

岩溶区隧道涌水预警及处治对策

谭英勇

湖北连升交通建设发展有限公司, 湖北省鹤峰县, 445800;

摘要: 本文围绕岩溶区隧道涌水这一关键问题, 展开系统性研究, 深度解析其现状、预警手段及治理策略。研究首先从岩溶区特殊地质构造切入, 详细探讨隧道涌水的形成原因, 包括复杂的地下水系、脆弱的岩层结构等, 以及涌水对工程安全、环境生态造成的严重危害, 明确研究的必要性。继而系统阐述了涌水预警技术, 整合多源监测方法、构建科学预警指标体系, 结合先进算法优化预警模型与系统架构。同时, 针对涌水风险提出分级应急排水、智能堵水、动态加固支护及长效防治等系列对策。通过实际工程案例分析, 验证技术可行性与策略有效性, 为岩溶区隧道工程安全建设提供完备的技术方案与实践指导。

关键词: 岩溶区隧道; 涌水预警; 处治对策; 工程案例

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 03. 011

岩溶区以独特的地质构造闻名, 其丰富的地下水系与脆弱的岩层结构, 为隧道工程建设带来巨大挑战, 而涌水问题首当其冲。隧道施工过程中, 突发性涌水易导致掌子面坍塌、机械设备损毁, 大幅延误工期; 长期渗水则会侵蚀衬砌结构, 威胁隧道运营安全, 甚至引发周边地表塌陷、水体污染等环境问题。因此, 深入开展岩溶区隧道涌水预警及处治对策研究, 不仅是保障工程顺利推进的关键, 更是维护生态环境与公共安全的必要举措。本文通过理论研究、技术整合与案例验证相结合的方式, 力求为岩溶区隧道工程提供科学、实用的涌水防控方案。

1 岩溶区隧道涌水概况

1.1 岩溶区地质特征

岩溶区地质以可溶性岩石(石灰岩、白云岩等)为主, 在地下水溶蚀作用下, 形成形态各异、大小不一的岩溶地貌与洞穴, 部分洞穴相互连通构成复杂地下网络。其岩石结构破碎, 节理裂隙发育, 为地下水流动提供通道。此外, 岩溶区地下水位受季节、降水影响显著, 雨季水位上升、水量激增, 旱季则反之。这种复杂地质条件极大增加了隧道建设风险, 施工时易因岩溶洞穴与裂隙存在, 遭遇地下水突然涌入, 对施工安全形成严重威胁^[1]。

1.2 隧道涌水的成因

隧道涌水由多因素交织引发。地质条件是核心诱因, 岩溶区地下溶洞、裂隙网络发育, 储存大量地下水, 隧道开挖揭露这些含水构造后, 地下水在压力驱动下涌入施工空间。降雨对涌水影响显著, 强降雨使地下水位快速抬升, 增加地下水补给量, 显著提升涌水风险。施工

环节的不当操作也不容忽视, 爆破作业若参数设置失当, 易破坏岩体稳定性, 形成新裂隙与导水通道; 若对地下水探测分析不足, 未提前实施有效防控措施, 如注浆加固、超前预报等, 同样会加剧涌水隐患, 威胁施工安全与工程进度。

1.3 涌水危害分析

隧道涌水危害显著。施工安全层面, 隧道积水致使作业环境湿滑, 施工人员滑倒、溺水风险大增; 大量涌水更可能诱发泥石流、塌方等地质灾害, 严重威胁施工人员生命安全。进度方面, 积水阻碍施工设备正常运转, 排水与清理工作耗时费力, 极大延误工期^[2]。对隧道结构而言, 长期水侵蚀削弱衬砌结构强度, 致使衬砌出现开裂、剥落等病害, 缩短隧道使用寿命, 降低运营安全性。在周边环境上, 大量地下水涌出改变地下水位与水流方向, 打破周边生态平衡, 引发植被枯萎、土地沙化等问题, 破坏生态环境, 严重时甚至影响周边居民生产生活。

2 岩溶区隧道涌水预警技术

2.1 监测方法

为了及时发现隧道涌水的迹象, 需要采用多种监测方法。水位监测是常用的方法之一。通过在隧道周边和内部设置水位观测孔, 实时监测地下水位的变化情况。当水位出现异常上升时, 可能预示着即将发生涌水。流量监测也是重要的监测手段。在隧道排水系统中安装流量传感器, 监测隧道内的涌水量。流量的突然增加可能是涌水的信号。此外, 还可以采用地质雷达、声波探测等物探方法, 对隧道周边的地质结构进行探测, 及时发现潜在的岩溶洞穴和裂隙等含水空间。同时, 对隧道内

