



中国化学品安全协会

“化危为安”线上讲堂



北京安必达科技有限公司
Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

转动设备易泄漏部位分析 及预防性维护探讨

主讲人：窦希良
2021年3月12日

目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料



前　　言

近年石油和化工企业发生的多起火灾爆炸事故是由于转动设备机
械密封突然失效泄漏导致，分析这些泄漏事故的原因，与机械密封结构
安全等级不够以及设备预防性维护不及时、不到位有直接关系。所以设
备管理人员很有必要对这两方面的内容进行深层次的了解，及时排查密
封结构和预防性维护是否存在隐患，尽早发现潜在隐患，认真整改避免
事故的发生。



目 录

CONTENT

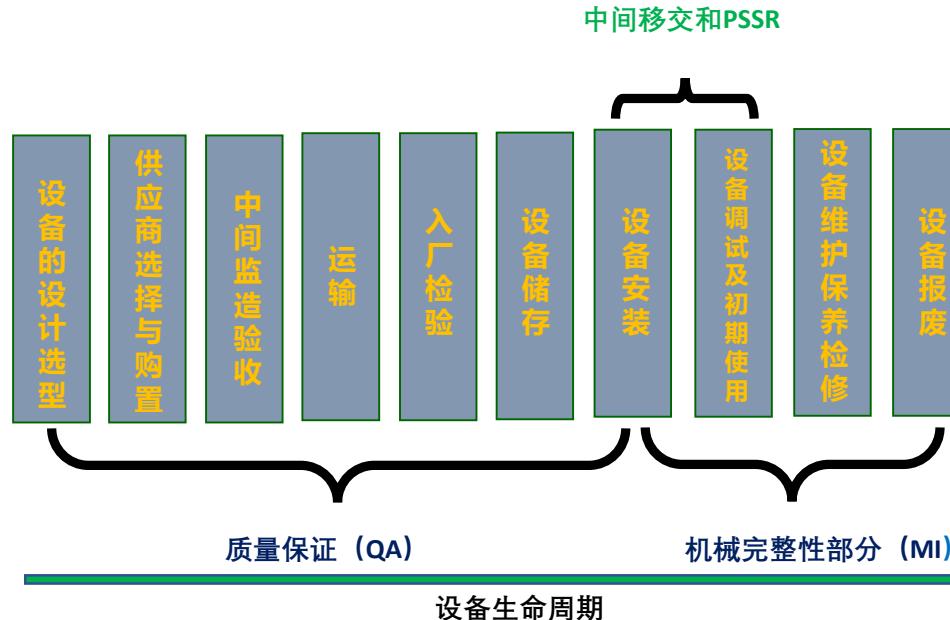
1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

1. 机械完整性 (MI) 管理简述



机械密封结构设计和预防性维修分别属于设备质量保证 (QA) 和完整性管理 (MI) 两个概念

- 机械完整性 (Mechanical Integrity简称MI) 从设备首次安装起, 一直到其使用寿命终止的时间内, 保持工艺设备处于可满足其特定服务功能的状态。
- 机械完整性与质量保证 (QA) 共同组成了设备的全生命周期管理。





机械完整性来源、概述

基于设备安全管理的方法——机械完整性 (Mechanical Integrity) 源于 1992 年美国职业安全健康管理局颁布的《高度危险性化工过程安全管理 办法》第 8 条款。经过 20 多年的发展与推广，机械完整性管理已被世界各大石油、石化企业和危险化学品生产企业应用，并得到一致认可。

机械完整性概述

机械完整性，又称设备完整性，是一套用于确保设备在生命周期中，保持持续的耐用性和功能性的管理体系。机械完整性中所指的设备是广义的，包括电气、仪表、设施、管线等，一旦该设备失效或故障，会引起过程安全事故。纳入机械完整性管理的设备一般包括：压力容器、高能动设备、泄放和通风系统及部件、气体检测系统、二次容纳系统、安全仪表系统、紧急停车系统、消防设施、防雷防静电系统、关键性管道及其附件，以及软管和膨胀节等。风险管理在过程安全管理体系中占有最大比重，而机械完整性和可靠性是风险管理中极其重要的一环。



机械完整性 (MI) 的主要内容包含13项工作

1. 设备编号及台帐
2. 设备技术档案
3. 备品配件定额管理
4. 设备操作管理
5. 设备维护保养管理
6. 人员培训及资格考核
7. 特种设备的定期检验
8. 装置、设备检维修管理
9. 设备的变更管理
10. 启动前安全检查
11. 异常原因及可靠度分析
12. 维修记录归档
13. 报废管理

目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

泵泄漏引起的事故 案例一

2015年4月10日22时57分，某石化公司加氢裂化装置产品汽提塔塔底泵机封失效泄漏，易燃介质喷出并迅速点燃着火，造成3台泵、上方框架、周围仪表、电缆、管线烧损，直接经济损失16.6万元，幸亏无人员伤亡。



着火现场冒起的巨大烟柱

2. 转动设备易泄漏部位分析



北京安必达科技有限公司
Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

泵泄漏引起的事故 案例二

2010年9月7日，某石化厂区内的芳烃车间 P—308 热油泵由于密封泄漏发生起火，现场冒出浓烈的黑烟，火情约在半小时内得到控制，不足一小时被全部扑灭。据厂内员工透漏，事故导致两人受伤。



