

复杂地质条件下建筑工程深基坑施工安全风险评估与应对

文 / 赵玉阳 长江精工钢结构（集团）股份有限公司

摘要：在复杂多变的地质环境中，建筑工程深基坑的施工安全成了行业关注的焦点。深基坑作为高层及大型建筑的基础部分，其施工过程充满挑战，尤其是在地质条件复杂、环境因素多变的情境下，安全风险尤为突出。地质结构的不稳定性、地下水的复杂分布以及周边环境的敏感性，都可能对深基坑的施工安全构成严重威胁。因此，本文旨在探讨复杂地质条件下深基坑施工的安全风险评估方法，以及相应的风险应对策略，以期为建筑工程的安全施工提供有力支持。

关键词：复杂地质；建筑工程；深基坑施工；安全风险；评估

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.045

引言

近年来，我国政府高度重视建筑工程安全生产，出台了《中华人民共和国安全生产法》《建设工程安全生产管理条例》等一系列相关政策与法规，明确要求加强施工过程中的安全风险评估与防控工作。特别是在深基坑施工领域，相关政策更是强调了对地质条件的全面勘察、施工方案的科学设计以及施工过程中的严格监测与预警。因此，对复杂地质条件下的建筑工程深基坑施工进行系统的安全风险评估，并制定相应的风险应对策略，不仅是保障施工人员生命安全的迫切需要，也是落实国家安全生产政策、提升建筑工程整体安全水平的重要举措。

一、复杂地质条件下建筑工程深基坑施工安全风险评估与应对的意义

（一）保障施工安全

在复杂地质条件下，深基坑施工面临诸多不可预知的风险，如地质结构不稳定、地下水位高、土壤承载力低等。这些风险若未得到妥善处理，极有可能导致基坑坍塌、地下水渗漏、周边建筑物沉降等严重安全事故。因此，对施工过程进行全面的的安全风险评估，能够提前识别出潜在的安全隐患，为制定针对性的防范措施提供科学依据。通过实施有效的风险评估与应对措施，可以显著降低安全事故发生的概率，保障施工人员的生命安全，减少财产损失，确保工程的顺利进行。

（二）提高工程质量

深基坑施工是建筑工程中的关键环节，其施工质量直接影响到整个建筑物的稳定性和耐久性。在复杂地质条件下，若未充分考虑地质因素对施工的影响，盲目施工可能导致基坑变形、支护结构失效等问题，进而影响到后续的主体结构施工和建筑物的整体质量。通过安全风险评估，可以深入了解地质条件对深基坑施工的影响，从而在设计阶段就采取合理的支护措施和施工方法，确保基坑的稳定性和施工质量。同时，在施工过程中，通

过持续的风险监测和评估，可以及时发现并纠正施工质量问

（三）优化资源配置

深基坑施工涉及大量的资源投入，包括人力、物力、财力等。在复杂地质条件下，不进行科学的风险评估与应对，会导致资源配置不合理，造成资源浪费或资源短缺。同时，若未准确评估地质风险，可能过度投入支护结构材料，增加工程成本，或者因支护不足导致安全事故，造成更大的经济损失。因此，通过安全风险评估，可以合理预测施工过程中的资源需求，优化资源配置方案，确保资源的高效利用。这不仅可以降低工程成本，提高经济效益，还有助于提升施工企业的竞争力和可持续发展能力。

（四）推动技术创新

复杂地质条件下的深基坑施工对技术要求极高，传统的施工方法和技术手段往往难以满足实际需求。因此，通过安全风险评估与应对，可以激发施工企业和技术人员的创新动力，推动技术创新和进步。针对复杂地质条件下的基坑支护问题，可以研发新型支护材料和支护结构形式。针对地下水渗漏问题，可以探索先进的降水技术和防渗措施。这些技术创新不仅可以解决施工过程中的实际问题，提高施工效率和安全性，还有助于提升整个建筑行业的技术水平和竞争力。

二、复杂地质条件下深基坑施工的安全风险评估方法

（一）风险矩阵法

风险矩阵法是一种直观且实用的风险评估工具，它将风险的严重性和可能性分别划分为不同的等级，并将这两个维度组合在一张矩阵中，从而确定风险的优先级。通过量化风险的两个核心要素，可以帮助决策者快速识别出哪些风险需要优先处理。在深基坑施工中，风险矩阵法可以应用于评估地质灾害（如滑坡、塌方）的发生概率及其可能造成的后果（如图1），为支护设计和施工方案



