

系统功能可靠性管理

主讲人：亓潇

联系电话：13516698187

邮箱：qi.xiao@cnoocshell.com





引言



可靠性是产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力，是反映产品质量水平的核心指标，贯穿于产品的研发设计、生产制造和使用全过程。经过多年探索发展，我国制造业可靠性取得显著成效，但与国外先进水平仍有较大差距，产业基础存在诸多短板弱项，关键核心产品可靠性指标尚待提升，管理和专业人才保障能力不足，成为掣肘我国制造业迈向中高端的突出问题。

为深入贯彻习近平总书记关于质量工作的重要论述，全面贯彻党的二十大精神，落实制造强国、质量强国建设要求，全面推进新型工业化，工业和信息化部联合教育部、科学技术部、财政部、国家市场监督管理总局等五部门联合印发《制造业可靠性提升实施意见》，提升制造业可靠性水平，为提高企业核心竞争力和品牌影响力、建设现代化产业体系、实现制造业高质量发展打下坚实质量基础。

目录

Content

一 什么是可靠性

二 可靠性管理的价值展望

三 可靠性管理实践



什么是可靠性





1.1 可靠性概念



可靠性是产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力，是**反映产品质量水平的核心指标**，贯穿于产品的研发设计、生产制造和使用全过程。随着新一代信息技术与制造业深度融合，我国制造业数字化、网络化、智能化、绿色化发展加速推进，可靠性理念得到进一步拓展。



1.2 可靠性工程的发展历程





1.3 可靠性解读和举例

可靠性包含了耐久性、可维修性、设计可靠性三大要素。

*耐久性：产品使用无故障性或使用寿命长就是耐久性。例如，当空间探测卫星发射后，人们希望它能无故障的长时间工作，否则，它的存在就没有太多的意义了，但从某一个角度来说，任何产品不可能100%的不会发生故障。





1.3 可靠性解读和举例

可靠性包含了耐久性、可维修性、设计可靠性三大要素。

* 可维修性：当产品发生故障后，能够很快很容易的通过维护或维修排除故障，就是可维修性。像自行车、电脑等都是容易维修的，而且维修成本也不高，能够很快的排除故障，这些都是事后维护或者维修。而像飞机、汽车都是价格很高而且非常注重安全可靠，一般通过日常的维护和保养，来大大延长它的使用寿命，这是预防维修。产品的可维修性与产品的结构有很大的关系，即与设计可靠性有关。





1.3 可靠性解读和举例

可靠性包含了耐久性、可维修性、设计可靠性三大要素。

* 设计可靠性：这是决定产品质量的关键，由于人——机系统的复杂性，以及人在操作中可能存在的差错和操作使用环境因素影响，发生错误的可能性依然存在，所以设计的时候必须充分考虑产品的易使用性和易操作性，这就是设计可靠性。一般来说，产品越容易操作，发生人为失误或其他问题造成的故障和安全问题的可能性就越小；从另一个角度来说，如果发生了故障或者安全性问题，采取必要的措施和预防措施就非常重要。例如汽车发生了碰撞后，有气囊保护。





1.3 可靠性解读和举例

对工业用户而言，可靠性越高就越好。可靠性高的设备或工艺系统，可以长时间正常工作；从专业术语上来说，就是设备的可靠性越高，设备**无故障工作的时间就越长**。

例如：我们可能会接受一台手机随时故障的可能性为1%，而无法接受随时会坏的可能性为50%；

又如：金属缠绕垫，在使用的时间内没有发生故障，就认为是可靠的；

再如：某些一旦发生故障就不能再次使用的产品，保险丝就是这类型的产品，一般损坏了只能更换新的。





可靠性管理的价值展望





2.1 可靠性管理的价值展望

我们期待的理想工厂运营是什么？

有足够的时间；

大量的预算；

大量的资源；

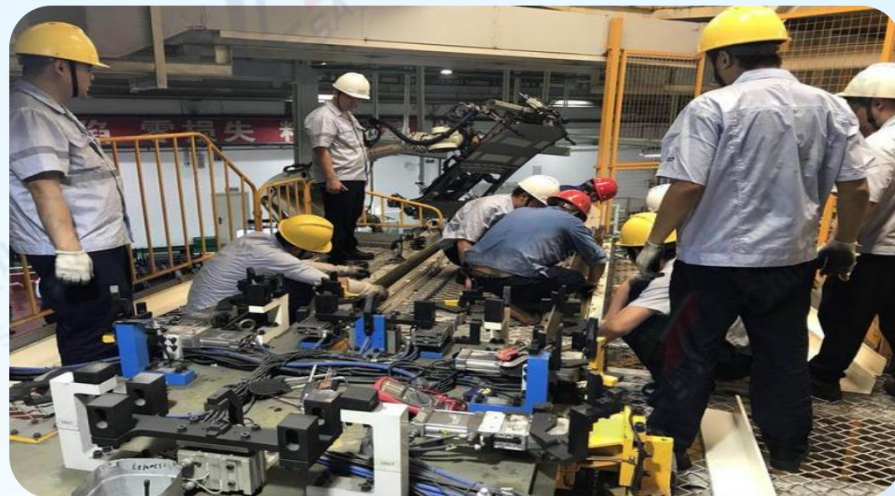
不会有保养管理问题。

而实际情况是

我们面临时间紧、预算有限和资源有限，时刻为保障可靠运营而开展繁琐保养维护的困境中，所以最佳的维护策略是什么？

以可靠性为中心的维修

(RCM -Reliability Centred Maintenance)





2.2 以可靠性为中心的维修 RCM

- 以可靠性为中心的维护(RCM)是一具有结构化和逻辑系统工作过程，用于确定最低成本的维护行动来满足运营绩效目标。
- RCM过程的目标是以合理的成本确保维护在适当的水平，不多也不少，从而提高工厂的可靠性和成本地位，并减少计划外停机时间。该过程是通过结构化可靠性分析来优化预防性或主动维护活动和频率。





2.2 以可靠性为中心的维修 RCM

L-RCM

L-RCM是日常工作中RCM过程的持续改进过程，旨在通过响应可靠性工程师、检验员、操作员和工艺工程师的输入来优化操作员巡检任务和预防性维护。各区域RCM 负责人应收集信息，确定需要进行RCM分析的设备，并定期组织RCM分析讨论。

RCM

S-RCM

S-RCM软件作为IT工具应用于CSPC，以促进RCM研究和最佳实践共享，该软件提供了一个结构化的工作流程来分析设备功能和结构，将各专业知识与设备维修历史和产品利润相结合，分析可能的结果，从而确定基于状态的维护，基于时间的维护和/或监控任务的最佳列表。