爆炸现场一片浓烟



爆炸现场烧毁后的泵房

2. 转动设备易泄漏部位分析



泵泄漏引起的事故 案例三

2010年3月18日，某石化常减压装置减压三线重蜡油泵P-2117发生泄漏，喷出的蜡油高达350摄氏度，遇空气自燃着火。现场响起三声爆炸，在5公里外都能清晰看到一柱冲天黑烟。三十多辆消防车赶赴爆炸现场救火，火势扑灭较为困难。本次事故无人员伤亡，但现场泄漏蜡油达数吨，同时蜡油不完全燃烧过程中产生的一氧化碳和硫化物对空气形成一定的危害。



爆炸现场火势难以控制



蜡油泵喷蜡燃烧黑烟不断

泵泄漏引起的事故 案例四

2011年7月11日凌晨4时10分左右，某石化公司重整生成油塔底泵发生机械密封泄漏着火，现场区域一片火海，火焰高达上百米，40 余辆消防车参与救援。事故发生后，环境监测，可吸入颗粒物数量超标明显，一氧化碳超标 1.6 倍。



爆炸发生时火光一片



爆炸发生后现场冒出的巨大烟柱

◆转动设备易泄漏部位主要是旋转件与静止件之间的密封体

转动设备密封件主要类型、结构、特点介绍

- (1) 机械密封
 - (2) 填料密封
 - (3) 唇形密封
 - (4) 迷宫密封
 - (5) 干气密封
- 接触式
- 非接触式

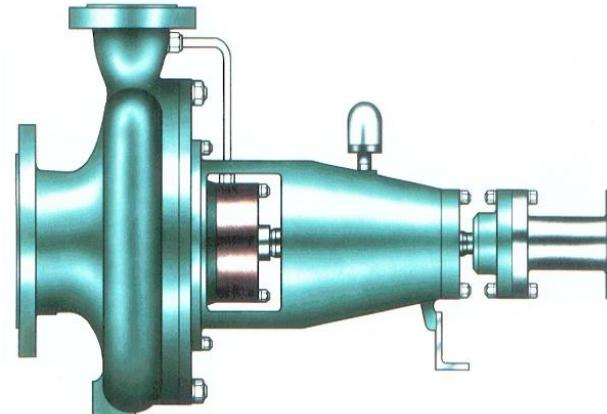
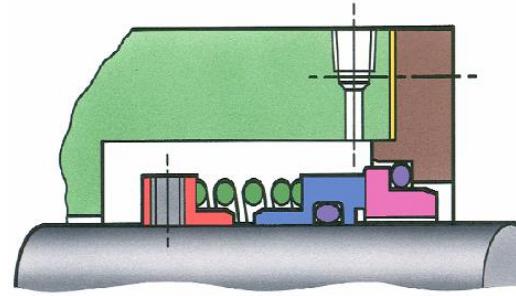
2. 转动设备易泄漏部位分析