图1 深基坑施工过程中可能遇到的问题及预防

(二) 模糊综合评价法

模糊综合评价法基于模糊数学理论，可以对具有模糊性和不确定性的风险信息进行量化评价。在深基坑施工中，地质条件的复杂性、地下水位的变化以及周边环境的敏感性等因素往往难以用精确的数字来描述。模糊综合评价法通过引入模糊集合和隶属函数等概念，对这些模糊信息进行量化处理，从而得出更为客观和全面的风险评估结果。此类方法特别适用于评估深基坑施工中的环境风险和施工风险，如噪声污染、振动影响以及施工设备的稳定性等。

(三) 蒙特卡洛模拟法

蒙特卡洛模拟法是一种通过随机抽样和统计分析来模拟风险发生及其影响的方法，适用于评估深基坑施工中的长期稳定性和安全性问题。在深基坑施工中，蒙特卡洛模拟法可以用于模拟地质条件的随机变化、施工过程中的不确定因素以及它们对基坑稳定性的影响。通过大量的模拟实验，可以得出风险发生的概率及其可能造成的后果的分布情况，从而为风险管理和决策提供科学依据。

(四) 决策树法

决策树法是一种通过构建决策树来模拟决策过程和风险后果的方法，可以评估深基坑施工中的支护结构的选择、降水方案的确定等多方案比选问题。在深基坑施工中，决策树法可以用于评估不同施工方案的风险和收益，帮助决策者选择最优的施工方案。通过构建决策树，可以清晰地展示每个决策节点可能面临的风险和后果，以及不同决策路径下的预期收益。这种方法特别适用于评估深基坑施工中的多方案比选问题，如支护结构的选择、降水方案的确定等。

(五) 故障树分析 (FTA)

故障树分析是一种从系统失效的角度出发，通过逆向推理来找出导致系统失效的根本原因的方法，可以评估深基坑施工中的重大安全风险问题。在深基坑施工中，故障树分析可以用于分析基坑失稳、支护结构破坏等严重事故的潜在原因。通过构建故障树，可以系统的识别

出所有可能导致事故发生的因素及其逻辑关系，从而为事故预防和应急响应提供有力的支持。

三、复杂地质条件下深基坑施工的安全风险应对策略

(一) 采用先进的地质勘探与监测技术

在复杂地质条件下进行深基坑施工，首要任务是准确掌握地质情况。传统的地质勘探方法往往难以全面揭示地下复杂的地质结构，因此，采用先进的地质勘探与监测技术成为必然趋势。相关部门可以引入三维地质雷达、无人机倾斜摄影测量、地下管线探测仪等高科技设备，对施工现场进行全方位、高精度的地质勘探。同时，结合物联网、大数据等信息技术，建立实时监测系统，对基坑开挖过程中的地质变化进行持续监测和预警。这样，一旦发现地质异常情况，就能立即采取措施，避免事故发生。在城市地铁深基坑施工项目中，由于地质条件复杂，施工团队就可以引入三维地质雷达进行勘探，准确揭示地下岩溶发育情况。同时，建立基于物联网的实时监测系统，对基坑开挖过程中的地质变化进行持续监测。在监测过程中，系统可以及时发现潜在的岩溶塌陷风险，施工团队能够立即采取加固措施，从而有效避免事故的发生。

(二) 优化支护结构设计，提升基坑稳定性

支护结构是深基坑施工中的关键环节，其稳定性直接关系到基坑的整体安全。在复杂地质条件下，传统的支护结构可能难以满足要求，因此，需要优化支护结构设计，提升基坑稳定性。相关部门可以采用预应力锚索、钢支撑等新型支护材料和技术，增强支护结构的承载能力和抗变形能力。同时，结合地质勘探结果，对支护结构进行合理布置，确保其在不同地质条件下的稳定性和安全性。比如：在高层建筑深基坑施工项目中，由于地质条件复杂，施工团队可以采用预应力锚索和钢支撑相结合的支护结构。在设计过程中，充分考虑地质勘探结果，对支护结构进行合理布置（如图2所示）。在施工过程中，通过对支护结构的实时监测和数据分析，可以及时调整施工方案，确保支护结构的稳定性和安全性，顺利完成深基坑项目施工任务，且未发生任何安全事故。



图2 采用钢便桥 转运平台解决深厚软土地区狭小空间

（三）实施精细化施工管理，提高施工效率和质量

在复杂地质条件下进行深基坑施工，需要实施精细化施工管理，提高施工效率和质量。其中包括制定详细的施工计划、合理安排施工顺序、严格控制施工参数等。施工部门可以采用BIM（建筑信息模型）技术进行施工模拟和优化，提前发现并解决施工过程中的潜在问题。同时，加强对施工人员的培训和管理，提高他们的专业技能和安全意识，确保施工过程中的操作规范和安全。例如：在大型基坑开挖项目中，施工团队就可以采用BIM技术进行施工模拟和优化。通过BIM模型，施工团队可以提前发现施工过程中的潜在问题，如支护结构布置不合理、开挖顺序不当等，并及时进行调整。在施工过程中，施工团队还需加强对施工人员的培训和管理，确保他们熟练掌握操作技能和安全规范，从而实现施工效率和质量的有效提升。

