

复杂环境下特大断面既有隧道原位拆除扩挖施工技术研究

张 林

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要]与我国经济发展同步迅速增长的交通隧道交通容量要求也越来越高,与此同时也对隧道改建扩建技术有了更高的要求。双向四车道乃至双向六车道公路隧道已经不能满足在经济发展较好的地区较大的交通量需求,因此急需将公路隧道建设成双向八车道以适应发展需求。隧道的扩建主要有两种形式:新增小间距隧道和原位扩挖,新增小间距隧道是在原有隧道附近进行施工,原位扩挖是在原有隧道的基础上进行扩建,通过扩挖或改建现有隧道空间来实现扩建,因此它改变了原来隧道的结构。文中结合中开高速公路项目在粤港澳大湾区的重要地位,结合区域发展、节约土地和近远期交通组织管理需求,对在建双线六车道隧道进行改扩建施工,通过综合分析采取原位单侧扩挖法施工,本项目地质条件复杂、技术难度大、施工风险高,且目前国内尚无类似大断面隧道拆扩案例经验,故通过实施总结了在既有隧道原位扩挖施工主要技术方法,为以后类似工程施工提供参考。

[关键词]特大断面;既有隧道;原位扩挖;技术

DOI: 10.33142/ec.v6i12.10334

中图分类号: U455.411

文献标识码: A

Research on In-situ Demolition and Expansion Construction Technology for Existing Tunnels with Large Cross Sections in Complex Environments

ZHANG Lin

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: With the rapid growth of Chinese economic development, the traffic capacity requirements for traffic tunnels are also increasing, and at the same time, there are higher requirements for tunnel reconstruction and expansion technology. Bidirectional four lane or even bidirectional six lane highway tunnels can no longer meet the large traffic demand in economically developed areas, so it is urgent to build highway tunnels into bidirectional eight lane tunnels to meet development needs. There are two main forms of tunnel expansion: the addition of small spacing tunnels and in-situ expansion. The addition of small spacing tunnels is carried out near the original tunnel, and in-situ expansion is carried out on the basis of the original tunnel. Expansion is achieved by expanding or renovating the existing tunnel space, which changes the structure of the original tunnel. Based on the important position of the Zhongkai Expressway project in the Guangdong Hong Kong Macao Greater Bay Area, combined with regional development, land conservation, and short-term and long-term traffic organization management needs, the reconstruction and expansion construction of the double track six lane tunnel under construction is carried out. Through comprehensive analysis, the in-situ single side excavation method is adopted for construction. The geological conditions of this project are complex, the technical difficulty is high, and the construction risk is high. Moreover, there is currently no experience in dismantling and expanding similar large cross-section tunnels in China. Therefore, the main technical methods for in-situ excavation construction in existing tunnels have been summarized through implementation, providing reference for similar engineering construction in the future.

Keywords: extra large cross-section; existing tunnels; in-situ expansion excavation; technology

1 工程背景

中山至开平高速公路东接深中通道,深中通道、开平至阳春高速公路、深圳机场至荷坳高速公路等项目共同构筑了粤港澳大湾区核心区最重要的东西向高速公路通道,在粤港澳大湾区综合运输体系中具有重要战略地位。

其中,中山段位于中山城区,区间转换交通量大,走廊带资源稀缺,基本不具备将来改扩建的可能性。综合考虑项目服务粤港澳大湾区发展及集约节约利用土地需要、近远期的交通组织管理需求,进一步提高六车道高速公路的服务水平,中山至开平高速公路中山段(马鞍岛至终点横栏段)的桥梁宽度按不少于 35.0m 设计;同时考虑远

期交通量增长、安全运营需要,隧道段需要增设硬路肩(其有效净宽度确定原则与桥梁段总体一致),以提高其通行能力、服务水平和行车安全性。

大常山左线隧道桩号 LK9+933 到 LK10+595,总长 662 米;右线桩号从 RK9+925 到 RK10+549,总长 624m。隧道双洞单向分离设计,原设计为双向六车道,隧道间距在 21~27m 之间。进出口洞门采用端墙式设计,穿越整个山体,隧道路线的纵坡为 2.6%,最大埋深达 140m,地形坡度在 20~35° 之间。隧道建筑限界宽度为 14.75m,右侧侧向宽度为 1m,隧道开挖断面面积在 131.5~170.8m² 之间,现场已施工部分主体工程。现变更为隧道右侧侧向宽

