

文章编号: 1674—8247(2019)06—0077—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.06.016

## 山岭铁路隧道施工地下水灾害及治理技术

邓 勇

(中铁二十局集团有限公司, 西安 710016)

**摘 要:**针对山岭铁路隧道中地下水影响施工过程中隧道围岩和结构的稳定性及后续运营的安全性问题,文章依托怀邵衡铁路中穿越 F2 断层且易发生涌水、涌泥以及变形坍塌的蜡树脚隧道,运用理论分析和现场实测手段,分析了地下水灾害及其诱发条件,确定了涌水段开挖支护方法,提出了隧道地下水害治理原则和富水段处理方案,获得了较好的效果,可为今后其他类似工程提供参考。

**关键词:**隧道工程;地下水;灾害;施工;治理

中图分类号:U453.6<sup>+</sup>1 文献标志码:A

## Groundwater Disaster and Control Technology in the Construction of Mountain Railway Tunnel

DENG Yong

(China Railway 20th Bureau Group Co., Ltd., Xi'an 710016, China)

**Abstract:** In view of the influence of groundwater in mountain railway tunnel on the stability of surrounding rock and structure of tunnel during construction and the safety of subsequent operation, based on Lashujiao tunnel in HuaiShaoHeng Railway, which passes through F2 fault and is prone to water gushing, mud gushing and deformation collapse, this paper analyzes the groundwater disaster and its induced conditions by theoretical analysis and field measurement, and determines the excavation and support method of water gushing section, puts forward the treatment principle of the tunnel groundwater disaster and the treatment scheme of the rich water tunnel section, which can provide reference for other similar projects in the future.

**Key words:** tunnel engineering; groundwater; disaster; construction; treatment

随着我国铁路建设特别是高速铁路建设的迅猛发展,隧道工程建设越来越多,特别是山岭隧道建设里程逐年增加。然而,由于山岭隧道的地质和水文条件存在特殊性,地下水对铁路隧道工程建设及后续运营均有极大影响。因此,如何减少地下水在山岭铁路隧道施工过程中对隧道围岩、结构的影响和后续运营安全的影响,是目前的一大热点难题。

地下水及其环境研究主要关注点是隧道涌水问

题,但如何准确获知隧道地下水流向、水位高度、水压以及涌水量是一大关键问题,在预测出上述地下水参数后如何正确处理又是一大难题。为此,许多科研工作者对此进行了大量工作,也取得了丰富成果。李鹏飞<sup>[1-5]</sup>等人对隧道涌水量的预测方法进行了许多研究。张学文<sup>[6]</sup>以在建桃树坪隧道3号斜井降水施工为背景,详细探讨了桃树坪隧道穿越第三系饱和富水粉细砂岩的降水施工方案,为同类工程的施工提供了必

收稿日期:2019-09-12

作者简介:邓勇(1971-),男,教授级高级工程师。

基金项目:湖南省科技厅省重点研发计划项目(2017SK2393);中国铁建研发计划项目(17-C20)

引文格式:邓勇.山岭铁路隧道施工地下水灾害及治理技术[J].高速铁路技术,2019,10(6):77-81.

DENG Yong. Groundwater Disaster and Control Technology in the Construction of Mountain Railway Tunnel [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(6): 77-81.

要的技术资料和经验借鉴。李志军<sup>[7]</sup>等人针对兰渝铁路咀头、胡麻岭、桃树坪隧道湿陷性黄土、第三系未成岩粉细砂岩等软岩含水隧道,提出施工中采用地表旋喷桩将隧道拱部及周围软弱围岩进行旋喷固结并利用 $\phi 108$ 钢管锁脚配合钢架加强支护等措施获得了良好效果。田仁东<sup>[8]</sup>以兰渝铁路桃树坪隧道4号斜井为例,从方案确定、降水设计、过程实施、效果监测等方面系统阐述了桃树坪隧道4号斜井施工降水技术。刘德强<sup>[9]</sup>等人以在建宜昌-万州铁路金子山隧道为依托工程进行研究后,认为强岩溶区隧道施工时岩溶地下水会导致隧道岩体工程地质和水文地质发生变化,造成围岩强度降低,水的渗透性及水压力增大,并可能造成隧道的突然涌水和突泥事故,采取帷幕注浆是隧道与地下工程施工中防渗止水的有效技术手段。赵继增<sup>[10]</sup>针对青岛胶州湾海底隧道断层破碎带受构造影响严重、围岩破碎、岩体强度低、出水量大、拱顶自稳能力差等极大风险条件,通过现场试验确定了全断面帷幕注浆技术参数和全断面帷幕注浆技术方案、措施,获得了良好的注浆加固效果。