北京安必达科技有限公司
Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

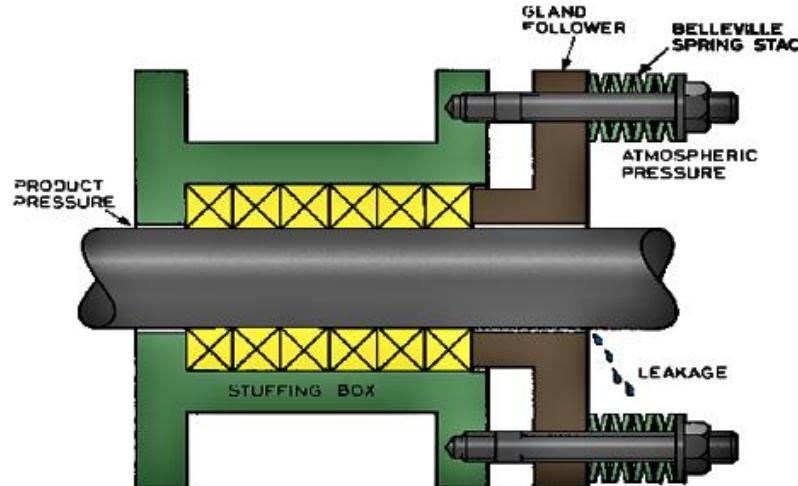
(1) 机械密封

- 是目前动设备使用量最多的密封形式
- 几乎没有泄漏
- 价格较贵
- 摩擦损失小能量损失较小
- 维修较困难



(2) 填料密封

- 必然会出现泄漏
- 价格便宜
- 因摩擦损失大，能量损失也较大
- 容易维修和更换



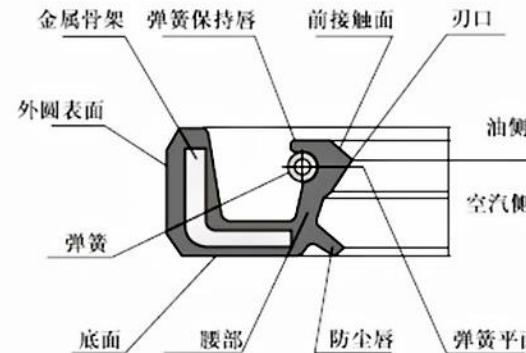
2. 转动设备易泄漏部位分析



北京安必达科技有限公司
Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

(3) 唇形密封

- 承压能力较小
- 泄漏量小
- 价格便宜
- 安装、拆卸方便
- 容易磨损需要经常更换



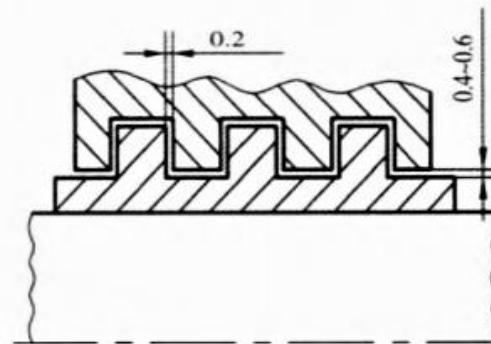
2. 转动设备易泄漏部位分析



北京安必达科技有限公司
Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

(4) 迷宫密封

- 必定有泄漏
- 能适应复杂工况条件，应用范围大
- 安装拆卸较方便
- 成本较小



XM30 迷宫式油封、轴承隔离器



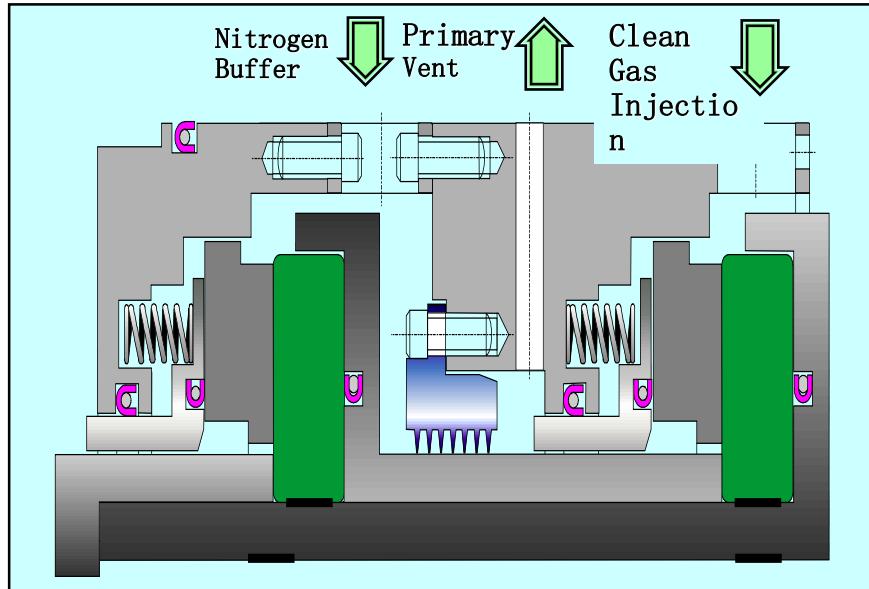
XM32 迷宫式油封

2. 转动设备易泄漏部位分析



(5) 干气密封

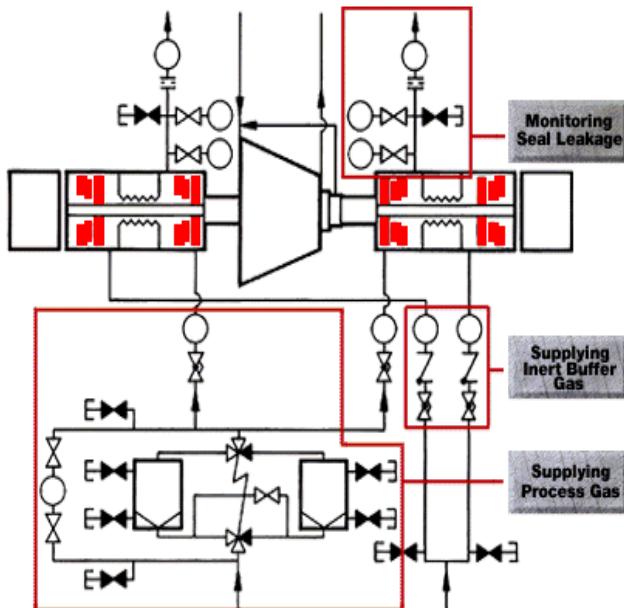
- 可靠性高
- 能达到无泄漏或泄漏很小
- 能适应复杂的工况条件
- 转速达到在50RPM以上动、静环之间将脱离接触，出现3 μ m左右的间隙，避免磨损和摩擦能量损失
- 一次投资的费用很大，配套设施较多
- 运行周期长，可达到5~10年或更长时间
- 维修复杂，一般只有制造商才能维修



2. 转动设备易泄漏部位分析



干气密封系统示意图

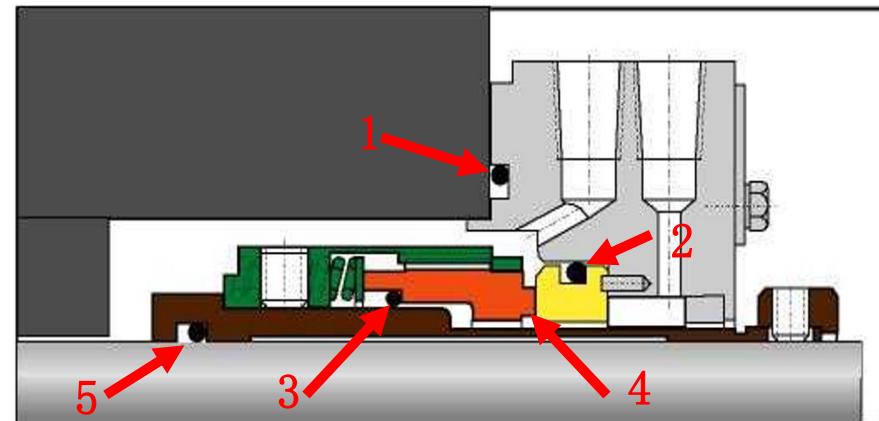


2. 转动设备易泄漏部位分析



◆机械密封是动设备最容易出现突发大量泄漏的部位，潜在的泄漏点有5个

- 路径1 - 端盖密封点，静密封点只要正确上紧密封端盖螺栓，此点一般较少出现泄漏。
- 路径2 - 静环O型圈，静密封点只要正确安装静环，一般较少出现泄漏。
- 路径3 - 旋转动环与轴套之间的O型圈，此点是动密封点，泄漏概率较大，但一般不会出现突发性大量泄漏。
- 路径4 - 动、静环摩擦副端面，是动密封点，泄漏概率较大，而且可能会突发喷射状大量泄漏。
- 路径5 - 轴套与轴之间的O型圈，是静密封点，一般较少出现泄漏。
- 如果有两套密封，泄漏路径1、2、3、4可能翻倍。