度加宽到 4m(设置硬路肩),建筑限界宽度调整为 17.75m,变更后隧道开挖断面面积在 176.3~246.7m²之间。

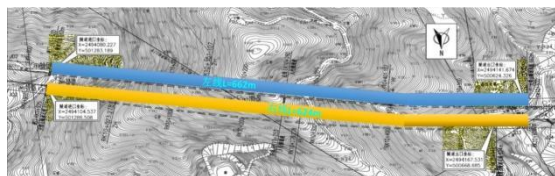


图1 隧道概况

2 隧道拆除扩挖前情况

隧道在拆除扩挖前尚未实施完成,其中左线隧道全断面开挖完成 247m,衬砌完成 127m;右线隧道全断面开挖完成 481m,衬砌完成 426m。已实施隧道涉及到III级、IV级和 V 级围岩,所采用的初期支护和二衬结构各不相同,主要初期支护有超前小导管、工字钢支撑、锚杆挂网喷护等;二衬有素混凝土、钢筋混凝土衬砌,衬砌厚度 45~60cm。

3 隧道地质情况

该隧道进口处位于斜坡中下部坡地,第四系松散堆积层在该处分布较厚,地形坡度大约在 20 至 25 度之间,出口段的地形坡度则为基岩陡坎,大约在 65 至 70 度之间。隧道穿越地层有粉质黏土及花岗岩,左右隧道各级围岩占比情况:

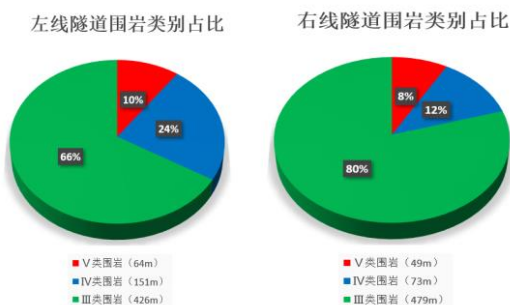


图2 左线隧道围岩类别占比

4 拆除扩挖施工重难点

现状隧道有的段落已完成二衬施工、有的段落仅完成初支开挖但二衬尚未施作,有的段落才开挖完成上台阶,有的段落尚未开挖属于新建。现状隧道内衬砌结构形式多样,扩挖施工存在交叉作业,拆扩过程中结构力学行为转换复杂,且洞口段近临侧穿高压铁塔。通过梳理分析存在如下重难点:

4.1 软岩大变形

隧道左线出口地层岩性表现为残坡积的粉质黏土和全风化花岗岩斑,故土体呈可塑一硬可塑状或碎块状,这种地层容易遇水软化,力学性能较差,稳定性欠佳,成洞条件欠佳,偏压问题显著,支护水平要高,不然在施工过程中较易出现洞口失稳的情况。

4.2 高压电塔沉降倾斜风险高

在大常山隧道左线出口段,分别侧穿一座 110KV 和一

座 220KV 高压电塔。两座高压电塔位于左线隧道南侧,距离左线隧道开挖轮廓的水平距离分别为 16.6m 和 13.9m,铁塔基础高出隧道顶拱开挖轮廓分别为 35 米和 18 米。由于高压电塔与左线隧道距离较近,并且洞口的地质条件较差、扩建风险极高,容易对高压电塔基础的总体沉降或塔体的倾斜造成影响。

4.3 围岩的荷载分布复杂

本工程扩挖段的施工时间不到 2 年,围岩的内部应力调整尚未完成。在隧道扩建过程中,重新扰动围岩会导致围岩应力再次重分布,使得围岩的荷载分布复杂化,对设计和施工均是较大的挑战。

4.4 拆除过程中对既有构造物的影响

隧道在扩建过程中,III类和IVa 围岩扩挖将采用爆破施工,将对相邻段落的二次衬砌结构、临近洞室的二次衬砌结构,以及地表的高压铁塔产生爆破震动影响。根据国家《爆破安全规程》的规定,参考工业和商业建筑物的爆破震动安全允许标准,要求隧道施工在高压电塔岩石基础位置产生的爆破震动速度控制在 0.5cm/s 以下同时对相邻隧道的最大临界震动速度 V 级围岩不大于 5cm/s, IV 级围岩不大于 10cm/s, III 级围岩不大于 15cm/s。合理确定爆破参数将比较关键。