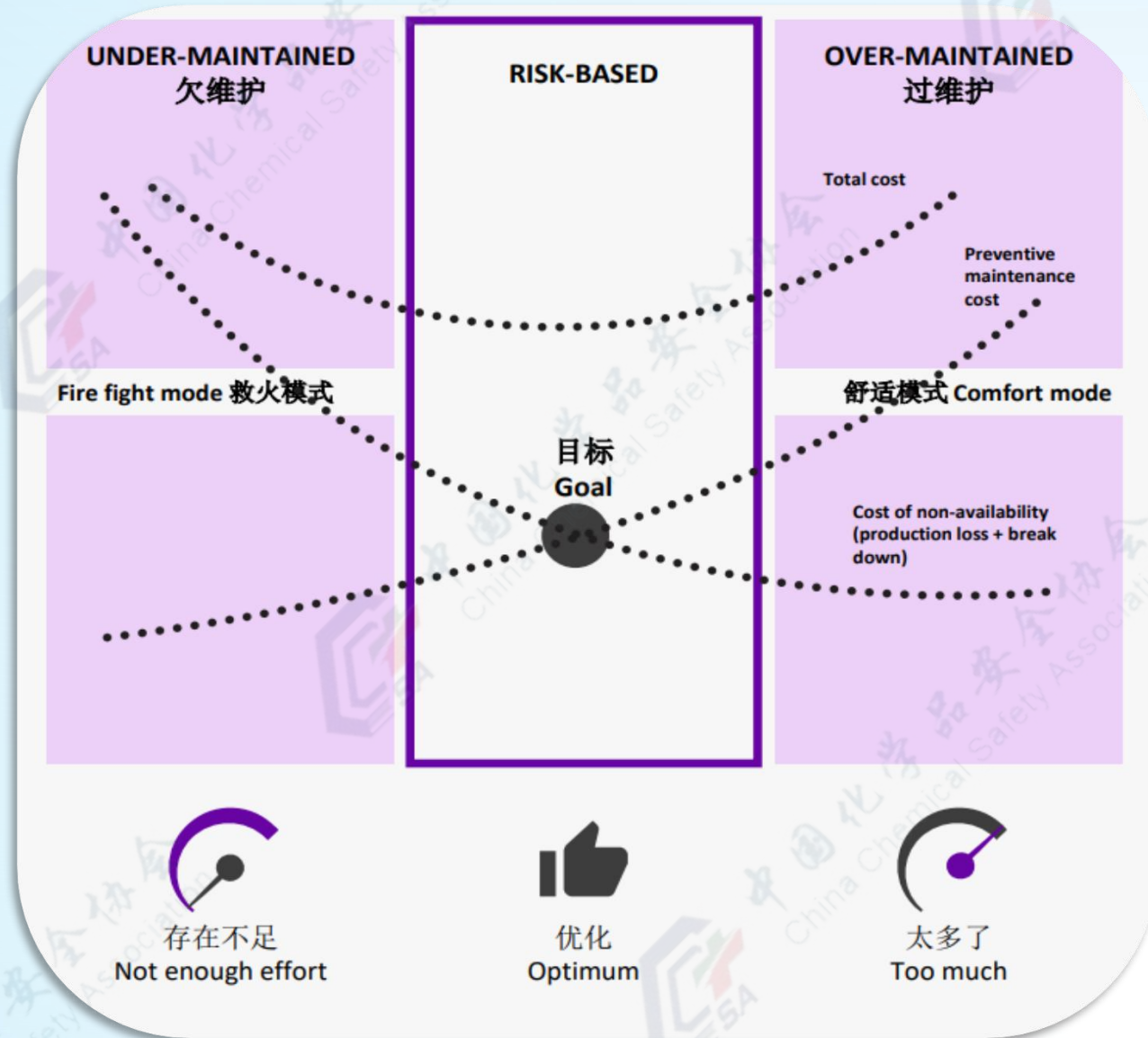


2.3 RCM将维修策略与公司目标连接起来





2.4 基于业务目标，优化维修策略





可靠性管理实践





3.1 可靠性管理框架

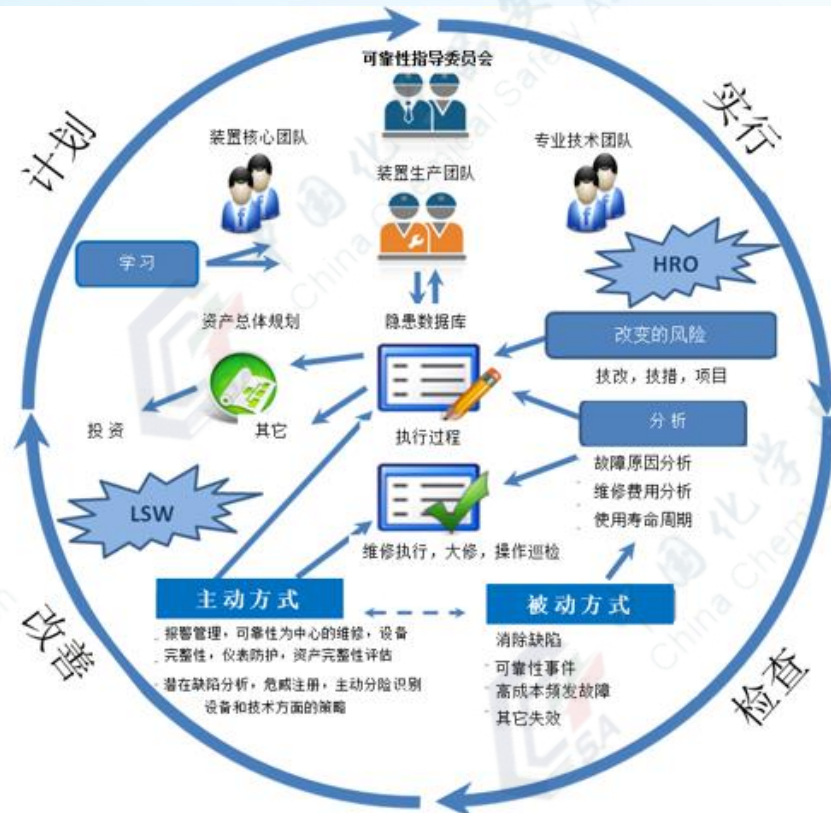
可靠性管理框架(RMF)提供了一种可视化的结构方法来管理资产可靠性、完整性问题以及在整个开发生命周期中对工厂可用性的潜在威胁。RMF还提供了定义多学科方法的结构,以便与不同的利益相关者(如操作和维护团队、技术和工程服务部门等)审查、评估和解决任何资产、设备或人员可靠性问题。

计划和优先级

- 以可靠性为中心的维修 (RCM)
- 基于风险的检验(RBI)
- 仪表保护功能(IPF)
- 隐患管控系统 (MTA)
- 变更管理 (MOC)

持续学习改进

- 从事故中学习(LFI)
- 因果学习(Casual learning)
- 屡发故障识别 (Bad actor)



执行系统

- 维修执行 (ME)
- 大修 (TA)
- 操作任务管理 (OTM)
- 主动技术监测 (PTM)

审查

- 区域可靠性团队(ART)
- 可靠性指导委员会(RSC)
- 设备管理部, 技术部, 操作团队协作



3.2 可靠性管理的基本方法

可靠性框架致力于通过发现需要改进的地方(问题), 然后加以解决, 逐步提高工厂的性能。三个基本方法为:

1 主动方式: 在问题导致故障/跳车前找出并解决, 防止事件发生 (预防性改进)

2 被动方式: 导致可测量的性能短暂下降 (故障/跳车) 的问题发生后, 寻找方法来防止再次发生。(应对性改善)

3 确定KPI, 然后收集、处理和监控性能统计, 分析并确定所需的改进措施。



3.3 可靠性管理的关键要素

• 组织机构

- ❖ 可靠性指导委员会 (RSC, Reliability Steering Committee)
- ❖ 生产团队(Production Team)
- ❖ 装置可靠性核心团队 (Reliability Core Team)
- ❖ 专业技术团队(Discipline/technology Team)

• 主动工作方式

- ❖ ESP: 保障安全生产的管理体系(Ensure Safe Production)
- ❖ RCM: 以可靠性为中心的维修 (Reliability-Centered Maintenance)
- ❖ EI: 设备完整性 (Equipment Integrity)
- ❖ IPF: 仪表保护功能(Instrumented Protective Function)
- ❖ Latent Defect methods: 消除潜在缺陷

• 被动工作方式

- ❖ Eliminate Defects: 缺陷的消除
- ❖ Reliability Event (UPDT): 可靠性事件 (非计划停车)
- ❖ Bad Actor 屡发事件
- ❖ Other failure 其它失效





3.3 可靠性管理的关键要素

• 执行系统

- ❖ ME: 维修执行(Maintenance Execution)
- ❖ TA: 大修(Turnaround)
- ❖ ESP-OS: 操作巡检(Ensure Safe Production-Operation Surveillance)
- ❖ Asset Master Plan: 资产总体规划

• 风险数据库

- ❖ MTA: 隐患管控系统 (Mitigate Threats to Availability)
- ❖ Risk from change: 变更风险管理

• 分析方法

- ❖ RCA and Casual learning: 事故原因调查及学习
- ❖ RA: 可靠性分析, Weibull分布, Gumbel极值等分析
- ❖ Life cycle cost: 生命周期费用分析





3.4 可靠性管理组织框架

可靠性日常管理:

❖ 工厂月度会议

- 上个月各专业的KPI完成情况
- 装置停车和关键设备停车的调查进展
- 公司十大高可靠性风险的进展
- 维修可靠执行状态回顾

❖ 各生产区域月度会议

- 区域各专业KPI完成情况
- MTA 项目回顾
- 需要RSC支持的资源



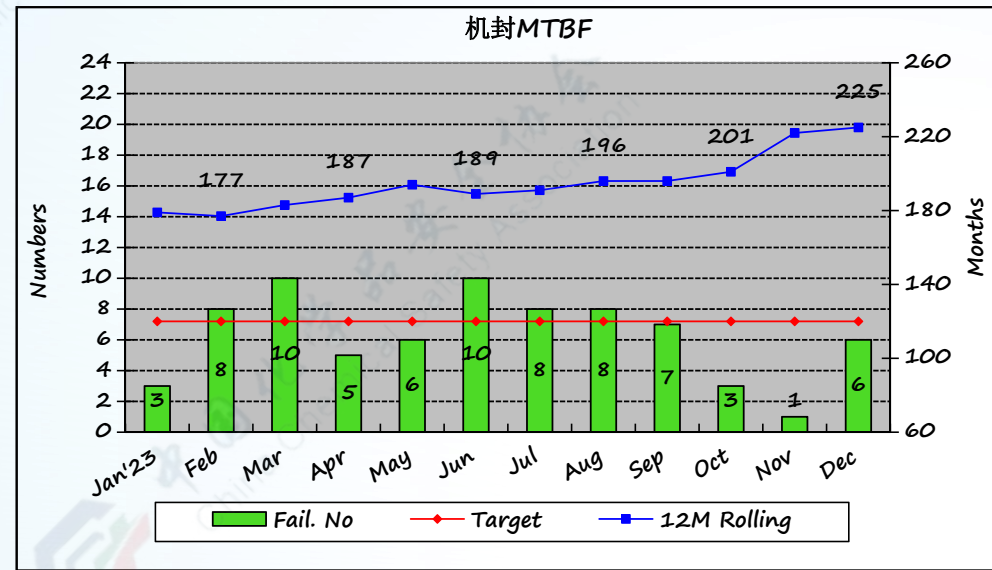
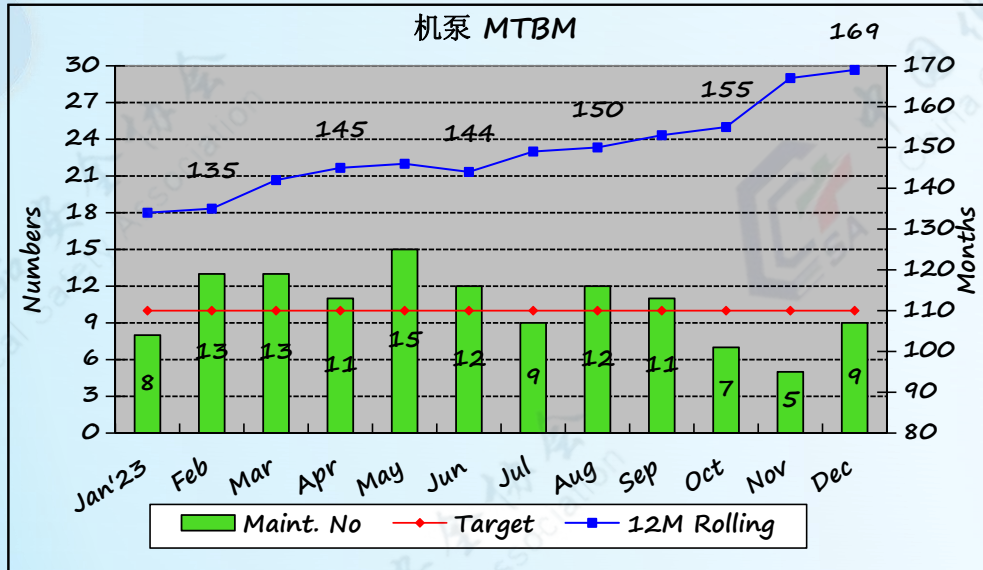


3.5 可靠性管理关键指标

静设备完整性

设备完整性	2022	2023 累计	当月
管道泄漏	X	X	X
RSC 设备泄漏	X	X	X
MOC leak sealing	X	X	X
12月无安全阀强检超期。			

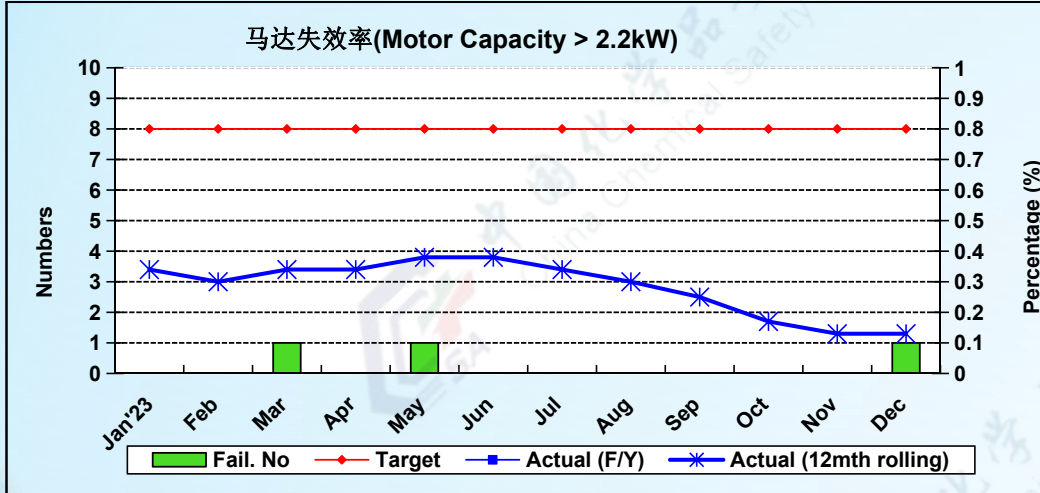
转动设备



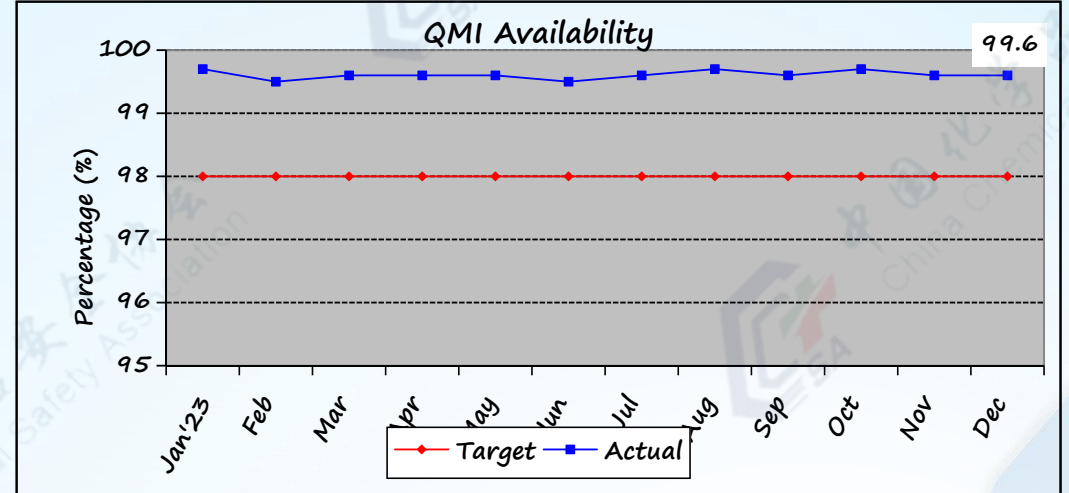


3.5 可靠性管理关键指标

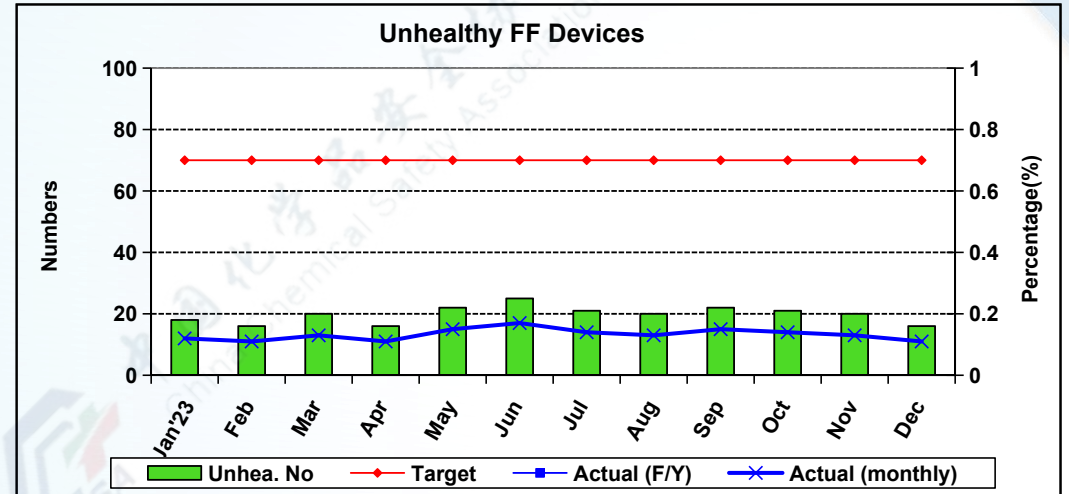
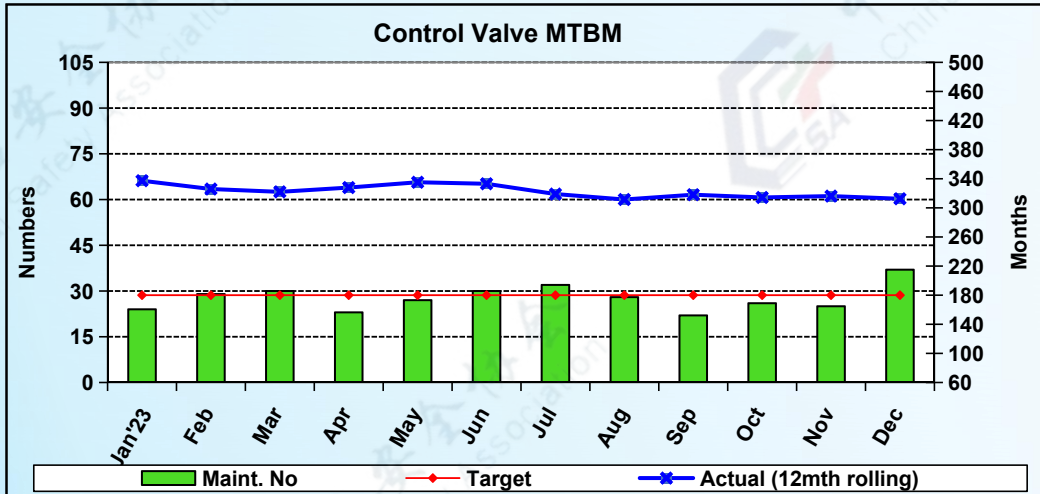
电器设备



