

富水强风化花岗岩隧道突泥涌水治理技术

龚志明

中铁隧道局集团有限公司, 广东 佛山 528253

[摘要]为保障施工人员安全, 确保施工顺利进行, 开展云南临沧董家湾隧道富水强风化花岗岩室内试验, 结合施工条件分析涌水突泥致灾机理, 得出其关键在于降低地下水压、减少围岩含水率以及提高围岩承载能力。提出以超前地质预报、综合降排水、洞内分阶段超前注浆为预防手段, 封闭掌子面及施作临时封堵墙、泄压及清理、反压回填、临时仰拱钢架安装、注浆加固为处治措施的涌水突泥防治技术方法, 为类似工程灾害防治提供技术参考。

[关键词]强风化花岗岩; 涌水突泥; 处治技术; 隧道监测

DOI: 10.33142/ec.v7i1.10884

中图分类号: U45

文献标识码: A

Treatment Technology for Mud and Water Inrush in the Highly Weathered Granite Tunnel of Fushui

GONG Zhiming

China Railway Tunnel Group Construction Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528253, China

Abstract: In order to ensure the safety of construction personnel and the smooth progress of construction, indoor tests were conducted on the highly weathered granite of Dongjiawan Tunnel in Lincang, Yunnan. Based on the analysis of construction conditions, the mechanism of water inrush and mud induced disasters was determined. The key lies in reducing groundwater pressure, reducing the water content of surrounding rock, and improving the bearing capacity of surrounding rock. It is proposed to use advanced geological prediction, comprehensive drainage, and phased advanced grouting inside the tunnel as preventive measures. The technical methods for preventing and controlling water and mud inrush, including sealing the palm face, temporary sealing walls, pressure relief and cleaning, backpressure backfilling, installation of temporary inverted arch steel frames, and grouting reinforcement, provide technical references for similar engineering disaster prevention and control.

Keywords: strongly weathered granite; surging water and mud; treatment technology; tunnel monitoring

引言

在云南、贵州等云贵高原地区, 地质构造和地下水系极其复杂, 且发育, 导致隧道开挖时地质灾害频发, 施工难度极大。富水强风化花岗岩是隧道施工遇到的极为复杂的地层之一, 该地层具有成岩强度低、胶结能力差、遇水软化等特点。

目前国内大部分都是解决岩溶地质条件下的涌水突泥灾害的处治技术, 例如: 象山隧道在岩溶地层出现突泥涌水, 对突涌原因和综合处置措施进行分析, 针对富水强风化花岗岩地质条件下发生涌水突泥灾害的处治技术目前仍然不常见。

依托云南临沧董家湾隧道强风化花岗岩在强富水段出现的大量涌水突泥灾害及特征, 分析涌水突泥灾害成因, 确定降低地下水压、减少围岩含水率以及提高围岩承载能力是控制董家湾隧道发生涌水突泥灾害的关键, 并提出针对性的防治措施, 并通过对比治理前后洞内监测数据对防治效果进行评价。

1 工程概况

1.1 董家湾隧道概况

董家湾隧道为临清高速关键控制性工程(图1), 全

长 8040m。强风化富水花岗岩地层, 主要分布于隧道 ZK22+325~ZK22+650 段, 共 325m。该地层含水率较高达 22%、渗透系数高、饱和度高达 97%, 水稳性差, 开挖后易发生液化现象, 出现溃砂、流土、突泥涌水地质灾害。



图1 董家湾隧道走向及地貌情况

1.2 地形地貌及岩性

地质条件复杂, 地貌类型属构造-侵蚀、剥蚀型地貌。主要为含水强风化花岗岩, 局部夹砂岩; 隧道中富和强富水区域试样平均含水率分别为 17.05%、30.57%, 胶结差(如图2), 岩质极软、孔隙比大、饱和度高、水稳性差, 受扰动易发生溃砂、流土、突泥涌沙破坏等特点。



(a) 渗水前 (b) 渗水后
图2 董家湾隧道第三系半成岩渗水前后情况对比

1.3 水文地质特征

隧道地下水丰富(如图3),分布很不均匀,具有“鸡窝状”分布特性,开挖后极易发生涌水突泥灾害。地层水稳性差,伴随含水量增高,地层性态逐渐变为流砂状;富水性、渗透性强,扰动易液化,呈流砂状涌出;洞内排水难以分离粉细砂,易掏空前方地层,诱发流砂、管涌。