综上所述,虽然对隧道及地下工程施工引起地下水运移所造成的安全影响分析较多,但是鉴于当前隧道施工条件及后期运营情况极其复杂,地下水的影响与治理技术仍然有待于做进一步研究。因此,本文依托当前较为典型的湘西怀邵衡铁路中涌水问题极其严重的蜡树脚隧道等工程,针对地下水产生的灾害、灾害的诱发条件和施工过程中的可能治理方法等进行了深入探索。

## 1 蜡树脚隧道工程条件分析

蜡树脚隧道为单洞双线隧道,有砟轨道,设计速度200 km/h;左线DK 73+965.028~DK 75+631.614,位于半径为4 500 m的右偏曲线上,其余地段为直线;左右线线间距4.45~4.81 m,其中DK 75+300~DK 75+620段加宽0.2 m。隧道穿过湘西山地,地形复杂,地势陡缓多变,场地狭窄,弃渣困难且施工条件差;受区域构造影响,隧道地质复杂,不良地质和特殊岩土发育且种类多,为Ⅱ级风险隧道,是全线控制性工程之一。

### 1.1 工程地质与断层情况分析

蜡树脚隧道穿越F2断层,断层带围岩极其破碎,结构松散,富水性好,含水量大,是良好的导水通道;隧道断裂带多,设计勘探判定断裂带可能发生涌水、涌泥以及变形坍塌,建议加强支护和防排水措施。现场实

际施工情况:掘进进入F2断层时已经发生涌水、涌泥以及局部突水、突泥现象,严重威胁人身、机械和设备安全。

### 1.2 隧道潜在涌水分析

隧道区属中亚热带季风气候区,四季分明,雨量充沛,但受地形影响,地域差异和垂直差异明显。气温条件为年平均气温16.4℃,1月平均气温5℃,7月均气温28℃,年均无霜期为280 d。降水条件为年平均降雨量1 500 mm,年最大降雨量和最小降雨量分别为1 800.00 mm和800.00 mm。由此,隧道潜在涌水隐患大,施工时必须密切关注。

根据含水层岩土类别、岩石组合关系、地下水赋存条件及水动力特征,将本隧道区地下水划分为松散层岩土体孔隙水、基岩裂隙水。用大气降水入渗法预测涌水量,得到正常涌水量351.17 m<sup>3</sup>/d,最大涌水量1 230.97 m<sup>3</sup>/d。从涌水量预测结果可知,蜡树脚隧道具有大涌水风险,需要提前采取相应的工程措施。

### 1.3 隧道涌水段原定开挖及支护方法

借鉴以往的富水隧道施工经验,蜡树脚隧道涌水段原定开挖、支护方法如下:

#### (1) 总体施工原则

根据本隧道围岩特点和现场实际情况,采用喷锚构筑法进行施工,施工过程中严格遵循“短进尺、少扰动、早支护、勤量测、紧封闭”的原则。

#### (2) 超前支护

隧道出口洞口段采用管棚超前预支护:导向墙采用C20混凝土,基础设置在基岩中,截面尺寸1.0 m×1.0 m;长管棚采用 $\phi 108$ 热轧无缝钢管,壁厚6 mm,长度为40 m,管棚角度和长度根据现场开挖所揭示的实际地质情况进行调整。为保证长管棚施工精度,导向墙内设2榀I18工字钢架,钢架外缘设 $\phi 140$ 壁厚5 mm导向钢管,钢管与钢架焊接。