在线分析仪表



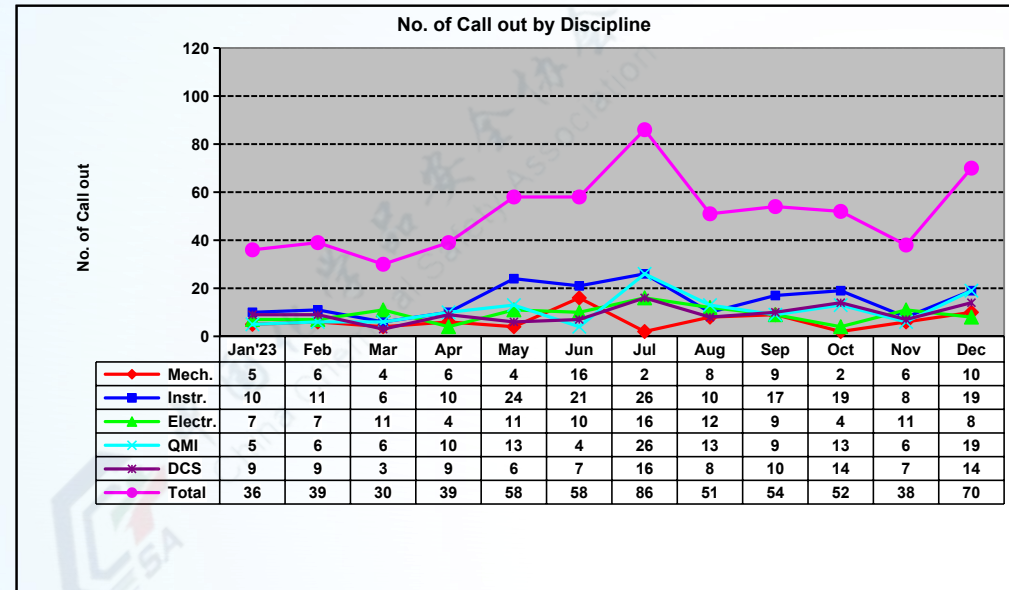
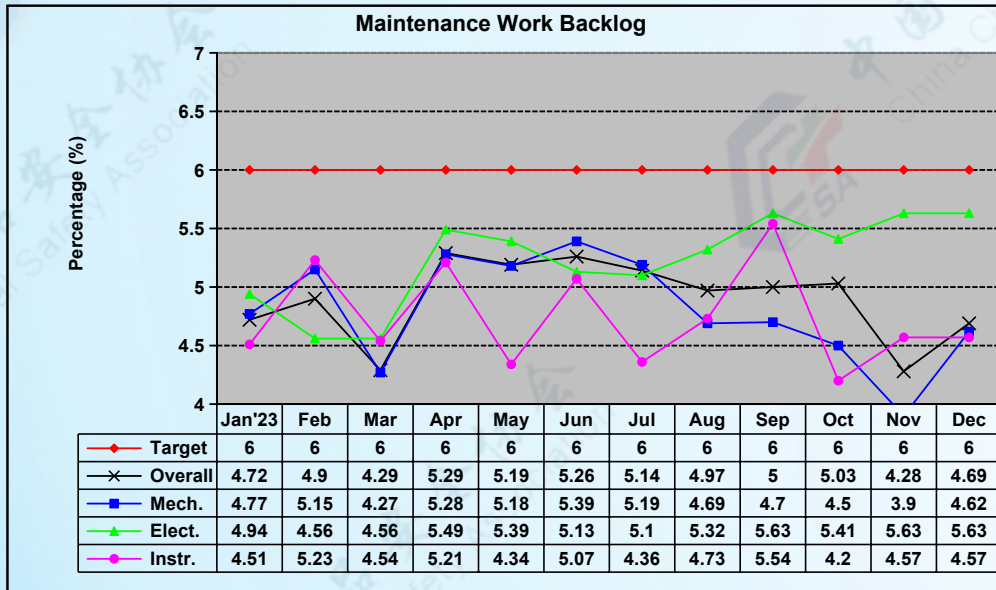
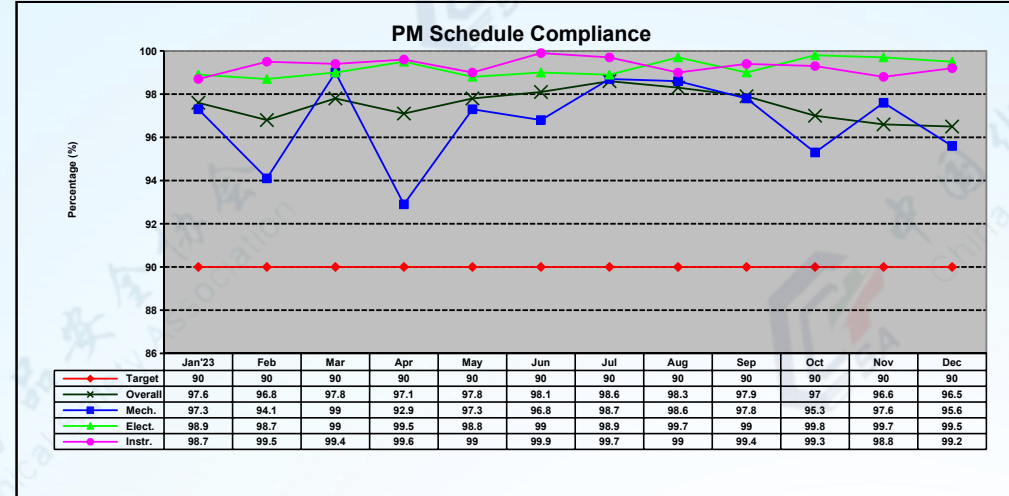
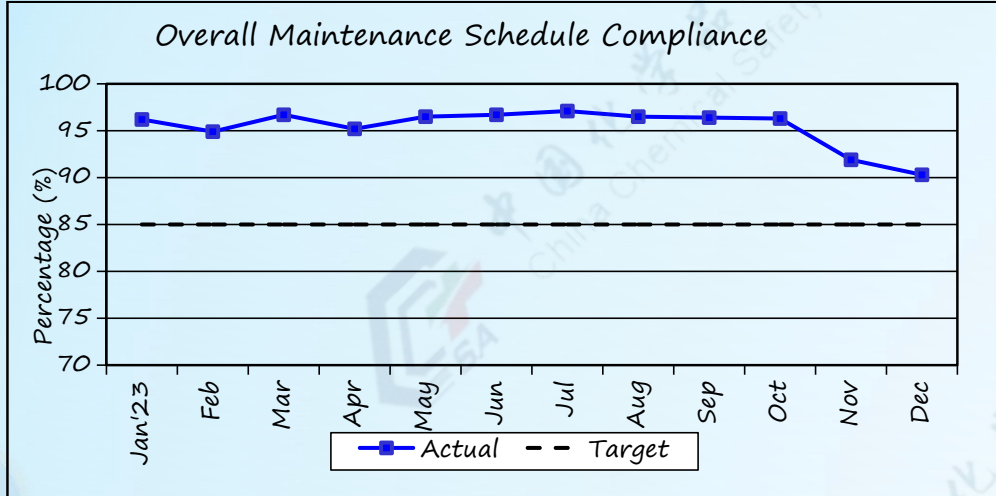
常规仪表





