

岩鹰鞍隧道逆冲强涌水断层高位泄水施工技术

张照龙

(陕西西韩城际铁路有限公司 陕西 西安 710034)

摘要: 针对怀邵衡铁路岩鹰鞍隧道 F4 断层带涌水涌砂的隧道施工难题,主要运用 FLAC3D 进行数值模拟,根据实际地质情况确定断层带的隧道力学参数,结合现场设计方案建立以岩鹰鞍正洞、排水支洞以及迂回导洞在内的三维计算模型,确立了只进行正洞开挖与先修建排水支洞和迂回导洞再进行正洞开挖两种不同的计算工况。无排水支洞与有排水支洞两种工况计算的结果表明,先开挖排水支洞和迂回导洞再进行正洞开挖有利于隧道围岩的稳定性,保证施工安全。根据计算结果设计完成泄水分压、迂回绕行的施工方案。

关键词: 岩鹰鞍隧道; F4 断层; 大涌水涌砂; 排水洞; 迂回导洞; 模型计算

中图分类号: U455.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2018)03-0023-07

0 引言

在建怀化至邵阳至衡阳双线铁路隧道正线全长 39.714 km,需修建地处条件极其恶劣的雪峰山区的岩鹰鞍隧道,该隧道全长 5 302 m,整个隧道穿越 7 个断层带,其断层平面布置如图 1 所示。

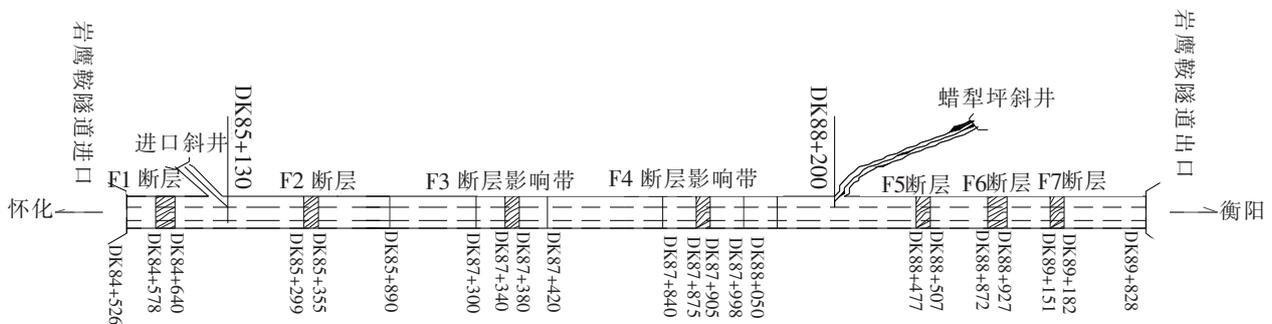


图 1 岩鹰鞍隧道断层平面示意

2016 年 1 月 4 日,掌子面推进至 DK87+998 处时开始出现大量涌水涌砂情况。从开始至 2016 年 5 月 20 日,涌水始终未间断,平均每天涌水量约 3 600 m³,累计涌水量 47.9 万 m³,日水流量约 3 200 m³。经过连续监测,静水压力保持在 0.6 MPa 左右。涌砂为间隔性,时断时续,含砂量时大时小。其中 1 月 4 日至 1 月 5 日涌砂量约 2 650 m³,1 月 17 日至 1 月 18 日涌砂量约 1 450 m³,2 月 5 日至 2 月 6 日涌砂量约 3 100 m³,截止统计日累计涌砂量约 1.65 万 m³。

经调查确定 F4 断层为高角度逆冲富水富砂断层,其破碎带主要为强风化及疏松的砂、石混杂结构,并富含地下水。经分析发现主要是由构造压力和风化槽谷深切等综合作用导致,在高水压的情况下作业极易形成涌水涌砂等不良地质灾害,施工安全难以保障。通过专家讨论分析,采用“泄水分压、迂回绕行”的方法对岩鹰鞍隧道进行施工。为此,需要对降水效果进行初步分析。通过数值分析的方法事先对排水效果进行验证,并判断“泄水分压、迂回绕行”的方法是否可行,为工程后续施工提供参考。

收稿日期: 2018-06-01 责任编辑: 车轩玉 DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxbzb.2018.03.04

作者简介: 张照龙(1977—),男,高级工程师。研究方向为铁道工程。E-mail: 304451927@qq.com

张照龙. 岩鹰鞍隧道逆冲强涌水断层高位泄水施工技术[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2018, 31(3): 23-28.

