 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i7.11054

Research on the Construction of Dynamic Construction Safety Management and Control Mechanism Based on PDCA Cycle and Risk Early Warning

Chundi Li

Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing, 100094, China

Abstract

Aiming at the drawbacks of traditional construction safety management, including static management mode, insufficient risk early warning and delayed feedback, this paper integrates the PDCA cycle theory with risk early warning thinking, and constructs a dynamic construction safety management and control mechanism featuring "cycle driving – early warning triggering – dynamic regulation". Firstly, the whole process of safety management is reconstructed based on the PDCA cycle. Secondly, a two-dimensional "probability-consequence" framework is adopted to establish a classified risk early warning mechanism. On this basis, the dynamic feedback channel is realized by combining the Internet of Things (IoT) and BIM technology, which transforms safety management from post-event disposal to pre-event prevention. Case verification demonstrates that the proposed mechanism reduces the hidden danger rectification cycle by approximately 50%, significantly improving risk response efficiency and control accuracy. It provides theoretical support and practical approaches for dynamic safety governance of building construction projects.

Keywords

PDCA cycle; construction safety; risk early warning; dynamic management and control; construction engineering

基于 PDCA 循环与风险预警的施工安全动态管控机制构建研究

李春狄

北京城建集团有限责任公司，中国·北京 100094

摘　要

针对传统施工安全管理偏于静态、风险预警缺失及反馈滞后等问题，本文融合PDCA循环理论与风险预警思想，构建了“循环驱动—预警触发—动态调控”的施工安全动态管控机制。首先利用PDCA循环重构安全管理全过程；其次引入“概率—后果”二维框架建立风险分级预警机制；在此基础上依托物联网与BIM技术打通动态反馈路径，实现安全管理由事后处置向事前预防的转型。案例验证表明，该机制可使隐患整改周期缩短约50%，有效提升了风险响应效率与管控精准性，为建筑施工安全动态治理提供了理论支撑与实践路径。

关键词

PDCA循环；施工安全；风险预警；动态管控；建筑工程

1 引言

在建筑工程大型化、结构体系复杂化的行业发展背景下，施工场景安全隐患贯穿施工组织规划、进度统筹管控、人力物资调配等全流程环节。传统安全管理标准化体系与常规信息化管控手段，难以适配施工现场突发式、动态化的风险特征，普遍存在风险识别不及时、动态管控存在漏洞等问题，复杂工况下的前置风险预判与实时动态调控，已然成为建筑安全领域亟需攻克的关键难题。从现有学术研究与工程实践来看，PDCA 循环管理模式具备持续优化改进的优势，但多数应用场景仅针对静态管理流程进行完善，缺失施工现场风险的实时响应与动态处置能力；成熟的风险管理理论虽搭建了完整的风险评估与研判体系，但未能深度融入施工全生命周期，存在理论与工程实践脱节的情况；以 BIM、物联网技术为核心的数字化工具，目前大多仅应用于基础施工辅助工作，尚未与安全管理循环、风险智能预警体系形成深度融合，无法构建起“闭环管理 - 风险预警 - 动态调控”的一体化协同管控体系，现存安全管理模式的动态性、系统性短板较为突出。基于此，本文跳出传统静态安全管控的固有模式，将动态风险预警机制嵌入 PDCA 循环管理框架，依

【作者简介】李春狄（1983–），男，中国湖南衡山人，本科，助理工程师，从事安全技术研究。

托文献梳理、系统分析等研究方法拆解施工安全管理全流程痛点，搭建集风险识别、实时响应、迭代反馈于一体的自适应动态管控模型，并结合实际工程项目开展实证研究，验证该模型在提升施工风险识别效率、强化安全管控精准度方面的应用价值。本次研究严格遵循“问题剖析 - 理论融合 - 模型搭建 - 机制优化 - 实例验证”的完整技术路径，以期推动建筑施工安全管理模式革新，助力行业从传统经验化管控向系统化、动态化、前置化的主动防控模式转型升级。

