

# Research on the Investigation and Prevention of Scaffolding Collapse Hazards Based on Accident Cases

Yong Lu

China Chengda Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 735299, China

## Abstract

This study focuses on the frequent and severe scaffolding collapse issues in petrochemical construction, using typical accident cases from the past five years (2020-2025) as the basis and employing methods such as case statistics and "4M1E" for in-depth analysis. The study reveals that the causes of collapse accidents lie in multiple factors, including personnel violations, technical defects, and management deficiencies, with management deficiencies being the root cause. Therefore, this paper proposes a closed-loop hazard investigation process for the entire construction process and establishes corresponding prevention strategies from four aspects: technology, management, education, and emergency response, aiming to provide a set of safety management measures that can transform construction from passive protection to active prevention.

## Keywords

scaffolding collapse; hazard identification; prevention and control measures; 4M1E model

## 基于事故案例的脚手架坍塌隐患排查与防控对策研究

卢勇

中国成达工程有限公司, 中国·四川成都 735299

## 摘要

本研究聚焦于石油化工建设中频发且危害严重的脚手架坍塌问题, 以近五年(2020-2025年)的典型事故案例为基础, 运用案例统计、“4M1E”等方法进行深入分析。研究可知, 坍塌事故发生的原因在于人员违章、技术缺陷以及管理缺位等多方面因素, 其中管理缺位是根本因素。因此, 本文提出针对施工全过程的封闭式隐患排查流程, 并从技术、管理、教育和应急四个方面建立相应的防控策略, 旨在提供一套能使施工从被动防护向主动防范转变的安全管理措施。

## 关键词

脚手架坍塌; 隐患排查; 防控对策; 4M1E模型

## 1 引言

作为建造施工中必不可少的重要设施, 外脚手架可以提供作业平台, 确保施工安全。但其坍塌情况时有发生, 易造成人员伤亡和巨大经济损失。引起外脚手架坍塌事故的因素众多<sup>[1-2]</sup>。一旦出现坍塌等事故, 容易造成重大的人员伤亡与经济损失。

随着行业的发展, 脚手架使用频率逐渐加大, 国家也愈发重视施工安全问题。虽然有关法律法规不断健全完善, 如《石油化工建设工程施工安全技术标准》(GB/T50484-2019)等对脚手架施工安全提出了严格要求, 但安全事故仍屡见不鲜, 特别在脚手架的搭设、拆除等环节。因此加强脚手架的安全管理与控制就尤为重要。

**【作者简介】**卢勇(1993—), 男, 中国四川邻水人, 本科, 工程师, 从事建筑施工安全管理研究。

## 2 脚手架坍塌事故案例收集与特征分析

### 2.1 事故案例来源与特征

事故案例主要来自各级政府官网、应急管理部门公布的事 故调查报告及各类事故警示案例, 以及权威行业媒体等资料, 保证案例的真实性, 具体可见表 1。由表可见事故主要发生在搭设阶段和使用阶段。大部分的事故死亡人数多为 1-2 人。这样的统计数据有利于相关部门开展事故分析和制定事故安全管理工作。

### 2.2 基于案例的直观事故类型分析

首先是全部失稳倾覆型, 即整个支撑系统不完全, 或者违规操作导致整个架体失稳而倾覆。其次是局部垮塌型, 是指在架体局部发生的事故, 这是由于超载或者架体结构存在缺陷等问题局部破坏而发生垮塌。最后是滑移坍塌型, 这是由于脚手架基础不稳定或作业过程中脚手架被违规移动造成的。

上述三种类型事故反映了脚手架坍塌事故类型的多样性和复杂性, 所以应当从具体的事故发生特点来对症下药。

表1 事故警示案例

案例编号	事故时间与地点	涉及项目与事故简述	直接原因与化工建设特征
A	2023年9月, 内蒙古包头	多晶硅项目。工人在球罐内搭脚手架, 调整扣件时从10米高处坠落死亡。	1. 受限空间高危作业; 2. 安全带挂点错误; 3. 分包培训不到位。
B	2025年1月, 安徽淮南	表面活性剂项目。外脚手架作业层未铺脚手板, 整层无连墙件。	1. 构造缺陷(连墙件缺失); 2. 管理责任穿透(施工、监理等多方受罚)。
C	2022年5月, 湖南岳阳	石化搬迁项目。塔吊吊运钢管时起重伤害, 1死1伤。	1. 交叉作业风险(脚手架与吊装); 2. 总包对分包设备(塔吊缺陷)及现场协调监督不力。
D	2023年4月, 某化工企业	装置管廊技改。焊接时搭设无支撑、悬挂于管廊的“吊篮式”脚手架。	1. 违规搭设(偷工减料); 2. 变更管理缺失(未做风险分析及作业许可)。

### 3 基于“4M1E”模型的案例深度剖析与关键隐患识别

#### 3.1 “4M1E”事故致因分析框架构建

为了对脚手架坍塌事故展开进一步的研究, 本文通过引入“4M1E”模型(人: Man; 机: Machine; 料: Material; 法: Method; 环: Environment; 管理: Management), 该模型能够更客观地将事故发生原因分类于系统化的框架之内, 进而有助于更深层次地发现事故发生的主要原因, 有助于预防今后发生类似事故。

其中人指的是工人操作、资质、安全意识等相关情况; 机是指作业设备是否具备安全保障; 料是指材料是否存在质量缺陷、是否能够按照规范要求正确使用; 法指施工方案、施工操作规程是否符合安全标准、是否得到严格遵守和落实; 环指的是施工的外界环境因素会对工程造成什么样的影响; 管理是指是否存在安全管理体系、监督体系以及责任划分问题。