目 录

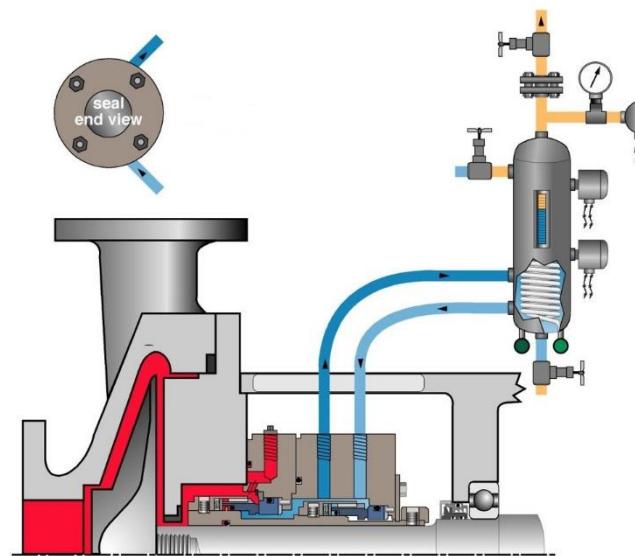
CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

◆ 动、静配合面是机械密封最容易泄漏的部位，针对动、静密封面会发生突然损坏失效介质大量喷出的问题，需要从结构设计上采取安全备份双保险原则，也就是在密封设计上采取双密封的措施，常见的有4种结构形式。