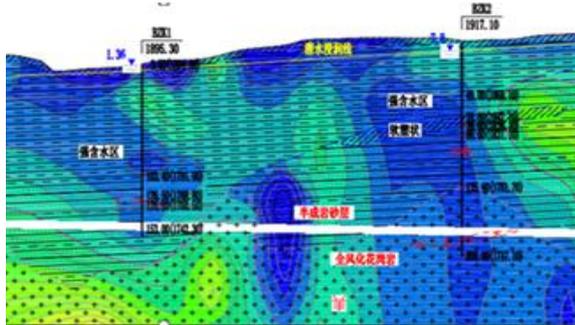


图3 强富水分布图

2 董家湾隧道涌水突泥灾害情况

董家湾隧道穿越富水强风化花岗岩段,该类岩体松散,孔隙率高,密度低,水稳性差,地表水下渗,绝大部分水在砂岩层内长年富集,浸泡后软化,自稳能力极差,极易诱发隧道突泥涌水、溜砂等地质灾害。

自2022年11月董家湾隧道施工至该段以来,在地下水作用下累计发生大规模突泥涌水8次,其中4次导致冒顶突涌,处置耗费的时间占施工建设的总工期的25%,隧道施工举步维艰,造成直接经济损失达3300余万元,处置过程施工进度缓慢,施工安全风险极大。

3 涌水突泥原因分析

董家湾隧道强风化花岗岩富水段,地层条件差,水头高,含水率高,围岩极不稳定,渗流效果明显,易形成塌腔。以下重点从地质条件、地下水作用、开挖扰动及渗流作用四方面展开分析。

3.1 地质条件

强风化花岗岩软弱,自稳性差,岩体松散,孔隙率高,密度低,含水性极强,砂岩层及泥岩层绝大部分处于饱和状态,长期受地下水浸泡极度软化呈现流砂状。同时,地下水源源不断的补给,致使地层内静水压力升高。

3.2 地下水作用

董家湾隧道水稳性极差,在含水率小于18%时基本能

保持强风化花岗岩的形状,但在地下水浸泡后,含水率超过18%,该地层基本满足不了强度要求,急速成为流砂状,内摩擦角也在不断减小,为涌水突泥灾害的发生提供动力条件。

3.3 开挖扰动

隧道开挖扰动围岩,岩体应力释放,形成松动圈,富水区段内的渗透通道进一步扩张,改变了地下水渗流方式,破坏原有的水力平衡,导致掌子面承受较大的地下水压力。在围岩重力和地下水压的共同作用下,地下水向临空面流出,形成初步涌水,继而引发涌水突泥灾害。

3.4 渗流作用

董家湾隧道取样后为松散的强风化花岗岩,成砂性,围岩不连续的级配颗粒为涌水突泥灾害的发生提供基础物质,在围岩压力和高水压同时作用下,隧道开挖诱发渗流破坏,导致结构稳定性降低,最后产生突发性涌水突泥灾害,粒径级配的不连续加大了涌水突泥发生的规模。

经分析认为,董家湾隧道涌水突泥致灾三要素为“富水区、高水压、不良地质”,因此,防治涌水突泥的关键在于降低地下水量和水压以及提高围岩承载能力。

4 涌水突泥的防治措施及效果分析

通过对董家湾隧道发生涌水突泥灾害的原因分析与经验总结,采用“地表深井降水+洞内综合排水+分阶段注浆加固+处治效果分析”的综合治理方案,降低地下水量,提高围岩的强度,达到安全、快速施工的目的。

4.1 涌水突泥的预防措施

(1) 加强超前地质预报

董家湾隧道在隧道掘进过程中采用TSP203地震波法对前方进行中长距离(100~120米)的超前地质预报,根据不同地质条件及其适用条件,采取不同的物探措施,短距离辅以瞬变电磁法进行预报。

