

复杂地质条件下建筑工程施工技术管理与风险防控体系研究

黄绪棠

江西可欣建设工程有限公司 江西九江 332000

摘要：复杂地质条件是建筑工程领域面临的主要挑战之一，其不确定性高、隐蔽性强，对施工安全、质量、工期和成本构成严重威胁。本文系统研究了复杂地质条件对建筑工程施工的影响机制，分析了不同地质类型对施工技术的具体制约因素及风险的传导路径。在此基础上，提出了以地质条件适配性为核心的施工技术管理策略，包括施工技术的动态选择、基于实时监测的反馈机制、施工工艺的定向优化以及信息化与智能化技术的深度融合。研究重点在于构建一个系统化的风险防控体系，该体系涵盖从风险识别、评估到组织保障、技术措施和应急预案的全过程，并强调了协同管理与信息共享在风险防控中的关键作用。本文旨在为复杂地质条件下的建筑工程提供一套科学、高效、可操作的技术管理与风险防控框架，以提升工程建设的整体安全水平与经济效益。

关键词：复杂地质条件；施工技术管理；风险防控；动态监测

引言

随着我国基础设施建设的持续深入，建筑工程面临的场地条件日趋复杂，如高陡边坡、深厚软土、岩溶发育区、富水砂层等地质环境已成为常态。这些复杂地质条件具有高度的变异性、不确定性和隐蔽性，给工程勘察、设计、施工及后期运营带来了前所未有的挑战。传统的依赖静态勘察报告和经验判断的施工管理模式，在应对复杂地质问题时显得力不从心，常导致工程事故频发、投资失控、工期延误。因此，研究如何建立一套适应复杂地质条件的现代化施工技术管理体系，并构建与之匹配的风险防控机制，已成为保障工程建设成功、推动行业技术进步的迫切需求。

一、复杂地质条件对建筑工程施工的影响机制

（一）复杂地质条件的类型与特征

复杂地质条件可具体划分为若干典型类型。第一类是软弱地基，如淤泥、淤泥质土和冲填土，其特征是含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低，直接导致地基承载力不足，工后沉降量大且稳定时间长。第二类是特殊性岩土，如膨胀土、湿陷性黄土和多年冻土，其物理力学性质随水、温等外界条件剧烈变化，引发地基胀缩、溶陷或融沉，对基础和上部结构造成周期性或不可逆的损害。第三类是不良地质构造，如断层破碎带、岩溶洞穴和采空区，其特征是岩体完整性差、强度不均、存在地下空洞，易引发基坑失稳、隧道塌方、地面塌陷

等突发性地质灾害。第四类是高应力与富水环境，如深埋隧道和高水头地层，高地应力可能导致岩爆，而富水环境则增加了施工涌水、突泥的风险，并降低了土体和岩体的有效应力，加剧了围岩失稳的可能性^[1]。

（二）地质条件对施工技术的制约因素

地质条件对施工技术的制约体现在多个层面。对于地基处理技术，软弱地基限制了常规浅基础的适用性，迫使工程采用桩基、筏板基础或进行地基加固，如真空预压、强夯或水泥土搅拌桩，这些技术本身成本高、工期长。对于基坑开挖与支护技术，在富水砂层或软土地层中，传统的放坡开挖无法实现，必须采用地下连续墙、排桩加内支撑等刚性支护，并配合降水或止水措施，技术复杂度和风险显著增加。对于隧道与地下工程施工，在断层破碎带或岩溶区，钻爆法易引发超挖或塌方，而盾构法则可能面临刀盘磨损、姿态失控和涌水等难题，迫使施工方采用超前地质预报、管棚支护、注浆加固等辅助工法，大幅增加了技术难度和工程投入。

（三）地质风险在施工过程中的传导路径

地质风险的传导具有明确的因果链。初始的地质不确定性，如勘察未发现的软弱夹层或地下溶洞，是风险的源头。该风险在施工扰动下被激活，例如基坑开挖卸荷导致土体应力重分布，或隧道掘进破坏了原有水力平衡。风险激活后，通过岩土介质和结构体系进行传递，表现为支护结构变形过大、地表沉降超限、周边建筑物开裂等次生效应。若控制措施不及时或失效，风险将进

一步放大,最终演变为工程事故,如基坑整体滑塌、隧道掌子面涌水突泥,造成人员伤亡、设备损毁和工期延误。这一传导过程表明,风险并非孤立事件,而是一个动态演化的过程,早期识别和干预是阻断其传导的关键。