3.5 可靠性管理关键指标

维修执行





3.6 现场执行管理

所有涉及预防性维护的策略最终均应有明确的管理程序去指导。

如执行部门（人员）、作业步骤、质量控制标准、作业范围及使用的专业工具等。从而保障以预防性维护策略为基石，以管理程序为指导、充分完整执行维护方案，达到闭环管理的实际价值。





3.6 现场执行管理

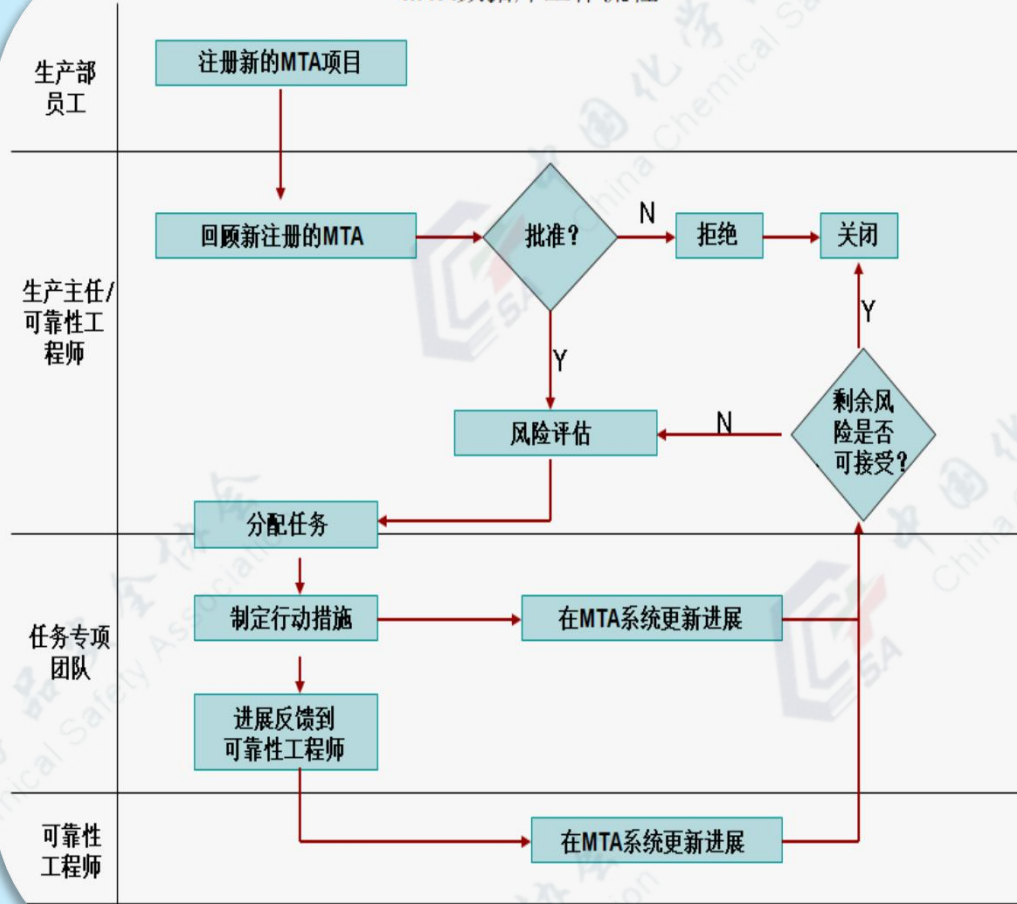
预防性维护的高可靠性在于执行过程中清晰的维护频次、部件更换的范围、质量评估的标准及持续动态化的长期优化。





3.7 风险管控系统

MTA数据库工作流程

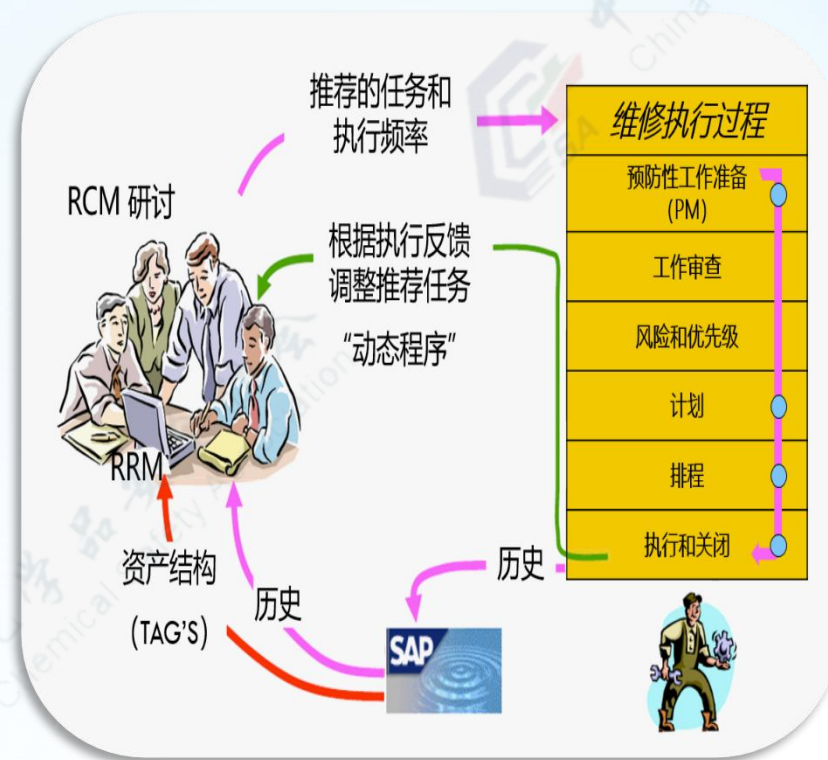
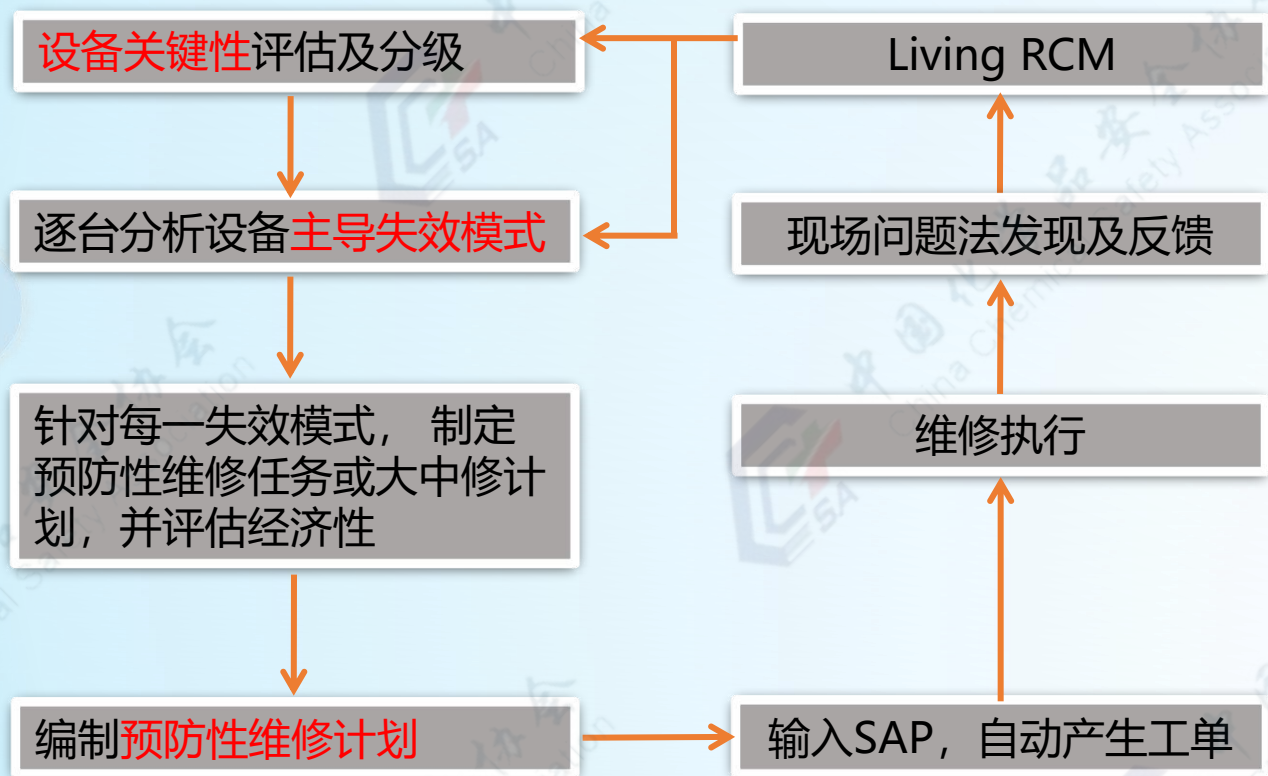


