

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.036

地铁近距离交叠隧道下穿既有桥梁桩基设计与分析

姚晨晨

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

摘要:为评估与研究大连地铁1、2号线近距离交叠区间隧道下穿既有桥梁桩基工程,采用有限元数值模拟法,分析区间双线四孔隧道施工先后顺序对工程的影响,提出了必要的工程安全性保护措施。解决项目中工程风险专项设计中的问题,为类似工程积累经验。计算结果表明:近距离交叠隧道施工引起地面沉降量7.7 mm小于上限值15 mm,能够满足桥梁沉降控制值要求;根据隧道埋深和围岩类型,“先下后上”的施工工序是合理可行的,能够有效减少地面沉降;对于交叠隧道下穿既有桥梁桩基,做好施工保护措施是很有必要的,比如增设隔离桩、地面注浆加固、隧道内支撑系统、爆破减震控制措施。

关键词: 近距离交叠隧道;施工工序;下穿既有桥梁桩基;加固措施;数值分析

中图分类号: U455

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)01-0201-04

Design and Analyses of Metro Closely Overlapped Tunnels Under the Existing Bridge Piles

YAO Chenchen

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: In order to evaluate the impacts of closely overlapped tunnels of Dalian metro line one and two on the existing bridge piles, the finite element method is adopted to analyze the influence of the successive construction sequence of four tunnels of two metro lines. The essential protection measures are proposed. The results are as follows. The estimated maximum ground subsidence caused by the construction of closely overlapped tunnels is about 7.7 mm which is less than the upper limit value. According to the buried depth and surrounding rock type of tunnel, the construction sequence is reasonable and feasible. The upper tunnels are first excavated, which can reduce the ground subsidence effectively. The protection measures are essential for the successful construction of tunnels under existing bridge piles, which include isolated pile, the application of grouting, internal supporting system in the tunnel and the control of buffer blasting.

Keywords: closely overlapped tunnels; construction sequence; under existing bridge piles; reinforcement measures; numerical analysis

随着城市地铁工程建设越来越多,不可避免会出现近距离交叠隧道情况,北京、广州、深圳、青岛等城市地铁区间中均有近距离交叠隧道情况。日本铁道综合技术研究所发表的《近接隧道施工的设计与指南》^[1],该指南提出近接并行隧道施工时,应根据隧道间相互影响程度的不同采取不同的处理措施;隧道位置的变化产生的影响范围的分类方法。国内

陈卫军等^[2]整理了近距离交叠隧道相关研究现状,郑余朝等^[3]对深圳地铁老街—大剧院双孔交叠隧道矿山法施工进行了模型试验与数值研究。

城市繁华区域建(构)筑物密集,区间隧道设计中不可避免出现下(侧)穿建(构)筑物情况,朱正国等^[4]对新建隧道超近距离下穿既有地铁车站施工方案进行了方案优化研究,张航^[5]分析了小净距浅埋

暗挖隧道下穿密集房屋的安全性,章慧健等^[6]研究了城市隧道近接建筑物施工的影响并给出了一些对策。

本文以大连地铁 1、2 号线区间隧道工程为背景,开展了近距离交叠区间隧道下穿既有桥梁的设计与研究,为类似隧道工程研究与设计积累经验。

大连地铁 1 号线西安路站—功成街站区间右线起终点里程 DK16 + 640.701—DK17 + 850.153,覆土 22.6 m~9.40 m。2 号线西安路站—交通大学站区间右线起终点里程 DK16 + 690.387—DK16 + 788.830,覆土 25.8 m~18.2 m。区间均为单洞马蹄形断面,标准段断面宽为 6.2 m,高为 6.51 m,采用矿山法施工。

1 号线西功区间右线自 DK16 + 640.701 至 DK16 + 826.613、左线自 DK16 + 640.701 至左 DK16 + 768.574 为矿山法区间上下交叠段,与 2 号线西交区间竖向最小净距 1.79 m。1 号线区间隧道在上,2 号线区间隧道在下。

周边环境有解放广场五一桥桥梁一座,区间隧道下穿五一桥,其中五一桥第 17 号桥墩桩基桩底端距离 1 号线西功区间左线水平最小距离为 3.05 m,桥桩底端距 1 号线西功区间隧道左线初支结构拱顶竖向最小距离为 4.17 m;距 1 号线西功区间右线水平最小距离为 4.75 m,桩底端纵向距 1 号线西功区间右线初支结构拱顶竖向最小距离为 4.16 m。桥桩桩径为 2.90 m,为端承桩。上部结构为连续梁钢筋混凝土桥。

