

深基坑工程支护结构选型与施工过程中的风险预警机制研究

张宝

232302*****3239

摘要:随着城市地下空间开发的不断推进,深基坑工程在高层建筑、地下交通等领域的应用日益广泛。深基坑工程具有施工环境复杂、技术要求高、风险因素多等特点,其中支护结构选型的合理性与施工过程中的风险管控直接关系到工程的安全与顺利实施。本文围绕深基坑工程支护结构选型展开分析,探讨影响选型的关键因素及常用支护结构的适用条件,同时针对施工过程中的各类风险,构建科学的风险预警机制,旨在为深基坑工程的安全施工提供理论参考与实践指导。

关键词:深基坑工程;支护结构选型;风险预警机制

DOI: 10.69979/3060-8767.25.10.063

引言

在城市化进程加速的背景下,土地资源紧张问题日益凸显,地下空间的开发利用成为缓解城市用地压力的重要途径,这也推动了深基坑工程数量的持续增长。深基坑工程作为地下工程的前期关键环节,其施工质量与安全不仅影响后续工程的建设进度,还可能对周边建筑物、地下管线及道路等环境造成影响。支护结构作为深基坑工程的核心组成部分,承担着挡土、止水、维护基坑稳定的重要作用,其选型是否合理直接决定了基坑工程的安全性与经济性。与此同时,深基坑施工过程中受到地质条件、环境因素、施工工艺等多方面影响,易出现基坑坍塌、边坡失稳、沉降过大等风险事故,因此建立完善的风险预警机制,实现对施工风险的提前识别、评估与控制,成为保障深基坑工程安全施工的关键。本文基于深基坑工程的施工特点,系统分析支护结构选型的原则与方法,深入研究施工过程中的风险因素,并构建对应的风险预警机制,为深基坑工程的安全管理提供支持。

1 深基坑工程支护结构选型分析

1.1 支护结构选型的影响因素

支护结构选型需综合考量多种因素,其核心影响因素主要包括以下五类:一是地质与水文条件,土层性质决定了支护结构的承载、抗拔及止水要求,当地下水位较高时,需选用止水效果良好的支护类型;二是基坑开挖深度与规模,开挖深度越大,对支护结构的强度和刚度要求越高,对于不规则或大规模基坑,需注重支护结

构的整体性;三是周边环境条件,当周边存在建筑物或管线时,需严格控制支护结构的变形,临近道路时,需选用施工周期短、对周边干扰小的支护类型;四是施工条件与技术水平,当施工场地狭小时,限制了施工设备的进场,此时需选用对空间需求较低的支护结构,对于技术难度较高的支护结构,要求施工单位具备相应的技术实力;五是经济性与工期要求,需结合项目预算,选用造价合理的支护类型,当工期紧张时,优先选用施工速度快的支护结构。

1.2 常用支护结构类型及适用条件

常用的支护结构主要有五类,各类支护结构均有其特点与适用场景:土钉墙支护施工简便、造价低廉、施工速度快,适用于自立性良好的土层,但止水效果较差,需配合止水帷幕使用;排桩支护刚度大、变形控制能力强、适用范围广,可分为有内支撑和无内支撑两种形式,适用于多种土层;地下连续墙支护刚度大、止水效果好、整体性强,适用于复杂地质条件和敏感环境,可兼作主体结构,但施工工艺复杂、造价高、施工周期长;桩锚支护变形控制能力强、对施工空间要求低,适用于复杂环境或大开挖深度的工程,需严格控制锚杆质量;钢板桩支护施工速度快、可重复使用、止水效果较好,适用于临时工程或工期紧张的项目,但刚度小、变形大,需防控渗漏问题。

1.3 支护结构选型的原则与方法

支护结构选型需遵循“安全可靠、技术可行、经济合理、环境友好”的原则,确保支护结构满足稳定性与变形要求,所采用的技术成熟可行,造价合理,且能减

少对周边环境的影响。选型方法分为三步：首先，依据地质条件、开挖深度、周边环境等因素，初步筛选出2~3种可行的支护类型；其次，从技术、安全、经济、工期等方面进行详细比选，分析支护结构的受力变形、施工难度、造价工期等因素；最后，结合实际需求与专家意见，确定最优方案，在选型过程中，可借助数值模拟软件进行辅助分析。

