

Safety risk assessment and intelligent early warning system construction of deep foundation pit engineering construction

Hongjun Xin

Beijing Construction Engineering Co., Ltd., Beijing, 100054, China

Abstract

Deep foundation pit projects, due to their complex construction environments, involve various uncertain factors such as soil properties, groundwater levels, and surrounding structures, leading to diverse and unpredictable safety risks. Frequent safety incidents not only endanger the lives of construction workers but also severely impact the quality and progress of the project. To address these issues, this paper thoroughly analyzes the primary safety risks associated with deep foundation pit construction, systematically reviews existing risk assessment methods, and, in conjunction with the development of intelligent technologies, proposes the concept of establishing a risk warning system based on sensor monitoring, big data analysis, and artificial intelligence algorithms. This system can achieve real-time dynamic identification and precise early warning of construction risks, significantly enhancing construction safety management and ensuring the safe and stable progress of deep foundation pit projects.

Keywords

deep foundation pit engineering; construction safety; risk assessment; intelligent early warning; big data; artificial intelligence

深基坑工程施工安全风险评估与智能预警体系构建

辛洪军

北京建工一建工程建设有限公司, 中国 · 北京 100054

摘 要

深基坑工程由于施工环境复杂, 涉及土壤性质、地下水位、周边建筑物等多种不确定因素, 导致安全风险多样且难以预测, 频繁发生的安全事故不仅威胁施工人员生命安全, 还对工程质量和进度造成严重影响。针对这些问题, 本文深入分析了深基坑施工的主要安全风险特征, 系统梳理了现有的风险评估方法, 结合智能化技术的发展, 提出构建基于传感监测、大数据分析 and 人工智能算法的风险预警体系的思路。该体系能够实现对施工风险的实时动态识别和精准预警, 显著提升施工安全管理水平, 保障深基坑工程的安全稳定推进。

关键词

深基坑工程; 施工安全; 风险评估; 智能预警; 大数据; 人工智能

1 引言

随着城市地下空间开发的加速推进, 深基坑工程规模渐大且复杂程度不断提升, 施工面临的风险持续增大。深基坑施工与土壤结构变动、地下水位波动、机械设备运作及环境因素等多重影响关联, 安全事故的隐患复杂多样且动态变化。传统安全管理依靠经验及人工进行监测, 不易及时精准识别潜在的风险, 建立科学的风险评估机制并引入智能预警手段, 成为保障施工安全的关键路径。本文将全面探讨深基坑施工安全风险理论方法与智能预警体系的构建方案, 为相关工程提供理论指导及技术支持。

2 深基坑施工安全风险特征分析

2.1 风险来源多样化

深基坑施工当中存在多样复杂的风险源, 这些风险主要涉及地质条件复杂多变、支护结构安全稳定保障、降水系统有效管理以及施工机械操作规范落实。地质条件的不明确性, 如软土层、岩层破碎或地下空洞, 可能导致土体突然塌方, 给施工增添极大的安全隐患。支护结构若设计偏差或施工未达标, 易发生失稳, 进而出现倒塌, 直接对施工人员安全及工程进度形成威胁。若不能及时排除涌入的地下水, 可能引发基坑积水, 危及基坑稳定性。安全风险会因机械设备误操作或故障而产生。深基坑施工的风险源头呈现出高度多样化, 需综合顾及各类因素, 编制全面的防范规划^[1]。

2.2 风险动态变化性

伴随深基坑施工逐步展开, 风险因素呈现出显著的动态变化特征。随着基坑挖掘深度不断增加, 地质应力状态与

【作者简介】辛洪军(1982-), 男, 中国天津人, 本科, 中级, 从事建筑施工研究。

水文条件随之改变,导致风险水平持续波动。施工初始阶段,基坑边坡稳定性相对良好,但随着挖掘深度推进,支护结构承受荷载增大,地基土体变形加剧,风险逐渐上升。随着施工进度推进,降水系统排水效果和机械设备运行状态也会变化,可能引出新的安全隐患。施工过程中风险并非一成不变,而是随时间及工程状态不断变迁,需动态监测并及时调整施工方案,才能切实管控风险,保障工程安全顺利实施。

2.3 风险隐蔽性强

深基坑施工时众多潜在风险因素的隐蔽性极强,不易通过肉眼直接进行观察及判断。此类风险往往隐藏在土层、支护结构或地下水系统内,难以察觉,通常需依靠高精度监测仪器,如变形测量仪器、地下水监测设备等,实时监测基坑变形、支护结构受力及地下水动态并开展数据分析。风险因素一般潜伏一段时间后,才逐渐显现出明显的安全隐患,如土体逐渐出现松散现象、支护结构产生微小位移,甚至出现地下水涌入现象。若无法及时察觉与治理,隐蔽的风险可能突然转变为严重事故苗头。基于风险隐蔽性这一特质,创建科学的监测预警机制意义重大。

