

Study on Construction Technology of IV Soft Rock Tunnel

Zelin Tang

The Third Engineering Co., Ltd. of China Railway Tunnel Group, Shenzhen Guangdong
Email: 490408412@qq.com

Received: Aug. 13th, 2018; accepted: Aug. 30th, 2018; published: Sep. 6th, 2018

Abstract

Taking the construction of IV soft rock section of Peace Tunnel of Chenglan Railway as the background, the rapid construction technology of full-ring method is studied from the aspects of technology principle, construction operation flow, key technology and tunnel deformation. The results show that full-ring excavation method can reduce the disturbance of multiple blasting to surrounding rock and effectively protect the overall quality of initial support of tunnel. It is easier to control and realize fast closure, which is conducive to tunnel safety; it can effectively use large-scale machinery and equipment to improve construction progress, reduce human resources investment, reduce safety risks, and reduce the impact on transport vehicles and wind and water pipelines.

Keywords

High Ground Stress, Soft Rock, Tunnel, Full Ring Excavation, Construction Technology

IV软岩隧道全环开挖施工技术研究

唐泽林

中铁隧道局集团三处有限公司, 广东 深圳
Email: 490408412@qq.com

收稿日期: 2018年8月13日; 录用日期: 2018年8月30日; 发布日期: 2018年9月6日

摘要

以成兰铁路平安隧道IV软岩段施工为背景, 从工艺原理、施工操作流程、关键技术和隧道变形等方面对全环法快速施工技术进行了试验研究, 得出了全环开挖法减少了多次爆破对围岩的扰动, 有效保护围岩

自稳性能；隧道初支整体质量更易于控制，实现快速封闭，有利于隧道安全；有效利用大型机械设备施工，提高施工进度；减少人力资源投入，降低安全风险；减少了对运输车辆及风水电管路的影响。

关键词

高地应力，软岩，隧道，全环法开挖，施工技术

Copyright © 2018 by author 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

隧道施工中，能否正确选择隧道开挖方法，是影响隧道结构稳定及施工安全的重要考虑因素。软弱围岩在开挖过程中，不同的开挖方法及施工步骤会产生不同的围岩松动圈，引起围岩应力重新分布，从而影响围岩稳定性，对施工进度也会产生一定的影响。

通常情况下，软弱围岩隧道一般采用台阶法或分部开挖法，但随着我国铁路隧道建设的快速发展和人工费用的不断升高，施工机械化已成为铁路隧道建设的发展必然。但是由于分部开挖工序衔接多、作业空间限制等因素，不能使用大型机械施工，工效不高[1] [2]。同时，掌子面超前预加固的全断面开挖工法主要应用在掌子面不能自稳和围岩大变形的条件，施工效率依然较低[3] [4]。周亚宇[5]应用离散单元法对合武客运专线大别山隧道工程围岩破碎带全断面施工开挖、支护方案参数进行数值模拟分析，模拟结果基本和现场监控量测成果一致；董道海[6]结合施工实际，介绍通过横洞进入正洞后两个工作面施工的设备配套与快速施工技术；王正松[7]简要介绍全断面开挖方法以控制工作面超前核心围岩变形为手段的主要理念、施工原则及施工方法；梅志荣[8]运用有限元方法对隧道全断面预加固进行了三维数值模拟，同时阐述了全断面施工的基本应用原理；王瑜[9]通过数据分析和现场监测分析了软岩隧道全断面开挖变形。鲜国[10]通过数值模拟、理论计算和现场试验从围岩变形、初期支护受力及施工组织方面对比全断面(含仰拱)法和台阶法施工进行对比，得出全断面(含仰拱)法的施工质量更易于控制，人员投入和施工进度也优势明显。

本文依托成兰铁路平安隧道工程为背景，进行了软岩隧道全环法快速施工技术试验研究，从施工工艺原理、施工流程和关键技术要点和隧道变形等方面进行分析。

2. 工程概况

成兰铁路为设计时速 200 公里的国铁 I 级电气化铁路，线路走向从茂县至松潘段与岷江断裂带走向基本平行，线路大部分以隧道的工程形式通过，而平安隧道是其中最重要的控制性隧道之一。

