

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.06.064

轨道高架桥下基坑开挖的相关措施及研究分析

高 晶, 戴 源

[悉地(苏州)勘察设计顾问有限公司, 江苏 苏州 215128]

摘 要:近年来,越来越多的工程建设与已建轨道的关系越来越密切,施工环境也越来越复杂。以春申湖路快速化改造中元和塘东隧道基坑下穿轨道2号线高架为例,通过开挖施工中采取的一系列技术措施(MJS工法、开挖工序安排、应用支撑自动轴力补偿系统、加强监测等),并运用数值模拟软件,建立地上地下整体模型,将结果与过程监控数值对比,确保了轨道交通结构稳定和运营安全,为今后难度大、复杂程度高的城市建设施工提供了很好的借鉴作用。

关键词:深基坑;轨道高架;MJS;轴力补偿;有限元模拟;施工监测

中图分类号: TU46+3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0246-04

0 引 言

随着可持续发展理念的提倡,各地越来越推荐轨道交通这种绿色出行的方式,因此各大城市的轨道交通建设也大力发展起来。与此同时,各地的基建工程仍然如火如荼的进行着,这就必然会出现运营在运营的轨道交通线路附近的进行基坑开挖的情况。如何在这种错综复杂的条件下既保证基坑的顺利施工,又最大限度的减小对邻近的轨道交通线路的影响是工程中需要解决的问题。

本文结合苏州市相城区春申路改造工程中元和塘东隧道采莲路节点的特殊环境,对紧邻运营2号线高架线路的基坑进行分析,探讨采取哪些措施来减小基坑开挖对轨道高架桥的影响。

1 工程概况

元和塘东隧道是春申湖路快速化改造重要组成部分,全长2860 m。主线西入口敞开段长166 m,暗埋段里程长2519 m,主线东出口敞开段长度175 m。隧道在采莲路口下穿轨道交通2号线,相交角度基本为直角。在此节点处,轨交2号线为高架区间形式,见图1。南侧200 m为轨道2号线徐图港站。轨交2号线已开通运营6 a。轨道高架桥西侧为现状采莲河,隧道需同步下穿该河道。

根据轨道设计资料,此处轨道高架区间在设计时已考虑对本项目的预留,高架桥跨径为60 m,钻孔



图1 采莲路节点平面图

桩长度在满足荷载的情况下进行了适当加深了10 m左右,单桩承载力富裕约1500 kN。北侧桥墩承台距离隧道结构外侧为10.11 m,距离止水帷幕为6.71 m;南侧桥墩承台距离隧道结构外侧为12.19 m,距离止水帷幕为8.79 m。

隧道西侧采莲河桥需同步恢复。河道宽度20 m。隧道投影范围内的桥梁采用共建箱涵的形式,跨径布置形式为7 m+8 m+7 m。隧道两侧范围的桥梁采用桩基础埋置式桥台,跨径布置形式为3~8 m,将桥台设于现状驳岸后,减小拆除驳岸及桥台开挖对轨道桥墩的影响。南侧桥梁钻孔桩距离现有轨道桩基最小距离为4.4 m。北侧桥梁钻孔桩距离现有轨道桩基最小距离为6.6 m,见图2。

该位置基坑宽度为31.8 m,深度15.8 m。隧道结构为单箱双室箱体,顶板厚度1.4 m,底板厚度1.5 m,侧墙厚度1.4 m,中墙0.5 m。每个箱室净宽13.1 m,中管廊宽度1.8 m。

2 地质概况

工程所在地为苏州地区典型地质,沿线现为绿化、厂区、河道、店铺、道路等,场地属长江三角洲太湖

收稿日期: 2020-11-30

作者简介: 高晶(1980—),男,硕士,高级工程师,从事桥隧设计工作。

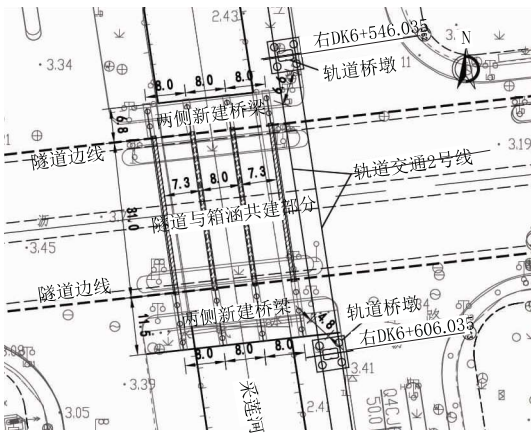


图2 新建桥梁与轨道桥墩的关系平面图(单位:m)

