

# 明挖地铁车站下穿高架桥桩基托换施工关键技术

宋虎<sup>1,2</sup>, 张道彬<sup>1</sup>, 喻青儒<sup>1</sup>

(1.中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040;2.长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 佛山市城市轨道交通二号线一期工程张槎站采用明挖顺做法施工, 禅西大道海口互通立交桥 13<sup>#</sup> 桥墩位于拟开挖基坑的中央, 充分考虑车站与立交桥桥墩的相互影响后采用扩大承台的桩基托换技术进行施工, 以保障基坑开挖过程中上部桥梁结构的安全。文中介绍了立交桥梁桩基托换过程中采用的临时顶升技术、扩大承台方案、托换施工过程及信息化施工监测技术, 总结了明挖车站下穿桥梁桩基托换过程中的施工经验。

**关键词:** 桥梁; 城市立交桥; 桩基托换; 托换体系; 地铁站

中图分类号: U443.15

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0137-04

随着中国对城市轨道交通投资力度的加大, 以地铁为主的城市轨道交通掀起了新一轮建设高潮。地铁区间线路或车站往往修建在市中心的繁华地带, 如何在地铁修建过程中减小对地表已有建筑结构安全的影响成为工程界最为关注的问题。基础托换技术可有效解决地铁在下穿既有建筑施工过程中导致的上部结构沉降问题。佛山市城市轨道交通二号线一期工程张槎站采用明挖顺做法施工, 禅西大道海口互通立交桥 13<sup>#</sup> 桥墩位于拟开挖基坑的中央, 为减小基坑开挖对桥梁上部结构的影响, 采用扩大承台的桩基托换技术。

## 1 工程概况

禅西大道高架桥为高架双曲线公路桥, 分为主线左、右幅桥, 每幅桥宽 13.25 m, 左、右幅主桥间净距约 1 m。采用预应力连续箱梁, 由于曲线桥梁受到车辆横向荷载的作用, 结构受力复杂, 对变形异常敏感。

拟建张槎站为佛山市城市轨道交通二号线一期工程第 5 座车站, 与佛山轨道交通四号线及广佛环线城际铁路换乘, 位于禅西大道高架桥下方(见图 1)。立交桥横跨季华路上方, 车站沿季华路敷设于地下, 车站约 63 m 长范围位于桥下, 桥下段车站覆土约 3.2 m, 基坑深约 17.35 m, 基坑总宽 50.3 m。

桥下净空约 6.3 m, 13<sup>#</sup> 墩位于基坑中央, 该桥墩在基坑开挖范围内的土体拟挖除, 12<sup>#</sup>、14<sup>#</sup> 墩分别位于基坑两侧。基坑中央 13<sup>#</sup> 墩承台距离主体结构墙分别约 2.1 及 2.3 m, 基坑北侧 12<sup>#</sup> 墩桥桩距离基坑围护最近约 4.1 m, 基坑南侧 14<sup>#</sup> 墩桥桩距离基

坑围护最近约 3.4 m。车站所在季华路为东西向主干道, 宽 45 m, 双向八车道, 车流量大, 交通繁忙。因此, 在现有交通情况下对 13<sup>#</sup> 桥墩进行桩基托换的施工难度很大。

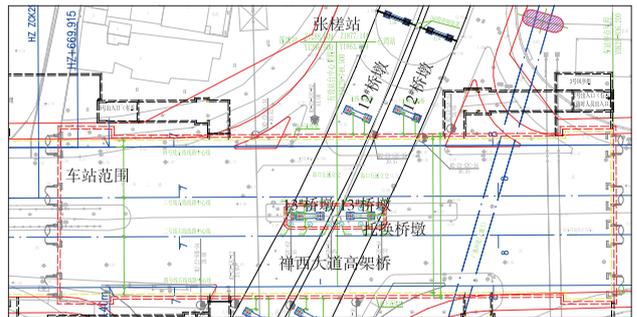


图 1 地铁车站与立交桥的平面位置关系

## 2 工程地质及水文地质特征

根据详勘资料, 场地范围内揭露的地层岩性主要有: 1) 填土层(Q4ml), 主要为素填土、杂填土; 2) 第四系海陆交互相沉积层(Q4mc), 主要为淤泥、淤泥质土、淤泥质粉砂、软塑状黏性土、可塑状黏性土及硬塑状黏性土; 3) 第四系冲洪积层(Q3+4al+pl), 主要为粉砂; 4) 残积土层(Qel), 主要为硬塑状黏性土; 5) 第三系华涌组(E2h) 风化岩层, 主要为全风化砂、泥岩, 强风化泥岩、砂质泥岩, 强风化砂岩、泥质砂岩, 中风化泥岩、砂质泥岩, 中风化砂岩、泥质砂岩。