2 理论基础与分析框架

2.1 PDCA 循环理论在施工安全管理中的适用性

PDCA 循环由计划（Plan）、执行（Do）、检查（Check）、处理（Act）四个阶段构成，通过闭环运行实现持续改进 [2]。其在施工安全管理中的适用性体现在：支持管理目标的层次化分解，将局部任务汇总为企业整体目标 [3]；强调管理主体间的深度协同，提高管理实效性；具备螺旋上升特征，使管理体系能在循环中感知新情况并自动迭代 [4]。然而，传统 PDCA 应用存在周期性滞后问题，在高度动态化的施工场景下，需引入实时监测机制以增强快速响应能力。

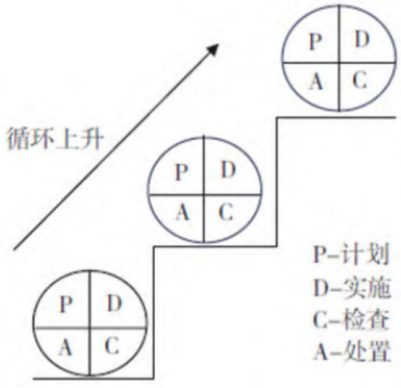


图 1 PDCA 循环基本原理

2.2 施工安全风险管理与预警理论

风险管理理论旨在通过识别、评估与控制实现风险最小化 [5]。施工风险具有高度复杂性与耦合性。近年来引入的概率风险评估（PRA）与贝叶斯网络等手段，使风险评估从经验驱动转向数据驱动 [6]。在此基础上，风险预警机制强调“过程感知”与“即时响应”，通过阈值设定与指标监测实现风险前置识别与提前干预。然而，现有预警模型多独立运行，与具体管理流程之间缺乏紧密耦合，导致其作用难以持续发挥。

2.3 动态管控与信息化支撑理论

以 BIM 为代表的信息化工具通过构建三维模型，实现了施工空间、进度与安全信息的集成。结合物联网、传感器及云平台技术，可实现对现场人员行为、设备状态及环境参数的实时监测。动态管控的核心在于打破传统静态模式，实现对施工过程的持续跟踪与即时调整 [7]。信息化技术不仅能提高数据采集效率，还能支持决策优化。但目前信息化技术多停留在“辅助工具”层面，未能完全融入管理逻辑并形成有效的管理闭环。

2.4 综合分析框架构建

PDCA 循环、风险预警与信息化技术分别从管理逻辑、决策支持与技术手段层面作用于施工安全，但三者尚未统一。为此，本文构建“PDCA 循环驱动—风险预警嵌入—动态反馈调节”的综合分析框架，将风险预警嵌入 PDCA 各阶段，并以信息化技术为支撑，实现动态闭环运行。在该框架中，PDCA 构成管理主线，风险预警作为触发节点，信息化系统负责数据采集与反馈，使安全管理具备更强的适应性与前瞻性。

3 施工安全管理现状与问题分析

3.1 施工现场安全管理现状与局限

当前施工现场安全管理虽逐步纳入标准化轨道，但仍依赖人为经验与行政约束，缺乏系统化的过程控制支撑。在多工种交叉作业与高风险工序并行时，传统以巡检为主的方式难以及时捕捉潜在隐患。统计显示，建筑施工领域事故起数和死亡人数仍占较高比例，高处坠落、物体打击等关键风险控制仍存薄弱环节。传统 PDCA 应用依赖“阶段性循环”，由于施工现场风险具有突发性与连续演化特征，这种时间滞后导致部分风险在进入“检查”环节前已转化为事故。此外，传统 PDCA 对数据依赖度低，信息反馈不充分，难以支撑精细化管理。

