

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.03.009

哈尔滨地铁利用既有隧道扩挖区间技术

刘效永

(中铁二十二局集团, 北京 100043)

摘要: 哈尔滨地铁西大桥—教化广场区间和教化广场—铁路局区间建设为利用既有人防工程进行扩挖改建, 属国内首例。针对既有隧道破除的结构安全性问题, 通过对其首破及破除后结构内力变化的研究, 选择适宜的首破点和破除方向, 采用临时竖撑预支加固、先侧墙后仰拱、径向注浆和跳槽扩挖等施工方法和措施, 使既有结构内力变化在可控范围内, 有效地控制了拱顶沉降、仰拱上浮和地层位移, 保障了结构安全和施工安全, 确保了工程的顺利进展。

关键词: 既有人防隧道; 跳槽扩挖; 首破点; 径向注浆; 临时竖撑

中图分类号: U412.31

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)03-0039-05

The Technology of Extending the Existing Tunnels to Construct Harbin Metro

Liu Xiaoyong

(China Railway 22nd Construction Bureau CO., LTD., Beijing 100043, China)

Abstract: Harbin Metro from West Bridge to Jiaohua Square and Jiaohua Square to the railway bureau is constructed by extending the existing civil air defense engineering. Aiming at its structural-broken security problems, the structure internal force variations for first breaking and after breaking are studied. By means of appropriately selecting the first-breaking point and breaking direction, interim vertical pre-support enforcing from sidewall to arch invert as well as vertical grouting and interval digging expanding, the structure internal force variations are within controllable range, and the vault settlement, arch invert floating and ground movement are effectively controlled. The structure and constructing security and the smooth project process are ensured.

Keywords: existing aerial defense tunnel; interval digging expanding; first-breaking point; vertical grouting; interim vertical support

哈尔滨地铁(Harbin Metro)是哈尔滨市的城市轨道交通系统。始建于2008年,总体规划为9条线、1条环线和两条支线,总里程约340 km,计划用20 a的时间建成,估算总投资2 000亿元,是哈尔滨市历史上最大的城市基础设施项目^[1]。其中地铁一号线一期工程计划投资83.6亿元,现正在建设中,将于2013年年初通车,其中的西大桥—教化广场与教化

广场—铁路局区段,为利用既有“7381”人防隧道进行改造而成。随着城市地下空间的开发和利用,在进行地铁项目建设时,如能充分利用既有人防工程,不仅可以盘活国有资产,提高地下空间的利用率,而且可以缩减新建工程,降低工程项目投资,对城市的整体规划十分有利^[2]。已有文献资料中,尚未见利用既有人防工程进行扩挖改建地铁隧道的报导,

收稿日期: 2012-03-20

作者简介: 刘效永(1962-),男,安徽宿州人,中铁二十二局集团副总工程师,高级工程师,主要从事铁路,城市轨道交通等土木工程施工方面的工作与研究, E-mail: liuxiaoyongxl@163.com

因此,本工程属于国内首例,该工程施工方案的设计与实施,可为同类隧道的设计、施工、改造和研究提供有益的借鉴与参考。

1 工程概况

哈尔滨地铁一号线中的西大桥—教化广场与教化广场—铁路局为相邻的两区间,位于主干道西大直街路下,总线路长度为1.8 km,全部为利用既有“7381”人防隧道进行改造而成。“7381”人防隧道工程始建于1973年8月1日。隧道为马蹄形断面,采用浅埋暗挖的施工方式,建造时因考虑到平战结合,故按当时北京地铁一号线的建筑限界设计进行施工,采用C25钢筋混凝土衬砌,厚度为0.6~1.2 m,结构净宽7.7 m,净高6.9 m,深埋16.4~24.2 m。

哈尔滨地铁拟采用B型标准车辆,因而既有“7381”人防隧道不能满足其限界要求,造成上行列车超限。因此,需要对既有隧道的单侧和下部进行扩挖,即地铁隧道应在既有隧道结构线位的基础上,横向偏移0.4~0.6 m,底面下移0.3~0.4 m,隧道的结构断面如图1所示。

