

既有铁路隧道扩挖施工技术

祝 岩

(沈阳铁道勘察设计院有限公司, 辽宁 沈阳 110013)

摘 要:东北地区有大量解放前后修建的铁路线路,这些铁路线路上的铁路隧道,断面小,标准低,只能行驶内燃机车,需对既有铁路隧道进行原位改扩建。以沈丹铁路福金岭隧道原位扩挖为切入点,介绍了不同围岩级别下隧道扩挖采取的施工工艺、方法,对比新建隧道与改扩建隧道施工难易程度和造价情况。研究显示,既有隧道扩挖施工地质风险较小,控制爆破要求高,扩挖隧道相对新建隧道造价低,环境影响小。老旧隧道的改扩建具有现实意义。

关键词:既有隧道;改扩建;爆破;注浆小导管;超前大管棚;造价

DOI:10.13219/j.gjgyat.2020.01.012

中图分类号:U457.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-3953(2020)01-0043-05

东北地区是我国的老重工业基地,现存有大量解放前后修建的铁路隧道,隧道断面空间小,标准低,部分隧道使用年限已达到100 a。由于现有铁路车辆的大型化、电气化,火车运行速度提升以及隧道陈旧老化、渗漏水等病害频发等原因,老旧隧道越来越难以满足经济发展的需要。合理利用既有的铁路线路,对已超过使用年限的老旧隧道进行全面改扩建,以降低运营、维修、管理成本,成为摆在铁路建设者眼前的重要课题。

1 工程概况

沈丹铁路是辽宁省东部的的主要铁路,始建于1904年,是日本掠夺东北资源的主要运输线。新中国成立后,铁路部门先后投资更换水泥轨枕,铺设无缝钢轨线路,提高铁路线路标准,列车运行速度达到100 km/h。为进一步提高沈丹铁路运输能力,沈丹线全线电气化改造。

福金岭隧道是沈丹铁路线上的重要铁路隧道,建于20世纪六七十年代,隧道全长2 650 m。隧道最小断面处轨面距拱顶7.20 m,宽左侧为2.05 m、右侧2.85 m,隧道净空约32 m²。

2015年12月对既有福金岭隧道进行无损检测显示:福金岭隧道衬砌背后空洞629处,衬砌背后不密实100处,缺陷长度共计3 780 m,占总测线长度的29.5%。

收稿日期:2019-06-24

作者简介:祝岩(1989—),男,工程师,主要从事土木工程施工技术管理工作。

福金岭隧道混凝土老化严重,净空小,病害多,标准低,为满足沈丹铁路电气化改造要求,采用原位扩孔、线路平面位置不变的改扩方法,对隧道进行改造。

2 隧道扩挖施工技术

有完整衬砌结构的老旧隧道,虽然衬砌混凝土老化,但经过多年自然变形,隧道围岩结构及内部应力分布已完全稳定。隧道扩挖施工中,拆除既有衬砌,必将导致应力重分布,影响隧道稳定性,进而威胁施工作业安全。在扩挖施工中,根据隧道应力重新分布的特点,确定拆除隧道衬砌的方案。

隧道围岩基本分级及岩土工程分级情况见表1。根据隧道围岩整体性情况和围岩自稳定情况,将隧道扩挖分为三种^[1]:对围岩整体性较好、自稳定性较强的Ⅲ级围岩,拆除衬砌后短时间内隧道结构稳定,采用全断面钻爆扩挖法;对围岩整体性较差、自稳定性较差的Ⅳ级、Ⅴ级围岩,拆除衬砌后会出现掉块、坍塌,采用超前小导管支护两台阶扩挖法;对围岩整体性极差、自稳定性极差的Ⅴ级加强、洞口段,拆除衬砌等支护结构后会随时塌方,采用大管棚支护破碎锤破碎扩挖法。结合“新奥法”施工工艺,遵循“弱爆破、强支护、短进尺、勤监测、快衬砌”的原则,一炮一支,减小围岩暴露时间,强化支护质量,按照开挖、衬砌“安全步距”的有关要求,及早封闭成环。

