

Risk prevention and emergency management of water and mud inrush in underground engineering construction under karst geological conditions

Pan Zhou

Middling coal Jiangnan Construction Development Group Co., Ltd. Foshan Branch, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

Karst geological conditions have strong concealment, complexity, and uncertainty, which bring huge risks of water and mud inrush to urban foundation pit engineering construction. Such disasters often occur suddenly and have strong destructive power, which can easily cause casualties, equipment damage, and project delays. This article focuses on foundation pit engineering, systematically analyzes the risk causes of water and mud inrush in karst development areas, constructs a risk prevention and control technology system covering the entire process of survey, design, and construction, and elaborates on a scientific and effective emergency management mechanism. By implementing a comprehensive strategy of “precise survey, proactive prevention and control, dynamic management, and rapid response”, the aim is to provide theoretical basis and practical guidance for the safe and efficient construction of foundation pits in karst areas.

Keywords

karst geology; Excavation engineering; Sudden influx of water and mud; Risk prevention and control; emergency management

岩溶地质条件下地下工程施工突水突泥风险防控技术与应急管理

周盼

中煤江南建设发展集团有限公司佛山分公司，中国·广东广州 510000

摘要

岩溶地质条件具有极强的隐蔽性、复杂性和不确定性，给城市基坑工程施工带来了巨大的突水突泥风险。此类灾害往往发生突然、破坏力强，易造成人员伤亡、设备损毁和工程延误。本文聚焦于基坑工程，系统分析了岩溶发育区基坑突水突泥的风险成因，构建了涵盖勘察、设计、施工全过程的风险防控技术体系，并阐述了科学有效的应急管理机制。通过实施“精准勘察、主动防控、动态管理、快速响应”的综合策略，旨在为岩溶地区基坑工程的安全、高效施工提供理论依据和实践指导。

关键词

岩溶地质；基坑工程；突水突泥；风险防控；应急管理

1 引言

随着我国城市化进程不断向前推进，下空间开发规模已扩大，致使大量基坑工程穿越岩溶发育区域。岩溶貌中存在溶洞、溶隙等不良质体，构成了复杂下储水和导水网络。在工程活动扰动作用下，极易打破原有平衡状态，进而诱发突水突泥灾害。此类灾害会对人员安全构成威胁，引发连锁反应，造成极为巨大经济损失。因此，构建岩溶基坑突水突泥风险防控与应急管理体系，是保障工程安全的关键。本文

将从风险成因分析防控关键技术应急管理机制这三个方面展开论述。

2 岩溶基坑突水突泥风险成因分析

2.1 质条件方面存在先天不足

岩溶发育区域质结构本身具备显著高风险特性，在这类区域，通常发育着密集溶隙和溶洞网络，这些下空间不但为下水储存提供了巨大容蓄空间，而且更为其运移创造了复杂通道系统，而这些岩溶空隙中充填物往往是以松散软弱黏土或者砂砾为主，其结构强度极低，在受到水流作用时极易被冲蚀携带，进而形成物质流失^[1]。与此同时，上覆土层中常常发育着形态各异的土洞，这些土洞稳定性极差，对地表

【作者简介】周盼（1988—），男，中国河南内乡人，本科，高级工程师，从事建筑工程研究。

工程构成严重威胁，这些不良质体共同构成了岩溶区工程灾害发生物质基础，其空间分布随机性、规模大小不确定性和充填状态差异性，直接决定了工程建设风险等级，特别需要注意的是，岩溶发育具有高度性、非均质性和各向异性，这使勘察难以全面准确掌握其分布规律，给工程建设带来了极大幅度不确定性和潜在风险。

2.2 水文环境呈现复杂性

岩溶区水文质环境具有极其复杂特性，岩溶泄水系统通常表现出强烈空间分布不均匀性，水量极为丰富，并且水力联系错综复杂，动态变化十分显著，在基坑开挖过程中，一旦揭穿承压含水层或者与下暗河大型溶洞管道系统连通，巨大水头压力差将会驱动下水体以高速涌入基坑，同时携带大量充填物，造成灾难性后果，降雨入渗作为岩溶泄水系统重要补给来源，能够迅速通过岩溶通道下渗补给下水，在短时间内显著抬升下水位，进一步加剧工程风险，这种水文质环境复杂性还体现在岩溶水系统响应速度极快，往往在降雨后数小时内就能观测到明显下水位变化，给工程预警和应急处理带来极大挑战。

2.3 工程活动产生扰动诱发灾害

基坑工程中开挖、降排水等施工作业是岩溶质灾害发生的直接诱因，开挖卸荷过程会显著改变岩土体原始应力状态，这种应力重分布可能压垮原本处于平衡状态溶洞顶板或者侧壁，形成新导水通道，破坏原有水文质环境，不合理降水方案会形成过大人工水力梯度。这种急剧水力条件变化会加速对充填物潜蚀和冲刷作用，最终导致关键隔水岩盘突然溃决，引发灾难性突水突泥事故。不仅如此施工过程中爆破作业、重型机械振动等动荷载作用也会持续削弱不良质体稳定性，降低岩土体结构强度，这些工程扰动因素往往相互耦合相互促进，形成一个复杂连锁反应机制。