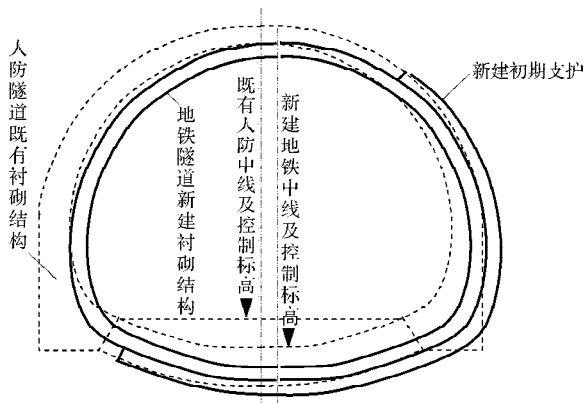


图1 隧道结构断面示意图

Fig. 1 The schematic of tunnel structure section

工程区间的自然高程约为120 m,场地以砂类土为主,主要为粉质黏土层,局部夹有粉、细砂层。“7381”隧道下卧层主要为中、粗砂层,稳定地下水埋深在隧道仰拱以下。

2 既有隧道破除安全性分析

对既有“7381”隧道右侧和下部进行扩挖,需先破除其右侧墙及仰拱,隧道局部破除将导致其内力重新分布,当其内力增大较多且不可控时,将会导致隧道既有结构被整体破坏。

运用荷载-结构法分析隧道侧墙破除前后的结构内力变化,如图2所示。

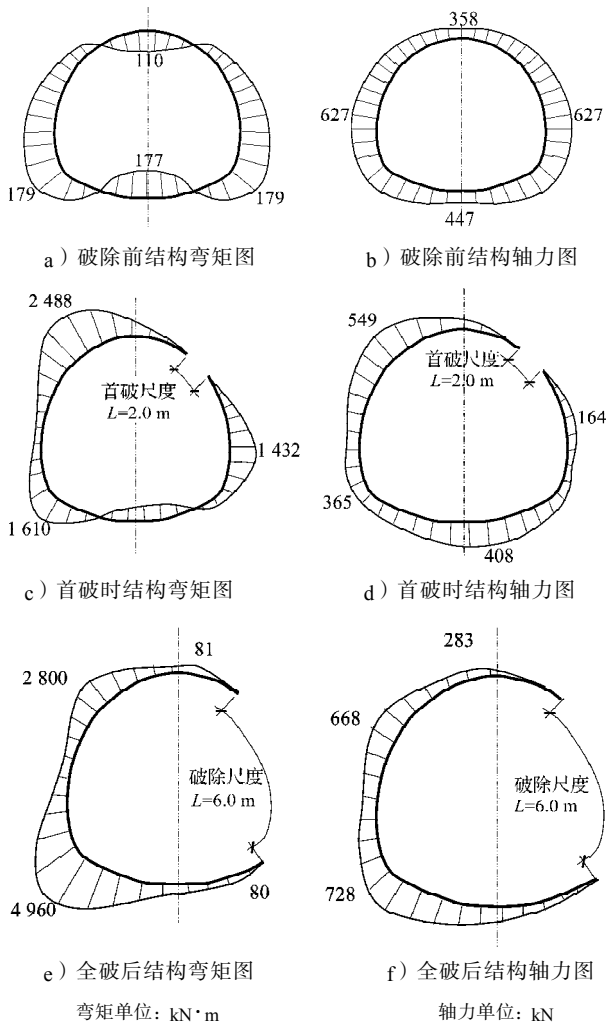


图2 侧墙破除前后结构内力变化

Fig. 2 The structure internal force variations before and after sidewall breaking

由图2可知,隧道侧墙拱肩首破时,虽然其环向轴力变化不大,但弯矩增大十分迅速,分布形态变化显著。随着扩挖下延,当破除尺度 $L=6.0$ m时,最大弯矩及轴力均转移至左侧拱脚处,最大弯矩将较破除前增大数十倍,达4 960 kN·m,轴力相对变化不大,为728 kN,但此时的结构安全系数仅为0.08,结构应力值达121 MPa,远超C25混凝土的极限抗压强度,将造成既有“7381”隧道垮塌事故。因此,施工前需对隧道结构进行加固处理,以减少破除后的内力改变,确保施工安全。

