

Study on Construction Technology of Dengloushan Tunnel under Complex Geological Conditions

Hang Zhang*, Zhengxin Zhang, Junfeng Yan

CCCC Second Highway Consultants Co., Ltd. Wuhan Hubei
Email: *544393327@qq.com

Received: Jan. 2nd, 2019; accepted: Jan. 17th, 2019; published: Jan. 24th, 2019

Abstract

The Dengloushan tunnel is the most important control project in the Mile-Yuxi expressway. The section layout form and construction method selection of Dengloushan tunnel are studied. Through the analysis of the engineering situation of the Dengloushan tunnel and the investigation of the section shape of the domestic special long tunnel, it is recommended that the tunnel is designed with a three-hole scheme with parallel pilot tunnel. The advantages and disadvantages of drilling-blasting method and TBM method are compared with the geological conditions of the tunnel. The construction method of the parallel pilot tunnel is recommended to use the drilling-blasting method in the project.

Keywords

Dengloushan Tunnel, Parallel Pilot Tunnel, Drilling-Blasting Method, TBM Method

复杂地质条件下登楼山隧道施工技术研究

张 行*, 张正鑫, 严俊峰

中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉
Email: *544393327@qq.com

收稿日期: 2019年1月2日; 录用日期: 2019年1月17日; 发布日期: 2019年1月24日

摘 要

登楼山隧道是弥勒-玉溪高速公路中最重要的控制性工程, 本文将对登楼山隧道的断面布置形式与工法*通讯作者。

选择进行研究。通过对登楼山隧道的工程概况以及国内特长隧道断面形式的调研情况进行分析,推荐本隧道拟采用设置平行导洞的三洞方案进行设计。针对钻爆法和TBM工法各自的优缺点,从地层适应性、施工安全性、技术可行性、经济性、施工工期等5个方面进行对比分析,推荐平行导洞工法选择使用钻爆法施工。分析过程为类似工程案例提供参考依据。

关键词

登楼山隧道, 平行导洞, 钻爆法, TBM工法

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

弥勒至玉溪高速公路是《国家公路网规划(2013年~2030年)》中广昆高速联络线(编号G8012)弥勒至楚雄高速公路的重要组成部分,同时也是云南省滇中城市大外环的重要组成部分。项目是连接广西、贵州的出省及通往沿海及东盟的重要交通大通道,也是向西南方向高效连接拉洛、孟连、沧源、清水河等口岸的出境大通道。

针对隧道通风方案的设计,国内学者进行了大量研究。史振宇[1]结合包家山特长隧道富水段的施工,详细介绍了富水千枚岩隧道施工方法,总结形成了富水千枚岩隧道快速施工技术。孙凤玲[2]结合麦积山隧道施工实例,详细介绍施工过程中通风、供水和配电方面的措施。高新文[3]对通风方案的各方面设计进行了对比分析,细化了通风设计中遇到的问题。孙继洋[4]根据欧II、欧III排放和PIARC计算公式,对山西太古路西山隧道通风方案进行了研究。王立新[5]着重分析在公路隧道初期运营条件下,在正常运营和火灾工况下隧道的通风情况。梁文灏[6]通过对施工通风方案的研究、比选,确定出了最佳的通风系统。

登楼山隧道是本项目最重要的控制性工程,本文将着重对登楼山隧道的断面布置形式与工法选择进行研究。根据国内特长隧道断面形式的调研情况[1]-[6]可以看出,虽然所有的超长隧道均没有设置平行导洞,但是各隧道几乎都设置了斜竖井辅助施工,乌鞘岭隧道斜井长度达到了19.1 km,接近主洞的长度。根据对隧道建设方案的论证,并结合登楼山隧道地形地质条件以及周围建设环境,登楼山隧道推荐采用两主洞+平行导洞施工的三洞方案进行施工组织设计,并推荐使用钻爆法来对平行导洞进行施工。

2. 隧道概况

登楼山特长隧道为分幅隧道,左幅起讫桩号为ZK48+340~ZK59+315,全长10,985 m,进出口底板设计标高分别为1376.5 m、1586.2 m,隧道最大埋深838.1 m。右幅起讫桩号为K48+343~K59+235,全长10,892 m,进出口底板设计标高分别为1376.2 m、1584.4 m,隧道最大埋深826.6 m。左右幅基线平面相距约30~45 m。隧道进口采用削竹式,出口采用端墙式。

