

盾构下穿火车站区域关键施工技术

郑 军

(中铁一局集团有限公司 陕西 西安 710054)

摘要: 苏州市轨道交通4号线下穿苏州火车站区域盾构施工风险较高、难度较大。为了保证火车站区域结构物安全及施工顺利进行,施工前对下穿火车站区域结构物、地层特性及土压平衡盾构施工的主要技术进行分析,并结合试验段盾构掘进参数,总结出盾构下穿火车站区域关键施工技术。结果证实有效地保证了构筑物的安全,施工效果良好,尤其是通过理论计算与实践相结合的研究手段总结出相关盾构掘进参数,为苏州地区此类工程施工提供很好的借鉴。

关键词: 盾构; 施工技术; 隧道工程

中图分类号: U23 文献标志码: A 文章编号: 2095-0373(2018)03-0029-07

0 引言

目前,学者利用理论分析、数值模拟、模型试验、现场监测等方法,对盾构穿越施工引起既有隧道的变形规律及其控制措施已经开展过一定程度的研究^[1-9]。但针对苏州地区典型地层条件下,盾构穿越火车站区域的工程经验极少,在盾构隧道施工时可以根据掘进模式、盾构试验段参数,选用合理的土舱压力、控制推进速度和出土量、严控同步注浆和二次注浆等关键施工技术措施减小穿越施工对建筑物的影响,开展此类工程的盾构施工参数等关键技术的研究对保证既有线路正常运营具有较大的工程意义。

1 工程概况

苏州市轨道交通4号线苏锦村站—苏州火车站区间(简称苏火区间)、苏州火车站—北寺塔站区间(简称火北区间)周围环境复杂,盾构推进过程中将穿越大量建、构筑物,依次下穿苏州站路北地下广场、火车站北广场地下空间及下沉广场、火车站南广场地下空间等构筑物。线路与构筑物的位置关系如图1所示。

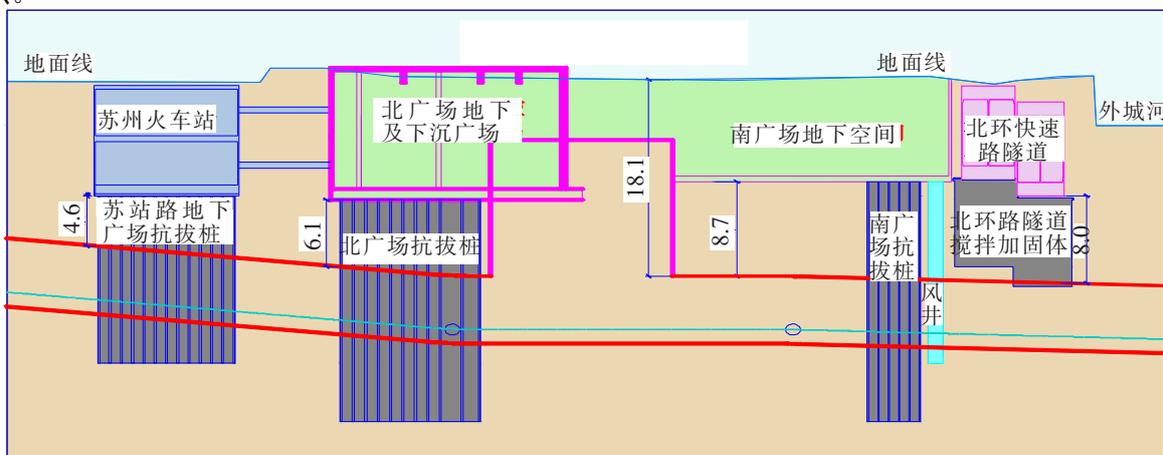


图1 有无支撑情况中心桩的位移和弯矩(单位: m)

收稿日期: 2018-06-10 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxzb.2018.03.05

作者简介: 郑军(1973—)男,高级工程师,主要从事桥隧及地下工程施工技术研究。E-mail: 43476290@qq.com

郑军. 盾构下穿火车站区域关键施工技术[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2018, 31(3): 29-35.