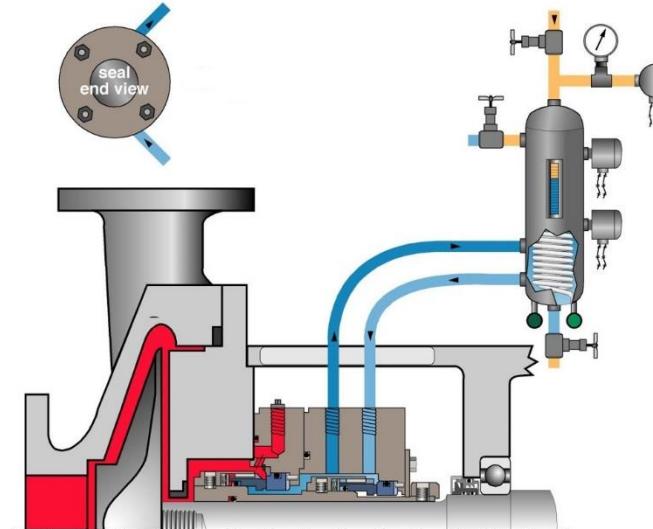
API 52方案

- 非承压的缓冲流体通过密封油罐循环
- 流体循环通过双密封上的泵环实现
- 外侧密封用于内密封的安全备份
- 实现零或非常少的介质泄漏
- 不允许工艺污染发生



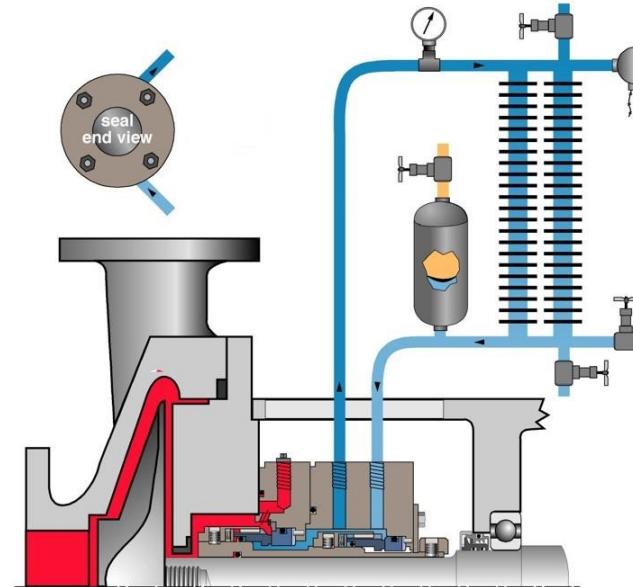
API 53A方案

- 承压的隔离液通过密封油罐循环
- 流体循环通过双密封上的泵环实现
- 隔离工艺流体
- 实现零介质泄漏



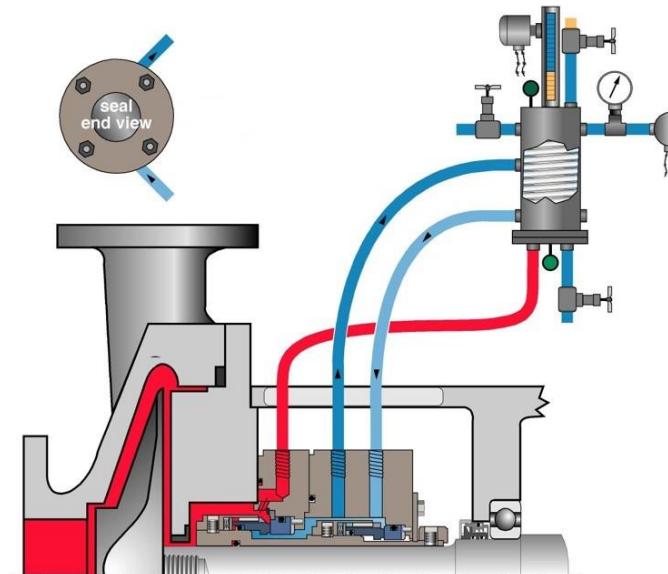
API 53B方案

- 承压的隔离流体经
过蓄能器皮胆循环
- 流体循环通过双密
封上的泵环实现
- 隔离工艺流体
- 工艺介质零泄漏
- 用于压力高于Plan
53A的结构



API 53C方案

- 承压的隔离流体经过蓄能活塞循环
- 流体循环通过双密封上的泵环实现
- 隔离工艺流体
- 工艺介质零泄漏
- 用于高于Plan 53A的结构
- 动态跟踪系统压力



目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料



PM清单初始建立的特点 (以某中外合资企业的做法为例讲解)

- (1) 初始PM清单在 SAP 维修模块中进行创建，PM清单主要是设备通用性的维护内容或基于专业工程师经验以及供应商维护手册中提供的预防性维护内容。
- (2) 初始PM清单几乎包括了所有设备。
- (3) 初始PM清单不准确，因为设备真正的运行和维护环境没有考虑进去。

目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料



RCM PM 特点

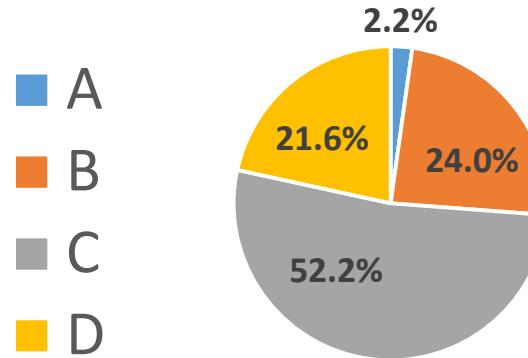
- (1) RCM PM 采用现代可靠性原则，充分关注每个关键设备，并考虑了运行和维护环境。
- (2) 首先评估设备关键性，将所有设备进行分级，分为：A、B、C、D 共4类。
- (3) 确定将 A 、B类设备（主要是旋转设备）优先在项目执行期间做 RCM，如果资源充足C类也将开展 RCM 工作，或在以后进行L- RCM（日常可靠性维护），D类设备一般放在运行失效时再做可靠性分析。
- (4) 所有关键性评估遵循相同的程序。

5. 以可靠性为中心的预防性维护 (RCM PM)



该企业完成并发布了总共 8131 个分级设备，设备分级摘要如下：

设备关键性分布

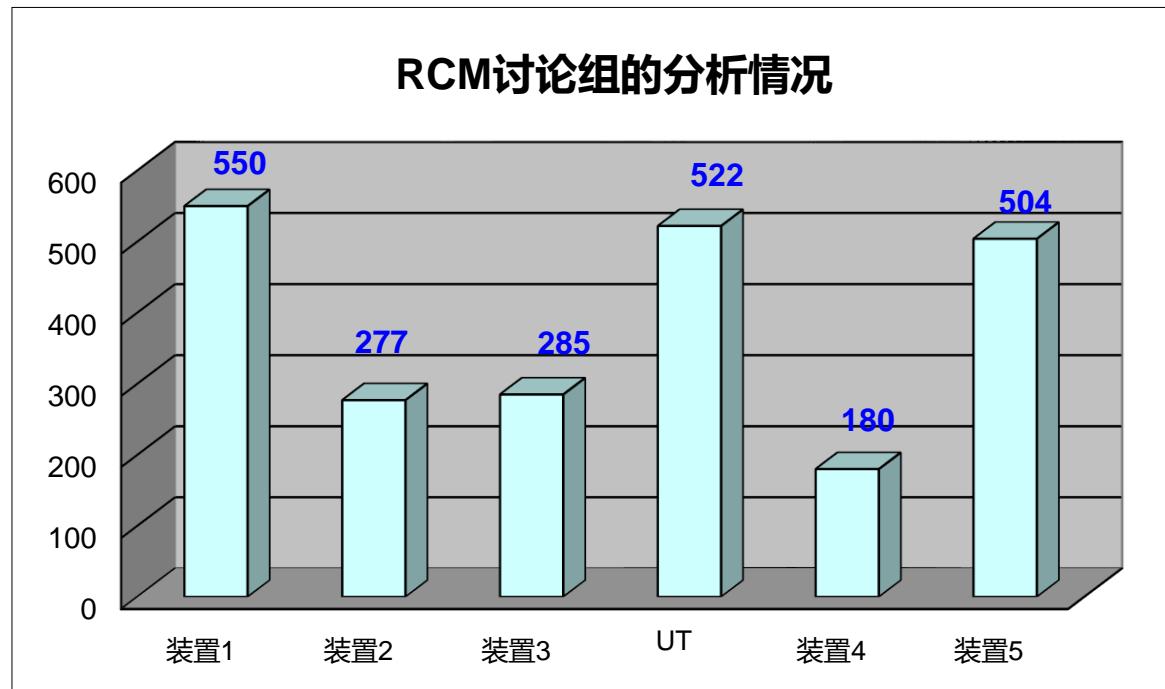


装置类别 设备分级	UT	装置1	装置2	装置3	装置4	装置5	装置5	装置6	装置7	装置8	Sub-total	Percentage
A	64	29	16	18	6	14	4	24	5	0	180	2.2%
B	811	220	164	102	72	215	58	127	181	44	1950	24.0%
C	927	1145	551	411	223	175	260	306	248	176	4246	52.2%
D	313	501	78	48	83	347	74	262	49	80	1755	21.6%
Sub-total	2115	1895	809	579	384	751	396	719	483	300	8131	100.0%

