

# Risk Analysis and Control Measures for Mechanical Injuries During Maintenance Operations

Jian Zheng

China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

## Abstract

Maintenance operations are a critical component of industrial production, during which mechanical injury accidents frequently occur, not only causing casualties but also impacting corporate efficiency, posing significant safety challenges for maintenance enterprises. This paper systematically analyzes the sources and hazardous areas of mechanical injuries, introducing Job Safety Analysis (JSA) as a risk analysis tool for maintenance activities. It proposes five control measures for mitigating mechanical injury risks in maintenance operations: integrating mechanical injury prevention measures into process steps, managing transportation operation risks associated with mechanical injuries, authorizing personnel for the operation of handheld electric/pneumatic tools, enhancing safety training and education, and improving inherent safety. These measures provide theoretical guidance and practical references for maintenance enterprises in preventing mechanical injury risks.

## Keywords

Maintenance operations; Mechanical injuries; Risk analysis; Control measures

## 检修作业机械伤害风险分析与管控措施

郑健

中广核核电运营有限公司, 中国·广东 深圳 518124

## 摘 要

检修作业是工业生产中的重要环节, 检修作业过程中机械伤害事故多发, 不仅造成人员伤亡, 也影响企业效益, 已经成为设备检修企业面临的重大安全挑战。本文系统分析了机械伤害的风险来源和危险部位, 引入作业安全分析 (JSA) 方法作为检修作业活动风险分析工具, 针对检修作业机械伤害风险, 提出从机械伤害风险安措进工艺步骤、运输作业机械伤害风险管控、手持式电动/气动工具操作人员授权上岗、安全培训教育提升、本质安全提升等五方面进行管控, 为设备检修企业在防范机械伤害风险方面提供了理论指导和实践参考。

## 关键词

检修作业; 机械伤害; 风险分析; 管控措施

## 1 引言

检修作业是工业生产中的重要环节, 涉及到机械设备、电气设备、管道容器等多种设备维护与检查, 保障设备安全可靠运行。然而检修作业过程中机械伤害事故多发, 造成人员伤亡, 影响企业效益, 成为设备检修企业面临的重大安全挑战。因此, 对检修作业机械伤害风险进行分析, 制定管控措施, 具有重要的现实意义。

## 2 检修作业机械伤害风险分析

检修作业机械伤害风险来自机械设备和工具自身、检修工艺方法、人员对工器具使用手段、人对设备的操作过程,

以及机械所在场所和环境等多方面。一般分为机械性危险和非机械性危险。

机械性危险主要来自于机械设备、机械设备零部件或其表面、工具、载荷、飞射的固体或流体物料有关的可能会导致剪切、切割、挤压、碰撞、碾压、缠绕、冲击、跌落、卷入或吸入、刺伤或刺穿、摩擦或磨损、绊倒或跌落、高压射流喷射等危险<sup>[1]</sup>。

检修作业产生机械性危险的条件因素主要有:

形状或表面特性: 如锋利刀刃、锁边、尖角形等零部件、粗糙或光滑表面; 相对位置: 如由于机器零部件运动可能产生挤压、剪切、缠绕区域的相对位置; 动能: 具有运动 (速度、加速、减速) 以及运动方式 (平动、交错运动或旋转运动) 的机器零部件与人体接触, 零部件由于松动、松脱、掉落或折断、碎裂、甩出; 势能: 人或物距离地面有落差在重力影响下的势能, 高空作业人员跌落危险、弹性元件的势能释放、

【作者简介】郑健 (1987-), 男, 中国广东汕头人, 本科, 工程师, 从事安全管理研究。

在压力或真空下的液体或气体的势能、高压流体（液压和气动）压力超过系统元器件额定安全工作压力等；

质量和稳定性：机器抗倾翻性或移动机器防风抗滑的稳定性；机械强度：机械强度不足导致的断裂或破裂。

非机械性危险主要包括噪声危险、振动危险、电气危险、辐射危险、未履行安全人机工程学原则产生的危险等。

在检修作业活动中，机械设备运动部分是危险的部位，尤其是作业人员能接触到的运动的零部件，检修作业机械伤害危险部位如下：

转动的危险部位：当轴或齿轮等转动部件旋转时，可能将松散的衣服等挂住，造成缠绕，或将操作人员手或身体卷入，造成伤害；直线运动的危险部位：工具或设备的锋利部位具有较高危险性，可能划伤作业人员；人员手持工具靠近冲击装置，可能受到挤压伤害；

转动和直线运动的危险部位：齿条、齿轮等咬合部位具有较高危险性，若缺少防护罩，作业人员存在卷入受伤风险；检修作业机械伤害具有突发性和严重性，许多事故发生往往在一瞬间，由于检修作业人员操作失误或设备故障，受害者往往来不及反应。检修作业机械伤害后果往往较为严重，可能导致作业人员伤残，同时对企业效益和声誉造成影响，需制定措施，管控风险。