公路隧道现有的通风方式有公路隧道通风方式一般可分为全横向式通风、半横向式通风、纵向式通风以及三种基础上的组合通风方式。各通风方案各有利弊,如全横向和半横向通风,隧道内的卫生状况较好,行车较为舒适,但是土建费用和通风营运费用较高。纵向通风土建工程量较小,营运费用相对较低,且方式多样,但洞内的环境状况和行车舒适性稍差。目前,双洞单向交通,纵向通风在欧洲许多国家采用,国内的通风方式,也经历了最初的全横向、半横向向分段纵向逐渐过渡的过程。本次通风方案的重点研究纵向通风方案,结合地质条件选取通风井位置。

根据相关设计规范进行了登楼山隧道的三种通风方案，具体设计情况如表 1 所示。

Table 1. Layout form of Dengloushan tunnel
表 1. 登楼山隧道具体的设计一览表

隧道名称	布置形式	起讫桩号		长度(m)	净空(宽 × 高)(m)
登楼山隧道	分离	ZK48 + 340	ZK59 + 315	10,985	14.5 × 5.0
		YK48 + 343	YK59 + 235	10,892	
	通风方案 1 (推荐)	1#竖井、2#竖井、3#竖井		476.80/430.56/409.55	R = 4.8 m
		平行导洞		10,500	7.0 × 5.0
	通风方案 2	1#竖井、2#竖井、3#竖井		476.80/430.56/409.55	R = 4.8 m
		进口平行导洞/出口平行导洞		4000/3000	7.0 × 5.0
通风方案 3	1#斜井、2#斜井、3#斜井		1327/1445/1525	10.4 × 8.5	

在平行导洞贯通方案中，平行导洞长度约 10.5 km。隧道工程地质、水文地质条件复杂，共穿越 7 条断层。穿越的岩性主要为砂岩、粉砂质泥岩夹白云岩，粉砂质泥岩夹泥岩，石灰岩夹白云岩，灰岩，泥灰岩与泥岩互层、粉砂质泥岩，粉砂质页岩、石英砂岩及断层角砾岩。

3. 平行导洞的必要性与功能定位

平行导洞是一种比较特殊的断面布置形式，与一般的双洞方案相比采用平行导洞的三洞方案具有其独有的特点。三洞方案即设置辅助隧道的双洞双车道隧道方案，主要有以下优点：1) 辅助隧道可以解决当隧道运营发生灾害时，隧道内人员的逃生、避难和救援问题。2) 辅助隧道可以一定程度上缩减主隧道的断面，充当管线通道，并当行车隧道发生事故时用来充当安全通道。3) 可利用辅助隧道作为施工期间和运营期间通风通道，减少设置斜井的数量，减少工程建设对登楼山环境的影响，有利于保护登楼山地区生态环境。4) 可以通过开挖辅助隧道提前得知未探明地段的地质情况，为主隧道的开挖提供工艺方法和经验。5) 辅助隧道可以帮助主隧道开拓多个工作面。同时辅助隧道可以对部分不良地段进行先行处理，不影响其它地段的施工，加快施工进度，保证建设工期。

根据调研情况可以得出：1) 国内 10 km 以上的公路和铁路山岭隧道基本采用双洞方案。2) 国内目前独头掘进最大长度为 6.5 km。3) 超长隧道要满足合理施工工期要求时，必须开辟新的辅助工作面。

登楼山隧道超长，围岩条件复杂，地形条件特殊，除洞口段以外，洞身埋深达 850 m，若采用设置斜竖井的双洞方案，斜井的长度也将达到 4.5 km 以上，且由于斜井坡度达 10°左右，且所在区域水文地质复杂，隧道施工涌水量较大，故斜井对主隧道的辅助施工作用将十分有限，且地表村庄居住农户较多，施工对地表影响较大，协调工作复杂。因此登楼山隧道推荐采用设置平行导洞的三洞方案进行设计，初步设计情况如图 1~图 4 所示。

4. 平行导洞工法调研与比较

平行导洞施工的首要目标是快速施工，以达到地质超前预报和开辟掌子面的目的，目前较为成熟的开挖方式有钻爆法和 TBM 掘进两种，运输方式上有常规的无轨运输和有轨运输两种，一般钻爆法采用无轨运输的情形较为普遍，有轨运输则多与 TBM 掘进或大坡度运输相结合。

4.1. 钻爆法的优缺点

钻爆法隧道施工是目前国内山岭隧道中采用最为广泛的一种工法[7] [8]，其优点如下：1) 广泛应用于多种地下水条件和地质条件。2) 多种断面形式和变化断面均可应用。3) 运用分部开挖和辅助工法，显著的降低了地表沉降和塌陷。4) 在短距离开挖中，比掘进机法更经济。5) 在处理特殊地质路段，比掘进