2.1 全断面钻爆扩挖法

全断面钻爆扩挖法扩挖,不把拆除衬砌混凝土作为一个独立的工序。在扩挖施工中,扩挖断面小,采用光面爆破施工工艺,把衬砌混凝土和隧道围岩

表 1 南岭隧道围岩分级

里程	长度/m	围岩基本分级	岩土施工工程分级	衬砌类型
DK85+696.5~DK85+826.5	130.0	V	Ⅲ~V	V级加强
DK85+826.5~DK85+920	93.5	V	Ⅲ~V	V级
DK85+920~DK86+170	250.0	Ⅳ	Ⅳ~V	Ⅳ级
DK86+170~DK86+530	360.0	Ⅲ	V	Ⅲ级
DK86+530~DK86+680	150.0	Ⅳ	V	Ⅳ级
DK86+680~DK86+783.6	103.6	V	Ⅲ~V	V级
DK86+783.6~DK86+883.6	100.0	V	Ⅲ~V	V级加强

一起爆破拆除,直接开挖到设计断面。

扩挖工序^[2]为:测量放样→钻孔爆破→挂网喷锚支护→衬砌。其中钻孔爆破是保证施工安全、控制施工成本的关键工序。

2.1.1 炮眼布置^[3]

采用多钻孔、少装药的方法,控制爆破强度,适应既有隧道爆破厚度小(最大厚度 1.84 m)、已存在爆破临空面的实际情况;沿隧道开挖轮廓线布置一排周边眼,炮眼间距 50 cm;沿既有隧道衬砌线外边缘布置一排炮眼,炮眼间距 50 cm,拆除既有衬砌混凝土;隧道起拱线以上布置一排辅助眼,炮眼间距 50 cm。详见图 1。

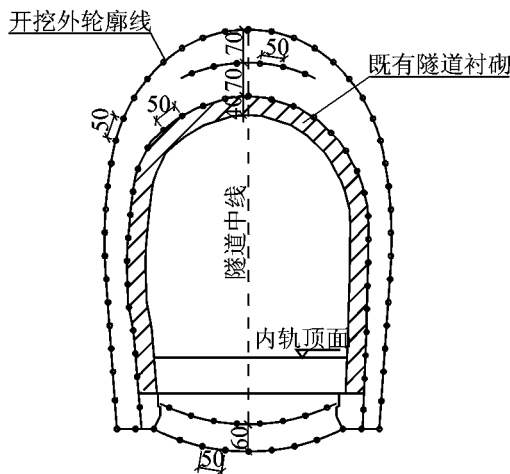


图 1 炮孔布置图(单位:cm)

施工中严格控制周边眼位置,周边眼的眼口在断面设计轮廓线上,垂直开挖面钻孔,不设置倾斜角;根据围岩监控量测显示的拱顶沉降情况,适当调整隧道拱顶周边眼位置,预留沉降量。

既有隧道扩挖爆破厚度小,属于“薄壁”拆除爆破。采用光面爆破施工工艺,减少对围岩的扰动,增强围岩的自承能力,减少危石和支护的工程量,使开挖面平整,控制超欠挖量。

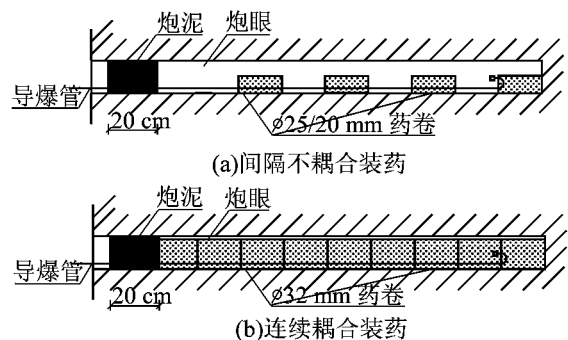
2.1.2 炮眼深度

既有隧道扩挖施工,与新建隧道不同,炮眼深度主要受钻孔施工工艺、施工难度影响。炮眼太深,增加钻孔难度,不利于控制周边眼的垂直度和位置,容易形成超欠挖,增加超欠挖处理工程量;Ⅲ级围岩每循环掘进一般不超过 3 m,选择炮眼深度与开挖循环一致,取 3 m,钻孔难度低,作业方便^[4]。

