有承台表面和留在托换梁的既有桩表面进行界面处理。

在托换桩桩顶设置长7.85 m、宽2.8 m、高2.5 m的桩帽作为顶升平台,顶升平台与托换梁底面之间预留100 cm的顶升空间。为将基础托换后桥墩及上部结构位移控制在允许范围内,在托换梁与托换桩之间设置千斤顶,利用千斤顶顶升使上部结构有微量位移,同时给新桩反压,以补偿部分沉降。

通过顶升及托换梁预应力张拉将被托换桩荷载转移到托换桩梁承力体系,观测变形稳定后,采用链锯切割法进行截桩,以安全为首要目的,同时达到无震动、低噪音、无粉尘污染等环保要求。

托换梁预应力张拉、截桩,以及最后顶升完成后,预留空间采用微膨胀混凝土灌注填充,使托换梁和桩帽形成刚性连接。

为确保桥梁结构及周边既有建(构)筑物的安全及正常使用,必须在整个托换过程中进行监控量测。同

时根据监控量测结果指导后续工序。

3 托换施工流程

(1)开挖施工托换承台基坑的支护结构——托换基础的基坑;(2)施工托换桩和桩帽;(3)在老承台表面开槽口、表面处理并进行侧面的植筋,定位承台的钢筋和钢束;安装桩帽上钢垫块、千斤顶;浇注托换承台;(4)布设上部梁体、托换承台沉降监测系统;张拉托换承台内预应力钢束;托换承台脱模;(5)根据施工监控指令,第一次顶升托换承台(使老桩基完全卸载),钢垫块锁定;(6)切除老承台桩基,根据施工监控指令,第二次顶升托换承台,到达预定位移量,钢垫块锁定;(7)拆除千斤顶,焊接托换承台与桩帽之间的钢筋;浇注桩、梁结合现浇段,形成托换桩与梁的固结节点;(8)根据监控情况,若托换基础尚有一定的工后沉降,辅助支墩顶升上部梁体至指定标高,并在支座锁定;(9)基坑回填;持续沉降、应力监测;托换处上部梁体外观检修;(10)托换施工完毕。

4 托换基坑设计施工

施工托换梁及梁下桩帽时,需进行基坑开挖,桩帽范围坑深 8 m,其余位置深 5 m。开挖采用桩帽范围坑深 8 m,其余位置深 8 m。基坑采用直径为 800 mm 钻孔灌注桩 @1 000+ 高压旋喷止水,如图 3 所示。

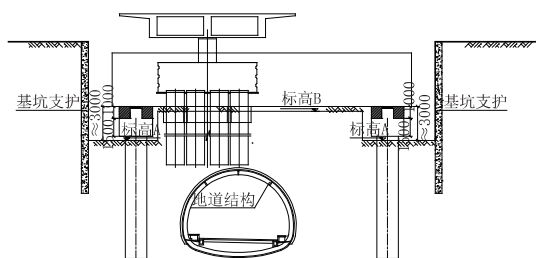


图 3 西 3 桥墩基础托换基坑横断面(单位:mm)

由于托换梁下方将新建隧道结构,因此在进行托换基础设计时应同时考虑托换基础范围各构件的施工工序问题。设计中提出,托换梁水平投影范围甚至工作面一定范围内的隧道基坑支护桩需在施工托换梁施工之前施工,隧道采用直径为 1 200 mm 钻孔灌注桩 @1 400+ 高压旋喷止水。

5 托换桩、梁体系计算分析

5.1 计算模型

用有限元软件模拟托换桩、梁施工及运营全过程的受力及体系转换,计算分 6 个阶段,计算模型如图 4(最后阶段)所示。

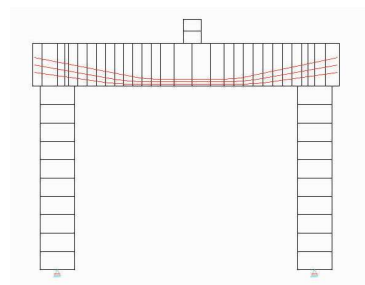


图 4 西 3 桥墩基础托换桩、梁模型示意图

- (1)阶段 1:施工新桩,支架上浇注转换梁;
- (2)阶段 2:张拉钢束;
- (3)阶段 3:千斤顶顶升,两端千斤顶受载;
- (4)阶段 4:锯断老桩,荷载转换;
- (5)阶段 5:桩梁连接;
- (6)阶段 6:上部恢复运营。