站址处地下水的主要来源为破碎岩层的孔隙水与裂隙水。孔隙水主要存在于上覆第四系松散土层中, 钻孔揭示, 稳定地下水位埋深为 1.5~3.6 m(标

高 0.4~2.4 m),年变幅小于 2 m。主要含水层为砂层,水量丰富。基岩裂隙水赋存于下第三系砂、泥岩的节理裂隙中,含水量较少,因上部黏性土弱透水层的阻隔而微具承压性。

### 3 桩基托换设计方案

13# 桥墩位于基坑中央,其下方的桩基在车站基坑开挖范围内的土体将被挖除。由于桩基的上部结构为桥梁,车流量较大,对托换施工过程中及施工完成后的结构安全性有较高要求。托换施工采用可靠性相对较高、沉降控制更好的扩大承台桩基托换施工方式,即将原有承台扩大,并在扩大承台的外围增加 12 根临时托换桩。在托换桩施作前,做好 13# 墩的临时顶升系统,以控制托换桩施作过程中桥梁上部结构沉降。

#### 3.1 临时托换桩及托换桩设计方案

临时托换桩对应于箱梁腹板的位置采用钻孔灌注桩,直径为 1 200 mm,桩长 30 m,采用 C30 水下砼浇筑。13# 墩周围共设计 12 根托换桩,托换桩施工完成破除桩头后,将砼面打磨平整,在托换桩中心安装预压钢支撑,钢支撑在承台施工时可作为承台的支架,在托换桩反压时作为支撑件,并预埋在托换桩里。托换桩基布置见图 2。

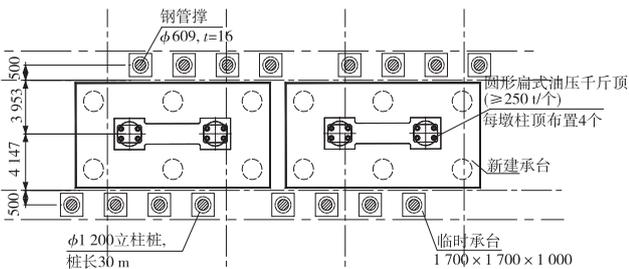


图 2 临时托换钢立柱布置示意图(单位:mm)

#### 3.2 扩大承台设计方案

由于增加了 12 根托换桩,原有承台需扩大,作为托换桩与桥梁墩柱的连接结构。托换桩施工完成后,凿毛原桥台及桩柱,完成承台浇筑。该承台体积较大,根据计算需预埋散热管。新建桩基承台与既有承台之间的连接处利用界面处理剂加植筋的方式进行加强,以抵抗剪切破坏力。新建承台浇筑过程中在每根托换桩相应位置预埋 2 根  $\phi 168$  mm 钢管,确保预埋钢管在浇筑承台砼时不被堵塞,用以后期浇捣托换桩与承台填充的微膨胀砼。同时在对桩纵向钢筋的位置预留连接钢筋,托换桩反压完成后

与托换桩钢筋焊接牢固。

### 4 桩基托换施工方案

基坑施工过程中需挖除 13# 桥墩下桩基周边的土体,由于减小了该桩基的承载力,加之托换桩与其他桩相距较近,托换桩施工过程中产生的附加应力会对其他桩的承载力产生影响,可能导致桥梁上部结构发生较大变形,如何在托换施工过程中保证原有桩基的承载力不受影响是关注重点。通过设置临时顶升系统、预压千斤顶等方法,保障桩基托换施工的顺利进行。