3 深基坑施工安全风险评估方法

3.1 定性风险分析

通过汇聚专家的丰富经验并对大量历史事故案例做深入剖析,可系统地把潜在的风险因素识别并分类,这些风险因素覆盖了不同领域和层面,涵盖技术、管理工作、环境状况以及人为操作等多个维度。专家针对事故发生的背景、经过及其后果开展了细致研究,可归纳出影响安全与效益的核心要素,再把相关因素归类为若干类别,不同类风险因素具备各自特定的表现形式与诱发契机,此分类方式能帮助更清晰地把握风险的起源与演变轨迹^[2]。

在识别潜在风险之时,专家们不仅关注事故的直接根源,同样关注间接及潜在的隐患,设备老化情况、操作规程存在缺陷、人员培训不充分、管理方面存在漏洞以及外部环境发生变化等,都有可能成为引发事故的潜在因子。对既往历史事故进行回顾,能发现一些风险因素在不同事故里频繁现身,形成了典型的模式。对这些模式进行识别,对预防类似事故的再次发生意义深远,风险因素分类后方便制定具有针对性的控制办法,提升风险管理的科学性和实践有效性。

3.2 定量风险评估

借助海量监测数据与科学统计模型,风险评估过程可变得精准性和客观性兼备。通过收集与整理相关的历史数据、实时监测数据及环境参数,构建全面的数据支撑体系,这些数据体现了不同时间、地点及条件下风险事件的发生情况。依靠统计模型开展数据的分析,可揭示事件发生的规律及趋势,进而为后续风险计算提供科学支持。统计模型不仅具有处理大规模复杂数据的能力,还可探寻数据中的潜在联

系与隐匿模式,提高风险预测的准确性^[3]。

在具体的计算流程中,应用概率论的方法,对不同风险事件发生概率实施定量分析。概率论能够协助我们理解并描绘事件发生的随机与不确定情形,依靠计算各不同事件的概率值,明确其发生的概率范围。数理统计方法可对事件发生的后果进行评价,分析事故造成的损失金额及其影响的范围。此办法不仅考虑单一事件的影响,还能通过统计推断及假设检验方法,综合评定多种因素对风险等级的影响,保障计算结果科学可靠。通过把概率论与数理统计方法相融合,可实现对风险水平的量化刻画,量化风险不仅把事件发生的概率纳入其中,还结合了后果的严重程度,得出综合的风险量化指标。如此量化结果可为风险管理者提供清晰的决策依据,辅助他们制定高效的风险管控及应急预案。量化风险水平使风险的比较和排序变得更加容易,实现资源分配的优化配置,提高风险防范工作的成效和针对性,最终达成对风险的科学规划与有效控制。

3.3 综合风险评估体系

把定性方法与定量方法融合在一起,可有效提升风险评估的全面性和科学性。定性方法把重点放在对风险因素的描述和归纳上,依靠专家的经验、历史实例和主观评判,可把握风险的复杂特性;而定量方法利用数据分析和数学模型作为支撑,对风险的发生概率及影响程度精确度量。把这两种方法结合,既发挥了专家的专业洞察能力,还凭借数据和模型的客观属性,让风险评估更具全面性和可操作性。

具体而言,层次分析法作为结构化的多指标决策方法,多应用于风险评估工作中。AHP借助搭建层次结构,把复杂的风险难题分解成不同层次和指标,采用专家打分进行权重的设置,最后综合运算后得出风险的总体评价。该方式不仅体现了各风险指标的重要性,还做到了定性与定量信息的合理结合,提升了评估环节的逻辑性和系统性。模糊综合评价法在处理不确定性和模糊性问题上具有优势,众多风险因素不易用明确的数值表示。模糊综合评价运用模糊数学理论,针对模糊和不确定信息开展处理,完成多指标和多层次的风险综合评判。通过AHP和模糊综合评价模型相结合,可有效解决传统方法中主观性强和量化难度大的问题,进而提升风险评估的科学性和精准程度,助力决策者作出更合理且可靠的风险管理决策。

4 智能预警体系构建

4.1 多源传感监测系统

为保障基坑施工的安全与稳定性,通过多种先进监测设备进行全面数据采集尤为必要。部署地质雷达可对基坑周边地下结构及土层的变化情况进行有效探测,地质雷达采用发射与接收电磁波的方式,实时探测土壤里可能存在的空洞、裂缝与异物,辅助工程人员及时找出潜在的地质隐患,防止因地下状况异常引发施工事故^[4]。