已有研究表明,使用临时竖撑预支加固,可有效限制隧道结构被局部破除后的内力改变,抑制结构内力随破除尺度的加大急剧增大的发展趋势,并将该变化控制在一定的范围内^[3]。临时竖撑预支加固后,当侧墙被全部破除,即破除尺度 $L=6.0$ m时,隧道的结构内力最大,其弯矩值为198 kN·m,轴力为478 kN。与结构破除前相比较,除个别部位的内力

略有提高外,大部分内力基本相当或有所减小,采用临时竖撑预支破除侧墙后的结构内力如图3所示。

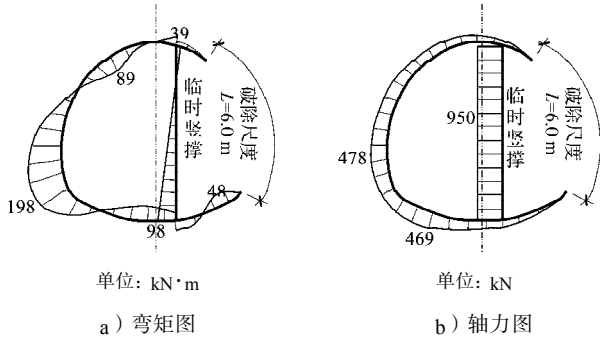


图3 采用临时竖撑预支破除侧墙后结构内力

Fig. 3 The structure internal force after sidewall breaking with interim pre-support

同样,采用荷载-结构法,分析仰拱先破后隧道的结构内力重新分布,发现其较采用临时竖撑侧墙先破方案引起的弯矩增加值较大,施加临时平撑预支效果不明显,并且会影响施工,隧道结构趋于不安全,故不宜采用仰拱先破方案。同时,经研究还发现,拱中首破较拱脚首破的弯矩变化相对较小,如图4所示,故仰拱破除时选择仰拱中部作为首破点较为适宜。

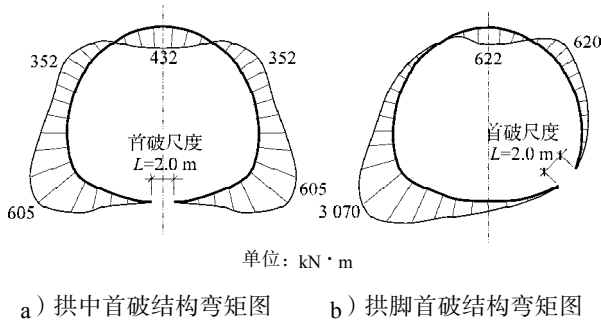


图4 仰拱先破后结构弯矩

Fig. 4 The bending moment after first breaking of arch invert

“7381”隧道位于砂类土层中,因此,在隧道扩挖面破除前进行径向注浆是控制地面沉降的有效途径^[4]。为了降低扩挖对地层位移场的影响,宜采用跳槽法进行破除和开挖^[5]。径向注浆和跳槽扩挖的共同作用,还能减小结构破除后隧道的内力和内力变化,在该操作最不利的情况下,最大弯矩为129 kN·m,最大轴力为327 kN,安全系数达3.28,满足施工规范要求。

经研究发现,隧道侧墙先破方案中,拱肩首破引起的结构弯矩增加值小于由拱腰首破引起的结构弯矩增加值,如图5所示。并且,由拱脚首破引起的结构弯矩增加值更大,因此,采用拱肩首破更加有利于结构安全。

