

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.03.044

盾构隧道下穿软弱土层既有人行天桥桩基设计探讨

徐树斌, 万 送

(武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430023)

摘 要: 地铁盾构隧道下穿软弱土层既有人行天桥钢筋混凝土桩基, 设计中采用扩大基础对人行天桥桩基进行被动托换, 同时在有限的桥下空间采用松木桩加固扩大基础底部软弱土层, 结合加强盾构管片配筋、设置地面临时托换支架等措施, 确保盾构机直接切削桩基通过后, 地面天桥满足正常使用条件、高含筋量混凝土管片的强度及刚度均满足要求。该综合处理方式避免了人行天桥的拆除和二次新建, 产生了显著的经济及社会效益。

关键词: 被动托换; 土层加固; 管片加强; 托换支架; 切削桩基

中图分类号: U455.43

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0168-04

0 引言

城市轨道交通是现代大都市交通的发展方向, 发展轨道交通是解决大都市病的有效途径, 也是建设绿色城市、智能城市的有效途径, 城市轨道交通的大发展已成为趋势。由于城市轨道交通工程在城市中建设, 地表建(构)筑物、地面交通、地下管线等周边环境复杂, 盾构隧道因对地面环境影响小、受地面条件限制少、费用低等优点而被广泛应用于地铁区间。地铁盾构隧道在建设过程中有时受条件限制, 需穿越少量地下障碍物, 比如人行天桥钢筋混凝土桩基。盾构隧道施工时, 既要清除隧道范围内的桩基, 又要确保人行天桥的正常使用, 这就需要我们进行设计创新, 采取特殊的设计措施满足工程需要。以下结合某地铁盾构区间对侵入盾构范围的钢筋混凝土桩基的处理设计进行阐述。

1 工程概况

1.1 区间概况

区间隧道长约 1 434 双线米, 采用盾构法施工, 管片外径为 6.2 m, 内径为 5.5 m, 管片厚度为 0.35 m, 采用 C50 钢筋混凝土。区间左线隧道在车站接收工作井外约 70 m 处下穿一处人行天桥, 人行天桥主跨中墩桩基侵入盾构隧道范围, 盾构隧道与桩基相互关系如图 1、图 2 所示。人行天桥主跨采用两跨 (24.0 m+23.0 m) 钢箱梁, 人行天桥桥面净宽 4.0 m。

主跨中墩采用桩柱式基础, 桩基为摩擦端承桩, 桩直径为 1.0 m, 采用 C30 水下钢筋混凝土, 主筋采用 18 根 $\Phi 25$ 钢筋, 中墩位于快速路中央分隔带。

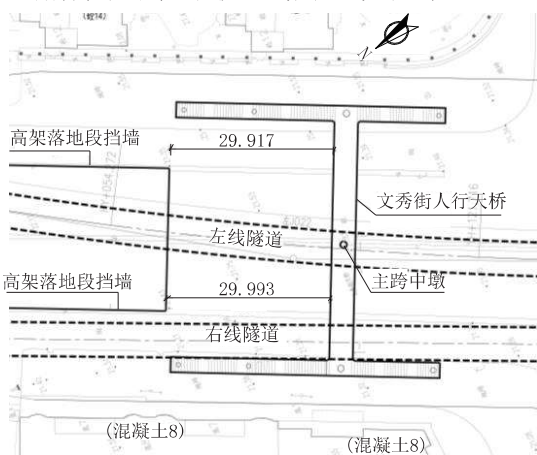


图1 盾构隧道与桩基关系平面图(单位:m)

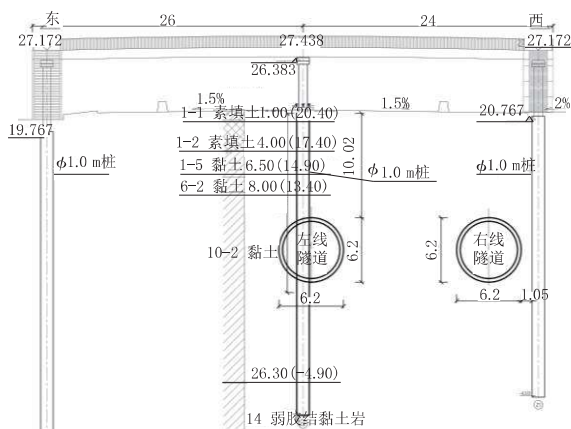


图2 盾构隧道与桩基关系剖面图(单位:m)

人行天桥跨越的快速路为双向六车道(主路)+三车道(辅路), 地面车流量大, 前期地铁车站施工导致快速路在 1.2 km 范围内仅有此一处过街通道。故此天桥需保持行人过街功能, 不得拆除, 且尽可能减