隧道暗洞段Ⅳ、Ⅴ级围岩拱部分别采用Ⅰ、Ⅱ型超前小导管支护,支护范围为拱部120°,超前小导管外插角5°~10°(可根据实际情况调整),搭接长度 $\geq 1.0$  m;Ⅰ型超前小导管环向间距50 cm,Ⅱ型超前小导管环向间距40 cm。超前小导管采用热轧钢花管,长度4.5 m,外径42 mm,壁厚3.5 mm;小导管在前部钻注浆孔,孔径10 mm,孔纵向间距15 mm,呈梅花形布置,前端加工成锥形,尾部不钻孔的止浆段长度 $\geq 30$  cm。注浆材料为水泥浆液,水灰比1:1(重量比),注浆压力一般为0.5~1.0 MPa。

#### (3) 开挖方法

V 级围岩段采用三台阶临时仰拱法、四步 CD 法施工,Ⅳ级围岩段采用三台阶法施工,明洞段采用明挖法施工。施工过程中根据地质条件变化,及时调整施工工法,在确保安全和质量的前提下展开施工。

2 隧道施工地下水害及影响分析

按照原定开挖方法进行施工后,出现了较大的难题,除了涌水外还发生涌泥现象。

2.1 隧道施工现场实测状态

怀邵衡铁路蜡树脚隧道出口 DK 75 + 860 ~ DK 75 + 830 段掌子面及中下台阶涌水较为严重,出口 DK 75 + 880 ~ DK 75 + 860 段开挖支护完成后,渗水较大,多处集中出水点成股状流出,出水量达 23.1 m<sup>3</sup>/d/m,属强富水区。

选取以下典型段落列出其现场状态实测结果,如表 1 所示。

表 1 腊树脚隧道出口段实际围岩状况

项目内容	DK 76 + 136.4 ~ DK 76 + 116.4	DK 75 + 760 ~ DK 75 + 702	DK 75 + 703 ~ DK 75 + 673
地层情况	板岩夹少量泥质砂岩	炭质板岩	炭质板岩
风化程度	弱风化	弱风化	弱风化
掌子面状态	自稳性较好	岩层破碎,掉块严重	岩层破碎,掉块严重
围岩级别划分	V	V	V
设计类别	P10	P10	P10
预支护	Ⅱ型超前小导管	φ89 洞身管棚 + Ⅱ型超前小导管	φ89 洞身管棚并进行 5 m 超前注浆
施工方法	三台阶预留核心土法	三台阶法	三台阶法
支护类型	V <sub>c</sub>	V <sub>c</sub> ,台阶拱脚多增加一组锁脚锚管予以加强支护	V <sub>c</sub> ,台阶拱脚多增加一组锁脚锚管予以加强支护
涌水状态	无水	多处涌水	涌水严重

2.2 隧道施工前方围岩探测与分析

为尽可能探明腊树脚隧道前方地质情况,首先采用地质雷达、TSP 及红外探水等综合预报方法探明断层带性质、结构等,并对掌子面处初支进行钎探探查。然后,在掌子面进行超前钻探探测工作。钻探共施作钻孔 2 个,现场孔位布置如图 1 所示,ZK1 孔深 24 m, ZK2 孔深 19.2 m,外插角 3°。

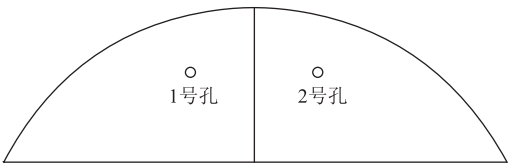


图 1 现场超前钻孔孔位布置

钻孔揭露的地质情况如下:

(1) 钻孔 1: 0 ~ 1.5 m 为炭质板岩,褐黄色,强风化,岩芯较完整,钻孔钻进速度较快;1.5 ~ 24 m 为含炭质板岩,灰黑色,强风化,岩芯破碎呈碎块状,局部呈粉末状,钻孔钻进速度快。

