

独山铁路隧道近距施工技术研究

魏隽

中铁上海设计院集团公司

摘要: 本文结合工程案例, 主要阐述铁路独山隧道隧道近距施工技术问题以及解决的方法措施, 以供同行参考。

关键词: 隧道; 施工技术; 研究

一、概述

某铁路扩能隧道与某铁路电化隧道立体交叉于独山山体。具体如下:

铁路扩能隧道(扩能改造工程独山隧道)里程: DK104+820~DK108+523, 全长3703m, 为单洞双线客运专线隧道, 采用有砟轨道, 设计速度目标值为250km/h, 线间距为4.6m, 隧道跨度13.8m, 高12m。

铁路电化隧道(电气化改造工程某改线段独山隧道)里程: DK105+761~DK111+347, 全长5586m, 为单洞单线隧道, 隧道跨度为7m, 高9.7m。

其中, 电化隧道下穿扩能隧道先行施工, 两隧道立体交叉点处最小间距约为6.5m。

二、近距施工技术问题

(一) 两隧道影响范围

关于隧道之间相互影响的系统研究, 日本走在世界前列。1996年, 在总结日本地铁实践基础上, 日本铁道综合技术研究所发表的“近接隧道施工指南”给出了近接隧道影响范围的分类、相应措施及具体影响范围划分。指南中将相互影响范围分为三类: 无影响范围、要注意的影响范围和必须采取措施的范围, 具体相互影响范围的划分与隧道之间的相对位置关系相关。相互影响判定采用的隧道外径值, 指隧道衬砌外缘的垂直高度或水平宽度中的最大值。根据相对位置的不同, 影响范围的划分有所区别。

本工程扩能隧道与电化隧道交叉角度为 48° , 电化隧道先行施工, 后续扩能隧道施工时, 随着距离两隧道立体交叉点越来越近, 其相互影响程度必然会越来越大, 确定两隧道开始产生相互影响的位置与相互影响区域内的影响程度, 对于下穿电化隧道先行施工时在什么范围内施加怎样的加强措施有重要的指导意义, 后续施工的扩能隧道也同样需要一个明确的影响程度分区, 以便在不同的影响程度分区采取不同的开挖方法、爆破措施保证两隧道立体交叉节点附近的结构安全。

(二) 两隧道施工工序

扩能隧道与电化隧道空间立体交叉, 不同的施工工序, 对各隧道结构安全的影响也不同。如果上跨扩能隧道先施工, 则对扩能隧道的结构安全较为不利, 因为后续下穿电化隧道施工时的爆破荷载可能会引起扩能隧道支护结构的开裂, 另外电化隧道开挖引起的土体应力卸载还会引起扩能隧道在立体交叉点较大的沉降, 沿着隧道纵向会形成一个沉降槽, 施工期间会影响隧道结构的安全, 运营期间较大的差异沉降会造成轨道前后高低不平整, 影响列车运行安全。如果电化隧道先行施工, 则对电化隧道的结构安全较为不利, 因为后续扩能隧道施工产生的爆破荷载会影响电化隧道结构的安全, 当扩能隧道施工至电化隧道上方时, 如果两隧道间距较小, 则扩能隧道的拱部塌落拱荷载会作为附加荷载作用在电化隧道的拱部, 对电化隧道结构安全产生不利影响。关键在于找到不同施工工序对各隧道的影响程度, 权衡利弊, 选择合理的施工工序, 保证两隧道在交叉节点附近的结构安全。

(三) 两隧道交叉区段处爆破施工控制技术

关于“近接隧道”施工相互影响问题, 目前研究较多的是水平并列隧道, 对于立体交叉隧道施工影响问题研究较少。对于立体交叉隧道, 后续施工隧道爆破振动将影响既有或先期施工隧道

的安全, 两隧道之间中夹岩层厚度越小, 围岩等级越差, 影响越严重。对于后续施工爆破对既有或先期施工隧道的爆破振动影响的控制, 《爆破安全规程GB6722-2003》给出了以爆破振动速度为参数的振动安全控制标准。后续隧道交叉区域施工过程中, 通过减小循环进尺, 控制单孔装药量和单段最大起爆药量, 实现后续爆破施工在既有或先期施工隧道衬砌上产生的爆破振动在安全允许标准以内, 确保后续隧道爆破不对既有或先期施工隧道构成危害。

(四) 两隧道在立体交叉段的支护结构加强措施

如果电化隧道先行施工, 后建扩能隧道施工时, 其下方电化隧道已经建成, 且两隧道在立体交叉处仅有6.5m的间距, 随着扩能隧道向电化隧道的推进, 其爆破施工对电化隧道结构安全的影响也将越来越严重, 在运营期间, 上跨扩能隧道客运专线列车行驶速度较高, 会引起立体交叉节点区域电化隧道支护结构的疲劳以及线路轨道的纵向不平顺, 影响隧道结构安全与行车安全。在电化隧道先行施工时需要考虑后期两隧道的相互影响, 预先对电化隧道不同影响区内的支护结构设计不同的支护参数, 保证其在施工及运营期间的安全。