5. 以可靠性为中心的预防性维护 (RCM PM)



RCM 数据统计

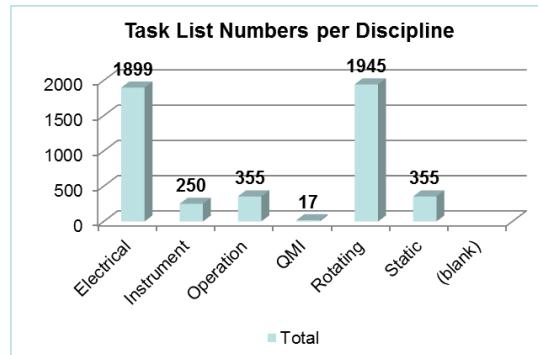
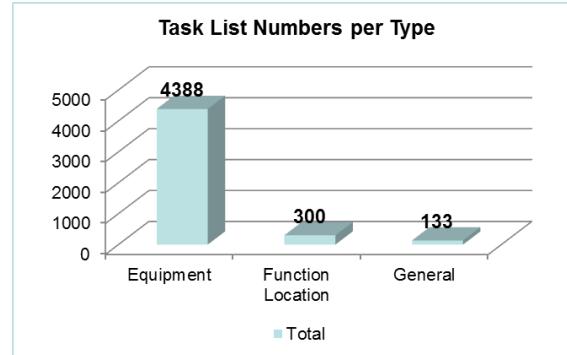
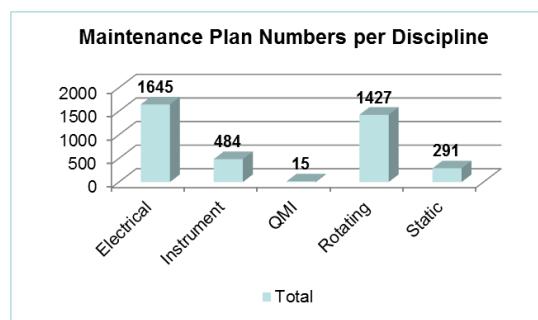
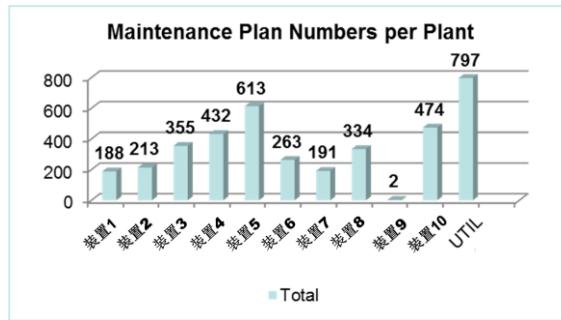


❖ 总共2318台设备做了RCM分析

5. 以可靠性为中心的预防性维护 (RCM PM)



在SAP中创建来自于RCM任务的PM计划



❖ 在SAP中创建了总数为3862项PM计划, SAP共创建4821项维修任务

目 录

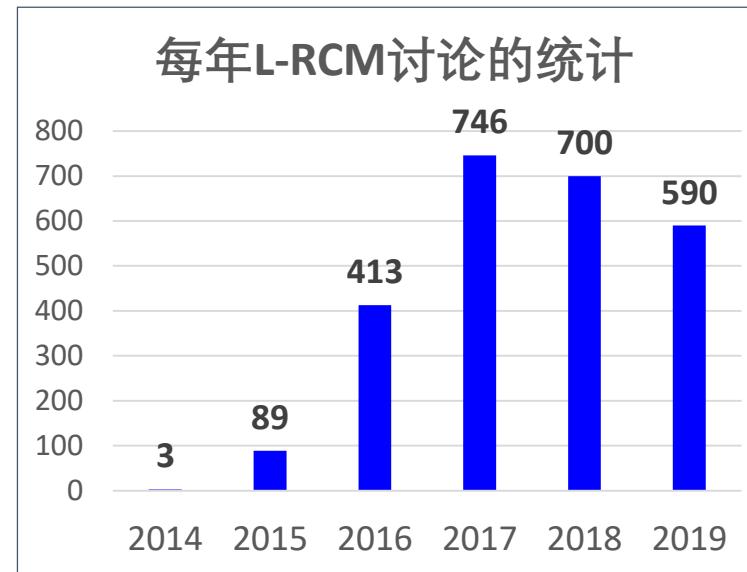
CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. [日常可靠性维护 \(L-RCM PM\)](#)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

6. 日常可靠性维修 (L-RCM PM)



RCM PM项目完成后，改为月度的L-RCM，L-RCM收集所有维修信息，查找频繁出现故障的设备或常见故障，并做RCM 分析讨论，以便优化PM 方案，然后输入 SAP 执行。总数如图：



