

# 复杂地质条件下基坑支护施工 风险分析与控制措施研究

杨金帅<sup>1</sup>, 钱磊<sup>2</sup>, 李凯强<sup>3</sup>

(1. 山东宏拓实业有限公司, 山东 滨州 256600;  
2. 山东永衡项目管理有限公司, 山东 青岛 266000;  
3. 山东省路桥集团有限公司, 山东 济南 250000)

**摘要** 本文对复杂地质条件的特点进行了详细阐述, 分类讨论了软弱土层、高地下水位以及地质不均匀性等因素对基坑施工的影响, 运用风险识别、风险评估等方法, 对基坑支护施工过程中存在的风险进行了全面分析, 揭示了各类风险的成因和作用机制, 如土体滑坡、支护结构失效、施工中振动效应等, 基于风险分析结果提出了优化设计、施工工艺改进、先进监测技术应用等一系列控制措施, 以期复杂地质条件下基坑支护施工的风险管理提供理论依据和实践指导, 从而推动基坑工程施工技术的持续发展。

**关键词** 复杂地质条件; 基坑支护施工; 风险分析; 风险控制措施

中图分类号: TU753

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.07.042

## 0 引言

复杂地质条件下的基坑支护施工通常涉及软弱土层、岩溶、地下水位较高、地质构造不均匀等多种因素。这些不稳定因素不仅增加了施工的难度, 也带来了潜在的安全隐患, 严重时会导致基坑坍塌、地下水涌入、邻近建筑物受损等灾难性后果。因此, 如何在施工前进行有效的风险分析, 并在施工过程中采取科学的控制措施, 已经成为保证基坑支护工程安全和顺利实施的关键。

## 1 复杂地质条件的分类及其对基坑支护施工的影响

复杂地质条件是指基坑区域土体的结构、性质及地下水等因素具有高度不确定性或极端特征, 导致常规支护结构和施工方案不能有效适应, 进而增加施工风险。在不同类型的土层或岩层下, 基坑支护施工将面临不同的挑战。

软弱土层指的是承载力低、抗剪强度不足的土质, 如淤泥、湿陷性黄土、松散砂层等。这类土层通常压缩性强、稳定性差, 容易发生大规模的沉降或位移<sup>[1]</sup>。软弱土层会导致基坑支护结构无法有效支撑上覆土层的重力, 容易发生支护结构变形、坍塌等安全事故。

含水层是指地下水在地层中存在并对土体产生影响的层次, 如地下水位较高的砂层、砾石层等。这些层次不仅具有较大的水压力, 而且土层颗粒间隙较大, 易导致水流渗透, 进一步影响支护结构的稳定。在高含水层的地质条件下, 基坑施工过程中会遭遇涌水、

地下水排除困难等问题, 容易引起基坑的积水、支护结构的冲刷甚至土体失稳。

高地下水位指的是地下水位接近地表或在施工过程中容易上升到施工深度的地质情况。高地下水位的基坑支护施工面临着水压的挑战, 地下水渗透会导致基坑周边土体不稳定, 进而使支护结构受到水的浮力作用影响, 甚至引发基坑变形、沉降等问题。

深厚或不均匀土层通常指地层的厚度大, 或不同土层之间的性质差异较大, 如软土层、硬土层、粘土层交替存在等情况。不均匀土层的地质条件容易导致基坑支护结构发生不均匀沉降或偏移, 进而影响支护结构的稳定性与施工的安全性。

## 2 基坑支护施工中的风险分析

### 2.1 风险识别与分类

地质风险通常由土体性质、地下水位等因素引起, 是基坑支护施工中最重要风险类别之一。软土层的承载力较低, 容易发生沉降、滑移等问题, 在软土层上进行基坑开挖时, 支护结构容易出现不稳定, 导致基坑坍塌或土体失稳。当基坑所处区域的土层分布不均, 或存在不同强度的土层交替时, 会导致支护结构所承受的压力不均匀, 引发沉降或支护结构的变形<sup>[2]</sup>。在基坑开挖过程中, 地下水位的突升或地下水渗透会导致基坑周边土体的流动性增加, 严重时会造成支护结构的失稳, 甚至坍塌。尤其是在高地下水位地区,

地下水的控制是施工过程中的重要任务。

施工风险是指施工过程中,由于人为或技术因素造成的各种潜在危险。在支护结构的设计、施工或使用过程中,会出现支护系统不稳定或失效的情况,造成基坑土体崩塌、沉降等现象。失效的原因可能是设计不合理、施工工艺不规范、材料质量不达标等。不合适的施工方案或施工方法如开挖顺序、支护材料选择等会导致支护结构承载能力不足,无法有效应对施工中的土体应力变化或环境变化,进而引发风险。施工过程中设备故障是常见的风险之一,设备的操作失误或故障会导致施工进度延误,甚至产生安全事故。