(2) 进行超前钻孔排水

在掌子面开挖前,采用多功能地质钻机在掌子面后方3m初支位置施作超前泄水孔,钻孔数量为6孔,分别为两侧拱脚、拱腰和隧道拱顶及核心土顶部下1m位置。

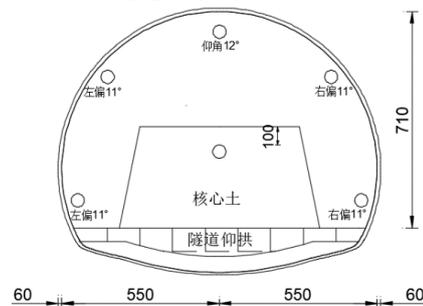


图4 超前泄水孔打设示意图

(3) 分阶段进行超前注浆加固

根据强风化花岗岩地层在隧道周围的分布情况和地下水作用,确定注浆设计采取开挖轮廓线外2圈孔周边加

固+掌子面稳定孔方式，径向加固范围为开挖轮廓线布设2圈孔，外圈终孔在开挖轮廓线外5m，扩散半径2m，终孔间距3m，共设2个终孔断面，如图5所示。

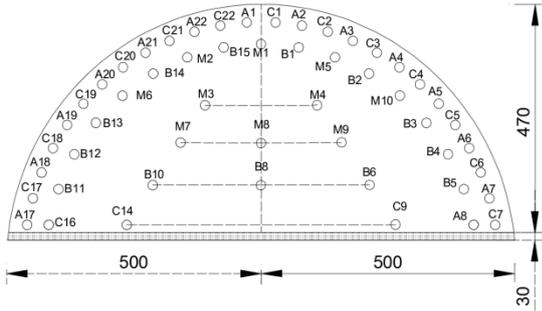


图5 超前加固注浆纵剖面图

外圈孔选择凝胶时间短的普通水泥-水玻璃双液浆作为注浆材料封堵外部地下水，内圈孔选择硫铝酸盐快硬早强水泥单液浆作为加固材料，单液浆配比： $W:C=(.8\sim 1):1$ ，双液浆配比： $W:C=(.8\sim 1):1, C:S=(0.5\sim 1):1$ ；注浆结束标准采取定压定量相结合的控制标准，注浆终压4~6MPa。

(4) 综合降排水措施

主要以地表降水为主、洞内深井降水为辅，掌子面以排为主，排堵结合的综合降排水措施。

①洞内深井降水。洞内深井降水井布置及井点设计原则：洞内降水井布置于左右线洞内衬砌前方，降水井布设单侧间距20m，在施工过程中，视地下水情况及掌子面降水效果可对井间距进行适当的加密和调整，井点距掌子面距离控制在20~25m(如图6)，降水井钻孔直径为300mm，跟管直径为273mm，滤水管为条形孔式滤水管，滤水孔按梅花形布设，宽度5mm，长度10cm，纵向间距30cm，滤料为粗砂，井深位于隧底下60m，配置流量大于20m³/h，扬程大于100m的潜水泵，并在每口井的进口设置出水流量统计表及水位计，根据水量及水位情况，定期记录总结。

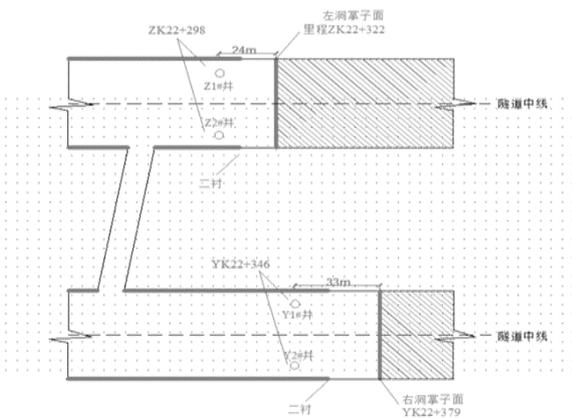


图6 洞内深井降水布设示意图

②地表深井降水。地表深井布置原则：降水井单侧间距10~20m，在隧道两侧左右交叉布置，降水井间距可做

局部调整。降水井主要参数为：地表降水井布置于正洞开挖轮廓线外侧距离边缘4~10m(如图7)，降水井钻孔直径为300mm，跟管直径为273mm，滤水管为条形孔式滤水管，滤水孔按梅花形布设，宽度3~4mm，长度为30cm，滤料为粗砂，井深位于隧道底下30m，配置流量大于20m³/h，扬程大于200m的潜水泵。深井降水原理(如图8)。

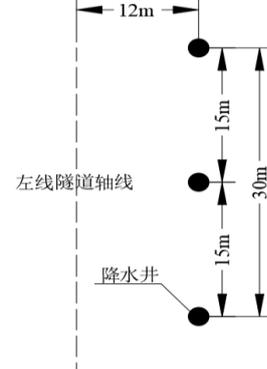


图7 地表降水井平面布置示意图

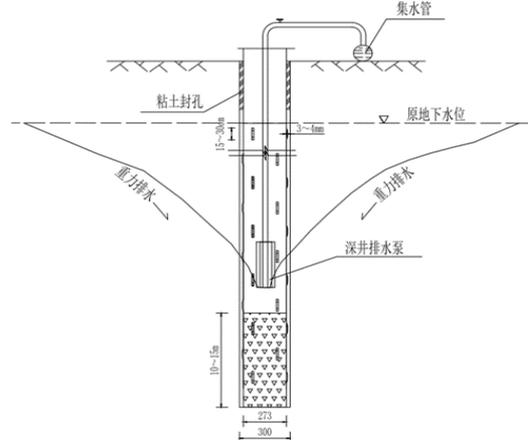


图8 地表深井降水示意图

4.2 涌水突泥的处治措施

(1) 封闭掌子面及施作临时封堵墙。若隧道掌子面已发生涌水突泥灾害，先对掌子面进行封闭，采用20cm厚C25喷射混凝土加Φ8钢筋网片作为临时封堵墙，预留泄水孔。待掌子面稳定后，再进行下一步支护加固工作。对设置封堵墙位置的基面进行清理，清除反压回填过程中存在的虚碴。