1 工程水文地质情况^[1-4]

1.1 地表实况勘查

F4 断层影响范围(DK88 +050 ~ DK87 +840) 地表植被茂盛,地势西高东低(小里程高,大里程低),地表坡度约 16%。在 DK87 +900 ~ 930 间有一水沟与线路成 50° 交叉,日常水深在 0.3 ~ 0.6 m,自 2016 年 2 月 6 日起,水流干枯。DK87 +980 ~ +850 处地表存在明显空鼓声。

1.2 洞内流量和降雨量观测结果分析

通过 2016 年 1 月 10 日到 2016 年 9 月 12 日每天不间断地对内流量和降雨量观测,得到如图 2、图 3 所示的岩鹰鞍隧道 DK87 +998 涌水量、降雨量-时间关系曲线和岩鹰鞍隧道 DK87 +998 涌水量、水压-时间关系曲线。

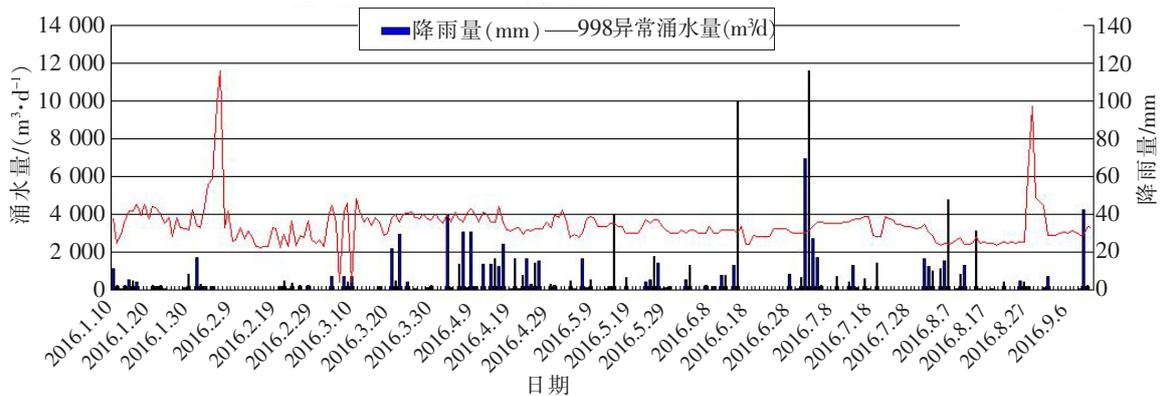


图 2 岩鹰鞍隧道 DK87 +998 涌水量、降雨量 - 时间关系曲线

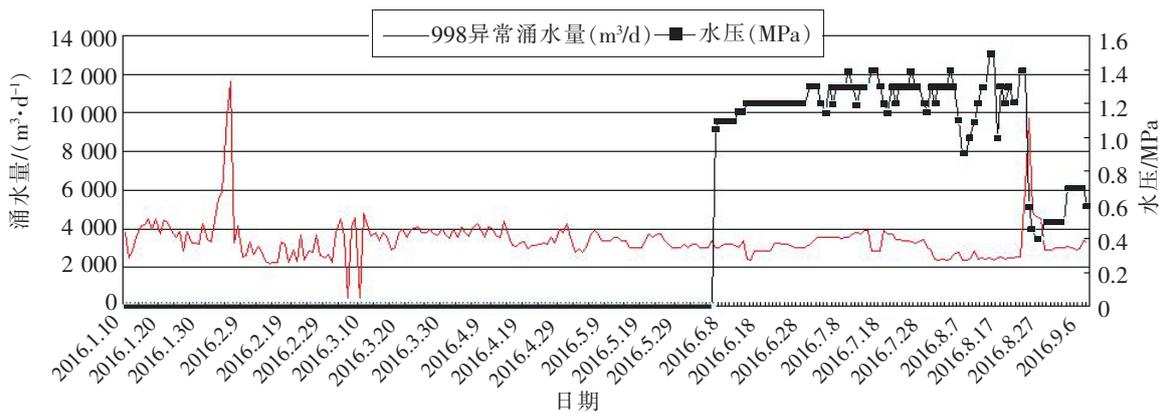


图 3 岩鹰鞍隧道 DK87 +998 涌水量、水压 - 时间关系曲线

从观测数据显示: F4 断层的涌水量范围为 2 760 ~ 11 800 m³/d,流量较稳定,涌水量和降雨的关系不密切。最大涌水量 11 800 m³/d 出现的时间甚至没有下雨。说明 F4 断裂密集带渗透性一般,发生大规模突水的可能性一般,但是隧道埋深较大,存在较大水头压力。

1.3 地下水类型以及补给径流排泄

1.3.1 地下水类型

测区地下水类型以基岩裂隙水为主,按裂隙的成因和性质可分为节理裂隙水和构造裂隙水两种。

节理裂隙水主要分布于强风化至弱风化层中。由于区内构造运动强烈,山体地形起伏和节理裂隙发育程度变化较大。节理裂隙水的水位变化大,从山脊到山谷,水位埋深逐渐变浅。在局部地段的山腰裸岩处,节理裂隙水以下降泉形式溢出地表。此类地下水仅在靠近隧道中线的地段对隧道工程有一定影响。