平安隧道位于茂县桃花寨沟与太平沟之间，隧道左线全长 28.426 km，右线全长 28.4 km，为双洞单线隧道。主要穿越泥盆系危关群上组(Dwg (2))炭质千枚岩、砂质千枚岩、石英岩；泥盆系危关群下组(Dwg (1))含炭质千枚岩、绢云石英千枚岩夹石英岩、灰岩；石炭系、二叠系灰岩夹炭质千枚岩、炭质页岩(C+P)，三叠系下统茨沟组石英砂岩、炭质千枚岩夹灰岩(T[1]b)以及三叠系中统杂谷脑组千枚岩、砂岩、灰岩(T[2]z)。隧道通过桃花寨向斜、石大关断层、水沟子弧形同斜倒转背斜、平安 1#倒转向斜、小关子逆冲断层、平安 1#断层、平桥沟推断逆冲断层、洗澡塘弧形同斜倒转向斜、观音崖倒转背斜等。围岩稳定性差，节理较发育。

3. 工艺原理

全环开挖法是在隧道开挖工作面钻孔测量放线完成后,采用凿岩台车在隧道轨面以上部分钻爆开挖时与仰拱进行同时钻孔并一次爆破开挖成型,工作面和仰拱碴土采用装载机、挖掘机和自卸汽车联合装运出碴,拱墙初期支护与仰拱初期支护同步施作,仰拱初期支护施工完成后,仰拱用洞碴回填至掌子面附近,预留凿岩台车推进梁钻眼位置等作业平台。后期仰拱施工时将虚碴运走,再施工仰拱及填充,依次循环作业,推进隧道开挖作业。

4. 施工工艺流程及关键技术

4.1. 施工工艺流程

全环开挖法施工工序示意图见图1和施工工艺流程见图2。

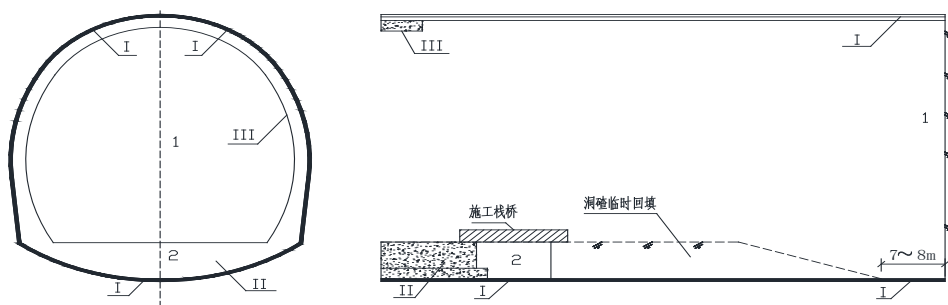


Figure 1. Schematic diagram of construction procedure of full ring excavation method

图1. 全环开挖法施工工序示意图

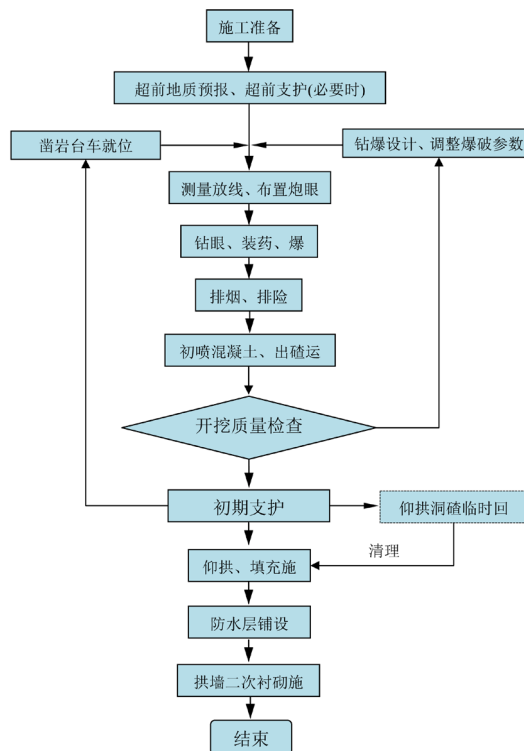


Figure 2. Construction process flow chart of full ring excavation method

图2. 全环开挖法施工工艺流程图

4.2. 关键技术

4.2.1. 超前地质预报

在隧道开挖前及施工过程中，采用地质雷达、超前钻孔、加深炮孔、地质素描等方法，对隧道周围及掌子面前方的地质情况进行探测，识别和预测隧道掌子面前方及周围的工程地质、水文地质结构，提供准确的地层岩性、地质构造、不良地质、地下水等地质信息，为隧道施工提供基础。地质预报如图 3 所示。