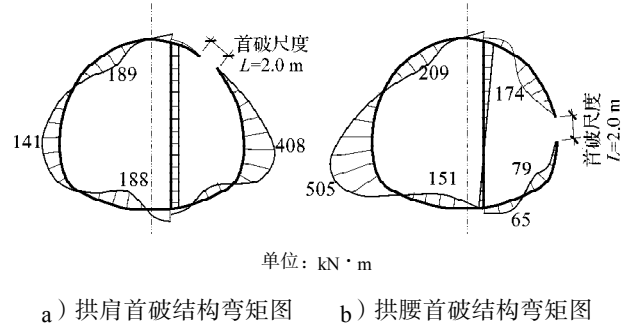


图5 侧墙先破后结构弯矩

Fig. 5 The bending moment after first breaking of sidewall

3 既有隧道破除步骤

既有隧道破除前,需要对隧道施工分区,即沿“7381”隧道纵向,每72 m为一施工区段,各区段平行作业。每一区段划分为1~8单元,每单元由a, b, c槽段组成,槽段纵向宽度为3.0 m。具体施工步骤为1b→2b→3b→4b→5b→6b→7b→8b→1a→2a→3a→4a→5a→6a→7a→8a→1c→2c→3c→4c→5c→6c→7c→8c,区段内各槽段实行流水作业,如表1所示。其中,流水步距A的具体操作为,单元范围内径向注浆,并且架设槽段内临时竖撑;流水步距B的具体操作为,槽段范围内既有侧墙破除、扩挖及喷锚支护;流水步距C的具体操作为:槽段范围内拆除竖撑,既有仰拱的破除、扩挖及初期支护。

表1 槽段流水步骤

Table 1 The process of unit trench constructing

流水步骤	1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b	1a	2a	3a	4a
第1步	AB											
第2步		AB										
第3步			AB									
第4步				AB								
第5步					AB							
第6步						AB						
第7步							AB					
第8步								AB				
第9步									B			
第10步										B		
第11步											B	
第12步												B
第13步												
第14步												

4 施工工艺及方法

具体施工过程中,采用临时竖撑预支加固、先侧

墙后仰拱和跳槽破除扩挖法分段进行施工,并辅以径向注浆措施。径向注浆加固以单元为单位,每一个施工单元包括3个作业槽段,并一次完成单元内3个槽段的注浆。既有结构破除由单元内中间槽段(即b槽段)开始,每槽段与新建初期支护格栅拱架对应位置设置2道临时竖撑。既有衬砌混凝土破除以机械为主,同时结合人工辅助。既有初支破除和围岩土体开挖采用人工作业。新建喷锚支护格栅拱架的间距为1.5 m,顺隧道纵向距槽段分界0.75 m。新建衬砌应在一施工区段初期支护全部完成后进行,纵向防水分区9.0 m,模筑一摸的长度为12.0 m,具体的施工工艺如图6所示。

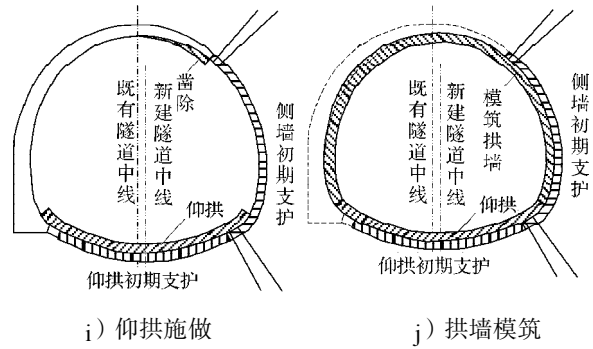


图6 施工工艺

Fig. 6 Constructing technology

各施工工艺中的具体操作方法如下:

a)单侧径向注浆加固。①结构破除前,在“7381”隧道内进行径向注浆;②以单元为单位,同时完成a, b, c 3个槽段内的注浆;③在既有结构上钻眼,注浆管穿过隧道,进入围岩土体;④利用注浆泵压注水泥浆液,注浆压力为1.0 MPa左右;⑤渗水、松散及空洞处,压注水泥水玻璃双液浆。

b)临时竖撑加固。①临时竖撑采用400×400 H型钢,纵向水平间距为1.5 m,每一槽段设置2道;②为了避免局部应力集中,有效传递弯矩,竖撑与结构接触处设置缀板;③缀板与结构混凝土之间用膨胀螺栓连接,有效锚固深度不小于250 mm。