机法更灵活。6) 相比明挖法，钻爆法可以减少对地面交通和商业活动的干扰，减少拆迁量。

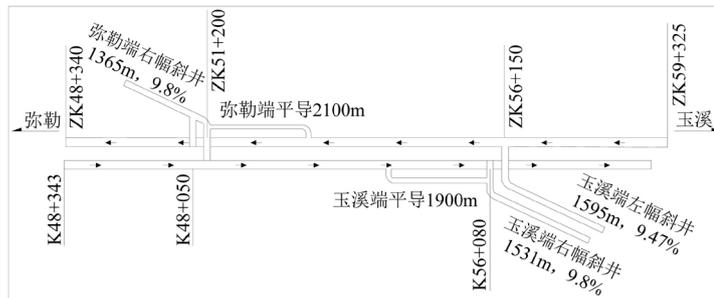


Figure 1. Overall layout plan of Dengloushan tunnel
图 1. 登楼山隧道总体方案布置图

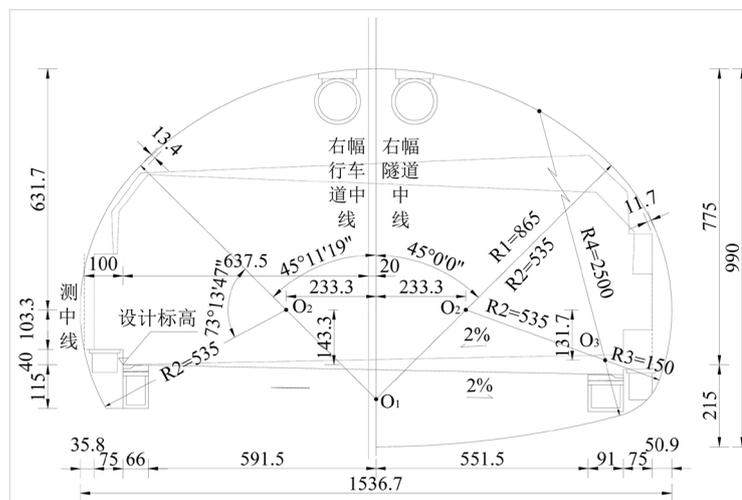


Figure 2. Internal contour design figure of tunnel main hole
图 2. 隧道主洞内轮廓设计图

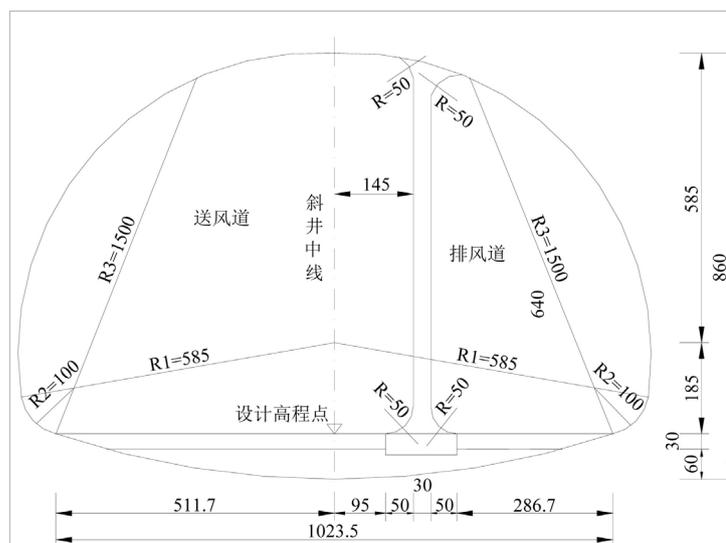


Figure 3. Internal contour design figure of inclined shaft
图 3. 斜井内轮廓设计图

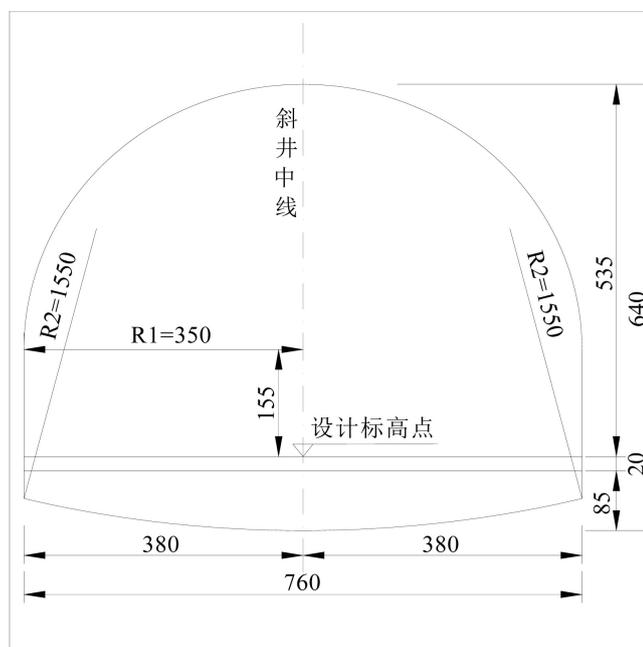


Figure 4. Internal contour design figure of parallel pilot tunnel

图 4. 平行导洞内轮廓设计图

但同时由于其施工的机械化程度不高，也具有其天生的缺陷：1) 施工易造成开挖面过大即超挖或者造成大面积欠挖。2) 施工工序较多，开挖放炮和出渣后的人工初喷，导致工序循环，增大间隔时间。3) 施工作业环境较差，对作业人员身体健康影响大。4) 施工质量不易控制。5) 对施工组织和管理要求较为严格。

4.2. TBM 工法的优缺点

TBM 是一种机、电、液、光、气等复合系统集成的工厂化流水线隧道施工设备，这种设备可以实现掘进、支护、出渣等施工工序并行连续作业[9]。它具有掘进速度快、绿色环保、效率高等优点，可实现传统钻爆法难以实现的复杂超深超长隧洞的施工[10]。TBM 工法在国外应用较为成熟，国内在输水隧道施工上有较成熟的应用经验，在公路和铁路工程中其应用还处于起步阶段。

TBM 施工的优点如下：

1) 加快施工进度。2) 提升施工质量。3) 增进施工效益。4) 增强施工安全。5) 加强环境保护。6) 集成化、信息化程度高。

但同时 TBM 施工也有一些缺点，具体如下：

1) 对地层岩性要求高。TBM 对隧道地层的岩性十分敏感，不同类型地层的岩性对 TBM 的要求也不同。

2) 与中短距离隧道施工不相适应。TBM 的体积较大，因此，运输较为困难。

3) 断面灵活性不足。当断面的尺寸过小时，辅助系统难以布置，增加施工难度；当断面的尺寸过大时，会增加耗电量和运输费用，增加经济成本。