(四) 地质环境与施工管理的相互作用关系

地质环境与施工管理之间存在双向的、动态的相互作用。一方面,地质环境是施工管理的客观约束条件,决定了技术方案的选择、资源的投入和管理重点。一个地质条件复杂的工程,必然要求更高精度的监测、更严格的施工控制和更完善的风险预案。另一方面,施工活动作为一种强力的外界干预,会主动改变地质环境的初始状态。例如,大规模的土方开挖改变了场地内的水文地质和应力场;降水工程改变了地下水的渗流路径和分布。这种改变可能诱发新的地质问题,反过来对施工管理提出新的要求。因此,施工管理不能是静态的、被动的,而必须是动态的、适应性的,能够根据施工过程中地质条件的变化及时调整管理策略^[2]。

二、复杂地质条件下的施工技术管理策略

(一) 施工技术选择与地质条件的适配性分析

施工技术选择的核心是适配性。适配性分析要求在施工前,基于详尽的勘察资料,对备选技术方案进行定性和定量评估。定性评估包括分析各技术方案的适用地质范围、施工难易程度、对环境的扰动程度等。例如,在敏感城区,振动和噪音小的静压桩比冲击钻成孔灌注桩更具适应性。定量评估则需结合数值模拟和工程类比,计算不同方案下的结构受力、变形及稳定性指标,预测其对周边环境的影响。适配性分析的目标是找到技术上可行、经济上合理、风险上可控的最优方案,避免因技术选择不当而埋下隐患。这一过程需要地质工程师、结构工程师和施工工程师的深度协同。

(二) 施工过程中的动态监测与反馈机制

动态监测是应对地质不确定性的核心手段。监测系统应具备全面性、实时性和预警性。全面性指监测内容应覆盖地质、结构和环境三个层面,包括土体深层位移、地下水位、支护结构内力、周边建筑物沉降和裂缝等。实时性要求利用自动化监测设备,如全站仪、静力水准仪、测斜仪和孔隙水压力计,实现数据的连续采集和无线传输。预警性则是根据设计规范和工程经验,设定各监测项目的控制值和预警值,一旦数据超限,系统能自动报警。反馈机制是监测的延伸,其核心是“监测-分析-预测-调整”的闭环。监测数据实时反馈给项目技术

团队,通过数据分析判断当前施工状态是否安全,并利用数值模型预测下一步施工可能带来的风险,据此指导施工方调整开挖速度、支护参数或采取补救措施,实现信息化施工^[3]。

(三) 施工工艺优化与技术创新路径

施工工艺优化是提升复杂地质条件下施工效率和安全性的直接途径。优化方向包括:第一,工序的精细化调整。例如,在软土基坑开挖中,采用“分层、分段、对称、平衡”的开挖原则,并严格控制每层开挖深度和支护暴露时间,以减少对土体的扰动。第二,设备与工法的改进。例如,针对富水砂层中的盾构施工,优化刀盘刀具配置,采用泡沫剂或膨润土改良渣土,并同步实施同步注浆,以有效控制掌子面稳定和地表沉降。技术创新路径则指向更前沿的领域,如研发适用于极端地质条件的新型施工装备,探索基于人工智能的施工参数智能调控技术,以及发展绿色、低扰动的施工工法,从源头上降低施工对复杂地质环境的负面影响。

(四) 技术管理中的信息化与智能化应用

信息化与智能化是提升复杂地质条件下技术管理水平的必然趋势。信息化应用体现在构建建筑信息模型和地理信息系统集成的三维可视化平台。该平台整合了地质勘察数据、设计模型、施工进度和监测信息,形成“数字孪生”工程,使项目各方能够直观、全面地掌握工程状态。智能化应用则更进一步,通过引入大数据分析和机器学习算法,对海量的监测数据进行深度挖掘,识别出人工难以发现的异常模式和潜在风险关联。例如,通过分析历史监测数据与施工参数,可以训练出预测地表沉降的智能模型,为后续施工提供更精准的指导。此外,智能化的风险预警系统能够自动生成风险评估报告和处置建议,辅助管理人员进行科学决策,将技术管理从经验驱动提升至数据驱动。

三、复杂地质条件下的风险防控体系构建

(一) 风险识别与评估方法

风险防控始于精准的识别与评估。风险识别需要系统化的方法,如工作分解结构法,将整个工程项目分解为若干子工序,逐一分析每个工序在特定地质条件下可能遇到的风险源,如塌方、涌水、沉降过大等。同时,结合专家调查法和历史事故案例库,进行补充和完善。风险评估则是在识别的基础上,对风险的发生概率和潜在后果进行量化或半量化分析。常用的方法包括风险矩阵法,将概率和后果划分为不同等级,确定风险等级;