3.2 风险管理与信息化应用水平有待提升

当前施工安全风险管理缺少完善的系统化预警与响应机制，风险识别多集中于开工前或阶段性评估，未形成覆盖施工全周期的动态更新体系 [8]。现有风险评估以定性分析为主要方式，仅能完成基础的风险等级划分，无法与具体施工工序精准联动，评估结果指导性较弱。同时，风险信息在多层级传递过程中易出现失真、滞后等衰减问题，影响现场管控时效性。在信息化应用方面，BIM、物联网等数字化技术仅作为基础辅助工具使用，应用深度不足 [9]。施工现场采集的监测数据难以转化为有效的管理决策依据，数据采集与安全管控存在明显断层。各业务系统数据互不互通，信息孤岛问题突出，信息化平台未有效嵌入 PDCA 闭环管理与风险管理体系，难以适配施工现场动态实时的安全管控需求。

3.3 风险管理体系建设存在短板

目前建筑施工安全管理虽已引入基础的风险识别与评估手段，但整体仍以事后复盘和经验判断为主，缺失前置预警与动态响应的系统化机制。施工安全风险贯穿项目全周期，会对工程进度、成本及质量造成连锁影响，但实际管控中，风险评估仅局限于施工前期与关键阶段，缺乏持续跟踪与动态修正。现有定性、半定量的评估方式，仅能完成风险

等级界定，无法结合现场施工流程制定落地性管控措施，导致评估结果与实际管理脱节。同时，风险信息传递损耗严重，一线人员无法及时接收预警信息，致使安全防控措施滞后、失效。现有概率分析、不确定性建模等风险研究方法，多针对建筑结构健康监测场景，与施工现场安全管理流程适配性较低，难以充分发挥精细化风险管理的赋能效果【10】。

3.4 信息化赋能与动态管控能力不足

BIM、物联网、大数据平台等数字化技术，为施工安全精细化管控提供了技术支撑，实现了施工现场多源数据采集与可视化分析的基础条件。但现阶段信息化技术与安全管理体系融合程度较低，应用模式较为浅层，并未充分发挥数据赋能价值。现场传感设备可实时采集海量监测数据，但由于缺少标准化的数据整合与分析机制，原始数据无法转化为可落地的风险预警信息，造成数据与决策脱节。同时，各信息化系统缺乏统一对接标准，数据壁垒普遍存在，多数系统仅服务于安全教育、隐患排查等单一模块，未全面融入 PDCA 循环与全过程风险管理体系。碎片化的数字化应用模式，无法支撑施工现场动态闭环管控需求，行业亟需构建数据驱动的全流程动态安全管理体系，补齐动态管控能力短板。

4 基于 PDCA 循环与风险预警的动态管控机制构建

4.1 动态管控机制总体架构设计

为了有效破解传统安全管理模式中信息流与决策流严重脱节的现实困境，本研究将风险预警机制作为动态触发的核心自变量，深度解构并嵌入传统的 PDCA 管理循环内部，从而构建起一个兼具过程规范性与实时自适应调节能力的动态管控模型 [11]。该机制的运作并非将技术工具与管理流程进行简单的机械叠加，而是通过底层多源数据的连续输入，驱动计划、执行、检查、处理四个管理阶段发生高频的数字化交互 [12]。整个机制以风险为基本导向，依托信息化孪生技术搭建的数据高速通道，确保管理行为能够随着施工现场环境的瞬时突变而做出即时调整，使安全控制能够如神经纤维般嵌入施工全过程。

4.2 PDCA 循环驱动的安全管理框架重构

在重构后的安全管理框架中，PDCA 四阶段从传统的线性递进链条演变为高频交互的网络化结构 [13]。在动态计划阶段，系统改变了以往单纯依赖历史经验编制安全方案的静态模式，通过强制性导入基于 BIM 的三维空间空间分析结果以及基于历史大数据的危险源辨识清单，将具体的风险控制指标与监测阈值直接写入专项施工技术方案之中 [14]。进入精细执行阶段后，方案中的控制措施依托智慧工地系统转化为动态的移动端指令，每天定时推送至一线作业人员与现场管理者的智能终端上，从而确保风险前置控制策略能够精准落实到具体作业面上。