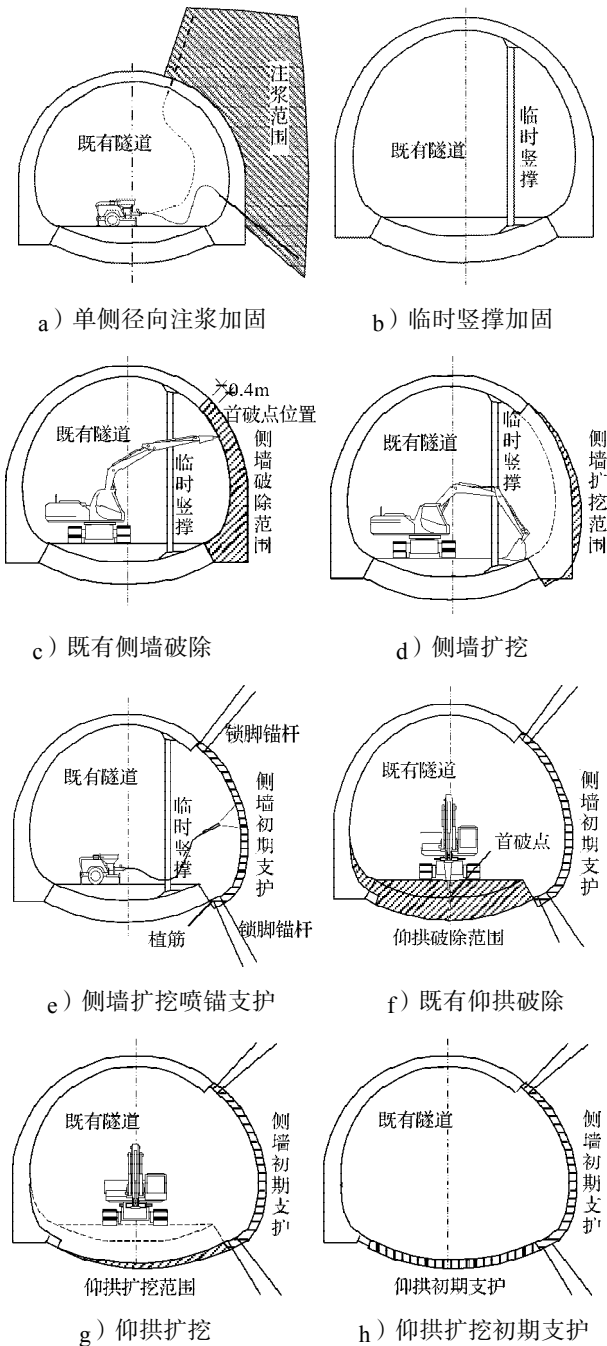
c)既有侧墙破除。①侧墙破除的首破点为拱肩下0.4 m,然后由其向下,逐步破除既有侧墙结构;②挖掘机配液锤,并结合人工风镐破除既有侧墙;③采用液锤破除时,上下边缘各留出0.3~0.4 m,采用人工风镐修凿。

d)侧墙扩挖。①土方开挖主要采用人工开挖、挖掘机配合,并装车外运;②超挖量控制在100 mm以内,严禁欠挖;③超前预报与监控量测必须紧跟作业面,并及时分析反馈,以指导安全施工。

e)侧墙扩挖喷锚支护。①侧墙土方扩挖完成后,立即进行初喷封闭开挖面;②预埋初支背后注浆管,并与格栅拱架及钢筋网焊接;③初支格栅间距1.5 m,上下两端与既有结构连接,原结构主筋搭接长度不足时,采用植筋工艺;④用锁脚锚杆固定格栅,每处设2根锁脚锚杆;⑤采用挂网喷射混凝土初支。

f)既有仰拱破除。①侧墙初期支护达到强度要求时,拆除临时竖撑;②首破点位于仰拱中部,由其向两侧逐步破除既有仰拱填充及结构;③挖掘机配液锤,并结合人工风镐破除既有仰拱;④采用液锤破除时,两端边缘各留出0.3~0.4 m,采用人工风镐修凿。

