

机械制造企业安全生产事故后“复盘—改进—预防”闭环管理机制研究

刘培红

(宝时得科技(中国)有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要 在机械制造行业高风险生产场景下, 安全生产事故的事后管理能力直接决定了企业安全发展韧性。本文针对传统事故处理中存在的复盘流于形式、改进措施落地不实、预防机制缺乏系统性等问题, 提出“复盘—改进—预防”全链条闭环管理机制。通过整合智能勘查技术、多维归因方法、数据驱动改进工具及全员共治预防体系, 构建兼具技术创新性与实操可行性的管理框架。结合机械伤害事故典型案例分析, 阐明机制运行的关键节点与实施路径, 以期为机械企业实现从“事故应对”向“风险预控”的转型提供借鉴。

关键词 机械企业; 安全生产事故; 闭环管理; 复盘机制

中图分类号: TH16

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.028

0 引言

机械制造作为工业体系的核心支柱, 其生产过程涉及复杂的设备集群、高危作业环节及多类型危险源, 安全生产始终处于工业管理的核心地位。尽管职业健康安全管理体系已广泛推行, 但机械伤害、设备故障、金属粉尘爆炸等事故仍时有发生, 每起事故背后均隐藏着管理漏洞、技术缺陷与意识盲区的叠加效应。传统事故处理模式往往局限于“追责—整改”的单向流程, 缺乏对事故根源的深度挖掘、改进措施的动态追踪及预防机制的系统构建, 导致同类事故反复出现, 形成“事故—处理—再事故”的恶性循环。本文针对机械企业生产特点, 提出可落地的闭环管理实施路径, 通过智能技术与管理流程的融合, 提升事故分析的科学性、改进措施的有效性及预防机制的前瞻性, 助力企业降低事故发生率, 保障员工生命安全与企业可持续发展^[1]。本文采用文献研究法与案例分析法相结合的研究方式: 通过梳理国内外安全生产闭环管理、事故致因理论等相关文献, 奠定理论基础; 结合某机械加工企业典型事故案例, 具象化阐述闭环管理机制的运行逻辑。研究框架分为理论构建、机制拆解、案例验证及保障体系四个部分, 形成“理论—实践—保障”的完整分析链条。

1 “复盘—改进—预防”闭环管理核心概念界定和理论支撑

随着工业互联网、人工智能等技术在制造业的深度渗透, 为事故后管理的范式革新提供了可能。如何

利用数字化工具打破管理壁垒, 构建“复盘有深度、改进有精度、预防有力度”的闭环管理体系, 成为机械企业突破安全管理瓶颈的关键命题。

1.1 核心概念界定

(1) 安全生产事故闭环管理: 以事故为起点, 通过复盘阶段的根源挖掘、改进阶段的措施落地、预防阶段的风险管控, 形成“信息收集—分析归因—措施实施—效果评估—风险预控”的循环管理系统, 确保每个管理环节的输出均成为下一环节的输入, 实现管理效能的持续迭代。(2) 复盘机制: 指事故发生后, 通过系统化的现场勘查、信息整合与归因分析, 还原事故全貌、定位核心问题、挖掘根本原因的结构化流程, 区别于传统事故调查的关键在于其“全景式追溯”与“系统性归因”特征。(3) 预防机制: 基于复盘与改进成果, 构建涵盖风险识别、分级管控、隐患治理的前瞻性防控体系, 实现从“被动应对”向“主动预控”的转型。

1.2 理论支撑

(1) 事故致因理论: 从海因里希因果连锁理论到瑞士奶酪模型的演进表明, 事故的发生是“人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不良因素及管理缺陷”共同作用的结果^[2]。本文基于该理论, 在复盘阶段构建多维度归因框架, 确保根源分析的全面性。(2) 持续改进理论: 依据PDCA循环(计划—执行—检查—处理)原理, 将复盘视为“检查”环节的深化, 改进对应“处理”环节的落地, 预防则是“计划”环节的升级, 形成螺旋上升的管理循环。

2 机械企业“复盘—改进—预防”闭环管理机制构建

2.1 机制总体框架

闭环管理机制以“数据驱动、全员参与、动态迭代”为基本原则，构建“三阶九节点”运行框架：第一阶段为复盘阶段，包含现场保护与信息收集、多维归因分析、复盘报告生成三个节点；第二阶段为改进阶段，涵盖措施制定、分级实施、效果评估三个节点；第三阶段为预防阶段，包括风险图谱构建、管控体系优化、文化培育三个节点。各节点通过信息共享平台实现数据互通，形成“复盘输出改进依据、改进反哺预防体系、预防验证复盘成效”的循环逻辑^[3]。

