

地铁车站下穿既有铁路站场咽喉区的 施工方案及防护措施

翁木生

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安//高级工程师)

摘要 西安地铁火车站站下穿铁路站场咽喉区, 施工难度高。分析了全明挖、分离岛-先隧后站大盾构、分离岛-先隧后站矿山法等三种施工方案。经比选分离岛-先隧后站矿山法施工方案最优。详细介绍了地面铁路股道及岔道加固措施, 并阐述了深孔注浆加固地层、大管棚+超前注浆小导管等CRD(交叉中隔墙)法开挖等辅助措施。在项目施工期间, 通过自动化监测系统进行全面细监控, 并通过协调联动机制共享监控量测信息, 针对监测预警信息, 及时采取增加垫片及补充道砟等措施, 既保证了国有铁路的行车安全, 又保证了地铁施工的顺利进行, 验证了施工方案的可行性。

关键词 地铁车站; 下穿既有铁路站场; 施工方案; 防护措施

中图分类号 U455.41⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.05.029

Construction Scheme of Subway Station Crossing under the Throat Zone of Railway Yard and Protective Measures

WENG Musheng

Abstract The Railway Station of Xi'an subway is built under-passing the throat area of railway yard with great construction difficulty. Three construction schemes are analyzed and compared, including the full open excavation, the separation island-tunnel before station shielding and the separation island-tunnel before station mining, and the third one proves to be the best through comparison. Then, the reinforcement measures for railway track and turnout are elaborated in detail. Auxiliary measures like the deep hole grouting method is adopted to reinforce the stratum, the large pipe shed+advance grouting small conduit and center cross diagram (CRD) method are used for excavation. During the construction, relying on the automatic monitoring system and through the co-ordination and linkage mechanism, the forecast information are obtained and analyzed. Measures such as adding gasket and ballast to the railway station track are taken to keep the smooth line operation and meet the traffic safety of national railway. At

the same time, the feasibility of the construction scheme is verified.

Key words subway station; crossing under existing railway yard; construction scheme; protection measures

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

随着西安地铁建设的发展, 常常发生新建地铁下穿既有建筑物的情况, 其工程建设环境复杂, 设计施工难度较大^[1-2]。当新建地铁车站下穿既有铁路车站时, 车站咽喉区的铁路设施设备众多、地质条件复杂, 稍有不当, 就会使下穿项目范围内的铁路设施及管网等因地面沉降而发生故障, 影响其正常使用和安全。其中铁路道岔区对沉降尤为敏感, 如不能及时采取应对措施, 将严重危及铁路行车安全。

对于新建地铁下穿既有建筑物的情况, 文献[3-16]从地层沉降及结构受力等角度展开分析, 得到新建地铁与既有建筑物相互影响的规律。但这些研究多针对于新建地铁对地层沉降的影响及控制标准, 很少关注地铁下穿铁路站场的设计方案优化及施工过程的防护措施选用问题。

下穿工程的地质条件一般较复杂, 如不能选取合理的施工方案, 并采取合理的防护措施, 则可能发生严重施工灾害, 并严重威胁既有建筑的安全。尤其是下穿地质条件复杂和结构设施较多的铁路车站工程, 一旦发生灾害, 其危害性更大。

基于以上认识, 本文以西安地铁4号线(以下简为“4号线”)下穿西安火车站咽喉区项目为依托, 以确保地铁车站施工期间的铁路运营安全为目的, 分析比选合适的地铁下穿铁路站场施工方案, 并提出相应的综合防护措施。实际的施工现场监测结果验证了该施工方案及防护措施的有效性, 可为类似项目提供参考。