4.3 风险预警层级与触发矩阵设计

作为该机制最核心的神经中枢，实时检查阶段由传统的人工定期巡检彻底升级为物联网全天候高频监测与人工高精准抽检的双轨制运行模式 [15]。系统通过在深基坑、高支模等危大工程现场布设的传感网络，对围护结构位移、支撑轴力、架体倾角等物理参数进行高频扫描 [16]。在此基础上，引入“概率—后果”二维风险测度模型并结合模糊层次分析法，实时测算现场的综合风险值。当该数值突破系统预设的安全阈值时，便会即刻触发包含蓝色常态监控、黄色加强巡视、橙色限制作业及红色停工整改在内的四色预警机制，明确了不同风险状态下的现场物理管控措施。

4.4 动态响应与闭环优化路径

在预警信号的指针触发下，动态处理阶段立即启动与之相对应的分级响应纠偏程序 [17]。这一过程不仅能够对现场的不安全状态或违章行为进行强行中断与精准整改，同时，中央数据仓还会自动将该次异常事件的数据特征滚动记录并输入系统数据库。这些历史数据经过深度挖掘后，会直接反哺并修正下一个循环周期的计划设定与阈值参数。通过这种“监测—识别—响应—反馈”的连续循环运转，本研究构建的模型最终形成了管理层负责目标制定、决策层负责策略调整、执行层负责措施落实的三层耦合网络结构，使得施工安全管理系统具备了稳健的自适应优化能力。

5 应用分析与机制验证

为了检验上述动态管控机制在实际工程项目中的适用性与有效性，本研究选取了某建筑面积约为 18.6 万平方米的大型高层住宅及商业综合体项目进行实证研究。该工程具有建筑体量大、结构形式复杂、施工周期长等特点，且在其施工过程中涵盖了超深基坑开挖、高大模板支设以及多工种密集交叉作业等典型的高风险施工环节。在项目实施阶段，研究团队协助项目部搭建了集成 BIM 技术与物联网无线传感网络的智慧工地管理平台，并将重构后的动态管控模型全面嵌入到现场的安全日常管理流程之中。

在机制的具体实施过程中，项目部首先在基坑开挖阶段设立了严密的量化风险控制清单，将基坑地表沉降、支护结构水平位移及支撑轴力变化作为核心监测指标，并根据国家标准严格设定了触发阈值。在实际流水作业中，布设在现场的自动化传感设备将采集到的海量物理参数通过无线网络实时上传至中央数据处理仓，评估模块据此自动生成连续的风险演化曲线，从而在时间维度上成功弥补了传统人工巡检存在的监测间歇期。在检查与响应环节，项目部推行了严格的“30 分钟线上红黄色预警限时整改机制”，一旦系统判定支撑轴力异常波动或位移超限触发黄色预警，信息会即刻推送至专职安全员及专业分包负责人手机端，督促其在限定时间内完成局部加固和风险消除工作。

从该机制运行前后的应用效果对比分析来看，动态管

控模型的引入为该项目的安全绩效带来了实质性的结构化提升。定量统计数据显示，在机制全面推行后的主体结构施工阶段，现场安全隐患从暴露到彻底整改完成的平均周期较以往缩短了约一半，因人员违章操作和设备疲劳损伤引发的局部黄色及以上预警的触发频次也呈现出逐月显著下降的趋势。这表明，将风险预警作为动态变量嵌入 PDCA 循环后，能够赋予传统安全管理体系强大的实时感知与过程控制能力。

通过对基础施工、结构封顶以及装饰装修等不同施工阶段的连续跟踪验证，该耦合模型在面对环境温度突变、恶劣天气扰动以及人员高频流动等复杂情境时，均表现出了良好的运行稳定性和较高的预警敏感度。这种将静态的风险分级管控转化为全过程动态调节的管理范式，不仅与国家当前大力推进的安全生产“双重预防机制”在底层逻辑上高度契合，更通过管理流程的系统化重构，最大化地释放了智慧工地硬件设备的技术效能，从而充分验证了该机制在现代复杂工程安全管理中具有显著的实践推广价值与学术创新性。