钻孔 2: 0 ~ 0.5 m 为炭质板岩,褐黄色,强风化,岩芯较完整,钻孔钻进速度较快;0.5 ~ 19 m 为含炭质板岩,灰黑色,强风化,岩芯破碎呈碎块状,钻孔钻进速度快。

对超前钻孔探测结果进行分析发现,两个钻孔岩芯破碎、局部呈粉末状,揭示出的围岩均较为薄弱且都强风化、节理裂隙发育。尤其是现场钻孔钻进过程中漏水严重,地下水非常发育。由此推断:隧道局部可能

存在连通裂隙,施工中必须注意裂隙涌水,雨季施工更应引起重视;在 F2 断层及其影响范围内岩体破碎、裂隙水发育,可能发生涌泥。为此,采用传统施工方法很难满足实际需要。基于此,在施工中需要对隧道地下水灾害提出针对性治理方法及有效的防排水措施,施工中必须采取防止隧顶坍塌等措施。

3 隧道地下水灾害治理方法与效果分析

3.1 隧道地下水灾害治理原则

通过超前地质预报,切实掌握断层带的地质情况,根据有关施工技术和机具设备条件,制定合理的施工方案,将各施工工序之间的衔接时间尽量缩短,采用 I、Ⅱ型超前小导管,加强超前支护,尽快将断层地段进行全断面衬砌封闭,以减少岩层暴露、松动和地压增大;爆破掘进通过断层时,严格控制炮眼数量、深度和装药量,尽量减小爆破对围岩的震动。在围岩破碎带及断层破碎带出现大量渗水、淋水及涌水的部位,采取排堵结合的治理措施:当出现渗水时,注浆堵水,出现淋雨状时,挂排水板,当成股状出水时,采用不小于其流量的 PVC 管(外套钢管),沿隧道开挖线外缘分别连通被截断的进、出水口,采用超前周边小导管预注浆、局部注浆、径向注浆固结岩体,以达到满意的止水效果。采用上下导坑开挖时,其上导坑不宜超前过多,掘进后随即将下导坑初支封闭;支护宁强勿弱,并经常检

查支护状态。

### 3.2 富水段处理方案

基于以上分析及以往的施工经验,对地下水长期浸泡处理措施为采取素喷混凝土封闭掌子面,减少未开挖土体湿化作用对隧洞稳定造成的不利影响;拱架底部增设横向钢支撑,以保证底部土体在浸水发生软化、强度降低的情况下,增加底部支护结构的整体刚度。隧洞发生塌方时,塌方段稳定性差,应采取超前锚杆支护及注浆加固塌腔,并结合现场监测密切关注变形情况,必要时应及时采取横向钢支撑、施作二次衬砌,形成封闭式支撑体系来确保隧道洞身的安全和稳定。

结合上述分析,确定富水段处理方案如下:

#### (1) 精细化施做超前帷幕注浆堵水与固结

DK 75 + 880 ~ DK 75 + 860 段已开挖支护段进行径向注浆堵水,而 DK 75 + 900 ~ DK 75 + 830 采用 II 型超前小导管支护,并进行超前预注浆加固前方岩体,确保施工安全,施工完毕后,立即进行 5 m 径向注浆堵水。