构造裂隙水主要分布于断裂构造带。本区地质构造强烈,主要为北东向断裂,断裂带内岩体破碎,是

地下水赋存和运移的良好场所。其富水性好,水量大,且间接受季节影响。构造裂隙水主要靠大气降水、上部山体地表水和相邻基岩裂隙水的补给,其径流条件与断裂构造的性质、产状和规模有关,并于低洼处溢出地表排泄于地表水系或与地表水系相联通。测区内泉流量为0.221~0.794 L/s,为下降泉。

1.3.2 地下水补给径流排泄特征

地下水以基岩裂隙水为主,受大气降雨补给。地表径流入渗地下,基岩裂隙水下渗,大气降水补给地下水。

区内构造运动强烈,断裂发育,岩体裂隙发育,造成地下水与地表水交替作用活跃。地表水径流迅捷,降水沿地表快速排泄,渗入地下的水量有限。降水沿山形以垂向和侧向径流的途径主要以隐伏下降泉和散水等方式向山体两侧低缓处排泄,汇集于冲沟与低洼处地表水系相连。冲沟的部分地表水沿断层下渗,形成构造裂隙水。断裂密集带渗透系数最不利情况下全为砂层时,经试验为1.693~3.041 m/d,为中等渗透性。

2 F4 断层涌水隧道模型与参数设计^[5-7]

为了更好地比较岩鹰鞍隧道在穿越F4断层排水与不排水施工时对隧道围岩的稳定性影响效果,验证“泄水分压、迂回绕行”方法的可行性,用FLAC 3D5.0分别对排水和不排水施工进行模拟。修建排水支洞与迂回导洞对保障施工工期以及提高施工安全十分必要,但是在实际施工修建之前并不知道其效果如何。现通过对上述所建模型中排水支洞与正洞间距为8.5 m时进行正洞直接开挖和事先修建排水支洞与迂回导洞再进行正洞开挖两种方法进行对比。为模拟排水支洞与迂回导洞在排水后的开挖效果,在计算之前对正洞的掌子面的水压进行计算,排水之前掌子面的水压为0.6 MPa,排水之后掌子面的水压为0.07 MPa。