4.2.2. 超前小导管

采用凿岩台车钻孔，用锤击或钻机将小导管顶入，注浆泵注浆。小导管的纵向搭接长度不小于设计，外插角满足规范要求，与线路中线方向大致平行。孔位钻设偏差不超过 10 cm，钻孔深度大于小导管长度，钢管顶入长度不小于管长的 90%，用高压风将管内砂石吹出。

4.2.3. 测量放样

测量人员利用全站仪，用红油漆画出工作面开挖轮廓线，标出主要炮眼位置。

4.2.4. 钻眼爆破

在钻爆法施工中，采用液压凿岩台车进行钻孔。单线隧道单工作面采用一台轮胎式三臂凿岩台车。台车几个臂应分区，先钻周边眼和掏槽眼，再钻掘进眼，清底后再钻底板眼，钻孔时眼位误差不大于 10 cm，除掏槽眼加深 20 cm 外，其他眼孔底应在同一垂直面上。采用光面爆破，以减少对周边围岩的扰动，保证开挖成型质量。每循环用全站仪对开挖断面进行检查，并根据检查结果进行分析，及时将分析的信息反馈到施工中，不断优化爆破设计参数，以进一步改进爆破效果。施工时设备操作施工人员相对固定，以利于隧道开挖质量。凿岩台车施工如图 4 所示。



Figure 3. Advanced geological prediction of mine research RPD-180
图 3. 矿研 RPD-180 超前地质预报



Figure 4. Excavation construction of drilling rig
图 4. 凿岩台车开挖施工

4.2.5. 出碴

隧道爆破以后采用一台 PC220 挖掘机配合一台侧卸式装载机装碴，大型自卸汽车出碴。

4.2.6. 初期支护

1) 初喷混凝土

喷射前先处理危石，检查开挖断面净空尺寸，当受喷面有涌水、淋水、集中出水点时，先进行引排水处理。用高压风水冲洗受喷面，设置控制喷层厚度的标志。初支喷射混凝土施工中配备湿喷机械手。为确保喷射混凝土表面平整度，初期支护时，先按设计初喷 4cm 厚的一层混凝土，过程中同时将局部超挖的小凹坑喷填平整。

2) 锚杆打设

① 合中空锚杆

按设计要求，在开挖面上准确画出锚杆孔位，采用锚杆台车钻孔；检查锚杆孔达到标准后，安装锚杆并注浆，注浆压力符合设计要求；一般按单管达到设计注浆量作为结束标准，并保证锚杆孔浆液注满。在综合检查判定注浆质量合格后，用扳手将垫板拧紧。锚杆施工如图 5 所示。

② 全长粘结砂浆锚杆

利用锚杆台车钻孔，按照设计间、排距，尽可能垂直结构面打入，高压风吹孔。向孔内注满早强砂浆，再将锚杆送入孔内，并将杆体位于孔位中央，待砂浆达到设计强度后安装垫板，螺帽紧固在岩面上，增强锚杆与喷层的综合支护作用。

3) 钢筋网铺设

钢筋须经试验合格，使用前除锈，在洞外加工场分片制作，钢筋网片尺寸的大小应方便运输和安装。铺设需贴近岩面，与锚杆或钢架绑扎连接(或点焊焊接)牢固；安装时搭接长度应为 1~2 个网格。确保整体结构受力平衡。钢筋保护层厚度不得小于 2 cm。钢筋网安装时，为避免出现折线或外鼓，采用在初喷混凝土面打设钢筋铆钉固定的做法，使钢筋网紧贴初喷混凝土表面，局部超挖凹陷部位则顺隧道轮廓弧线安装，对个别有掉块的较大超挖部位设双层钢筋网，在混凝土复喷过程中起到较好的承载和粘接作用，从而保证复喷后表面平整。

4) 架设钢(格栅)架

钢架安装采用拱架安装机或作业台架。安装尺寸允许偏差：间距为 ± 10 cm，横向和高程为 ± 5 cm，垂直度 $\pm 2^\circ$ 。钢架的下端设在稳固的地层上。拱脚开挖超深时，加设钢板或砼垫块。安装后利用锁脚锚杆(管)定位。超挖较大时，拱背喷填同级砼，以使支护与围岩密贴，控制其变形的进一步发展。两排钢架间用连接钢筋纵向连接牢固，以便形成整体受力结构。