2.1.3 装药布置

隧道扩挖爆破作业,爆破临空面大,最小抵抗线小,宜采用间断、不耦合的装药方式装药^[5]。装药前用小直径高压风管将炮眼内石屑吹净,分片装药,分组按炮眼设计确定的装药量自上而下进行,雷管“对号入座”不得混装。所有炮眼均用炮泥堵塞,堵塞长度不小于 20 cm。

周边眼采用小药卷配导爆索,以增加不耦合系数和爆破时的缓冲作用,炮眼装药均采用反向装药结构。对周边眼、辅助眼、底板眼,装 $\varnothing 25$ mm 小药卷;既有衬砌外边缘炮眼,装 $\varnothing 20$ mm 小药卷;对新增的大型洞室、下锚段、大型会车道、设备洞室,应适当加大用药量,直至采用耦合连续装药,以保证开挖效果^[6]。装药结构如图 2 所示。



注:①钻头为 $\varnothing 40$ mm,炮眼孔径为 $\varnothing 42$ mm;②采用间隔装药时,相邻炮眼所用的药卷位置应错开,以充分利用炸药性能;③光面爆破的不耦合系数最好大于 2,药卷直径不应小于炸药的临界直径,以保证稳定传爆。

图 2 装药结构图

2.1.4 起爆与其他

采用复式起爆网络、非电毫秒雷管微差起爆,保证起爆的可靠性和准确性。起爆顺序:既有衬砌外边缘眼→辅助眼→周边眼→底板眼。使用低爆速、低猛度、低密度、传爆性能好、爆炸威力大的2号岩石乳化梯炸药,保证爆破效果。控制与周边眼相邻的内圈眼的爆破效果,为周边眼创造临空面,确保周边眼同时起爆,达到光面爆破的效果^[6]。

起爆结束后,检查隧道扩挖面炮眼残留率,确保残留率达到90%以上。如残留率小,超欠挖量大,适当调整间隔不耦合装药。超挖,减少用药量,加大装药间距;欠挖,增加用药量,调整装药位置。通过微调,以达到最优的光面爆破效果,为后续支护、衬砌工作创造条件^[7]。

2.2 超前小导管支护两台阶扩挖法

Ⅳ、Ⅴ级围岩的围岩自稳定性较差,采用全断面扩挖法,施工过程会出现掉块,甚至大面积坍塌。对Ⅳ、Ⅴ级围岩,采取小导管超前支护,在小导管支护体系下两台阶法扩挖。扩挖工序为:插打上台阶小导管→注浆→上台阶钻孔爆破→立拱架、打锚杆、挂网喷锚→下台阶钻孔爆破→立拱架、打锚杆、挂网喷锚→衬砌^[8]。

2.2.1 超前小导管

超前小导管为 $\phi 42$ mm的热轧无缝钢花管,壁厚3.5 mm。插打超前小导管并注浆,让小导管与浆液固化的岩体一起形成超前支护体系,为扩挖提供条件。超前小导管分单排超前小导管和双排超前小导管。当围岩破碎、裂隙发育、渗水较多段,采用双排超前小导管;围岩相对完整段,采用单排超前小导管^[9]。

单排超前小导管一般应用于隧道Ⅳ级围岩,单根长度3.5 m,环向间距50 cm,纵向间距与单循环进尺一致,即每循环插打一排超前小导管,间距2 m,搭接长度1.1 m,插打时外插角控制在 $10\sim 15^\circ$ 之间。

双排超前小导管一般用于隧道Ⅴ级围岩,单根长度3.5~4.0 m,两排间间距15 cm,环向间距50 cm,梅花型布置;当围岩较破碎、渗水较多地段,适当加密超前小导管。图3所示为环向间距30 cm的双排超前小导管布置图。双排超前小导管配合钢架使用,纵向间距与单循环进尺一致,间距1.5 m,搭接长度1.5 m,第1排小导管外插角控制在 $5\sim 10^\circ$,第2排小导管外插角控制在 $10\sim 15^\circ$ 。

