

深基坑支护工程风险管理在施工阶段的应用

马兰芳

新疆哈密市市政工程有限公司 新疆 哈密 839000

【摘要】：深基坑支护工程在施工阶段面临诸多复杂风险，涵盖地质条件不确定性、地下水控制难度、支护结构变形及施工环境扰动等因素。风险管理的有效应用是确保施工安全与工程质量的关键。通过对施工阶段的动态监测、风险识别、分级评估与应急措施的系统实施，可形成以预防为主、监控为辅的风险控制模式。研究表明，科学的风险管理体系不仅能够减少事故发生率，还能优化施工组织，提高经济效益与社会效益，从而推动基坑工程管理的精细化与安全化发展。

【关键词】：深基坑支护；施工阶段；风险管理；动态监测

DOI:10.12417/3041-0630.25.20.028

深基坑支护工程广泛应用于城市地下空间开发、地铁车站建设及高层建筑基础施工，伴随着工程规模的扩大和复杂性的增加，其风险特征愈加突出。施工阶段作为风险最为集中且易于突发问题的环节，直接关系到工程成败与周边环境的稳定。频发的坍塌、涌水、支护失效等事故不仅带来经济损失，更对公共安全构成严重威胁。近年来，风险管理理念逐渐融入施工全过程，成为控制不确定性和应对突发事件的重要手段。在此背景下，深入探讨深基坑支护施工阶段风险管理的应用，能够为工程实践提供方法借鉴，也有助于推动行业安全管理水平的持续提升。

1 深基坑支护施工阶段风险特征与成因分析

深基坑支护施工阶段的风险具有明显的综合性与复杂性，这些风险往往源于地质条件与环境因素的高度不确定性。由于深基坑开挖深度大、支护体系复杂，土体的应力场和地下水位都会受到强烈扰动，极易导致周边地层失稳和支护结构变形。地质条件的差异对风险特征表现尤为突出，例如软弱土层容易发生大范围的沉降与侧向位移，而在砂性土层或卵石层中则可能出现渗透破坏和管涌现象。地下水的存在也是风险的重要成因，若排水措施不完善，渗透压力会使坑底隆起甚至引发流砂。此外，周边建构筑物荷载、交通振动以及地下管线分布都在无形中增加了风险的不确定性，这使得深基坑支护工程的施工阶段成为工程全周期中风险最为集中的环节之一。风险的形成并不仅限于自然条件，施工技术与组织管理同样起着决定性作用。在开挖过程中，如果支护结构设计与实际地质情况存在偏差，或施工过程中支护体系未能及时封闭，就可能出现局部失稳，进而诱发整体性破坏。施工机械的振动、开挖顺序的不合理以及降水方案的不足，都会在一定条件下放大原有风险，形成新的隐患。特别是在城市环境下，深基坑工程往往与既有建筑物、地铁隧道和市政管网相邻，一旦出现变形过大或支护失效，不仅会危及基坑本体安全，还会引发次生灾害，对周边环境和公共安全造成严重影响。施工管理中的疏忽，例如监测数

据未能及时反馈，施工方案缺乏动态调整，都会使得潜在风险在短时间内快速演化为事故。由此可见，深基坑支护施工阶段的风险特征在于其诱因复杂、变化快速且影响范围广。

从风险本质来看，深基坑支护施工阶段的成因体现出地质不确定性与人为因素的耦合作用。自然条件为风险提供了潜在土壤，而施工行为则成为风险释放的直接触发因素。在实际工程中，若对风险的认知不足，就会低估基坑变形与地下水影响的严重性，导致预防措施与施工实际不匹配。另一方面，风险一旦形成，往往具有连锁效应，例如局部支护破坏会引发坑壁整体变形，地下水渗透会加速土体失稳，从而形成系统性危害。这种特征决定了风险管理必须高度依赖前期勘察的准确性、施工过程的动态监控以及应急措施的科学性。通过对风险特征与成因的深入分析，可以为后续的识别、评估和控制提供理论基础，也为施工阶段风险管理的实践应用奠定坚实的框架。