5) 复喷混凝土

喷射作业应分段、分片、分层，由下而上进行。

喷嘴垂直于岩面，距受喷面 0.8~1.2 m，呈螺旋移动，风压 0.5~0.7 MPa。液态速凝剂由自动计量在喷嘴处掺入。一次喷射层的最大厚度，拱部不得超过 10 cm，边墙不得超过 15 cm。分层喷射层时，后一层喷射在前一层层终凝后进行。喷混凝土如图 6 所示。

4.2.7. 仰拱一次填充

① 仰拱填充层施工部位划分

根据设计和验收规范要求，隧道衬砌分为两大部分，即边墙拱部为上部，使用衬砌台车一次性浇筑成型，仰拱及填充为下部，采用整体仰拱弧形模板一次浇筑成型。根据相关规范及现场实际情况将上下两部分施工缝设在轨面下 21 cm 处。



Figure 5. Anchorage construction
图 5. 锚杆施工



Figure 6. Wet spraying machine hand shotcrete operation
图 6. 湿喷机械手喷混凝土作业

② 工装配备情况

a) 仰拱弧形底模

仰拱底部根据设计弧形，提前在专业设备公司制作仰拱弧形模板，现场施工时根据设计尺寸进行测量放样、安装模板，预留振捣窗口。仰拱弧形如图 7 所示。

b) 仰拱端头定型模板

为了规范仰拱端头中埋式止水带和背贴式止水带安装，防止端头止水带损坏或安装不规范，端头采用定型挡头模板，以规范止水带的安装，同时保证混凝土施工质量，安装后效果见右侧照片。

待仰拱混凝土强度达 2.5 MPa 后，再施工填充混凝土。填充混凝土施工时，在仰拱两侧安装提前加工的定型钢模板，重点是以模板顶侧作为填充面层标高，要求两侧顶端模板必须顺直、牢固，在填充混凝土浇筑完成后，利用两侧模板顶面作为填充面收面依据和刮杆的支撑面，刮除多余混凝土，找平填充面，使填充混凝土满足设计要求。

c) 仰拱栈桥

为保障仰拱填充浇筑及养生期间，掌子面正常施工，需在仰拱填充施工段配备仰拱栈桥，以便车辆人员通行。

栈桥长度根据衬砌模板台车长度(12 m)和仰拱端头抽排水工作面，再加两端搭接长度，栈桥长度定为 16~18 m，为便于新浇填充混凝土找平操作空间，栈桥高度定为离填充面 50 cm，为便于车辆通行，填充一端设引桥，另一端设置栈桥支架，引导车辆上下栈桥。

5. 隧道施工安全性分析

现场统计 YD8K152 + 412~+442，该段的最终沉降和水平收敛均在 36 mm 以内，截止到二衬施做，

拱顶下沉和水平收敛才达终值，最大沉降和收敛速率均发生在隧道 1 倍洞径以内，最大收敛和沉降速率均在 5 mm/d 左右，发生在初支施做后的 3 天以内。YD8K152 + 452~+482 最终沉降和水平收敛均在 14 mm 以内，最大沉降和收敛速率在 2 mm/d 以内，发生在距掌子面 3 m 以内；隧道变形均处于安全要求范围内，初支表面没有裂缝等问题，说明隧道处于安全状态。隧道变形测点布置入图 8 所示，变形曲线如图 9 所示。