超前小导管注浆是形成小导管超前预支护体系

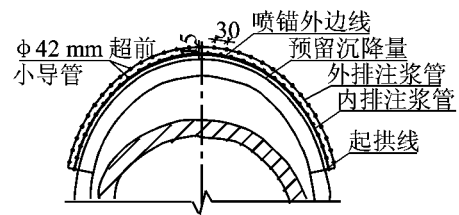


图3 双排超前小导管示意图(单位:cm)

的关键,注浆浆液水灰比0.5~1.0,注浆压力0.5~1.0 MPa,对于涌水量较大的松散破碎带,可采用具有针对性的注浆材料。小导管注浆完成后,注浆固结的岩体与小导管一起,替代既有衬砌,为扩挖提供安全保证^[10]。

2.2.2 开挖及其他

超前小导管支护下的扩挖作业,采用控制爆破,多打孔少装药,避免爆破作业损坏小导管支护体系。严格控制开挖单循环进度,Ⅳ级围岩控制在2.0 m以内,Ⅴ级围岩控制在1.5 m以内。在下台阶开挖时,实施左半幅和右半幅分开扩挖的开挖方法,最大限度降低单次扩挖对围岩影响。扩挖完成后,及时立拱架、插打系统锚杆,挂网支护,减少开挖面暴露时间,让开挖后的锚喷体系承担变形和沉降,降低坍塌风险。

2.3 大管棚支护破碎锤破碎扩挖法

Ⅴ级围岩加强段、洞口段,采用大管棚支护,在大管棚支护体系下两台阶或三台阶法扩挖。扩挖工序为:大管棚施工→上台阶破碎锤拆除衬砌→立拱架、打锚杆、挂网喷锚→下台阶破碎锤拆除→立拱架、打锚杆、挂网喷锚→衬砌。

2.3.1 大管棚施工

大管棚是隧道施工最强超前支护体系。在洞口和岩石破碎地段施工大管棚,可以为自稳定性极差围岩段提供超前支护,为隧道扩挖提供临时支撑体系。大管棚分为 $\phi 89$ mm超前大管棚和 $\phi 108$ mm超前大管棚,可根据支护围岩的破碎程度选择。当围岩为土质结构时,可选用 $\phi 108$ mm超前大管棚。大管棚施作示意图如图4。

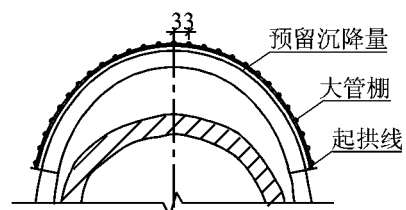


图4 大管棚施作

隧道扩挖大管棚施工,与普通隧道开挖大管棚施工工艺一样。大管棚钢管采用热轧无缝钢管及钢花管,外径 89 mm,壁厚 6 mm;每节钢管两端均预加工成外丝扣,以便连接钢管;大管棚环向间距 3 根/m,外插角 $0\sim 3^\circ$;注浆 M10 水泥浆材料,注浆压力 $0.5\sim 3.0$ MPa。大管棚注浆完成后,注浆固结的岩体与大管棚一起,替代既有衬砌,为扩挖提供安全保证。

2.3.2 破碎锤开挖

V 级围岩加强段及洞口段,围岩稳定性差,一般不采用爆破开挖的方法。隧道扩挖断面小,爆破作业易扰动大管棚支护体系。使用破碎锤破碎衬砌,挖掘机配合出渣车出渣,施工更安全。

破碎锤作业时,根据机械作业面要求划分上下台阶。先进行起拱线以上部分(I 单元)衬砌的破碎和扩挖,后进行边墙(II 单元)、底板部分(III 单元)衬砌破碎和扩挖。对 I 单元的破碎扩挖,单循环扩挖的进尺控制在 1 m 以内,以保证扩挖安全。严格执行拆除一段,立 1~2 榀拱架,同步进行打锚杆、挂网喷锚支护,使拱架、锚喷支护体系与大管棚一起,及早形成新的支护体系。