2 深基坑支护施工常见事故类型与典型案例研究

深基坑支护施工阶段常见的事故类型具有一定的规律性，其中以基坑坍塌、涌水、支护结构失稳以及地面沉降最为典型。基坑坍塌多发生在土质松散、地下水丰富或支护不到位的条件下，其特点是突发性强、破坏范围广，往往在短时间内造成大面积失稳。涌水事故则与地下水控制不当密切相关，当坑底承压水未能有效疏排时，容易引发管涌、流砂或坑底隆起，导致支护体系失去稳定。支护结构失稳是另一类高发事故，常因桩体刚度不足、内支撑布置不合理或连接节点受力薄弱而引起，从而导致整体结构产生过大变形。地面沉降和周边建构筑物变形也是深基坑施工中的常见问题，尤其在城市环境下，这类事故可能影响邻近道路、管线及建筑安全，其复杂性和连锁反应远超单一事故。

从典型案例来看，某地铁车站深基坑工程中因连续墙施工过程中接头处理不当，导致地下水大量涌入，引发基坑底部隆起与局部坍塌，造成大面积施工停滞。这一案例凸显了地下水控制在深基坑支护中的核心地位，若前期勘察不充分或止水帷

幕存在缺陷,极易引发连锁事故。在另一高层建筑基坑工程中,由于支护桩刚度不足且未能及时加设内支撑,坑壁产生明显的水平位移,最终导致支护桩断裂,引发周边道路大范围沉降,交通受阻并对周边建筑造成裂缝损害。此类案例表明,支护结构设计与施工工艺的细节直接决定了工程安全,而任何环节的疏忽都可能导致灾难性后果。在事故调查与分析中发现,深基坑施工的事故类型往往并非孤立发生,而是多种因素耦合的结果。涌水可能引发土体流失,进而导致坑壁坍塌;支护结构失稳可能加剧地表沉降并对周边建筑物产生附加荷载效应。这种多重风险的叠加效应使得事故治理难度加大,损失范围扩大。通过典型案例的总结可以看到,事故发生的根源在于对风险认知不足、施工管理薄弱以及监测预警不到位。基于对事故类型和案例的深入研究,可以为后续的风险识别与控制措施提供经验参考,同时也为施工单位在面对复杂环境时的决策提供借鉴,从而推动深基坑支护施工阶段风险管理的科学化与规范化。

3 深基坑支护施工阶段风险识别与分级评估方法

深基坑支护施工阶段的风险识别是风险管理体系中的核心环节,只有在充分识别潜在危险源的基础上,才能制定有针对性的防控措施。风险识别的过程需要结合工程地质勘察成果、设计文件和施工组织方案,对可能影响基坑稳定的因素进行系统梳理。常见的风险因素包括地层性质差异、地下水位变化、支护结构强度不足、施工工艺不匹配以及外部环境荷载。通过工程经验和监测数据的对比分析,可以判断出哪些因素可能演变为实际风险。例如在软土地区,土体抗剪强度低、压缩性高,若支护体系设计偏弱,就极易引发坑壁过大变形。风险识别不仅要关注已知问题,还应通过专家论证与数值模拟手段预测隐蔽性风险,从而实现对危险源的全面掌握。在风险识别的基础上,分级评估成为对施工阶段风险严重程度进行量化的重要途径。分级评估方法通常从风险发生的概率与后果严重性两个维度展开,形成风险矩阵,对不同风险进行等级划分。例如将风险分为高风险、中风险与低风险等级,高风险通常指可能造成支护失效或大面积坍塌的情况,中风险则为可控但可能造成一定经济损失或局部事故的情形,而低风险则影响较小且易于控制。在这一过程中,需要充分结合现场监测数据,如位移观测、地下水位监测、内力测点数据等,将动态信息与理论评估结果进行对照,以提高分级的科学性。风险评估不仅是一种静态分类工具,还应体现出动态性,随着施工进度和外部条件的变化,风险等级也应随之调整。

科学的风险识别与分级评估方法能够为深基坑支护施工的风险管理提供可靠依据。通过识别危险源并分级划定,可以在施工组织中合理配置人力、物力与技术手段,将有限的资源投入到最需要控制的风险点上,从而提高整体施工的安全性和

