

永兴一号隧道进口 DK278+418 处突泥涌水整治施工关键技术

张 垒

中铁十四局集团第五工程有限公司, 山东 济宁 272100

[摘要]“永兴一号”隧道属中低山溶蚀峰丛洼地地貌,同时受华夏系和东西构造的干扰,地质构造较为复杂。采用现场勘探、理论分析,对“永兴一号”隧道涌水突泥灾害机制及处治技术进行研究,结果表明:富水断裂带导水通道发育、地表水和地下水丰富、人工开挖破坏掌子面的水体平衡等因素共同作用下,渗水失稳,形成出水通道并迅速演变扩展,继而发生涌水突泥、地表塌陷。根据涌水突泥机理的分析结果,选择超前帷幕注浆以及超前支护的协同治理技术体系,取得较好整治效果。文中研究成果对类似工程具有一定借鉴意义。

[关键词]隧道;涌水突泥;超前帷幕注浆;超前支护

DOI: 10.33142/ect.v1i2.8730

中图分类号: U457

文献标识码: A

Key Technologies for the Treatment of Mud and Water Bursts at DK278+418 Entrance of Yongxing No.1 Tunnel

ZHANG Lei

China Railway 14th Bureau Group Fifth Engineering Co., Ltd., Jining, Shandong, 272100, China

Abstract: "Yongxing No.1" tunnel belongs to the landform of middle and low mountain karst peak cluster depression, and the tectonics is complex due to the interference of Cathaysian system and east-west structure. Through on-site exploration and theoretical analysis, the mechanism and treatment technology of water and mud inrush disasters in the "Yongxing No.1" tunnel were studied. The results showed that under the combined effects of factors such as the development of water diversion channels in the rich water fault zone, the abundance of surface water and groundwater, and the destruction of the water balance of the working face by manual excavation, water seepage became unstable, forming an outlet channel and rapidly evolving and expanding, leading to water and mud inrush, and surface collapse. Based on the analysis of the mechanism of water and mud inrush, a collaborative treatment technology system of advanced curtain grouting and advanced support was selected to achieve good treatment results. The research results in the article have certain reference significance for similar projects.

Keywords: tunnel; water and mud gushing; advance curtain grouting; advance support

引言

随着我国交通事业的蓬勃发展,越来越多的铁路公路隧道等基础设施陆续提上建设日程,在交通网延伸的过程中,受地貌条件制约,越来越多的隧道需要在复杂岩溶地区修建,在穿越富水断层时,极易引发涌水突泥地质灾害,为施工安全埋下隐患^[1]。国内学者针对断层地质灾害注浆治理进行了大量研究。谢达文^[2]等基于宜万铁路齐岳山隧道工程,分析其 F11 断层主要存在岩溶富水、突水突泥,高压裂隙水等问题,通过对比试验,有限元分析等方法,优化更新了断层条件下的注浆设计与注浆参数;周军伟^[3]针对白云山 D3K334+733 段涌水突泥现状,通过迂回导坑对该段设置横向管棚及横向注浆,同时正洞采用全断面帷幕预注浆进行注浆加固和堵水,将拱顶沉降控制在合理范围,该措施效果显著,最终安全地通过了隧道突水、突泥段;刘招伟等^[4]以渝怀铁路圆梁山隧道毛坝向斜段高水压富水区注浆工程为依托,采用红外线超前地质预测预报、TSP 超前地质预测预报、超前探水孔钻探和地质素描综合判断等先进方法对溶洞内部情况进行可靠预报,实施了超

前预注浆、隧道围岩径向注浆和衬砌背后补充注浆,实现了对围岩的加固、阻水;张民庆等^[5]结合大量工程实践,对注浆检查方法进行系统分类,基于国内重大工程实例,分别对各种方法进行技术和标准的探讨总结;杨米加等^[6]基于注浆理论研究现状,对国内外岩体水泥注浆理论存在的问题进行深度分析,提出了以损伤力学为基础的注浆加固本体构模型;周书明等^[7]以广州地铁二号线晓岗一江南西区间隧道工程为依托,通过分析软流塑淤泥质地层的地质特性,分析总结了该地层劈裂注浆的原理、设计方法和施工要点。张伟杰^[8]基于西省吉莲高速公路永莲隧道 F2 断层突水突泥注浆治理工程,采用理论分析、室内试验、模拟试验和现场试验相结合的手段,研究了断层破碎带岩体注浆加固机理与灾害处治复合控制注浆方法。谢文清等^[9]基于胶州湾海底隧道富水断层破碎带工程,分析了超前帷幕注浆技术在富水隧道中的优越性,对影响超前帷幕注浆施工速度的钻孔设备的优选及改进、注浆材料的选用、“双通道注浆器”的研发及使用进行了系统总结。在富水隧道施工中,超前帷幕注浆是防止突涌水事故发生的最有效措