以及故障树分析法,从顶事件(如基坑坍塌)出发,逐层向下分析导致其发生的中间事件和底事件,揭示风险逻辑关系。评估结果应形成详细的风险清单,明确各风险点的等级、成因和可能影响,为后续防控措施的制定提供依据^[4]。

(二) 风险防控的组织保障与制度设计

有效的风险防控需要坚实的组织保障和完善的制度设计。组织保障方面,应成立由项目经理牵头,技术、安全、质量、施工等部门负责人组成的专项风险管理小组,明确各成员的职责与权限,确保风险防控指令能够快速传达和执行。制度设计方面,需建立一系列规章制度,包括:第一,风险分级管控制度,根据风险评估结果,对不同等级的风险实行差异化管理,重大风险由公司层面重点监控。第二,地质条件动态会商制度,定期或根据监测数据异常情况,组织地质、设计、施工专家进行会商,研判地质变化趋势,调整施工方案。第三,安全责任追究制度,将风险防控责任落实到具体岗位和个人,并与绩效考核挂钩,形成全员参与的风险防控文化。

(三) 风险防控的技术措施与应急预案

技术措施是风险防控的物质基础,应具有针对性和前瞻性。针对已识别的高风险点,需预先制定专项技术方案。例如,对预测可能发生涌水的隧道段,提前进行超前钻探和帷幕注浆,形成止水圈;对邻近重要建筑物的基坑,采用隔离桩或地基加固等措施,保护既有结构。应急预案则是应对突发风险的最后一道防线,其核心是“快速响应、有效处置”。预案应明确应急组织机构、人员职责、通讯联络方式、应急物资储备位置和调用程序。针对不同类型的突发事件,如涌水、塌方、火灾等,制定详细的现场处置流程,包括人员疏散、抢险救援、技术处理和信息上报等步骤。应急预案必须定期组织演练,确保其在真实情况下能够有效启动和执行^[5]。

(四) 风险防控的协同管理与信息共享机制

复杂地质条件下的风险防控是一个系统工程,需要多方参与和协同管理。协同管理要求打破建设单位、设计单位、施工单位、监理单位和勘察单位之间的壁垒,建立常态化的沟通协调机制。通过定期召开风险防控联席会议,共享信息,共同研判,形成管理合力。信息共享机制是协同管理的技术支撑,应建立一个统一的风险管理信息平台。该平台应具备数据录入、查询、分析和

预警功能,各参建单位可将勘察数据、设计变更、施工日志、监测报告、安全检查等信息实时上传至平台。平台对信息进行整合分析,将风险状态和预警信息推送给相关责任人,实现风险信息的透明化和可视化,避免因信息孤岛导致的决策失误和响应延迟,从而提升整个项目风险防控的效率和效果。

结语

复杂地质条件下的建筑工程施工,其本质是一个人类工程活动与不确定自然地质环境相互作用的过程。传统的静态、经验型管理模式已难以应对这一过程的复杂性和动态性。本文研究表明,构建一套以“动态监测—反馈控制”为核心的技术管理体系,和一套以“全过程、多主体协同”为特征的风险防控体系,是解决该问题的根本途径。技术管理的核心在于通过信息化、智能化手段,提升对地质条件变化的感知能力和施工过程的调控能力。风险防控的核心在于通过组织保障、制度设计和协同机制,将风险管理的理念贯穿于项目全生命周期。未来的发展方向,是进一步深化地质勘察与施工过程的融合,发展更精准的地质预报技术和更智能的施工控制技术,并将风险防控体系与智慧工地建设深度融合,最终实现复杂地质条件下建筑工程施工的安全、高效、绿色与可控,为我国高质量基础设施建设提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1]李海洋.复杂地质条件下桩基施工技术与管理控制研究[J].冶金丛刊,2022(003):007.
- [2]黄鑫.对复杂地质条件下铁路隧道施工技术研究[J].建筑技术开发,2019.DOI: CNKI: SUN: JZKF.0.2019-02-033.
- [3]翟文娟.BIM技术在遗址建筑加固施工中的应用——基于风险管理的应用研究[D].西南科技大学,2019.
- [4]周予启,刘卫未,薛刚,等.复杂条件下超深基坑变形控制关键技术研究与应用[J].建设科技,2022(007):000.DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2022.07.020.
- [5]向义雄,张文新.复杂地质下超大直径泥水平衡盾构施工管理与风险控制[J].低温建筑技术,2021.DOI: 10.13905/j.cnki.dwjz.2021.07.032.