5.2 反力情况

预应力张拉完毕阶段的支点反力见表 1。

表 1 预应力张拉完毕支点反力 单位:kN

工况	浇筑新承台完成,张拉预应力
左侧托换桩桩顶	18 818
右侧托换桩桩顶	18 573
老桩 1 桩顶	213
老桩 2 桩顶	213
老桩 3 桩顶	-129
老桩 4 桩顶	-129

由表 1 可见,预应力张拉完毕后,托换桩桩顶反力即为千斤顶顶升控制值。千斤顶顶升到位后,老桩桩顶反力接近 0,老桩基本完成卸载,此时即可截除老桩。

5.3 变形情况

计算变形:西 3 承台对应位置的梁底变形应包含桩底沉渣引起的变形、桩身变形、托换梁体变形及墩柱变形。桩底沉渣引起的变形通过抽心检查及后期注浆予以消除,墩柱变形已经基本完成,因此计算中只考虑桩身变形和托换梁体的变形。

根据计算,托换梁对应墩柱位置在地面道路及桥面同时运营的状态下,托换梁跨中的最终变形——收缩徐变为 1 mm。

为补偿今后后期沉降及施工过程中不可预见的变形,在桩梁连接前采用千斤顶预顶措施,使托换梁跨中预顶值达到 1 mm。

监测结果显示:托换完成后,上部结构在墩顶处的变形量小于 1 mm。整个托换过程监测结果均表明,既有桥梁及托换结构的受力、变形计算理论值与

实测值吻合程度较高,托换设计、施工有效。

6 新旧结构连接计算分析^[3-5]

6.1 托换承台结合面抗冲切计算

托换新老结合面抗冲切计算按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)计算。

(1)最小冲切面要求:

$$\gamma_0 F_{ld} \leq 1.05 \beta_b f_{ld} U_m h_0 \quad (1)$$

式中: γ_0 为桥梁结构重要性系数; F_{ld} 为集中反力设计值, kN; β_h 为界面高度尺寸系数; f_{ld} 为混凝土收拉设计值, MPa; U_m 为破坏锥体截面周长, m; h_0 为有效高度, mm。

(2)配筋承载力要求:

$$\gamma_0 F_{\text{ld}} \leq (0.35 \beta_{\text{h}} f_{\text{td}} + 0.15 \sigma_{\text{pc, m}}) U_{\text{m}} h_0 + 0.75 f_{\text{sv}} A_{\text{svu}} \quad (2)$$

式中: γ_0 为桥梁结构重要性系数; F_{ld} 为集中反力设计值, kN; β_h 为界面高度尺寸系数; f_{ld} 为混凝土收拉设计值, MPa; U_m 为破坏锥体截面周长, m; h_0 为有效高度, mm; $\sigma_{pc,m}$ 为混凝土有效应力, MPa; f_{sv} 为箍筋抗拉设计强度, MPa; A_{svm} 为箍筋截面面积, mm²。

6.2 托换承台斜截面抗剪承载能力计算

托换承台的斜截面抗剪承载力计算按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)第 8.5.4 条计算,同时可按 5.2.7 条复核。

(1) 承台斜界面抗剪承载力

$$\gamma_0 V_d \leq \frac{0.9 \times 10^{-4} (2 + 0.6P) \sqrt{f_{cu,k}}}{m} b_s h_0 \quad (3)$$

式中: γ_0 为桥梁结构重要性系数; V_d 为剪力设计值,kN; P 为纵向钢筋配筋率; $f_{cu,k}$ 为混凝土抗压强度标准值,MPa; b_s 为截面宽度,mm; h_0 为有效高度,mm。

(2)受弯构件斜界面抗剪承载力

$$\gamma_0 V_d \leq V_{cs} + V_{sb} + V_{pb}$$

$$\begin{aligned} V_{cs} &= \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \times 10^{-3} b h_0 \sqrt{(2+0.6P)} \sqrt{f_{cu,k} \rho_{sv} f_{sv}} \\ V_{sb} &= 0.75 \times 10^{-3} f_{sd} \sum A_{sb} \sin \theta_s \\ V_{pb} &= 0.75 \times 10^{-3} f_{spdd} \sum A_{spbb} \sin \theta_p \end{aligned} \quad (4)$$