经济性。例如对于评估为高风险的地下水控制问题,应加大监测频率,配置备用抽排设备并完善应急预案,而对于低风险的主要沉降问题,则可以通过日常巡查和常规监测加以控制。分级评估还能够为风险预警体系的构建提供参考,当监测值逼近高风险指标时,可以及时触发预警机制并采取补救措施。这种系统化的风险识别与分级评估方法,不仅提升了施工阶段的精细化管理水平,也为深基坑工程的安全实施奠定了坚实的基础。

4 深基坑支护施工动态监测与风险预警体系构建

深基坑支护施工阶段的动态监测是一种贯穿全过程的技术管理手段,其目标是实时掌握基坑及周边环境的稳定状态,从而为风险预警和控制提供科学依据。监测内容通常涵盖坑壁位移、支护结构内力、地下水位变化、地表沉降及周边建筑物变形等方面。通过布设自动化监测设备和人工观测点,可以实现对关键参数的连续跟踪。当基坑开挖深度逐渐增加时,土体应力场与地下水场的扰动会呈现非线性变化,只有动态监测才能捕捉到这些细微的变化趋势。现代化监测技术的应用,例如全站仪测量、光纤传感系统以及物联网传输平台,使得监测数据更加精细和及时,为深基坑风险管理的数字化与智能化奠定了技术基础。

在动态监测的支撑下,风险预警体系的构建成为保障施工安全的关键环节。预警体系的核心在于建立科学的阈值标准,将监测数据与设计允许值和规范限值进行比对,一旦监测结果接近或超出预设范围,立即触发不同级别的预警。预警分级通常包括提示、警戒与紧急三级,提示阶段提醒管理人员关注潜在风险,警戒阶段需要采取加固或减缓措施,紧急阶段则要求立即停止相关施工并启动应急预案。预警体系不仅依赖于阈值判断,还应结合风险分级评估结果,通过多参数联动分析,减少单一指标误判的可能性。在复杂的城市环境中,风险预警体系还应与周边市政部门和业主单位建立信息联动机制,实现跨区域、多部门的联合响应,提高处置效率。动态监测与风险预警体系的有效结合,能够实现对深基坑支护施工阶段风险的全过程控制。通过监测结果与预警机制的互动,施工管理方可以实现提前干预,将潜在风险消除在萌芽阶段。例如在某大型地铁车站施工中,监测系统捕捉到坑壁水平位移加速发展的趋势,预警系统迅速启动,施工方立即加设支撑并调整开挖顺序,成功避免了可能发生的支护失稳事故。这表明,动态监测和预警体系不仅是一种事后补救措施,更是一种主动防控手段。其科学应用能够在保障安全的同时优化施工组织,降低事故率和经济损失,为深基坑工程的精细化管理提供坚实支撑。

5 深基坑支护施工风险控制技术与应急管理措施

深基坑支护施工过程中,风险控制技术的应用直接决定了工程的安全性与稳定性。常见的控制手段包括合理的支护结构

设计、分层分段开挖以及有效的地下水控制。支护结构的设计需要充分结合地质勘察资料,通过选用地下连续墙、钻孔灌注桩或钢支撑体系等方式,确保支护体系具备足够的刚度与稳定性。在开挖工艺上,采用对称开挖、分段降深等方式,可以有效降低土体应力释放过快而引发变形的风险。对于地下水丰富的地区,必须采用井点降水或帷幕止水等措施,以减少渗透压力对基坑稳定的不利影响。通过这些技术措施的合理组合与动态调整,可以在很大程度上降低基坑支护施工阶段的风险水平。在风险控制的同时,应急管理措施是保证施工过程能够应对突发情况的重要保障。应急管理不仅要求建立完善的应急预案,还需要形成快速反应的组织体系。预案的编制应包括风险源的识别、事故的分级处置流程以及所需的应急资源配置。当监测数据或现场情况表明风险正在迅速演化时,应急措施需要立即启动。例如在出现渗水、坑壁位移过大的情况下,可以通过加设临时支撑、回填反压土体或增加抽排设备来缓解风险。应急管理的有效性依赖于施工人员的熟练程度和组织的协调性,因此必须通过定期的应急演练来检验方案的可操作性,并确保各环节能够在突发情况下快速衔接。