2 深基坑工程施工过程中的风险因素分析

深基坑施工涉及土方开挖、支护施工、降水排水等多个环节，受地质、环境、施工操作等多种因素的影响，容易滋生风险，若未及时进行管控，可能引发安全事故。其风险因素主要分为以下五类：

2.1 地质与水文风险

地质与水文风险是深基坑施工的基础风险因素，主要包括以下三个方面：一是地质条件突变，在施工过程中遇到不明软弱夹层、溶洞或孤石等情况，容易导致支护结构受力不均，引发变形或破坏；二是地下水位异常，暴雨、地下水补给增加或降水系统故障等因素，会导致地下水位失控，可能诱发管涌、流砂等问题；三是土层渗透性变化，在开挖过程中，土层因应力释放或地下水浸泡，渗透性增大，可能导致止水帷幕失效，地下水涌入基坑。

2.2 支护结构风险

支护结构风险直接关系到基坑的稳定性，主要源于两个方面：一方面是施工质量缺陷，如灌注桩浇筑不合格、地下连续墙接缝处理不当、锚杆注浆不饱满等问题，会降低支护结构的承载和止水能力；另一方面是受力变形超标，土方开挖顺序不合理、开挖速度过快，会使支护结构受力集中，出现支护桩倾斜、锚杆拉力超限、结构变形过大等问题，严重时可能导致支护结构坍塌。

2.3 周边环境风险

周边环境风险是深基坑施工需重点关注的风险因素，基坑开挖会使周边土体应力释放，引发沉降与水平位移：若位移超过周边建筑物的承受极限，可能导致建筑物开裂、倾斜甚至倒塌；地下管线对变形较为敏感，土体变形可能导致地下管线破裂泄漏，影响居民生活与公共安全；施工扰动道路路基，可能造成道路沉降、开裂，威胁交通通行安全。

2.4 施工操作风险

施工操作风险源于施工管理与操作过程中的问题，主要包括以下四个方面：一是施工方案执行不到位，未按照设计要求进行土方开挖或支护结构施工；二是施工设备故障，开挖、降水、支护等施工设备出现故障，会中断施工、降低施工质量；三是作业人员违规操作，如未按照操作规程进行高空作业、未对危险区域进行防护等，可能引发人员伤亡事故；四是施工监测缺位，监测点设置不足、监测频率不够或监测数据未及时分析，无法及时发现施工过程中的风险隐患。

2.5 环境与气象风险

环境与气象风险属于外部影响因素，对深基坑施工具有重要影响：暴雨会导致基坑积水、地下水位上升，加剧管涌、流砂等风险；台风会对周边临时设施、支护结构产生侧向推力，可能导致其变形或倒塌；高温、严寒天气既会影响施工人员的工作效率与安全，也会损害混凝土浇筑、注浆等施工工艺的质量，例如高温会使混凝土坍落度损失过快，严寒会导致混凝土受冻破坏。

3 深基坑工程施工过程中的风险预警机制构建

3.1 风险预警机制的构建原则

深基坑施工风险预警机制需遵循“预防为主、实时监测、分级预警、快速响应”四大核心原则。“预防为主”通过前期风险识别与评估制定措施，降低风险发生概率；“实时监测”聚焦施工关键指标，动态捕捉风险信息；“分级预警”按风险等级发布对应信号，提升应对针对性；“快速响应”要求收到预警后迅速启动预案，防止风险扩散。

3.2 风险预警指标体系的建立

预警指标体系是机制核心，需筛选关键指标并明确合理阈值，分四类构建：

支护结构指标：含支护桩（墙）位移、弯矩、剪力及锚杆轴力。周边有重要建筑时，严控支护桩水平位移阈值；锚杆轴力超阈值需及时加固。

基坑周边环境指标：涵盖周边建筑沉降与倾斜、地下管线沉降与位移、道路沉降与裂缝宽度。各类指标超阈值易致设施损坏，需重点监控。

地质与水文指标：包括地下水位、土层孔隙水压力、土体侧向压力。地下水位超阈值需加强降水；孔隙水压

力突变可能引发管涌；土体侧向压力超阈值易破坏支护结构。

施工过程指标：涉及土方开挖速度、分层厚度、支护施工进度及设备运行状态。开挖速度与分层厚度需匹配支护进度，避免失稳或坍塌；支护进度滞后需赶工；设备故障频繁或参数偏差大需维修调整。

