

浅析明挖上跨地铁区间节点设计管理

刘小溪

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要:近年来,我国工程建设领域发展日新月异,城市建设中碰到的问题亦愈发复杂。本文举例介绍苏州星港街工程隧道开挖上跨运营地铁1号线区间节点的设计情况,说明如何以设计策划、设计输入、设计控制、设计输出的模式对同类工程节点设计过程进行管理。明确工程关键节点设计流程,可以更细致、更全面、更有效地把控节点设计工作,提升节点的设计质量。

关键词: 明挖;上跨地铁;设计管理

中图分类号: U455.45

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0180-04

0 ~~인~~ 言

随着苏州城市发展,轨道交通线路布局日趋完善,地下空间开发需求与日俱增。苏州星港街地下通道工程(主线及匝道)将在 1 号线金鸡湖站范围上跨穿越盾构区间,平面基本正交,两者结构净距仅 4.0~4.5 m。该工程为苏州市首例成功实施的大型市政隧道明挖近距离上跨穿越既有运营地铁的工程案例(见图 1)。现通过总结苏州星港街上跨 1 号线运营区间节点的设计过程,分析如何在设计的策划、输入、控制和输出流程中围绕节点的特殊要求把控设计工作,保证工程节点的设计质量,为类似节点的设计管理提供参考。

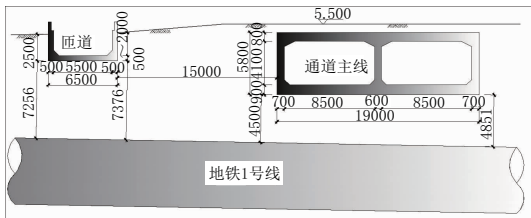


图 1 上跨节点剖面图(单位:mm)

1 工程概况

苏州星港街隧道工程位于苏州工业园区 CBD, 西邻苏州新地标苏州中心, 东临金鸡湖景区, 是临湖地区的重要交通走廊、市民广场的主要集散道路。通道形式主要为单层双孔箱涵。该工程(主线及匝道)于里程 K1+015~035(1 号线金鸡湖站)范围上跨穿越 1 号线盾构区间, 两者垂直相交, 结构竖向净距为

收稿日期：2023-02-07

作者简介: 刘小溪(1989—), 女, 工程硕士, 工程师, 从事结构设计及管理工作。

4.5 m 左右。相交范围内,主线基坑开挖宽度约 19 m, 基坑开挖深度约 6.6 m; 匝道基坑开挖宽度约 6.5 m, 基坑开挖深度约 2.5 m。主线与匝道间水平净距约 15 m。

2 工程节点设计管理过程

2.1 设计策划

该工程节点设计的特殊之处,在于上跨运营中的地铁区间,且距离较近。苏州与上海一样,作为典型的深厚软土地区,基底土体的卸荷回弹会引起下方底层移动^[1],致使下卧隧道隆起并严重威胁地铁运营安全^[2]。因此,该上跨节点应特别注意地铁保护相关标准要求。在基坑开挖和围护结构的施工过程中可能引起各种安全问题,其中特别需要注意的问题有:

(1)直接在地铁区间上方近距开挖该工程隧道,将对正在运行的地铁隧道造成较大风险,有可能造成重大事故,引起隧道上浮。

(2) 地铁盾构上方的工法桩, 围护结构型钢入土深度仅 3.7 m, 插入比 1 : 0.65, 插入比不足, 难以满足围护设计基本要求。

(3)该工程实施深度范围有较厚的粉土,高压旋喷工法实施效果差,三轴搅拌桩加固效果好。但根据以往工程的实施经验,三轴搅拌桩加固对土体扰动较大,必须由有经验的施工单位采用合适的施工方案及施工参数才能减少对地铁隧道的影响。

2.2 设计输入

2.2.1 工程、水文地质

主线通道坑底基本位于⑤层,轨道车站基本位于⑧₁层。苏州市抗震设防烈度为6度(第一组),设计

基本地震加速度值为 0.05g。综合判定该场地属Ⅲ类建筑场地,场地特征周期为 0.45 s,属建筑抗震一般地段。

场地周围地表水水位主要受降水和金鸡湖水位影响。潜水主要赋存于浅部①层素填土层中。根据《岩土工程勘察规范》及地区经验,判定该场地环境类型为Ⅱ类。图 2 为地质剖面图。