如果扩能隧道先行施工, 后建电化隧道施工会引起扩能隧道较大的纵向差异沉降, 这样会引起扩能隧道轨道前后高低不平顺, 影响列车运行安全。因此, 在设计扩能隧道时, 应该保证扩能隧道的强度和刚度, 根据所受围岩压力情况, 局部加厚支护结构厚度, 另外根据以往工程经验, 隧道拱脚处应力集中现象明显, 设计支护结构时也应该考虑应力集中, 减小在交叉段其对下穿电化隧道结构的影响。

三、研究内容与研究方法

(一) 两隧道交叉段影响程度分区

目前, 隧道设计规范中仅对两孔平行隧道的最小安全距离作出规定, 但是尚未对空间立体交叉隧道安全距离做出规定, 本报告参考《铁路隧道设计规范》, 借鉴日本《既有铁路隧道近接施工指南》对扩能隧道与电化隧道立体交叉节点附近区域进行影响程度分区。

(二) 电化隧道支护结构加强措施

两隧道施工工序不同, 则对电化隧道结构的影响程度也不同, 当电化隧道先行施工时, 对电化隧道结构的影响更为不利, 在施工期间, 由于两隧道交叉节点处间距较小, 电化隧道会受到自身以及扩能隧道的塌落拱荷载, 以及来自扩能隧道的爆破荷载, 在运营期间, 在交叉节点处还会受到较强的列车动荷载作用, 在设计电化隧道均要考虑这些不利影响因素。研究方法为: 首先通过理论分析与数值模拟的方法确定电化隧道的围岩压力, 然后利用《铁路隧道设计规范》确定电化隧道的支护结构施工参数。

(三) 扩能隧道支护结构加强措施

如果扩能隧道先行施工, 考虑到扩能隧道断面面积较大, 约为 150m^2 , 且立交节点附近两隧道间距较近, 后续电化隧道会引起扩能隧道较大的纵向差异沉降, 进而引起轨道前后高低不平顺, 影响客运专线列车安全。通过建立交叉隧道的三维模型, 研究不同围岩等级、不同间距对扩能隧道纵向差异沉降的影响以及扩能隧道的围岩压力 and 支护结构内力情况, 结合立体交叉隧道的相似工程实例确定不同情况下扩能隧道的支护结构加强措施。

(四) 两隧道交叉区段爆破控制措施

对电化隧道先行施工扩能隧道交叉区段和扩能隧道先行施工电化隧道交叉区段进行了爆破分区, 计算了不同分区范围的单段

(下转第96页)

全土柱方法与塌落拱理论计算所得土压力

计算依据理论	隧道埋深 (m)	计算位置	按全土柱计算上覆土重得到的侧土压力 (bar)	考虑塌落拱效应计算上覆土重得到的侧土压力 (bar)
朗肯主动土压力	10.6	土舱上/中/下土压	0.8411/1.2551/1.6891	0.4813/0.8953/1.3293
	12.4	土舱上/中/下土压	1.0731/1.5071/1.9411	0.6159/1.0499/1.4839
	14.4	土舱上/中/下土压	1.3531/1.7871/2.2211	0.7805/1.1705/1.6485
朗肯被动土压力	10.6	土舱上/中/下土压	7.6047/9.0907/10.5167	4.3665/5.8525/7.2785
	12.4	土舱上/中/下土压	8.4927/9.9187/11.3447	4.3776/5.8036/7.2296
	14.4	土舱上/中/下土压	9.4127/10.8387/12.2647	4.2593/5.2893/7.1113

层损失情况。通过综合分析以上各种参数，得出较为精确的地层实际受损情况。

根据分析，对即时沉降正在发生或即时沉降发生后、滞后沉降尚未发生的情况及受掘进扰动影响的地层进行注浆填充。

4. 注意事项。①地面在掘进后一周内塌陷或沉降量大的地段，其下地层基本为自由剥落的松散土，极易发生较大的滞后沉降；②掘进前、掘进中控制的目的是防止超挖、尽量减少地层损失，以控制滞后沉降产生条件；掘进后控制则是着重对可能产生滞后沉降的松散体进行跟踪处理，弥补其地层损失，从根本上消灭滞后沉降发生条件；③人是关键因素。使用经验丰富的盾构司机进行盾构掘进，技术熟练的工人进行盾构操作及施工，杜绝人为因素造成的沉降超限；④地面塌陷较浅时，采用级配良好的回填土回填，并视情况分层碾夯振实，塌陷深度大时，采用C20素混凝土灌注密实。