的围岩变形、应力变化等参数进行监测,也有助于判断是否存在涌水的风险。

2.2 预警指标体系

建立科学合理的预警指标体系是准确预警隧道涌水的关键。水位是重要的预警指标之一。根据岩溶区的地质条件和隧道的设计要求,设定合理的水位预警阈值。当地下水位达到或超过该阈值时,发出预警信号。流量指标也不容忽视。通过对历史涌水数据的分析,确定不同情况下的流量预警值。当隧道内的涌水量超过预警值时,及时采取措施。此外,还可以将围岩变形速率、应力变化等参数纳入预警指标体系。围岩变形速率突然增大或应力异常变化,可能意味着岩石结构的稳定性受到破坏,存在涌水的隐患^[3]。同时,结合气象数据,如降雨量、降雨强度等,也可以提高预警的准确性。

2.3 预警模型与算法

预警模型与算法是实现准确预警的核心。可以采用基于数据驱动的机器学习算法,如神经网络、支持向量机等,对监测数据进行处理。通过对大量历史数据的学习和训练,建立涌水预警模型。该模型可以根据实时监测数据,预测隧道涌水的可能性和涌水量。还可以采用基于物理机制的预警模型。考虑岩溶区的地质结构、地下水流动规律等因素,建立数学模型,模拟地下水的运动和涌水过程。通过对模型的求解和分析,实现对涌水的预警。在实际应用中,可以将数据驱动模型和物理机制模型相结合,提高预警的准确性和可靠性。

2.4 预警系统构建

完善的预警系统是实现精准预警的关键。该系统由数据采集、传输、处理及发布四大环节构成。数据采集设备实时监测水位、流量、围岩变形等关键参数;通过有线网络或无线通信技术,将数据高效传输至处理中心;利用专业预警模型与算法,对数据深度分析,识别涌水风险。一旦判定风险,系统立即通过短信推送、声光报警等多渠道,向施工、管理等相关人员发布预警,保障应急响应时效性^[4]。此外,系统集成数据存储与查询功能,支持历史数据回溯分析,为预警模型迭代优化、算法精度提升提供数据支撑。

3 岩溶区隧道涌水处治对策

3.1 应急排水措施

当隧道发生涌水时,应急排水措施至关重要。首先,应迅速启动排水设备,如水泵等,将隧道内的积水排出。根据涌水量的大小,合理选择水泵的型号和数量,确保

排水能力满足要求。在排水过程中,要注意排水管道的布置和连接,保证排水畅通。可以设置多级排水系统,将积水逐步排出隧道。同时,要安排专人对排水设备进行维护和管理,确保设备的正常运行。在排水的还要对涌水的来源和性质进行分析,为后续的堵水和处治工作提供依据。如果涌水含有大量的泥沙和杂质,需要设置沉淀过滤装置,防止泥沙堵塞排水管道。

3.2 堵水技术

堵水技术是解决隧道涌水问题的关键。可以采用注浆堵水的方法。通过向隧道周边的岩石裂隙和岩溶洞穴中注入水泥浆、化学浆液等材料,填充空隙,形成隔水帷幕,阻止地下水的涌入。在注浆过程中,要根据地质条件和涌水情况,合理选择注浆材料和注浆参数。还可以采用止水带、止水条等材料进行封堵。在隧道衬砌施工时,在施工缝、变形缝等部位设置止水带,防止地下水从这些部位渗漏。对于较小的涌水点,可以采用水泥砂浆、速凝水泥等材料进行直接封堵。同时,要对堵水效果进行监测和评估,及时发现并处理堵水过程中出现的问题。

3.3 加固与支护措施

为了增强隧道结构的稳定性,防止涌水对隧道造成进一步的破坏,需要采取加固与支护措施。可以对隧道围岩进行加固。采用锚杆、锚索等方式,将围岩与深部稳定岩体连接起来,提高围岩的自稳能力。在隧道衬砌结构方面,可以增加衬砌的厚度和强度,采用钢筋混凝土衬砌等结构形式,提高衬砌的抗水侵蚀能力^[5]。还可以设置仰拱和底板,增强隧道底部的承载能力,防止因涌水导致的底板隆起和开裂。同时,要对加固与支护结构进行实时监测,及时发现结构的变形和损伤情况,采取相应的处理措施。

3.4 长期防治策略

除了应急处理和短期措施外,还需要制定长期防治策略。加强对岩溶区地质条件的研究和分析,建立详细的地质数据库。通过对地质数据的长期监测和分析,掌握岩溶区地下水的变化规律和涌水的发生机制,为隧道的设计和施工提供科学依据。在隧道设计阶段,要充分考虑岩溶区的地质特点,优化隧道的线路选择和结构设计。尽量避开岩溶发育强烈的区域,采用合理的断面形式和支护参数,提高隧道的抗涌水能力^[6]。同时,要加强对隧道的日常维护和管理。定期对隧道进行检查和检测,及时发现和处理隧道结构的病害和隐患。建立完善的应急预案,提高应对涌水等突发事件的能力。