1 工程概况

1.1 4 号线与西安火车站咽喉区的相互关系

4 号线火车站站位于西安市明城墙外,环城北路以北。该站主体处于西安火车站咽喉区下方、铁路出站通道东侧,与铁路站场斜交,呈南北方向布置。经现场调查和实际测绘,4 号线右线下穿西安火车站内的 14 股道及 4 组道岔,左线下穿西安火车站内的 15 股道及 8 组道岔,并与陇海铁路正线斜交约 40°。其平面相对关系如图 1 所示。图 1 中,Ⅱ道与 V 道为陇海铁路正线。根据实测资料,铁路站场各线轨面高程为 401.98~402.13 m,基本等高。站场区内有大量接触网及信号设备。

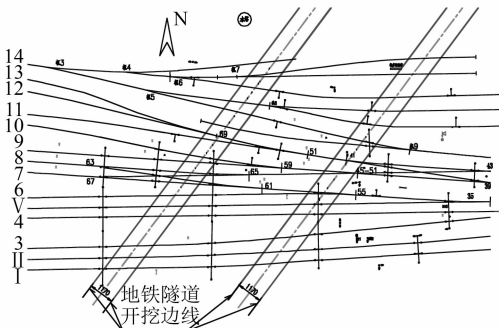


图 1 4 号线火车站站隧道与铁路站场咽喉区平面关系图

1.2 工程地质条件

西安火车站铁路站场区的场地较为平坦,地貌单元属洪积二级台地,地表分布有薄厚不均的全新统人工填土(Q4ml);其下为上更新统风积(Q3eol)新黄土及残积(Q3el)古土壤;再下为上更新统洪积(Q3pl)粉质黏土、砂类土等。场地地质纵断面如图 2 所示。场地内地下潜水稳定水位埋深为 7.00~8.60 m,相应高程为 394.08~395.56 m。根据西安市长期水位观测资料,勘察时接近低水位期,而地下

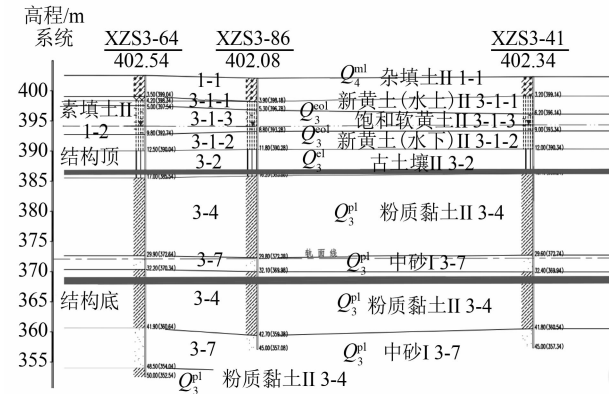


图 2 火车站站场区域地质纵断面

水年变化幅度为 2 m 左右。

2 施工方案

2.1 全明挖方案

地铁车站位于铁路站场下方,工程地质条件及周边环境非常复杂。而铁路站场也恰好正在实施改建工程。因此,全明挖方案可将地铁车站新建工程与国铁站场改建工程同步实施,既有利于铁路站场的安全,同时也能减小地铁车站的实施难度及工程投资。全明挖方案的施工总平面图如图 3 所示。

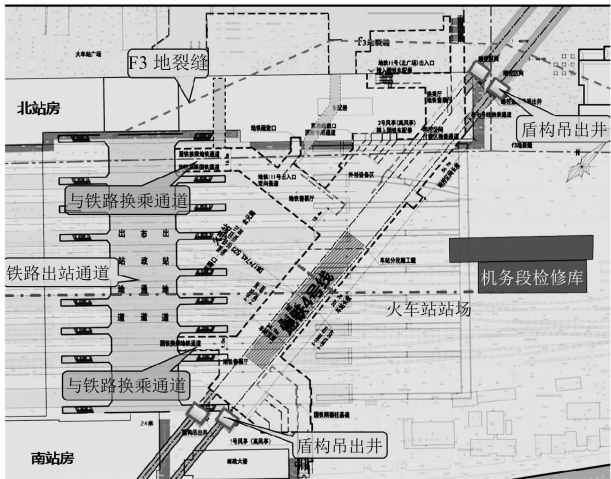


图 3 全明挖方案施工总平面

但全明挖方案也有不足:

1) 全明挖方案涉及的拆迁量巨大。一期的北段建设需拆除铁路站场北侧多层住宅及民宅;二期的南段建设需拆迁南广场车站派出所及德源快捷酒店等共计 6 321 m² 的建(构)筑物;此外,还需临时拆迁 805 m² 邮政仓库,为车站施工提供场地条件。

2) 全明挖方案的工期较长。由于两个工程同步实施,地铁车站的土建工程工期及 4 号线通车计划均受铁路站场改建工程实施进度的影响和制约。如铁路站场改建工期延迟,则 4 号线的全线通车时间可能要延迟到 2020 年,比原计划推迟两年,风险较大。

综上所述,虽然全明挖方案具有施工难度小等优点,但受制于铁路站改工程实施进度,难以满足 4 号线的通车时间节点要求,因此不作为推荐实施方案。

2.2 分离岛-先隧后站大盾构施工方案

分离岛-先隧后站大盾构施工方案如图 4 所示。

根据以往经验,直径为6 m的盾构在施工过程中产生的地表位移变化基本为10~20 mm。目前,还没有直径为11 m的盾构机在西安地区的施工经验。此外,该段隧道覆土不足一倍洞径,其长度也较短。因而该段隧道基本会位于盾构始发段或接收段内,其地表沉降控制难以达到预期的效果。分离岛-先隧后站大盾构方案有以下缺点:

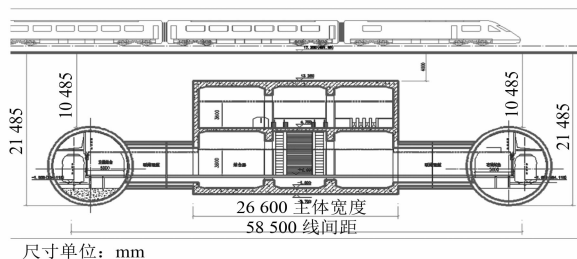


图4 分离岛-先隧后站大盾构施工方案

1) 采用外径约11 m的大盾构机施工,覆土厚度仅约为10.5 m,埋深浅、扰动大,易引起铁路路基隆起,增加车站股道防护难度,其掌子面稳定不易控制。由于该隧道还要下穿邮政大楼、环城北路隧道、火车站南广场地下车库、护城河及城墙,故该方案整体风险过高。

2) 隧道与明挖主体间共有15处连接通道,故需采用浅埋暗挖施工方法对外径为11 m的隧道进行开洞。受隧道管片的环宽限制、换乘通道的宽度及环控过风面积等因素影响,盾构施工部分隧道在开洞过程中的施工风险极大。

3) 外径11 m的大盾构机施工总长度不足2 km。即便使用已有资源(旧盾构机),也不具有经济优势。采用新购盾构机,除了费用极高外,其盾构机的生产时间(至少1年)对项目也有巨大影响,不满足西安地铁4号线的开通计划要求。

4) 目前尚无相应的黄土地区大直径盾构施工经验,且隧道较短,对地层沉降的控制达不到预期要求。

5) 受施工场地条件限制,若采用该方案,铁路站场南北两侧的盾构施工场地拆迁量及拆迁难度均较大。

6) 泥水加压式盾构施工需在地面设置泥水处理站,对周边环境的影响较大。

由上述分析可知,在其他施工方法能满足工期、安全及周边环境条件等相关要求的情况下,大盾构施工方案不具明显优势,故宜优先考虑采用其他施工方法。

2.3 分离岛-先隧后站矿山法施工方案

分离岛-先隧后站矿山法方案中,4号线火车站站,通过矿山法先施工站台层隧道,后施工车站。整体来看,分离岛-先隧后站矿山法方案具有相当的综合经济优势,而且矿山法方案施工方式灵活、可实施性强,可有效减少地铁施工过程中的房屋拆迁及综合协调工作。