苏州火车站地下一层为中央通廊,通廊宽度约为 52 m,底板顶标高为 -6.9 m,底板厚 1 m,承台处厚 2 m,底板底为直径 1.25 m 钻孔灌注桩,其中抗拔桩桩长 45 m,承压桩桩长为 45~67 m。火车轨道为单跨简支桥梁结构,桥跨为 56.2 m,桩基采用直径 1.25 m 钻孔灌注桩,桩长为 59~72 m,墩台下方采用群桩基础,单个墩台下方单桩数量为 20~28 根。区间隧道与火车站站场关系如图 2~图 3 所示。

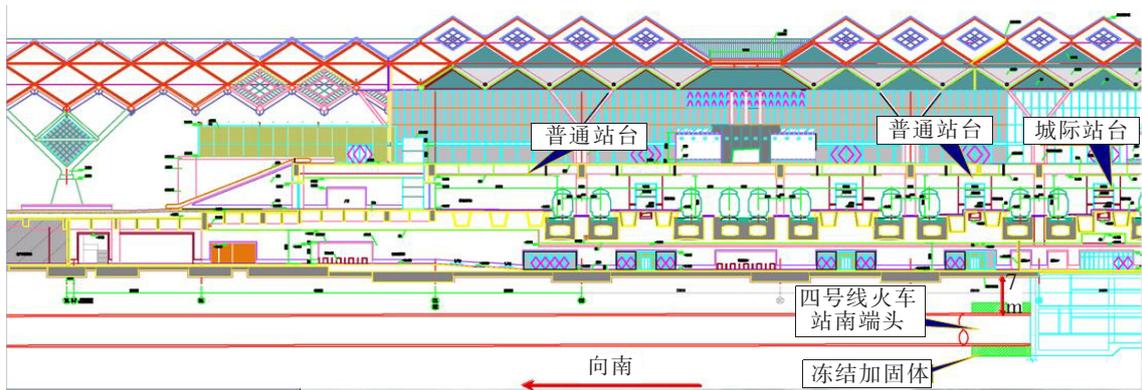


图 2 区间隧道与火车站站场纵剖面图(一)