风险管控系统作为可靠性管理有效实践的重要一环，有助于风险识别、风险级别评定、制定风险消除计划和防止屡发事件，制定现场业务计划（可靠性和利用率）。通过系统化风险管理思维提高维护的优先性、高效性和经济性，实现长周期安全可靠运营的业务目标。



3.8 预防性维护

预防性维护作为可靠性管理的最重要一环，是我们在生产管理中失效的预防性屏障。通过主动定期开展技术综合分析的维修任务，是可靠性运营绩效的保障基石。主要工作流程如下。





3.8 预防性维护

在拓展任何维修和可靠性的流程中，设备关键性评估都是一个重要流程。这个评估确定了特定设备对生产的价值和影响，以及确定设备在维修统筹和策略上需要被关注的程度。

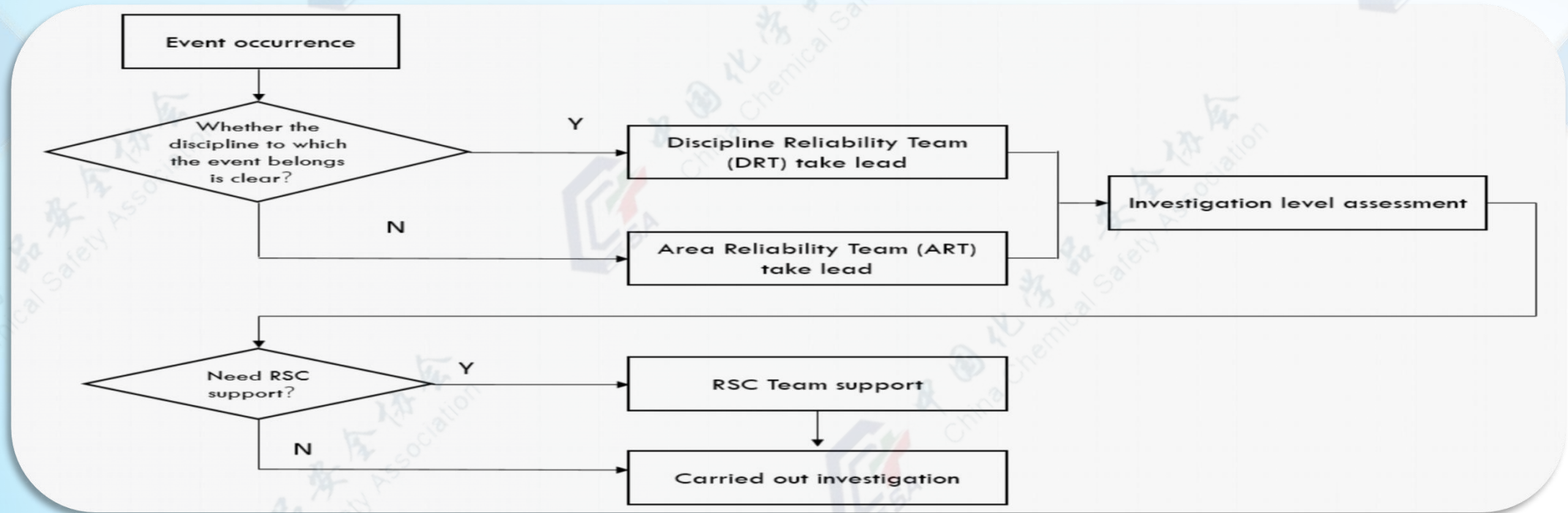
严重性	后果					增加的可能性				
	人员	资产/财务	环境	声誉	对客户的影响	A	B	C	D	E
						在本行业从未听说过	在本行业中听说过	在壳牌或中海油已经发生过，或者每年在本行业发生过不止一次	在中海壳牌已经发生过或每年在壳牌或中海油发生过不止一次	每年在中海壳牌发生过不止一次
0	没有伤害或健康影响	无损坏	无	没有影响	没有影响					
1	轻微伤害或健康影响	轻微损坏	<1百万	轻微影响	轻微影响	内部质量问题	低 (D)			
2	轻度伤害或健康影响	轻度损坏	1百万 - 1千万	轻度影响	轻度影响	轻度外部质量问题		中等 (C)		
3	Major injury or health effect 重大伤害或健康影响	中度损坏	1千万 - 1亿	中度影响	中度影响	相当多的外部质量问题			高 (B)	
4	永久性完全残疾或最多三人死亡	重大损失	1亿 - 2亿	重大影响	重大影响	重大损失				关键 (A)
5	多于三人死亡	巨大损失	> 2亿	巨大影响	巨大影响	巨大损失				

- 只有当经RCM研讨推荐的工作任务被真正地转化为可执行的工作时，RCM的好处才能实现，无论是转化为PM，外操人员的巡检，还是其他预防措施。



3.9 可靠性事件调查

对于已经造成重大后果的事件或者频繁失效的设备，应展开深入的事件调查，旨在明确导致后果的根本原因，并在此基础上制定切实可行的维修策略和方案，依托现场高度可靠的施工管理，从而避免事件的再次发生或者频繁故障导致对经济和安全的影响。





3.9 可靠性事件调查

调查流程

阶段	步骤	描述	交付成果
I 事件捕获	1 事件报告	记录问题及相关信息	事件报告
	2 事件排名	根据其他事件的排名，确定问题的调查级别	调查级别
II 问题分析	3 问题识别	从不足和影响的角度来总结问题	问题陈述
	4 数据/事实采集	收集和鉴定所发生的事实并记录下来供进一步参考	事实
III 根本原因分析	5 可能原因分析	生成原因并映射因果关系	可能的原因
	6 数据/原因核实	基于事实核实和排除原因（如需要，收集更多的事实）	根本原因
IV 解决方案开发	7 确定解决方案	生成解决方案来消除每个根本原因，并阐明所需的资源	解决方案
	8 管理决策	基于达标的效用，选择和描述每一个根本原因的最佳解决方案。报告和提出管理决策	最终解决方案
V 形成报告	9 制定报告，LFI和后续行动	基于以上描述，根据调查深度类别分级，草拟报告，并在相关领域学习，然后跟进解决方案的效用	调查报告



3.9 可靠性事件调查

调查报告

调查报告内容包括但不限于:

事件描述

调查职权范围和调查组

问题陈述

背景信息

时间线

因果分析

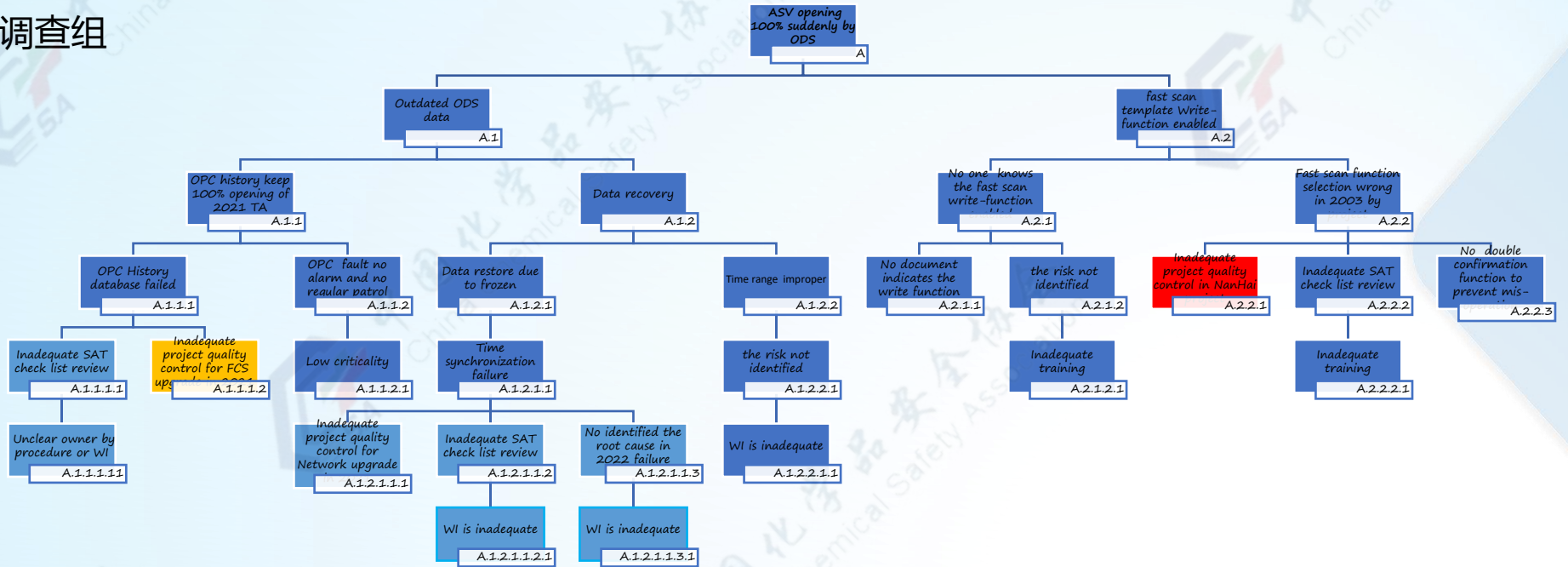
原因分类

屏障分析

学习讨论

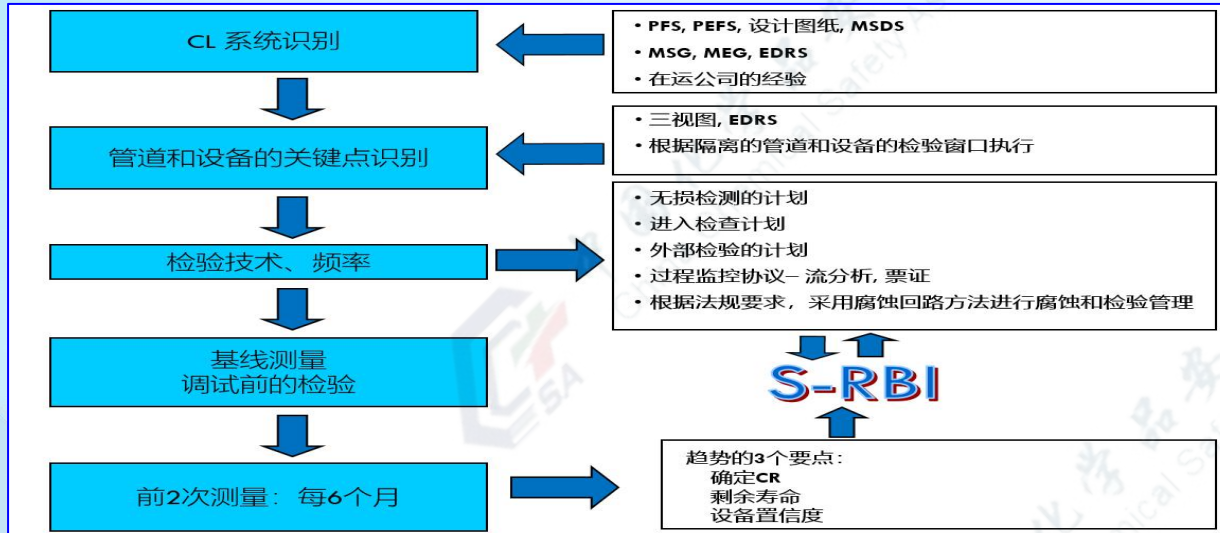
行动措施

建立故障树图





3.10 可靠性维护策略



检验和防腐 (设备完整性) :

- 设备完整性流程
- 检验策略
- 腐蚀管理
- 检验数据管理系统
- 维护、项目和材料检验
- 检验资源

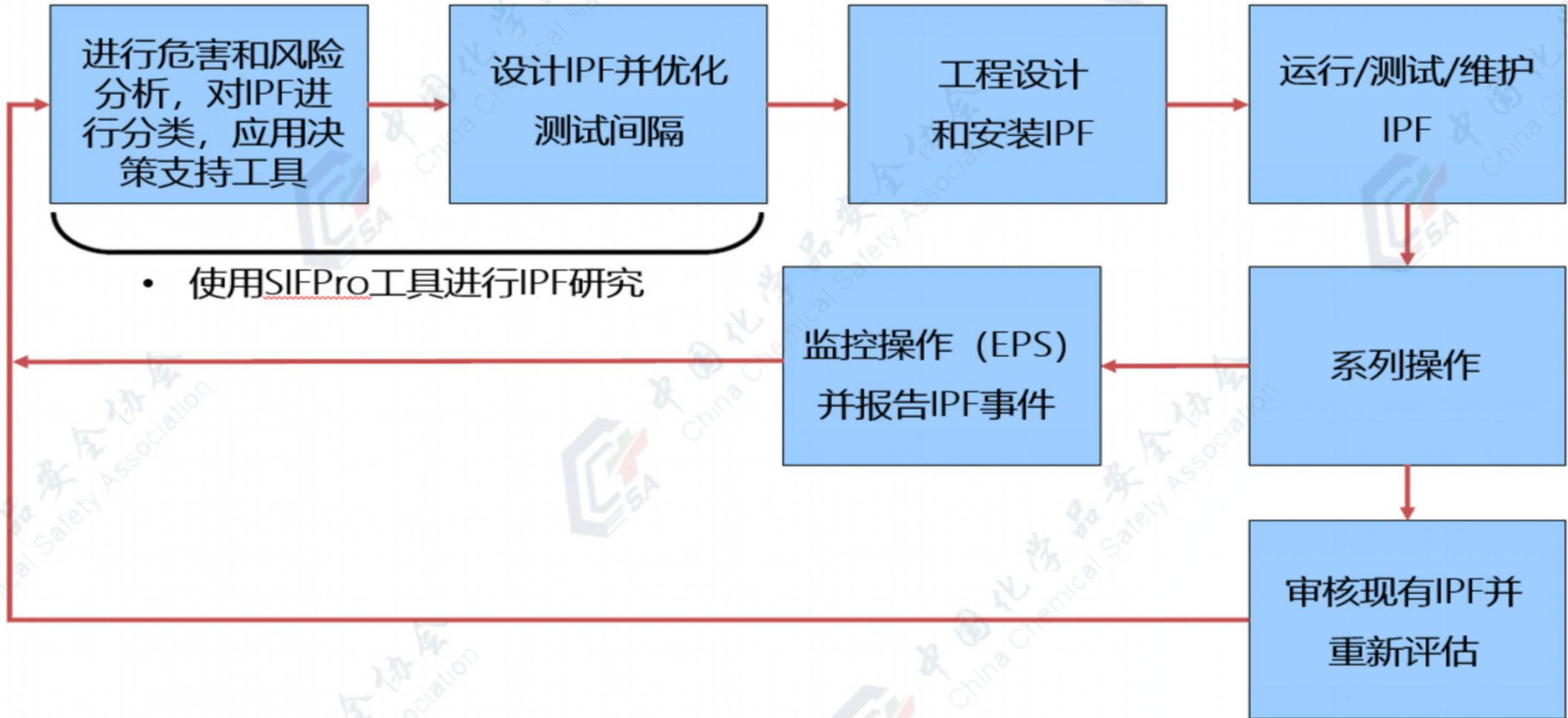
基于当地法规、法律、壳牌DEP和行业经验。
 详细说明检验范围、检验技术应用和检验频率。

基于风险的腐蚀回路检验。



3.10 可靠性维护策略

安全仪表系统





3.11 可靠性管理的六个阶段

石油化工行业对可靠性的要求：

- ❖ 适应行业持续发展生产的需求，寻求高效、经济、安全的持续平稳生产。
- ❖ 尽可能降低基础工艺设计需求和设备材料选型匹配且有裕量。
- ❖ 尽可能减少物料泄露造成的重大人身伤害事故、环境污染
建立预防性管理机制，及时发现问题隐患；采取及早的处理措施和预防维护。
- ❖ 应从设备全周期失效全维度来看，综合分析设备从设计、选型、制造、安装、应用、维护各个可靠屏障的潜在失效因素。