总体本项目地质条件复杂、技术难度大、施工风险高,且目前国内尚无类似大断面隧道拆扩案例经验,需要加强过程监控,为设计、施工提供理论和技术支持。

5 隧道扩挖方式

公路隧道的扩建的两种主要方法是新增小间距隧道和原位扩挖。新增小间距隧道是指与原有隧道相邻的并行隧道,两者之间的间距较小。小间距隧道的定义会根据不同的围岩级别和环境状况而改变,《公路隧道设计规范》规定中间岩柱厚度小于上下行双洞最小净距时可称为小间距隧道,一般来说,这种隧道的间距通常在几米到几十米之间。小间距隧道是公路隧道中常用的一种建设方案,因为它的占地面积较小,有利于保持公路的整体线形,并且在设计、施工和造价方面具有优势。小间距隧道和大断面隧道的施工工法有一些相似性,如台阶法、单侧壁导洞法、双侧壁导洞法、CD(中隔壁)法、CRD(交叉中隔壁)法和全断面开挖方法。多台阶法或交叉中隔壁法较多使用在大断面小间距隧道的情况下。如果围岩的条件较差,那么可以采用中隔壁法,它能有效限制围岩变形并减小地面沉降的速度。如果在围岩条件较好的情况下可采用全断面开挖方法,可使用爆破或全断面机械进行扩挖施工。



图3 隧道扩挖方式图

在已有隧道的基础上,破坏原有隧道结构并扩挖周围围岩,来增大隧道的断面,扩挖成满足使用要求的新隧道,这种扩建的方式称为原位扩建。原位扩建有三种方法,分别是单侧扩挖、双侧扩挖和周围扩挖。单侧扩挖是在原有隧道的一侧进行开挖扩建,为了避免对围岩造成较大的影响,对原有结构物仅进行少量拆除或开挖。双侧扩挖是在原有隧道的基础上,双侧向外扩挖断面来对隧道进行扩建,隧道的中心线不会变化,适用于对线路要求较严格的地段,但施工较为复杂。周围扩建是在双侧扩建的基础上,同时对原位隧道周围的围岩进行扩挖,这种扩挖方式在实际应用中较少,施工工序复杂的同时对围岩的影响也较大。扩挖工法是指在隧道和地下工程的开挖修建过程中,采用预先开挖导洞的方法,然后进一步扩大净空,形成所需的净空。扩挖工法改变了传统隧道开挖的思维方式,不再单纯沿隧道纵向推进,而是沿横向从周边向外扩挖。

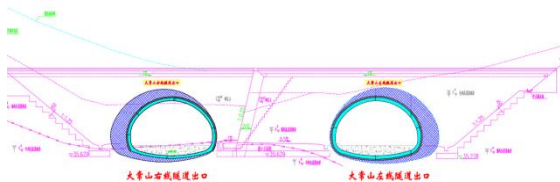


图4 大常山隧道为原位单侧扩挖图

在进行原位扩挖时需要考虑以下因素:岩石或土壤的性质,施工条件,安全要求,工期和进度。结合大常山隧道的地质、施工条件和建模计算,在隧洞口V级围岩段选取一个断面进行建模模拟计算,数值计算采用MIDAS-GTS软件进行模拟。模拟过程中,计算采用弹塑性分析,岩体采用实体单元,选用Mohr-Columm模型进行模拟。喷射混凝土和二次衬砌均选用梁单元进行模拟,锚杆则采用植入式桁架进行模拟。型钢采用刚度等效的方式包含于喷射混凝土中进行考虑。结构厚度按照实际工程采用。

