

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2022.08.061

预留地铁盾构超近距离大角度穿越条件的隧道深基坑设计

张建安

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 为确保隧道深基坑开挖及结构回筑的安全和稳定, 并为规划地铁盾构超小净距大角度穿越施工预留条件, 以某隧道工程为例, 研究了在隧道基坑设计中采用短地下连续墙 + 长工法桩的围护结构及相关加固和构造措施的可行性。根据计算分析及实际监测数据验证, 该方案施工过程中隧道围护结构变形、地表沉降及整体稳定性均符合设计工况及规范要求, 且后期地铁盾构亦实现顺利穿越, 并未对隧道结构产生不利影响, 表明该总体基坑设计方案经济可行, 可为日后类似相关工程提供参考。

关键词: 隧道交叉; 超小净距; 大角度穿越; 短地墙; 长工法桩

中图分类号: U452.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)08-0225-03

0 引言

随着国家城市化进程的快速发展, 道路、桥梁、隧道及轨道交通等基础设施项目在各大城市兴起, 各类型工程之间将不可避免地在空间和时间上产生交叉关系。诸多工程项目在规划设计中除了将已建工程作为边界条件或者控制因素去考虑避让或采用相应技术措施进行隔离保护, 还要为存在空间交叉的远期规划项目预留建设条件, 其中隧道工程在建设时为远期规划轨道交通预留建设条件的情况越来越多。

由于轨道交通规划线位的诸多限制, 有些情况下不得不近距离下穿隧道结构, 从而不可避免地对隧道结构产生一定影响。如果隧道结构埋深较深, 其基坑围护结构就会成为轨交盾构穿越线路上的一大障碍, 因此隧道围护设计时应考虑采用一定技术措施来预留盾构穿越条件^[1]。

在 312 国道苏州东段改扩建工程中, 草鞋山隧道线位与规划苏州市域轨道交通 S1 线平面大角度斜交, 竖向上 S1 线超近距离下穿草鞋山隧道。而在建设时序上, 隧道在先, 轨道交通在后。因此草鞋山隧道设计和施工时需预留后期规划 S1 线下穿条件。

1 工程概况

本工程隧道位于苏州工业园区阳澄湖畔, 自东

向西穿越苏州市唯胜路、司马泾河桥、夷亭路以及新建阳澄湖服务区高速出入口, 全长 2.18 km, 双向 6 车道。在唯胜路与司马泾河桥之间规划有苏州市域轨道交通 S1 号线, 该轨交工程计划于隧道结构施工完成后穿越隧道结构。

该段隧道结构为单箱双室加管廊仓型结构, 隧道基坑宽度约 34.3 m, 深度约 14.2~15.3 m, 采用明挖顺筑法施工。为尽早完成该段隧道结构施工以衔接轨道交通工程计划工期, 隧道基坑在交叉范围东西各设 1 道地下连续墙封堵, 将隧道基坑施工化整为零, 先行施工交叉区域段隧道。

该段规划轨道 S1 线为单洞双线盾构隧道, 盾构外径 6.6 m, 双线盾构中心距约 16.5 m, 平面上 S1 线设计与隧道中心线斜向交叉, 夹角约 70°, 交叉范围约 38 m × 50 m(见图 1)。

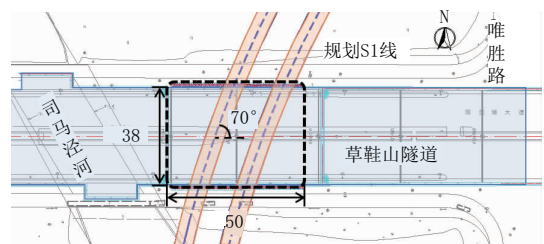


图 1 隧道与 S1 线相对位置关系平面图(单位:m)

竖向上, 由于规划 S1 线受该段区间两端站点位置、标高及沿线诸多环境控制因素的限制, 盾构区间纵断面深度难以调整, 因此其下穿隧道处理深约 19.9~20.9 m, 盾构结构顶距隧道基坑底最小距离约 4.53 m(见图 2)。

收稿日期: 2021-11-29

作者简介: 张建安(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地下工程的设计和研发。

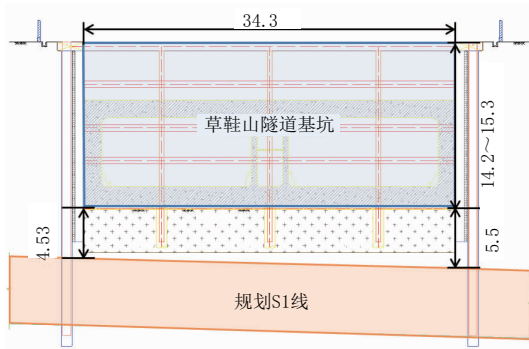


图2 隧道与S1线相对位置关系横断面图(单位:m)