4 工程案例分析

4.1 案例概况

某岩溶区隧道工程全长1500米,穿越复杂的岩溶地质区域。该区域内岩溶洞穴和裂隙发育,地下水位变化较大,降雨丰富,给隧道施工带来了极大的挑战。隧道设计为双向四车道,采用钻爆法施工。在施工过程中,面临着较高的涌水风险。为了确保工程的顺利进行,采取了一系列的涌水预警和处治措施。

4.2 涌水预警实践

在该工程中,采用了多种监测方法进行涌水预警。设置了水位观测孔、流量传感器等监测设备,实时监测地下水位和涌水量的变化。同时,利用地质雷达对隧道周边的地质结构进行定期探测,及时发现潜在的含水空间。建立了完善的预警指标体系,根据监测数据和工程实际情况,设定了合理的水位、流量等预警阈值。当监测数据达到预警阈值时,预警系统及时发出预警信号。通过采用数据驱动的机器学习算法和物理机制模型相结合的方法,对监测数据进行分析 and 处理,提高了预警的准确性和可靠性。

4.3 处治对策实施

当隧道发生涌水时,立即启动了应急排水措施。迅速调集了多台水泵进行排水,设置了多级排水系统,确保积水能够及时排出隧道。同时,对涌水的来源和性质进行了分析,采用注浆堵水的方法,向周边岩石裂隙中注入水泥浆,形成了有效的隔水帷幕。在加固与支护方面,对隧道围岩进行了锚杆加固,并增加了衬砌的厚度和强度。采用了钢筋混凝土衬砌结构,提高了隧道的抗水侵蚀能力^[7]。在长期防治策略方面,加强了对岩溶区地质条件的研究和监测,优化了隧道的线路选择和结构设计,为隧道的长期安全运营提供了保障。

4.4 经验总结与启示

通过工程实践,总结出岩溶区隧道涌水防治的关键要点:构建完善的涌水预警系统与处治对策体系是核心,精准预警可及时捕捉风险信号,为应急处置预留时间,科学的处治方案则能有效降低涌水危害;强化岩溶区地质条件研究与动态监测不可或缺,只有深入掌握地质特征,才能制定适配的设计施工方案,且施工全程需严守规范以保障工程质量。此外,案例带来启示:未来建设中应持续推进科技创新,引入智能监测设备与新型处治技术,提升风险防控效能;同时,需加强设计、施工、监测等多部门协同联动,整合各方资源与专业优势,合

力攻克隧道涌水难题。

5 结论与展望

5.1 结论

本文系统开展岩溶区隧道涌水预警及处治对策研究,剖析了该区域隧道涌水的地质特征、成因及危害,构建了涵盖监测方法、指标体系、模型算法及系统构建的全流程预警技术体系,并提出应急排水、堵水加固、长期防治等多维度处治策略。通过工程实例验证,预警技术与处治对策可有效提升岩溶区隧道涌水风险防控能力。研究成果为岩溶区隧道工程建设及运营期水害防治提供了理论支撑与技术路径,有助于降低涌水灾害对工程安全的威胁,保障隧道施工与运营安全。

5.2 展望

当前研究在预警模型算法的准确性、处治技术的创新性等方面仍需优化,例如未充分考虑地质构造动态变化对涌水风险的影响,堵水加固工艺的适应性有待提升。未来研究可聚焦三方面:一是深化岩溶地质条件研究,构建精细化地质模型以提高预警依据的准确性;二是推动智能监测设备、新型注浆材料等新技术应用,提升预警效率与处治效果;三是强化地质学、土木工程学等多学科交叉融合,破解岩溶区隧道涌水复杂难题。通过持续探索,完善预警处治体系,为岩溶区隧道工程的安全可持续发展提供更坚实的保障。

参考文献

- [1]郭佳,陆朗天,刘刚.公路隧道岩溶区涌水堵水处治方案应用研究[J].西部交通科技,2022,(08):130-132.
- [2]冯升,王勇,朱兴礼,等.岩溶区反坡施工隧道涌水量计算方法[J].交通科技,2020,(03):95-98.
- [3]魏磊,黄磊,陈文达.喀斯特地貌岩溶区隧道施工中涌水突泥施工处理技术[J].四川建材,2024,50(08):181-182+191.
- [4]健伟.富水岩溶区隧道涌突水灾害风险评价及施工安全控制研究[D].长安大学,2023.
- [5]文丽娜.西南岩溶区公路隧道涌突水灾害防控技术研究.四川省,四川省公路规划勘察设计院有限公司,2022-11-16.
- [6]冯升,王勇,朱兴礼,等.岩溶区反坡施工隧道涌水量计算方法[J].交通科技,2020,(03):95-98.
- [7]张健伟.富水岩溶区隧道涌突水灾害风险评价及施工安全控制研究[D].长安大学,2023.