2.2 复盘阶段：根源挖掘的系统化路径

复盘是闭环管理的基础，其核心目标是实现“从事故表象到系统根源”的穿透式分析，分为三个关键步骤。

1. 标准化信息收集体系。事故发生后 24 小时内启动应急勘查程序，由安全、技术、生产及工会代表组成跨职能调查组，实施“三维信息采集”：（1）现场物理信息：通过全景拍摄、三维建模还原事故场景，提取设备破损部件、防护设施状态等物证，利用执法记录仪全程记录勘查过程；（2）数字运行信息：封存涉事设备的 PLC 日志、主轴转速曲线、夹紧力监测数据等运行记录，调取事发前 72 小时的监控录像及人员操作记录；（3）管理档案信息：核查涉事人员的培训记录、设备点检表、隐患整改台账等资料，确保信息链的完整性。所有信息纳入安全数据湖，形成不可篡改的电子档案。

2. 多维归因分析方法。采用“5W1H+ 鱼骨图+5Why”的复合分析模型，实现原因剖析的层层深入：（1）直接原因定位：运用 5W1H 法梳理“何时、何地、何人、何事、为何、如何”的事故链条，锁定人的不安全行为（如违规清理铁屑、未佩戴防护装备）与物的不安全状态（如设备制动延迟、夹紧力不足）；（2）间接原因拆解：通过鱼骨图从管理、培训、设备、环境四个维度展开分析，识别培训形式化、维护不到位、监督缺失等问题；（3）根本原因挖掘：采用 5Why 法追根溯源，例如：针对“设备制动延迟”问题，通过“为何制动延迟→未按计划维护→维保人员不足→安全投入优先级低”的追问，定位安全管理体系的结构性缺陷。

3. 可视化复盘报告生成。摒弃传统文字报告模式，构建包含“事故时序轴、原因关联图、责任矩阵表”的三维复盘报告：时序轴以时间线呈现事故发展关键节点；关联图展示直接、间接与根本原因的逻辑关系；责任矩阵明确各部门在问题中的职责缺失。报告同步生成改进需求清单，为下一阶段提供精准输入^[4]。

2.3 改进阶段：措施落地的精准化实施

改进阶段以“可量化、可追踪、可验证”为原则，将复盘成果转化为具体行动，核心在于构建“分级响应—动态追踪—效果评估”的实施体系。

1. 差异化改进措施制定。基于复盘识别的问题等级，制定三级改进方案：（1）技术层改进：针对设备缺陷，实施本质安全提升工程，如为数控车床升级联锁防护装置、加装夹紧力自动报警系统，对老化制动部件进行更换；（2）管理层改进：完善安全操作规程（SOP），明确设备清理、工件装夹等关键环节的操作标准，建立“设备维护一点检一校验”三级保养制度；（3）人员层改进：重构培训体系，增加 VR 沉浸式演练，针对违章操作后果开展情景化教学，强化实操考核比重。

2. 全流程动态追踪机制。开发改进措施管理平台，为每项措施生成唯一电子工单，明确责任部门、完成时限及验收标准：（1）普通措施：由车间级管理员跟踪，24 小时内反馈进展；（2）重要措施：安全管理部全程督办，每日更新整改数据；（3）重大措施：安委会挂牌监督，每周召开进度协调会。通过“红黄牌预警”机制，对逾期未完成项自动触发升级督办。

3. 数据化效果评估方法。建立改进效果评估指标体系，涵盖：（1）设备指标：制动响应时间、夹紧力达标率等设备运行参数；（2）管理指标：隐患整改完成率、规程执行合格率；（3）人员指标：培训考核通过率、违章行为发生率。通过对比改进前后的指标变化，结合现场抽查与员工访谈，形成效果评估报告，未达标的措施重新纳入改进流程。

2.4 预防阶段：风险管理的前瞻性构建

预防是闭环管理的终极目标，通过整合复盘与改进成果，构建“技术防控—管理防控—文化防控”三位一体的预控体系。

1. 智能化风险识别网络。在关键设备加装振动、温度、扭矩等多维度传感器，通过边缘计算实时分析设备健康状态，建立设备故障预测模型。利用 AI 视频监控系统自动识别未戴防护装备、违规进入危险区域等行为，10 秒内推送预警至责任人。构建三维动态风险图谱，集成设备状态、工艺参数、人员行为等要素，实现风险的可视化呈现与分级预警^[5]。

2. 全员共治隐患治理机制。推行“隐患举报码+安全积分制”：员工通过手机扫码即可上报隐患，普通隐患 24 小时内整改反馈，重大隐患启动“熔断机制”立即停工处置。对有效上报者给予现金奖励，积分可兑换培训机会或福利，同时将隐患整改率与部门绩效直接挂钩。建立“家庭联保”机制，对严重违章员工发送家属告知函，形成内外监督合力。