3 突水突泥风险防控关键技术体系

3.1 精细化勘察与精准探测技术

在岩溶区开展工程勘察工作时，若仅仅依赖传统钻探手段，鉴于其存在“以点带面”局限性，极易容易遗漏钻孔之间隐蔽岩溶发育带，以至于难以全面把握岩溶空间分布复杂性。因此，必须在传统勘察基础之上，系统性运用高密度、电质雷达浅层震等综合物探方法来开展大范围面上普查工作。这些技术能够快速对勘察区域进行扫描，凭借捕捉层物性参数差异，有效识别和初步圈定下可能存在溶洞、土洞等不良质体异常区域，为后续精细勘探提供科学靶向，进而实现对场岩溶发育情况宏观控制。

在初步圈定异常区域之内，则需要转向更高精度点上探测工作，通过应用跨孔、CT透视和钻孔电视摄像等技术，就如同对石体进行“微创手术”一样，能够精确揭示目标溶洞三维形态具体规模、充填物性质和其与拟建基坑关键空间关系。与此同时，构建一个完善下水位动态长期监测网络是

至关重要，该网络通过持续记录不同含水层水位水温动态数据，其目的在于掌握岩溶下水与大气降水及表水力联系和其季节性变化规律，为准确评估岩溶塌陷风险基坑突涌可能性和制定科学止水帷幕与支护设计方案提供不可或缺精准数据支撑。

3.2 主动式岩溶处理与帷幕截水技术

基于详实岩溶勘察成果，对于已识别基坑周边及底板下高风险岩溶通道必须采取主动预处理治理原则，针对埋藏较浅规模较小溶洞或土洞，通常选用压力注浆填充加固，或者直接把混凝土等刚性材料当作填充物，目标在于有效提高洞体及其周围岩土密实度整体性和承载强度，从而消除因洞顶坍塌或基础不均匀沉降带来的潜在威胁，这一预处理策略是确保基坑及后续结构物基础稳定的首要环节。

对于那些规模较大并且与区域下水力联系密切大型导水通道，因其是基坑发生突水突泥重大风险主要路径，所以需采取更为根本性截断措施，此时，必须在基坑外围施作垂直防渗帷幕（高压旋喷桩帷幕或者下连续墙），或者在坑底实施水平封底帷幕，以构筑一道封闭可靠截水系统^[2]。该帷幕体系深度与平面范围必须依据水文模型进行严格计算与设计，确保其能够有效嵌入相对隔水层或者足够深度，从而彻底隔断主要含水层与基坑之间水力联系，从根源上封堵突涌通道，为基坑干作业施工提供本质安全环境。

3.3 施工过程动态监控与信息化管理

在岩溶区进行基坑施工，必须建立并实施一套全过程动态监控体系，以应对复杂条件带来的不确定性，该体系核心在于对关键指标实时监测，包括基坑内外水位波动支护结构体位移与应力变化，和周边建筑物管线沉降等方面。与此同时，在土方开挖与支护作业全过程中，应派设专业质量工程师进行跟踪编录，将实际揭露层岩性岩溶发育情况与前期勘察成果进行及时比对与验证，这一系统性数据采集工作是实现风险可知可控基础。

所有监测数据与质量信息均应汇集至统一信息化管理平台，利用大数据分析技术，追踪其变化趋势，进而对潜在风险（如支护失稳突涌可能性增大）进行科学预测与超前预警，当监测数据表明出现异常情况，坑内涌水量突然增大水体变浑浊，或者结构变形速率超过控制标准时，必须马上启动预设应急预案，这要求管理团队能够根据实时反馈信息，快速决策并动态调整开挖顺序支护参数或降排水方案，形成“监测—预警—响应—优化”闭环管理，从而将施工风险始终控制在可控范围之内。

4 科学高效的应急管理机制构建

4.1 应急预案编制与演练

在开工之前，必须基于风险评估所获详细结果，来开展编制内容详实且操作性强的专项应急预案这项工作，该预案制定过程需要全面考量作业环境、施工工艺和潜在风险

类型等諸多方面，以此确保其能够成为现场应急行动精准指南。预案内容应当系统性明确应急指挥体系、组织架构和各岗位具体职责分工，设定清晰合理的预警信息分级标准和发布程序，并且细化从接警到启动处置乃至恢复完整响应流程。同时，预案之中还需要具体规定不同情境下应急处置措施所需应急物资储备清单和保障机制，和确保人员安全撤离疏散路线图和集合点，预案完备性乃是实现高效应急响应基础所在。