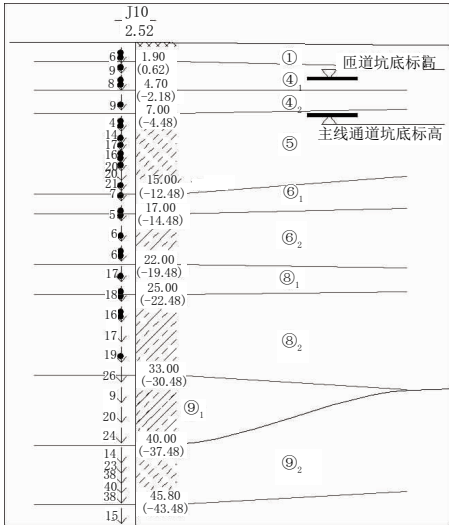


图 2 地质剖面图

2.2.2 节点特殊要求

苏州与上海地层均属于软土地区,土质有一定相似性,故盾构区间的保护要求可以参考上海地铁的一般保护要求。根据《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》,该工程中地铁隧道保护标准如下:

- (1)隧道变形曲线的曲率半径 $R \geq 15\,000\text{ m}$;
- (2)相对弯曲 $\leq 1/2\,500$;
- (3)工程施工对隧道的附加变形隧道最大变形 $\leq 10\text{ mm}$ 。

该节点地铁 1 号线盾构区间,外径 6.2 m,壁厚 0.35 m,左线和右线净距 8.1 m。上方开挖工程由于重要性程度高,故将施工对隧道的附加变形隧道最大变形限值定为 5 mm。

2.3 设计控制

星港街项目的设计难点显而易见,即开挖基坑距离地铁区间较近,基坑围护和结构安全容易受到影响,地铁隧道会受到基坑开挖的干扰。工程实施面临轨交盾构上浮、隧道上方插入比不足、通道结构“欠补偿”等技术难题。对此,可以用经验工程数据对比结合计算工具验证的方式进行设计控制。

2.3.1 经验数据对比

由于苏州和上海同样处于饱和软土地区,在上

海地区已成功实施的案例及工程经验对苏州地区有一定的借鉴意义。已实施的上海东西通道(浦东段)拓建工程在小陆家嘴区域三处上跨轨道交通 2 号线盾构区间,分别位于陆家嘴环路(主线上穿节点),银城中路(右转匝道上穿节点)、银城东路(银城东路上穿节点)。现将该工程与上海东西通道三穿 2 号线节点进行比较。相关对比信息见表 1 所列。

表 1 工程对比信息表

工程名称	本主线 上跨点	本匝道 上跨点	陆家嘴 环路点	银城中路 节点	银城东路 节点
盾构净距/m	4.5	7	4	2.3	7
基坑深度/m	6.6	2.5	11	7	8.1
基坑宽度/m	19	6.5	27	10	19
盾构上 卸土量/m ³	2 059	497	8 800	1 150	2 500
总卸土量/m ³	4 541	497	43 000	4 900	11 100
单坑 卸土量/m ³	314	228	1 300	440	970
基坑分块	9	2	27	9	9
最大变形			19 mm 上浮	19 mm 上浮	19 mm 上浮
轨道横向 变形量			<2 mm	<2 mm	<2 mm

将该工程主线上跨 1 号线节点同东西通道银城中路节点相对照,该工程基坑深度与其相近,与盾构近距离比其多 2.2 m,总的卸土量是其 90%,单坑卸土量是其 71%,小基坑数量相等。从上述各方面条件看,该工程实施条件均比其更有利。

2.3.2 节点加固方案

搅拌桩加固有效地加强地基抗变形能力,但软土地区的深层搅拌桩加固施工过程会引起周围土体扰动和变形^[3-5]。MJS 工法是近年来出现的一种新的高压喷射工法,最大优势在于施工中地内压力可控制,可最大程度地减小对周边环境的影响。考虑到苏州地区经验及两种工法的优缺点,选择加固采用三轴搅拌桩为主,MJS 工法为辅。

2.3.3 计算分析

由于主线通道结构上方覆土浅,为解决通道结构抗浮问题,采用在盾构区间两侧及中间设置抗拔桩,桩径 800 mm。匝道下方设置 25 m 长抗拔桩,桩径 600 mm。主线通道基坑采用 $\Phi 850\text{SMW}$ 工法桩,型钢隔一插一。盾构上方的工法桩底与盾构管片净距为 0.8 m,其余位置工法桩进入坑底以下 16 m。盾构区间两侧封堵墙与盾构管片净距为 1 m。匝道基坑采用重力式挡墙,挡墙进入坑底以下 4 m。星港街上跨运营地铁 1 号线区间的主线基坑设置一道支撑,

