

# 动设备可靠性评估系统的建立和应用

吴朝龙 姚明 战宝柱 周建超 李赛

中化蓝天氟材料有限公司 浙江绍兴 312000

**摘要:** 针对当前生产设备故障率高、检修作业许可流程繁琐导致安全风险与运维压力居高不下的问题,本研究旨在构建一套设备可靠性分析与管理系统。该系统通过精准识别并量化影响设备可靠性的关键因子,从而实现对现有故障的快速诊断与根除,并对潜在风险进行前瞻性预警与管控。本研究的实施将从根本上提升设备运行的平稳性,优化运维资源配置,并显著降低高危作业的频次。

**关键词:** 故障因子; 评估; 采集; 识别; 风险控制; 沟通推广; 事件学习; 持续改进

## 前言

### (1) 现状

根据 EAmic 系统收集,2020 年至 2024 年本基地年平均

设备故障 1800 台次左右,故障率约 20% 左右。公司组织对故障率较高的车间故障进行进一步的可靠性分析,占比结果

如下表 1 所示:

表 1 故障率分布

	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年	2025 年
分析装置	基地内 A 装置 (每年约 350 台次故障)				基地 B 装置 (400 台次)	
安装不规范	11.8%	9.995%	1.3%	1.6%	14.70%	14.29%
检修不规范	7.56%	10.425%	11.36%	10.64%	3.15%	4.51%
运行维护不当	26.31%	23.105%	15.04%	15.96%	29.40%	23.31%
未知	10.52%	7.47%	9.99%	6.38%	10.76%	16.54%
运行寿命到期	36.18%	37.27%	51.85%	58.51%	19.16%	24.81%
制造缺陷	7.56%	8.035%	5.46%	6.91%	22.83%	16.54%

### (2) 对安全管理的影响

若故障率居高不下则:

①直接事故风险:设备故障可能导致突发性停机、危化品泄漏、爆炸、机械损失或火灾事故、三废超标等环境事件,甚至波及周边社区;

②非常规作业频次增加,增加人员受伤或二次事故的概率;

③高故障率导致生产中断,迫使操作人员频繁应急调整,可能产生因操作失误造成非计划停车或引起安全事故;

④习惯性风险:长期面对高设备故障,员工对潜在风险麻木,形成“凑合使用”的高风险认知;

(3)管理成本的影响 ‘对一台标准机泵的检维修作业进行分析,结果表明其资源消耗涉及以下几个方面,详见表 2:

表 2 普通机泵维修消耗资源表

	内容	消耗资源
作业票据	①检维修作业票 ②停电作业票 ③送电作业票 ④上锁挂签作业票 ⑤管线打开放作业票	5 份
涉及人员	①项目负责人 1 名 ②电气专业人员 1 名 ③班组操作人员 2 名 ④监护人员 1 名 ⑤检维修人员 2 名 ⑥车间作业审核人员 1 名 ⑦车间负责人 1 名 ⑧班组长 1 名 ⑨生产技术部作业审批人员 1 名	最低 11 人
管理人员消耗	①生产技术部作业审批人员 30min (审批和闭环) ②车间负责人 30min (审批和闭环) ③车间作业审核人员 15min (审核) ④项目负责人 40min (现场交底 + 中间监督 + 闭环检查);	至少 115min
电气专业人员消耗	①停电作业一次 (15min); ②送电作业一次 (15min);	30min

维修人员消耗	①监护人员 180min; ②维修人员 120min/人;	合计 420min
工艺操作人员消耗	①清洗置换 60min; ②挂签上锁 20min; ③管线打开 20min/人;	合计 120min

#### (4) 当前面临的挑战

当前设备运维体系面临结构性挑战。其核心在于故障率的居高不下：约 70% 的故障处理资源沉淀于各车间，导致维保中心的核心职能被架空，仅能处理约 30% 的故障，形成了权责高度下沉的分散管理模式。这一结构直接引发了两大弊端：其一，一线技术岗位的高流动性，在缺乏中心支持的情况下，导致隐性知识与故障经验持续流失，形成“故障 - 人员流失 - 更高故障”的恶性循环；其二，各车间成为信息孤岛，大量故障数据与解决方案无法跨单元共享，致使同类问题重复发生，运维效率低下。最终，共享平台的缺位使得管理闭环（PDCA）无法形成，系统性问题得不到根本解决。