#### 4.1 临时顶升施工

临时托换钢管撑采用  $\phi 609$ 、厚 16 mm 钢管,钢管底部与底座(1 000×1 000×20) mm 钢板满焊,底座与条形基础上预埋螺栓连接牢靠,并加设三角钢板,增加钢管撑与钢板连接的稳定性。底座钢板与临时承台的间隙采用小钢条填充打紧或钢板底座施工时与临时承台间间隙采用结构胶找平。临时钢管撑高约 7 m,钢管节段之间采用法兰连接。采用 3 道 14a 槽钢作为横向连接,槽钢与临时钢管撑焊牢。顶升临时钢立柱布置见图 3。

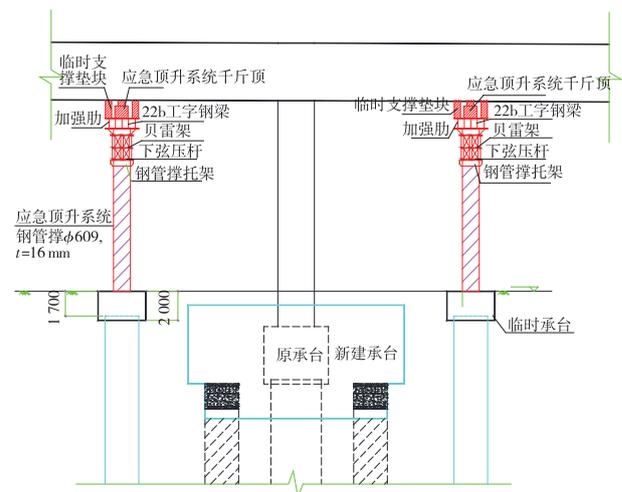


图 3 临时钢立柱布置(单位:mm)

#### 4.2 托换桩施工

托换桩采用 C35 钻孔灌注桩,直径为 1 500 mm,桩长为 30.85 m,且桩底进入中风化砂岩不小于 2 m。托换桩施工完成破除桩头后,将砼面打磨平整,在托换桩中心安装预压钢支撑,钢支撑周边植  $\phi 28$  的 7 字钢筋,植筋深度为 35 cm,桩面预留 15 cm,植筋桩面部分与钢支撑边角焊接,将钢支撑固定在托换桩上。钢支撑在承台施工时可作为承台的

支架,在托换桩反压时作为支撑件,并预埋在托换桩里。托换桩与承台间结构件布置见图4。

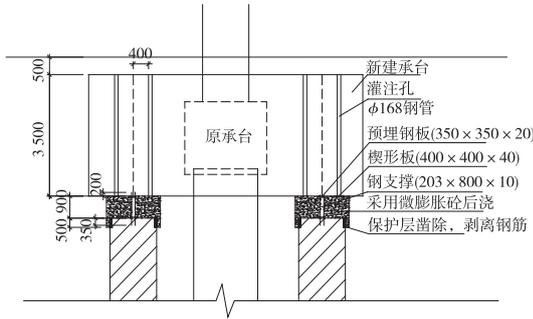


图4 托换桩与承台间结构件布置(单位:mm)

### 4.3 托换承台施工

托换桩施工完成后,对原有桩基进行检测并开挖,凿毛原桥台及桩柱后施工承台。桩基加强基坑深约4.1m,基坑保护等级为二级,采用放坡开挖,放坡坡率为1:1,面层喷100mm厚C20砼护坡,内置 $\phi 8@200 \times 200$ 钢筋网(见图5)。

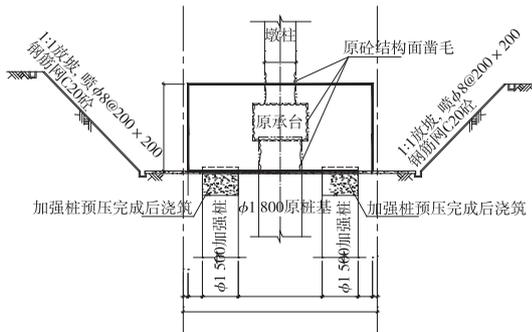


图5 承台开挖示意图

新建承台采用C35钢筋砼,承台尺寸为14700mm $\times$ 7700mm $\times$ 3500mm(长 $\times$ 宽 $\times$ 高)。新建承台浇筑过程中在每根托换桩相应位置预埋2根 $\phi 168$ mm钢管,用以后期浇筑托换桩与承台填充的微膨胀砼。预埋钢管沿纵向,距离托换桩中心两侧400mm侧进行布设(见图6)。