倾斜仪作为测量基坑结构倾斜度的关键仪器，能及时反映基坑支护结构的变形状态。若基坑周围土体压力出现变动或支护结构发生移位，倾斜仪可精准捕捉这些微小的倾斜变动，对可能的结构失稳风险给出预警。应变计用于对基坑关键部位应力及应变的变化情况进行监测，依靠测量材料受力状态下的细微形变，帮助评定结构的受力状态及安全性，为后续实施加固与调整提供科学依据。地下水位传感器可对基坑周边地下水的动态变化进行监测。地下水位的升降会直接影响土壤承载力与基坑的稳定性，实时监测水位的起伏变化，可迅速采取排水或加固对策，防止基坑因水位波动而出现的滑坡或坍塌现象。凭借以上多种监测设备的协同配合，实时获取基坑结构变形、土壤状态以及环境参数数据，为基坑安全管理奉上全面而精确的数据助力，切实保障工程的顺畅实施。

4.2 大数据分析处理

随着监测技术的演进，海量数据的采集渐趋普遍，高效处理并分析这些数据成为核心重点。依靠云计算平台的力量，能实现对众多监测数据的集中管理与高效处置。云计算平台的计算能力强，且存储资源配置灵活，可对所采集的原始数据进行净化工作，剔除噪声、错误和冗余的信息片段，保证数据的质量及精准度。数据清洗过程是数据分析整体的根基，后续分析若要获得可靠支撑，得有高质量数据。

在数据存储这一层面，云计算平台采用的是分布式存储技术，保障数据的安全性及可扩展性。不管数据量多大，皆可实现存储高效、访问迅速。采用合适的数据管理策略，让数据分类明确、结构合乎逻辑，为之后的数据处理及查询提供便捷，云平台提供多种数据格式融合与转换的支持，让来自不同源头、不同类型的数据实现无缝整合，建立起一体化的数据体系。在数据处理阶段，通过时间序列分析手段，可深度挖掘连续时间段中数据的变化趋势，找出数据流的周期性、趋向性以及突变节点。异常检测技术可帮助迅速察觉数据里的异常波动与突发事件，快速对潜在风险做出预警。这些技术被应用后，对复杂数据的理解能力得到增强，也提高了对风险变化的敏感度。通过云计算平台的强大能力，可实现对海量数据的高效管控与智能剖析，为科学决策以及风险防控给予坚实的数据后盾^[5]。

4.3 人工智能风险预测模型

采用机器学习和深度学习算法，建立风险预测模型成了增强基坑安全管理水平的关键手段。机器学习借助对海量

历史监测数据的研究，可自动提取数据中的特征及规律，进而建立起针对风险事件发生的预测模型。深度学习再进一步依靠多层神经网络，去模拟复杂的非线性关系，让模型拥有更卓越的表达与泛化能力，可以处理复杂程度远超以往的基坑安全隐患数据。把这两类算法结合，可实现基坑风险的智能辨别，降低人为评判中的主观成分，改善风险评估的科学水平。

在实际应用阶段，风险预测模型可对基坑结构变形、土壤状态、地下水位等诸多监测参数进行综合研判。模型借助学习历史数据里的潜在模式，找出潜在的安全隐患，根据各隐患严重程度进行风险等级的判定。该智能判定并非只顾及单一因素，而是综合纳入多个维度的指标，强化了风险评估的全面性及准确性。根据模型实施的风险等级划分，为工程管理人员提供了明确的风险分级参照，利于针对不同风险等级采取适宜的预防与控制手段。采用机器学习与深度学习技术，风险预测模型有着自我优化及持续学习的能力。随着更多监测数据逐渐汇聚，模型可持续优化进而提升预测精准度，实现动态调整与实时告警，不仅提高了预警的精准度，也加强了预警的即时响应性，成功防止了突发事件的发生。采用智能化措施开展风险预测管控，显著增强了基坑的安全水平，保障工程顺利实施及人员生命财产安全。

5 结语

深基坑工程施工时安全风险复杂而多变，传统管理模式难以满足现代施工安全要求。基于科学的风险评估并借助智能化技术构建预警体系，做到风险的动态监测及精准预警，可切实防范安全事故的出现，保障工程施工的安全性。在未来，需提高智能预警技术研发与应用的水平，引导深基坑施工安全管理向智能化、信息化方向发展。

参考文献

- [1] 刘昭,屈静,袁维娜,吴洋洋.建筑工程施工中深基坑施工技术及安全风险评估[J].中国建筑金属结构,2025,24(06):97-99.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 李中建.基坑工程施工安全风险评估研究[J].四川水泥,2018,(11):242.
- [5] 李锋.基坑工程施工的安全风险评估研究[J].住宅与房地产,2018,(03):175.