三、结束语

土压平衡盾构技术在砂卵石地层的成功应用，拓宽了土压盾构的应用范围，这既得益于盾构设备的进步，又得益于土的塑流

化改良技术的发展，已成为最具吸引力的隧道施工技术之一。本文通过对近来施工经验的总结，优化了盾构掘进的参数，有效的避免了地层的即时沉降，并对滞后沉降的控制也提出了相应的处理措施，希望能对盾构施工提供参考，不正之处，敬请指正。

参考文献

[1] 贺少辉. 地下工程 [M]. 北京: 北京交通大学出版社, 清华大学出版社, 2008.
 [2] 乐贵平, 贺少辉, 罗富荣, 等. 北京地铁盾构隧道技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
 [3] 韩日美, 宋战平, 谢永利, 吴焕通. 土压平衡盾构土仓压力对地表沉降的影响 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2010.
 [4] 周尚荣. 砂砾地层土压平衡盾构施工地表沉降分析与控制 [D]. 中南大学, 2010.
 [5] 滕栋. 土压平衡盾构隧道施工引起的地面沉降三维数值模拟 [D]. 中国地质大学(北京), 2012.
 [6] 郭玉海. 大直径土压平衡盾构引起的地表变形及掘进控制技术 [D]. 北京交通大学, 2014.

(上接第90页)

允许装药量，对各区段分别进行了爆破设计，提出了爆破安全措施；采用数码电子雷管，实现逐孔起爆。

设计了在弱影响区进行爆破参数和爆破振动测试试验；要求在爆破交叉区段爆破对临近隧道的影响进行爆破振动监测，并设计了爆破监测方案。

四、结论

(一) 影响程度分区

根据后行隧道施工对先行隧道支护结构的影响，将电化隧道与扩能隧道相互影响区划分为弱影响区、强影响区和重影响区三段，不同的影响区采取不同的隧道支护结构加强措施。

以后行施工隧道爆破在先行施工隧道衬砌上产生的最大质点振动速度5cm/s为爆破振动安全标准，本着最大限度降低对临近隧道影响和提高施工效率的原则，将两隧道爆破施工振动控制区域划分为爆破振动严格控制区和爆破振动加强控制区。

(二) 围岩等级弱化措施

拟将围岩等级弱化一级来等效设计电化隧道和扩能隧道二次衬砌加强措施，在强影响区范围(IV级围岩40m范围、V级围岩50m范围)需对扩能隧道二衬仰拱进行加强。

(三) 电化隧道先行施工安全控制措施

交叉区段为IV级围岩时，在重、强影响区内电化隧道初期支护宜采用格栅支护，格栅间距为0.75m；交叉区段为V级围岩时，在重、强影响区初期支护宜采用管棚格栅支护，格栅间距为0.6m，在弱影响区采用格栅支护，格栅间距为1.2m。

扩能隧道IV级和V级围岩爆破振动严格控制区，通过精确

打眼，严格控制循环进尺、采用数码电子雷管微差起爆控制单段最大装药量，可以满足安全要求；在扩能隧道爆破振动加强控制区，除采用上述控制措施外，扩能隧道下台阶周边眼和底板眼还采用“多打眼、少装药、间隔装药爆破”及切缝药包或聚能装药结构等辅助措施，达到降低对电化隧道衬砌结构影响的目的。

(四) 扩能隧道先行施工安全控制措施

电化隧道支护参数同电化隧道先行施工时支护参数。扩能隧道支护参数为：交叉区段为IV级围岩时，在重、强影响区内初期支护宜采用I20a型钢支护，型钢间距为0.6m，弱影响区采用格栅支护，格栅间距为1m；交叉区段为V级围岩时，在重、强影响区内初期支护宜采用HW175型钢管棚支护，型钢间距为0.6m，在弱影响区采用I20a型钢支护，型钢间距为0.6m。

电化隧道IV级和V级围岩爆破振动严格控制区，通过精确打眼，严格控制循环进尺，采用数码电子雷管微差起爆控制单段最大装药量，可以满足安全要求；在电化隧道爆破振动加强控制区，除采用上述控制措施外，电化隧道上台阶顶部周边眼还采用“多打眼、少装药、间隔装药爆破”及切缝药包或聚能装药结构等辅助措施，达到进一步降低对扩能隧道衬砌结构影响的目的。

参考文献

[1] 宋立坤. 城市浅埋隧道地表沉降规律与控制分析 [D]. 山东科技大学, 2017.
 [2] 赵杰. 黄土地区暗挖通道近距离上跨既有地铁隧道变形和力学特征研究 [D]. 长安大学, 2016.