式中: γ_0 为桥梁结构重要性系数; V_d 为剪力设计值, kN; P 为纵向钢筋配筋率; $f_{cu,k}$ 为混凝土抗压强度标准值, MPa; b_s 为截面宽度, mm; h_0 为有效高度, mm; V_{cs} 为混凝土箍筋共同承担剪力设计值, kN; V_{sb} 为弯起钢筋剪力设计值, kN; V_{pb} 为预应力剪力设计值, kN; α_1 为异号弯矩影响系数; α_2 为预应力提高系数;

α_3 为受压翼缘影响系数; ρ_{sv} 为箍筋配筋率; f_{sv} 为箍筋抗拉设计强度, MPa; f_{sd} 为普通钢筋抗拉设计强度, MPa; A_{sb} 为箍筋截面积, mm^2 ; θ_s 为弯起钢筋与水平夹角, rad; f_{spdl} 为弯起预应力设计强度, MPa; A_{spdl} 为弯起预应力面积, mm^2 ; θ_n 为预应力钢筋与水平夹角, rad。

经验算,新老界面接触面满足抗冲切及抗剪承载力要求。同时为了保证新旧混凝土结构更好地共同协调作用,新旧混凝土界面要求处理:将旧混凝土表面凿毛,清理表面,去除混凝土碎块、浮屑,并用水洗净。旧承台 4 个侧面应分别植入直径为 22 mm 的 HRB400 钢筋连接新旧结构。

7 施工措施

在桥墩托换施工过程中,为防止老承台基础沉降对上部结构产生不利影响,根据实际施工监控情况,可设置上部结构的辅助支墩,如图 5 所示。临时支墩为应急措施,根据实际托换顶升情况确定是否设置。若托换基础尚有一定的工后沉降或施工误差,则上部梁体通过辅助支墩顶升至指定标高,并调整、固定支座的高度(正式施工前应检查测量老桥现状情况)。

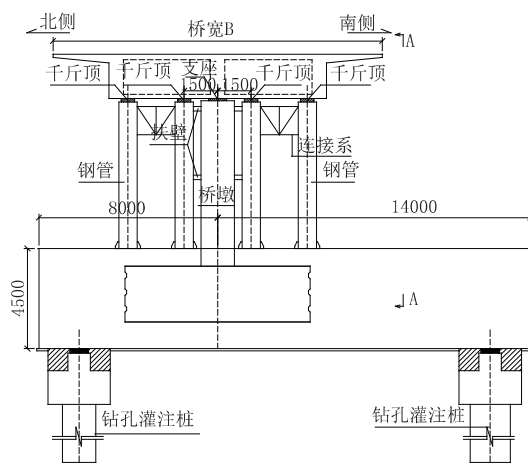


图 5 辅助支墩布置示意图(单位:mm)

8 监控量测

监控量测是托换工程的重点,贯穿整个施工过程,通过监控量测的结果动态反馈设计。监测主要包括:基准量测,基坑开挖对应的各项目监测,托换过程中桥梁上部结构、被托换桩、托换梁、托换桩等构件的内力及变形监测。

桩基托换监测点布置如图 6 所示。监测结果显示:西 3、东 5 桥墩基础托换过程中,基坑周边位移、既有桥梁及托换结构的受力及变形均符合相关规范要求,托换取得圆满成功。