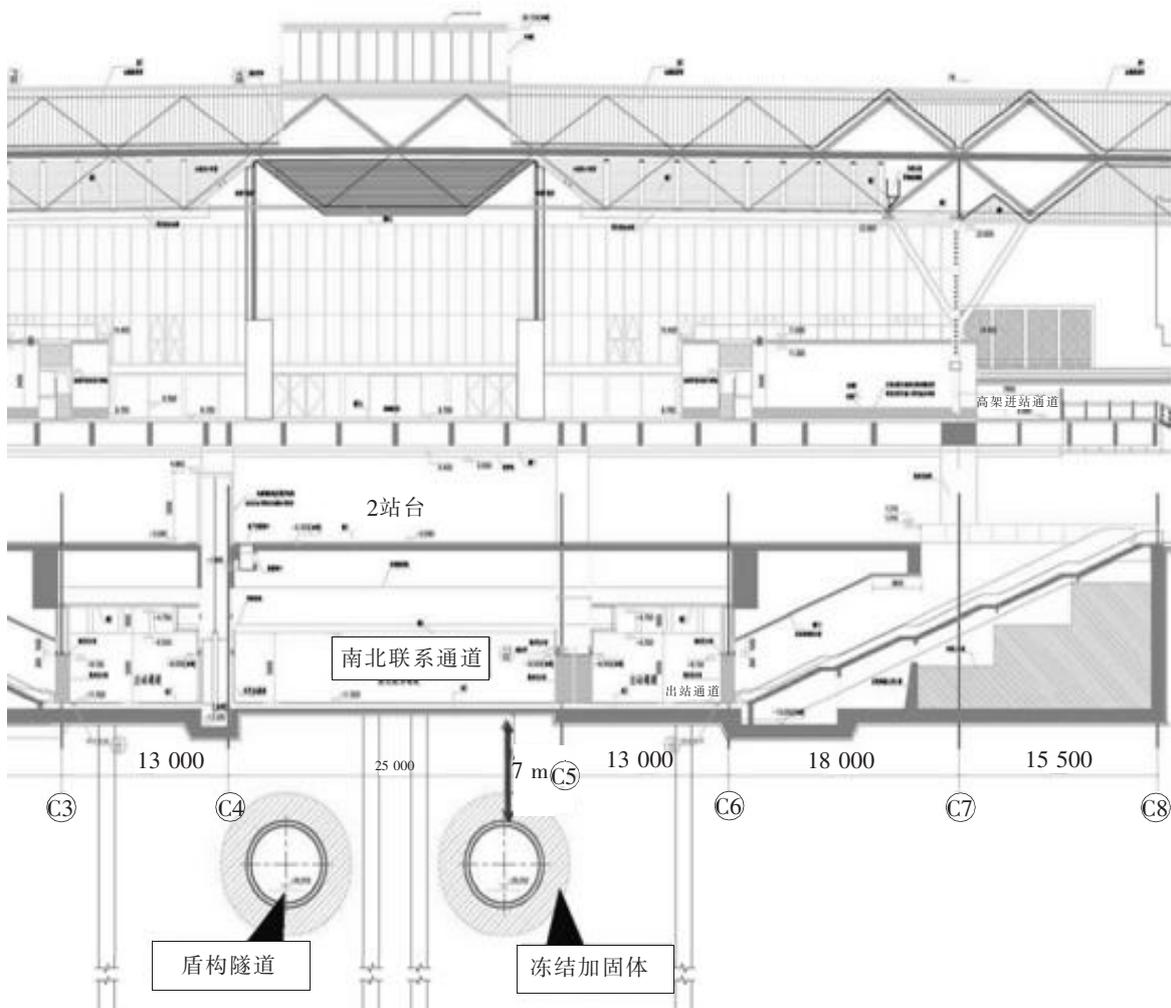


图 3 区间隧道与火车站站场断面关系图(单位: mm)

本工程区间隧道施工穿越的地层主要有:④2粉砂或粉土层、⑤1粉质黏土层、⑥1黏土层,局部有③2粉质黏土、③3粉土层、④1粉质黏土层。③3粉土层和④2粉砂或粉土层富水性较好,为透水土层,在水头差作用下易产生喷涌现象,施工时应注意盾构掘进控制,防止喷涌事故的发生,以保证施工安全。

本工程区间地下水主要为承压水、微承压水、孔隙潜水。承压水主要赋存于深部的粉(砂)土层中,埋深大于25 m,赋水性中等。根据区间地层特性,选用土压平衡盾构法施工,盾构施工中选用合理的掘进参数是保证施工顺利进行的关键。

2 主要风险点说明

区间隧道下穿火车站北广场地下空间,地下空间抗拔桩桩位已预留4号线盾构空间,盾构隧道与地下空间最近桩基的水平净距约1.12 m。区间隧道下穿火车站下沉广场,盾构隧道与下沉广场最近桩基的水平净距约1.15 m。区间隧道下穿南广场地下空间,盾构隧道与南广场地下空间最近桩基的水平净距约1.175 m。

从上面数据可以看出盾构区间隧道与火车站区域结构物基础桩基距离非常近,盾构掘进施工风险较大,因此下穿火车站区域盾构区间隧道施工中保证构筑物安全是施工顺利进行的关键,也是施工成败的关键。

3 盾构下穿掘进前准备

首先在施工前编制详细的专项施工方案及切实可行的施工技术措施;然后选取掘进试验段,组织行业内的知名专家进行评审,盾构下穿构筑物试验段的不均匀沉降值和具体位置等关键因素的合理选择需要根据专家讨论认证的意见和设计计算的结果来进行。穿越试验段期间应对相关穿越的关键数据进行收集、整理及分析,所涉及的关键数据有沉降值、同步及二次注浆、盾构推进速度等,通过相关数据的分析来找出注浆、盾构推进参数与地面沉降数值之间的关系,从而为盾构下穿火车站区域提供数据支持。最后,通过对试验段相关参数的收集和分析,对与本试验段的相关管理人员和作业班组人员进行详细的技术交底,这个技术交底工作是由项目技术负责人来完成的,并且需要对这些管理人员和作业班组人员进行考核,直至合格后方可上岗作业。

4 盾构下穿火车站区域关键施工技术

盾构施工推进时,采用了“控制土仓压力,保持土压平衡;控制推进速度和出土量;严格控制同步注浆量;及时进行二次注浆;防止盾尾漏浆;设备保障”等相关的技术措施,来确保施工及火车站区域结构物的安全,其关键技术如下。