土层自上而下为素填土、碎石、强风化板岩、中风化板岩,1、2 号线四条区间隧道所处地层均为中风化板岩。西功区间里程 DK16 + 726.841 处交叠隧道与既有桥桩关系,见图 1。

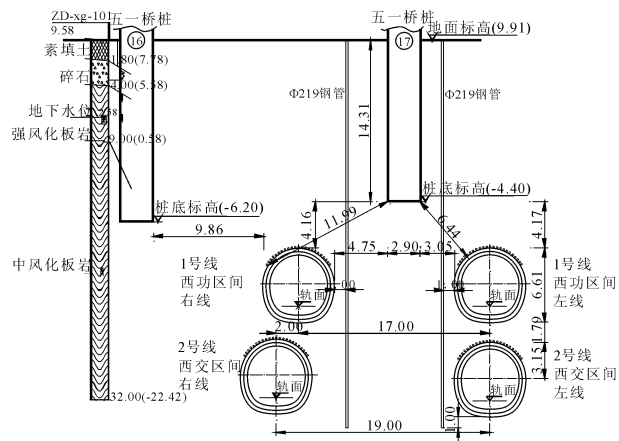


图 1 交叠隧道与既有桥桩关系图(单位:m)

1 工程设计

1.1 近距交叠隧道

1 号线西功区间与 2 号线西交区间沿西安路而设,下穿与西安路接近正交的五一路上的五一桥,平面位置关系见图 2。上下交叠隧道间垂直净距仅 1.79 m,小于 1 倍隧道断面开挖宽度 6.20 m,判别为近距离交叠隧道^[2]。

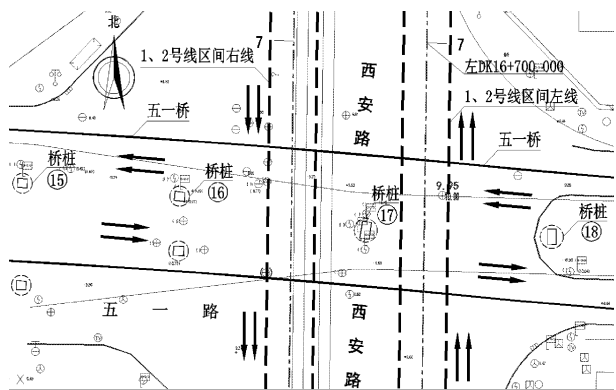


图 2 区间平面示意图

1.2 工法比选

下穿五一桥区间段为双线四孔交叠隧道,沿西安路敷设,明挖法施工影响交通范围大、桥下施工难度大、工程风险大,同时西安路为交通要道,地表有 202 有轨电车运行,采用暗挖法或盾构法是明智的。综合分析在五一桥至西安路站之间设置盾构井受到限制等因素下,确定下穿五一桥区间段采用矿山法施工。

1.3 台阶法

台阶分部上下段开挖示意,见图 3。

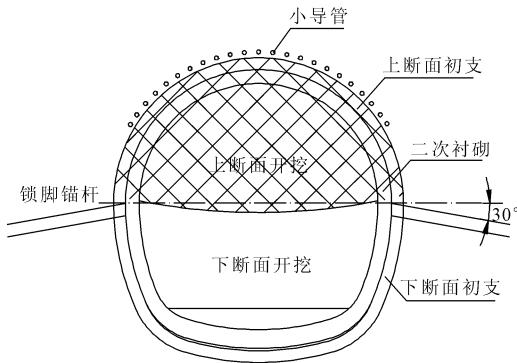


图 3 台阶法示意图

为了减少成孔时引起地面沉降,超前小导管采用顶进法施工,外插角 10°~15°。上台阶开挖时,对开挖面周边均匀设置,50 mm 的密排减震眼,减小爆破对围岩的影响,施作初期支护后两侧各设置,Φ32

长度3 m锁脚锚杆2根,下台阶开挖后及时封闭,严格遵循八字方针。

1.4 施工工序

近距离交叠隧道矿山法施工常采用工序有以下三种情况:(1)单线逐个施工,隧道间相互影响较小、较安全,但工期长;(2)多线同向间歇施工,工期较短,但先施工隧道土体扰动对后施工隧道影响较大;(3)多线同步或异步对向施工,工期最短,但在施工交汇处土体受双向扰动,隧道相互影响最大。图4所示施工工序。