在 II 单元开挖时,破碎衬砌、扩挖、支护等工序,半幅半幅地完成,开挖进尺控制在 1 m 以内,降低拆除既有衬砌和扩挖对围岩及大管棚支护体系的扰动。

2.3.3 爆破拆除衬砌

当衬砌混凝土中有钢筋时,采用破碎锤拆除工效低,难度大,可对衬砌进行控制微振爆破,加快施工进度。

爆破拆除衬砌,纵向以 2 m 为一段,横向以 I、II、III 为拆除单元,分单元爆破拆除。在衬砌上以 50 cm 为间距布置炮孔,呈梅花型布置,孔深为衬砌厚减 10 cm,按照控制微振爆破要求,炮孔内装小药卷,达到松动钢筋混凝土的衬砌即可。松动爆破及拆除扩挖的顺序为: I 单元→II 单元→III 单元。松动爆破后,破碎锤配合拆除衬砌,并扩挖到设计位置。爆破分区及炮眼布置详见图 5。爆破拆除衬砌,是对破碎锤扩挖施工的补充,遵循 I 单元拆除支护全部完成后,再进行 II 单元的爆破、拆除和支护。

支护完成后,做好围岩沉降监测和断面测量,避免侵限,同时为后续开挖轮廓线的调整提供依据。

3 隧道扩挖造价分析

3.1 既有隧道改扩建的有利条件

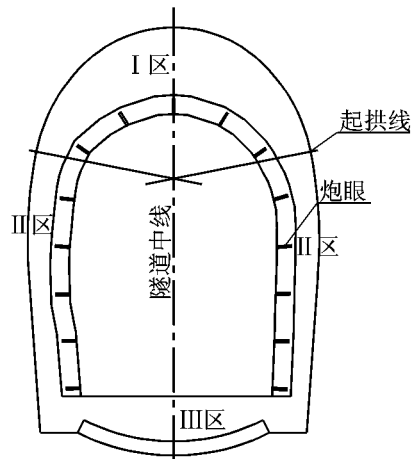


图 5 爆破分区及炮眼示意图

相对新建隧道,既有隧道改扩建有以下有利条件:①不需开展超前地质预测预报,节约了投资及施工时间,施工难度降低,没有情况不明的涌水、涌泥、瓦斯等风险。②既有隧道地质条件清晰,施工组织有的放矢,可有效加快施工进度,无须变更设计,极大减少了变更设计相关工作花费时间。③既有隧道扩建施工,通风条件好。④既有隧道扩建施工,有天然的逃生通道。⑤隧道弃渣方量小,减少了弃土场处理费用和环水保风险。⑥在 I~III 级围岩中,可跳挖增加工作面,加快施工进度,方便抢工期。利用以上有利条件,施工方可降低施工成本,业主方可减少投资。

3.2 既有隧道改扩建的不利条件

既有隧道改扩建,会造成既有线路的停止运营,同时影响临近既有线路的正常运营。

3.3 对投资的影响

新建隧道和改扩建隧道,占投资主要部分的超前支护、挂网喷锚支护、衬砌等永久工程,工程量几乎完全一致,开挖工程量、扩挖隧道衬砌拆除工程量增加,总体工程量减少,工程投资减少;既有隧道扩挖,弃渣量减少,弃渣场临时用地相对减小;隧道进出口无须征拆,建设单位征地拆迁任务相应减少,协调工程量及难度降低,相应支出减少。

4 结束语

既有隧道改扩建为新隧道,征拆成本减少,总投资降低,同时旧线利用降低了火车运营对环境的污染。隧道总体投资减少,隧道扩挖相对于新建隧道更有经济意义。福金岭隧道扩挖前对其围岩进行全面的勘测和加固处理,可以有效地控制施工过程中