2.1 计算模型

为更好地模拟断层带内现场实际施工情况,选取DK87+998~DK88+028段断面进行三维数值模拟分析。排水支洞位于正洞与迂回导坑中间,因断层上盘富水,为解决正洞及迂回导坑开挖过程涌水问题,排水支洞设在高位,排水支洞高于正洞开挖线7 m,横向距正洞开挖外轮廓线8.5 m,距迂回导坑12.7 m。为减少边界效应的影响,参考已有研究成果:在数值模拟中隧道边界到模型边界延伸范围满足2~3倍洞径距离时边界效应很小,可以忽略不计。这里模型满足要求,同时有一定富余,能尽可能消除边界效应。模型的左边界取正洞半径的2.5倍,既正洞到左边界的距离为35 m。由于迂回导洞和排水支洞在正洞的右侧,故模型的右边界取正洞半径的5倍,即正洞到右边界的距离为50 m,正洞拱顶到模型顶部边界距离为30 m。为模拟隧道埋深303 m,在模型表面施加重力荷载为0.293 MPa,来等效山体埋深。整个模型的高度为70 m,纵向长度为30 m,横向宽度为98 m,如图4所示。

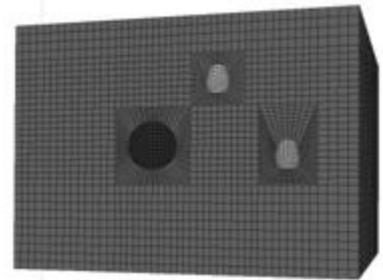


图4 隧道三维计算模型

2.2 参数选取

F4主断层破碎带主要成分为全风化石英砂岩(岩芯呈砂土状)夹强—弱风化石英砂岩(碎块状),为砂石混杂状态。受F4主断层影响,断层上盘DK87+930~+998段岩体破碎、富水;断层下盘DK87+930~+650段岩体较破碎、含水。

根据该地质概况的描述,选取隧道围岩力学参数如表1所示,支护参数如表2和表3所示,流体参数设置如表4所示。

表1 隧道围岩力学参数

围岩级别	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量 E / GPa	泊松比 ν	内摩擦角 $/ (^\circ)$	粘聚力 c / MPa
VI	20	2.0	0.35	20	0.2

表2 隧道初次衬砌混凝土结构的物理力学参数

类型	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量 E / GPa	泊松比 ν
C25 + HW175 型钢	2.4	25.47	0.2
C25 + 180 格栅钢架	2.4	26.59	0.2

表 3 砂浆锚杆参数

类型	重度 $\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性模量/GPa	抗拉强度/kN	刚度 /MPa	粘结力/ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	横截面积/ cm^2
锚杆	23	200	310	20	1 000	3.801

表 4 流体参数设置

流体类型	孔隙比	渗透系数/ $(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	比奥系数	密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	抗拉强度/N	浸润系数	比奥模量/GPa
水	0.6	$1e^{-2}$	0.39	1 000	$-1e^{-15}$	$3.33e^3$	2

2.3 边界条件及支护模型

模型边界四周采用法向约束,铅垂方向顶部为自由面,底部采用固定约束。隧道支护模型如图 5 所示。

3 计算结果分析

3.1 无排水支洞直接开挖正洞计算结果

根据实际工程地质情况,对没有修建排水支洞和迂回导洞的情况进行数值模拟分析计算。设置其掌子面水压为 0.6 MPa,提取其竖向位移云图、水平位移云图、剪应力、竖向应力以及衬砌的受力云图如图 6 所示。