流域冲湖积平原区,地貌形态单一,水系发育。地下水常年水位(黄海标高)在 1.10 ~ 1.30 m,根据其岩性特征及其物理力学性质的差异性,可划分为 10 个工程地质层,自上而下的主要土层名称及其物理力学指标见表 1,其中基底位于④层土中。

表 1 地层土质特性表

土层名称	土层厚度	重度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	直剪固快 C_q	
				黏聚力 C_{cq}/kPa	内摩擦角 $\phi_{cq}/(^{\circ})$
① ₂ 杂填土	约 2.5 m	1.92	4.43	*5.0	*12.0
③ ₁ 黏土	约 3.3 m	2.01	6.91	58.2	15.3
③ ₂ 粉质黏土	约 2.1 m	1.94	5.08	26.4	14.4
④ ₁ 粉质黏土	约 3.2 m	1.89	5.47	21.8	14.7
④ ₂ 粉土	约 4.5 m	1.94	10.41	7.7	30.9
⑤ 粉质黏土	约 4.6 m	1.89	4.82	20.9	13.6
⑥ ₁ 黏土	约 6.3 m	2.04	7.10	59.9	15.6
⑥ ₂ 粉质黏土	约 8.1 m	1.95	5.37	31.8	14.4
⑦ ₁ 粉质黏土	约 5.5 m	1.91	4.62	22.7	13.4
⑦ ₂ 粉土夹粉质黏土	约 6.2 m	1.93	8.87	12.3	19.3
⑧ ₁ 粘土夹粉质黏土	约 3.7 m	2.01	6.39	46.7	15.1
⑧ ₂ 粉质黏土夹粉土	约 5 m	1.93	6.70	19.4	17.7

3 围护方案及相关措施

3.1 支护选型分析

本次围护方案选型应考虑以下一些重点:

- (1) 基坑开挖应确保邻近地铁结构安全,控制地铁车站变形在轨道公司要求的范围之内;
- (2) 支护结构体系的稳定性、可行性及适宜性: 优先选用具有成熟经验的支护形式, 满足基坑支护整体稳定性的要求;

- (3) 控制基坑开挖及地下结构施工期间对周边环境的影响;
- (4) 在保证基坑及周边环境安全稳定条件下尽量考虑缩短工期和施工方便;
- (5) 尽量节约工程造价;
- (6) 基坑分区及施工工序需充分考虑空间、时间、环境上的限制条件。

结合大量类似工程经验,对于此类深基坑工程,目前常采用的基坑开挖施工方案主要采用明挖顺作法。对于明挖顺作法开挖形式,施工经验较为成熟,只要支护体系设计合理,完全能满足基坑自身及周边环境的安全要求,施工工期也可以合理控制。综上所述,推荐本工程基坑开挖形式采用顺作法开挖的施工方案。

3.2 支护设计方案特点

- (1) 独立分坑,将基坑开挖影响范围减小

为减小基坑开挖的空间效应影响,隧道位于下穿轨道 2 号线高架桥区段的基坑进行独立分坑,轨道桥梁两侧各 30 m 范围设置封堵墙与常规段隔离开,总长 55 m。基坑保护等级为一级。该节点范围基坑深度约 15.8 m。

- (2) 采用矮机架特殊钻孔桩机及 MJS 微扰动加固技术

轨道 2 号线高架桥下仅有约 9 m 净空,施工条件受到很大限制,同时还需要考虑对轨道高架桥墩的保护。综合以上因素,本范围围护结构采用 $\phi 1\ 200@1\ 400\ \text{mm}$ 钻孔灌注桩 + $\phi 2\ 400@1\ 400\ \text{mm}$ 双排 MJS 止水帷幕的形式,基坑竖向布设 5 道支撑(第一道撑为混凝土支撑,第二~五道撑采用钢支撑,中间设置钢格构柱),见图 3、图 4。