通过此种方式建立的模型可为具体事故分析提供一种结构化手段, 进而全面地分析事故原因。

#### 3.2 典型事故案例深度剖析

案例A, 人员不安全行为和管理失效的共同作用造成了这次事故发生。该案例中作业人员安全带挂点错误, 导致架体失稳。同时, 人员安全培训不足、空间狭窄等也是导致事故的重要原因。这表明管理及操作行为方面的安全风险隐患是事故的主要成因。

案例B与案例D中, “法的缺失”与“环的忽视”都是酿成事故的主要原因。两者没有专项方案或方案未执行而导致事故发生, 除此之外, 两者也没能充分考虑到周边环境的影响, 从而忽略了事故发生的可能性。

由此可见, 技术、环境都是造成脚手架坍塌的主要因素。

#### 3.3 关键隐患因子系统梳理与致因链模型

正如表2所示, 基于“4M1E”模型的事例案例分析结果证明, 脚手架坍塌成因存在严重的系统性和耦合性。

首先, 人员和管理隐患交织, 案例A的培训不到位与案例A、C的监管悬空等皆存在人员不按规定行为, 体现了管理人员管理和监管的失职, 说明管理失效是产生人员不安

全行为的深层土壤。

其次, 技术方案缺陷是直接致因。由于无专项方案或构造措施缺失(B、D)的方法隐患导致事故的发生。

表2表明, 脚手架安全的任何一个薄弱点都可能与其他隐患相关, 从而引起系统性破坏, 导致系统安全防线失守, 所以需要有针对性地建立防护体系。

表2 关键隐患因子对照表

隐患维度	关键隐患因子	对应典型案例
人 (Man)	无证上岗, 违规操作	案例 A
	安全意识淡薄, 冒险作业	案例 D
法 (Method)	无专项方案或方案不合规	案例 B
	关键构造措施缺失或违规拆除	案例 D
环 (Environment)	作业基础不牢、不实	案例 A, 案例 C
管理 (Management)	安全教育培训与交底流于形式	案例 A
	现场安全监管严重缺失	案例 A, 案例 D
	变更作业管理失控	案例 D

### 4 基于案例教训的隐患排查方法与防控体系构建

#### 4.1 全生命周期隐患排查流程设计

本文提出“事前预控、事中监管、事后反思”的闭环隐患排查过程。

事前预控, 即拆除作业要作为独立的高危环节, 需要编制、审批专项方案, 并且经过现场核实, 达到相关相关要求。事中监管, 即所有作业都必须纳入总监管之中。事后反思, 即施工之后对事故隐患做出总结反思, 整改与安全管理不断改进。通过上述构建起闭环隐患排查流程, 实现对工程隐患的全面查究和管控。

#### 4.2 针对关键隐患的具体检查方法与技术应用

针对“人”的隐患, 可实行“人脸识别+证件查验”措施, 人员持证上岗, 并提前预警高危作业。对作业人员的安全知识进行培训教育, 提升作业人员的安全意识, 使作业人员养成良好的安全习惯<sup>[1]</sup>。针对“法”、“料”隐患, 可编制《脚手架关键构造检查清单》, 检查连墙件、扫地杆、剪刀撑等

设施。还可以应用 BIM 技术搭建脚手架模型，检查设施搭设是否合理。针对“管理”缺陷，使用移动巡检 APP 代替原有纸质记录，做到随时查看溯源，形成检查记录的数字化、可追溯以及问题闭环整改。这些手段可以提高隐患排查的准确性和实时性。

### 4.3 多层次一体化防控对策体系

建立多层次一体化防控对策体系，该体系涵盖技术、管理、教育和应急四个层面，其具体构成与对应关系如表 3 所示。从而使防控对策体系从技术、管理、教育和应急四个方面来加强脚手架的安全管理水平。

表 3 脚手架坍塌事故多层次一体化防控对策体系

防控层级	核心目标	具体措施	对应隐患维度
技术硬防控层	消除物理缺陷，强化本质安全	1. 推广定型化、工具化爬架 2. 高大 / 特殊架体实时监测报警 3. BIM 技术模拟与碰撞检查	机 (M)、法 (M)、环 (E)
管理软防控层	压实责任，规范流程	1. 安全绩效挂钩款项支付 2. 高危作业“作业票”多方签字 3. 移动巡检 APP 实现闭环	管理 (M)、法 (M)
教育常态化层	提升意识，规范行为	1. “人脸识别 + 证件查验”准入 2. VR 沉浸式事故体验 3. 班前安全喊话，针对性警示	人 (M)、管理 (M)
应急兜底层	减轻后果，提升响应	1. 配备破拆、顶撑等应急器材 2. 定期“无脚本”应急演练	管理 (M)、环 (E)

## 5 结语

本研究通过案例分析得出相关结论。脚手架坍塌事故通常是因为人员违章、技术缺陷、管理漏洞的因素综合作用所造成的，其根本原因为管理缺失。

本文提出的研究防控体系强调系统性、精练性及动态化，在技术上和管理上采取管控措施，并且注重在教育上培养和应急管理的强化培训，从而有效地提升脚手架的安全管理水平。

## 参考文献

- [1] 何芳东, 张潇, 张伟, 等. 模板支撑体系坍塌事故规律[J]. 土木工程与管理学报, 2018, 35 (4): 137-145.
- [2] 滑维杰, 周铁军, 翟越, 等. 基于 ANP-FUZZY 的施工现场安全风险评价方法[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2020, 52 (6): 912-917.
- [3] 李文迪, 刘卫英, 邵明静, 等. 基于“2-4”模型的脚手架坍塌事故行为安全影响分析与研究[J]. 水泥, 2024, (01): 63-66.