矿山法施工可选取合适的施工方法及辅助措施,能有效控制地层沉降,使既有建(构)筑物的沉降和变形可得到较好保证,进而使地铁施工过程中的铁路运营安全风险可控。

对后期明挖工程的施工验算分析表明,后期地铁明挖部分施工过程中,合理的基坑支护体系和配套的施工措施能够保证地铁施工和铁路运营的安全。

因此,综合考虑工程风险、工期、造价及前期拆迁等各因素,应优先采用分离岛-先隧后站矿山法施工方案,但必须采取有效的综合防护措施,以确保地铁施工及铁路运营的安全。

3 综合防护措施

分离岛-先隧后站矿山法施工方案的综合防护措施主要包括地表防护措施和隧道防护措施。

3.1 地表防护措施

为保证既有铁路线路的正常运营,地铁隧道施工时,根据铁路站场影响区内的轨道形式、列车运营情况,以及铁路常用的轨道加固方式,要采用D型施工便梁和纵横梁体系对股道及道岔区进行加固。因受现场条件限制,不可能同时对所有股道实施加固措施,只能分区域加固。

当施工便梁的长梁采用两点支撑时,极易因一端发生局部沉陷而导致线路失稳。故拟对24 m长的D型施工便梁采用多点支撑,其两端用挖孔桩基础支撑,中部每隔8 m设置1处明挖法施工的独立基础支撑。纵横梁加固体系也同样设计。纵梁长度为24 m,横梁长度根据道岔宽度不同而不同,以尽量减小横梁尺寸为原则。

根据4号线左右线隧道的影响范围,将加固区域分为A、B两个区域。左线对应A区域,右线对应B区域。根据铁路站场股道及道岔分布情况,将A区域分成6块小区,分别为A1—A6区,将B区域分为5块小区,分别为B1—B5小区。总体加固方案及区域划分见图5。

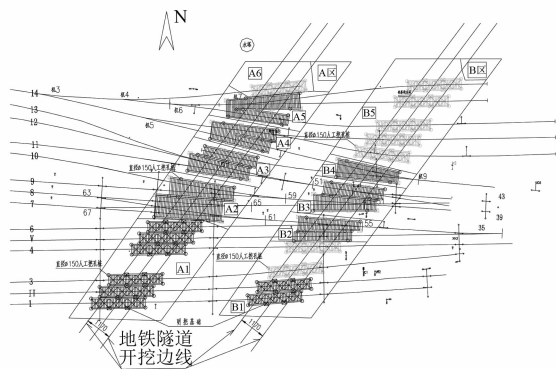


图5 铁路站场区总体加固方案及区域划分示意图

A1、A6、B1 及 B5 区域采用 24 m 长的 D 型施工便梁加固,其他区域采用纵横梁体系加固。

加固体系支撑在直径为 1.5 m 的挖孔桩基础或明挖独立基础上。挖孔桩单根桩长 8 m,明挖独立基础深 2~4 m。加固措施由南向北按区域依次推进。纵横梁体系中的横梁按由北向南方向安装。施工中,在受相邻线路影响、加固措施实施困难时,需停运并拆除影响加固的股道,待加固完成后再还建。

在既有铁路道岔区段,为防止道岔横向移位,在道岔轨枕之间,以及轨枕外侧与纵梁工字钢间,用木制横撑加固,以确保道岔位置固定。

3.2 隧道防护措施

3.2.1 注浆加固及堵水措施

下穿铁路站场区的地铁车站正线暗挖隧道断面为 11.7 m(宽)×10.1 m(高),线间距为 58.5 m,隧道覆土厚度约为 10 m,采用 CRD(交叉中隔墙)法施工。