### 1 可靠性评估系统的建立

#### 1.1 评估系统的逻辑建立

##### 1.1.1 故障因子收集和确认

故障因子是指通过修复、改变、改造某个零部件形状、尺寸、安装要求等条件最终消灭或者极大的降低了某个 / 类设备故障率的动作；

针对故障因子的最终确认基本的要求是实施了该动作后在原有故障的两个周期内不再重复出现为基准；

##### 1.1.2 分值分配

对收集的所有动设备故障次数进行统计，其中电动机故障次数占比单独列出做为所有带电动机的动设备的电动机占比分值；

举例：共计收集 100 次故障，其中电动机故障 40 次，则所有动设备的电动机故障因子总分值即为 40 分。

对不同类型和结构的动设备故障次数分别进行统计，以满分 100 为基准，100 分减掉电动机占比分值后剩余的分值为该类型动设备的分值，此分值包含除电动以外所有的零部件累加分值；

举例：离心泵共计 10 次故障，其中电动机故障 5 次（无论多少次均一样），则另外 5 次设备本体故障占比分值仍然为 60 分。

对不涉及电动机的动设备例如：气动泵，则以满分 100

为基准进行计算即可；

举例：气动泵共计 1 次故障，则本次故障的故障因子分值为 100 分。

对同类型设备的故障分别进行统计，收集该类设备每次故障的故障因子，并统计同故障因子的次数，最终每个故障因子的分值为该故障因子的次数占该类动设备故障因子的比例；

举例：气动泵共计收集到 5 个故障因子，其中 A 因子 3 次，B 因子 2 次，则 A 因子分值为 60 分，B 因子分值为 40 分。

#### 1.1.3 可靠性评估逻辑

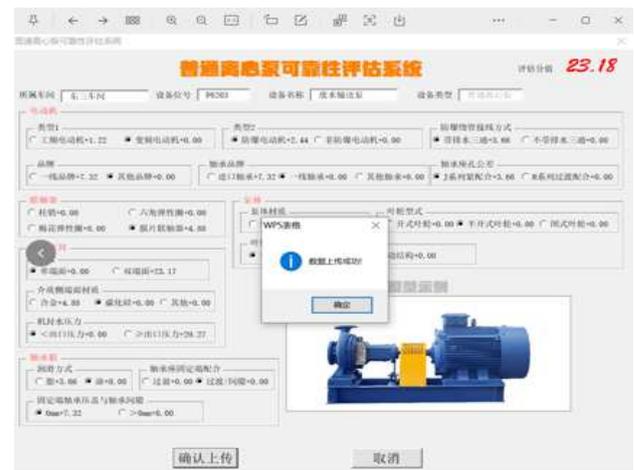
通过人机交互界面用户选择对应的设备类型评估界面，进入界面后根据提示 选择与需要评估的设备一样的配置，所有单项选择选择完毕后点击“提交”按钮系统根据当前数据库内的每个故障因子分值输出用户选择的所有因子的总和值。

通过人机交互界面用户可以将故障通过收集系统输入系统，提高某个故障因子的分值和比重。

### 1.2 可靠性评估系统的功能

#### 1.2.1 预测性健康状态评估

用户可以通过评估系统对当前已有设备进行评估，做为当前在用设备健康性的依据和后期提升方向；



#### 1.2.2 提供重要因子

用户可以通过评估系统获取某个类型设备的因子权重，为设备故障问题的处理提供明确的指向和节点。



### 1.2.3 深度适配企业现状

本系统构建于一个关键原则之上：所有故障因子均源自本基地已发生的真实案例，而非理论模型推演的抽象风险。这一实证基础使其与公司的独特管理模式 和文化高度契合，确保了管理资源的精准投入，有效避免了“广撒网”式的资源浪费。