### 4.4 荷载转移

采用主动托换法对托换桩基进行预压,即采用承台与托换桩相结合的方式,托换桩与承台各自独立施工,待桩基托换受力转换后组成刚性整体结构,待托换桩与扩建承台达到设计强度后进行预压加载。托换施工时,在新承台与新桩基之间设置千斤顶进行加载,其目的如下:1)使上部结构所承受荷载传递到新建托换桩基上;2)通过千斤顶的预顶升抵消新建托换桩的大部分位移。实现这两个目标,

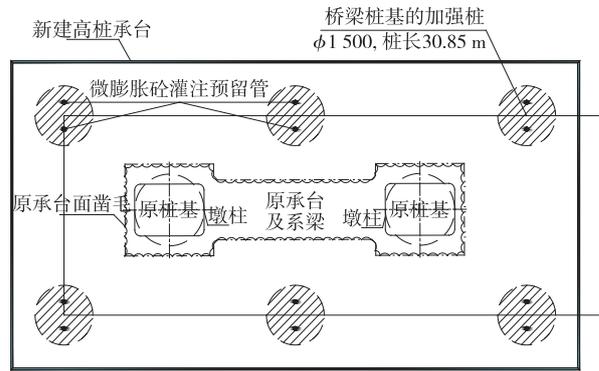


图6 微膨胀砼预留管布置

就达到了利用托换桩代替原有桩基的效果。

在每根预顶桩与承台间布置2台带自锁装置的DYG150-160液压千斤顶,布置在钢支撑的两侧,预压千斤顶与承台及托换桩桩面接触处设置(400 $\times$ 400 $\times$ 20)mm钢板。预压千斤顶与承台间的空隙用小号钢支撑支垫,确保钢支撑稳定牢靠(见图7)。

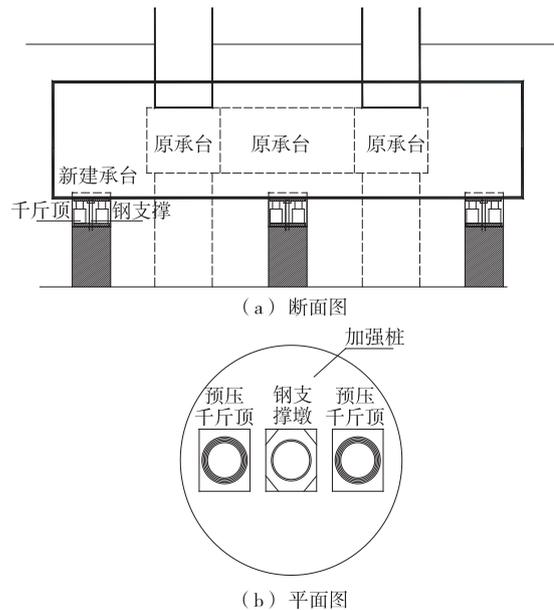


图7 托换桩预压千斤顶布置

## 5 施工监测

由于桩基托换工程对结构受力和变形有较高要求,在施工过程中利用信息化施工技术实时监测结构的变形和受力,结合工程实际,重点监测桥梁线形、承台沉降及桩基沉降倾斜情况等。1)桥梁线形监测。桩基托换施工过程中的土体注浆、止水旋喷、地下围护结构施工、基坑开挖都会造成桥梁上部结构发生不均匀沉降,导致桥梁结构破坏,对运营安全

造成极大威胁。在托换桩基影响区域的上部结构每跨支点、 $L/4$ 、 $L/2$ 处各布置2个测点,利用拓普康DL-111C精密电子水准仪+钢瓦尺,依据二等水准要求监测测点的沉降。2)桥梁应力监测。托换桩上部结构为三跨连续梁,托换施工过程中桥梁墩柱如果发生不均匀沉降,会导致连续梁产生较大附加应力,造成梁体破坏。在托换施工影响区域的上部结构每跨距离支点1.5 m处和 $L/2$ 处选择应力监测断面,每个断面布置28个应力监测点,粘贴应变片监测桥梁应力。3)承台变形监测。桩基托换过程中,灌注桩的前期沉降会导致承台随桩基一起下沉,千斤顶加荷、原有桩基破坏还会使承台产生一定挠度。过大的变形不仅会破坏承台,还会导致上部桥梁破坏。在被托换桩两侧及被托换桩与两端千斤顶的中点处各布置1个变形测点,安装电子百分表测试梁体挠度,根据实测数据计算承台挠度。4)