收稿日期: 2021-04-23

作者简介: 徐树斌(1982—), 男, 本科, 高级工程师, 从事隧道与地下工程结构设计及咨询工作。

小施工期间对快速路的影响。经多次方案比选,采用地面扩大基础托换桩基+盾构管片加强设计+盾构切削桩基^[1]+地面临时托架的设计方案。

1.2 工程地质及水文地质概况

场地为武汉市三级阶地剥蚀堆积平原区向湖泊堆积平原过渡, 从上往下依次为 1-1 杂填土(Q^{ml})、1-2 素填土(Q^{ml})、黏土(Q^l)、6-2 黏土(Q^{al+pl})、10-2 黏土(Q_{2-3}^{al+pl})、14 弱胶结黏土岩(N)。场地地下水主要为上层滞水、层间水、基岩裂隙水及岩溶水。

武汉地区的建筑抗震设防烈度为 6 度,设计基本地震加速度值为 $0.05g$,所属设计地震分组为第一组。地震作用按 6 度考虑,应按 7 度加强其抗震措施。

2 桩基托换设计

由于快速路仅允许临时封闭两股车道(双向各一车道),为减小桩基托换施工时对快速路的影响,同时考虑施工条件、工期影响,经方案比较后,天桥主跨中墩桩基采用扩大基础进行被动托换,同时设置临时顶升支架控制托换及盾构施工中主梁沉降及倾斜。

地表以下 6.5 m 范围依次为 1-1 杂填土、1-2 素填土、1-5 黏土, 扩大基础底天然地基承载力不满足要求, 对扩大基础底部采用 $\phi 150@550$ 松木桩进行地基加固, 如图 3、图 4 所示。

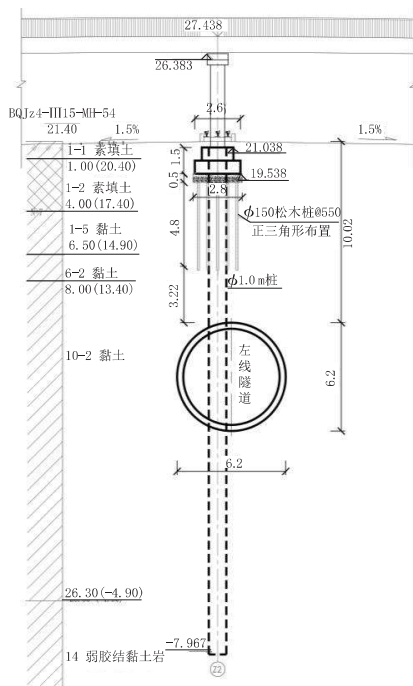


图 3 桩基托换横剖面图(单位:m)

桩基托换施工过程如下: 施工打围, 管线迁改→打入钢板桩, 基坑开挖施工→施工松木桩→架立临时支架 (用千斤顶向上顶升 3 mm 并维持状态恒定)→凿除桩基表面的混凝土露出桩基主筋, 将桩基主

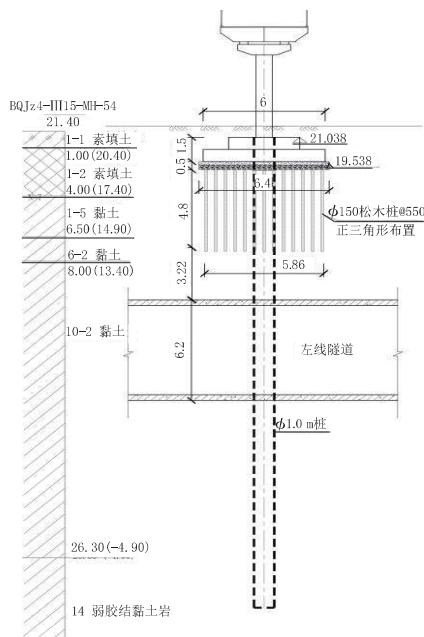


图 4 桩基托换剖面图(单位:m)

筋与扩大基础主筋牢靠焊接,绑扎承台钢筋,浇筑扩大基础混凝土→扩大基础混凝土强度达到要求后,利用预埋的混凝土锯切断桩基与承台连接→回填基坑,恢复路面,拆除临时支撑,现场施工如图 5、图 6 所示。



图 5 现场临时支架图



图 6 扩大基础钢筋施工图

2.1 扩大基础设计

根据计算结果,扩大基础竖向荷载设计值为 1 132.3 kN。结合人行天桥荷载、扩大基础底土层条件、地面施工场地等,扩大基础采用 C30 钢筋混凝土扩大基础,基础平面尺寸为 2.6 m × 6.0 m,厚 1.5 m,

