

# 建筑工程深基坑施工安全风险评估及预警体系构建

文 / 何迟胜 安庆腾胜建筑安装工程有限公司

**摘要：**在世界范围内加快向可持续发展方向迈进的过程中，建筑行业这一能源消耗和环境影响的重点领域正在承受空前的转型压力。绿色建筑理念的出现已成为行业变革的中心动力。施工现场作为一个建筑由蓝图向实体转变的关键期，其能源管理水平的高低直接关系到绿色建筑目标能否得以实现。但目前施工现场存在着能源浪费大，技术设备落后，管理体系漏洞较多等问题，在限制工程经济效益的同时也给生态环境带来很大影响。深入探讨绿色建筑理念下施工现场能源管理优化策略是当务之急，也是影响深远之举，对建筑行业实现绿色转型具有关键性支持作用。  
**关键词：**建筑工程；深基坑施工；安全风险评估；预警体系构建

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.010

## 引言

在生态环境问题日趋严重的今天，绿色发展已经成为各行业发展的不二选择，建筑行业自然也不能幸免。绿色建筑理念渗透于建筑全生命周期中，而施工现场能源管理则是绿色建筑得以实现的重要环节。施工现场的能源消耗量较大，如果管理混乱，将造成大量的资源浪费以及环境污染。从大型施工设备运行到施工现场照明，供暖制冷，各个环节都潜伏着能源优化。但是能源管理现状堪忧，如何以绿色建筑理念为指导提高施工现场能源管理水平成为建筑行业急需解决的问题。

### 一、建筑工程深基坑施工安全风险概述

#### （一）深基坑施工特点

深基坑施工具备显著特点。首先，施工难度高，随着基坑深度增加，对支护结构的强度与稳定性要求愈发严苛，复杂的地下环境常给作业带来诸多挑战。其次，施工周期长，从土方开挖到基础施工完成，期间易受天气、周边环境等因素干扰，导致工期不确定性增大。再者，对周边环境影响大，基坑开挖可能引发周边土体变形，危及临近建筑物、地下管线等设施安全。此外，施工过程的不确定性突出，地质条件的多变、地下障碍物的不可预见等，都增加了施工安全管理的难度<sup>[1]</sup>。

#### （二）安全风险分类

##### 1. 地质风险

地质风险是深基坑施工不可忽略的问题。不同地层土质特性相差较大，如遇到软弱土层时基坑边坡容易失稳而出现坍塌事故。复杂的地质结构，例如断层和破碎带等，有可能引发地下水的渗透，从而在基坑内引发涌水和涌沙现象，这不仅会妨碍施工进度，而且在严重情况下还可能对基坑的整体结构造成破坏。与此同时，地质参数不精确还会对设计与施工造成偏差，如土层抗剪强度，压缩模量及其他参数估计值错误，有可能使支护结构设计不尽合理并埋下隐患。

##### 2. 设计风险

设计环节中存在的风险，关系到整个深基坑建设的安全。如果基坑支护设计方案没有充分考虑到工程的实际状况，如对周围荷载估计不充分，支护结构承载能力就达不到要求，很容易造成安全事故。设计参数选择不当同样存在着普遍的危险，如锚杆长度和间距不合理以及土钉直径和密度不合格都将使支护效果弱化。另外，

设计时如果缺乏基坑空间效应的考虑，没有准确地分析出不同位置受力的差异，就会造成局部结构的损伤，从而危害到基坑整体的稳定<sup>[2]</sup>。

##### 3. 施工风险

施工期风险因素复杂多样。施工工艺选择不当是个大危险，如在地质条件不适的情况下使用开挖方法不当，将打破土体原有的平衡。施工设备的失效也是不可忽视的，土方挖掘设备，支护施工机械一旦发生失效，不但会耽误工期，而且会导致设备检修时安全事故的发生。施工人员的违规操作更成为安全的大敌，如不按要求安装，拆除支护结构，任意改变施工顺序。不良的施工管理也是造成风险丛生的原因，像是现场安全监管的缺失，施工组织的混乱等等，均有可能让安全隐患发展成事故。

