第 25 卷 第 2 期石家庄铁道大学学报(自然科学版)Vol. 25 No. 22012 年 06 月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE)Jun. 2012

# 地铁车站下穿既有线安全施工技术

#### 赵光泉

(中铁十四局集团 隧道公司 山东 济南 250014)

摘要:北京地铁九号线军事博物馆站下穿一号线区间隧道,在下穿施工过程中,必须保证既 有线路的正常运营。为此,先进行超前支护,再采用多分部的 CRD 法施工,大刚度和强度初支进 行支护,并采用三维数值方法分析了车站隧道下穿施工对既有线的影响,施工过程中的多项现 场监测结果表明,既有结构的沉降和新建隧道结构受力都控制在安全范围之内,保证了既有隧 道的正常和新建隧道安全。

关键词: 地铁车站; 下穿施工; 多分部 CRD 法; 施工监测; 安全分析 中图分类号: U456.3 文献标识码: A 文章编号: 2095-0373(2012)02-0037-05

1 概述

随着城市地铁建设规模的不断扩大,新建地铁结构下穿既有线的情况也越来越多,新建隧道的下穿施工如何保证既有线结构的安全,不影响既有线的正常运营,越来越受到研究人员的重视<sup>[1-3]</sup>。北京地铁 9 号线军事博物馆站主体下穿既有一号线区间隧道结构,与既有线区间结构轴向呈 81°夹角。车站地面周 边建筑物密集且多为高层建筑,地下管线密布,地面交通异常繁忙。

车站主体站两端主体结构为三拱两柱双层结构,下穿段采用分离式的单层双洞形式。隧道开挖断面高 10.505 m,宽 9.55 m,两隧道间净距仅 4.7 m,单层段结构拱顶与既有 1 号线区间隧道框架结构底板底面的垂直距离为 10.8 m。下穿段总长度为 23.2 m。既有 1 号线区间隧道结构为双跨单层矩形框架的钢筋混凝土结构,顶板厚 0.75 m,底板厚 0.7 m,侧墙厚 0.7 m,区间纵向每 22.8 m 设置一道变形缝。下穿段隧道断面和既有 1 号线区间隧道的情况及相互位置关系如图 1。

下穿隧道支护为复合式衬砌结构,初支为35 cm 厚 C25 格栅拱架喷混凝土,二衬为800 cm 厚的C30 模筑混凝土结构,初支与二衬之间设防水板。

在车站下穿施工过程中,需要严格控制施工引起的地层变位及既有结构的沉降,保证1号线的正常 运营,因此,必须选择合适的施工方案并分析施工对既有结构的安全性。

## 2 工程地质及水文地质

(1) 工程地质。车站工程范围内的地形略有起伏,地层从上至下分别为:含砖块碎石等杂填土层、含砖灰渣的粉土填土层;局部含粉砂夹层的粉土层③;粉质粘土③1层;粉土层③2;细砂粉砂层④;级配良好的卵石及圆砾层⑤(卵石最大直径8 cm);粉质粘土层⑤1;以粘粒为主而胶结的强风化砾岩层⑪极软岩;砾岩层⑪1 和粘土岩地层等。隧道穿越地层主要为砾岩⑪1 层和粘土岩地层。砾岩⑪1 层:强风化,成岩性较差 粘粒胶结,局部含细砂,易掰碎;粘土岩层:中等风化,中等胶结,含少量中粗砂粒及云母。

(2)场地水文地质条件。北京地铁九号线军事博物馆站车站施工范围内存在一层地下潜水水,水位 埋深8.0~8.7 m,含水层为卵石、圆砾⑤层。因下穿既有线段距上方的含水层最近处约9.5 m,隔水层厚 度较大,现场开挖发现掌子面比较干燥,地下水对施工影响较小。

### 收稿日期:2012-02-20

作者简介: 赵光泉 男 1973 年出生 高级工程师



图1 车站下穿段隧道断面及1号线区间隧道情况示意图(单位:m)

## 3 隧道下穿施工方案

#### 3.1 施工方案的确定

下穿既有1号线区间隧道段的新建军事博物馆站主体结构断面为分离式双洞形式,断面9.55 m (宽) ×10.505 m(高)。为尽可能减小少下穿施工对既有线区间隧道的影响,保证既有线正常运营,先进 行大刚度和强度的超前支护,然后再采用安全性较高的能够有效控制地层变位的 CRD 法施工,且严格按 照设计施工步序进行施工,待一侧隧道开挖并衬砌施作完毕后再施工另一侧隧道。

#### 3.2 隧道施工顺序

车站下穿既有地铁1号线区间隧道段采用 CRD 法施工 具体施工步骤如下:

(1)施作管棚。在开挖前,在1号线区间结构底板与新建隧道结构外轮廓间施作三层的管棚贯穿整 个下穿段,并进行注浆。

(2) 施作右侧隧道。按1、2、3、4、5、6的开挖顺序分步施工右侧隧道,并施作初期支护及临时支护相 邻两部之间间隔5m,直至各部全部施工完毕。

(3) 逐段拆除临时横撑,施作底板及部分侧墙防水层和二次衬砌。

(4) 将临时竖撑拆除,施作剩余部分侧墙及拱部防水层和二次衬砌。

(5) 开挖另一侧结构。按7、8、9、10、11、12的开挖顺序分步开挖,并施作初期支护和临时支护,相邻 两部间隔5m,直至各部全部施工完毕。

(6) 逐段拆除横撑,施作底板及部分侧墙防水层和二次衬砌。

(7)拆除竖撑,铺设剩余部分边墙及拱部防水层,浇注主体边墙及顶部混凝土。

(8) 二次衬砌背后注浆。浇注站台板,施作附属结构及内部装修。

新建地铁九号线军事博物馆站施工工序图如图2。

## 4 隧道施工对既有线影响的安全性分析

为了解多分部 CRD 施工过程中地层的变形及施工对既有区间隧道的影响,利用三维数值差分软件 FLAC3D<sup>[4]</sup>,对下穿既有1号线的施工过程进行数值模拟分析,计算模拟步骤如图2。

#### 4.1 计算模型及参数

模型边界条件的选取为模型侧面和底面为位移边界,模型顶 面取到地面,为自由边界,底面采用竖向约束,侧面采用水平约束。 地层、既有结构和新建隧道支护及衬砌结构均采用实体单元模拟, 划分单元后的模型如图3 模型中共192100个实体单元。



图 2 军博站地铁线施工工序简图

计算荷载考虑既有地铁结构自重、土体自重力及地表超载取 20 kPa。

模型中各地层参数见表1 既有线结构及下穿段隧道结构参数见表2。

容重/(kN・m<sup>-3</sup>) 压缩模量/MPa 泊松比 粘聚力/kPa 内摩擦角/(°) 土层 填土 16.5 6 0.4 0 10 砂 19.5 25 0.29 0 30 卵粒 20.5 35 0.20 0 38 砾岩 21.3 55 0.23 70 40 砾岩-1 21.3 85 0.26 70 40 泥岩 21.6 93 0.30 85 40

表1 军博站地层参数

#### 表2 下穿段既有结构计算参数

混凝土标号	容重/(kN・m <sup>-3</sup> )	弹性模量/GPa	泊松比
C25 喷混凝土初支	25	23	0.2
C30 钢筋混凝土二衬	25	30	0.2
C28 既有结构	25	27	0.2

#### 4.2 数值模拟结果及分析

(1) 既有结构的竖直沉降。在两侧隧道全部施工完成后引起既有结构的最大竖向沉降为 2.38 mm, 小于运营线路的竖向沉降控制值 3 mm。

(2) 既有结构沉降缝处的差异沉降。轨道的差异沉降是影响列车安全运行的一个重要指标,既有结构纵向每 22.8 m 设置一道变形缝,位置如图 3。两侧隧道均施工完成后引起的既有结构不同沉降缝处的 差异沉降如图 4。从图 4 可知,既有结构结构 4 两端变形缝 3 和变形缝 4 处的差异沉降最大,分别是 0.49 mm 和 0.31 mm,两端变形缝的最大差异沉降为 0.18 mm,小于差异沉降控制值 1 mm。



图 3 既有线区间底板变形缝设置示意图

图 4 下穿段施工引起的既有区间结构线路沉降

(3) 既有结构的应力分析。由隧道下穿施工引起既有结构出现拉应力过大时就会导致结构出现裂缝 影响既有结构的正常使用 ,从而影响既有线路的正常运营。下穿隧道施工完成后上方既有区间段隧道结构的最大主应力 – 10.4 kPa 和最小主应力 – 404.7kPa ,均出现在结构地板上 ,且均为数值都较小的压应力。

## 5 施工监测

#### 5.1 监测项目及测点布置

在下穿既有区间结构布置下沉测点 在右侧隧道中部处设一监测断面 监测既有结构下沉、围岩与初 支间的接触应力、初期支护喷混凝土层的应力、初期支护与二次衬砌之间的接触应力、二衬钢筋的应力和 二衬混凝土应力等项目 测点布置如图 5。

5.2 监测结果分析

5.2.1 既有结构下沉

在结构侧墙底部共布置 18 个测点 线路轨道上布置 8 个测点。在施工过程中,曾经在隧道上方与既 有结构底板以下地层中进行多次补偿注浆,每个测点的曲线波动较大。从右线隧道从破除马头门,至下 穿开挖完成,结构最大沉降 1.63 mm 轨道最大沉降 0.64 mm。