施之一,其与后注浆径向注浆相比,实施的难度和成本要小得多,两者成本差异达10倍或更高。因此,超前帷幕注浆在富水隧道施工中得到了广泛应用^[10]。本文针对永兴一号隧道进口DK278+418处突泥涌水,采用现场勘探和理论分析手段,对突泥涌水成因进行分析,采用超前帷幕注浆进行治理,可为今后类似灾害处治提供参考。

2 工程概况

永兴一号隧道位于环江至河池车站区间,设计时速350km/h,进口DK277+660,出口DK287+790,全长1.01km,进出口均接路基工程。线路设计为“人”字坡,进口至出口依次为:5940m的5%上坡,3695.67m的18.7%下坡,494.33m的6%下坡。最大埋深约480m。

根据本隧地质、地形、线路纵坡条件,结合工期、施工通风、施工及运营排水等要求,本隧辅助坑道布置采用“2横+1泄水洞”方案,布置图如下图1所示。

2019年11月8日,永兴一号隧道进口工区正洞上台阶掌子面施工至DK278+418,揭示围岩为灰岩,左侧拱腰揭示一溶洞,纵向长约2m,环向2~3m,爆破后溶洞内先发现掉块、垮塌,后发生突泥,1小时后停止,作业台架被泥土推至DK278+314,仰拱栈桥大里程支腿被覆盖,距离掌子面约30m范围内正洞(上台阶)全部填充,在30m~98m范围内填充高度为2.5~5.5m,突泥量约5500m³。突泥涌水现场图如图1所示。



图1 XSDK278+406 掌子面(突泥涌水后)

3 涌水突泥机理分析

突泥成份的大部分由块石、碎石、砂等组成,棱角明显,岩性成份有灰岩、黑色灰绿色页岩、泥岩及硅质岩。突泥体颗粒组成主要为大颗粒的卵砾占34.3%,砂粒占14.9%,而粉黏粒仅占15.5%,颗粒分析定名为角砾土。其中粉黏粒化学成分SiO₂占41.5%,Al₂O₃占16.62%,Fe₂O₃占6.61%,TiO₂占0.57%,CaO占12.93%,MgO占2.36%。此种角砾土的黏聚力很低,特别是遇水后很快成为一盘散砂,极易坍塌。^[11]

此外,隧址区水系属珠江流域的西江水系,主要为龙

江、大环江,地表河流较发育,水系沿构造发育,形成许多深切沟谷和洼地。沟谷多呈“V”字形,大型沟谷和深切洼地的主沟常年有水,其余支沟大多为季节性流水,龙江、大环江常年有水流,水量较大。由于地表洼地、落水洞、溶洞、消水洞较发育,推测隧区岩溶中等~强烈发育,岩溶水较丰富。隧道穿越溶洞、断层破碎带不良地质,富水、不良地质二者的不利组合,诱发了涌水、突泥的地质条件。隧道的开挖,在一定程度上形成了集水廊道,破坏了原有的地下水平衡系统。

4 总体施工方案

4.1 正洞处理方案

为查明隧道掌子面前方地质情况,在正洞DK278+402.7掌子面专项探查方案布置超前钻孔6孔,孔深60m;在正洞DK278+402.7掌子面布置物探探测线2条,探孔布置情况及如图2。分别采用地质雷达、瞬变电磁及TSP三种方法探测。

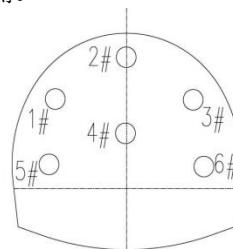


图2 DK278+402.7超前探孔布置图(大里程方向)