##### 4. 环境风险

环境风险在深基坑施工中的作用显著。周围建筑和设施的出现是一个重要的风险源，建筑物附近的基础形式，距基坑较近或较远都会对基坑稳定性产生影响，如果基坑开挖引起周围建筑物基础沉降和墙体开裂则会产生严重的后果。在自然环境中，暴雨和强风等恶劣气候会使基坑边坡土体含水量增大，土体抗剪强度下降，诱发滑坡等地质灾害。同时地下水位季节性变化或者周围施工降水可能会使基坑渗流场发生变化，从而引起基坑突涌和管涌等危险情况发生，危及施工安全。

### 二、建筑工程深基坑施工安全风险评估

#### （一）风险识别

在深基坑施工安全风险评价中，风险识别居于首要地位。需要对潜在的风险源进行综合梳理，并借助多种手段达到精准识别的目的。一方面可以根据专家的经验召集深基坑施工领域的老专家并根据以往丰富的工程经验来评判工程地质条件，周边环境和施工工艺的各种风险。如专家能够依靠经验对复杂地质区域内可能存在的特殊地质状况和风险进行预判。另一方面通过查阅历史案例来搜集同类项目曾经发生过的风险事故数据，像一个项目由于地下水位过高而导致基坑涌水就可以根据这些数据来确定该项目可能发生的同类风险。同时采用现场勘查手段对现场情况进行现场调查，看有无地下障碍物，邻近建筑物的情况等，保证不会漏掉任何可能发生的风险，从而为下文的风险评估打下坚实的基础（如图1 风险识别）<sup>[3]</sup>。

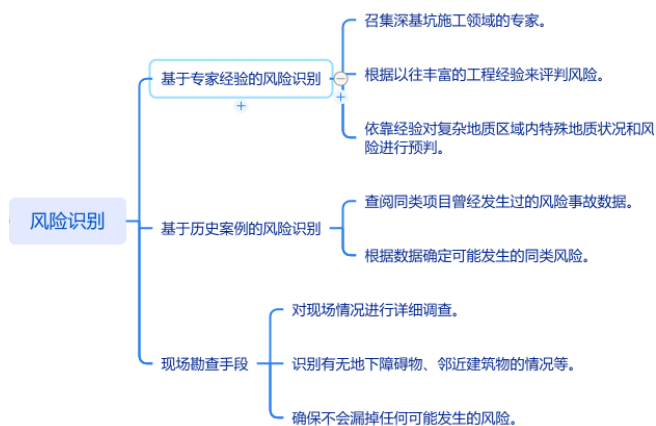


图 1 风险识别

### （二）风险分析

风险分析的目的是对所确定的风险进行深入分析。一是以风险产生概率为目标，在搜集了大量类似项目历史数据的基础上，利用统计分析方法对各种风险产生的概率进行了估计。如统计分析不同地质条件基坑边坡坍塌的可能性等。二是评价风险的影响大小，考虑到一旦出现风险给人员安全，工程质量，经济成本及周围环境带来的诸多危害。以基坑坍塌为例，不但会导致施工人员的死伤，而且可能使工程停滞不前，返工成本高，并严重损害周围建筑物和地下管线。另外，对风险间的关联性进行了分析，深基坑的施工风险并不是孤立的，例如地质风险会诱发施工工艺风险等，由于地质条件的改变原施工工艺已经不适用了，只有厘清了这些联系才能对风险进行系统的控制<sup>[4]</sup>。

### （三）风险评价

风险评价就是将风险识别和分析的结果综合起来考虑，从而确定风险等级。构建科学、合理的评价指标体系至关重要，筛选出覆盖地质条件，设计参数，施工工艺和周边环境的多维度指标。如地质条件指标中包括土层特性和地下水位；设计参数指标包括支护结构强度和锚杆长度。通过应用层次分析法等多种手段来确定各项指标的权重，从而更准确地反映其对总体风险产生的影响程度。然后借助于模糊综合评价法及其他评价模型把风险发生的概率及影响程度换算成具体的风险等级。例如，把风险分为较高，中等和较低 3 个级别，风险大的需要马上采取措施，风险中等的要密切注意和做好预案，风险较小的不能轻视，要通过准确的风险评价来进行风险管控。