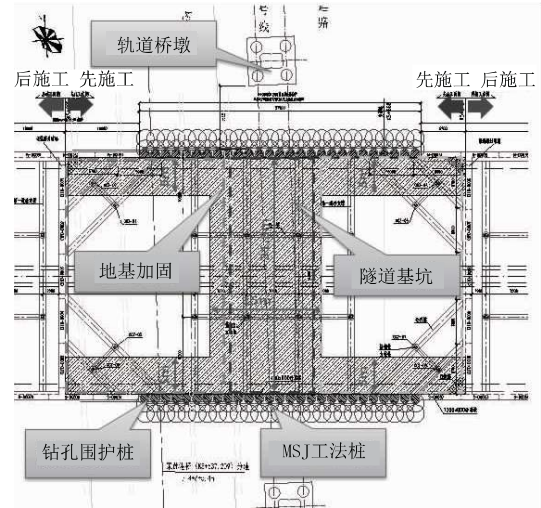


图3 采莲路节点围护结构平面图

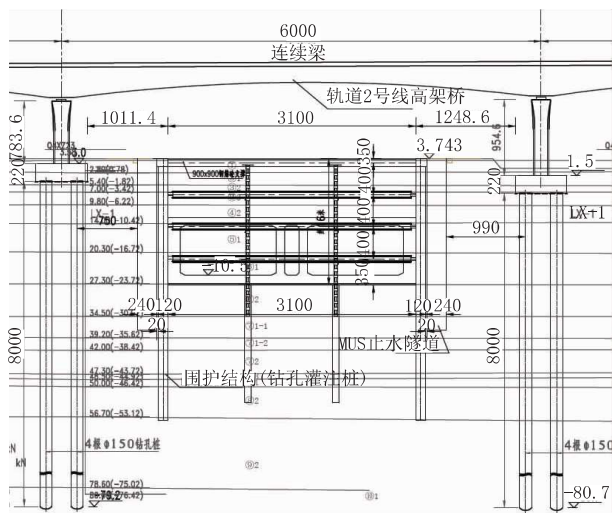


图4 采莲路节点围护结构横断面图(单位:cm)

(3) 加大钢支撑规格并应用支撑自动轴力补偿系统

为了控制基坑施工的变形,确保轨道2号线的安全运行,对基坑施工的钢支撑系统采用刚度较大的800 mm钢支撑,并设置自适应液压伺服基坑位移变形控制系统,以始终保持轴力在设计值和控制围护结构变形,保证地铁运营安全。

钢支撑预应力施加的要求:第二道施加460 kN,第三道施加1300 kN,第四道施加1000 kN,每道均分2次施加。

(4) 合理设置地基加固,确保基坑稳定

该范围基坑底位于⑤粉质黏土,该层土体压缩性中等偏高,经计算需要对支护的踢脚进行土体加固才能满足坑底隆起的稳定性计算要求。同时考虑对轨道投影范围内的土体进行全部加固,形成坑底的刚性支撑,可以有效改善支护结构的变形。

因此综合以上因素,对盖范围基坑采用“工”字型加固,在满足稳定性要求的基础上,改善轨道高架桥下的土体变形控制。

(5) 合理安排挖土工序,减少基坑暴露时间

首先整体开挖至距离基底2 m时停止,按如下顺序分块开挖:

先将轨道桥下10 m范围内土体开挖至基底,迅速浇筑垫层及此部分底板;再将轨道高架东侧20 m范围内土体开挖至基底,迅速浇筑垫层及此部分底板;最后将剩余西侧范围内土体开挖至基底,迅速浇筑垫层及此部分底板。底板浇筑完毕后按设计要求进行拆撑和浇筑侧墙、顶板的工作。

施工期间破除采莲路西侧20.2 m宽河道上的桥梁,后期隧道上方恢复成箱涵型式,两侧以桥梁形式

恢复。桥梁边跨设于现状驳岸后,采用埋置式桥台,避免开挖桥台基坑对轨道高架桥承台的影响。

4 计算分析

4.1 有限元分析模型

本次评估分析选取MidasGTS作为计算平台。基坑深度约15.4 m,地铁区间桩长82 m。结合经验,本模型计算深度取90 m;基坑东西最宽约69 m,南北最宽约35 m,地铁2号线徐图港站~蠡口站高架区间上跨基坑,基坑距离区间桩基最近处约8.4 m。本模型东西方向的计算宽度取为200 m,南北方向的计算宽度取为150 m。对计算区域内的土体、围护结构、轨道高架区间结构进行了三维建模,土体、地铁承台及桥墩采用实体单元,基坑支护采用板单元,车站区间结构中的桩基础、支护结构中的水平支撑、围梁等采用梁单元。建立的“地铁-基坑-围护”计算模型见图5。

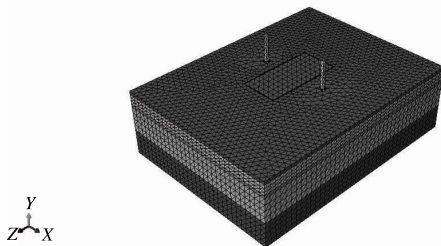


图5 本工程有限元计算模型

4.2 本构模型和计算参数

地基各土层采用弹塑性D-P模型。根据本工程的地质勘察报告中的土工试验取值,各层土的 C 、 φ 取直剪固快试验指标计算。

在基坑开挖、支护施工过程中,系统受重力场作用,并考虑基坑周边10 m范围内作用20 kPa的车辆载荷。区间高架以荷载的形式加载在高架桥墩上。

4.3 计算结果

(1) 基坑工程(见表2)

