



中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

# 浅埋软弱地层 超大断面隧道修建技术

徐向东 洪 军 龚彦峰  
郭海满 孙宝亮 李树鹏

著

Construction Technology of  
**Super Large**  
Section Tunnel in Shallow-buried Soft Ground



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.



中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

# 浅埋软弱地层 超大断面隧道修建技术

徐向东 洪 军 龚彦峰  
郭海满 孙宝亮 李树鹏

著

Construction Technology of  
**Super Large**  
Section Tunnel in Shallow-buried Soft Ground



人民交通出版社股份有限公司  
China Communications Press Co., Ltd.

## 内 容 提 要

本书依托赣龙复线铁路新考塘隧道工程实践,系统总结了浅埋软弱地层中修建300m<sup>2</sup>以上超大断面隧道的理论基础、设计方法及施工关键技术。全书共分为8章,内容包括:概述、超大断面隧道修建技术现状及风险分析、结构选型设计、预支护设计、支护结构体系设计、施工过程力学分析、关键施工技术、结论及推广应用。

本书可供从事隧道及地下工程领域的科研人员、工程技术人员以及高等院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

浅埋软弱地层超大断面隧道修建技术 / 徐向东等著

— 北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.5

ISBN 978-7-114-15405-8

I. ①浅… II. ①徐… III. ①大断面地下建筑物—隧道施工—施工技术 IV. ①TU929

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第051509号

书 名:浅埋软弱地层超大断面隧道修建技术

著 者:徐向东 洪 军 龚彦峰 郭海满 孙宝亮 李树鹏

责任编辑:谢海龙

责任校对:赵媛媛

责任印制:张 凯

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010) 59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京印匠彩色印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11

字 数:238千

版 次:2019年5月 第1版

印 次:2019年5月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-15405-8

定 价:68.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)



赣龙铁路、南龙铁路的修建,对进一步发挥福建省比较优势、促进海西经济区在东南沿海的崛起,完善沿海地区经济布局,推动海峡西岸其他地区和台商投资相对集中地区发展、加强两岸交流合作,推进祖国和平统一大业的战略部署,具有重大的经济意义和政治意义。

修建中受南龙铁路与赣龙铁路间联络线设置的影响,赣龙铁路新考塘隧道出口段形成“2条正线+1条联络线”的格局。联络线与赣龙铁路右线线间距向隧道出口端逐渐加大,形成喇叭口渐变式三线铁路大断面隧道结构,长度215m,隧道最大开挖宽度30.26m,最大高度16.94m,最大开挖断面面积达396m<sup>2</sup>。同时,隧道埋深浅、地下水发育、处于全风化花岗岩地层,为国内外罕见的浅埋软弱地层渐变段超大断面隧道。在此背景下,参建各方联合攻关,迎难而上,群策群力,确保了新考塘渐变段超大断面隧道的顺利实施,作者将修建过程中的设计施工关键技术归纳、总结并提炼写成本书,希望能给国内同行提供参考。

书中首次提出了适用于软弱富水地层中300m<sup>2</sup>以上超大断面隧道的DWEA(靴型大边墙 Dilated Wall+ 加劲拱 Enhanced Arch)建造方法,形成了浅埋软弱地层超大断面隧道的成套设计技术;基于施工过程力学分析,提出了纵横向刚柔结合立体超前预支护体系和双层初期支护模式,实现了浅埋富水软弱地层超大断面隧道施工过程力学体系的安全转换;研发了由主副门架构成的超大体量、可变断面、与防水板台车一体化的二次衬砌台车,形成了浅埋全风化富水花岗岩地层超大断面隧道成套施工工艺。

研究成果直接保证了赣龙复线新考塘隧道出口段渐变段超大断面隧道的成功修建,突破了在全风化花岗岩浅埋富水地层中修建超大断面隧道(最大开挖断面超过300m<sup>2</sup>)面临的关键技术难题,部分研究成果在西安至成都客运专线工程中得到推广应用。

本书共分8章,第1章由徐向东、洪军、龚彦峰、郭海满编写;第2章由徐向东、洪军、龚彦峰、孙宝亮编写;第3章由徐向东、洪军、龚彦峰、郭海满、江胜林、李树鹏编写;第4章由徐向东、龚彦峰、洪军、江胜林编写;第5章由徐向东、龚彦峰、洪军、孙宝亮、李树鹏、江胜林编写;第6章由龚彦峰、洪军、郭海满、李树鹏编写;第7章由孙宝亮、张倚逾、洪军编写;第8章由徐向东、龚彦峰编写。全书由徐向东整理、修改、统编和校核。

