

闭环控制。

### 3.2 调整旋转设备结构与材料

设备结构和材料的选择会直接影响其振动特性，通过优化结构设计能有效改善设备动态响应性能，比如增加轴承跨距、优化轴系布局、增强壳体刚度等措施可提高设备整体稳定性，在风机设计里合理设置叶轮倾角与叶片数量能有效降低气动激励带来的振动扰动，材料方面采用高阻尼合金、复合材料或陶瓷涂层等新型材料有助于吸收振动能量、降低噪声水平，例如在轴承与轴瓦配合面使用聚合物衬层可有效减少摩擦振动，在泵壳内部涂覆吸振涂层能降低液体冲击引起的振动传递，此外部分高性能旋转设备采用碳纤维增强塑料制造叶轮不仅减轻了重量还提升了抗振能力。

结构与材料的优化需结合实际工况进行综合评估。例如，在高温高压环境下，需选择耐热、耐腐蚀且具有良好疲劳强度的材料；而在低频振动控制中，则应优先考虑具有高内耗特性的材料以增强能量耗散能力。

### 3.3 主动振动控制技术

主动振动控制技术是一种依靠外部能量输入去抵消振动扰动的先进方法，具备响应速度快以及控制精度高的优点，该技术一般由传感器、控制器和执行机构这三部分构成，通过实时采集振动信号并且生成反向激励力，来实现对振动的有效抑制。在旋转设备当中，主动控制技术主要应用于磁悬浮轴承、液压作动器和压电驱动器等系统，比如磁悬浮轴承能够实现无接触支撑，可大幅减少摩擦振动，还能通过PID控制算法实时调整磁场强度以维持轴系稳定，而液压主动控制系统则可借助伺服阀调节油压，产生与振动方向相反的力矩来实现动态补偿。近年来，随着嵌入式控制技术的不断发展，主动振动控制正逐步朝着智能化方向进行演进，例如基于模糊控制与神经网络的智能控制器可依据振动模式自动调整控制策略，以此提高系统的适应性与鲁棒性，另外无线传感与边缘计算技术的融合，让远程振动监控与控制成为可能，为大型旋转设备的健康管理提供了全新思路。

## 4 化工机械中的应用

### 4.1 泵类设备振动控制技术应用

泵类设备在化工生产中承担着输送介质的重要任务，其运行稳定性直接影响系统安全。常见的振动问题包括叶轮不平衡、轴系不对中、轴承磨损及水力激振等。针对这些问题，需采取多层次控制策略。

在结构设计阶段，优化叶轮形状与叶片分布可有效降低水力脉动引起的振动；采用双吸叶轮或多级泵结构可分散

负载，减少轴向振动。在安装与维护方面，严格控制泵与电机之间的对中精度，防止因联轴器偏斜引发附加振动。此外，选用高刚性底座与隔振垫可有效隔离基础振动，降低整机振动水平。

在运行过程中，通过在线振动监测系统可实时掌握泵的运行状态，结合动平衡校正与主动控制技术，实现动态干预。例如，某些高端泵组已配备智能动平衡系统，可在运行中自动识别不平衡量并进行修正，显著延长设备寿命并减少停机时间。

### 4.2 风机类设备振动控制技术应用

风机作为化工系统中重要的通风与气体输送设备，其振动问题同样不容忽视。主要振动源包括叶片失衡、气流不稳定、轴承老化及支撑结构松动等。

在设计层面，采用轻量化高强度材料制造叶轮，可有效降低惯性力引起的振动；合理设计叶片角度与排列方式，有助于改善气流分布，减少涡流与气流分离带来的激振力。在结构上，采用分段式叶片或可调叶片设计，可灵活应对不同工况下的气动激励变化。

运行管理方面，定期进行振动检测与动平衡校准是保障风机稳定运行的关键。对于大型风机系统，还可引入主动控制技术，如采用磁悬浮轴承或液压主动控制系统，实现对振动的动态抑制。此外，结合CFD仿真与模态分析，可提前识别潜在共振风险，优化运行参数，避免因共振引发的剧烈振动。

## 5 结语

旋转设备在化工机械系统中扮演着不可或缺的角色，其振动问题直接关系到设备运行的可靠性与安全性。本文系统梳理了振动分析的基本方法，涵盖了信号采集与处理、特征提取与模态分析等核心技术，并深入探讨了旋转设备的主要振动源及其传递机制。在此基础上，提出了包括动平衡、结构优化与主动控制在内的多种振动控制策略，并结合泵类与风机类设备的实际应用进行了具体分析。研究表明，振动控制技术的合理应用不仅能有效降低设备运行过程中的振动水平，还能显著提升系统的稳定性与使用寿命<sup>[1]</sup>。

### 参考文献

- [1] 刘加明. 化工机械中旋转设备的振动分析与控制技术探究[J]. 中国设备工程, 2025, (11): 217-219.
- [2] 肖扬, 王庆锋, 杨哲, 等. 旋转机械突发不平衡故障早期预警及诊断方法研究[J]. 机械工程学报, 2023, 59(11): 308-318.
- [3] 贾旭飞. 典型旋转设备转子不平衡和叶轮故障分析与处理方法研究[D]. 北京化工大学, 2019. DOI: 10.