g)仰拱扩挖。①土方开挖主要采用人工开挖、



挖掘机配合,并装车外运;②超挖量应控制在100 mm以内,严禁欠挖;③超前预报与监控量测必须紧跟作业面,以及时分析反馈,指导安全施工。

h) 仰拱扩挖初期支护。①仰拱土方扩挖完成后,应立即进行初喷,封闭开挖面;②仰拱格栅拱架间距位置与侧墙一致,并与其连接;③格栅另一端与既有结构相连,原结构主筋搭接长度不足时,采用植筋工艺;④绑扎钢筋网,浇筑混凝土初支。

i) 仰拱施做。①初期支护封闭成环3 d,即进行初支背后注浆;②每一施工区段初支全部成环后,以区段为单位统一结构衬砌,先仰拱后拱墙;③隧道全包防水采用无钉铺设;④仰拱浇筑采用定型钢模板,每模板长12 m;⑤凿除既有拱顶侵线部分结构混凝土。

j) 拱墙模筑。①防水板每9 m设一道止水带分区;拱墙采用12 m长衬砌台车模筑,混凝土衬砌预留壁后注浆孔;③模筑混凝土达到设计强度后,及时进行壁后回填注浆。

5 施工注意事项

施工过程中还应注意如下事项:

1) 施工前,应对“7381”隧道渗水处、衬砌背后松散及空洞处,采用双液注浆固结处理,必要时打设小导管注浆支护,方可开始进行槽段内的破除扩挖作业。

2) 为了有效传递弯矩,临时竖撑与既有结构须充分固结。

3) 既有结构首破时,必须严格由首破点开设,不得随意改变首破点位置。

4) 格栅安装时,应严格控制其内轮廓尺寸,预留沉降量,将格栅钢架整体外放50 mm,防止侵限。

5) 超前预报与监控量测必须紧跟作业面,及时分析反馈,指导安全施工。

6 结语

哈尔滨地铁西大桥—教化广场、教化广场—铁路局区间应用本文所述施工技术,成功地将“7381”人防工程改建为适用的地铁区间隧道。既有结构破

除过程中,其内力变化均在可控区间,实测侧墙破除时的最大地表沉降量为10.5 mm,仰拱扩挖完成后,累计沉降29.1 mm,既有隧道拱顶沉降的最大值为6.6 mm,仰拱最大隆起值为15 mm,均在警戒值以内,没有出现结构破坏或诱发较大变形的现象。结构的安全,既保证了施工安全,又有效地控制了拱顶沉降、仰拱上浮、地层位移等现象的出现。该技术的成功应用,不仅使工程得以顺利实施,还可以指导现场施工,为我国后续同类隧道的设计、施工、改造和研究提供了有益的技术支撑和借鉴。

参考文献:

- [1] [佚名]. 哈尔滨地铁[EB/OL]. [2012-03-20]. <http://baike.baidu.com/view/1696001.htm>.
- [Anon]. Harbin Metro[EB/OL]. [2012-03-20]. <http://baike.baidu.com/view/1696001.htm>.
- [2] 王梦恕. 降低城市地铁造价的措施和意见[J]. 铁道工程学报, 1996(增刊1): 12-14.
Wang Mengshu. Measures and Suggestions to Reduce the Cost of Urban Subway[J]. Journal of Railway Engineering Society, 1996(S 1): 12-14.
- [3] 林镇洪,方理刚. 单边扩帮特大跨公路隧道开挖稳定性分析[C]//第八届海峡两岸隧道与地下工程学术与技术研讨会论文集. 台北: [s. n.], 2009: B17-1-12.
Lin Zhenhong, Fang Ligang. Stability Analysis for Large-Span Highway Tunnel by Side-Expand Excavation[C]// The Proceedings of Eighth Cross-Strait Seminar for Tunnel and Underground Works Technologies. Taipei: [s. n.], 2009: B17-1-12.
- [4] 林朝. 盾构区间扩挖技术在东山口地铁站的应用[J]. 广州土木与建筑, 2006(6): 23-25.
Lin Chao. The Application of Enlarging Shield Tunnels Technology in Construction of Dongshankou Station Tunnel [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2006(6): 23-25.
- [5] 关宝树. 隧道工程维修管理要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 151-155.
Guan Baoshu. Tunnel Service Essentials[M]. Beijing: People's Transportation Press, 2004: 151-155.

(责任编辑: 廖友媛)