4.1 盾构掘进模式的选取

根据下穿区域的工程地质、水文地质条件,选取土压平衡模式盾构机。

盾构下穿过程中的推进施工原则是匀速、均衡、连续。盾构机在掘进过程中会始终保证土仓压力与相应作业工作面水土压力的动态平衡,同时盾构推进量相应的排土作业则是利用螺旋输送机进行的。掘进过程中正面土体的稳定则是通过维持开挖土量与排土量的平衡来保持的。

4.2 试验段掘进与参数调整

选取过火车站站场前100环作为施工试验段进行参数优化,通过对此段施工时各地层的掘进参数进行收集、整理、分析和归纳,从而制定各地层正常掘进时的相应操作规程,从而实现匀速、均衡、连续、高效的正常掘进;掌握盾构推进参数(推进速度、土压力、出土量、推力、扭矩等)及同步注浆及二次注浆的参数(注浆量、注浆压力、浆液配比、注浆顺序、注浆时间)与地面沉降的关系及规律。结合地面监测的沉降大小对参数进行合理地调整,最后得出盾构穿越站场时的施工参数,确保火车站站场地段的地面、建筑物的沉降满足各方的要求。

地面沉降与盾构机实时的推进参数,以及注浆时间、位置有很大的关系,为了更有效地控制地面沉

降,盾构参数的选择及注浆的时机起到很大的作用。地面沉降值与盾构机推进参数、注浆之间的协调至关重要。根据盾构穿越区域的土体特性,地表沉降变化规律预估曲线如图 4~图 5。

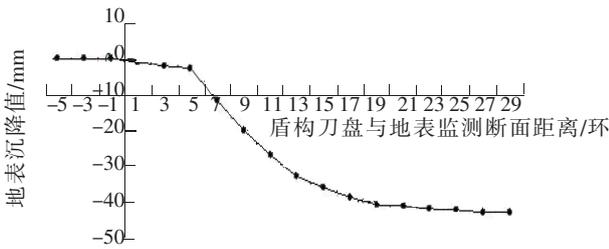


图 4 理论参数无措施盾构掘进预估曲线图

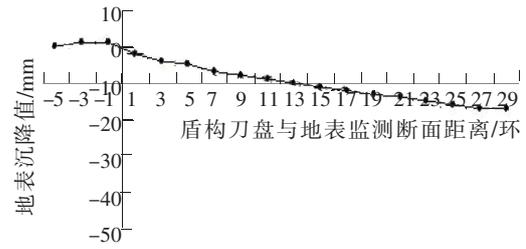


图 5 优化参数措施跟进盾构掘进预估曲线图

根据预估曲线图,本工程前 100 环盾构隧道作为试验段掘进,掘进控制管理主要有 8 个方面,并将其做为主要的控制指标:总推力;推进速度;土仓压力;排土量;刀盘转速及扭矩;注浆压力及注浆量;浆液质量;盾尾油脂注入量。

4.3 土体改良

根据资料显示穿越火车站区域段隧道下部处于黏土层,刀盘面板可能会结泥饼并且螺旋机排土可能不畅,利用刀盘、土仓壁、螺旋输送机上的加泥孔,向各处土体加入膨润土和泡沫,以改善渣土的流塑性以防止刀盘结泥饼,减少螺旋机排土扭矩。

膨润土和泡沫的作用:

(1) 使盾构机前方土压计反映的土压更加准确。(2) 减少螺旋出土扭矩,确保螺旋机出土顺畅。(3) 减少盾构前方土体的挤压;及时填充刀盘旋转之后形成空挡,对控制盾构机前方土体压力机地面沉降有利。(4) 大幅减低土体与刀盘摩擦系数,具有润滑保护刀盘的作用。(5) 加强出土控制与观察,并适当调整盾构掘进参数及渣土改良工作。

4.4 控制好土仓压力,保持好土压平衡

正面平衡压力值的设定是土压平衡式盾构机施工的关键,土仓压力数值与总推力值差应在掘进施工过程中进行严格控制,尽最大可能保持土压平衡。理论上根据地下水情况、土层容重、埋深等常规参数计算出土仓压力。盾构主要需下穿苏州火车站南、北广场地下空间、下沉广场等地下构筑物。盾构下穿施工中不同的土仓压力值需要根据不同的地段进行选择,掘进施工过程中土仓压力与作业面水土压力要始终保证动态平衡。土压力计算公式为

$$P = K_0 \sum H\gamma + \gamma_w h_w \quad (1)$$

式中 K_0 为静止土压力系数,一般通过试验确定,无试验资料时,可按参考值选取,黏性土取 0.5~0.7; γ 为土的有效重度; H 为计算点土层厚度; γ_w 为水的容重; h_w 为水位深度。