（四）建立应急响应机制，提高应对突发事件的能力

在复杂地质条件下进行深基坑施工，突发事件如地质灾害、设备故障等时有发生，这些事件往往具有突发性和不可预测性，给施工安全带来严重威胁。因此，建立应急响应机制，提高应对突发事件的能力显得尤为重要。建立应急响应机制的核心在于制定详细的应急预案。预案应明确各类突发事件的应对措施、责任分工和救援流程，确保在事件发生时能够迅速、有序地进行应对。同时，应急救援队伍应具备专业的救援技能和丰富的实战经验，可以在紧急情况下迅速响应并实施救援。此外，必要的应急救援设备如消防器材、救生设备等也是不可或缺的，它们能够在关键时刻发挥重要作用。在地铁深基坑施工项目中，施工团队可以组建专业的应急救援队伍，并配备齐全的应急救援设备，为应对突发事件提供有力保障。不仅如此，还要定期组织应急演练，检验应急预案的可行性和有效性，提高施工人员的应急响应能力、自救互救能力、应急意识和实战能力，从而避免事故的发生。

（五）加强施工过程中的环境保护措施

在复杂地质条件下进行深基坑施工，施工团队必须高度重视环境保护工作，以减少对周边环境的不良影响。这不仅是企业社会责任的体现，也是确保施工顺利进行和保障周边居民生活质量的重要举措。深基坑施工往往伴随着噪声污染、扬尘污染以及地下水位变化等问题。为了有效控制噪声污染，施工团队应采用先进的降噪设备和技术，如安装隔音屏障、使用低噪音设备等，从而显著降低施工过程中的噪声水平，减少对周边居民的干扰。同时，针对扬尘污染，施工团队应在施工现场周围设置防尘网，并定期对其进行清洗和维护，以确保防尘

网的有效性。同时，加强施工现场的清扫和洒水作业，减少扬尘的产生和扩散，保持施工现场的清洁和整洁。在地下水位控制方面，施工团队需采用先进的降水技术，并实时监测地下水位变化。通过科学合理的降水方案，确保施工过程中的地下水位稳定，防止因地下水位变化而引起的地质灾害和环境污染问题。此外，施工团队还应加强对施工废弃物的处理和回收利用工作。通过分类收集、妥善处理施工废弃物，实现资源的循环利用，减少对环境的影响。同时，积极推广环保材料和施工技术，推动深基坑施工向绿色、低碳方向发展，实现环境的可持续发展。

（六）引入第三方监测与评估机构，提高评估结果的客观性和准确性

在深基坑施工过程中，引入第三方监测与评估机构可以提高评估结果的客观性和准确性。第三方机构通常具有专业的技术团队和先进的监测设备，可以对施工过程进行全面、客观的监测和评估。同时，其还可以提供独立的风险评估报告和建议措施，为施工团队提供科学的决策依据。例如：在大型基坑开挖项目中，施工团队可以引入第三方监测与评估机构。该机构通过派出专业的技术团队和先进的监测设备对施工过程进行全面监测和评估，定期对基坑开挖过程中的地质变化、支护结构稳定性等进行监测和分析，可以提供详细的风险评估报告和建议措施。同时，施工团队根据第三方机构的评估结果和建议措施还可以及时调整施工方案和支护结构设计，从而确保施工过程中的安全性和稳定性。

结语

总而言之，复杂地质条件下建筑工程深基坑施工安全风险评估与应对，不仅可以保障施工安全、提高工程质量、优化资源配置，还能推动技术创新和进步。因此，在深基坑施工过程中，必须高度重视安全风险评估与应对工作，确保工程的顺利进行和成功完成。

参考文献

- [1] 李建平. 复杂地质条件下深基坑工程施工技术研究[J]. 砖瓦, 2024, (09): 146-149.
- [2] 张成伟. 复杂地质环境下建筑工程深基坑支护施工技术研究[J]. 工程机械与维修, 2024, (06): 83-85.
- [3] 李谋全. 复杂地质条件下临近建筑物深基坑防护工程设计方案优化[J]. 价值工程, 2024, 43(11): 56-60.
- [4] 梁怀省. 复杂地质条件下深基坑工程中的特殊支护体系应用[J]. 智能城市, 2021, 7(07): 149-150.
- [5] 严大明. 复杂地质及环境条件下深基坑工程、大跨度结构及超高层建筑综合施工技术. 北京市, 中建二局第一建筑工程有限公司, 2020-12-23.