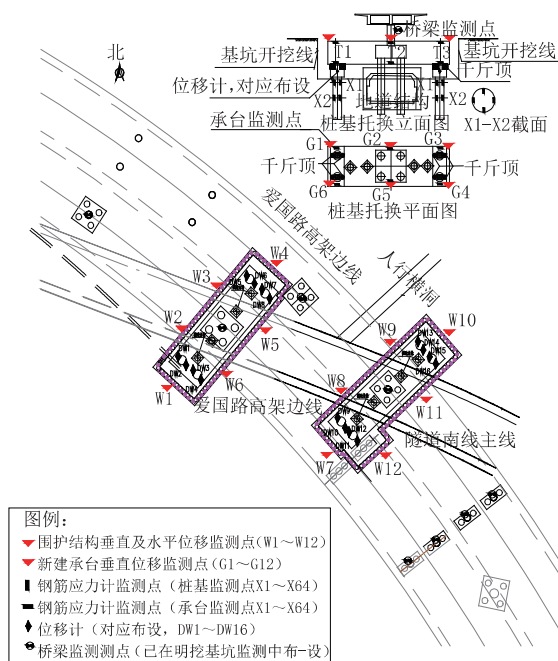


图6 桩基托换监测点布置图

8.1 顶升期间

在顶升期间共进行了10次监测,顶升一级监测一次,当顶升力达到设计顶升力的107%时,桥墩出现上抬的趋势:

(1)桥墩上变化最大的监测点X3-2上抬了+0.3 mm,承台上布设了6个沉降监测点(具体点位见布点图),变化最大的监测点G2上抬了+0.3 mm;沉降均匀,无倾斜发生。

(2)托换桥墩的西侧二号桥整联(跨中及墩顶)共布设23个监测点,监测桥墩在托换期间桥梁的变形,在顶升期间,桥梁及桥墩监测点变化最大的点是监测点TH10,X方向位移了0.6 mm,Y方向位移了0.5 mm,Z方向上升了0.3 mm。其它点无明显变化。

(3)承台与新桩之间布设了8个电子位移计(百分表),变化最大的是D1号百分表,数据变小了0.35 mm,即承台底部上升了0.35 mm。

(4)新建承台及新桩受力无明显变化。

8.2 破桩期间

在破除旧桩表皮期间,每2 h监测一次,随着破除旧桩的直径越来越小,监测频率调整为1 h一次。在监测期间,数据较稳定,无明显变化。

8.3 断桩期间

截断旧桩及钢筋期间,监测频率调整为30 min一次。旧桩截断后各监测项目变形情况:

(1)桥墩上变化最大的监测点X3-2下降了0.3 mm,承台上沉降监测点,变化最大的监测点G5

下降了0.3 mm;与初始值比较,未发生变化。沉降均匀,无倾斜发生。

(2)桥梁及桥墩监测点变化最大的点是监测点TH11,X方向位移了0.5 mm,Y方向位移了0.3 mm,Z方向下降了0.3 mm。其它点无明显变化。

(3)承台与新桩之间布设了8个电子位移计(百分表),变化最大的是D1号百分表,数据增大了0.31 mm,即下降了0.31 mm。与承台顶部的变形数据吻合。

(4)新建承台及新桩受力无明显变化。

8.4 千斤顶卸掉期间

千斤顶二次顶升,然后在桩帽缝隙中塞入钢板,在顶升中:

(1)桥墩上变化最大的监测点X3-1上升了1.0 mm,承台上沉降监测点,变化最大的监测点G6上升了0.9 mm;沉降均匀,无倾斜发生。

(2)桥梁及桥墩监测点变化最大的点是监测点TH10,X方向位移了0.7 mm,Y方向位移了0.7 mm,Z方向上升了1.1 mm。

(3)承台与新桩之间布设了8个电子位移计(百分表),变化最大的是D8号百分表,数据减小了1.15 mm,即上升了1.15 mm。

(4)新建承台及新桩受力变化最大的是“4298”号钢筋应力计,变化了10.45 kN。

千斤顶卸掉后,继续对其进行监测:

(1)桥墩上变化最大的监测点X3-2下降了0.9 mm,承台上沉降监测点,变化最大的监测点G1下降了0.8 mm;沉降均匀,无倾斜发生。

(2)桥梁及桥墩监测点变化最大的点是监测点TH10,X方向位移了0.5 mm,Y方向位移了0.2 mm,Z方向下降了0.6 mm。

(3)承台与新桩之间布设了8个电子位移计(百分表),变化最大的是D2号百分表,数据增大了1.08 mm,即沉降了1.08 mm。

(4)新建承台及新桩受力变化最大的是“4116”号钢筋应力计,变化了9.41 kN。

根据以上数据分析,西3号桥墩托换从顶升到千斤顶卸掉,最终数据稳定,和初始值相比,无明显变化。

结论:钢垫片从锁死到卸掉千斤顶后,一直是每小时监测一次,没有位移变化;与顶升前的初始读数对比:托梁、墩柱、箱梁最大位移为:上升0.2 mm。

(下转第119页)