### 3 实现机械安全的技术措施

机械安全包括机械产品的安全和机械使用的安全两个阶段，实现机械设备安全应遵循以下两个基本途径：选用适当的设计结构，尽可能避免危险或减少风险；通过减少对操作者涉入危险区的需要，限制人们面临危险，避免给操作者带来不必要的体力消耗、精神紧张和疲劳<sup>[2]</sup>。

消除或减小机械伤害风险，按下列等级顺序选择安全技术措施，即“三步法”：

第一步：本质安全设计措施（直接安全技术措施）：通过适当选择机器的设计特性和暴露人员与机器的交互作用，消除或减小相关的风险。如通过改变工艺过程，消除产生机械伤害风险的步骤；

第二步：安全防护或补充保护措施（间接安全技术措施）：如果仅通过本质安全设计措施不足以减小风险时，可采用用于实现减小风险目标的安全防护或补充保护措施；

第三步：使用信息（提示性安全技术措施）：如果以

上两步技术措施不能实现或不能完全实现时，应使用信息明确警告剩余风险，说明安全使用设备的方法和相关的培训要求等。

### 4 基于 JSA 的检修作业风险分析

作业安全分析（Job Safety Analysis, JSA）是一种作业安全分析和控制的管理工具，通过对检修作业过程的逐步分析，找出多余的、有危险的工作步骤和工作设备/设施，进行控制和预防<sup>[3]</sup>。

JSA 实施通常包括以下 4 个步骤：

确定分析对象：确定需进行分析的检修作业活动，通常选择高风险作业，如非常规检修作业、事故频发的作业活动等；分解作业步骤：将检修作业活动，按作业过程顺序分解为若干个清晰的步骤，步骤划分不能太笼统也不宜太细，每一个步骤描述应简单明了，说明“做什么”；辨识危害因素：针对每一个步骤，识别潜在的危害因素及其后果。危害辨识应考虑第一类危险源（能量和危险物质）和第二类危险源（物的故障、人的失误、环境和管理缺陷）；制定管控措施：根据危害辨识结果，按照“消除 - 替代 - 工程控制 - 管理控制 - 个体防护”的优先级顺序制定控制措施。

### 5 检修作业机械伤害管控措施

检修作业机械伤害防范措施，一方面要通过技术措施实现机械设备安全，另一方面要通过管理（如安全信息提醒）和人员行为管控（如人员培训教育），管控作业风险。

结合检修作业机械伤害风险分析，消除或减小机械伤害风险的安全技术措施，可以从机械伤害风险安措进工艺步骤、运输作业机械伤害风险管控、手持式电动/气动工具操作人员授权上岗、安全培训教育提升、本质安全提升等五方面，管控机械伤害风险。

检修作业机械伤害风险安措进工艺步骤

检修作业机械伤害风险识别与安措制定：结合产生机械性危险的条件因素、机械设备工具危险部位、机械伤害历史事件、伤害后果，对检修作业工艺过程进行分析（应用 JSA 作业安全分析法），识别检修作业典型机械伤害场景和风险，制定标准管控措施，将标准管控措施（配图说明，更为直观）写入检修作业工作文件中。作业人员进行检修作业时，可以看到清晰、直观的安全提示信息和安全措施。

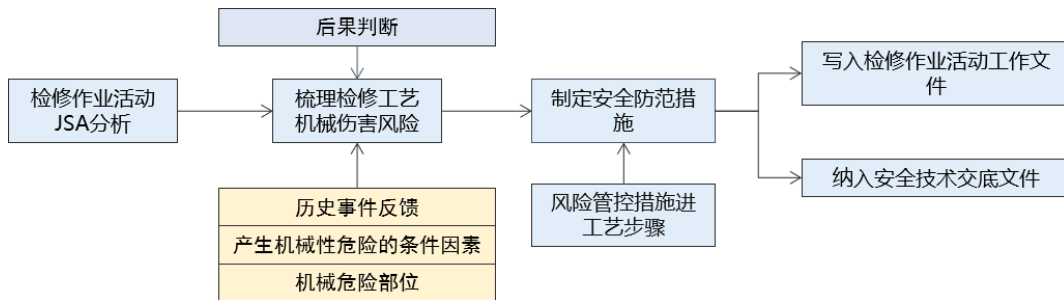


图 4-1 检修作业机械伤害风险安措进工艺步骤方法与应用

### 运输作业机械伤害风险管控

运输作业机械伤害风险管控主要聚焦徒手搬运和设备运输,从以下三方面开展改进:

运输工具隐患排查治理:组织运输工具隐患排查(如车轮松动或变形、小车变形、连接件缺失等),及时消除隐患;

完善徒手搬运管控标准:完善徒手搬运标准管控措施(含物品重量识别、锋利部位包裹、防护手套佩戴等),工前落实管控措施;

完善设备运输管控标准:完善设备运输标准安措(含运输工具隐患排查、运输路径检查规划、物品绑扎固定,手扶位置、人员站位等),工前落实管控措施;

## 6 手持式电动 / 气动工具操作人员授权上岗

编制手持式电动 / 气动工具安全操作指引表;梳理出常用手持式电动 / 气动工具清单,结合工具操作说明书、工具使用伤害事件反馈等,梳理出工具操作标准管控措施,编写安全操作指引表(含管控措施和可视化图片),为操作人员提供可视化指引文件。

手持式电动 / 气动工具操作人员授权上岗:梳理检修作业活动常用的手持式电动 / 气动工具清单,组织开发工具安全操作培训教材和试题。通过理论学习考核、实操演练交底、人员授权上岗,保障手持式电动 / 气动工具操作人员熟悉工具的操作风险点、安全操作要点和应急措施,具备相应的安全知识与技能。

## 7 安全培训教育提升

为了提升检修作业人员机械伤害风险辨识与防范意识,减少安全事件的发生。安全培训教育从以下两个方面进行改进:

开发安全短视频:梳理检修作业活动机械伤害风险与安全操作要求,制作成5分钟左右的短视频(如《切割打磨作业安全关键点》《如何预防机械事故》等安全短视频),以视觉、听觉信号为手段,以通俗易懂的方式,让作业人员直观、清晰地掌握机械伤害风险防范要点。

开展防机械伤害专项考试:基于检修作业机械伤害事件反馈,细化防机械伤害安全管理要求,开发安全可视化试题(图片 / 视频),开展防机械伤害专项考试,提升作业人员安全意识。

## 8 本质安全提升

### 8.1 设备 / 工具本质安全提升

本质安全设计措施,是消除机械伤害的可靠措施。通

过机械设备或工具隐患排查、识别检修作业机械伤害风险和危险部位,基于“机械化换人、自动化减人”的思路,通过开展工具创新或对工具危险部位采取实体防护措施,消除产生机械伤害风险的步骤或避免人员接触机械危险部位,降低机械伤害风险,提升本质安全。

设备 / 工具机械伤害本质安全提升做法举例:

开发或引入专用运输小车,减少人员徒手搬运重物或推拉运输小车,减少运输工具操作带来的机械伤害风险。如某企业开发电动爬楼运输车、引入油桶搬运小车等,减少运输作业机械伤害风险;开发起重手推杆,避免手扶吊物,增加了人与吊物距离,减少手部和人员挤伤风险;开发检修作业轻量化工具,避免人员搬运和操作重型工具导致的挤压、碰撞等风险;在机械设备危险部位设置实体防护,避免人员接触机械危险部位,降低机械伤害风险。

### 8.2 作业环境改善

改善检修作业环境可以提高作业安全性。高处机械设备检修,应搭设满足作业需求的作业平台并设置实体护栏,防止人员坠落;作业场所应保持整洁卫生,光线充足,通风良好。高温季节,应配置移动空调或风扇,改善检修作业环境,避免人员中暑;检修作业地点周边存在噪声的,应设置隔音设施,改善作业环境。

## 9 结语

检修作业机械伤害风险是企业面临的重大安全挑战,通过系统性的风险分析和综合防范措施,可以有效控制机械伤害风险。本文分析机械伤害的风险来源和危险部位,引入了作业安全分析(JSA)方法作为风险评估的工具,从机械伤害风险安措进工艺步骤、运输作业机械伤害风险管控、手持式电动 / 气动工具操作人员授权上岗、安全培训教育提升、本质安全提升等五方面提出系统性管控措施。

检修作业机械伤害风险管控是一个持续改进的过程,需要企业管理层、安全人员和一线工作班组共同参与,企业通过健全安全管理制度、强化安全文化建设、定期进行安全检查和评估,可以逐步提高安全管理水平,减少检修作业机械伤害风险,保障作业人员人身安全。

### 参考文献

- [1] 中国安全生产科学研究院, 安全生产技术基础[M], 北京: 应急管理出版社, 2019: 2-3;
- [2] 中国安全生产科学研究院, 安全生产技术基础[M], 北京: 应急管理出版社, 2019: 9-10;
- [3] 安全风险管控——宏观安全风险预控与治理[M], 罗云, 裴晶晶, 许铭著; 北京: 科学出版社, 2020.6: 51-52;