根据北广场地下空间及下沉广场、南站房站场既有线及南广场地下空间各个工程节点的土层参数及隧道埋深的具体情况,计算 4 个工点的土仓压力。由于土质渗透系数较小,因此选用水土合算方法计算

$$P_0 = K_0 \gamma H \quad (2)$$

取静止土压力系数为 $K_0 = 0.6$ 。

火车站北广场地下空间隧道隧顶埋深为 17.9 m,此段土仓压力为: $P_0 = 0.6 \times (19.4 \times 2 + 19.9 \times 2.5 + 19.3 \times 1.7 + 19.7 \times 3.6 + 19.4 \times 3.8 + 19.1 \times 7.4) = 244.404 \text{ kN/m}^2 \approx 0.24 \text{ MPa}$ 。

北下沉广场隧道隧顶埋深为 19.7 m,此段土仓压力为: $P_0 = 0.6 \times (19.4 \times 2 + 19.9 \times 2.5 + 19.3 \times 1.7 + 19.7 \times 3.6 + 19.4 \times 3.8 + 19.1 \times 9.2) = 265.032 \text{ kN/m}^2 \approx 0.27 \text{ MPa}$ 。

南站房站场既有线隧道隧顶埋深为 19.0 m,此段土仓压力为: $P_0 = 0.6 \times (19.4 \times 2 + 19.3 \times 4.8 + 19.1 \times 2 + 19.4 \times 3 + 19.1 \times 6 + 20.3 \times 4.3) = 257.838 \text{ kN/m}^2 \approx 0.26 \text{ MPa}$ 。

火车站南广场地下空间隧道隧顶埋深为 21.5 m,此段土仓压力为: $P_0 = 0.6 \times (19.4 \times 2.6 + 19.9 \times$

$2.3 + 19.3 \times 4.6 + 19.1 \times 1.8 + 19.4 \times 1.4 + 19.1 \times 8 + 20.3 \times 3.9 = 287.1 \text{ kN/m}^2 \approx 0.29 \text{ MPa}$ 。

在实际施工中,一般取1.1~1.2倍的静止土压力,因此土仓压力要保证在0.26~0.32 MPa之间。在本工程盾构掘进实施过程中,可以根据出土量、实际情况和监测数据等进行适当的动态调整土压力的设定值。

4.5 控制好出土量和掘进速度

盾构施工每环理论出土量计算公式为

$$S = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \quad (3)$$

式中 D 为盾构开挖外径; L 为管片长度。故本工程出土量 $S = 3.14 \times 6.412 \times 1.2/4 = 38.72 \text{ m}^3$ 。

盾构掘进出土量控制在理论出土量的99%~100%之间,即38.34~38.72 m^3 之间。

依照在本地区进行施工的其它区间盾构下穿铁路工程的成功经验,严格控制每环的出土量在38 m^3 左右。当采用盾构机进行盾构施工的过程中出现超挖现象时,就得及时对超挖地段采用二次补浆和地面注浆等加固措施进行处理,确保地面沉降值符合要求。

按照出土渣斗体积每天安排现场人员对出土量进行统计,为避免出土量超过预先设定的数值,需在渣斗上标记出土量控制线。

盾构掘进的速度被盾构设备进、出土的速度严格制约着,如果进、出土的速度不协调地进行,那么在掌子面上很容易出现土体失稳和地表沉降值超过限定要求等不良现象。预先所设定的土压力值与出土量、出土速度息息相关。根据盾构掘进现阶段所掌握的施工经验和在试验段掘进中收集的施工参数,应将盾构穿越构筑物时的正常掘进速度严格地控制在20~30 mm/min之间。在盾构下穿构筑物期间,出土量应被严格控制,从而确保出土量与进尺量达到相互平衡的效果,盾构机推进匀速、均衡、连续地进行,盾构机无故停滞的现象必须禁止出现。盾构机推进速度如果出现忽慢、忽快等异常变化时应加强对出土量的跟踪观察,发现异常就需要及时进行解决。

