

地质技术服务工程项目全过程风险管理研究

譚 鑫^{1, 2}

(1. 湖南省核地质与核技术应用中心, 湖南 长沙 410006;

2. 湖南省电离辐射计量与仪器工程技术研究中心, 湖南 长沙 410006)

摘 要 针对地质技术服务工程中风险因素复杂及全过程管理难度大的问题, 本文结合工程实例对全过程风险管理方法进行了研究, 以邵阳市桃花新城 1-10# 地安置地项目为例, 在分析场地岩溶发育、杂填土厚度变化大及地形起伏明显等地质条件的基础上, 系统识别了勘察、设计及施工阶段的主要风险类型。基于勘察数据, 采用风险矩阵法对风险进行定性与半定量评估, 构建了全过程风险管理技术路线, 并提出针对性的控制措施, 以期对相关 人员提供参考。

关键词 地质技术服务; 风险管理; 岩溶; 桩基础; 全过程控制

中图分类号:P624; TU714

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2026.21.022

0 引言

复杂地质条件下工程建设的安全性及稳定性在很大程度上依赖于地质技术服务的支撑水平。随着矿产开发、地下工程建设及城市基础设施建设的不断推进,地质技术服务工程在工程决策、设计优化及施工安全保障中的作用日益凸显。然而,受地质体隐蔽性强、岩土介质非均质性显著及水文条件动态变化等因素影响,工程场地地质条件往往具有较强的不确定性。同时,工程扰动作用又进一步加剧了地质环境的复杂性,使得地质技术服务工程在实施过程中面临多阶段、多类型的风险问题。尤其在岩溶发育区、厚层填土区及地形起伏较大的场地条件下,风险具有空间离散性强、演化过程复杂等特点。现有研究多聚焦单一阶段或单一类型风险分析,缺少结合工程实践的全过程风险管理研究。因此,有必要结合具体工程案例,从全过程视角出发,对地质技术服务工程项目中的风险识别、评估及控制方法进行系统分析。基于此,本文以邵阳市桃花新城 1-10# 地安置地项目为依托,在总结场地工程地质条件特征的基础上,对全过程风险进行系统识别与评估,并提出针对性的风险控制措施,以期为类似复杂地质条件工程提供参考。

1 工程概况与地质条件

1.1 项目基本情况

桃花新城 1-10# 地安置地项目位于邵阳市桃源路附近，为多栋住宅建筑组成的集中安置区。拟建建筑

以多层住宅为主, 结构形式为底框—砖混结构, 建筑高度约 18.45 m, 基础形式以桩基础为主。据工程勘察资料, 项目场地共布置钻探点 266 个, 勘察等级为乙级。工程重要性等级为三级, 场地复杂程度及地基复杂程度均为二级, 属于具有一定复杂性的岩土工程勘察项目。

1.2 场地地形地貌与环境条件

拟建场地位于丘陵地貌区,原始地形主要由田埂、民房及小型山包组成,经前期场地平整后整体起伏仍较明显。勘察资料显示,场地地面高程约为247.42 m~276.65 m,最大高差达29.23 m,地形变化较大。区域气候属亚热带季风湿润气候,降雨量充沛且季节性明显,其中3-8月为主要降雨期。受降雨影响,场地雨季易形成土层滞水,对基础施工与地基稳定性产生不利影响。总体来看,场地地形起伏较大、气候水文条件复杂,对工程建设及地质风险控制不利。

1.3 地层结构特征

根据勘察成果,在本项目勘察深度范围内,场地地层自上而下主要分为三类:

1. 杂填土层。该层分布于场地大部分区域, 厚度变化较大, 约为 0.50 m~27.30 m。土体结构松散, 组成复杂, 主要为黏性土夹碎石及建筑垃圾, 具有高压缩性和不均匀性, 工程力学性质较差, 不能作为天然地基持力层。

2. 黏土层。该层为残积成因黏土, 呈可塑至硬塑状态, 具有中等压缩性, 土体相对均匀, 可作为基础持力层, 但受水影响明显, 遇水易软化。

作者简介: 谭鑫 (1973-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 管理科学与工程。

3. 中风化灰岩层。该层为场地下伏基岩, 岩体整体较完整, 承载力高, 变形性小, 可作为良好的持力层。但由于其为可溶性岩石, 在长期地质作用下形成不同程度的岩溶发育现象, 对地基稳定性产生一定影响。