## 2.2 风险评估方法

故障树分析是一种基于逻辑推理的方法,通过构建故障树,识别基坑支护施工过程中出现的各类风险源,并逐步分析其发生的可能性和后果。通过分析不同故障事件之间的逻辑关系,可以找出潜在的风险源,帮助决策者采取相应的控制措施。在基坑支护施工过程中,可以用于分析基坑支护结构的失效模式,识别支护系统失效的根本原因,并评估其对基坑安全的影响。

层次分析法是一种定量的多准则决策分析方法,适用于在多个风险因素中进行权重分配,综合评估风险的严重性。通过构建层次结构模型,将复杂的风险问题分解为多个层次和因素,评估各个因素的权重,并计算最终的风险评分。在基坑支护施工过程中,将基坑支护中的地质风险、施工风险、环境风险等因素进行量化,确定每个风险因素的重要性,最终评估基坑支护的整体风险水平。

## 3 基坑支护施工中的常见问题与风险机制

### 3.1 土体失稳与支护变形

在软弱土层或不均匀土层上,基坑周围的土体在外力作用下会发生滑动,造成基坑边坡的倾斜或崩塌。尤其是在土体湿润或地下水位上升的情况下,滑移的风险更大。例如,在某些软土区域,土体的抗剪强度较低,基坑开挖时一旦超出土层的承载能力,就可能发生滑移。基坑周边土体在开挖过程中未能得到有效支撑,尤其是在地下水位较高或土体松散的情况下,会出现局部土体崩塌。崩塌不仅可能危及施工人员的安全,还会对支护结构造成直接损害,导致基坑不稳定。在粘性土或软土层中,土体会发生流变性变形,即在长期的荷载作用下,土体发生持续的、不可逆的塑性变形<sup>[3]</sup>。特别是在深基坑或大规模开挖情况下,流变性土体会引发持续性沉降或水平位移,进而影响基坑支护的整体稳定性。

### 3.2 地下水位与排水问题

地下水位高的地区,水压直接作用于支护结构的外表面。尤其在软土或砂土地区,地下水的上升会导致支护结构的浮力问题,增加基坑发生坍塌的风险。在某些地区,由于地下水渗透性强,基坑开挖过程中会发生突然的涌水现象,尤其在含水层较为丰富的区域。涌水不仅会使土体失稳,还会使排水系统过载,导致基坑积水,影响支护结构的正常工作。地下水的流动会导致基坑边坡的水土流失,增加基坑失稳的风险。如果基坑周围的土体没有得到有效的加固,土体的流失将使支护结构失去支撑,造成严重的地面沉降和基坑坍塌。

### 3.3 施工中振动与扰动效应

在城市密集区域,基坑施工常常伴随振动和扰动,尤其是在临近已有建筑物、地下设施或交通路线时,施工过程中的振动和扰动会对基坑支护的稳定性产生不利影响。在施工过程中,尤其是使用大型机械设备如挖掘机、吊车、打桩机等时,产生的振动会引起基坑周围土体的松动和不均匀沉降,甚至引发基坑边坡崩塌。在施工过程中,由于开挖、支护安装等活动,会对基坑周围的土层和地下水系统造成扰动,扰动效应会导致原本稳定的土体突然失稳。

### 3.4 支护结构的失效机制

支护结构使用的材料如果强度不足,无法承受土体的压力和外力作用,容易发生破裂、变形甚至断裂。例如,钢支撑或混凝土板材在遭遇过大的外力时会发生塑性变形或断裂。设计缺陷是导致支护结构失效的重要因素之一。设计过程中如果未能充分考虑地质条件、支护结构的荷载分布、土体的变形等因素,会导致支护结构承载力不足,最终发生失效<sup>[4]</sup>。施工过程中的质量问题,如焊接不牢、混凝土浇筑不密实、支撑系统未按设计要求安装等,会导致支护结构无法发挥应有的作用,甚至发生倒塌。

## 4 基坑支护施工风险控制措施

### 4.1 优化支护结构与施工方案

在复杂地质条件下,基坑支护设计的首要前提是进行全面的地质勘察。对土层的成分、地下水位、地下水流动等进行精确的调查,以准确评估土体的稳定性和支护需求。根据勘察结果,设计支护结构时应考虑到不同土层的承载能力和稳定性。例如,在软弱土层中,采用更强度的支撑结构,在高地下水位地区,设计更为稳固的排水系统,以减少水压对支护结构的影响。在复杂地质条件下,选择适合的支护结构非常关键,支护设计应根据土体的性质、基坑深度、周围环境等因素进行定制。

例如,在软土地区,可采用地下连续墙或桩基支护结构,而在砂土或岩土中,可以选择水平支撑或斜拉支撑系统。制定详细的施工方案,包括基坑开挖、支护安装、排水处理等环节的具体步骤和技术要求<sup>[5]</sup>。