表2 基坑位移数据

基坑位移	位移/mm	控制标准/mm	是否满足
桩顶侧移 UX	15.6	25	满足
坑底隆起	14	-	-
地表沉降	13.3	25	满足

(2) 轨道高架区间结构(见表3)

计算结果表明,以上数据均在轨道交通安全保护标准的可控范围内。

(3) 基坑整体稳定性验算

除了有限元分析,同时采用理正软件对基坑的

表 3 轨道高架桥位移数据

高架区间位移及所在部位	位移值 /mm	控制标准 /mm	满足与否
最大侧向(Z向)位移	0.05	≤10	满足
最大侧向(X向)位移	1.4	≤10	满足
最大竖向位移	1.6	≤10	满足
最大总位移	2.1	≤10	满足

整体稳定、倾覆等指标进行验算,按安全等级一级基坑考虑,均满足规范要求结果见表 4。

表 4 基坑稳定计算数据

相关项目	计算结果	规范要求	是否满足
开挖深度	15.5		
嵌固深度	19.5		
整体稳定性安全系数	1.672	1.35	满足
抗倾覆安全系数	1.497	1.25	满足
坑底隆起安全系数	2.232	2.2	满足
墙底隆起安全系数	3.12	1.8	满足

5 施工监测

5.1 监测原则

施工监测可以判断施工工艺和施工参数是否符合预期要求,以确定和调整下一步施工,确保施工安全。将现场测量的数据与理论预测值比较,用反分析法进行分析计算,使设计更符合实际,便于以指导今后的工程建设。

5.2 监测报警值

(1)围护结构变形控制值

围护结构深层水平位移不大于 1.4‰H;地下二层范围约为 18 mm,变化速率不大于 1 mm/d;地下四层范围约为 28 mm,变化速率不大于 1 mm/d。

(2)水位变化值

坑外水位下降(潜水与微承压水):500 mm,变化速率 200 mm/d。

(3)轨道交通结构变形控制要求

轨道交通结构绝对沉降量及水平位移量不大于 10 mm;隧道变形曲线的曲率半径 r 不小于 15 000 m;结构相对弯曲曲率不大于 1/2 500;日轨道交通结构沉降量和水平位移量不大于 1 mm。

5.3 监测结果

目前该范围基坑已完成底板和侧墙的浇筑。目前监测结果见表 5、表 6。

表 5 轨道高架桥桥墩监测结果

监测项目	桥墩沉降	桥墩倾斜	桥墩位移	桥面沉降
最大变化量	0.14 mm	0.17 mm	-0.13 mm	-0.14 mm
变化速率	0.14 mm/d	0.17 mm/d	-0.13 mm/d	-0.14 mm/d
速率控制值	± 2 mm/d	± 2 mm/d	± 2 mm/d	± 2 mm/d
最大累计量	-1.64 mm	-0.85 mm	-1.40 mm	-1.85 mm
累计控制值	± 7 mm	± 7 mm	± 7 mm	± 7 mm

表 6 基坑监测数据

监测项目	最大变化量	变化速率	速率控制指标	最大累计量	累计控制
地表沉降	0.90 mm	0.90 mm	± 2 mm/d	-11.5 mm	± 25 mm
管线沉降	-1.22 mm	-1.22 mm	± 2 mm/d	8.93 mm	± 20 mm
桩顶沉降	-1.39 mm	-1.39 mm	± 2 mm/d	11.08 mm	± 20 mm
桩顶位移	-1.34 mm	-1.34 mm	± 2 mm/d	6.29 mm	± 25 mm
立柱位移	-1.1 mm	-1.1 mm	± 2 mm/d	8.2 mm	± 20 mm
立柱沉降	1.00 mm	1.00 mm	± 2 mm/d	10.85 mm	± 20 mm
坑外水位	-0.117 m	-0.117 m	± 0.5 m	-0.727 m	± 1 m
测斜	0.80 mm	0.80 mm	± 4 mm/d	34.93 mm	± 40 mm

从表 5、表 6 可见,结合控制指标与现场实际情况各项监测数据累计变量与变化速率均在控制指标以内;与计算数值相比,实际变形量均小于计算数值。基坑及周边环境基本处于安全可控状态。

6 结 论

本次基坑开挖,结合计算结果与监测数据的对比,说明采取上述一系列技术措施,确保了轨道交通结构稳定和运营安全,特别是 MJS 工法、支撑自动轴力补偿系统、地基加固等的应用等一系列的预防措施,为今后难度大、复杂程度高的城市建设施工提供了很好的借鉴作用。随着地下空间的开发加快,地下工程下穿既有建(构)筑物施工将越来越普遍,综合性的手段需要寻求一套指导性的措施作为基点,以供建设者们结合工程实际,很快的制定出有效的技术方案,希望本文涉及的措施能够为此提供一些素材供参考。