2 地质技术服务工程项目全过程面临的风险

2.1 基础地质资料失真与风险源识别不足

在地质技术服务中, 基础地质资料的准确性直接决定后续风险识别与控制效果。地质体普遍具有非均质性和潜伏性特征, 单纯依赖有限钻孔、槽探或区域资料, 容易造成关键不良地质体识别偏差。以桃花新城 1-10# 地安置地项目为例, 场地上覆杂填土厚度变化范围约为 0.50 m ~ 27.30 m, 空间分布不均匀, 增加了地层判定的复杂性。同时, 根据勘察统计结果, 整体场地见洞隙率约为 29.7%, 岩溶发育受节理裂隙控制呈明显离散分布特征, 在有限勘探点条件下, 仍存在局部岩溶漏判或识别不足的风险^[1]。在此情况下, 一旦前期资料对地层结构参数、水文地质条件及岩土力学指标揭示不充分, 将直接影响后续风险评价与技术方案制定, 使工程在初始阶段即存在系统性不确定性。尤其是在岩溶发育及地层变化较大的场地条件下, 该类风险更为突出^[2]。

2.2 技术方案适配不足与过程参数失控

地质技术服务工程项目不是静态的, 它的方案设计、技术路线、实施参数要同现场揭露条件保持高度一致。前期技术方案对地层条件、施工扰动方式、地下水响应规律、周边敏感目标考虑不周, 很容易造成项目实施过程中技术适配性降低。结合本项目实际情况, 场地地形起伏较大, 最大高差约为 29.23 m, 同时地层结构变化明显, 上覆杂填土厚度差异较大且下伏灰岩存在不均匀岩溶发育。在此条件下, 若勘探布置密度、测试方法或参数选取未充分反映地层变化特征, 将导致风险评价结果与实际工况偏离。对需要现场跟踪服务的项目来说, 一旦推进速度、注浆压力、监测频率、支护时机或者排水强度等重要参数控制不当, 就会造成变形异常、渗流失稳、地表沉降、围岩松动乃至灾害链式放大^[3]。

2.3 监测预警滞后与风险演化研判不足

在本项目中, 虽然勘察期间未揭露稳定地下水, 但考虑区域气候条件, 在降雨集中时段场地可能形成上层滞水, 对土体强度及地基稳定性产生影响。如果监测体系仅依赖局部点位观测或周期性人工巡查, 难

以及时捕捉位移、孔隙水压力及渗流变化等多因素耦合特征。地质风险一般不是突然形成, 在荷载变化、开挖扰动、地下水位变化、降雨入渗、设备运行偏差等因素共同作用下逐渐积累到一定程度, 才会达到危险的临界点。若监测体系仅局限于局部点位观测、人工周期性巡查、单一参数采集, 难以及时识别位移、土压力、孔隙水压力、渗流量、振动频率、设备工况等多因素异常联动^[4]。在城市敏感区、软弱地层、深埋工程以及富水断裂带等场合, 风险演化速度很快, 预警窗口很短, 如果监测频率、传输速度和分析能力跟不上, 很容易错过早期处置的良机。

3 地质技术服务工程项目全过程风险管理措施

3.1 岩溶风险控制措施

针对本项目场地岩溶发育特征, 结合勘察成果, 在工程实施中宜采用以桩基础为主的处理方式, 通过桩体穿越岩溶发育区, 将荷载传递至稳定的中风化灰岩持力层。为保证基础稳定性, 应控制桩端进入完整中风化灰岩的深度, 一般不小于 3 ~ 5 倍桩径且不小于 5.0 m。对于局部发育的溶洞及溶槽等不良地质体, 可根据其规模及充填情况, 采取水泥压力注浆等加固措施, 以改善地基整体性并提高承载性能^[5]。

此外, 基于本项目钻探资料、原位测试结果及室内岩土试验成果, 结合现场地质特征分析及工程经验, 并参考相关规范与地区经验, 对各岩土层主要工程参数进行综合确定, 其建议取值见表 1。

3.2 杂填土处理措施

针对本项目场地上覆杂填土厚度变化较大(约 0.50 m ~ 27.30 m)且结构松散、压缩性高的特点, 应采取针对性的地基处理措施, 以降低地基不均匀变形风险。对于厚层杂填土区域, 可根据填土厚度及工程要求, 采用挖除换填、分层压实或桩基础穿透等处理方式, 以提高地基承载力并改善整体均匀性。其中, 当杂填土厚度较大且不具备整体处理条件时, 宜优先采用桩基穿透处理, 将荷载传递至下伏稳定地层。在桩基施工中, 为保障成孔质量与孔壁稳定性, 应按地层条件采用钢护筒或泥浆护壁, 合理控制孔底沉渣厚度, 减小对桩端承载性能的不利影响。