3. 动态化安全管理体系。每月召开风险态势分析会,结合设备损耗曲线、工艺变更情况等7项指标调整管控策略:对高频低风险作业开发自主检查APP;中风险工序配置AR辅助系统实时指导操作;高风险区域实施生物识别门禁与电子围栏双重防护。每季度更新安全数据中台,利用关联规则挖掘技术识别“模具更换后两小时易发生操作失误”等隐性规律,提前制定防控措施。

3 案例验证:某机械企业事故闭环管理实践

3.1 事故概况

某中型机械加工企业金工车间发生一起机械伤害事故:操作工在数控车床加工阶梯轴时,未待主轴停转即清理铁屑,因工件松动甩出导致右手掌骨骨折。涉事设备使用五年,存在制动迟缓、夹紧力不足问题,操作区无物理隔离。

3.2 闭环管理实施过程

(1) 复盘阶段:调查组通过三维建模还原现场,调取设备PLC日志发现事发时主轴制动延迟0.8秒,夹紧力低于标准值15%。采用5Why法追溯根本原因:制动延迟→未按计划维护→维保人员不足→年度安全投入占比低于行业平均水平。(2) 改进阶段:实施技术改进,为车床加装联锁防护罩与夹紧力自动报警装置;管理改进,修订《数控车床操作规范》,将主轴停转确认纳入强制检查项;人员改进,组织全员开展VR机械伤害模拟演练,考核通过率需达100%。所有措施通过工单系统追踪,30日内全部落地。(3) 预防阶段:在车间所有数控设备加装传感器,构建风险图谱;推行隐患举报码,首月收到有效上报23条;建立设备健康档案,每季度进行预测性维护。

3.3 实施效果

事故后半年内,该企业设备故障预警准确率达92%,违章操作发生率下降87%,未发生同类事故。员工主动上报隐患率提升42%,安全培训考核通过率从85%升至98%,验证了闭环管理机制的实际成效。

4 闭环管理机制的实施保障体系

4.1 组织保障

成立安委会统筹机制建设,明确安全管理部为执行主体,技术、生产、人力资源部门分工协作:技术部负责设备技术改进,人力资源部将安全绩效与晋升挂钩,工会监督调查与整改公正性。推行班组安全轮值制度,每日由班组长牵头风险评估,夯实基层管理基础^[6]。

4.2 技术保障

搭建企业级安全信息共享平台,整合设备数据、隐患记录、培训档案等12类信息源,构建包含128个特征参数的数据中台。部署数字孪生系统,仿真不同

负荷下的设备状态,提前预判风险演变趋势。培养复合型人才队伍,开展“安全+数字化”技能培训,确保技术工具有效落地。

4.3 制度保障

制定《事故复盘管理规范》《隐患闭环处置办法》等专项制度,明确各环节操作标准与责任清单。建立“四不放过”考核机制,对复盘不深入、改进不到位、预防不落实的部门严肃追责^[7]。每半年发布《安全警示通报》,共享典型案例与改进经验。

4.4 文化保障

通过“安全行为之星”评选、事故案例警示墙等载体营造安全文化氛围。将事故复盘成果转化为“安全剧本杀”等培训形式,增强员工代入感。定期举办家属开放日,讲解安全制度与防护知识,构建“企业—员工—家庭”的安全共同体。

5 结束语

本文构建的机械企业安全生产事故“复盘—改进—预防”闭环管理机制,通过标准化复盘流程、精准化改进实施、前瞻化预防构建的有机结合,打破了传统事故管理的碎片化局限。该机制的核心创新在于:以智能技术赋能复盘的深度与精度,以工单系统保障改进的落地时效,以全员共治激活预防的内生动力。案例实践表明,机制能够有效识别安全管理漏洞,降低事故复发风险,为机械企业安全管理提供系统性解决方案。未来可进一步深化以下方向:一是结合工业互联网平台,实现跨企业事故数据的匿名共享与联合分析,构建行业级风险预警模型;二是探索数字孪生技术在事故模拟与预防演练中的深度应用,提升预控的精准性;三是研究不同规模机械企业的机制适配性,形成差异化实施指南,增强理论成果的推广价值。

参考文献:

- [1] 杨蕾,董兆雄,杨明.关于提升生产运行中设备安全的方法探究[J].中国设备工程,2021(19):73-74.
- [2] 张会娟,郭超杰.安全生产标准化对机械制造企业安全管理工作的促进作用[J].决策探索(中),2019(05):6.
- [3] 同[1].
- [4] 易灿南,胡鸿,吴超,等.安全生产标准化体系与杜邦安全管理体系比较研究[J].中国安全科学学报,2014,24(04):110-116.
- [5] 张铭明.本质安全在设备安全管理中的重要性[J].内燃机与配件,2021(09):194-195.
- [6] 黄宇.机械制造加工设备的安全管理[J].中国设备工程,2020(12):36-37.
- [7] 同[3].