4.6 控制好同步注浆量

经过计算,得到该地段每环建筑空隙量为2.50 m,此数值为理论计算值,但由于该盾构掘进施工地段的地质以粉砂或粉层和粉质黏土层为主,隧道顶部既有建筑物以板结构为主,因此,依据苏州地区及类似地层的施工经验,确定实际注浆量数值是理论计算方量的2.0~2.4倍,即每环建筑空隙注浆量为5.0~6.0 m^3 。注浆压力、隧道稳定、地面沉降等情况会对注浆量有所影响,因此,注浆量的合理值除了要参考经验值以外,还要对上述情况进行综合考虑。在下穿地段进行盾构掘进施工时,地面沉降监测应较其它地段有所加强,并对检测得到的沉降数据进行及时分析、总结,从而及时调整盾构掘进时的掘进参数和注浆压力,使盾构掘进施工能够安全、顺利地进行。

4.7 做好二次注浆

在首次注浆后,可能在管片之后产生未填充的空隙和体积减少部分,因此基于隧道稳定因素和环境保护等目的,决定在盾构机穿越后,通过管片中部的注浆孔进行第二次注浆,即补注浆,借以将盾构机穿越后土体的沉降量减少到最小。并且,在隧道防水方面,由于减轻了隧道的防水压力,使得防水效果得到提高。二次注浆注入同步浆液固结体的外侧,计算如下:

盾构推进后与管片产生的间隙: $(6410 - 6200) / 2 = 105 \text{ mm}$;

盾构本体外径6410 mm,管片外径6200 mm;

同步浆液对土体的扩大化为:30~80 mm;

二次注浆孔深为管片壁厚100~150 mm,注浆压力控制为0.4 MPa。

二次注浆材料通常选用水泥浆、水玻璃双液浆双材料的模式,使得对同步注浆起到进一步补充和加强作用,达到最优效果。同时将会对管片周围的地层进行进一步的充填和加固。同步注浆浆液的主要物理力学性能应满足表1所列指标。

说明:浆液分A、B型两种配比,A型为正常段掘进注浆配比,B型为盾构始发段及接收段注浆配比。注浆量统计以人工计量为主,同步注浆系统为辅的办法予以控制,安排专人进行同步注浆量和浆液拌合

质量的监督工作,并做好计量记录备查。

表 1 同步注浆浆液配合比

序号	体积/m ³	消石灰/kg	粉煤灰/kg	膨润土/kg	黄砂/kg	水/kg	减水剂/kg
A	1	60	400	70	800	400	2
A	0.75	45	300	53	600	300	1.5
B	1	70	300	67	930	400	3
B	0.75	53	225	50	700	300	2.3

4.8 避免盾尾漏浆措施

地面沉降的主要因素是由于盾尾漏浆,因此,对于安全穿越火车站以及盾构顺利施工防盾尾漏浆起到至关重要的作用。在实际施工过程中通常使用高质量的吨位密封油脂和嵌入管片防漏浆海绵条等方法,防止盾尾漏浆等不良现象的产生。在盾构下穿施工过程中为实现连续注入,必须严格控制盾尾密封油脂的注入压力和时间。通过苏州火车站站场段油脂注入量 50 kg/环(正常段 40 kg/环),确保盾构穿越过程中盾尾密封良好。

若采取此措施漏浆仍然不能被阻止,为防止由于漏浆造成地面下沉或隆起,必须在盾尾壳体和管片之间的缝隙中嵌入海绵条,即将海绵条沿环向全周围嵌入盾尾壳体与管片间的缝隙,防止继续漏浆而造成地面沉降。海绵条单块长度=管片长度+100 cm,尺寸为 150 mm×150 mm。

4.9 保障设备正常运转措施

盾构穿越火车站区域施工前必须对相应的机械设备进行维修、保养,机械设备主要包括推进油缸的液压和止锁系统、加泥(加水)系统、同步注浆系统、盾尾密封系统、水平运输电机车以及垂直运输龙门吊等,保证设备在穿越建筑物期间各部件和系统能够正常运转,从而确保结构物安全及施工顺利进行。