6 结论与展望

本研究构建了基于 PDCA 循环与风险预警耦合的施工安全动态管控机制，并通过大型房建工程案例验证了其有效性。研究表明，将风险分级管控动态嵌入 PDCA 循环，能有效打破传统模式的时间滞后性，实现安全管理流程的实时闭环与自我优化。实证结果显示，机制运行后现场隐患整改周期缩短约 50%，重大隐患发生率显著降低。该机制的核心贡献在于通过流程重构实现了信息流、决策流与执行流的深度协同，成功将安全管理由被动的事后处置转向主动的事前预防与动态调节，弥补了既有研究中流程框架与技术手段相互割裂的不足。

尽管该机制在具备一定信息化基础的项目中展现出良好的适用性，但其推广仍受到成本投入、系统稳定性和数据采集质量等现实因素的制约。未来研究可在多项目对比与跨区域样本扩展的基础上，进一步检验该模型的普适性与稳定性。同时，需结合人工智能与大数据分析技术，优化风险预警模型的算法精度与响应速度，使其能更好地适应施工现场高度动态与不确定性的特征。在政策和行业层面，将该机制与智慧工地建设标准相衔接，有助于推动形成标准化、可复制的施工安全动态管控模式，从而全面提升行业的整体安全治理水平。

参考文献

[1] 刘凯.建筑工程施工现场安全管理研究[J].散装水泥,2025,(06):147-149.

[2] 黄世国,徐丽.基于PDCA循环的建筑施工安全管理研究[J].山西建筑,2007,(04):219-220.

[3] 张元刚.试析基于PDCA循环的建筑施工安全管理模式[J].散装水泥,2023,(02):58-60.

[4] 巫明蓉.基于鱼骨图和PDCA的建筑施工安全管理研究[J].工程建设与设计,2020,(10):253-254.

[5] 唐创新.项目管理过程质量风险控制分析[J].轻工科技,2016,32(09):128-129.

[6] A.J. H ,R.J. B ,N. D , et al.A probabilistic risk-based decision framework for structural health monitoring[J].Mechanical Systems and Signal Processing,2021,150107339-.

[7] 包胜,沈勇,李鹏世,等.基于BIM技术的施工安全管理应用体系[J].施工技术,2019,48(18):38-40+110.

[8] 姚丽娟,张晓阳.工程项目施工进度管理与风险应对策略研究[J].秦智,2025,(05):49-51.

[9] 刁尚东,苏岩,马柔珠,等.BIM技术在预制装配式建筑施工安全管理中的应用[J].广东土木与建筑,2020,27(03):61-64.

[10] Dobi S ,Gleirscher M ,Spichkova M , et al.Model-based Hazard and Impact Analysis.[J].CoRR,2015,abs/1512.02759

[11] 韩鹏军.PDCA循环下建筑施工安全管理探究[J].新疆有色金属,2025,48(03):90-91.

[12] 李风国.建筑安全管理的PDCA循环[J].居舍,2020,(32):129-130.

[13] 张超杰,张俊杰.浅议建筑安全管理的PDCA循环[C]//土木建筑学术文库(第14卷).郑州市振兴建筑安装工程有限公司;,2010:340-341.

[14] 王秋.基于PDCA循环法的建筑工程施工计划管理[J].价值工程,2014,33(09):60-61.

[15] 沈雯.建筑工程安全管理中PDCA法的运用[J].建材与装饰,2018,(03):154-155.

[16] 洪硕钊.PDCA循环在建筑施工安全管理中的应用[J].能源与环境,2011,(01):111-113.

[17] 马辉杰.PDCA循环法在预应力管桩施工管理中的应用[J].山西建筑,2009,35(20):125-126.