

碳酸盐岩溶蚀裂隙发育规律对地下水渗流的影响与工程防治

曹文正

重庆市渝西水利电力勘测设计院有限公司 重庆 402160

【摘要】：碳酸盐岩溶蚀裂隙的发育规模、分布态势及连通状况，直接左右地下水渗流的轨迹、速度与分布格局，是影响地下水渗流特性的核心要素。岩溶蚀裂隙的发育受岩性构成、构造运动、水动力条件及溶蚀作用强度的共同制约，呈现出非均一性、各向异性的分布规律，其发育程度与地下水渗流效能呈正相关关系——裂隙连通条件越优、发育密度越高，地下水渗流速度就越快，渗流场分布也更为复杂，易引发地下水富集、径流紊乱等现象，进而对工程建设安全构成威胁。厘清碳酸盐岩溶蚀裂隙发育规律与地下水渗流的内在关联，可为工程建设中的地下水渗流防控、岩溶灾害治理提供科学支撑，实现工程安全与地下水环境的协同保护目标。

【关键词】：碳酸盐岩；溶蚀裂隙；发育规律；地下水渗流；工程防治

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.050

引言

我国碳酸盐岩分布范围广泛，其溶蚀裂隙发育的复杂性与特殊性，深刻影响着地下水渗流系统的稳定状态，进而对各类工程建设的安全运营构成潜在威胁。岩溶蚀裂隙作为地下水渗流的主要运移通道，其发育规律直接主导着地下水的渗流特性，不合理的工程作业易诱发渗流异常、岩溶塌陷等地质灾害，造成重大工程损耗。基于这一现实背景，结合碳酸盐岩溶蚀裂隙的发育特征与地下水渗流的内在关联，深入探究二者的相互作用机理，厘清裂隙发育规律对地下水渗流的影响路径，可为工程防治措施的制定提供可靠支撑，填补岩溶区地下水渗流防控的实践空白，保障工程建设与地下水环境的协调发展。

1 碳酸盐岩溶蚀裂隙发育规律及地下水渗流特征分析

碳酸盐岩溶蚀裂隙演化受岩性、构造、水动力环境及溶蚀时长多重约束，具备明显非均一性与各向异性。区域岩性差异改变溶蚀强弱与发展进程，可溶性岩层裂隙生成更为密集；构造运动造就的节理断层，为溶蚀作用提供初始渗流通道，助推裂隙延展贯通。地下水渗流与裂隙发育高度耦合，裂隙疏密程度、连通条件及延展方位，决定水体径流路线与渗透效能。裂隙密集且连通优良区段，水流速度偏高、径流脉络繁杂，渗流场分布不均；裂隙稀疏、连通偏弱地段，水体流动平缓并多呈滞留状态，形成稳态渗流环境。二者协同作用，构成岩溶区域地下水渗流体系的核心特质。

2 碳酸盐岩溶蚀裂隙发育对地下水渗流的影响机制

2.1 裂隙发育规模对地下水渗流速率的调控作用

碳酸盐岩溶蚀裂隙的发育规模，主要通过裂隙宽度、密度及延伸长度对地下水渗流速率施加调控，两者存在紧密协同关联。裂隙宽度越大，地下水流动遭遇的摩擦阻力越小，渗流速率随之加快，宽裂隙可构筑地下水快速径流通道，推动地下水

迁移与循环；裂隙密度越高，单位体积岩层内渗流通道越多，地下水流动路径更趋多元，整体渗流效能同步提升。延伸长度较长的裂隙可突破岩层隔水约束，连通不同区域地下水储层，使分散地下水汇聚形成连续径流，加快渗流速率；短裂隙多形成局部渗流回路，仅影响小范围地下水流动速度，难以构建大规模地下水径流系统。

2.2 裂隙连通性对地下水渗流路径的影响

裂隙连通性作为地下水渗流路径分布的核心决定因素，直接关联地下水渗流的均匀程度与稳定状态。连通性优良的溶蚀裂隙网络，可构筑纵横交错的渗流通道，使地下水突破岩层基质的束缚，形成有序且连续的径流路径，渗流方向多沿裂隙网络的优势走向延展，整体渗流场分布较为规整^[1]。裂隙连通性欠佳时，其多呈孤立状或断续状分布，地下水难以形成连续径流，仅能在孤立裂隙或局部连通区域内缓慢渗透，进而形成分散且无序的渗流路径，造成渗流场分布不均衡——部分区域地下水呈现富集状态，部分区域则存在地下水短缺情形，这一现象进一步强化了地下水渗流的复杂程度。