### （四）风险监控

风险监控贯穿于深基坑施工的整个过程中。首先建立了实时监测系统并采用先进的监测技术和装备对基坑变形，支护结构应力和地下水位等关键指标实施连续监测。如果使用自动化的监测仪器每间隔一段时间就会进行数据的采集，并且将其实时的传送到监控平台上。其次设定合理的预警阈值并根据工程设计要求，相关规范标准和风险评价结果确定了不同监测指标下的预警界限。当监测到的数据达到或者超过预警阈值时，则马上启动预警机制。最后根据报警及时对施工方案进行调整，如在检测到基坑变形速率过快时可以通过加大支撑和减缓开挖速度的方法来保证施工的安全性，在评价风险监控

效果的前提下，持续优化监控方案以提高风险管控水。

## 三、建筑工程深基坑施工预警体系构建

### （一）精细选取监测指标，精准洞察风险迹象

监测指标作为预警体系的关键感知触角，在深基坑施工安全保障中扮演着极为重要的角色。基坑变形指标，除了常规的水平位移与垂直沉降，还涵盖了基坑底部的隆起变形监测。基坑底部隆起若超出允许范围，将严重影响基础的承载能力与稳定性。支护结构应力应变指标，不仅要监测支护桩内力，对于支撑体系的轴力、锚索的拉力变化等也需密切关注。这些数据能精确反映支护结构在不同施工阶段的受力状态，一旦出现异常，预示着支护结构可能面临失效风险。地下水位指标方面，除了监测水位的升降，还应关注水位变化速率以及与周边水体的水力联系。快速的水位上升或复杂的水力联系，都可能引发基坑涌水、流砂等严重事故。周边环境指标除了对临近建筑物倾斜的监测，还应包括对建筑物裂缝开展定期观测，以及对地下管线的位移、应力监测。通过全方位、精细化地选取和监测这些指标，能够如同精密仪器一般，敏锐且及时地捕捉到深基坑施工中潜在风险的细微迹象，为后续预警与风险应对争取宝贵时间（如图 2 深基坑施工安全保障中的检测指标）。

以某市综合体深基坑工程为例，其监测指标选择和应用都达到极致细腻。对于基坑水平位移的监测，除在基坑边缘每间隔一段距离布置监测点外，对关键转角部位也加密了测点，并采用高精度的全站仪对其进行全天候的实时监控，以保证对任意细微位移的准确捕获。垂直沉降监测是利用电子水准仪和静力水准系统联合使用，既可对基坑整体沉降进行监测，又可准确地测量出各处差异沉降情况，从而为基坑沉降均匀与否的判定提供可靠的资料。支护桩内力监测中，除将应变片埋设于桩身各深度外，桩顶和支撑接头处设置了压力传感器以充分掌握支护桩受力分布情况。地下水位监测仪既具有高精度的水位测量功能又可以自动记录水位的变化曲线，并在此基础上和周围水文监测站共享数据，及时掌握该地区水位的变化趋势。针对周围建筑倾斜监测问题，将双轴倾斜传感器设置于建筑关键部位，并配合定期全站仪扫描从各个角度控制建筑倾斜状态。一场强降雨过后，地下水位监测仪很快捕捉到了水位在短期内急剧升高超出预警值，而全站仪则监测基坑当地水平位移速率显著增大并超出了正常值。监测系统即时对这些信息进行集成并及时做出准确的预警，施工团队快速反应并启动应急预案，采取紧急排水和加大支持力度的方式成功解决潜在的风险，确保工程的安全进展。