书中引用了部分国内外已有专著、文章、规范等的成果,在此向其作者及相关人士表示

感谢。特别感谢赣龙复线铁路有限责任公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁五局集团有限公司等单位对本书内容所涉及研究项目的支持与协助。

鉴于作者的学识水平有限,疏漏不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2019年1月于武汉



**第1章 概述..... 001**

1.1 新考塘隧道概况.....	001
1.1.1 工程概况.....	001
1.1.2 隧址区地层岩性及地质构造.....	002
1.1.3 隧址区水文地质.....	003
1.1.4 隧道围岩评价和分级.....	003
1.2 超大断面隧道段工程特点.....	005
1.2.1 超大断面隧道段概述.....	005
1.2.2 超大断面隧道段工程地质.....	005
1.2.3 超大断面隧道段工程特点.....	006
1.3 本书主要内容.....	007
1.3.1 超大断面隧道修建技术现状及风险分析.....	007
1.3.2 超大断面隧道结构选型设计研究.....	007
1.3.3 超大断面隧道预支护技术.....	008
1.3.4 超大断面隧道支护结构体系设计技术.....	008
1.3.5 超大断面隧道施工过程力学及控制技术.....	009
1.3.6 超大断面隧道关键施工技术.....	009

**第2章 超大断面隧道修建技术现状及风险分析..... 010**

2.1 超大断面隧道修建技术现状.....	010
2.1.1 超大断面隧道建设现状.....	010
2.1.2 超大断面隧道施工工法现状.....	012
2.1.3 超前水平旋喷支护技术现状.....	015

2.1.4	超大断面隧道施工力学研究现状	018
2.2	超大断面隧道施工风险分析	020

### 第3章 超大断面隧道结构选型设计 021

3.1	隧道建筑限界设计	021
3.1.1	隧道建筑限界拟定考虑的主要因素	021
3.1.2	渐变式隧道建筑限界的拟定	022
3.2	隧道衬砌内轮廓设计	024
3.2.1	分段加宽衬砌断面设计思路	024
3.2.2	分段衬砌断面内轮廓的拟定	024
3.3	超大断面隧道形式选定	027

### 第4章 超大断面隧道预支护技术 029

4.1	纵横向刚柔结合立体超前支护体系的提出	029
4.2	浅埋软弱地层开挖隧道围岩变形特征及常用预支护方法对比分析	031
4.2.1	浅埋软弱地层开挖隧道的围岩变形特征	031
4.2.2	常用预支护、预加固工法对比分析	033
4.3	“高压水平旋喷+超前管棚”复合超前支护技术	034
4.3.1	水平旋喷桩预支护的力学机理分析	034
4.3.2	水平旋喷技术的缺陷及对策	035
4.3.3	水平旋喷与管棚复合预支护结构	035
4.4	掌子面超前预加固技术	036
4.4.1	掌子面预加固对拱顶掌子面超前支护的改善作用分析	036
4.4.2	新考塘超大断面隧道掌子面预加固效果分析	037
4.5	超大断面隧道超前预支护模型试验验证	039
4.5.1	试验方案设计	039
4.5.2	试验实施	040
4.5.3	试验数据分析	045

### 第5章 超大断面隧道支护结构体系设计技术 046

5.1	加宽 10.3m 段超大断面隧道施工工法选择及支护参数设计	046
-----	-------------------------------	-----

5.1.1	“靴型大边墙+加劲拱”复合工法(DWEA工法)的提出	046
5.1.2	DWEA工法开挖方法的优化与分析	048
5.1.3	DWEA工法特点解析	055
5.1.4	加宽10.3m段超大断面隧道支护参数	061
5.2	其他渐变段超大断面隧道施工工法及支护参数设计	062
5.2.1	加宽8m段隧道施工工法及支护参数	062
5.2.2	加宽6m段隧道施工工法及支护参数	063
5.2.3	加宽4m段隧道施工工法及支护参数	065
5.2.4	加宽2m段隧道施工工法及支护参数	066

## 第6章 超大断面隧道施工过程力学分析 068

6.1	过程相关性设计的提出	068
6.2	考虑过程相关性的拱部双层初期支护安全性评价	069
6.2.1	基于DWEA工法的拱部双层初期支护安全性全过程分析	069
6.2.2	不考虑施工过程的“荷载—结构”模式初期支护安全性分析	086
6.2.3	是否考虑过程相关性的支护体系受力特征对比分析	093
6.3	围岩压力在多层支护之间的传递规律	093
6.3.1	不考虑施工过程的按刚度分配规律研究	093
6.3.2	考虑施工过程的多层支护之间的围岩压力传递特点	094
6.3.3	围岩压力分配与支护时间和支护刚度耦合规律	100
6.4	临时竖撑轴力演变与现场拆撑试验	101
6.4.1	临时竖撑轴力的过程相关性分析	101
6.4.2	现场拆除临时竖撑前后的监测数据对比分析	102