埋深约 2.2 m。基础底部设置 30 cm 厚碎石 +20 cm 厚 C20 素混凝土垫层。扩大基础基坑深度约 3.0 m,采用Ⅳ型拉森钢板桩支护,由于天桥主梁底净高仅 5.1 m,钢板桩按 3 m 一截打设,采用鱼尾钢板连接。扩大基础通过设置放射性抗剪钢筋与桩基钢筋连接,增强抗剪。扩大基础设计如图 7、图 8 所示。

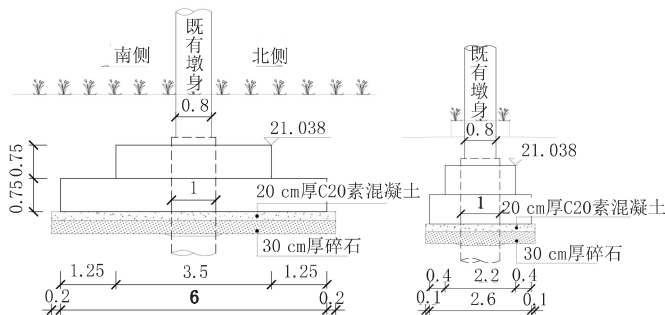


图 7 扩大基础剖面图(单位:m)

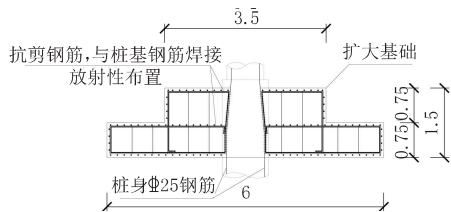


图 8 扩大基础抗剪钢筋布置图(单位:m)

2.2 扩大基础基底处理

扩大基础底位于 1-2 黏土,天然地基不满足要求,需对基底进行加固处理。由于桥底净高 5.1 m,且地面施工场地狭小,经研究、比较,采用松木桩复合地基。 $\phi 150@550$ 松木桩,正三角形布置,有效桩长 4.8 m。

3 管片设计

根据详勘报告,该区间天桥段位于长江三级阶段,隧道洞身覆土约 10.02 m,判定为浅埋隧道。

3.1 天桥托换扩大基础附加荷载计算

文秀街天桥托换扩大基础平面尺寸为 $2.6 \text{ m} \times 6.0 \text{ m}$,采用 C30 钢筋混凝土基础,扩大基础底部采用 0.5 m 垫层(0.2 m C20 素混凝土 +0.3 m 碎石),基底采用 $\phi 150@550$ 松木桩进行加固,松木桩进入 6-2 黏土层,桩长 4.8 m(不含桩尖),参照《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)第 5.4.1 条^[2],基底的附加应力为 153.1 kPa(扩大基础顶的竖向荷载设计值为 1 130 kN,弯矩为 544.4 kN·m)。

盾构下穿前,原有桩基已与扩大基础断开(通过预埋混凝土锯,将原桩基锯断),桥梁扩大基础底的附加荷载分为两种工况:

工况 1:扩大基础仅承受竖向荷载(无桥墩弯矩),

扩大基底附加荷载为矩形布置,附加荷载为 80.0 kPa,换算为管片顶附加荷载为 46.8 kPa。

工况 2:扩大基础承受竖向荷载及桥墩弯矩作用,扩大基底附加荷载为三角形布置,最大附加荷载为 153.1 kPa;换算为管片顶最大附加荷载为 89.78 kPa。

3.2 水土压力及地表活载计算

浅埋隧道垂直土压按全土柱高度取值,水土合算计算荷载,取无水最不利工况计算。

3.3 管片内力计算结果及配筋

盾构隧道采用修正惯用算法进行计算^[4],地层弹簧设置为只受压弹簧,刚度按详勘报告选取。管片的刚度折减系数 $\eta=0.75$,管片错缝拼装的弯矩增大系数 $\zeta=0.3$ 。