### （二）合理运用监测技术，高效获取关键数据

先进的监测技术的合理应用，对确保深基坑施工预警体系的有效运行起到了基石的作用。传统的水准仪采用水平视线测两点高差的方法进行沉降监测，而全站仪采用角度与距离测量的方法对目标进行定位，从而得到位移数据，这些方法在长期的实际工作中得到了广泛的应用。但其作业依赖于人工观测、测量频率有限、数据反馈有滞后等特点，很难适应复杂多样的深基坑施工工况。相比之下，物联网技术在万物互联中搭建了一座桥梁，



图 2 深基坑施工安全保障中的检测指标

传感器是感知末梢，可以把各种物理量转换成电信号或者数字信号，对基坑变形，应力应变等进行实时采集、渗流等重要数据在无线网络的辅助下瞬时传送到监控中心进行不间断地获取数据和实时地更新。无人机监测具有灵活机动性强的特点，能够在复杂场地环境中快速到达指定范围，并配备高清摄像头和激光雷达等仪器从宏观上扫描基坑整体形态和周围环境，弥补了传感器单点监测存在的局限。本发明实现了传统和现代监测技术的有机结合，相互补充，构成了一个全方位，多层次数据采集网络，从而为准确预警奠定了扎实的数据基础并有力地支持了深基坑施工过程中的安全保障。

在大型桥梁深基坑建设项目监测技术创新结合运用效果显著。在基坑的周围，每隔 5 米就会设置一组位移传感器，以准确地监测基坑边坡在水平和垂直方向上的位移变化；在支护桩的不同深度之间，每隔 2 米放置一个应力传感器，以便实时了解桩身的受力状况；沿着基坑底部和坑壁均匀布置渗流传感器对地下水的渗流进行密切监测。这些传感器经过低功耗和高稳定性物联网模块处理后，采集到的数据会以秒级频率上传到云平台上，施工人员可以在监控中心大屏上进行实时观看。同时无人机根据预设航线每日早中晚定时巡视基坑。它所携带的高分辨率热成像相机可以确定基坑表面温度异常区并协助判断有无土体异常滑动和渗漏隐患；激光雷达扫描系统产生基坑及其周围环境高精度三维模型并对宏观变形进行精确测量。当施工到关键阶段，位移传感器首先捕捉一定范围内位移速率的异常上升，系统会自动进行初步预警。随即无人机快速飞向该

区，经过细致的图像分析和三维模型的比对后证实了当地土体松动的痕迹。全面的资料引发正式报警，施工方立即组织专家判断，迅速启动加固方案并配置钢板桩和注浆设备等材料，在隐患区域实施应急支护，成功解决了潜在的安全风险问题，确保了项目的顺利进行。

**结语**

总之，在绿色建筑理念之下对施工现场进行能源管理优化属于系统性工程。增强全员的节能意识和能源管理的内在动力；更新技术设备的配置，在硬件上提高能源的利用效率；完善能源管理体系，确保能源管理工作的规范、有序进行；着力发展可再生能源，扩大绿色能源的供给渠道。这几方面的措施互相配合可以显著提高施工现场的能源管理水平。这样不仅帮助个别建筑项目达到了经济和环境效益的共赢，也促进了整个建筑行业朝着绿色和可持续发展的方向，有利于建设资源节约和环境友好的社会。

**参考文献**

[1] 刘洋. 基于 AHP-FCE 的深基坑工程施工安全风险评估研究 [D]. 华东交通大学, 2023.  
 [2] 张宁. 建筑深基坑工程施工技术及安全风险控制分析 [J]. 安装, 2022, (11): 86-88.  
 [3] 柏旭. 邻近既有建筑的深基坑工程施工安全风险研究 [D]. 沈阳建筑大学, 2022.  
 [4] 蔡红兵. 高层建筑深基坑工程施工风险模糊评估研究 [J]. 建材与装饰, 2020, (08): 25-26.

作者简介：何迟胜，1975 年 3 月，男，汉，安徽省安庆市，中专，工程师，建筑工程。