为了整治突泥涌水,正洞采用超前帷幕注浆,本循环DK278+403~+430段注浆长度为27m,开挖24m,预留3m止浆岩盘,仰拱开挖轮廓线以上断面加固圈为5m,正洞超前帷幕注浆图具体如图3所示。

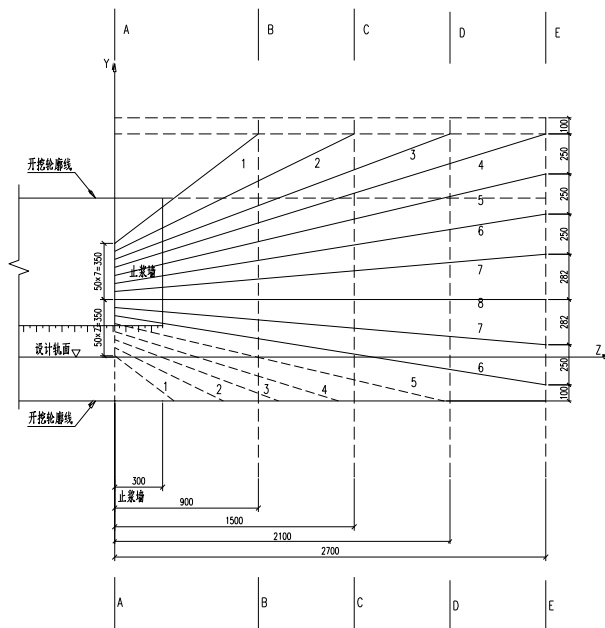


图3 正洞超前帷幕注浆纵断面图

注浆材料主要为普通硅酸盐水泥浆液。若出现大量地下水,可采用水泥水玻璃双液浆,双液浆主要在封孔或涌突水时使用。水泥:42.5 号普通硅酸盐水泥,水玻璃:波美度 $Be=40$;水泥浆水灰比 $=0.8\sim 1:1$;水泥浆:水玻璃浆液 $=1:0.8$ 。

单孔有效扩散半径2m,终孔间距2.5m。钻孔孔径 $\phi 108$,注浆范围为隧道拱墙开挖轮廓线外5m,仰拱开挖轮廓线以下未考虑,注浆终压3~5MPa,施工中应根据现场实际情况,对注浆压力进行调整,达到劈裂注浆改良土体作用。若施工过程中出现大量地下水,注浆终压不小于静水压力的2~3倍。注浆前应进行实验,对注浆参数进行优化调整,注浆开孔直径不小于108mm,终孔直径不小于90mm,加固注浆施工过程按照:先外圈后内圈、间隔跳孔的顺序施工,岩层容易造成坍孔时,采用前进式分段注浆,否则采用后退式注浆。

4.2 泄水洞专项施工方案

为查明泄水洞掌子面前方地质情况,在XSDK278+387掌子面施作4个探孔(钻孔深44m),在XSDK278+386泄水洞左右边墙上分别施作2个探孔,探孔布置情况如图4。

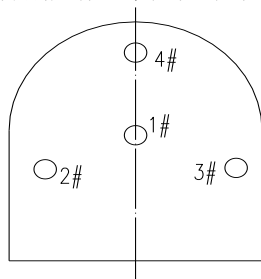


图4 XSDK278+387 掌子面超前钻孔布置图

根据超前探孔探测情况,XSDK278+406~+424段洞身地质条件较差,该段为溶洞充填物,其中充填物土体呈硬塑状,为黏性土、粉土,天然含水率为15%~30%;XSDK278+424~+431段为灰岩、白云岩弱风化层(W_2),考虑到该段岩溶发育的复杂性,由于溶腔规模大,充填物质仍十分丰富,地下水发育,泄水洞位于充填溶洞内,^[12]因此本段前方施工存在再次发生突水、突泥、塌方冒顶地质灾害的风险,为确保施工安全,降低涌水、突泥风险,故采用全断面超前帷幕注浆对溶洞充填物及洞身周边围岩进行改良。