2 工程地质情况

拟建地区系典型的江南水网化平原,水系发育,地势平坦,工程范围内主要分布土层及其物理力学参数如表1所示。其中隧道基坑底及盾构穿越区间主要分布为4-2粉砂夹粉土、5-1粉质黏土及6-1黏土。

表1 土层物理力学参数

编号	土层名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	C/kPa	$\phi/(\text{°})$	透水等级
1-2	杂填土	18.5	8	15.00	
1-3	素填土	17	15	8.00	
3-1	黏土	20	53.27	14.72	不透水
3-2	粉质黏土	19.3	25.3	15.25	微透水
3-3	粉土	19.2	7.31	31.04	中等透水
4-2	粉砂夹粉土	19.7	5.34	32.50	中等透水
5-1	粉质黏土	19.4	23.51	15.10	微透水
6-1	黏土	20.4	50.75	14.77	不透水
6-2	粉质黏土	19.5	29.19	14.93	微透水
7-1	粉质黏土	19.3	23.57	15.48	微透水

4-2粉砂夹粉土层为中等透水层,综合地质条件复杂,土层工程特性一般,中软土层多。

3 常见预留盾构穿越方法

目前城市地下隧道建设需预留轨道交通建设条件时,通常采用的技术方案有:

(1)隧道与规划轨道交通采用共建的方式;(2)轨道交通在竖向上完全避开隧道围护结构,从下部穿越;(3)隧道围护结构采用工法桩,轨道交通无障碍穿越;(4)隧道围护地下连续墙采用低标号混凝土+玻璃纤维筋的构造,满足轨交盾构直接切削穿越^[2]。目前类似案例多采用满足盾构切削穿越的特殊地下连续墙设计方案,如上海轨道交通4号线宜山路站基坑及复兴东路隧道浦西暗埋段基坑等均为该方案。

上海市迎宾三路隧道建设中采用了超短地下连续墙与长SMW工法桩相结合的基坑支护方案,为远

期地铁17号线下穿预留了条件^[3-4]。外滩通道为预留地铁12号线穿越条件采用了短地下连续墙+长型钢工法桩,并在建设过程中取得了成功^[5-6]。

但本工程隧道中心线与规划轨道线位交角约70°,属大交角穿越,若基坑设计采用特殊地下连续墙,则远期盾构穿越时存在大角度斜向切削工况,将大大减弱盾构机切削能力,且容易导致机头掌子面软硬不均,产生较大偏位风险。

而相对于特殊地下连续墙而言,工法桩拔出型钢后,盾构机斜向穿越加固体将更为安全可靠,故本工程设计采用长工法桩结合短地下连续墙围护方案,为远期盾构穿越预留条件。

4 预留盾构穿越条件的隧道基坑设计

本工程中隧道基坑设计时需充分考虑为远期S1线盾构隧道超近距离大角度下穿预留条件,且应采取一定措施减少S1线盾构穿越时对草鞋山隧道已施工结构的不利影响。设计采用了“短地下连续墙+长工法桩”结合满堂地基加固的围护方案,以确保隧道基坑在开挖及回做过程中的整体稳定性以及围护结构的受力要求。待隧道主体结构施工完成并回填上部覆土后,拔除长工法桩型钢,使规划S1线盾构穿越时不再有地下障碍物。

4.1 超短地下连续墙+长工法桩

规划盾构穿越区域隧道基坑最深15.3 m,地下连续墙厚度取800 mm;为控制地下连续墙底距规划S1线盾构顶净距不小于1.5 m,设计墙长18.4 m,最小插入比约0.2;长工法桩为 $\phi 1000@750\text{SMW}$ 工法桩,桩长28 m,密插长27 m的800 mm \times 300 mm \times 14 mm \times 26 mm型钢;工法桩与地下连续墙中心间距为1.2 m,间隙采用压密注浆加固,顶部设计2500 mm(宽) \times 800 mm(高)钢筋混凝土冠梁,用以连接地下连续墙与工法桩顶部。

隧道围护横断面图见图3。

4.2 地基加固

为保证隧道基坑开挖施工中的整体稳定性,并减少远期S1线盾构穿越时对已建成隧道结构的不利影响,隧道基坑底采用厚4 m搅拌桩地基满堂加固。

4.3 坑底型钢暗梁支撑

在坑底隧道厚400 mm素混凝土垫层范围内,根据地下连续墙分幅,每处接缝处设置1道800 mm \times 300 mm \times 14 mm \times 26 mm型钢暗梁支撑,并与地下