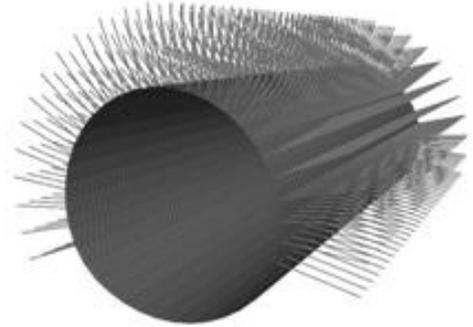


图 5 隧道支护模型

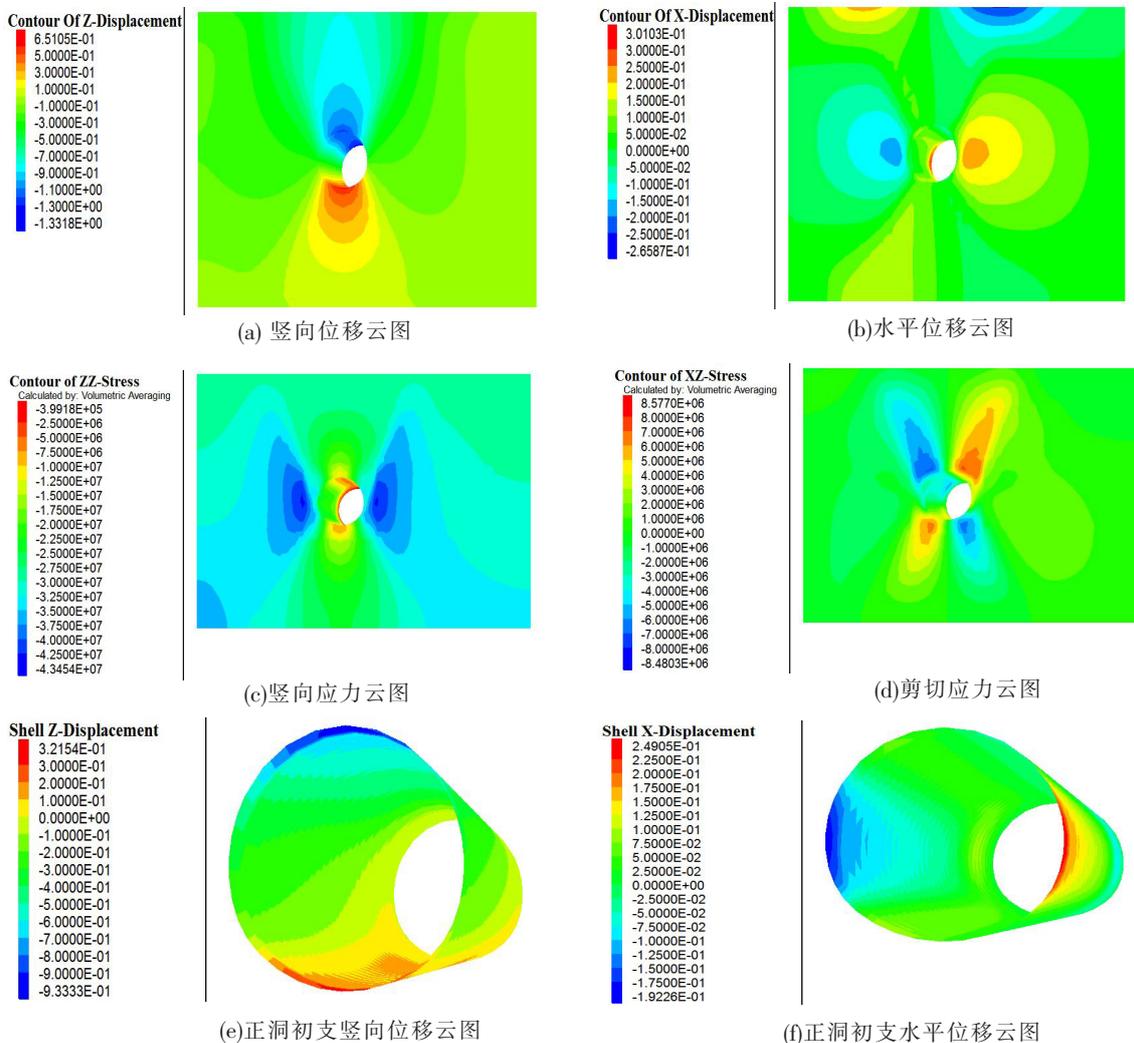


图 6 无排水支洞直接开挖正洞受力云图

3.2 有排水支洞直接开挖正洞计算结果

根据实际工程地质情况,对没有修建排水支洞和迂回导洞的情况进行数值模拟分析计算。设置其掌子面水压为0.07 MPa,提取其竖向位移云图、水平位移云图、剪应力、竖向应力以及衬砌的受力云图如图7所示。