## 第7章 超大断面隧道关键施工技术 104

7.1	高压水平旋喷桩施工技术	104
7.1.1	高压水平旋喷桩施工工艺试验	104
7.1.2	高压水平旋喷桩在新考塘隧道中的应用	107
7.2	超前大管棚施工技术	110
7.2.1	加宽10.3m段洞口长管棚施工技术	110
7.2.2	加宽8m段及加宽6m段洞身长管棚施工技术	111
7.3	靴型大边墙施工技术	113

7.3.1	靴型大边墙施工重点分析	113
7.3.2	靴型大边墙施工工艺	113
7.4	渐变段超大断面隧道开挖技术	114
7.4.1	开挖方法优化分析	114
7.4.2	预留变形量确定	116
7.4.3	加宽 10.3m 段及加宽 8m 段开挖技术	116
7.4.4	加宽 6m 段及加宽 4m 段开挖技术	123
7.5	渐变段超大断面隧道拱墙衬砌施工技术	125
7.5.1	衬砌台车设计与改装	125
7.5.2	防水板台车与二次衬砌台车一体化技术	128
7.5.3	渐变段超大断面隧道拱墙衬砌混凝土浇筑技术	129
7.6	信息化施工技术	130
7.6.1	A 类项目监测	130
7.6.2	B 类项目监测	138
<b>第 8 章 结论及推广应用</b>		<b>158</b>
8.1	结论	158
8.2	推广应用	159
<b>参考文献</b>		<b>162</b>

# 第1章

## 概 述

*Construction Technology of  
Super Large Section Tunnel in Shallow-buried  
Soft Ground*

### 1.1 新考塘隧道概况

#### 1.1.1 工程概况

赣州至龙岩铁路扩能改造工程位于江西省东南部、福建省西南部。西起江西省赣州市赣县,东至福建省龙岩市,途经江西省的赣县、于都县、会昌县、瑞金市,福建省的长汀县、连城县、上杭县、新罗区。线路全长 250.2km,设计速度为 200km/h,为客货共线双线铁路。新考塘隧道位于福建省龙岩市新罗区龙门镇境内,进口里程 DK265+762,出口里程 DK268+265,全长 2503m,为赣龙铁路的重点控制工程之一。新考塘隧道 DK265+762 ~ DK268+050 段隧道内线间距为 4.4 ~ 4.675m, DK268+050 ~ DK268+265 段隧道为 V 级围岩大跨影响段,赣龙至南三龙上行联络线道岔进入隧道,其在正线右线出岔,赣龙铁路隧道正线线间距为 4.4m,赣龙正线右线与赣龙至南三龙上行联络线间距为 0 ~ 10.216m。新考塘隧道的地理位置如图 1-1 所示。

隧道纵断面:隧道自进口至出口纵坡为 12.8%、12.6%、11.52%的下坡。

隧道平面:该隧道自进口至 DK266+700.11 位于左线曲线半径  $R=3500\text{m}$  的右偏曲线上, DK266+700.11 至 DK267+106.21 位于直线段上, DK267+106.21 至出口段位于左线曲线半径  $R=1600\text{m}$  的左偏曲线上,隧道内铺设无缝轨道,直线地段轨道结构高度为 766mm。

新考塘隧道设置两座斜井。1号斜井位于线路前进方向右侧,与隧道左线中线交点里程DK267+400,斜井采用无轨运输双车道断面。斜井综合坡度为4.276%,井口里程XDK0+198,斜井斜长198.19m,与线路大里程方向平面夹角为 $70^\circ$ ,井身设置 $R=60\text{m}$ 的圆曲线顺接,斜井出口施作长约350m的施工便道与既有机耕道连接。2号斜井位于线路前进方向右侧,与隧道左线中线相交于DK267+730里程处,斜井采用无轨运输单车道断面。斜井综合坡度为7.67%,井口里程X2DK0+162,斜井斜长162.56m。与线路小里程方向平面夹角为 $50^\circ$ ,斜井转折处采用 $R=60\text{m}$ 的圆曲线顺接。