出现的不稳定状况。此次施工新扩隧道结构稳定,运营理想,得到广泛肯定。

参考文献

- [1]胡国伟,郝四旺,程文斌,等.复杂条件下单改双线隧道拆除扩挖控制爆破技术[J].铁道工程学报,2009(11):84-88.
- [2]李星平.浅埋小净距大断面扩挖隧道爆破方案设计与爆破振动监测[J].公路交通技术,2012(01):86-90.
- [3]张利平,黄成俊,乌鞘岭隧道千枚岩大变形段平导扩挖爆破有关影响分析[J].铁道标准设计,2006(08):73-75.
- [4]周清福.复杂环境下的既有隧道扩挖改建技术[J].山西建筑,2012(12):181-182.
- [5]李佳翰,朱晔葵,卓孟慧,等.既有隧道扩挖及改建技术探讨[J].隧道建设,2011,31(S1):358-364.
- [6]穆 民.既有隧道单侧扩挖技术控制措施研究[J].低温建筑技术,2012,34(06):114-116.
- [7]王 培.既有隧道扩挖及改建技术研究[J].交通世界,2017(09):120-121.
- [8]杨小礼,王作伟,陈 杰.既有隧道扩建工程及衬砌稳定性研究[J].交通科学与工程,2010,26(01):49-52,58.
- [9]黄 俊.基于 DEMATEL/ISM 方法的既有隧道扩挖施工安全风险因素模型研究[J].工程技术研究,2018(10):6-7,11.
- [10]刘大雷.新建隧道上穿对既有隧道纵向位移的计算方法[J].安徽建筑,2018,24(06):245-250.

Expanding Excavation Construction Techniques for Existing Railway Tunnels

ZHU Yan

(The Shenyang Railway Survey and Design Institution Co. Ltd., Shenyang 110013, China)

Abstract: There are a large number of railways built before and after the liberation in the northeast regions of China, of which the tunnels are of small cross-sections and low standards, in which case they can only allow diesel locomotives to pass through and thus In-situ reconstruction and expansion of those existing railway tunnels are necessary. With the in-situ excavation of the Fujinling Tunnel of Shen-Dan Railway as the breakthrough point. Introduced in the present paper are the construction techniques and methods applied to the expanding excavation of railway tunnels in different grades of surrounding rock, with the difficult degrees and different costs of newly-built tunnels and the expansion of existing tunnels compared. Our research shows that the geological risk in the expanding excavation construction of existing tunnels is smaller, the control blasting requirements of the expanding excavation of existing tunnels are higher, and the cost of the expanding excavation of existing tunnels is relatively lower than those of the newly-built tunnels, and the environmental impact is also less than that, according to which it can be concluded that the reconstruction and expansion of the existing tunnels are of practical economic significance.

Key words: existing tunnel; reconstruction and expansion; blasting; small pipe grouting; advanced large-pipe shed; cost

(上接第 24 页)

A Study of the Mix Ratio of Asphalt Mineral Aggregate for African Highways

MENG Qingxin

(The Tianjin International Engineering Branch of the 18th Bureau Group of China Railway, Tianjin 300222, China)

Abstract: The mixture ratio of mineral aggregate is one of the main factors that affect the Marshall indices of hot-mixed asphalt. Introduced in the present paper is the design process of the ratio of the hot-mixed asphalt mixture for the Fawu Highway Project in Sudan of Africa. Firstly, the size of key control sieve hole is calculated by the Beret method, the passing ratio of which is kept to the medium value of the design as much as possible, and the size of other sieve holes is kept close to the medium value as much as possible. The trial mixture is performed after the mix ratio of mineral materials is primarily decided. After the results are obtained, the relationship between Marshall indices and influential factors, and the influence of the mix ratio on Marshall indices are analyzed, upon the basis of which the mix ratio of the mineral materials is adjusted. Practice shows that the mix ratio of the designed asphalt concrete is suitable for the single-layer asphalt pavement and meets the application requirements of expressways.

Key words: mix ratio of mineral aggregate; hot-mixed asphalt mixture; Marshall index; adjusting method