暗挖隧道的施工降水对于场区地面沉降的影响非常大。根据西安地铁的暗挖隧道施工降水情况统计,降水引起的地面沉降普遍超过 10 mm。地质勘查资料显示,该处土层还有一层饱和软黄土。因此,在暗挖段隧道施工前,要采用全断面深孔注浆方式进行土体加固及堵水。按要求,加固后的开挖面土体无侧限抗压强度达到 0.6 MPa,周边土体达到 1.2 MPa,渗透系数 $\leq 10^{-6}$ cm/s。

每一循环注浆长度为 15 m(搭接长度为 3 m)。打设注浆管时,最外侧三排注浆管间距为 500 mm,沿开挖轮廓线环向布置,并按 7.5°、5.5°及 3.5°外插角施做,以加固开挖线外 2.0 m 范围内的土体。注浆压力要严格控制在 0.15~0.3 MPa 范围内;浆液采用水泥+水玻璃+化学浆液;注浆顺序由外向内,并

间隔施工注浆。

全断面深孔注浆在堵水的同时,还会在开挖洞体范围之外形成 2 m 宽的加固土体。加固土体连续成环,进而形成“压力拱”。在“压力拱”的保护范围之内进行分步开挖,可有效地控制因洞体开挖引起的地面沉降。

3.2.2 隧道支护及开挖

铁路站场对沉降控制要求非常严格。地铁隧道下穿铁路站场时,除了土体加固及堵水措施,还要采取以下措施:

1) 超前加固措施。在隧道拱部设置 $\phi 159$ mm 间隔 400 mm 的大管棚;单排设置 $\phi 42$ mm 壁厚 3.5 mm 的注浆小导管,长度为 3.5 m;注浆小导管环向间距为 0.4 m,纵向间距为 2.0 m。

2) 采用 CRD 法开挖时,要保证开挖各部施工连续作业,以尽早封闭成环,减少掌子面暴露时间。

3) 施工中,严格控制开挖进尺为 0.5 m,严禁超挖。

4) 施做初期支护时,应预埋 $\phi 42$ mm 的注浆管;初期支护施做完毕后,注浆回填初期支护与土层间的空隙。注浆压力应控制为 0.5 MPa。注浆管按梅花型布置,起拱线以上环向间距为 2 m,边墙环向间距为 3 m,纵向间距为 3 m。施工过程中,因根据沉降情况,进行多次补注浆。二次衬砌在模筑时预埋注浆管。二次衬砌完成后,应及时在其背后压注水泥浆液。

5) 地铁隧道穿越前,采用地质雷达对对穿越地段做详尽地下勘探,以彻底摸清地下障碍物情况,排除意外因素。

4 施工监控

监控量测是地铁施工的重要组成部分。通过监测及时预测和反馈,用其成果来调整设计、指导施工。

针对铁路站场区的复杂情况,为不影响铁路的正常运营,采用自动化监测系统,通过全站仪,对站场区域的既有地表、轨道、信号设备、电缆、管沟、高压电线杆、电力接触网及一期暗挖隧道内部等进行监测。

通过对监测数据的相关分析和信息反馈,掌握施工过程中受力与变形的关系。一方面,能及时修正设计和指导施工,实现对施工过程进行有效的预测和控制,优化施工工序和调整施工措施;另一方

面,能为及时判断既有西安火车站运营安全状况提供依据,对可能发生的事故提供及时准确的预报,使有关各方有时间做出反应,避免恶性事故的发生,进而确保既有铁路线安全运营。

本工程暗挖隧道下穿铁路站场的沉降控制指标如表 1 所示。监测项目应按“分区、分级、分阶段”的原则来制定监控量测的控制标准,并按预警和报警分别进行反馈和控制。

在 4 号线施工过程中,施工方根据监测预警,及时对地铁隧道施工影响范围内的铁路股道采取了增加垫片及补充道砟等措施,有力保证了铁路的正常运行,进而使 4 号线如期在 2018 年底开通运营。实践表明,在采用施工综合防护措施的前提下,分离岛-先隧后站矿山法施工是完全可行的。