图 1-1 新考塘隧道地理位置图

## 1.1.2 隧址区地层岩性及地质构造

新考塘隧道进口位于龙门镇连坑村范围内,出口位于龙门镇湖二村范围内,隧道洞身最大埋深188m,洞身最浅埋深为5m。隧道进出口均有乡间便道通过,交通较为便利,隧道进口与既有赣龙铁路相距约100m。隧址区属于中低山地貌,为构造剥蚀山地,测区内植被发育、灌木杂草丛生。洞身段地面最高高程为591m,洞身最低地面高程为420m,进口段自然坡度为 $25^\circ \sim 40^\circ$ ,出口段自然坡度为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

### 1) 地层岩性

隧址区地层主要为燕山期( $\gamma_5^1$ )花岗岩,此外零星分布有第四系坡残积层。具体如下:

- (1) 第四系填土( $Q_4^{ml}$ ): 灰黄色,松散,潮湿,厚0~7.6m。
- (2) 第四系冲洪积层( $Q^{al+pl}$ ): 粉质黏土,褐黄色,硬塑,厚1.4~6.0m。
- (3) 燕山期花岗岩( $\gamma_5^1$ ): 褐黄色,全风化呈土状,厚3.4~25.3m;强风化呈碎块状,厚0.5~26.5m;下为弱风化,浅灰色,中细粒结构,块状构造。

## 2) 地质构造

通过对地质调绘、遥感解译、机动钻探和物探资料的综合分析,判定隧址区无地质构造。

### 1.1.3 隧址区水文地质

#### 1) 地表水

隧址区地表水不发育,里程 DK266+428 处有小溪沟,流量较小,主要受大气降水补给。

#### 2) 地下水

隧址区地下水类型主要为孔隙潜水、基岩裂隙水,主要受大气降水补给,向低洼处排泄。

##### (1) 第四系坡洪积、残坡积层孔隙潜水

第四系孔隙潜水主要赋存于沟谷或坡地表的粉质黏土层中,透水性差,以接受降水补给为主,水量较少,水位季节变化明显,其流向受地形条件控制,一般向地形低洼的垭口沟谷汇集、排泄。

##### (2) 基岩裂隙水

基岩裂隙水主要分布于基岩裂隙中,富水性与节理裂隙的发育程度及性状有关,节理裂隙发育的岩体较为富水。

##### (3) 地下水、地表水的补给、排泄关系和条件

地下水的补给、径流和排泄条件受地形、地貌、岩性和地质构造控制。宏观上看,地下水的径流方向基本与地表水一致,斜坡洼地地带为地下水的补给、径流区,河谷地带为其排泄区。地下水的水位由深变浅,富水性由弱变强。

大气降水、周边山地的基岩裂隙水、地表河流水是松散岩类孔隙水的主要补给源。其补给强度受地形降水时间和水位埋深等因素控制,若地势低平、岩土疏松,则透水性增强。大气降水一部分以地表片流形式流向沟谷河流,另一部分沿基岩裂隙下渗转变为地下水径流。

潜水的径流总体流向与地形基本一致。潜水径流顺边坡向径流呈线状,散点状排泄,切割较深的冲沟,途径短而畅通,交替积极,排泄方式主要表现为地表流和渗流,与地形条件关系密切,即由分水岭沿山坡向沟谷方向流动,很少见泉涌。

### 1.1.4 隧道围岩评价和分级

在考虑岩体质量等级、岩石力学性质基础上,综合自然风化、地质构造运动、埋藏深度、地下水、节理裂隙发育程度等各类因素,同时参照物探地震波法岩体反弹波速,高密度电法、EH-4 揭示电阻率,综合判定新考塘隧道的围岩分级见表 1-1。