表1 隧道开挖模拟材料参数取值

材料类型	弹性模量 E/GPa	泊松比 V	容重
喷射混凝土	15	0.2	24
二次衬砌	31.5	0.2	25
锚杆/支撑	210	0.3	78.5

结合隧道具体尺寸和截面,V级围岩条件下隧道埋深取10m,模型边界采用位移边界条件。

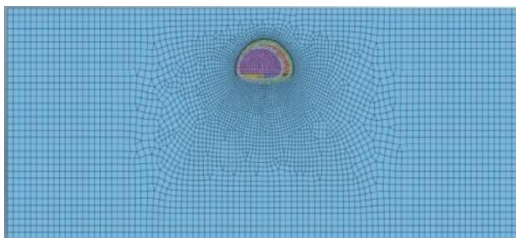


图5 MIDAS 数值模型

模拟扩挖过程:(1)围岩形成自重应力场→(2)原隧道开挖→(3)原隧道初期→(4)原隧道二次衬砌→(5)仰拱回填→(6)拆除前环向切割、临时支撑及下半洞回填→(7)左上拆除扩挖及二次支护→(8)中上拆除扩挖及二次支护→(9)右上拆除扩挖及二次支护→(10)左下拆除扩挖及二次支护→(11)中下拆除扩挖及二次支护→(12)右下拆除扩挖及二次支护→(13)钢支撑拆除→(14)二次衬砌。

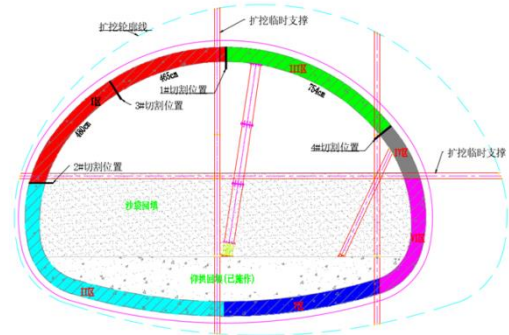


图6 V级围岩拆除扩挖典型断面图

围岩形成自重应力场后进行模型位移清零,消除自重应力的地层位移,从而得到隧道开挖引起的真实位移。第(1)~(5)步,模拟原三车道开挖过程;第(6)~(14)步,模拟三车道扩挖过程。

从V级围岩段二次衬砌扩挖模拟结果中可知,扩挖过程中围岩最大位移为-4.75mm,横向最大位移增量为18mm;围岩最大主应力为254.6kPa,最小主应力为21.1kPa。计算结果表明隧道结构在拟定的工法下进行扩挖,围岩基本稳定、结构变形值较小,该扩挖工法实施安全可行,其他类型围岩参照该计算丰富,采用不同临时支撑、分区、扩挖顺序进行模拟计算,确定安全、经济合理的扩挖工法。

6 拆除扩挖施工方法

施工前先进行测量放线确定洞口和明洞部位的开挖边线,并修筑截水沟。然后按照设计坡比和开挖边线位置,分层从上至下进行洞口开挖,并及时进行边坡喷护。接着进行套拱和大管棚施工,并确保安全后进行扩挖施工。

具体工艺说明如下:

6.1 二衬混凝土拆除施工方法



图7 二衬混凝土拆除施工方法图

隧道二衬混凝土采用针对本项目发明的环向快速切割设备,先环向切割再纵向切割;环向切割工作量较大,超前实施,备有一定余量;纵向切割根据情况V级、IV级围岩分段分区域切割;

临时支撑主要由工字钢、 $\Phi 609$ 钢管、槽钢、钢板和支撑液压系统等组成, 10t 随车吊装运吊装, 局部采用反铲配合; $\Phi 609$ 钢管每隔 5m 设置一道, 同时两钢管顶部设置液压千斤顶, 并在其顶部设置双榀组合工字钢横梁支撑二衬混凝土。待临时支撑分段实施完成后, 按要求完成下半洞回填。

下半洞回填完成后, 采用液压锤进行凿除; 凿除尽量由上至下逐步拆移, 且对于支撑钢管需进行临时固定, 避免拆除期间倾倒; 二衬混凝土拆除后升降台车配合进行防水板、排水管、土工布切割拆除。拆除装载机配合自卸汽车运输至指定弃渣场或垃圾场。

6.2 原初支拆除施工方法



图8 原初支拆除施工方法图

利用填筑平台从上到下依次采用液压锤凿除分区范围内喷锚混凝土至工字钢顶部, 气割割除连接钢筋后, 继续凿除两榀之间喷锚混凝土至底; 气割割除下部连接钢筋和钢筋网使工字钢独立; 最后分区从上至下拆除工字钢。期间采用升降台车和反铲配合。