图9 17#节点顶升15 mm道钉轴力图(单位:kN)

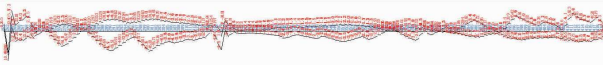


图10 17#节点顶升15 mm钢轨上下缘正应力图(单位:MPa)

大变化值仅为5.6 kN(拉),出现在边支墩靠近2#节点附近;钢轨应力最大变化值仅为10.4 MPa(拉),出现在边支墩靠近2#节点附近;由此可知在梁体顶升过程中,道钉和钢轨受力是安全的。

4 监测控制

在梁体顶升过程中,随着顶升量的增加,梁体的变形和内力都在不断变化。为保证顶升过程中的梁体安全,对梁体的变形和应力进行全过程监测与控制,其监测截面布置见图11,各截面测点布置见图12。



图11 监测截面布置图

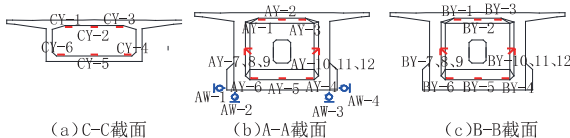


图12 各截面测点布置图

A-A截面:距17#节点墩中心线3.0 m处截面;2个竖向、2个横向变形测点,共计4个变形测点;3个顶板、3个底板纵向应力测点,腹板处布置2个应力花测点;共计12个应力测点。B-B截面:距64#节

点墩中心线3.0 m处截面;3个顶板、3个底板纵向应力测点,腹板处布置2个应力花测点;共计12个应力测点。C-C截面:距2#节点墩中心线3.0 m处截面;3个顶板、3个底板纵向应力测点,共计6个应力测点。

5 结语

(1)由17#节点梁体顶升10 mm和15 mm的计算结果可知,道钉和钢轨在梁体顶升过程中的受力较小,单个道钉的轴向拉力和钢轨的应力值均在安全范围内,满足顶升施工的要求。

(2)在对17#节点梁体顶升10 mm工况下,梁体上下缘均未出现拉应力,梁体处于安全状态;在对17#节点梁体顶升15 mm工况下,在梁体35#节点(第2跨右侧中支点附近),下缘出现最大0.4 MPa拉应力,虽未超出混凝土容许拉应力值,但施工单位在顶升时应引起重视,加强对梁体顶升高度的监控。

参考文献:

- [1] 崔海.某铁路钢桁梁桥支座病害整治设计及施工关键技术[J].中外公路,2019,39(2):169-172.
- [2] 崔洁,王树华.某连续刚构桥梁顶升支座维护关键技术[J].中外公路,2017(3):139-142.
- [3] 王永文.高铁预应力混凝土连续梁顶升更换支座模拟分析[J].国防交通工程与技术,2013(2):60-62.
- [4] 王新,赖广胜,周俊超.主桥支座更换对变截面连续梁桥结构性能的影响分析[J].现代交通技术,2012(3):54-56.
- [5] 夏铭.沪杭高速铁路无砟轨道结构桥梁支座更换施工技术研究[J].铁道标准设计,2011(6):107-109.

(上接第116页)

9 结语

西3、东5桥墩桩基础采用桩梁托换体系。通过预应力张拉和千斤顶顶升,将被托换桩荷载转移到托换桩上,同时将桥墩和上部结构变形控制在允许范围内的思路是正确的;

托换梁和既有承台采用植筋连接,并对新旧结构面进行界面处理。这样,可保证既有桥梁结构与托换梁之间的可靠连接和整体性,增强新旧结构之间的抗剪能力;

为确保桥梁结构及周边既有建(构)筑物的安全及正常使用,必须在整个托换过程中进行监控量测,同时根据监控量测结果指导后续工序施工。

参考文献:

- [1] 叶书麟,汪益基,涂光沁,等.基础托换技术[M].北京:中国铁道出版社,1998.
- [2] 史佩栋.桩基工程手册[M].北京:人民交通出版社,2008.
- [3] JTG D62—2004,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [4] JTJ022—85,公路砖石及混凝土桥涵设计规范[S].
- [5] JGJ 145—2013,混凝土结构后锚固技术规程[S].