风险控制技术与应急管理措施的协同作用,构成了深基坑支护施工全过程安全管理的核心。单一的技术手段往往难以完全消除复杂环境下的风险,而应急措施则能够在风险超出预期时发挥兜底作用。通过将风险控制与应急管理结合,可以实现由预防到处置的全链条管理模式。例如在某城市综合体基坑工程中,施工方在实施降水与分层开挖等风险控制手段的同时,还设立了专门的应急小组,一旦监测值超过警戒线立即采取补救措施,确保施工安全与工期稳定。实践证明,这种多层次、多手段的综合管理体系不仅能够显著降低事故发生率,还能够提高工程项目的抗风险能力,为深基坑支护工程的安全施工提供了有力保障。

6 深基坑支护施工阶段风险管理应用成效与经验启示

深基坑支护施工阶段的风险管理在实际应用中展现出了显著的成效。通过科学的风险识别与分级评估,施工过程中潜在的危险源得以被提前发现并纳入动态管控范围。监测数据与风险预警体系的结合,使得管理人员能够及时把握基坑变形、地下水位波动和支护结构受力等关键指标,从而实现对风险的

主动干预。大量工程实践表明,完善的风险管理体系能够显著降低事故发生率,减少由坍塌、涌水或支护失稳造成的损失,提升工程安全系数。同时,这种管理方式还促进了施工效率的提高,在降低返工和停工概率的同时,保证了工期的可控性与成本的合理性,体现出风险管理在施工阶段的直接经济与社会效益。

经验总结显示,风险管理的有效性不仅依赖于技术手段的应用,还与组织协调与制度建设密切相关。深基坑工程施工中,跨学科合作与多方联动成为提高风险管控水平的重要条件。勘察、设计与施工单位通过信息共享和实时沟通,可以在风险因素出现苗头时迅速调整方案,避免因信息滞后而导致的决策失误。施工现场的动态监测与反馈机制,也要求管理层具备快速响应与科学决策的能力。在多个工程案例中,凡是建立了完善监测体系和应急预案并进行了有效演练的项目,其事故率明显低于缺乏系统风险管理的工程。这种经验表明,深基坑支护风险管理不仅仅是一套技术体系,更是一种制度化、规范化的管理理念,需要贯穿于施工全过程。在深基坑支护工程的风险管理实践中形成的启示,对于后续工程具有广泛借鉴意义。一方面,必须高度重视前期勘察与设计的准确性,这是风险控制的前提条件。另一方面,动态监测与分级预警的体系需要持续优化,结合智能化与信息化手段,提高监测的精度与实时性。更为关键的是,应急管理的建设应与风险控制形成有机结合,构建多层次的防护机制。通过这些经验的积累与推广,可以为深基坑工程提供更加成熟的风险管理模式,提升行业整体的安全管理水平。事实证明,科学的风险管理不仅能够化解复杂环境下的不确定性,还能够为工程质量与社会公共安全提供坚实保障。

7 结语

深基坑支护施工阶段的风险管理是一项系统性、综合性极强的工作,其核心在于对风险的准确识别、科学评估和动态控制。施工实践表明,只有将监测预警、风险分级和应急措施有机结合,才能最大程度降低事故发生率,保障工程安全与工期稳定。风险管理的应用不仅带来了显著的安全效益与经济效益,也推动了工程技术和管理水平的提升。随着施工环境日益复杂,风险管理的理念与方法必将持续发挥关键作用,为深基坑支护工程的安全实施提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] 刘志强.深基坑工程施工风险管理研究[J].岩土工程学报,2021,40(5):925-933.
- [2] 王建国.城市深基坑支护施工监测与风险控制[J].岩土工程技术,2022,47(3):115-121.
- [3] 陈海峰.深基坑支护结构安全分析与风险评估[J].建筑结构学报,2020,41(2):56-64.
- [4] 张伟东.基于监测数据的深基坑施工风险预警研究[J].岩土力学,2021,42(7):1803-1812.
- [5] 李宏伟.深基坑支护施工技术与风险管理应用[J].工程建设,2023,51(6):44-50.
- [6] 周鹏飞.大型深基坑施工风险识别与控制对策[J].土木工程学报,2020,53(9):122-130.