本循环XSDK278+430~+400段注浆长度为30m,开挖27m,预留3m止浆岩盘,开挖轮廓线以上断面加固圈为5m,泄水洞超前帷幕注浆图具体如图5。

泄水洞注浆长度30m。结合洞内超前探孔资料,围岩主要为黏土、粉土与弱风化灰岩,浆液扩散半径按2m考虑,孔底间距2.5m布设,本循环设6环注浆孔,拱墙范围共83孔,孔长1950m。超前帷幕注浆主要处理隧道拱墙范围溶洞充填物(黏土、粉土),施工过程中根据超前地质预报及开挖揭示情况,^[13]结合溶洞位置,对注浆孔数进行适当调整。泄水洞清淤后效果如图6所示。

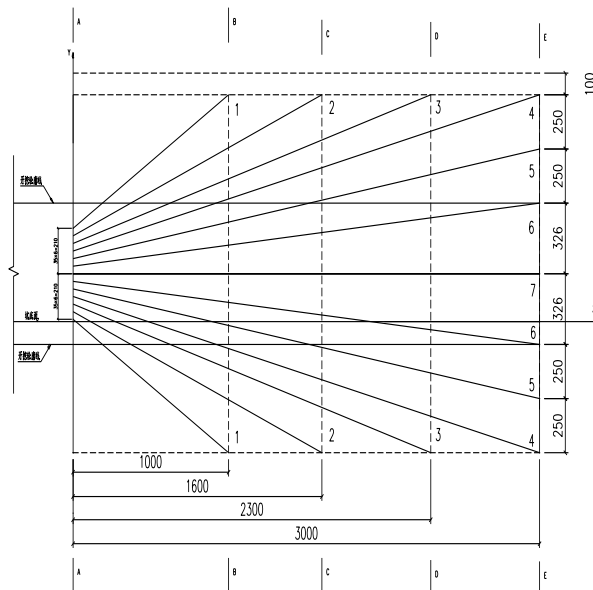


图5 泄水洞超前帷幕注浆纵断面图

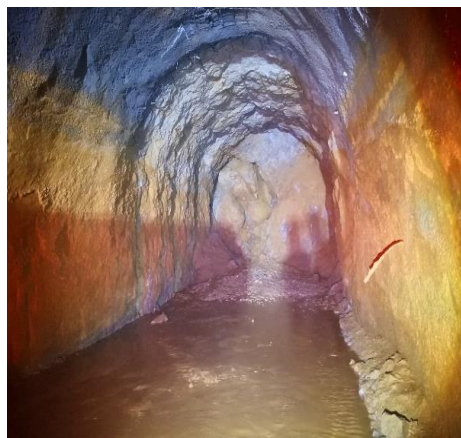


图6 XSDK278+406 掌子面(清淤后)

5 施工关键技术

5.1 超前地质预报探测

在正洞DK278+402.7掌子面专项探查方案布置超前钻孔6孔,孔深60m;在正洞DK278+402.7掌子面布置物探测线2条,分别采用地质雷达、瞬变电磁及TSP三种方法探测。正洞超前探孔现场图如图6所示。

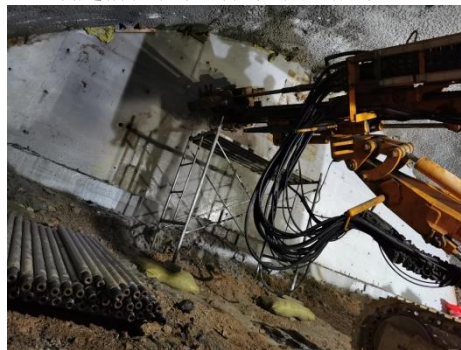


图6 正洞超前探孔

为确保安全,对泄水洞掌子面进行反压回填,XSDK278+397~406段9m用洞渣进行反压回填,XSDK278+387~397段10m采用C25混凝土回填。在泄水洞XSDK278+387掌子面施做物探(地质雷达法、TSP);在XSDK278+387处向正前方布置超前钻孔4孔,深度40m;在XSDK278+387双车道左、右边墙位置分别向左前方、右前方施做超前水平探孔,探孔左右侧各施做2个,深度为40m,沿线路方向向外水平角度分别为15°、30°,钻孔立角为3°;在泄水洞XSDK278+385右边墙向正洞位置布置1个钻孔,深度30m。