# Research on the Integration Path of the Dual Prevention Mechanism of Safety Risk Identification and Hidden Danger Investigation and Management Empowered by Digitalization

Kuankuan Li Yongliang Chou Jiale Kang

Xi'an Oil and Gas Transmission Branch, Northwest Branch of National Pipeline Network Corporation Limited, Xi'an, Shaanxi, 710016, China

## Abstract

The dual prevention mechanism refers to a safety management system that combines safety risk identification with hidden danger investigation and management. The safety risk identification among them focuses on the systematic analysis, assessment and classification of potential risks that may lead to accidents, and takes preventive and control measures in advance. Hidden danger investigation and management focuses on identifying, rectifying and closing off the unsafe factors that have emerged in the production and operation process, aiming to eliminate accident hazards in a timely manner. Only when the two are interrelated and complementary can they jointly form the two lines of defense for an enterprise's safe production. With the assistance of digital empowerment, the dual prevention mechanism can be transformed from passive response to active prevention and control, which is conducive to the improvement of the intelligent level of enterprise safety management.

## Keywords

Digital Empowerment; Safety risk; Identification; Hidden danger; Double prevention

## 数字化赋能下安全风险识别与隐患排查治理双重预防机制的融合路径研究

李宽宽 丑永亮 康佳乐

国家管网集团有限公司西北分公司西安输油气分公司, 中国·陕西 西安 710016

## 摘要

双重预防机制是指安全风险识别与隐患排查治理相结合的安全管理体系。其中的安全风险识别侧重于对可能导致事故发生的潜在风险进行系统分析、评估和分级, 提前采取防控措施。隐患排查治理则聚焦于对生产经营过程中已出现的不安全因素进行排查、整改和销号, 旨在及时地消除事故隐患。只有两者相互关联、相互补充, 才能共同构成企业安全生产的两道防线。而在数字化赋能的助力之下, 即可推动双重预防机制从被动应对向主动防控转变, 有利于企业安全管理智能化水平的提升。

## 关键词

数字化赋能; 安全风险; 识别; 隐患; 双重预防

## 1 引言

数字化时代当中, 数字化技术为双重预防机制的融合提供了强大的赋能作用。一方面数字化工具能够打破传统安全管理中信息孤岛的局面, 进而实现安全风险识别与隐患排查治理数据的实时共享和高效流转, 让管理人员能够全面地掌握企业安全状况。另一方面是借助大数据、人工智能、物联网等技术, 可以提升风险识别的精准性和隐患排查的效率, 经由对海量数据的分析挖掘, 能够及时地发现潜在的安

全问题, 以此为双重预防机制的有效运行提供科学的依据。

## 2 双重预防机制融合的现状与问题

### 2.1 数据层面

安全风险识别与隐患排查治理往往隶属于企业不同的管理部门, 它们长期以来形成了各自独立的数据采集方式和存储格式, 直接导致了数据难以互通共享, 最终形成了坚固的“信息壁垒”。就数据采集环节来说, 安全风险识别部门可能更侧重于对设备运行参数、工艺指标等潜在风险因素的周期性采集, 一般会采用专业的风险评估数据表。而隐患排查治理部门则更加关注现场发现的具体问题, 如设备故障、操作违规等, 往往使用的是隐患整改通知单等表单。此时两

【作者简介】李宽宽(1989-), 男, 中国陕西富平人, 本科, 工程师, 从事安全管理研究。

种数据的采集维度、指标定义存在着明显的差异。

从数据存储方面入手而言,安全风险数据通常存储在企业的风险管理系统中,其采用的是特定的数据库格式。但隐患排查数据可能会分散在 Excel 表格、纸质档案或独立的隐患管理软件之中,它的存储格式是五花八门的。当需要进行融合管理时,这些异构数据就无法直接进行对接,需要耗费大量的人力进行数据转换和校对。

## 2.2 流程层面

双重预防机制的两大核心环节——安全风险识别与隐患排查治理,现阶段在工作流程上缺乏有效的衔接和闭环管理,形成了“各自为政”的局面。一方面安全风险识别通常按照既定的周期开展,像每季度或每半年进行一次全面的风险评估,以形成详细的风险清单和防控措施。但这些成果往往停留在风险识别部门的报告中,未能及时地传递给隐患排查治理部门,最终导致隐患排查工作缺乏了针对性的指导,在实际当中仍然按照常规的排查清单进行,并未聚焦于高风险领域<sup>[1]</sup>。