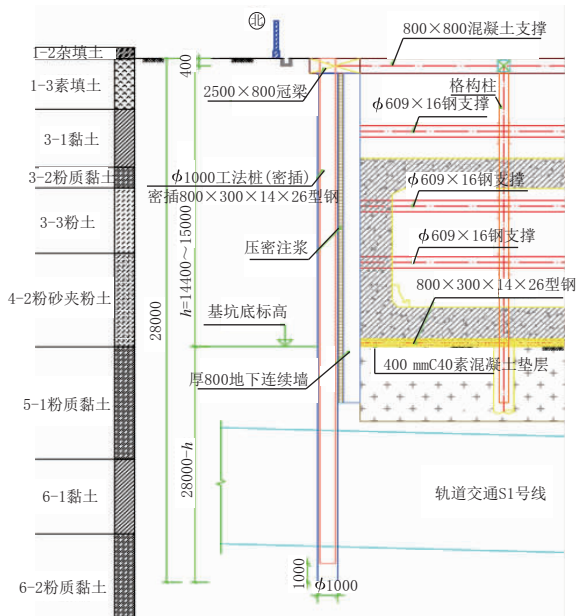


图3 隧道围护横断面图(单位:mm)

连续墙接缝H型钢顶紧焊接,以增强隧道支撑体系,提高基坑稳定性。

隧道坑底型钢暗梁支撑见图4。

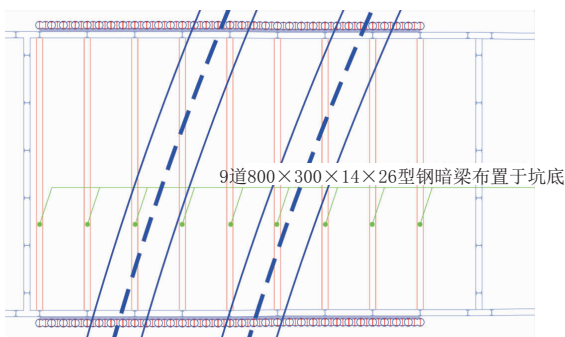
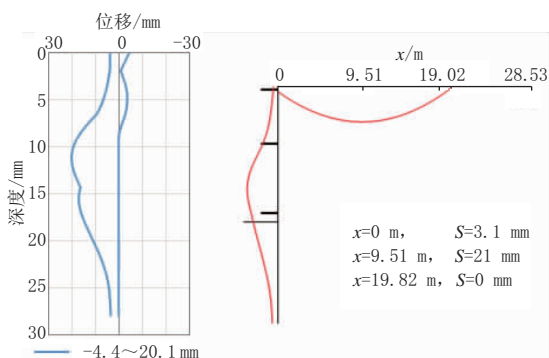


图4 隧道坑底型钢暗梁支撑(单位:mm)

由于基坑采用短地下连续墙+长工法桩的复合围护结构,设计采用传统基坑设计软件结合三维有限元软件进行分析计算。计算结果表明,基坑抗倾覆、整体稳定性等均满足《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)要求,围护结构水平位移最大计算值为20.1mm,坑外地表沉降最大计算值为21mm。

隧道基坑变形计算结果见图5。



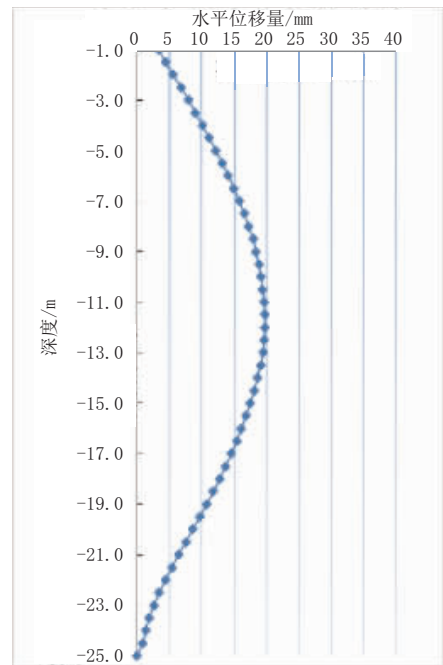
(a)计算围护结构水平位移包络图 (b)计算坑边地表沉降图

图5 隧道基坑变形计算结果

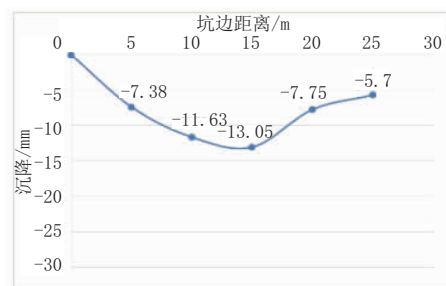
5 现场施工监测数据分析

根据现场实际监测数据反馈,交叉区域基坑自开挖至隧道结构回做完成,基坑整体稳定良好,未见明显隆起沉降变形,围护墙体最大深层水平位移约19.70mm,周边地表竖向沉降约13.05mm。基坑实际施工达到设计预期。