预案编制完成之后，绝不能将其搁置不用，必须通过定期组织实战化演练来检验其有效性。此类演练应当覆盖所有参建单位，模拟真实事故场景，重点考察信息传递和指挥决策、资源调配、协同作战等关键环节。通过反复演练，能够客观评估预案中各个环节的科学性与合理性，检验各部门各单位之间协调配合是否顺畅高效。演练过程同时也是发现问题、弥补漏洞、优化预案的宝贵契机，能够使其更贴合实际工作需要，避免预案与实际操作出现脱节情况。

持续进行演练根本目标在于提高整体应急能力，通过模拟真实紧张氛围，让全体参建人员熟悉应急预案内容和自身在应急状态下的职责，有效增强应对突发事件意识和心理素质，这种常态化训练能够促使应急知识转化为本能反应，确保在事故真正发生之时，现场人员能够做到心中有数行动有方，整个应急响应过程能够忙而不乱紧张有序，从而最大限度控制事态发展减少损失，切实保障生命财产安全。

4.2 应急资源保障与快速响应

施工现场必须设立专门应急物资仓库，把储备充足抢险物资当作保障安全生产的重要基础来使用。仓库内应当分类存放各类关键物资，大功率排水泵、沙袋、水泥、水玻璃等注浆材料和不同规格型钢支撑等，所有物资储备数量需满足突发险情时紧急需求。同时，要建立严格物资管理制度，对库存物品进行定期检查维护和更新，确保水泵能够正常启动沙袋完好无破损注浆材料无结块失效型钢无锈蚀变形，始终保持随时可用良好状态。

在管理机制方面，必须严格执行24小时应急值班制度，确保任何时段都有专人负责值守，信息传递渠道畅通无阻，值班人员需要熟悉应急预案流程，能够准确接收记录和传达险情信息，一旦现场出现异常情况或发生突发事件，发现人员应当马上启动报警程序，并依据现场处置方案采取初步避险与控制措施，如疏散人员设置警戒区域或进行前期堵漏等，为后续专业抢险争取宝贵时间。

险情发生之后，现场应急指挥部应当迅速研判险情等级，立即启动相应级别应急响应程序，指挥部需要快速调动储备应急物资，统筹协调抢险队伍机械设备等各类资源，有序组织现场抢险作业。通过科学指挥与高效协作，力争在事

故发生初始阶段就有效控制险情发展态势，最大限度减少事故可能造成人员伤亡与财产损失，切实保障施工现场及周边环境安全稳定。

4.3 灾后处置与恢复重建

当险情得到有效控制之后，应当立即着手开展全面细致灾后评估工作，这项工作不但需要对事故发生的直接原因进行深入剖析，还需要系统评估事故对工程主体结构造成损害程度，支护体系变形情况、主体构件开裂状态和基础部分稳定性等。同时，必须科学研判此次险情对周边环境所产生潜在影响，包括邻近建筑物、下管线道路及地层沉降等方面变化，这一系统评估过程是后续制定一切决策与方案的不可或缺的科学依据。

在完成全面评估基础之上，需要制定严谨可靠恢复重建技术方案，该方案应当具备针对性与可操作性，对于发生溃口，不能仅进行表面封填，而必须从结构内部进行彻底回填与注浆加固，确保其长期稳定性；对于已受损支护体系，则需要根据评估结果采取补打支护桩、增设内支撑或粘贴钢板等进行系统性修复与补强；对于经历险情基坑工程，必须重新进行严格安全稳定性论证，所有修复工作都必须以恢复并确保工程永久安全为目标。

在恢复施工前，必须经过严格联合验收，确认所有因险情产生的安全隐患均已彻底消除，施工现场各类安全条件已完全恢复到可控安全状态^[3]。除此以外，整个事件教训需要被深刻总结，从技术方案、管理流程及人员培训等多个维度查找不足，进而修订和完善后续施工安全防控措施与应急预案，形成闭环管理，切实提升项目整体风险抵御能力。

结束语：在岩溶基坑工程施工进程当中，突水突泥风险乃是对工程安全造成制约的核心挑战所在，针对这一挑战予以应对时，需要秉持“预防为主防控结合”原则来开展相关工作，要通过精细化勘察方式去识别风险源；构建起一套全方位技术防控体系，该体系涵盖主动处理帷幕、截水和动态监控等方面，以此来消除风险；最后，还需要辅以科学应急管理体系，此应急管理体系包括编制预案、保障资源和建立响应机制等内容。只有把技术手段与管理措施进行融合，从而形成全生命周期风险管理闭环，才能够驾驭岩溶所具有的复杂性，进而确保基坑工程可以安全且顺利实施。

参考文献

- [1] 尼玛扎桑.复杂地质环境下的隧道施工技术研究[J].葡萄酒, 2023(11):0022-0024.
- [2] 邓磊磊.不良地质条件下隧道施工方法探讨[J].科技创新与应用, 2022(028):012.
- [3] 李欣喆,董辉.复杂地质条件下隧道施工技术探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(2):4.