表 1 既有铁路监控标准

控制指标	铁路路基沉降/mm	铁路路基允许沉降速率/(mm/d)	轨道坡度允许控制值	铁路轨道几何尺寸容许偏差控制值	
				水平/mm	高低/mm
控制基准	15.00	5.00	0.000 60	6.0	6.0
预警值	11.25	3.75	0.000 45	4.5	4.5
报警值	12.75	4.25	0.000 51	5.1	5.1

5 结语

1) 综合对比全明挖、分离岛-先隧后站大盾构、分离岛-先隧后站矿山法等 3 种施工方案,经比较表明,分离岛-先隧后站矿山法具有较好的适用性,故作为推荐方案。

2) 4 号线火车站站先期实施的暗挖隧道,采用深孔预注浆加固地层并堵水,并采用大管棚结合小导管超前支护和 CRD 法施工,在地面对铁路线路及相关设施采取预加固、自动化监测、及时养护等措施,使工程安全风险得以有效控制。

3) 4 号线的下穿隧道施工过程中,能严格按照设计要求和相关规范进行施工,并依托地铁施工与铁路运营协调联动机制来共享监控量测信息,进而通过增加垫片及补充道砟等措施,来保持线路平顺,满足了铁路运营安全的要求。

参考文献

[1] 翁木生.西安火车站咽喉区下地铁车站设计与优化研究[J].铁道标准设计,2019,63(6): 139.

[2] 何志军.地铁区间隧道下穿福厦铁路风险分析[J].铁道标准设计,2018,62(8): 105.

[3] 漆泰岳.地铁施工引起地层和建筑物沉降特征研究[J].岩土工程学报,2012,34(7): 1283.

[4] 王剑晨,张顶立,张成平,等.北京地区浅埋暗挖法下穿施工既有隧道变形特点及预测[J].岩石力学与工程学报,2014,33(5): 947.

[5] SCHROEDER F C, POT TS D M, ADDENBROOKE T I. The influence of pile group loading on existing tunnels[J]. Geotechnique, 2004, 54(6): 351.

[6] 翁效林,孙腾,冯莹.桩基础承载过程对近距离地铁隧道影响机制分析[J].哈尔滨工业大学学报,2016,48(3): 138.

[7] 张玉伟,翁木生.大厚度湿陷性黄土地层浸水条件下承载桩基对近距隧道的影晌研究[J].岩石力学与工程学报,2017,36(8): 2040.

[8] NG C WW, HONG Y, SOOMRO M A. Effects of piggyback twin tunnelling on a pile group: 3D centrifuge tests and numerical modeling[J]. Geotechnique, 2015, 65(1): 38.

[9] 张玉伟,翁效林,谢永利.非对称基坑开挖对浅埋下卧地铁隧道的影响[J].地下空间与工程学报,2018,14(3): 770.

[10] 张玉伟,谢永利,翁木生.非对称基坑开挖对下卧地铁隧道影响的离心试验[J].岩土力学,2018,39(7): 2555.

[11] HONG Y, SOOMRO M A, NG C W W. Settlement and load transfer mechanism of pile group due to side-by-side twin tunnelling[J]. Computers and Geotechnics, 2015, 64: 105.

[12] 韩煊,刘赧炜,STANDING J R.隧道下穿既有线的案例分析与沉降分析方法[J].土木工程学报,2012,45(1): 134.

[13] NG C W W, LU H. Effects of construction sequence of twin tunnelling at different depth on a single pile[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2013, 51(2): 173.

[14] 马少坤,吕虎,WONG K S,等.双隧道对群桩影响的三维离心模型试验研究[J].岩土工程学报,2013,35(7): 1337.

[15] MROUEH H, SHAHROUR I. Three-dimensional finite element analysis of the interaction between tunneling and pile foundations [J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2002, 26(3): 217.

[16] 陈孟乔,杨广武.新建地铁车站近距离穿越既有地铁隧道的变形控制[J].中国铁道科学,2011,32(4): 53.

(收稿日期:2019-05-02)