2.3 裂隙各向异性对地下水渗流方向性的制约

碳酸盐岩溶蚀裂隙的发育表现出鲜明的各向异性，不同方位上的裂隙发育程度、连通状况存在明显差别，进而对地下水渗流的方向性形成制约。构造运动与溶蚀作用的共同影响下，裂隙多沿特定方位集中发育，形成优势渗流方位，地下水在该方位的渗流速度远高于其他方位，呈现出清晰的定向渗流特点。这种各向异性让地下水渗流处于非均匀流动状态，优势方位上的裂隙成为地下水的主要径流通道，非优势方位则以缓慢渗透为主要特征；这一现象不仅改变地下水的分布格局，还会造成工程区域内地下水压力分布失衡，加大工程渗流灾害的发生概率。

3 基于裂隙发育与渗流影响的工程防治措施

3.1 裂隙封堵加固措施

结合碳酸盐岩溶蚀裂隙发育特点与地下水渗流实际影响,裂隙封堵加固是阻隔地下水非正常渗流、保障工程安全的关键。前期依托物探、钻探等勘查技术,精准探明裂隙空间位置、张开幅度、连通条件及渗流强弱,划定关键治理区段。对开度偏小、连通性弱的零散裂隙,选用高强度灌浆原料实施低压注浆,使浆体充分充填裂隙空隙,形成严实封闭结构,阻隔水体下渗通道^[2]。对开度偏大、水流较快的贯通裂隙,先以柔性密封物料初步封堵、削减流量,再辅以高强灌浆深层加固,提升岩体稳固性,规避裂隙延展。现场处置需兼顾注浆材料与围岩适配性,避免材料收缩、老化导致封堵失效,长久维持治理成效,从本源管控地下水无序渗流。

3.2 地下水渗流调控措施

结合溶蚀裂隙发育对地下水渗流的作用机制,依托科学的渗流调控手段,可优化地下水分布态势,降低渗流灾害发生概率。针对裂隙连通条件优良、水流运动较快的区域,铺设地下排水廊道或布设排水钻孔,合理规划排水坡度与排水效能,引导地下水有序导出,削减地下水压力,减轻水体对工程结构的渗透侵蚀;面对地下水富集、渗流状态紊乱的区域,采用人工井点降水工艺,适度下调地下水位,使地下水渗流维持稳定态势,规避水位起伏引发的裂隙延展或岩溶塌陷问题。同时可修建防渗帷幕,将工程区域与周边强渗流区域加以分隔,限定地下水迁移轨迹,减轻地下水对工程建设的不利作用,达成地下

水渗流的精准管控。

3.3 工程结构防护与监测措施

立足裂隙发育及地下水渗流带来的潜在隐患,完善工程结构防护设计方案,强化全流程监测工作,提前预警各类安全风险。工程结构设计阶段,针对裂隙发育繁密区域,选用抗渗性能优异的建材,增加结构厚度并设置抗渗构造层,提升工程结构抗渗效能,抵御地下水的渗透侵蚀作用;对于受裂隙渗流影响较突出的部位,增设加固钢筋构件,增强结构承载性能,规避结构因地下水压力作用出现破损现象^[3]。同时搭建全方位监测体系,布设裂隙发育监测点位、地下水位监测点位及渗流速度监测点位,实时追踪裂隙发育动态及地下水渗流情况,若监测数据出现异常,立即启动应急处置流程,优化防治方案,保障工程安全稳定运行,达成对裂隙渗流灾害的提前防控与高效处置。

4 结语

本文系统梳理碳酸盐岩溶蚀裂隙的发育特征与地下水渗流基本属性,深入剖析裂隙规模、连通状况及各向异性对地下水渗流速度、轨迹与流向的内在作用机理,结合岩溶区工程实际工况,配套提出裂隙封堵加固、渗流科学调控、结构防护与动态监测等针对性防治手段。厘清岩溶裂隙与地下水渗流之间的耦合关系,可为岩溶地区基建施工、地质灾害防控提供理论支撑与实践参考。后续可依托精细化勘察与数值模拟技术,进一步深化复杂岩溶环境下裂隙渗流耦合规律研究,优化防治技术工艺与实施细则,提升岩溶区工程地质安全保障效能。

参考文献:

- [1] 郭书兰,阎长虹,黄厚旭,等.基于室内试验的苏南地区典型碳酸盐岩溶蚀规律研究[J].南京大学学报(自然科学),2025,61(06):1039-1049.
- [2] 李正顺,黄波,宋传星,等.某大坝项目非碳酸盐岩裂隙溶蚀现象分析及评价[J].电力勘测设计,2025,(09):84-89.
- [3] 祁利成.综合物探技术在碳酸盐岩地区地下水勘查中的应用[J].地下水,2024,46(03):138-140+170.