另一方面是隐患排查治理过程中发现的新问题,如原本未被识别的风险点、风险等级发生变化的情况等,也难以快速地反馈到风险识别体系中。例如日常排查中发现某一区域因环境变化出现了新的安全隐患,而这一隐患对应的风险因素未被纳入原有的风险识别模型,且由于缺乏反馈机制,风险识别体系无法及时地更新,仍然沿用着旧的风险评估结果,进而使得风险识别与隐患排查治理之间形成了脱节,致使双重预防机制的协同效应难以充分地发挥,也就无法实现动态化、精准化的安全管理。

## 2.3 技术应用层面

在数字化浪潮之下,虽然部分企业意识到了技术赋能的重要性,但双重预防机制融合中的数字化技术应用仍处于初级阶段。即多数企业,尤其是中小型企业,依然依赖于人工方式进行安全风险识别和隐患排查。展开而言:安全管理人员会手持纸质的检查表,定期到生产现场进行巡查,凭借自己的经验来判断风险和隐患。而这种方式不仅效率低下,受到人为因素的影响较大,而且对于一些隐蔽性强、专业性高的风险和隐患,也极易容易出现遗漏。

即使有部分企业引入了数字化系统,但也存在着明显的局限性。原因是这些系统往往由不同的供应商开发,其功能单一且独立,要么只专注于风险识别能够生成风险矩阵和评估报告,要么仅用于隐患排查,可以实现隐患的上报和跟踪。可系统之间没有数据接口,使得信息的交互和共享无法实现,从而未能实现风险识别与隐患排查治理的深度融合。正是这种“孤岛式”的技术应用,才导致数字化技术在提升双重预防机制融合效能方面的优势无法充分地发挥,在实践中难以满足企业精细化安全管理的需求。

## 2.4 人员认知和管理层面

目前部分企业的管理层自身对双重预防机制的融合缺

乏了足够的重视,他们仅将其视为一项额外的工作负担,并没有在真正意义上认识到融合对于提升企业整体安全管理水平的重要性,导致资源投入、制度建设等多个方面缺乏支持。而基层工作人员更是对融合的概念模糊,将安全风险识别视为风险管理部门的职责、隐患排查治理是安全监管部门的任务,二者均与自己无关,表明其缺乏主动协同的意识。

同时相关人员的数字化思维和技能也存在着明显的不足之处。实践中许多安全管理人员习惯于传统的工作模式,自身对数字化工具和技术存在着抵触心理,他们不愿意主动地学习和应用新的系统和方法。因此操作时即使企业配备了先进的数字化平台,他们也只是简单地将纸质的数据录入系统,未能充分地利用系统的数据分析、智能预警等功能,导致技术资源被浪费。

## 3 数字化赋能下双重预防机制融合的基础构建

安全风险识别与隐患排查治理双重预防机制的有效融合,企业必须以坚实的数字化基础为支撑,再通过构建统一的平台、制定标准的数据规范、建立完善的数据采集体系,来为两者的深度融合搭建稳固的框架<sup>[2]</sup>。

### 3.1 构建坚实的数字化基础

企业应将搭建统一的安全管理数字化平台作为首要任务,而该平台需具备强大的数据采集、存储、分析、共享等核心功能,这样才能打破安全风险识别与隐患排查治理之间的技术壁垒,进而实现相关数据的全面整合。对此,平台的设计应采用开放式架构,务必预留足够的接口,以便与企业现有的生产管理系统、设备监控系统、ERP 系统等进行对接,助力数据互联互通的实现。

在功能模块设置上,理应包含风险识别管理模块和隐患排查治理模块。其中风险识别管理模块能够支持风险评估模型的构建、风险数据的录入与更新、风险等级的自动计算和风险报告的生成,隐患排查治理模块则可以实现隐患的上报、分派、整改跟踪和验收归档。更重要的是,该平台要具备数据关联分析功能,这样才能将风险识别数据与隐患排查数据进行比对分析,进而为双重预防机制的融合提供强大的技术支撑<sup>[3]</sup>。

### 3.2 数据标准方面

统一的数据采集规范和编码标准是企业实现数据互通共享的前提,同时也是双重预防机制融合的关键基础。因而企业应组织安全管理、信息技术、生产运营等各部门的专业人员,共同制定出涵盖了安全风险识别与隐患排查治理全流程的数据标准,并在当中明确各类数据的格式、内容和属性。

就数据格式而言,应采用通用的结构化数据格式,如 JSON、XML 等等,以确保不同系统之间的数据能够顺利交换;在数据内容上,则要对风险因素、隐患类型、整改措施、责任部门等关键的信息都做出详细的规定,如风险因素应包含名称、所属区域、可能导致的后果、现有防控措施等字段,