5.2 正洞施工方法及超前支护技术

在超前帷幕注浆改良洞身周边及掌子面前方围岩,确保施工安全的前提下,根据注浆效果及围岩自稳情况确定该段开挖方法。

注浆完成,经四方验证注浆效果合格后,破除止浆墙及洞渣反压回填段至DK278+410,DK278+410~+430段采用Vc型复合式衬砌进行加强,开挖方法采用三台阶加临时仰拱法进行开挖,靠近溶洞范围前后,根据现场开挖揭露情况必要时应加强支护参数、增设锁脚锚管。

为确保施工安全,在DK278+395~+403段设置大管棚工作室:原拱墙180°范围开挖轮廓线外1.5m高,扩挖后施作纵向1m厚C25喷射混凝土导向墙,超前 $\phi 108$ 大管棚长27m(+403~+430段),按双层大管棚预留条件,具体布置情况如下图7所示。

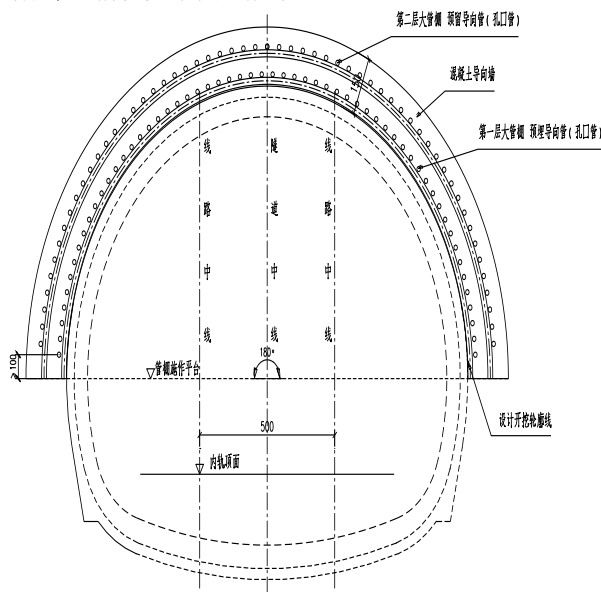


图7 双层大管棚正面布置图

管棚工作室扩挖后应技术施做管棚工作室初期支护,初期支护钢架采用I22a型钢钢架,架在开挖面初喷砼约4cm后架设,再复喷2cm封闭钢架。钢架可根据实际情况调整单元长度,并相应调整接头位置,钢架拱脚位置设 $\phi 42$ 锁脚锚管,每处2根,每根长度为4.5m,施工中可

根据揭示的围岩状况进行适当调整;钢架脚必须放在牢固的基础上,钢架施做完成后立即进行喷射混凝土施工,具体布置图如图8所示。

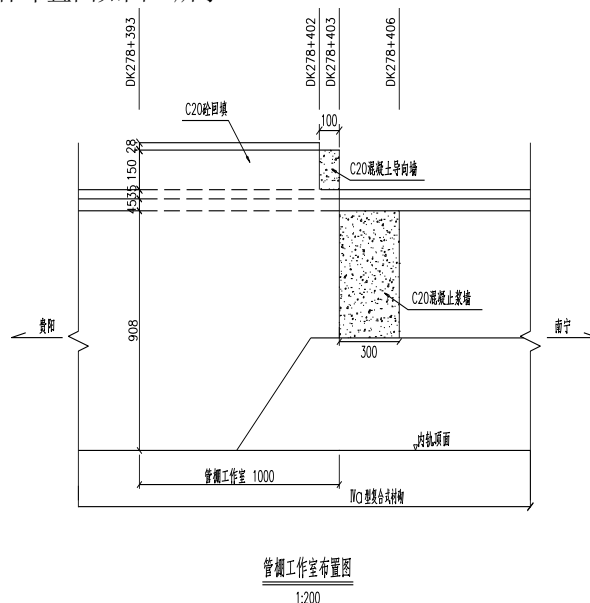


图8 管棚工作室布置图

管棚工作室初期支护施做完成后,应施作径向隐伏岩溶探孔不少于6个、深5m/个;加强监控量测工作,待管棚施工完成后,按原设计IVa型复合衬砌支护类型进行支护,管棚工作室中间采用二衬同级混凝土进行回填,如初期支护闭合成环前沉降量较大,靠近溶洞范围前后应配合大外插角小导管超前支护,并采用于初支钢架脚设置钢管桩以减小初支沉降等措施。