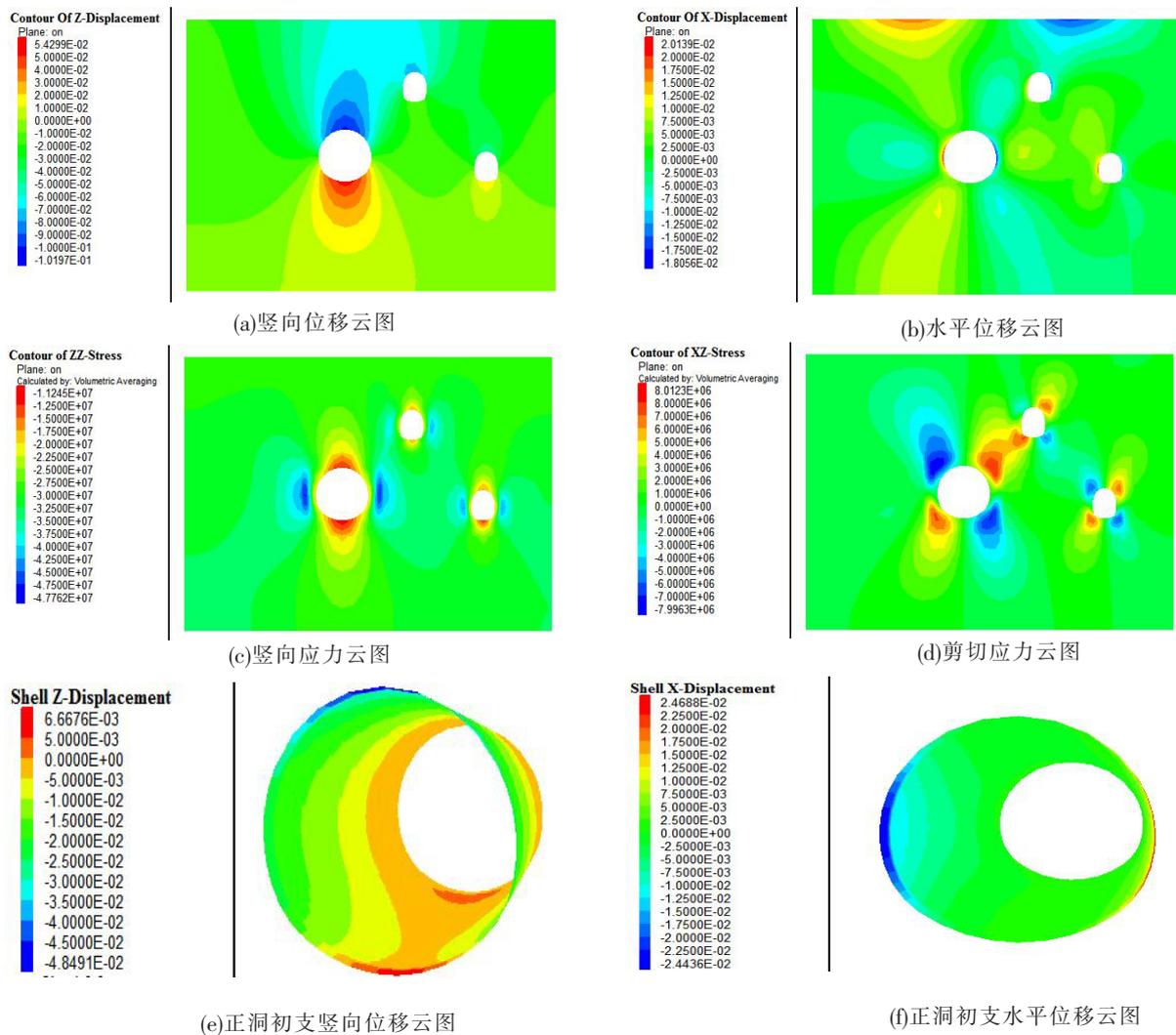


图7 有排水支洞直接开挖正洞受力云图

3.3 计算结果分析

根据上述 FLAC 3D5.0 数值计算结果可知:

(1) 在只开挖正洞的情况下拱顶的竖向位移达到 1.33 m,远远超过了正洞开挖的允许沉降值,相当于在开挖的时候就已经垮塌。在开挖排水支洞和迂回导洞后再进行正洞开挖,正洞拱顶的竖向沉降仅仅为 0.102 m,在允许沉降内。