4) 设备运输困难。TBM 是大型设备，总重量可达几千吨，其中最大部件重量可达上百吨，拼接长度可达 200 多米。这些系统都对 TBM 施工场地和运输情况提出了很高要求。

5) 机器购买及工作成本较大。

5. 平行导洞工程方案比选

登楼山隧道长度约 11 km, 且设置斜井辅助施工困难, 因此平行导洞需要两端掘进完成整个平行导洞的施工, 这就对平行导洞提出了更高的要求, 针对这一情况平行导洞的设计需要着重考虑超长距离施工运输的高效性和超长距离隧道施工通风的可行性。据此结合项目地质情况进行比选, 比较情况如下:

1) 地层适应性上钻爆法掘进处治手段多样化, 处置方法灵活, 要优于 TBM 法。对于地质条件十分复杂的地段, TBM 法还需要进行工法调整, 改用钻爆法通过后再继续进行 TBM 施工。对于围岩强度高(大于 150 Mpa)的段落以及石英含量过高的段落, 由于刀具磨损急剧增加, 导致频繁换刀, TBM 法的功效优势很难发挥出来, 此时采用钻爆法反而更具优势。因此在地层适应性上, 钻爆法要优于 TBM 法。

2) 施工安全性上, 钻爆法基本上完全采用人工的方式进行施工, 人员暴露在危险环境下的时间要远大于 TBM 法, 而 TBM 法始终在 TBM 盾壳的保护下施工, 其安全性要明显优于钻爆法。在结构安全性上, 钻爆法采用爆破开挖的方式进行开挖, 爆破振动对地层的扰动非常大, 而且开挖的超欠挖控制很难控制, 而 TBM 法就不存在这方面的问题, 不论是地层扰动还是超欠挖的控制上都要完胜钻爆法, 这就为结构受力的可靠性和合理性提供了很好的边界条件, 因此, 在结构安全性上, TBM 也要更优于钻爆法隧道。

3) 技术可行性方面, 我国近年来隧道工程呈爆炸式发展, 修建完成的隧道工程超过了 5000 km 以上, 而这些大都是采用钻爆法进行施工, 各隧道所穿越的地层几乎囊括了所有可能遇到的地层、地质环境, 因此采用钻爆法施工无论是在工程经验还是设计理论上均有十分可靠的经验基础。在 TBM 掘进方面我国已经实施的隧道工程也已经超过了百公里以上, 断面直径达到 12 m 以上, 这些也都足以为本工程 TBM 法平行导洞提供经验支持。与钻爆法隧道相比, TBM 掘进在复杂地质条件下的工程经验略显不足, 特别是软岩大变形、硬岩快速化施工等, 许多工程案例的处治并不成功甚至是失败的。但是本工程采用 TBM 法与钻爆法结合, 对于复杂地质采用钻爆法超前预处理进行处治, 可以较好的解决该问题。总的来说在技术可行性方面, 两种工法均有十分成熟的经验和案例, 但在复杂地质条件下 TBM 法可能需要牺牲部分掘进效率优势。