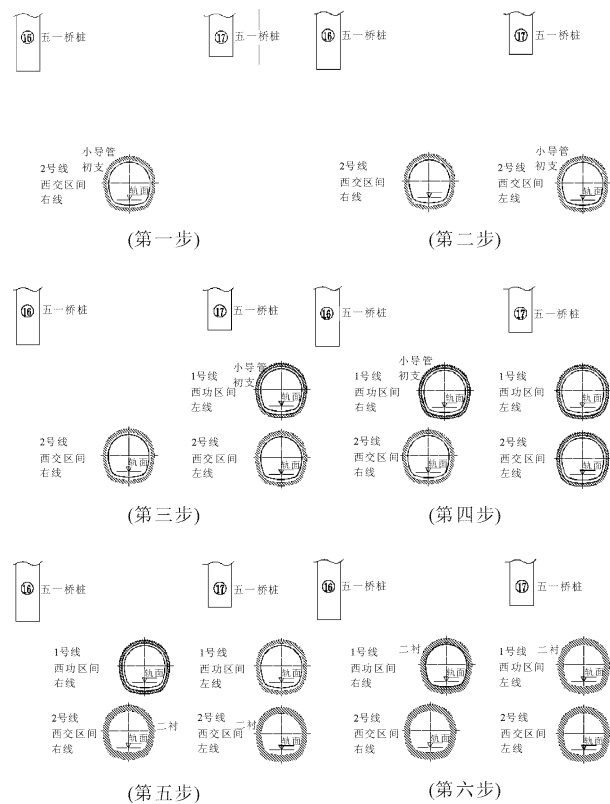


图4 交叠双线四孔隧道施工工序图

第一步:实施桥桩地面实施桥桩地面加固和支顶措施。台阶法开挖下线西交区间右线隧道,施作超前支护和初期支护。

第二步:西交区间右线隧道通过桥桩影响区域范围后,台阶法开挖下线西交区间左线隧道,施作超前支护和初期支护。

第三步:待下线西交区间左线隧道通过桥桩影响区域范围后,台阶法开挖上线西功区间左线隧道,施作超前支护和初期支护。根据监测结果需要时在下洞内设置临时支撑。

第四步:待西功区间左线隧道通过桥桩影响区域范围后,台阶法开挖西功区间右线隧道,施作超前支护和初期支护。根据监测结果需要时在下洞内设

置临时支撑。

第五步:模筑下线西交区间二次衬砌。

第六步:模筑上线西功区间二次衬砌。

1.5 施工措施

1.5.1 超前地质预报

施工前采取超前地质预报措施,及时准确了解地质概况,为施工提供更加可靠参考信息。

1.5.2 降水

区间位置地面标高约9.9 m,水位标高约2.5 m,区间最小覆土厚度约18.5 m,地下水位较高,施工中加强洞内排水措施,及时疏干,确保无水作业。

1.5.3 爆破控制

区间位于中风化板岩,爆破开挖严控进尺长度和药量装填,严控振速2 cm/s以内,减少对围岩的损伤,主要影响区优先选用光面爆破;采用直孔螺旋掏槽处理小面积孤石硬岩;在上台阶两侧拱脚及中下方局部设置双排减振孔,进一步降低爆破影响。

1.5.4 保护措施

(1) 增设隔离桩。区间隧道初期支护外边缘靠近桥桩一侧距离1 m,沿纵向方向影响区增设,219钢管各一排,长度约35 m,伸至下线区间初支以下1 m。

(2) 地面注浆加固。对桥墩桩基周边土注浆加固,加强桩基与周边土的整体性。

(3) 临时支撑钢架。桥墩处支撑钢架,对桥梁上部结构预先支顶并用千斤顶动态调整沉降,在在调节过程中和调节后最大沉降不能大于5 mm。

(4) 背后注浆。初期支护施作后及时进行初期支护背后注浆,保证初期支护背后密实,注浆距开挖工作面5 m位置处进行,浆液为水泥浆。二次衬砌背后注浆在二次衬砌设计强度达到75%以上后进行,浆液为C30微膨胀水泥浆。

(5) 夹岩层注浆加固。下层隧道施工时,拱部采用小导管对交叠隧道间夹岩层注浆加固。

(6) 侧墙设置中空注浆锚杆。

(7) 内支撑系统。上线隧道开挖时,在下线隧道内设置内支撑系统,以降低对既有结构的影响,根据现场施工围岩情况,设置范围为上线隧道掌子面位置前后各15 m~20 m。

(8) 临时封闭桥梁。施工前对影响区域内桥梁评估与鉴定,核实加固措施,确定变形控制标准。施工过程中对桥梁进行临时封闭。

1.6 监控量测

加强对桥桩的监控量测,并及时对监测信息进

行分析评估和调整设计支护参数。

2 数值分析

2.1 计算模型

计算岩土层参数见表 1, MIDAS/GTS 建立二维有限元模型, 见图 5, 初期支护采用梁单元模拟, 其余均采用平面单元模拟。

表 1 计算参数表

土层	E/GPa	μ	γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	φ /($^\circ$)	c /MPa
素填土	5	0.35	18.3	15	10
卵石	25	0.30	20.7	32	5
强风化板岩	12	0.33	20.0	16	40
中风化板岩	45	0.25	24.5	28	80
桩周加固土体	10	0.30	21.0	45	60
C25 喷混	23	0.23	22.0	—	—