除此以外,在局部强涌水段采用前向帷幕注浆堵水固结,如上半断面采取单循环 25 m 超前帷幕注浆,具体如图 2 所示。预注浆后每循环开挖 20 m,搭接 5 m。

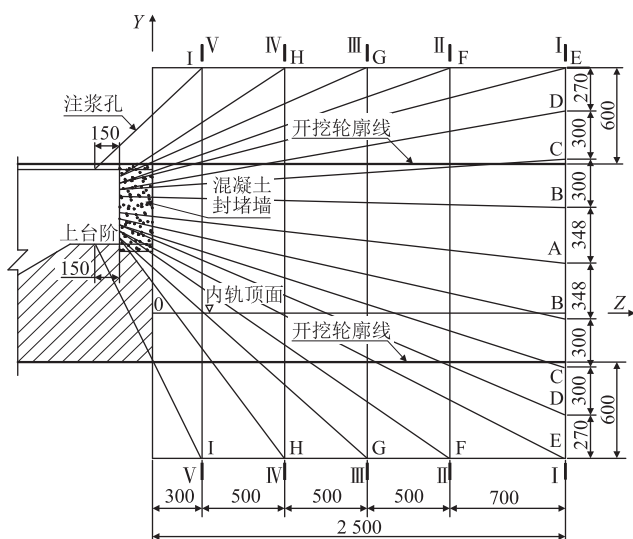


图2 前向帷幕注浆堵水固结示意图(mm)

#### (2) 微扰动开挖控制

DK 76 + 136.4 ~ DK 76 + 116.4 段采取微扰动开挖施工,开挖工法严格按三台阶预留核心土法的工艺要求进行施工,减少扰动;控制开挖步距,及时封闭成环,严禁拱脚悬空,施工中加强监控量测,发现围岩变形较大时,及时采取临时支护加固措施,确保施工

安全。

#### (3) 开挖后应急治水

当掌子面出现涌水或出水量较大时,对上台阶掌子面堆码编织袋进行封堵(厚度不小于 2 m),喷射 C25 混凝土封闭并进行临时注浆加固。封堵墙预留泄水孔,加强掌子面及中下台阶涌水的排放。

#### (4) 稳定掌子面与初期支护

反压洞砟形成上台阶及中台阶平台,设置横向和竖向临时钢支撑并进行连接加固,纵向间距同初支钢架间距。

#### (5) 信息监控与反馈

加强围岩量测及水量监测,若围岩变形较大或渗水量突然加大时,及时采取临时支护加强措施并调整施工工艺和支护参数。

从实际施工质量与效果看,结合地下水的状态及其情况提出的开挖与支护等处理方案,完全达到了设计要求,保证了围岩稳定和结构安全,获得了非常好的经济及社会效益。

## 4 结论

(1) 在对蜡树脚隧道工程地质与断面情况以及隧道潜在涌水进行分析的基础上,提出了较为合理的涌水段开挖、支护方法,保证了工程顺利施工。

(2) 基于现场实测结果,对隧道施工地下水害及影响进行了分析,确定了现场安全状态,揭示了隧道涌水段围岩特性并据此提出了水害治理方法与相关参数。

(3) 现场实践结果表明,先通过综合超前地质预报并切实掌握断层带的地质情况、再确定隧道地下水害治理原则,继而提出了富水段先注浆加固后台阶法开挖的处理方案,实施后取得了较好的效果。

## 参考文献:

- [1] 李鹏飞,张顶立,周烨. 隧道涌水量的预测方法及影响因素研究[J]. 北京交通大学学报, 2010, 34(4): 11-15.  
LI Pengfei, ZHANG Dingli, ZHOU Ye. Study on Prediction Methods and Its Influence Factors of Water Inflow into Tunnels[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 34(4): 11-15.
- [2] 王振宇,陈银鲁,刘国华,等. 隧道涌水量预测计算方法研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(7): 41-44.  
WANG Zhenyu, CHEN Yinlu, LIU Guohua, et al. Study on Method for Predicting Amount of Water Gushing in Tunnel[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(7): 41-44.
- [3] 林传年,李利平,韩行瑞. 复杂岩溶地区隧道涌水预测方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(7): 1469-1476.  
LIN Chuannian, LI Liping, HAN Xingrui. Research on Forecast

Method of Tunnel Water Inrush in Complex Karst Areas[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(7): 1469 – 1476.

[4] 郭玉法, 鲍庆煜. 岩溶隧道涌水量的预测方法研究[J]. 铁道勘察, 2007, 33(5): 73 – 75.

GUO Yufa, BAO Qingyu. Research on Forecasting Methods for Gushing Water Volume in Karst Tunnels[J]. Railway Investigation and Surveying, 2007, 33(5): 73 – 75.