### 1.2.4 降低设备管理工程师的门槛

本系统构建了一个基于历史故障案例的体系化知识库，将隐性的专家经验转化为显性的、可复用的知识资产，其中所有关键因子均源于长期实践的数据沉淀。基于此，新入职设备工程师无需依赖个人经验积累或盲目试错，规避了传统模式下高成本的经验摸索过程，即可通过系统化的路径进行跟踪学习，快速掌握核心故障逻辑。同时，系统建立了严谨的因子更新机制：新因子的录入与迭代均由资深技术主管工程师审核与丰富，以此确保知识库的准确性与权威性。这一闭环流程不仅持续优化了因子系统的覆盖范围与分布结构，更实现了组织知识的有效传承与团队能力的快速复制。

### 1.2.5 时时获取动态数据

本系统根据录入的故障案例和数量时时更新故障因子的权重比例，确保数据的及时准确和匹配性。

### 1.2.6 实现 PDCA 的闭环循环

系统与固定资产技术评审体系实现了深度整合。通过优化新购设备的技术因子配置，系统性地提升其综合评估得分，确保每一项采购都满足预设的技术准入 标准。这一机制构建了一个覆盖设备全生命周期的良性知识闭环：从前端的设计、制造、安装，到后端的运行使用，所有运维实践中积累的数据与经验都能被有效 回收，并作为关键输入反哺至前端的设备选型与技术规范制定。由此，从事前预防的源头层面，实现了设备故障率的根本性降低与安全运行水平的本质化提升。

### 1.3 可靠性评估系统的预期产出

- ① 高频故障 100% 产出并录入故障因子；
- ② 2025 年试点车间新购置设备分值不低于 95 分；
- ③ 试点车间高频故障设备，库中已有故障因子 100% 消灭；
- ④ 3 ~ 5 年内逐步降低故障率约 20% 左右，5 ~ 10 年内降低设备故障率 30% 左右；

## 2 可靠性评估系统的应用

### 2.1 现场高频故障解决

#### 2.1.1 气动泵故障因子 - 气源三联件

气动隔膜泵因其结构简单、安全性高，在化工企业中应用广泛。然而，该泵内部包含大量气动运行部件，为保障气路密封，设置了较多密封组件。在长期连续运行过程中，这些密封组件会逐渐磨损与老化，导致气路密封失效，进而引发泵送能力下降、出口压力不足等故障现象。

基于对公用工程环保车间大量故障案例的分析，我们归纳出关键故障因子，并对后处理六装置气动隔膜泵进行逐项排查确认，最终在在气源端加装气源三联件实现了故障率的降低，大大降低了检维修数量、提高了设备的稳定性。

表 3 气动泵故障频率前后对比

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
泵台数	2台		3台			4台				5台	
措施前	1	0	0	3	1	2	4	4	/	/	/
措施后	/	/	/	/	/	/	/	/	1	1	0

### 2.1.2 悬浮废水泵机械密封频繁泄漏故障因子 - 双端面机械密封

板框式压滤机因其广泛的物料适应性、优良的固液分

离效果以及结构简单、操作稳定等特点，被广泛应用于化工环保装置及物料干燥生产线中。然而，在该系统中，作为配套输送设备的污泥离心泵频繁出现机械密封泄漏问题，长期

以来严重影响了装置的连续稳定运行，成为许多用户面临的共性难题。

针对该问题，聚合六装置参照卧式离心泵机械密封泄漏的典型故障因子展开系统性排查与分析，通过对机械密封

的密封压力①和密封材质进行了调整，最终实现了机械密封的零泄漏运行，有效提升了设备的可靠性与生产连续性、大大降低了检维修作业数量。

表 4 P66006B 悬浮度水泵机封泄漏前后对比

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
措施前	0	1	1	0	1	1	2	/	/	/	/
措施后	/	/	/	/	/	/	/	0	0	0	0