(2) 泄压及清理。在已衬砌段及初支砟表面根据现场实际渗水情况，在集中出水点采用风钻垂直岩面打设Φ50泄水孔排水泄压，泄水孔深度为5m。边墙2m以下的泄水孔直接进行打孔。涌突体清理过程中施工员及技术员记录涌突体清理情况及方量。

(3) 反压回填。利用洞碴对正洞内涌突体进行分级分台阶反压回填，反压回填台阶高度按原有的台阶开挖高度进行回填。

(4) 临时仰拱钢架安装。钢架间距为0.5m，临时钢

架分级分阶段设立于注浆加固后的反压回填体上,临时钢架下垫设纵向槽钢,钢架间设置Φ22纵向连接筋,环向间距为1.0m。

(5) 注浆加固。封堵墙后方至下台阶临时钢架及临时仰拱施工完后,采用Φ42钢花管对周边围岩进行注浆加固。注浆浆液采用水泥+水玻璃双液浆。注浆压力控制在0.8MPa~1.2MPa间。

4.3 地表深井降水效果分析

在对董家湾隧道进行综合降排水措施后,对洞内围岩孔隙水压力、钢拱架应力和围岩-初支接触应力进行现场监测,以评估隧道降排水效果及涌水突泥风险。对洞内的监测分为两个阶段,第一阶段为地表降水试验阶段,未开始大范围降水;第二阶段为地表降水试验配合洞内积极排水之后。

(1) 孔隙水压力的前后变化。经地表降水35天后,孔隙水压力值分别下降至32kPa、25kPa,较最大值分别降低了68%、73%,左侧来水侧下降最为明显,表明地表深井降水降低了地下水位线和掌子面周边的孔隙水压力,从源头上减小了发生涌水突泥的可能性。

(2) 围岩-初支接触压力监测的对比分析。由图9~10可知,第二阶段监测数据稳定值拱顶、左拱肩以及右拱肩分别为0.045MPa、0.052MPa和0.025MPa,相较于第一阶段监测所得拱顶、左右拱肩土压力稳定值0.051MPa、0.081MPa、0.0315MPa分别下降了11.7%、35.8%、20%,左拱肩下降幅度较大。地表群井降水有助于改善施工环境,减小围岩-初支接触压力,降低初支变形风险。

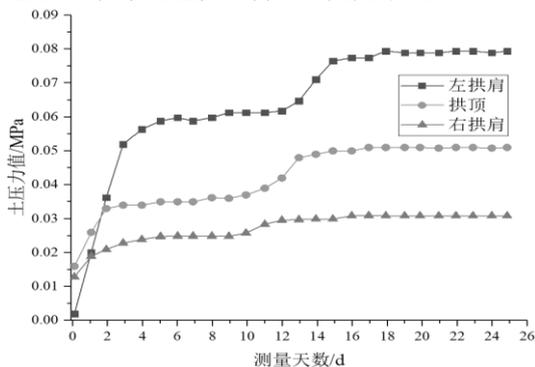


图9 第一阶段初支-围岩接触压力变化趋势图

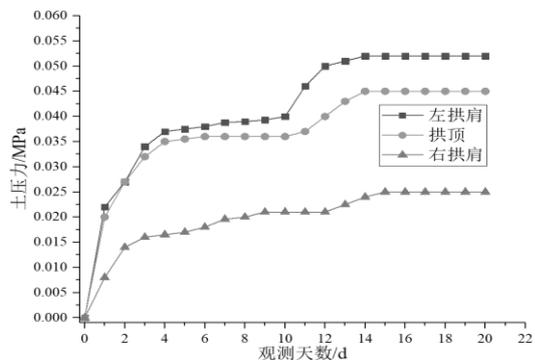


图10 第二阶段初支-围岩接触压力变化趋势图

(3) 钢拱架应力监测的对比分析。由图11~12可知,第二阶段监测所得钢拱架应力值拱顶、左拱肩、右拱肩分别为59.6MPa、230.7MPa、158.5MPa;对比第一阶段检测所得钢拱架应力值72.4MPa、312.92MPa、162.47 MPa分别下降17.6%、26.4%和2.4%,表明群井降水后,地表降水效果显著,降低钢拱架变形风险。