5.3 超前止水帷幕注浆施工方法及超前支护技术

在超前帷幕注浆改良洞身周边及掌子面前方围岩,确保施工安全的前提下,根据注浆效果及围岩自稳情况确定该段开挖方法。

施工方法采用台阶法开挖,要求上台阶先行通过后,下台阶再开挖,边开挖边探测,根据探测及监控量测资料,必要时进行补注浆。为确保施工安全,注浆完成后,在XSDK278+430~+438段设置大管棚工作室:原开挖轮廓线外1.5m,扩挖后施作超前大管棚长30m(XSDK278+430~+400段),轮廓外扩挖后拱墙范围施作径向隐伏岩溶探孔不少于4个、深5m,如探测5m范围有异常现象,须及时上报,同时加强管棚工作室范围初期支护措施;靠近溶洞范围前后可配合大外插角小导管超前支护。^[14]同时、加强监控量测工作,如初期支护闭合成环前沉降量较大,可采用于初支钢架脚设置钢管桩以减小初支沉降等措施。

6 结语

依托新建贵阳至南宁铁路永兴隧道,该段的地质构造和水文地质条件为涌水突泥事故的发生提供了必要条件,提出了永兴一号隧道进口DK278+418处突泥涌水整治施

工关键技术。通过进口正洞超前钻孔、TSP、地质雷达法及瞬变电磁法物探等方法探测隧道掌子面前方地质情况。进口工区 DK278+418 处突泥涌水整治方案按照“正洞先行, 强化探测, 原位泄水洞迂回整治”的思路开展整治工作, 优化确定超前帷幕注浆以及超前支护多层次处治技术体系, 取得了较好的处治效果。上述实践总结的关键技术成果, 不仅工艺可靠性、工效、成本、安全环保等方面显著成效, 其实用性较强, 可满足同类工程的同时, 也适用于存在类似难题的陆域相关工程, 具备良好的参考价值。

【参考文献】

- [1]唐锐,李世琦,王俊,等.富水断裂带隧道涌水突泥灾害机制及处治技术研究[J].地下空间与工程学报,2021,17(4):1264-1272.
- [2]谢达文,彭峰,单红雨.断层条件下的隧道预支护设计与施工[J].铁道建筑,2011(3):35-38.
- [3]周军伟.白云隧道突水、突泥段施工技术[J].隧道建设,2011,31(4):504-509.
- [4]刘招伟,张顶立,张民庆.圆梁山隧道毛坝向斜高水压富水区注浆施工技术[J].岩石力学与工程学报,2005(10):1728-1734.
- [5]张民庆,张文强,孙国庆.注浆效果检查评定技术与应用实例[J].岩石力学与工程学报,2006,11(2):3909-3918.
- [6]杨米加.随机裂隙岩体注浆渗流机理及其加固后稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,2000(4):416.
- [7]周书明,陈建军.软流塑淤泥质地层地铁区间隧道劈裂注浆加固[J].岩土工程学报,2002,11(2):222-224.
- [8]张伟杰.隧道工程富水断层破碎带注浆加固机理及应用研究[D].山东:山东大学,2014.
- [9]张民庆,刘招伟.圆梁山隧道岩溶突水特征分析[J].岩土工程学报,2005,12(4):422-426.
- [10]谢文清,杨龙伟,吴登奎.胶州湾海底隧道快速超前帷幕注浆施工技术[J].现代隧道技术,2013,50(3):147-152.
- [11]刘钦,李术才,李煜航,等.龙潭隧道 F₂ 断层处涌水突泥机理及治理研究[J].地下空间与工程学报,2013,9(6):1419-1426.
- [12]李术才,薛翊国,张庆松,等.高风险岩溶地区隧道施工地质灾害综合预报预警关键技术研究[J].岩石力学与工程学报,2008(7):1297-1307.
- [13]卢永堂.超前帷幕预注浆技术在岩溶隧道施工中的应用[J].铁道标准设计,2007,11(7):102-106.
- [14]台启民,张顶立,房倩,等.软弱破碎围岩隧道超前支护确定方法[J].岩石力学与工程学报,2016,35(1):109-118.

作者简介:张垒(1985.10-),毕业院校:河南理工大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:中铁十四局集团第五工程有限公司,职务:项目总工,职称级别:高级工程师。