(2) 在进行排水支洞开挖后,正洞开挖围岩的水平位移明显小于只对正洞开挖的情况。

(3) 在只进行正洞开挖的时候,由于隧道的埋深较大,正洞围岩的竖向应力主要集中在隧洞的拱腰处,而拱顶的竖向应力相对较小。在开挖排水支洞和迂回导洞之后再行正洞开挖的情况下,由于排水支洞和迂回导洞的支护导致正洞的拱顶的竖向应力集中情况比只开挖正洞的情况相对严重。

(4) 隧道开挖后,隧道的剪切应力云图主要呈“四叶草”形,对比两种方法可知,先开挖排水支洞和迂回导洞有利于减弱围岩拱肩和拱脚的应力集中程度^[8-10]。

(5) 通过对正洞衬砌的竖向位移和水平位移云图进行提取和对比,可以明显地发现直接开挖正洞时,衬砌的水平位移和竖向位移大于先开挖排水支洞和迂回导洞再进行正洞开挖的情况。

综上所述,先开挖排水支洞和迂回导洞再进行正洞开挖有利于隧道围岩的稳定性,保证施工安全。

4 排水支洞及迂回导坑设计

(1) F4 断层段落长,富水含砂,为有效排放 F4 断层地下水,保证正洞施工安全,进一步探明 F4 断层地质情况,考虑在正洞断层段左侧增设一处迂回导坑。迂回导坑长 491.5 m,与正洞左线线间距位 38.5 m(净距 28.4 m),净空断面 5 m(宽)×6 m(高),如图 8 所示。

(2) 为实现 F4 断层上盘富水区“分水降压”的目的,降低正洞及迂回导坑的超前注浆施工难度,确保施工安全,在迂回导坑和正洞间设置高位排水洞^[11]。本次设计暂按 259 m 考虑(含断层上盘+主断层带范围,共 100 m),高位排水洞与正洞线间距约为 18.6 m(净距 8.4 m)。

(3) 高位排水洞与迂回导坑同步施工,全段实施超前探测预报工作,施工过程中应遵循“先探测,后开挖”的原则^[12]。

(4) 迂回导坑进入断层前先采用超前帷幕注浆进行加固,注浆完成后,再对注浆效果进行检验。当注浆效果达到设计要求后,再进行开挖。

(5) 迂回导坑与排水洞进入断层后,与正洞平面相对关系根据超前地质预报结论可进行适当调整。超前预报结论应第一时间反馈参建各方,以便及时明确下一步施工参数。

5 结论

(1) 在大涌水涌砂的地质条件下修建隧道一直是工程界的一个难题,对于保障施工安全是一个极大的挑战,必须进一步深入研究“泄水分压,迂回绕行”技术,从而采取更加有效的方法和施工措施来保证施工安全以及顺利完工。

(2) 基于怀邵衡铁路岩鹰鞍隧道段极其复杂的地质条件,结合以往大涌水涌砂段隧道施工经验以及通过数值模拟计算分析进一步证明“泄水分压,迂回绕行”的施工方案是切实可行的。

(3) 本文仅仅针对修建泄水洞的必要性进行了验证,然而泄水洞的开挖对正洞的影响却没有分析,在今后的工作中需进一步深入研究。

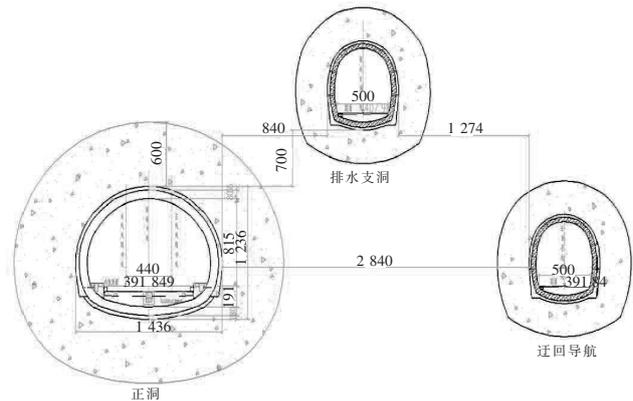


图 8 排水支洞及迂回导坑设计(单位:cm)