5.2.2 围岩与初支间接触压力

地层与初期支护间测点的接触应力变化曲线如图 6。从图 6 可以看出:监测断面内各测点的接触应 力变化曲线的波动幅度以左拱脚为最大,其次是拱顶;波动幅度较大的原因与多次的袖阀管补偿注浆密 切相关,尤其是注浆压力较大的注浆施工,注浆压力最大曾经到达 2.5 MPa,导致局部接触压力在短时间 内急剧增大,随着注浆结束,接触压力很快跌落下来,这样的规律与下面讨论的其他监测项目的规律有相 似之处。应力最大处为拱顶和左拱脚两处,量值在 20 kPa 左右,其次是左侧拱肩,其余各点均较小。



图 5 测点布置示意图



5.2.3 初支混凝土应力

初期支护混凝土测点应力变化曲线如图 7。从图 7 可以看出:初支喷混凝土各点应力在整个施工过 程中都存在多次震荡波动的现象,有的测点应力波动幅度甚至很大,如拱顶测点的应力。在监测断面的 多个测点中,两侧拱肩处的喷混凝土应力为拉应力,左拱肩处稍大一些,为 0.37 MPa;其它各点应力均为 压应力,最大值在左侧墙中,施工过程中曾达 1.82 MPa,最终应力为 1.26 MPa。

5.2.4 初期支护与二次衬砌间的接触应力

初支与二衬间各点接触应力变化曲线如图 8。从图 8 看出: 各点接触应力都非常小,波动幅度也较小,而且增长速率较小,多数点的应力增长速度已经明显放缓,且逐渐趋于稳定。由于隧道开挖采用了比较强初期支护结构,因而,在限制地层变位的同时,也基本上承担了全部的地层压力及既有结构产生的附加荷载等作用。此时隧道已经稳定,二次衬砌在这里也仅仅是作为支护体系的安全储备。



各点二衬外层混凝土的应力变化曲线如图 9。从 图 9 可以看出:除个别点位二衬混凝土应力一度出现 拉应力外,其它各点处的应力全部为压应力,且比较 小。由于混凝土应力监测时间较短,根据应力随时间 的变化曲线来看,各点处混凝土的应力仍然处于缓慢 增长的态势,但是增长速度较慢,一些点处也表现出趋 于稳定状态,增长幅度非常有限,如左侧拱肩和左侧墙 中。二衬混凝土出现这样小的应力,可能是由于大强 度和大刚度的初期支护结构承担主要地层压力和既有



结构产生的附加荷载 在此情况下二衬结构可以作为安全储备隧道结构的安全储备。 5.3 结算结果与监测结果的对比

隧道施工引起既有结构沉降的计算结果为 2.38 mm, 而在施工过程中的沉降监测值为 1.63 mm, 计算值大于监测值, 计算值比监测值大 31.5%。

隧道施工引起既有结构底板的最大压应力计算结果为 404.7 kPa。隧道施工过程中地层与初支监测 结果的稳定值全部小于在 240 kPa,这一数值量值与引起既有结构底板应力的量值相当。总之,由于采取 了大刚度和大强度的支护结构 将隧道施工对既有结构的影响降低到了较小的程度,保证了既有地铁的 正常运营和新建隧道的安全。

## 6 结论

采用三维数值方法分析了新建地铁车站隧道下穿既有区间结构的安全性,在施工过程中进行多项目的现场监测。数值分析和监测结果结果表明,在进行大刚度和强度超前支护条件下,按多分部开挖的 CRD 法进行下穿施工引起既有线结构的沉降、差异沉降变形和附加应力均控制在允许范围内,隧道结构 本身的受力也较小,保障了既有地铁线路的正常运营和新建隧道的安全。下穿段隧道的顺利完工,说明 所选施工方案是合理性的。

## 参考文献

[1]仇文革. 地下工程近接施工力学原理与对策研究[D]. 成都: 西南交通大学土木工程学院, 2003.

[2] 吴波. 浅埋暗挖法隧道施工沉降控制基准分析及应用 [J]. 世界隧道, 2002(增刊): 241-244.

[3]孔祥鹏,刘国彬,廖少明.明珠线二期上海体育馆地铁车站穿越施工对地铁一号线车站的影响[J]. 岩石力学与工程 学报,1997,16(3):7-12.

[4]李围. 隧道及地下工程 FLAC 解析方法 [M]. 北京: 中国水利水电出版社 2009.

## Safety Analysis of Metro Station Tunnel Construction Under Existing Subway Zhao Guangquan

( China Railway the 14th Engineering Bureau Group Corporation , Ji' nan 250014 , China)

Abstract: During the construction of metro station tunnels of subway Line 9 under existing subway tunnel Line 1, usual operation of Line 1 must be guaranteed. So after presupporting the ground, the tunnel was excavated by using the multi-step CRD method with initial support and lining with high stiffness and strength. A 3D numerical mode was used to verify the safety of chosen construction method. The results of simulation and field supervision have shown that settlement of existing structure and stress caused by the construction were all constrained within the allowed ranges , which had kept the exiting subway in usual state and the newly built tunnel safe.

Key words: metro station; construction under exiting subway; CRD method; safety analysis

(责任编辑 车轩玉)