新考塘隧道围岩评价和分级

表 1-1

序号	里 程	长度 (m)	围岩 级别	工程地质条件
1	DK265+762 ~ DK265+920	158	V	表层为 $Q^{pl+dl}$ 粉质黏土, 黄褐色, 硬塑, 厚 0 ~ 3m; 下伏基岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 全~弱风化, 全风化呈砂土状, 厚 20 ~ 25m, 强风化呈碎块状, 厚约 1m, 以下为弱风化。洞身围岩多为全风化, 局部为强~弱风化, 弱风化基岩节理裂隙发育。围岩整体松散~破碎。DK265+790 ~ DK265+920 段岩石弹性波速为 4.65km/s。地下水主要为基岩裂隙水, 较发育。DK265+760 ~ DK265+810 段因砖厂取土破坏局部山体, 形成高陡边坡, 部分垮塌, 形成厚 3 ~ 5m 松散堆积体, 堆积物多为粉质黏土、花岗岩全风化的垮塌物, 松散, 潮湿
2	DK265+920 ~ DK265+950	30	IV	沟谷浅埋段, 中间为山间洼地, 有一溪沟常年流水。DK265+920 ~ DK266+080 段最大涌水量 $Q_0$ 为 870m <sup>3</sup> /d, 为强富水区。洞身围岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 全~强风化。地下水发育, 岩体破碎。岩石弹性波速为 4.75km/s。隧道洞身上面分布有房屋, 易产生坍塌、冒顶
3	DK265+950 ~ DK266+100	150	V	
4	DK266+100 ~ DK266+240	140	IV	
5	DK266+240 ~ DK266+340	100	III	低山, 地层上部为全风化的花岗岩, 厚 20 ~ 30m。洞身围岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 弱风化, 青灰色, 节理裂隙较发育, 地下水较发育, 岩质坚硬, 岩体较破碎。DK266+180 ~ DK266+370 段弱风化岩石弹性波速为 4.6km/s。隧道洞身上面分布有房屋, 建议隧道设计和施工采取适当措施
6	DK266+340 ~ DK266+390	50	IV	隧顶上部为冲沟, 冲沟有回填土, 最厚约 8m。洞身围岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 青灰色, 弱风化, 节理裂隙较发育, 岩体破碎, 地下水较发育, 隧道中线左侧有一采坑, 开挖形成陡坎, 有一定偏压, 易产生坍塌、冒顶, 建议设计、施工时考虑其不利影响, 采取适当措施。DK266+370 ~ DK266+480 段预测单位长度最大涌水量 $Q_0$ 为 8.18m <sup>3</sup> /(d·m), 为强富水区。岩石弹性波速为 4.85km/s
7	DK266+390 ~ DK266+480	90	V	
8	DK266+480 ~ DK266+520	30	IV	
9	DK266+520 ~ DK266+850	330	III	洞身围岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 青灰色~灰绿色, 弱风化。地下水不发育, 局部较发育。节理裂隙不发育, 岩石坚硬, 岩体较完整。岩石弹性波速为 4.7 ~ 4.75km/s
10	DK266+850 ~ DK267+060	210	II	
11	DK267+060 ~ DK267+350	290	III	
12	DK267+350 ~ DK267+395	45	IV	DK267+420 ~ DK267+640 段为山间沟谷浅埋段, 最浅埋深约 8.0m, 且有一定的偏压, DK267+450 ~ DK267+650 段预测单位长度最大涌水量 $Q_0$ 为 3.78m <sup>3</sup> /(d·m), 为中等富水区。DK267+440 ~ DK267+730 段洞身围岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 棕黄色、褐黄色, 全风化, 其余地段洞身围岩为强~弱风化, 地下水较发育。岩体松散~较破碎, 设计和施工时应加强支护和防排水, 防止产生坍塌、冒顶等问题
13	DK267+395 ~ DK267+700	305	V	
14	DK267+700 ~ DK267+740	40	IV	
15	DK267+740 ~ DK267+940	200	III	低山, 洞身上部土层和全风化层厚 20 ~ 35m, 洞身围岩为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 青灰色, 弱风化, 节理裂隙较发育, 局部夹少量强风化, 地下水较发育, 岩体较破碎, 岩石弹性波速为 3.9km/s
16	DK267+940 ~ DK267+970	30	IV	隧道出口为低山和谷地, 其中 DK268+040 ~ DK268+150 段为谷地, 埋深较浅, 最浅埋深约 24m。DK268+000 ~ DK268+150 段预测单位长度最大涌水量 $Q_0$ 为 14.26m <sup>3</sup> /(d·m), 为强富水区。洞身围岩多为 $\gamma_5^1$ 中细粒花岗岩, 褐黄色~灰黄色, 全风化, 部分为强~弱风化, 围岩松散~破碎, 应加强支护和防排水
17	DK267+970 ~ DK268+265	295	V	

## 1.2 超大断面隧道段工程特点

### 1.2.1 超大断面隧道段概述

赣龙铁路新考塘隧道出口段由于南(平)三(明)龙(岩)铁路与赣(州)龙(岩)铁路间联络线设置的需要,出口段形成了“2条正线+1条联络线”的格局,联络线与赣龙铁路右线的线间距从出岔点向隧道出口端逐渐加大,形成了喇叭口状三线隧道结构,涉及的范围为DK268+050~DK268+265,总长度215m,其中DK268+260~DK268+265段为明挖段,如图1-2所示。