参 考 文 献

- [1] 罗春雨. 五指山特长隧道特大涌水塌方迂回导洞处理技术[J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2017(6): 294-296.
- [2] 黄明琦. 复杂地质大断面海底隧道穿越富水砂层施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2016(6): 23-26.
- [3] 任昌真, 史友海, 杨贵. 迂回导洞在新南岭隧道施工中的应用[J]. 现代隧道技术, 2013(1): 146-149.
- [4] 周军伟. 白云隧道突水、突泥段施工技术[J]. 隧道建设, 2011(4): 504-509.
- [5] 徐森泉. 清远抽水蓄能电站自流排水洞施工支洞比选[J]. 价值工程, 2011(9): 52-55.
- [6] 王伟. 宜万铁路齐岳山隧道 629 富水溶洞综合处理技术[J]. 现代隧道技术, 2010, 47(5): 98-102.
- [7] 张旭东, 汪海滨, 封明君, 等. 释能降压工法在高压富水岩溶隧道风险规避中的应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010(S1): 2782-2791.
- [8] 陈先国, 罗春雨, 祁海军. 五指山特长隧道特大突涌水塌方处理的泄水方案[J]. 公路, 2008(4): 217-221.
- [9] 刘道华, 樊有望. 排水洞围岩稳定性有限元分析研究[J]. 中国水运: 理论版, 2007(11): 80-81.
- [10] 杨宗海. 西洱河三级电站引水隧洞施工支洞的超前排水[J]. 水力发电, 1984(5): 39-44.
- [11] 吴治家. 套衬技术在隧道病害整治工程中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2011(5): 31-33.
- [12] 段超. 浅谈高速铁路隧道防水施工技术[J]. 科技创新导报, 2011(29): 25-26.

(下转第 35 页)

[8] 孙兰泉. 城际铁路长距离穿越高铁桥桩设计施工关键技术 [J]. 铁道标准设计 2017 61(12): 90-95.

[9] 赵平, 邵铨, 何松, 等. 含卵碎石粗砾砂地层对地铁隧道施工安全的影响浅析 [J]. 青岛理工大学学报 2017 38(5): 29-33 + 39.

Application of Key Construction Technology for Shield Undercrossing Railway Station Area

Zheng Jun

(China Railway First Group Co. Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to ensure the safety of the regional structure and the smooth construction of the railway station, the main requirements of the area structure, the stratum characteristics and the earth pressure balance shield construction are analyzed before the construction, and the tunneling parameters of the shield is combined with the test section for the construction of the regional shield construction at the Suzhou Railway Station. The key construction technology of the shield undercrossing railway station is summed up, which effectively guarantees the safety of the structure and the construction effect is good. In particular, it summarizes the relevant shield tunneling parameters through the combination of theoretical calculation and practice, and provides a good reference for this kind of construction in Suzhou.

Key words: shield; construction technology; tunneling

(上接第 28 页)

High Drainage Construction Technology for the Yanyingan Tunnel Thrust Fault of Gushing Water

Zhang Zhaolong

(Shaanxi Xihan Intercity Railway Limited Co. Ltd., Xi'an 710034, China)

Abstract: In order to solve the construction problems of the tunnel with water and sand gushing in the F4 fault zone of Yanyingan tunnel in Huaishaocheng, the tunnel mechanical parameters in fault zone were determined by using FLAC3D numerical simulation, according to actual geological conditions of the tunnel, combining with the design scheme to establish a three-dimensional calculation model of Yanyingan hole, drainage tunnel and circuitous heading. Two different calculation conditions, tunnel excavation only, and construction of drainage tunnel and roundabout heading followed by tunnel excavation, were confirmed. The results of two working conditions show the latter condition is beneficial to the stability of tunnel wall rock and guarantee the construction safety. the solution of water pressure separation and bypass construction is designed according to the calculated results.

Key words: Yanyingan tunnel; F4 fault; serious water and sand gushing; drainage hole; circuitous heading; model calculation