隧道基坑变形实测数据见图6。



(a)实测围护结构水平位移包络图



(b)实测坑边地表沉降图

图6 隧道基坑变形实测数据

主体结构上部回填覆土后,工法桩内型钢顺利拔除,为S1线盾构穿越提供了可行条件。1个月后S1线盾构结构右线自北向南顺利穿越隧道结构,穿越过程中隧道变形缝差异沉降约1.96mm,地下连续墙最大隆起量约2.97mm,结构上部挡墙最大隆起量约4.43mm,均满足结构变形要求。两工程均按预定节点完成,质量达到预期。

6 结语

(1)本文参考相关工程案例,结合本工程实际情

(下转第241页)

(2) 驾驶人对广告牌的注视是无意识的、被动的,在一定驾驶复杂程度下,驾驶人不存在主动搜寻周边无关信息的感知行为。

参考文献:

- [1] McEvoy S P, Stevenson M R, Woodward M. The prevalence of, and factors associated with, serious crashes involving a distracting activity[J]. Accident Analysis & Prevention, 2007, 39(3):475-482.
- [2] Lee J D, Young K L, Regan M A. Defining driver distraction[J]. Driver distraction: Theory, effects, and mitigation, 2008,13(4):31-40.
- [3] 马勇,付锐,王畅,等.视觉分心时驾驶人注视行为特性分析[J].中国安全科学学报,2013,23(5):10-14.
- [4] 潘晓东,李君羨.基于眼部行为的驾驶疲劳监测方法[J].同济大学学报(自然科学版),2011,39(2):231-235.
- [5] 牛增良,孟德宇,王光耀.国内汽车市场驾驶人眼动行为检测技术分析[J].汽车实用技术,2021,46(7):107-111.

- [6] 孟影,戴家隽,冷英.高速公路旁广告牌不同密集程度对驾驶行为的影响[J].交通医学,2015,29(2):135-137,140.
- [7] 单晓霖,焦朋朋.基于眼动特征的路侧广告牌对驾驶员注意力影响研究[J].公路交通科技,2021,38(4):142-148.
- [8] TINA M, ELISABETH W, FREDERIK N, et al. Measuring driver distraction - Evaluation of the box task method as a tool for assessing in-vehicle system demand[J]. Applied Ergonomics,2020,88:103181.
- [9] JAZAYERI A, MARTINEZ B, LOEB S, et al. The impact of driver distraction and secondary tasks with and without other co-occurring driving behaviors on the level of road traffic crashes[J]. Accident Analysis and Prevention,2021,153:106010.
- [10] Shafer G.A mathematical theory of evidence[M].New Jersey:Princeton University Press,1996.
- [11] Jennie Pearce, Simon Ferrier. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression[J]. Ecological Modelling, 2000, 133(3):225-245.

~~~~~  
(上接第 227 页)

况,采用短地下连续墙+长工法桩的围护结构及相关加固和构造措施,以确保隧道深基坑开挖及结构回筑的安全和稳定,并为规划超近距离地铁盾构大角度穿越施工预留条件。

(2) 根据计算分析及实际监测数据验证,该设计方案满足规范要求,且施工过程中围护结构变形、地表沉降及整体稳定性均符合设计计算工况;后期轨道交通盾构亦实现顺利穿越已建隧道,并未对隧道结构产生不利影响。由此说明该总体设计方案经济可行,可为日后类似相关工程提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 臧小龙.预留盾构穿越条件的特殊围护形式比选及应用[J].建筑结构,2010(40):317-318.
- [2] 葛照国,师文明,吴烁.盾构下穿地下连续墙中玻璃纤维筋施工技术[J].山西建筑,2018,44(2):163-165.
- [3] 彭伟.虹桥枢纽迎宾三路隧道 CX3 段施工技术[J].中国市政工程,2010,148:46-47.
- [4] 韦坤.迎宾三路隧道复合围护结构基坑施工技术[J].上海建设科技,2012(3):54-56.
- [5] 高卫平.隧道预留超近距离地铁盾构穿越条件研究[J].城市道桥与防洪,2011(7):189-191.
- [6] 陈鸿,冯云,季应伟.预留盾构穿越超短地下墙工法桩的围护结构[J].中国市政工程,2010,149:8-9.