托换桩基上部桥墩竖向变形监测。桩基托换施工会对上部结构变形产生重大影响,为保证桥梁结构的安全,必须把这个变形限制在一定范围内。在托换施工影响区域左右幅桥墩每墩布设1个监测点,利用静力水准仪对桥墩竖向位移进行监测,根据监测结果计算托换桩每次顶升施工过程中桥墩的沉降。5)托换桩桩顶与承台之间变形监测。对托换桩与托换大梁之间的相对位移进行监测,在此基础上考虑桥墩的竖向位移可计算出托换桩的实际沉降值。在托换施工影响区域每个托换桩的桩顶与托换大梁之间布置位移监测点,安装电子位移计对托换桩与托换大梁之间的相对位移进行测量。6)桥梁倾斜监测。在托换施工影响区域的各桥墩顶布设1台倾斜仪(桥台左右幅各1个),在桩基托换施工过程中及完工后对桥梁纵横轴的倾斜情况进行监测。监测警戒值、控制值和监测频率见表1。

表1 监控项目警戒值、控制值及监测频率

监测项目	测点数量/个	警戒值	控制值	监测频率
桥梁线形	26	按被托换桥墩最大允许		桩基托换施工期间实时监控
梁桩相对位移	25	沉降5 mm 控制		桩基托换施工期间实时监控
承台变形	24	1.5%	2%	土方开挖过程中2 d 监测1次;桩基托换施工期间实时监控
桥墩竖向位移	16	4.0 mm	5.0 mm	土方开挖过程中1 d 监测1次;桩基托换施工期间实时监控
新桩顶部位移	16	20 mm	30 mm	土方开挖过程中1 d 监测1次;桩基托换施工期间实时监控
桥梁倾斜	8	1.5%	2%	土方开挖过程中2 d 监测1次;桩基托换施工期间实时监控

## 6 结语

为在保障桥梁运营安全的前提下顺利完成桩基托换施工,需注意以下几点:1)控制桥梁沉降以满足桥梁稳定性要求是托换施工的主要目的,施工中采用预压主动托换,将新增托换桩沉降通过预压予以消除,并在托换桩与承台间采用膨胀砼连接,大大降低托换后基础沉降,将承台最终沉降控制在规范许可范围内。2)托换基桩长度大于原基础基桩长度,托换桩基为嵌岩桩,嵌岩桩对基础沉降控制较为有利且其沉降稳定较快,能有效通过预压消除桩基沉降,托换桩采用嵌岩桩可有效提高工程可靠性。3)桩基托换过程中,在新增托换桩受荷前,由于承台周边土体的开挖大大削弱了桩基的承载能力和稳定性,施工过程中采用临时顶升系统承担托换期间的荷载,保障托换施工安全。4)施工与监测互相联动,在托换施工的各阶段对监测结果进行分析,及时

的数据分析与反馈动态调节机制能有效保障施工安全、高效进行。

## 参考文献:

- [1] 袁顺德,徐仁中,刘玉勇,等.砂卵石地层桥桩受地铁车站桩基托换影响的分析[J].四川建筑,2016,36(5).
- [2] 周志伟.深圳地铁大轴力桩基托换技术[J].隧道建设,2003,23(4).
- [3] 陈安生,吴义.深圳地铁3号线广深铁路桥桩基托换技术[J].铁道标准设计,2011(5).
- [4] 彭芳乐,孙德新,袁大军,等.地下托换技术[J].岩土工程界,2003,6(12).
- [5] 李文,蒋双南,左敏,等.地铁车站高架桥墩下桩基托换施工监测技术[J].土木建筑工程信息技术,2016,8(1).
- [6] 王玉峰.地铁桩基托换施工技术措施[J].山东交通科技,2010(5).