支撑体系由顶圈梁组成,主线通道基坑工法桩顶均设置顶圈梁,尺寸为1 200 mm×900 mm。匝道基坑围护为重力式挡墙,无内支撑。

采用有限元防范分析研究星港街通道基坑开挖施工对苏州轨道交通1号线区间的影响。在确定水平方向上模型各边界距基坑边距离时充分考虑工程的影响范围,模型的边界距离基坑边不小于5倍基坑开挖深度。取基坑桩长其下方20 m为模型下表面。有限元尺寸的宽×长×深为90 m×88 m×56 m。

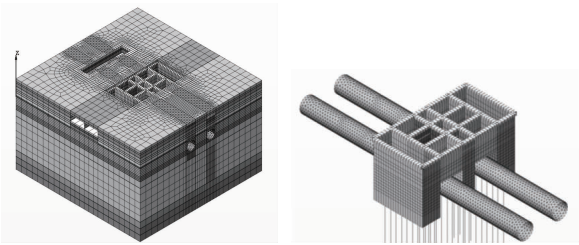


图3 星港街有限元模型

根据计算结果,在开挖过程中1号线盾构区间变形如表2所列。

表2 1号线盾构区间变形计算表

开挖工况	1号线盾构区间 竖向位移 max/mm	1号线盾构区 间形变类型	1号线盾构区 间形变位置
主线开挖时	3.71	隆起	1号线区间主线 通道对应位置
主线开挖完毕	2.3	隆起	
匝道开挖时	4.38	隆起	1号线区间匝道 对应位置
匝道开挖完毕	2.74	隆起	

结果表明,实施过程最大变形小于5 mm,隧道变形曲线的曲率半径 $R \geq 15\,000\text{ m}$,隧道相对弯曲 $\leq 1/2\,500$,满足地铁1号线保护标准(见图4~图7)。

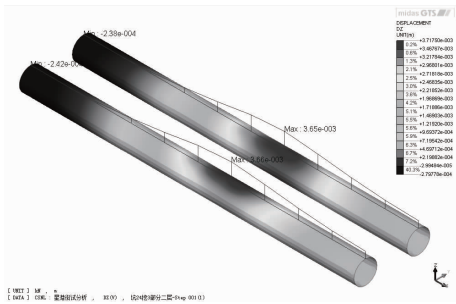


图4 主线基坑开挖1号线区间最大竖向位移图

2.4 设计输出

根据以上计算,主线采用Φ850SMW工法桩,隔一插一。匝道采用重力式挡墙。上跨节点主线设置一道支撑。匝道基坑围护为重力式挡墙,无内支撑。设抗拔桩,加固采用三轴搅拌桩为主。

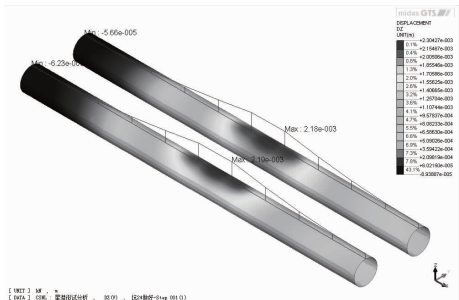


图5 主线基坑实施完毕1号线区间竖向位移图

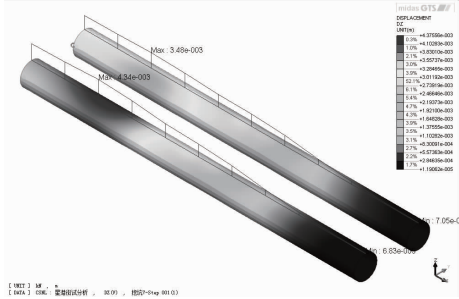


图6 匝道基坑开挖1号线区间最大竖向位移图

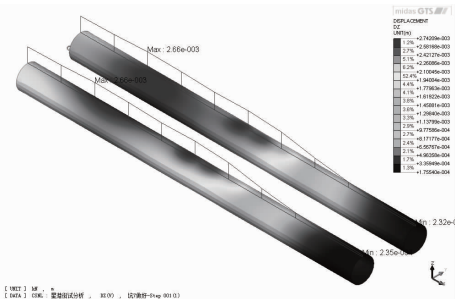


图7 匝道基坑实施完毕1号线区间竖向位移图

2.4.1 控制地铁隧道上浮

此次上跨节点围护设计考虑以下关键技术措施:

- (1)基坑化大为小,将地铁区间范围内分为若干个基坑,跳槽进行开挖施工;
- (2)对基坑底部及隧道周边土体进行加固,减小隧道的变形;
- (3)在运营地铁的隧道两侧设置抗拔桩,并使其与通道底板有效连接,同时利用SMW围护内的H型钢,与现浇混凝土底板钢筋进行焊接,抑制隧道的隆起变形;
- (4)基坑开挖见底后即对坑底进行压载,且注意减少坑底暴露时间,对基坑的开挖选择在地铁停运时进行,对开挖的时间予以严格的控制;
- (5)加强施工监测,及时反映隧道变形。

2.4.2 应对盾构上方工法桩插入比不足

1号线盾构上方工法桩,型钢入土深度仅3.7 m,插入比1:0.65,难以满足围护设计基本要求,根据类似工程经验采取如下措施:

(1)坑外进行大体量地基加固,减少主动土压力,形成实质性重力挡墙体系。

(2)坑内设置满堂加固,确保基坑稳定性并克服⑤层微承压水影响。

(3)将基坑化大为小,同时设立必要支撑结构确保基坑分布实施的安全。

根据上文提到的工程经验,东西通道陆家嘴穿越2号线节点(插入比1:0.15)、外滩通道上跨延安东路隧道节点(插入比1:0.5)采取上述措施后,均取得良好效果。

2.4.3 分析总结

从星港街上跨运营地铁1号线区间节点的设计管理过程可以看到,此类节点的设计一般在策划和识别阶段明确地铁的保护要求和周边的环境情况,在设计控制阶段通过工程经验数据比较+计算复核的方式选择合理设计施工方案,在设计输出中从坑内外加固、分坑跳挖、信息化施工等方面进行考虑,控制地铁上浮,解决盾构上方工法桩插入比不足的问题,确保隧道结构安全、地铁运营安全、周边环境

稳定。

3 结 语

管控好重要节点的设计质量,是保证工程质量的关键一步。在明挖近距离上跨运营地铁区间类型的工程节点中,存在诸多风险因素,对其设计管理过程进行总结是十分必要的。在设计的策划、输入、控制、输出各环节,都应特别注意节点的特殊性,对设计重点问题一一予以解决。

参考文献:

- [1] 刘小建,贾坚.地铁隧道上方基坑卸荷回弹及控制的试验和探讨[J].地下工程与隧道,2008(2):41-44.
- [2] 温锁林.运营地铁隧道上方基坑施工技术及保护措施[J].地下空间与工程学报,2011(7):1465-1469.
- [3] 刘涛,刘国彬,史世雍,等.搅拌桩施工引起邻近隧道变形的控制措施[J].建筑技术,2006,37(3):223-225.
- [4] 刘涛,刘国彬,史世雍.基坑加固扰动引起地铁隧道隆起变形[J].哈尔滨工业大学学报,2009,41(2):141-144.
- [5] 付艳斌,廖少明,朱合华.搅拌桩加固挤土效应及在地铁隧道保护中的应用[J].岩土力学,2009,30(7):2005-2010.

(上接第158页)

(2)重新划分池容方案可在现状工艺基础上平滑升级,保持运行的灵活性,突破常规工艺对 COD_{cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 的去除效果,非常适用于同类污水处理厂高排放标准升级改造。

参考文献:

- [1] 吴迪.MBBR在国内的工程应用与发展前景[J].中国给水排水,2018,34(16):22-31.
- [2] 齐勇,陶涛,吴韵瑕,等.MBBR应用于污水处理厂提标改造中试研究[J].给水排水,2011,37(11):132-135.
- [3] 苏高强,蒋永丰,黄东辉,等.AAO-MBBR工艺在城市污水厂升级改造中的应用[J].工业用水与废水,2015,46(3):15-18.

- [4] 王翥田,叶亮,张新彦,等.MBBR工艺用于无锡芦村污水处理厂的升级改造[J].中国给水排水,2010,26(2):71-73.
- [5] 郭中伟,史凯莹.MBBR工艺在污水处理厂设计改造中的应用[J].技术与工程应用,2016(10):66-68.
- [6] 吴迪,周家中,郑志佳,等.MBBR用于山西某污水厂提标改造效果分析[J].中国给水排水,2018,34(15):6-11.
- [7] 梅小乐,代博,杨红,等.MBBR+SBR工艺用于寒冷地区污水处理厂升级改造[J].中国给水排水,2019,35(20):92-95.
- [8] 杨宇星,吴迪,宋美芹,等.新型MBBR用于类地表IV类水排放标准升级改造[J].中国给水排水,2017,33(14):93-98.
- [9] 滕良方,吴迪,郑志佳,等.某污水厂Bardenpho-MBR准IV类水提标改造分析[J].中国给水排水,2019,35(11):33-39.