Figure 7. Arc location of inverted arch

图 7. 仰拱弧形定位

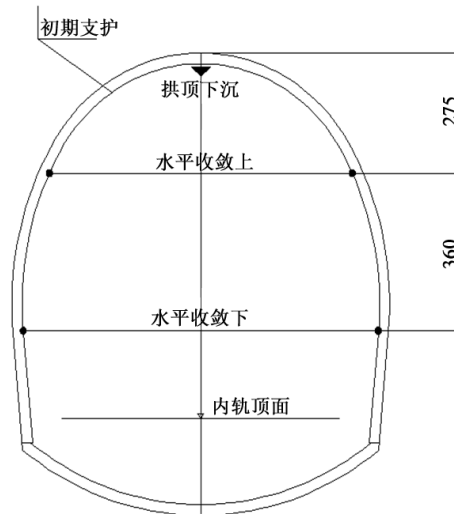


Figure 8. Layout of tunnel deformation measuring points

图 8. 隧道变形测点布置

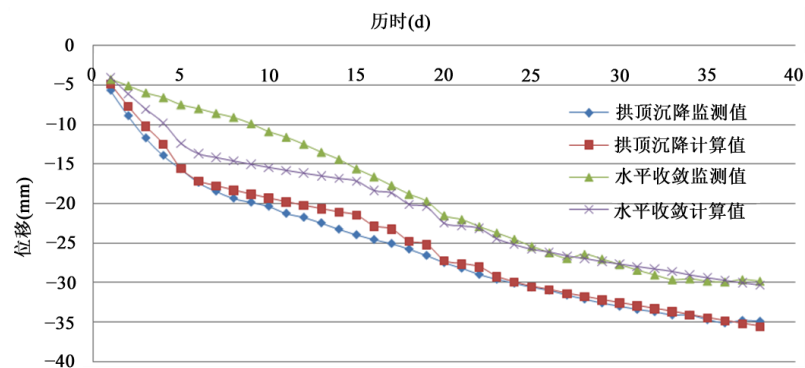


Figure 9. Tunnel deformation duration curve

图 9. 隧道变形历时曲线

6. 施工效果

隧道采用全环开挖法进行施工,施工进度得到了有效提高,尤其是爆破效果及炮眼利用率提高到 85% 以上,最高日进度达 6 m,最高月进度为 160 m,正常施工平均月施工进度达到 120 m,而之前采用人工风钻开挖(不含仰拱开挖)每月施工进度约为 90 m。提高了开挖、初支整体施工质量,确保了隧道施工的安全与结构的稳定性。

7. 结论与讨论

本文通过全环开挖法施工在成兰平安隧道软岩段中的施工应用,得出以下结论:

- 1) 全环开挖法将仰拱也一次性开挖减少了多次爆破对围岩的频繁扰动,保护了围岩的自稳性能;
- 2) 隧道开挖断面一次成型,初支钢拱架的安装整体质量更易于控制;
- 3) 仰拱初支施工无需再次爆破,有利于隧道初支的快速封闭,有利于隧道安全;
- 4) 施工空间大,有利于大型机械设备施工,从而提高隧道施工进度;
- 5) 节省人力资源投入,可降低施工安全事故中人员伤亡的概率;同时对运输车辆及风水电管路的影响较少。

参考文献

- [1] 黄锋,朱合华. 软岩隧道不同开挖方法施工位移响应分析[J]. 公路, 2013(10): 227-230.
- [2] 王伟锋,毕俊丽. 软岩浅埋隧道施工工法比选[J]. 岩土力学, 2007, 28(增刊): 430-436.
- [3] Kamata, H. and Mashimo, H. (2003) Centrifuge Model Test of Tunnel Face Reinforcement by Bolting. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **18**, 205-212. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(03\)00029-4](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00029-4)
- [4] 卢纳尔迪. 隧道设计与施工: 岩土控制变形分析法[M]. 铁道部工程管理中心, 中铁西南科学研究所有限公司, 译. 北京: 中国铁道出版社, 2011.
- [5] 周亚宇. 大别山隧道围岩破碎带全断面开挖施工方案研究[J]. 隧道建设, 2006, 26(4): 54-57.
- [6] 董道海. 客运专线大瑶山隧道全断面快速施工技术[J]. 隧道建设, 2007, 27(3): 88-91.
- [7] 王正松, 孙铁成, 高波. 全断面预加固隧道施工工法(新技法) [J]. 铁道标准设计, 2007(增 1): 170-173.
- [8] 梅志荣, 陈涛. 高速铁路隧道全断面预加固技术的应用研究[J]. 隧道建设, 2008, 28(5): 542-547.
- [9] 王瑜, 邵森林. 软岩隧道全断面开挖变形研究[J]. 南阳理工学院报, 2017, 9(2): 76-79.
- [10] 鲜国. 软岩隧道台阶法与全断面(含仰拱)法施工比较研究——以成兰铁路平安隧道为例[J]. 隧道建设, 2016, 36(11): 1302-1309

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