[5] 李苍松, 何发亮, 陈成宗. 渝怀线武隆隧道岩溶涌水量计算新方法[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(5): 41 – 46.

LI Cangsong, HE Faliang, CHEN Chengzong. New Calculation Method of Water Inflow Quantity in Wulong Tunnel on Chongqing-Huaihua Railway [J]. China Railway Science, 2005, 26(5): 41 – 46.

[6] 张学文. 富水饱和砂土隧道施工降水技术探讨[J]. 科技创新与生产力, 2012, 33(4): 92 – 95.

ZHANG Xuewen. Discussion on Technology of Precipitation of Tunnel Construction of Sandstone of Saturation and Water-rich[J]. Sci-Tech Innovation and Productivity, 2012, 33(4): 92 – 95.

[7] 李志军, 王光伟, 王建军. 真空轻型井点降水技术在富水粉细砂岩隧道施工中的应用[J]. 施工技术, 2014, 43(S1): 410 – 413.

LI Zhijun, WANG Guangwei, WANG Jianjun. The Application of Light Well Point Dewatering Technology with Vacuum in Tunnel Construction with Water-rich Fine Sandstone [J]. Construction Technology, 2014, 43(S1): 410 – 413.

[8] 田仁东. 浅埋软岩铁路隧道富水段综合施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2015, 13(S1): 127 – 128.

TIAN Rendong. Comprehensive Construction Technology for Water-rich Section of Shallow Buried Soft Rock Railway Tunnel [J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2015, 13(S1): 127 – 128.

[9] 刘德强, 宋战平, 姜忻良. 岩溶隧道帷幕注浆止水技术及施工: 以宜(昌)万(州)铁路金子山隧道为例[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(3): 38 – 42.

LIU Deqiang, SONG Zhanping, JIANG Xinliang. Technology and Construction of Water Stopping of Curtain Grouthing in Karst Tunnel: Taking Jinzishan Tunnel of Yichang-Wanzhou Railway for Example [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2007, 5(3): 38 – 42.

[10] 赵继增. 青岛胶州湾海底隧道涌水断层全断面帷幕注浆技术研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2009, 39(6): 116 – 120.

ZHAO Jizeng. Study of Full-face Curtain Grouting on Water-burst Fault F4-4 Subsea Tunnel in Qingdao Jiaozhou Bay[J]. Journal of Shandong University (Engineering Science), 2009, 39(6): 116 – 120.

(编辑: 苏玲梅 张红英)

(上接第48页)

[8] 马海龙. 季节性寒区隧道温度场分布规律与防寒保温技术研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2017.

MA Hailong. Study on the Distribution Law of Temperature Field and Thermal Insulation Technology on Tunnel in the Seasonal Cold Regions[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2017.

[9] 邱军领, 赖金星, 张广龙, 等. 季节性寒区隧道主动加热保温防冻方法及其试验[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(4): 982 – 987.

QIU Junling, LAI Jinxing, ZHANG Guanglong, et al. A Case Study on Antifreeze of Tunnel in Seasonal Cold – region Using the Electric Heat Tracing [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(4): 982 – 987.

[10] 王亚琼, 杨明, 王志丰. 寒区隧道局部渗漏水冻害处治的产热集水装置及应用[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(4): 204 – 209.

WANG Yaqiong, YANG Ming, WANG Zhifeng. Water – captation and Heating Equipment for Treating Frost Damage Caused by Local Water Leakage in Cold – region Tunnels [J]. Modern Tunnelling Technology, 2018, 55(4): 204 – 209.

[11] 袁金秀, 王道远, 马海龙. 季节性冻土区隧道保温层御寒保温技术研究[J]. 铁道标准设计, 2018, 62(8): 100 – 105.

YUAN Jinxiu, WANG Daoyuan, MA Hailong. Study on Thermal Insulation Technology of Insulation Layer of Tunnels in Seasonal Frozen Soil Area [J]. Railway Standard Design, 2018, 62(8): 100 – 105.

(编辑: 刘会娟 张红英)