目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化

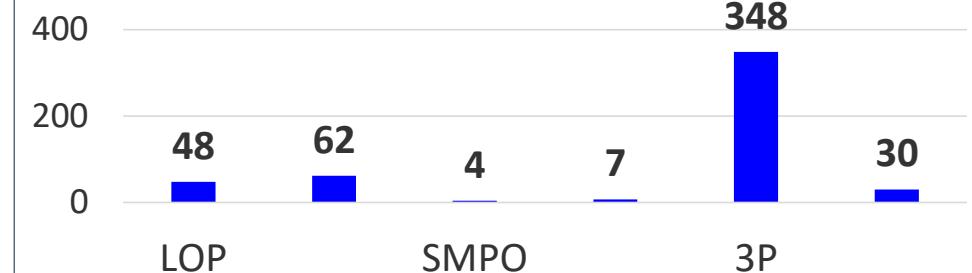


工厂所有 RCM PM 计划都是
基于时间的

*在执行RCM项目之后，电机驱动备用泵仍出现较高的故障率，甚至造成单元停车。经过项目组分析发现，执行一些PM计划是在备用泵处于待机状态时进行的，由此引入基于状态的PM计划。

*优化PM的途径是：电机运行时间记录在 ODS（数据来自DCS）中，ODS每周将运行时间发送到 SAP 以触发 PM 计划。

各工厂基于工况条件的PM清单



目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

8. 举例：空冷风机PM策略的制定



北京安必达科技有限公司
Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

针对设备分级低但频繁出现
故障的设备采取的PM原则

石化装置经常出现空冷风机高频率的故障，尤其是在夏季
高温雨季。项目组根据风险评估制定了专门的空冷风机PM策
略，要点如下：

- *对于关键空冷风机，主动定期更换皮带和大修；
- *对于低风险的风机，则一直运行到失效为止。
- *空冷风机的所有PM已上传在 SAP 中。

目 录

CONTENT

1. 机械完整性 (MI) 管理简述
2. 转动设备易泄漏部位分析
3. 重要机泵机械密封安全结构设计方案介绍
4. 转动设备预防性维护 (PM) 清单的建立
5. 以可靠性为中心的预防维护 (RCM PM)
6. 日常可靠性维护 (L-RCM PM)
7. 举例：电机驱动备用泵的PM优化
8. 举例：空冷风机PM策略的制定
9. RCM补充资料

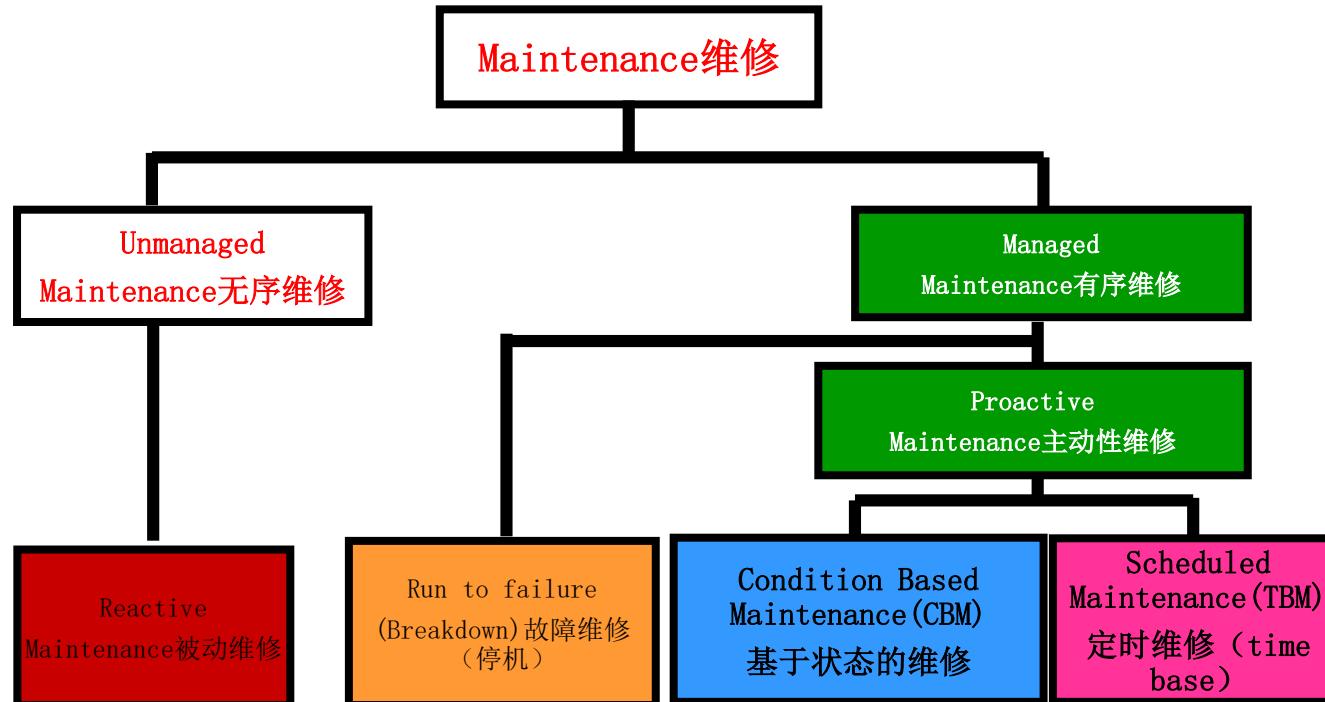
(1) RCM的运行特点

- * RCM经过几年的运行，对于成熟的A、B类设备的PM策略，只需保留每月的RCM讨论会，继续更新或创建剩余设备（C类设备）的PM计划。
- * 最重要的是确保所有PM工作真正执行并保证质量。
- * 如果发生一些类似于空冷风机的常见故障，虽然不是重要设备，也会开展RCA分析会，制定PM策略。