6.3 隧道各级围岩扩挖施工方法

拆除前完成主洞大管棚超前注浆或超前小导管注浆预支护→按顺序分区扩挖→实施初期支护→过程监测→分段拆除临时支撑→浇筑仰拱及回填混凝土→敷设土工布、防水板→安装钢筋→边顶拱混凝土衬砌。

洞身扩挖根据的围岩级别采用不同的方法, 其中洞身段围岩等级为V级, 采用变形双侧壁导坑法扩挖(八步扩挖法), 循环进尺0.5m, 全部采取机械扩挖; 洞身围岩等级为IV级, 采用CD工法扩挖(七步扩挖法), 循环进尺0.5m~0.8m, IVb级围岩采用机械扩挖, IVa级围岩厚度小于40cm采用机械扩挖, 厚度大于40cm采用光面爆破; 洞身围岩等级为III级, IIIa级采用两台阶法扩挖(三步扩挖法), 循环进尺1.5m、IIIb级围岩采用三台阶法扩挖(六步扩挖法), 循环进尺1m, III级围岩厚度小于40cm采用机械扩挖, 厚度大于40cm采用光面爆破; 总体由隧道出口向进口方向扩挖施工。

7 施工监测

根据量测结果, 分析可能发生危险的征兆, 判断工程的安全状况, 采取措施遏制危险的趋势; 以施工量测的结果指导现场施工, 进行信息化反馈, 及时调整施工方法; 提供判断围岩和初期支护基本稳定的依据, 确定二次衬砌的施作时间, 确保整个隧道施工过程的安全。

(1) 本座隧道为洞口小净距、洞身分离式隧道, 需

进行爆破震动速度的量测, 要求爆破对相邻隧道的最大临界值震动速度V级围岩不大于5cm/s, IV级围岩不大于10cm/s, III级围岩不大于15cm/s。

(2) 根据位移速率判断: 速率大于1mm/d时, 围岩处于急剧变形状态, 需加强初期支护; 速率变化在0.2~1.0mm/d时, 需加强观测, 做好加固的准备; 速率小于0.2mm/d时, 围岩达到基本稳定。

(3) 初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比大于或等于0.8时, 围岩不稳定, 应加强初期支护; 初期支护承受的应力、应变、压力实测值与允许值之比小于0.8时, 围岩处于稳定状态。

实施期间, 按要求进行周边收敛位移、拱顶下沉、地表沉降、爆破振动、高压线塔基础布点监测, 通过整理、分析观测数据, 均在要求范围内变化, 监测结果符合设计及规范要求, 为隧洞拆除扩挖施工方法验证和安全提供了依据。

8 结语

本项目地质条件复杂、技术难度大、施工风险高, 结合隧道的现有情况, 本文主要分析了隧道扩建的两种主要方法, 并结合项目实际介绍了原位单侧扩挖法施工的具体应用, 同时对拆除扩挖施工方法进行了总结, 结合项目具有特大断面的特性进行了拆除扩挖施工的设计, 可为后续具有类似施工特点的工程提供参考。

[参考文献]

- [1]陈陆军. 典型高速公路隧道扩建方案及施工力学行为研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [2]姚凯敏, 李龙, 卜繁敏, 等. 公路隧道拆除与扩挖工程中的安全管理与控制措施——以广东某高速公路隧道为例[J]. 工程技术研究, 2021, 6(12): 161-162.
- [3]彭念. 原位扩建隧道围岩力学响应机理研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [4]靳晓光, 王来斌, 黄伦海, 等. 分离式隧道扩建小净距隧道群爆破震动控制研究[J]. 世界科技研究与发展, 2013, 35(3): 353-356.
- [5]王展望. 高速公路隧道光面爆破施工技术应用研究[J]. 城市建筑, 2019, 16(31): 191-193.
- [6]朱晓宁, 黄俊, 董飞, 等. 超大断面隧道施工安全风险分析及控制研究[J]. 现代交通技术, 2022, 19(3): 44-52.
- [7]余顺, 胡学兵, 夏阳于雨. 单洞三车道公路隧道扩挖成四车道的开挖方案的探讨及思考[J]. 公路交通技术, 2019, 35(6): 89-93.

作者简介: 张林(1985.6—), 毕业院校: 武汉工程大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 中国水利水电第十一工程局有限公司, 职务: 菲律宾国别经理, 职称级别: 高级工程师, 研究方向: 项目管理、创新技术应用、施工质量管控。