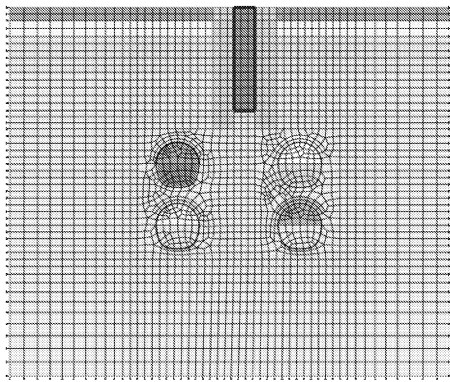


图 5 计算模型

2.2 控制标准

五一桥为城市高架桥, 设计安全等级为一级, 根据《公路桥涵地基与基础设计规范》^[7] (JTG D63—2007) 及研究^[8] 建议控制标准, 地表沉降建议控制上限值为 15 mm, 相邻桥墩间沉降率为 0.2%, 相邻桥墩水平差异沉降控制上限为 3 mm。

2.3 计算结果及分析

各模拟开挖步骤下, 拱顶沉降、桩底竖向位移以及地表沉降, 见表 2。

表 2 各模拟开挖步骤下沉降值

开挖步骤	第一步	第二步	第三步	第四步
地表沉降/mm	3.4	5.5	6.3	7.7
桩底竖向最大位移/mm	3.3	5.5	6.2	7.7
上线隧道拱顶最大位移/mm	3.9	6.1	6.7	7.7
下线隧道拱顶最大位移/mm	6.6	7.4	5.6	5.6

隧道模拟开挖完成后, 竖向位移结果, 见图 6。

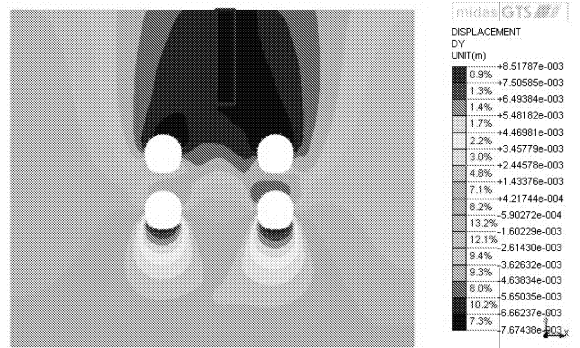


图 6 隧道开挖完成后竖向位移云图

根据以上计算结果分析:

(1) 模拟计算地表最大沉降值为 7.7 mm, 小于沉降建议上限值 15 mm。由于隧道基本对称分布在桥梁桩基两侧, 计算基本无水平位移, 小于水平位移建议上限值 3 mm。

(2) 模拟开挖完成后下线隧道仰拱的隆起量为 8.5 mm, 小于建议上限值 10 mm。

(3) 下线隧道开挖过程中交叠隧道之间夹岩层的沉降值约在 4.2 mm ~ 7.4 mm 范围内, 上线隧道开挖完成最终沉降值约为 2.6 mm ~ 5.6 mm 范围, 上线隧道仰拱的隆起量约为 2 mm。下线隧道施工时拱部小导管超前支护加固夹岩层能够起到减小拱部沉降的作用。

(4) 在施工第一步下线隧道左洞开挖后, 地表沉降约为 3.4 mm; 在施工第二步下线隧道右洞开挖后, 地表沉降约为 5.5 mm。可利用桥墩处支撑钢架和千斤顶动态主动顶升桥梁沉降, 确保桥梁安全。

3 结论

通过对地铁近距离交叠隧道下穿桥梁的工程设计与数值计算分析, 得到以下结论。

(1) 近距离交叠隧道设计时, 尽可能使得隧道位于较好的岩层里, 有效减少隧道开挖对周边地层变形的影响。

(2) 采取合理施工工序、爆破减震控制、地面注浆加固、主动顶升桥梁等措施, 能够有效控制交叠隧道施工对桥梁桩基产生的影响, 确保桥梁安全。

(3) 交叠隧道设计中预留的围岩变形量应考虑上线隧道拱部沉降、下线隧道开挖引起夹岩层的沉降以及下线隧道仰拱的隆起量。

(下转第 210 页)