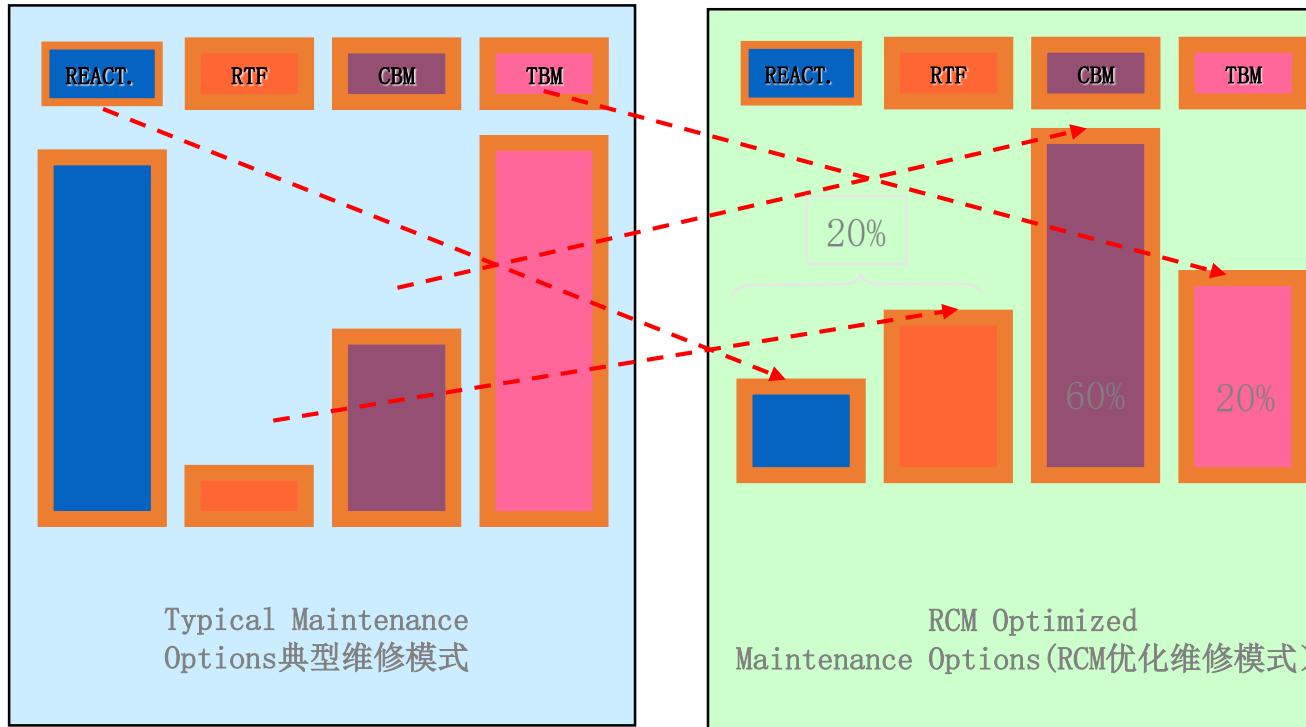
(2) 卓越维修的四个阶段



(3) 维修模式



(4) What is our target? 维修目标

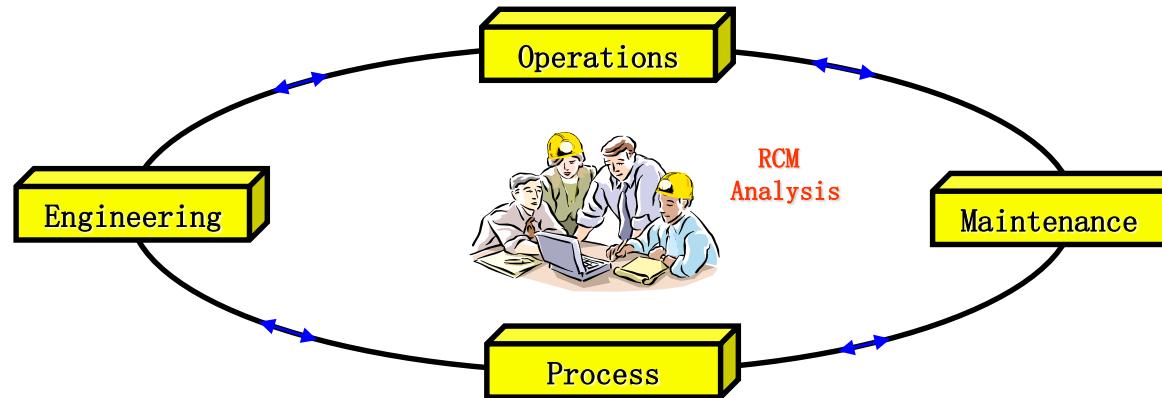


(5) Typical Summary of maintenance options 维修模式的汇总

	Revealed 故障显示	Unrevealed 故障隐藏
Age-related 与周期相关	Time-based (e.g. replacement of component) 基于时间 (如: 更换零部件)	Time-based (e.g. overhaul or replace) 基于时间 (如: 大修或更新)
Random 随机	Condition monitor (P-F Curve) 状态监测 (P-F 曲线)	Condition Monitor (e.g. test for function) 状态监测 (如: 功能测试)

(6) 维修理念

- *维修过程依靠团队合作
- *维修不是一个部门行为而是一个工厂行为



Partnership Determines the Success
合作决定成功



总 结

转动设备的密封防泄漏和预防性维护是石化、化工行业两项非常重要的工作，能否真正落实做好关系着设备、装置甚至是人员的安危，设备管理和操作人员需要充分掌握、理解并运用所讲知识点，提高化工生产的安全性。

THANK YOU



北京安必达科技有限公司

Beijing Safety Science & Technology Co.,Ltd.

地址：北京市大兴区金星路24号2栋2层211室

邮编：102627

官网：anbida@abdtech.com.cn