5 结束语

盾构穿越火车站区域前,要根据下穿区域构筑物的结构及基础特点,下穿前做好监控量测、构筑物保护及充分施工准备工作,穿越期间根据试验段掘进参数及监测数据,确定合理土仓压力、控制出土量及推进速度、严控同步注浆量和二次注浆、防止盾尾漏浆、加强设备维护等技术措施,确保构筑物安全及施工顺利进行。通过监测数据反馈,构筑物沉降指标符合要求。实践证明,针对此类地层采用膨润土和泡沫进行渣土改良,土仓压力保证在 0.26~0.32 MPa 之间,盾构掘进出土量控制在 38.34~38.72 m³ 之间,同步注浆每环量为 5.0~6.0 m³,二次注浆压力控制为 0.4 MPa,盾尾壳体和管片之间的缝隙中嵌入海绵条等盾构掘进参数及主要施工技术措施能够确保下穿段构筑物的安全及施工顺利进行,并满足火车站区域地表沉降控制要求。

参 考 文 献

- [1] 邓如勇,雷帅,全雪勇,等. 泥水盾构穿越富水大粒径卵石地层掘进问题及处治措施[J]. 施工技术, 2018, 47(5): 86-91.
- [2] 王国富,路林海,李强. 区间隧道近距穿越高速公路桥头变形控制新技术研究[J]. 现代隧道技术, 2017, 54(5): 217-223+228.
- [3] 陶冶来. 合肥轨道交通 2 号线盾构下穿高铁施工技术[J]. 施工技术, 2018, 47(4): 103-106.
- [4] 马文辉,彭华,杨成永. 盾构近距下穿既有地铁盾构隧道施工参数控制[J]. 西南交通大学学报, 2018, 53(1): 119-127.
- [5] 李承辉,贺少辉,刘夏冰. 粗粒径砂卵石地层中泥水平衡盾构下穿黄河掘进参数控制研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(S2): 147-152.
- [6] 王闯,彭祖昭,苟超,等. 盾构近接下穿群桩基础施工影响分区研究[J]. 土木工程学报, 2017, 50(S2): 174-181.
- [7] 杨丽明,沈宇鹏,汤天笑,等. 地铁盾构隧道下穿施工对简支梁桥安全性影响分析[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(3): 96-100.

[8] 孙兰泉. 城际铁路长距离穿越高铁桥桩设计施工关键技术 [J]. 铁道标准设计 2017 61(12): 90-95.

[9] 赵平, 邵铨, 何松, 等. 含卵碎石粗砾砂地层对地铁隧道施工安全的影响浅析 [J]. 青岛理工大学学报 2017 38(5): 29-33 + 39.

Application of Key Construction Technology for Shield Undercrossing Railway Station Area

Zheng Jun

(China Railway First Group Co. Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to ensure the safety of the regional structure and the smooth construction of the railway station, the main requirements of the area structure, the stratum characteristics and the earth pressure balance shield construction are analyzed before the construction, and the tunneling parameters of the shield is combined with the test section for the construction of the regional shield construction at the Suzhou Railway Station. The key construction technology of the shield undercrossing railway station is summed up, which effectively guarantees the safety of the structure and the construction effect is good. In particular, it summarizes the relevant shield tunneling parameters through the combination of theoretical calculation and practice, and provides a good reference for this kind of construction in Suzhou.

Key words: shield; construction technology; tunneling

(上接第 28 页)

High Drainage Construction Technology for the Yanyingan Tunnel Thrust Fault of Gushing Water

Zhang Zhaolong

(Shaanxi Xihan Intercity Railway Limited Co. Ltd., Xi'an 710034, China)

Abstract: In order to solve the construction problems of the tunnel with water and sand gushing in the F4 fault zone of Yanyingan tunnel in Huaishaocheng, the tunnel mechanical parameters in fault zone were determined by using FLAC3D numerical simulation, according to actual geological conditions of the tunnel, combining with the design scheme to establish a three-dimensional calculation model of Yanyingan hole, drainage tunnel and circuitous heading. Two different calculation conditions, tunnel excavation only, and construction of drainage tunnel and roundabout heading followed by tunnel excavation, were confirmed. The results of two working conditions show the latter condition is beneficial to the stability of tunnel wall rock and guarantee the construction safety. the solution of water pressure separation and bypass construction is designed according to the calculated results.

Key words: Yanyingan tunnel; F4 fault; serious water and sand gushing; drainage hole; circuitous heading; model calculation