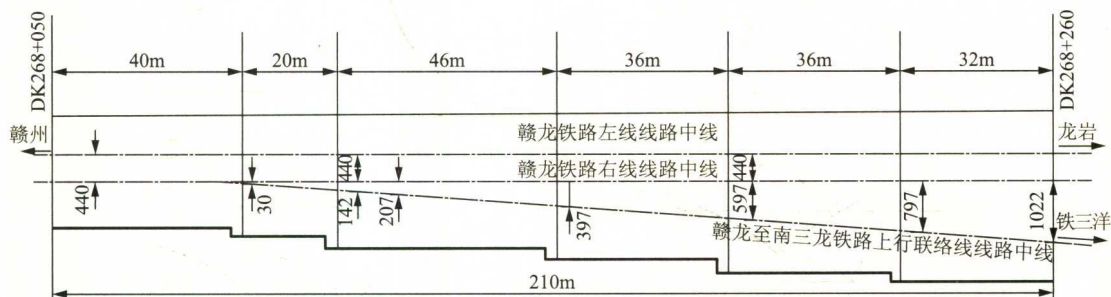


图 1-2 新考塘隧道出口线路平面布置图

(注:图中尺寸除注明者外,余以厘米(cm)为单位)

新考塘隧道设计时速 200km,为客货共线铁路双线隧道,出口段受联络线出岔影响,断面逐渐加大。隧道衬砌内轮廓根据《新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定》(铁建设函〔2005〕285 号)中的“电力牵引铁路 KH-200 桥隧建筑限界”、各线线间距及其他各种因素综合考虑拟定。从设计、施工便利性和经济性等方面综合考虑,将大跨段结构分为 6 种衬砌断面形式,分别采用不同的超前支护措施、衬砌设计参数和施工工法。其中,DK268+228~DK268+265 段隧道净空断面最大宽度 22.36m,净高 14.22m,轨面以上净空面积 200m<sup>2</sup>。隧道最大开挖宽度 30.26m,最大高度 16.97m,最大开挖断面面积达 396m<sup>2</sup>。对比以往类似变截面燕尾段隧道,本隧道喇叭口状三线过渡段的最大跨度和最大开挖面积均超过以往,且本隧道以扩大段直接出洞,缺少小净距双洞阶段,从空间效应上来说,受力更为不利,为国内外罕见的超大变断面隧道。本书以最大跨度断面隧道为主,兼顾其余变断面段进行介绍。

### 1.2.2 超大断面隧道段工程地质

新考塘隧道超大断面段属于中低山地貌,为构造剥蚀山地,植被发育、灌木杂草丛生。地表水不发育,地下水类型主要为孔隙潜水、基岩裂隙水,主要由大气降水补给,向低洼处排泄。隧道出口大跨段位于低山谷地,埋深较浅,为 5~40m,自然坡度为 30°~45°,预测单位长度最大涌水量为 14.26m<sup>3</sup>/(d·m),为强富水区,该段隧道基本处于全风化花岗岩层,洞

身围岩主要为中细粒花岗岩，灰红色~灰黄色，全风化，部分为强~弱风化，围岩松散~破碎，工程地质条件差，按《铁路隧道设计规范》(TB 10003—2016)划分为V级围岩，加之处于洞口段，围岩稳定性问题突出。新考塘隧道出口纵断面如图1-3所示，现场揭示的围岩状况如图1-4所示。

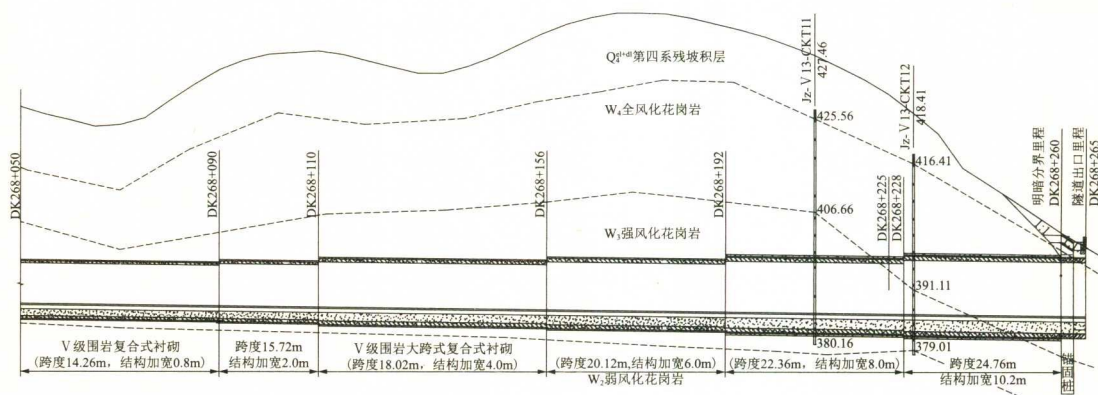


图 1-3 新考塘隧道出口纵断面图(单位:m)