3.3 桩基施工风险控制措施

针对本项目施工阶段可能出现的塌孔、卡钻及岩溶不良影响等风险, 应结合场地地基条件及工程经验, 采取针对性的桩基施工控制措施, 以确保成桩质量与

表 1 各岩土层岩土工程参数建议值

土层名称及层号	承载力特征值(kPa)	天然（饱和）重度（kN/m³）	黏聚力标准值（kPa）	内摩擦角标准值（°）	压缩模量（MPa）	岩土对挡土墙基底的摩擦系数 μ
杂填土①	80	18.0 （18.5）	7.0 （4.0）	9.0 （7.0）	3.0	/
黏土②	180	18.7 （19.0）	35.4 （32.0）	14.8 （12.0）	7.75	0.25
中风化灰岩③	6 000	25.0	1 000.0	40.0	6 000*	0.65

（注：1. 带 * 为变形模量；2. 表中杂填土的承载力及压缩模量供地基处理时采用；3. 杂填土①及中风化灰岩③的抗剪强度为经验值，粘土②的抗剪强度试验方法为直接快剪法；4. 表中“（ ）”外的抗剪强度指标为一般工况时的数据，“（ ）”内的数据为暴雨工况时的数据。）

基础稳定性。在一般地层及松散杂填土条件下，施工过程中宜采用泥浆护壁或钢护筒护壁措施，并结合分级成孔技术，以提高孔壁稳定性并减少塌孔风险。在岩溶发育区施工时，针对溶洞及溶槽等不良地质体，可采用回填片石或注浆加固等方式进行处理，以提高桩基成孔稳定性及整体承载性能^[6]。结合本项目地层结构特征及邻近工程经验，桩基形式可优先考虑旋挖灌注桩或机械冲孔灌注桩。两种桩型均可穿越上覆杂填土与黏性土层，嵌入下伏中风化灰岩持力层，适应性良好。其中，旋挖灌注桩施工效率较高、适应性强，但对孔底沉渣控制要求较高；机械冲孔灌注桩成桩质量稳定、适用范围广，但施工周期相对较长。在具体工程中，应结合施工条件及进度要求合理选用桩型。

根据勘察资料，中风化灰岩作为主要持力层，其基岩面起伏较大且呈倾斜分布。为保证桩基受力稳定性，应适当增加桩端嵌岩深度，并控制相邻桩基桩端高程差满足规范要求。同时，由于该层为可溶性岩石，在岩溶发育区施工前应结合逐桩施工勘察成果，确保桩端置于稳定持力层中，桩端进入有效持力层深度宜控制为 3 倍～5 倍桩径且不小于 5.0 m。

局部区域以黏土层为桩端持力层时，为避免下伏岩溶对桩基稳定性的不利影响，应对下部基岩溶洞进行注浆加固，提升地基整体稳定性。

3.4 地下水控制措施

在雨季施工条件下，应设置截水沟、排水沟及集水井等设施，及时排除地表水及滞水，防止地基软化及施工环境恶化。地下水易导致桩孔壁侧阻力降低、桩底持力层软化；对桩基设计的影响主要体现在设计参数选取，对施工的影响主要为孔壁坍塌、孔壁与桩底持力层受浸软化，进而降低桩基承载力、增大灌注施工难度，因此桩基达到设计持力层标高后，应及时验槽与灌注。取土桩应强化护壁措施，防止施工中孔

壁垮塌。场地地下水采取降、排水措施时对周边环境有一定影响，基础施工时建议对场地周边的地下水位进行监测，以及时了解施工对周边地下水位的影响，并采取相应的处置措施。

4 结束语

在岩溶发育及厚层杂填土等复杂地质条件下，风险具有显著的不确定性和阶段性特征，其中岩溶发育及杂填土为主要控制性风险因素。通过构建“风险识别—风险评估—风险控制”的全过程管理技术路线，并结合工程实际提出桩基穿越、注浆加固及施工过程动态监测等措施，可有效降低地质风险并提高工程实施的安全性及稳定性，验证了全过程风险管理方法在复杂地质条件下的适用性。未来同类工程中，可进一步融合多源勘察手段与动态监测技术，强化风险信息实时获取与反馈机制，持续提升风险管理精细化、系统化水平，更好地保障复杂地质条件下工程建设安全实施。

参考文献：

[1] 张 汭, 王 琳. 金属矿山地质环境问题及治理措施分析[J]. 世界有色金属, 2024(23):112-114.

[2] 同 [1].

[3] 沈仕沐, 郑钦灶. 广东省龙川县老隆镇地质灾害风险评估与防控策略探讨[J]. 地质灾害与环境保护, 2025, 36(02):40-49.

[4] 于 涛. 医院财务成本核算与控制研究[J]. 中国品牌与防伪, 2024(11):122-124.

[5] 吴晨晨. 金属矿山地质环境恢复治理模式[J]. 世界有色金属, 2024(19):112-114.

[6] 牟文波. 金属矿山地质环境保护与恢复技术研究[J]. 中国金属通报, 2025(02):228-230.