3.3 风险预警等级划分

按指标超标程度与危害后果，预警等级分四级：

蓝色预警：单一指标轻微超标，无其他指标异常，风险影响小，仅需加密监测。

黄色预警：单一指标中度超标或多指标轻微超标，可能影响进度但无安全隐患，需启动一般预案，调整施工参数并增加监测。

橙色预警：单一指标严重超标或多指标中度超标，可能致支护局部破坏、环境受损，需启动专项预案，暂停高风险工序，组织专家评估并24小时监测。

红色预警：单一指标极度超标或多指标严重超标，已造成支护变形、设施损坏，随时可能引发重大事故，需立即停工撤离人员，设警戒带并联系专业救援。

3.4 风险预警机制的运行流程

运行遵循“监测—分析—预警—响应—反馈”闭环：

实时监测与数据采集：施工前按指标体系布设监测点、配专业设备，施工中依风险等级定监测频率，确保数据实时、准确并上传管理平台。

数据处理与风险分析：预处理数据去除异常值，用专业软件分析，结合地质、进度等评估风险状态，确定预警等级。

预警发布与信息传递：指标未超标按原频率监测；超标则明确等级，通过广播、管理群等发布信息，说明等级、超标指标、措施及责任人。

应急响应与措施落实：按等级启动预案：蓝色预警加密监测，黄色预警调整参数并巡查，橙色预警暂停高风险工序，红色预警协调外部救援。

效果评估与机制优化：评估措施有效性，风险可控则降等级或解除；未可控则重新分析调整。事后总结问题，优化指标阈值与预案。

3.5 风险预警机制的保障措施

从三方面保障机制运行：

组织保障：成立安全管理小组，明确项目经理、技术负责人等职责，建立与周边社区、市政、救援机构的联动机制，确保重大风险时获外部支持。

技术保障：配先进监测设备与软件，定期校准维护；培训人员提升专业能力；引入物联网、BIM技术，实现数据实时传输与可视化，提升预警智能化。

管理保障：建监测数据管理、预警发布、预案演练等制度，规范流程；将预警工作纳入考核，奖惩分明，确保措施落地。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本文研究深基坑支护选型与施工风险预警，得出三点核心结论：一是支护选型需综合地质水文、开挖规模等因素，常用类型各有适用场景，依“安全、可行、经济、友好”原则，经多方案比选与数值模拟定最优方案；二是施工存在五类关联风险，易引发坍塌等事故，需科学预警机制管控；三是构建的预警机制以四大原则为核心，含多维度指标、四级等级，明确应对流程与三类保障措施，为安全施工提供系统方案。

4.2 研究展望

未来可从三方面完善：一是结合大数据与AI，加强智能化预警，提升时效性与准确性；二是针对特殊土层、复杂环境专项研究，优化选型与预警指标，增强实用性；三是推动预警机制标准化，制定统一阈值与预案规范，为行业提供指南，提升整体安全管理水。

参考文献

- [1] 何剑峰.建筑工程深基坑支护结构选型原则与应用[J].四川水泥, 2022(11): 200-202.
- [2] 陈思源.建筑工程深基坑支护结构选型原则与应用[J].中国科技期刊数据库 工业 A, 2022.
- [3] 林志远.高层建筑深基坑支护结构的选型及施工[J].建筑与预算, 2023(11): 71-73.
- [4] 蔡兴平, 邵永健.大面积深基坑支护结构选型与开挖模拟[J].苏州科技大学学报:工程技术版, 2022(03): 5-002).
- [5] 王亦玄, 谢久娟.污染土治理措施与深基坑支护结构结合的应用研究[J].路基工程, 2020(006): 000.