盾构管片采用 C50 混凝土,外径为 6.2 m,壁厚 0.35 m,均分 6 块,错缝拼装,计算模型如图 9 所示。

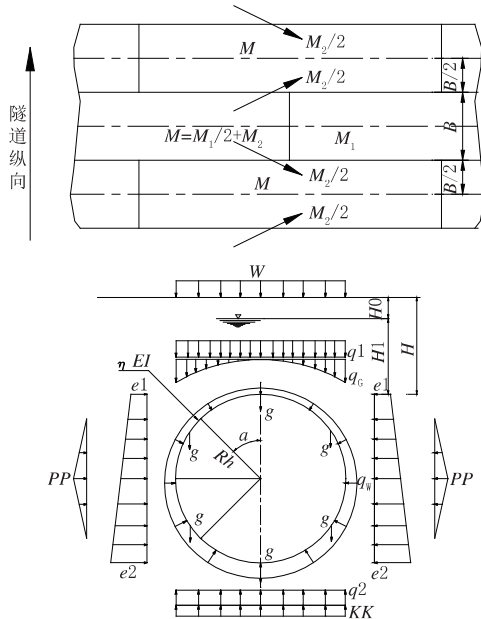


图 9 计算模型

采用 SAP84 进行有限元计算,内力结果见表 1。

表 1 管片内力值表

序号	位置	正常使用状态 准永久组合		承载力极限状态 基本组合	
		弯矩 / (kN·m)	对应轴力 /kN	弯矩 / (kN·m)	对应轴力 /kN
1	拱顶管片内侧	302 (323)	686 (698)	458 (491)	1046 (1067)
2	拱腰外侧	238 (250)	1065 (1143)	362 (380)	1623 (1743)
3	底部内侧	125 (125)	905 (945)	191 (191)	1374 (1433)

注:括号外的数字为工况 1(扩大基础底均布附加应力)内力,括号内的数字为工况 2(扩大基础底不均匀附加应力)的内力。

根据管片计算内力值,管片内侧受力筋采用 10 Φ 28,管片外侧受力筋采用 12 Φ 25。

3.4 螺栓选用

经核算管片纵、环向连接螺栓采用 8.8 级普通螺栓不能满足受拉要求,采用机械性能等级 10.9 级高强螺栓替代 8.8 级普通螺栓。

4 结 论

(1)在软弱土层中采用扩大基础对人行天桥桩基进行被动托换,通过对基底土层进行预加固(松木桩加固)后,能满足天桥的承载力及变形的要求。

(2)采用适当增大配筋的管片及 10.9 级高强度螺栓,可提高管片的承载力,替代钢管片。

(3)盾构穿越桩基时,应将桩基与扩大基础提前断开;盾构慢速推进时(推进时速不大于 5 mm/min),可切削人行天桥桩基中 Φ 25 钢筋。

(4)目前隧道已经贯通,人行天桥及管片监测均满足正常,后期在运营期间仍需加强监测。

(5)人行天桥多采用桩柱式基础,对地下空间应用的影响较大,建议人行天桥多采用扩大基础,减少对地下空间的占用。

地铁盾构隧道下穿软弱土层既有人行天桥钢筋混凝土桩基,可通过扩大基础进行被动托换,但需做好扩大基础沉降、盾构管片受力、盾构施工控制、地面临时支架等措施。目前盾构管片较少采用 10.9 级高强螺栓,仍需在今后的工程设计中不断地总结。

参考文献:

[1] 傅德明.盾构切削混凝土模拟实验和切削桩基施工技术[J].隧道建设,2014,5(34):472.

[2] JGJ 94—2008,建筑桩基技术规范[S].

[3] 桩基工程设计手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.

[4] GB 50157—2013,地铁设计规范[S].

(上接第 163 页)

第 3 层混凝土支撑轴力明显大于其它层钢支撑,分别约为支撑轴力设计值的 63%和 31%。

参考文献:

[1] 胡化刚,上海市某地块基坑监测数据成果分析[J].测绘通报,2020(S1):32-37.

[2] 巍刚,华鑫欣,虞兴福,杭州某地铁车站深基坑开挖施工监测分析[J].武汉大学学报,2016,49(6):917-925.

[3] 王卫东,上海地区深基坑周边地表变形性状实测统计分析[J].岩土工程学报,2011,11(3):1659-1666.

[4] 丁智,王达,王金艳,等.浙江地区软弱土深基坑变形特点及预测分

析[J].岩土力学,2015,36(s1):507-512.

[5] 丁智,王达,虞兴福,等.杭州地铁新塘路、景芳路交叉口工程深基坑监测分析[J].岩土工程学报,2013,35(S2):445-451.

[6] 孟长江,福州站北广场深基坑工程实例分析[J].铁道工程学报,2015(10):38-43.

[7] 何桥敏,胡卫国,基于随机介质理论的基坑地表沉降计算方法研究[J].现代隧道技术,2019(1):65-71.

[8] 贾航,刘航,安建永,等.复杂环境下某深基坑开挖施工监测与数值模拟分析[J].建筑结构,49(S1):746-750.

[9] 徐江,龚维明,等.软土区某地铁深基坑施工过程数值模拟及现场监测[J].东南大学学报,2017,47(3):590-598.