2.1.3 洗涤釜输送泵故障因子 - 机封材质合金对合金

乳液洗涤过程中，洗涤釜循环泵运行过程中承担着循环和压滤的作用，然而在乳液破乳的过程中乳液中大量气泡掺杂在介质中进入到泵内部，大量的气泡在离心泵低压区破裂产生汽蚀，导致泵喘振、流量不足、压力不足等非正常工况，频繁的汽蚀振动②导致机械密封面经常性破裂损坏和密

封不严物料进入现象。

针对该问题，后处理六装置参照卧式离心泵机械密封泄漏的典型故障因子展开系统性排查和分析，最终通过调整机械密封动、静环材质和密封压力，有效提升了设备的可靠性与生产连续性、大大降低了检维修作业。

表 5 洗涤釜输送泵故障前后对比

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
泵台数	7台			6台			6台			6台	
措施前	3	2	1	2	/	/	/	/	/	/	/
措施后	/	/	/	/	0	0	0	0	0	0	0

2.2 故障因子前移，筑牢本质安全

为从源头提升设备运行可靠性，新购设备的技术条件必须依据可靠性评估系统中的历史故障因子进行系统性与前瞻性的编写，切实增强设备的本质安全水平。

举例一：2025年聚合一装置新购的圆形旋振筛为例，其技术条件在2024年旧版旋转筛的基础上，针对已识别的故障模式新增了五项关键本质安全措施：一是将润滑油通道修改到设备外部；二是增设夹角刻度表；三是采用标准快卡卡盘做为管道接口；四是优化筛网锁紧机构以消除松动风险；五是振动电机轴向窜动量 1-2mm；

举例二：2025年后处理六装置新购买的洗涤釜缓冲罐，其技术条件在2024年旧版洗涤釜搅拌罐的基础上，针对已识别的故障因子新增了六项关键本质安全措施要求：一是联轴器结构和型式；二是搅拌托架视窗设计；三是底部搅拌桨的结构变更；四是搅拌桨叶固定方式；五是增加进口轴承要求；

此举旨在通过技术条件的细化，将风险管控环节前移，从而有效避免同类故障的重复发生。

2.3 依托可靠性评估，阻隔“不合格”产品进入

为贯彻设备全生命周期质量管理要求，2025年三车间依据《设备可靠性评估体系》，在设备采购前期阶段，以可

靠性评估系统得分 94.5 分为基础，组织完成了技术协议的编制及相关设备条件表的填写工作，明确了设备性能与可靠性验收标准。

2025年7月，相关设备按计划到货后，车间联合生产技术部与供应链，依据同一可靠性评估体系对新设备开展了现场联合评估。经实测，该批次设备综合得分仅为72.0分，远低于车间规定的动设备最低可靠性标准90分，无法做出退步接收。车间迅速启动不合格设备处理程序，对该批次共3台设备执行退货处理，有效阻断了高故障率设备进入生产环节。





### 3 总结与归纳

本研究直面化工企业因设备故障频发所引发的严峻安全挑战,构建了一套基于历史故障数据量化分析(“故障因子”评估)的管理系统。该系统通过将专家经验标准化,实现了对设备风险的精准识别与前瞻性预警。尤为重要的是,该系统已通过实践验证能直接赋能安全治理:其应用成功根

除了多类导致机械密封泄漏、设备停机的核心故障因子,实现了关键设备的长周期零故障运行。这从根本上减少了因设备失效可能引发的泄漏、火灾等安全事故风险,并显著降低了高频次、高风险的检维修作业数量,从而有效切断事故链,构建起一个更主动、更本质化的安全防护体系。

#### 参考文献:

- [1] 顾永泉. 机械密封实用技术 [M]. 北京中: 机械工业出版社, 2001.7: 150-213
- [2] 张有华. 高压机械密封的设计与应用 [J]. 工程科技 II 辑, 2005 (8): 5-8
- [3] 李维芳. 化工设备可靠性分析与维护管理策略研究 [J]. 工程科技 II 辑, 2025 (8): 78-80

作者简介: 吴朝龙 (1986—), 男, 汉族, 本科, 研究方向为化工厂设备故障诊断与处理。