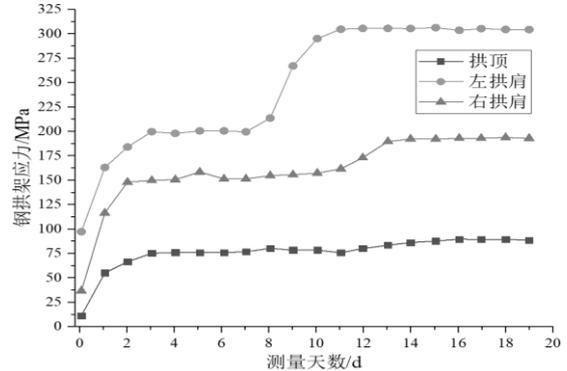


图11 第一阶段钢拱架应力变化曲线

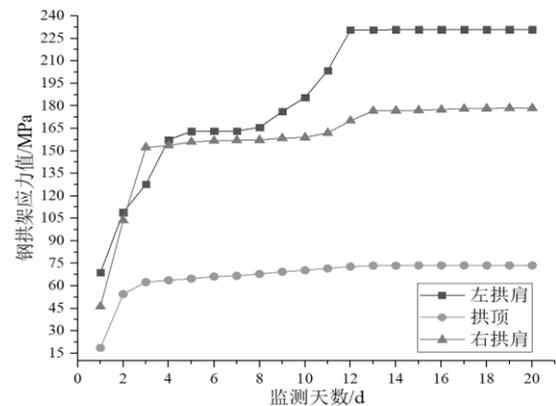


图12 第二阶段钢拱架应力变化曲线

5 结论

董家湾隧道富水段涌水突泥灾害频发,通过对涌水突泥灾害成因机理分析,提出针对性的预防和处治措施,并通过现场监测对防治效果作出评价,主要结论如下:

(1) 董家湾隧道地质条件复杂,富水强风化花岗岩体结构松散,自稳性极差,孔隙率高,含水性强,大部分处于饱和状态,导致涌水突泥灾害频发且规模较大,具有突发性,灾害处置费用高,涌突体清理难度大,洞内施工安全风险大。

(2) 地层软弱、高水压及隧道开挖扰动为董家湾隧道第三系半成岩涌水突泥灾害的主要影响因素,提出从预固结、降水压、少扰动三个方面入手来解决隧道涌水突泥灾害。

(3) 通过对董家湾隧道涌水突泥原因机理分析,提出“地表深井降水+洞内综合排水+分阶段注浆加固”的预防技术措施;采用封、堵相结合的方法稳定涌水突泥工作面,对隧道进行排水和清淤,利用洞碴对正洞内涌突体进行反压回填,并采用帷幕注浆封堵地下水,取得了良好

的效果。

(4) 结合第一阶段和第二阶段洞内监测数据, 经地表综合降排水 35 天后, 孔隙水压力较初期分别降低 68%、73%。隧道围岩-初支接触压力、钢拱架应力都有着不同程度的下降, 有效降低了洞内突泥涌水灾害风险, 保障隧道的施工安全。

[参考文献]

[1] 刘晓杰, 梁庆国, 刘传新, 张堂杰, 王文卓. 富水深埋黄土隧道变形规律及控制措施[J]. 隧道与地下工程灾害防治, 2021, 3(2): 23-32.
[2] 陈俊武, 李国锋, 王明江, 等. 云南南景高速阿比村隧道加宽突泥涌水原因分析与处治技术[J]. 现代隧道技

术, 2022, 59(1): 858-865.

[3] 孙国庆. 象山隧道岩溶涌水突泥治理技术[J]. 隧道建设, 2011, 31(1): 375-380.

[4] 颜志伟. 象山隧道岩溶突泥涌水原因分析及处理措施[J]. 铁道标准设计, 2012(7): 98-102.

[5] 周鑫. 厦深铁路梁山隧道 L7 深埋富水软弱带超前预加固体系支护机理分析[J]. 现代隧道技术, 2013, 50(4): 138-145.

作者简介: 龚志明(1984.6—), 男, 毕业院校: 湖南科技大学. 所学专业: 土木工程道桥工程专业. 当前就职单位: 中铁隧道局集团建设有限公司. 职务: 副总经理. 职称级别: 高级工程师。