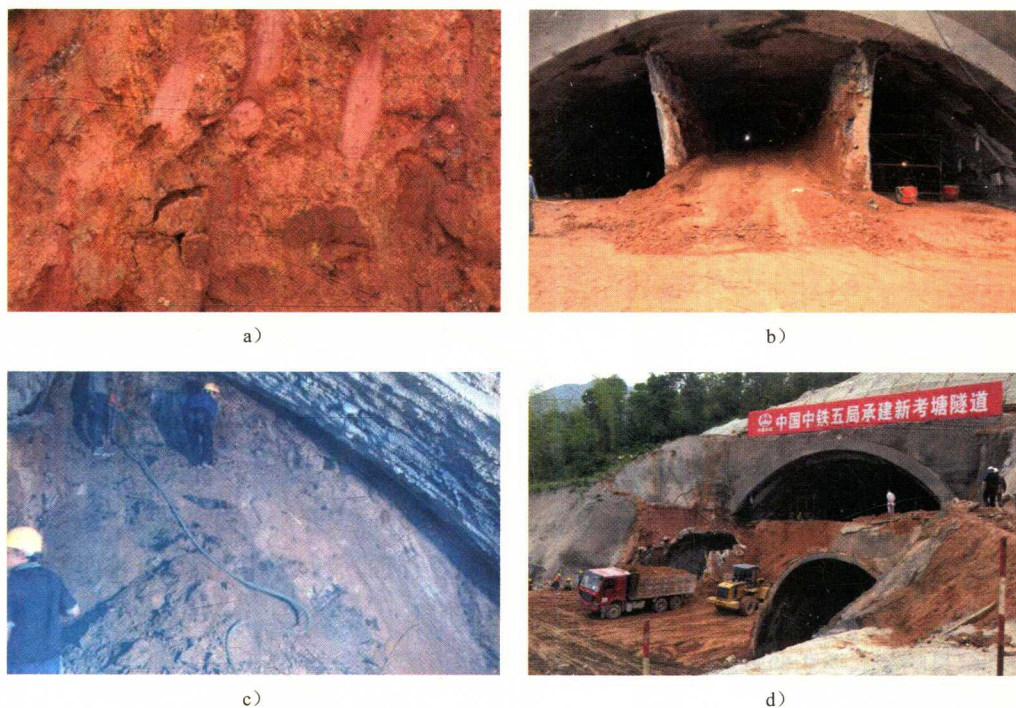


图 1-4 现场揭示的围岩状况

### 1.2.3 超大断面隧道段工程特点

通过对新考塘隧道出口段的地形地质条件和拟定的结构断面进行分析,可知本隧道具有以下主要安全风险:

(1) 隧道埋深浅、地质条件差、地下水发育,易坍塌破坏。

(2) 隧道净空面积大,开挖为超大断面且位于渐变段上,大跨段落较长,初期支护受力大,变形控制困难,存在变形侵限、失稳及塌方风险。

(3) 隧道需采取多次开挖支护,受力转换困难,支撑拆换安全风险大。

对于超大断面隧道,特别是在软弱围岩条件下修建的大跨大断面隧道,国内外几无现成的设计、施工经验可循,选择一种合理的施工方法及配套的支护体系,对顺利施工和保证施工安全具有十分重要的“战略”作用,因此需要科学地进行研究与探索。

## 1.3 本书主要内容

新考塘隧道出口段受联络线出岔影响,形成国内外罕见的超大变断面隧道,且位于出口富水软弱浅埋地层中,本书以该项目为工程依托,对浅埋软弱地层超大断面隧道修建技术进行介绍。在调研国内外超大断面隧道修建技术现状的基础上,首先提出渐变式大断面隧道的结构选型,然后分别从支护体系(含预加固)、施工工法与工艺、施工力学分析等方面入手,对全风化花岗岩浅埋富水地层超大断面隧道修建技术进行分析。

### 1.3.1 超大断面隧道修建技术现状及风险分析

地质条件是隧道修建中的关键控制因素。国内外已修建了一些超大断面隧道工程,这些工程一般选择位于围岩地质条件较好地层,施工风险较低。如:我国沿海铁路燕前2号隧道,最大开挖断面面积 $300\text{m}^2$ ;重庆轻轨临江门车站,最大开挖断面面积 $421\text{m}^2$ ;挪威耶维克地下冰球场,主洞室宽60m、长90m、高25m。