4) 经济性方面, 钻爆法断面略大于 TBM 法断面, 钻爆法断面一般采用扁平式断面, 而 TBM 法断面一般采用圆形断面, 从受力性能方面 TBM 法要优于钻爆法。再者由于 TBM 法掘进在地层扰动和超欠挖控制上要更优于钻爆法, 因此 TBM 法隧道的结构工程材料消耗要小于钻爆法隧道。但是 TBM 法的设备及配套设施费用较高, 单台高达 2 亿元左右, 因此根据工程经验, TBM 掘进长度超过 6 km 以上时采用 TBM 掘进在工程经济方面方能与钻爆法相当。

5) 在施工工期方面, 因登楼山隧道为单向 1.9%的上坡, 隧道最大涌水量达约 9 m³/d, 同时隧道穿越 7 条断层破碎带, 隧道围岩 III 级占 0%, IV 级占 90%, V 级占 10%。从工程地质与水文地质方面来看, 采用 TBM 施工, 其工期不可控, 不建议采用 TBM 进行施工。

从地层适应性上、施工安全性上、技术可行性、经济性、在施工工期等 5 个方面进行对比分析, 研究结果说明了钻爆法在隧道开挖过程中较 TBM 法有优势, 而且 TBM 法较适合在围岩级别较好的硬岩中施工, 其适合全断面开挖的隧道中进行施工。而该隧道的工程地质、水文地质条件复杂, 共穿越 7 条断层。穿越的岩性主要为砂岩、粉砂质泥岩夹白云岩, 粉砂质泥岩夹泥岩, 石灰岩夹白云岩, 灰岩, 泥灰岩与泥岩互层、粉砂质泥岩, 粉砂质页岩、石英砂岩及断层角砾岩, 故采用 TBM 法施工不利于初期支护以及超前加固等施工, 不利于隧道的开挖施工, 以及开挖施工后的稳定性支护, 故综上所述, 平行导洞工法推荐使用钻爆法施工。综上所述, 平行导洞工法推荐使用钻爆法施工。

6. 结论

1) 通过对国内特长隧道断面形式的调研情况以及三洞方案的优点进行分析, 并结合登楼山隧道的工

程概况，项目推荐采用平行导洞的三洞方案。

2) 通过对钻爆法和 TBM 工法的优缺点进行比较，并结合登楼山隧道的地层适应性、施工安全性、技术可行性、经济性和施工工期等方面进行比选，平行导洞的工法推荐采用钻爆法施工。

3) 论文对登楼山隧道的通风方案进行了详细比选论证，推荐采用平行导洞的三洞方案并建议采用钻爆法施工。方案比选过程中的技术要求及优缺点分析对国内类似特长隧道通风方案研究将会起到借鉴作用。

参考文献

- [1] 史振宇. 包家山特长隧道富水千枚岩地段快速施工技术[J]. 隧道建设, 2009, 29(1): 72-75.
- [2] 孙凤玲. 麦积山特长隧道施工通风, 供水, 配电技术[J]. 铁道标准设计, 2010(4): 71-73.
- [3] 高新文. 虹梯关隧道通风方案设计[J]. 公路, 2010(4): 202-206.
- [4] 孙继洋. 山西太古路西山隧道通风方案研究[J]. 公路, 2011, 7(1): 279-286.
- [5] 王立新, 李宁军, 张素磊, 等. 秦岭终南山公路隧道初期运营通风研究[J]. 公路隧道, 2008(1): 61-62.
- [6] 梁文灏, 苑郁林. 乌鞘岭特长铁路隧道施工通风方案研究[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(4): 38-44.
- [7] 郭陕云. 隧道掘进钻爆法施工技术的进步和发展[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(9): 67-74.
- [8] 张金柱. 大断面隧道钻爆法快速施工技术[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(5): 11-16.
- [9] 彭道富, 李忠献. 特长隧道 TBM 掘进施工技术研究[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(2): 179-183.
- [10] 温森, 贺东青, 杨圣奇. 隧洞变形引起的 TBM 施工事故综合风险分析[J]. 岩土力学, 2014, 35(6): 1727-1734.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org