#### 4.2 采用新型施工技术减少风险发生

地下连续墙是一种高效的基坑支护技术,尤其适用于复杂地质条件下的深基坑施工。通过连续浇筑钢筋混凝土墙体,可以有效地隔离基坑内外的水流,防止土体松动和支护结构失效。此外,地下连续墙具有较好的抗侧压力和抗浮力能力,能够承受较大的土体荷载。这种工艺不仅能有效支撑基坑周围土体,防止坍塌,还能在高地下水水位条件下降低水压对基坑的影响。

喷射混凝土是一种常用于深基坑支护的施工技术,特别是在软土或不稳定土层上。通过将混凝土以高压喷射的方式施加在支护表面,可以迅速形成一层保护性强的固化层,提高基坑的稳定性和支护结构的抗压能力。喷射混凝土不仅能增强支护结构的强度,还能对基坑土体起到加固作用,减少因土体变形导致的支护失效。

钢支撑系统作为一种常见的基坑支护方式,能够有效地稳定深基坑中的土体,尤其在软土层或松散层中,能防止土体的滑移和支护结构的倾斜。钢支撑具有高强度、耐腐蚀等优点,适用于各种地质环境下的基坑施工。

#### 4.3 实时监控基坑状态

在复杂地质条件下,基坑支护的实时监控至关重要。通过引入自动化监测系统,如数据采集系统和远程控制系统,可以实时监控基坑内外的土体位移、支护结构的变形、地下水水位等关键参数<sup>[6]</sup>。系统会实时反馈数据,及时发现异常情况,便于施工人员做出快速响应。地质雷达技术可以有效检测地下土层的变化、裂隙、地下水和其他隐患。通过使用地质雷达,能够对基坑周围土体的稳定性进行实时监控,识别潜在的风险,如地下水位上升、土层异常等。

应变计可以用于监测支护结构的变形情况,特别是钢支撑或地下连续墙的应力分布。通过安装在关键部位的应变计,可以及时发现结构的异常变形,防止支护结构的失效。位移监测设备如激光测量仪、全站仪等可以实时监控基坑的沉降和侧移情况,为风险评估和控制提供数据支持。通过安装地下水位监测仪器,可以实时掌握地下水水位的变化情况。特别是在高地下水水位区域,地下水的变化直接影响基坑的稳定性,监测设备的使用可以及时发现涌水和水位波动的问题,及时采取降水等措施。

#### 4.4 施工现场管理与质量控制

复杂地质条件下的基坑支护施工会遭遇诸多不可

预见的困难,因此,施工计划的科学制定至关重要。计划应考虑到地质调查结果、施工难度、周围环境等多重因素,确保各环节紧密衔接、进度合理。合理的施工进度安排能够避免工期延误、施工冲突等问题。施工计划需要设定明确的节点目标,并根据实际情况进行动态调整<sup>[7]</sup>。施工前期应做好风险评估,针对潜在的风险提前制定应急预案,以便在发生突发问题时能够及时采取有效的应对措施。

在基坑支护施工中,建立和完善质量管理体系是确保施工质量的基础。应当依据相关国家或地方标准以及行业规范,制定详细的质量控制标准与操作规程。要设立专职的质量管理人员,负责日常的质量检查、验收和监督,确保每一项施工工序都按照质量标准执行。施工过程中应对每个环节进行严格的质量检查。关键施工节点,如支护结构的安装、土体加固、地下水排水等,都要安排专门人员进行现场检验,确保施工质量符合设计要求。在施工过程中,应定期检查支护结构的稳固性,土体的变形状况,特别是地下水排水设施的运行效果,避免因质量问题引发更大的施工安全隐患。

## 5 结束语

复杂地质条件如软土层、高地下水水位等,显著增加了基坑施工的难度和风险。土体失稳、地下水突涌、支护结构失效等是主要的施工风险,而这些问题发生往往与不稳定的地质环境、施工管理不足及外部因素的影响密切相关。通过实施优化设计、创新施工工艺、应用先进监测技术以及强化施工现场管理等措施,引入自动化技术、精确的风险评估模型及突发事件应急预案,能够有效减少事故发生的概率,提升施工安全性。

## 参考文献:

- [1] 张瀚文.探究房建施工中深基坑支护施工技术的运用[J].大陆桥视野,2024(08):132-134.
- [2] 郭中华.复杂地质条件深基坑支护施工安全风险评估方法[J].四川水泥,2024(07):171-173.
- [3] 吴向儒.软土基坑支护方案优选及实践[J].江西建材,2024(06):215-216,232.
- [4] 蔡毅斌.深基坑支护施工技术与安全管理分析[J].安徽建筑,2023,30(12):58-60.
- [5] 张辛.建筑工程深基坑支护施工技术与质量管理[J].砖瓦,2023(12):117-119.
- [6] 柯桂斌.建筑施工中深基坑支护的施工技术与安全管理[J].城市建设理论研究:电子版,2023(32):120-122.
- [7] 陈涣景,刘贵哲,张军,等.建筑工程深基坑支护施工技术研究[J].住宅与房地产,2023(11):101-103.