但是,目前在富水软弱地层修建超大断面隧道可供参考的实例仍然较少,同时限于认识水平和修建技术,过去大断面隧道设计存在过于保守、工法单一、工程造价高等问题。就理论和设计技术而言,国内对大断面隧道岩石力学性质和支护结构的机理研究滞后,尚无统一规定,同类工程在设计 and 施工方面差别较大。因此,有必要对目前超大断面隧道修建技术现状及施工风险进行分析,归纳总结出对大断面隧道有益的技术理论。

### 1.3.2 超大断面隧道结构选型设计研究

对于渐变式超大断面隧道,其开挖跨度及开挖断面面积逐渐增大,且断面形式更加扁平,在力学行为上有较大差别,在结构选型设计中应考虑以下问题:

(1) 由于渐变断面并非是光滑过渡,就存在一个变化几次(即由几段不同断面组成)、每段多长的问题,这些都会影响设计、施工的便利性和经济性。在满足建筑限界及相关作业要求条件下,在技术可行、经济合理的范围内,如何优化渐变式断面形式。

(2)对于多种不同断面大小的特大跨度、超大断面隧道,降低高跨比会带来直接的经济效益,但断面更扁平,开挖后的应力重分布状态变差,增加了结构设计和施工的难度。

(3)相比于单、双线铁路隧道,衬砌厚度增大,需要对衬砌结构承载力的力学特征进行研究,以便确定合理的衬砌厚度。

### 1.3.3 超大断面隧道预支护技术

隧道开挖后,隧道的变形可分为三种实态:掌子面前方的先行位移、掌子面挤出位移、掌子面后方的位移。这三种位移是同时发生的。在软弱围岩条件下,支护的主要目的就是抑制这些位移的发展,也就是抑制由这些位移引起的围岩松弛。在一般围岩条件下,围岩先行位移可以任其发生,不加以控制,但在软弱围岩条件下,其最大值,例如可以超过全位移的30%以上,甚至达到50%或更大时,如不加以控制,则会成为掌子面拱顶部分坍塌以及发生大变形的要因,这是采用超前预支护(预加固)的原因。而初期支护主要是控制掌子面后方位移的技术对策。

在软弱地层或不良地质条件下修建隧道,需对地层采取改良或加固措施。根据所采取的措施对隧道周围地层特性及应力分布的影响,可分为地层改良法和保护法。改良法就是提高开挖面周围地层的土工特性,如土层加固、注浆、排水、冻结等;保护法就是防止土层参数降低到残余值,并使开挖面周围应力干扰达到最小的方法,如预切槽法、水平旋喷注浆法、管棚及开挖面预加固相结合的一些方法。本工程采用了多种形式的超前支护预加固技术,如掌子面水平旋喷技术、掌子面玻璃纤维锚杆加固技术、拱部水平旋喷注浆和长管棚超前支护技术等,对于这些技术的作用机理、参数设计优化等都是本书介绍的重点。

### 1.3.4 超大断面隧道支护结构体系设计技术

对于超大断面隧道,特别是在浅埋软弱围岩条件下修建超大断面隧道,选择一种合理的施工工法及相应的支护体系对于安全、经济、快速施工具有十分重要的意义。从当前的施工技术水平出发,钻爆法仍是隧道开挖的主要方法,特别是新奥法的发展表现出勃勃生机。然而新奥法实则法无定法,仅是一种隧道施工理念,并非一种具体的开挖、支护方式。对于超大断面隧道,应力求不拘泥于规范所设定的某些具体的条条框框,做到有所创新。这需要充分理解和掌握新奥法的精髓,从围岩稳定性理论分析、施工工法、支护技术及监控量测等全方位系统性地把握新奥法的理念发展到超大断面隧道的修建技术上去。

对于新考塘隧道超过 $300\text{m}^2$ 的断面,首先考虑的还是化大为小,分部开挖(多部开挖)。如何划分值得研究优化,而如何分部又与采用什么样的支护体系密切相关。另一方面,隧道施工力学与过程相关,后续开挖部分与先期开挖部分相互影响,施工工序对支护结构最终受力状态会产生影响。因此,如何在确保安全的前提下,设计尽可能少的开挖分部与相对更优的开挖工序、尽可能少的临时内支撑以及如何确保拆除临时支撑后的超大断面隧道初期支