3.11 可靠性管理的六个阶段

设计阶段

首先设计人员在严格遵守设计选型规范的同时，也要结合设备使用地点充分考虑常年所处的环境，例如气候环境、工作环境。（举例）





3.11 可靠性管理的六个阶段

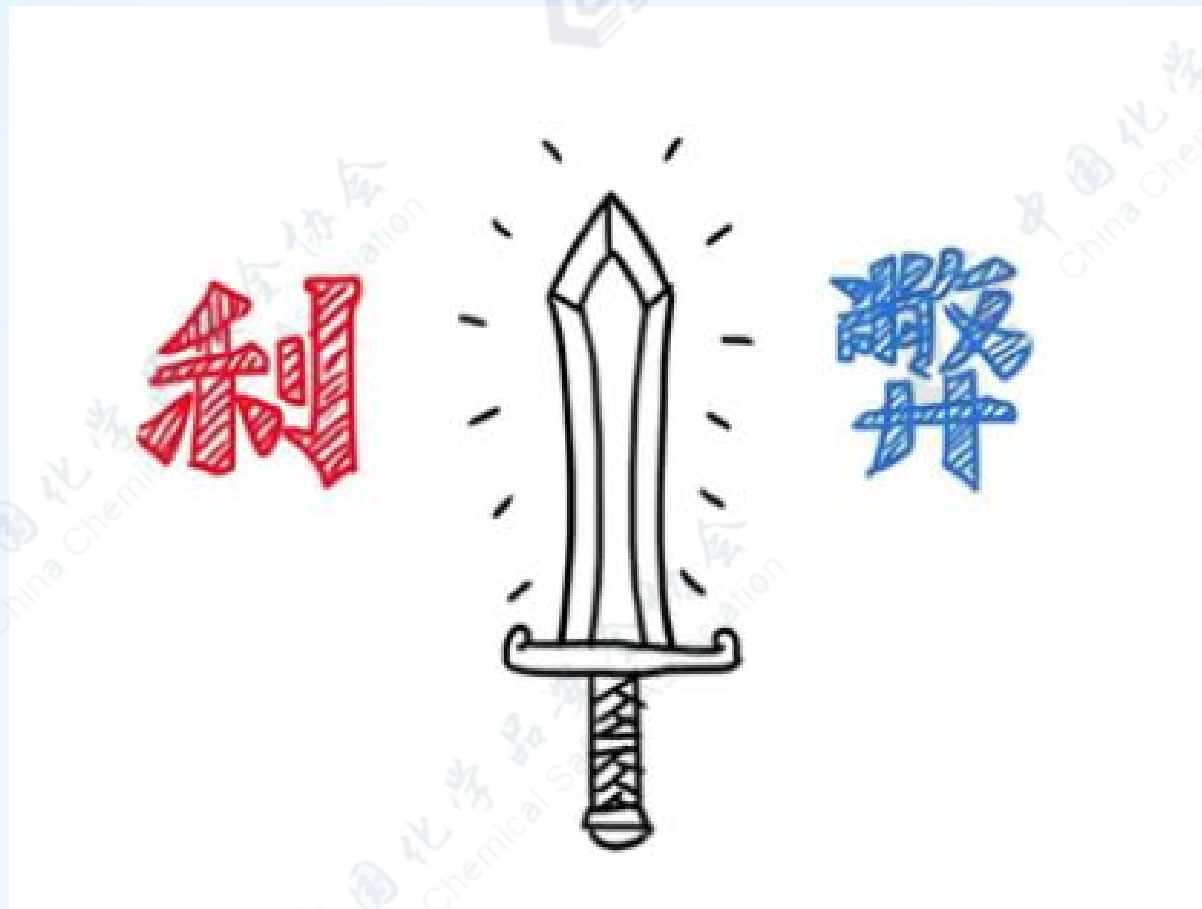
但是如果盲目的设计高标准的仪表设备来提高可靠性，这对工厂的使用成本会带来非常大的负担。举例来说：现场房间内使用的某台压力变送器不参与任何控制和联锁功能只做为基本的参考比对使用，但设计时提高了其防爆等级、防护等级、高精度、材质、带相关认证的仪表，这将面临大量的投资成本及日后的维护成本，而且提高的这些技术手段实质上并没有提高其仪表设备的可靠性。





3.11 可靠性管理的六个阶段

所以设计的**可靠性需要平衡**，不可以盲目的提高技术参数等级而不计成本。反之亦然，为了追求成本降低或者忽略可靠性，这会导致问题或事故的风险增加，这是一把双刃剑，一般要组织**有实际经验的人员进行评估**，如果可以也要充分结合现场用户多年的使用经验才能知道哪些虽然设计是符合要求标准的，但是潜在的风险或隐患确实存在的，如日后可以系统的统计或收集这些信息来更新相关的标准或设计规范这是对此行业最大的帮助。





3.11 可靠性管理的六个阶段

选型阶段

一般用户的选型基本都是根据设计院的设计规格书进行选择的，但当设计院在设计规格书中并未提及或者写有按照厂家标准配备的情况下，用户技术人员需要引起格外注意。（举例）



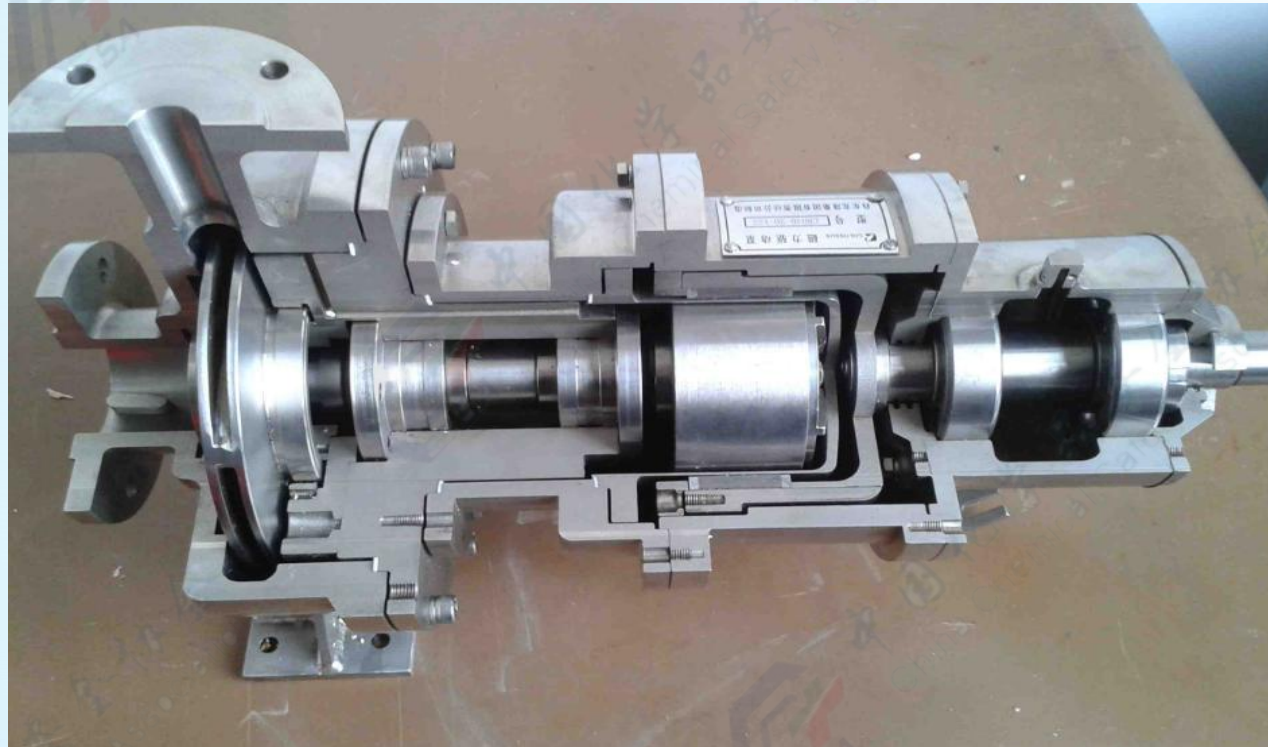
建议在此阶段首先要**明确采办策略及思路**，所需选用的设备水平是什么，与每个厂家要充分技术交流，并要在同一水平线，另要充分结合现场应用环境，如果是可能存在的酸雾区域，即使正常没有泄漏，建议也要考虑泄漏的可能，避免日后出现氯离子腐蚀的情况。



3.11 可靠性管理的六个阶段

选型阶段

再比如，设计院根据工艺设计需求给出的机泵选型为屏蔽泵，出于对工艺物料可能含微量杂质的因素考量，按传统设计增设了入口过滤，实际运行发现机泵在运行一定周期后出现抽空而机泵因震动而故障，打开发现滤网被堵的情况。





3.11 可靠性管理的六个阶段

制造阶段

设备的制造，首先要满足制造标准，但对于用户应用来说这并不能完全解决可靠性的问题，每个厂家的制造质量验收标准是有所不同的。(举例)

另外，如压力容器等设备在使用中发生物料泄露，出现了如人员伤亡、爆炸、环境污染的重大事故，在事后检查发现，也同样存在材料选取错误、深度焊接缺陷、施工验收管理不完整等因素。





3.11 可靠性管理的六个阶段

安装调试阶段

施工期间带来的可靠性风险较低，如电器、仪表类设备对施工环境如暴雨等外部因素较为敏感。现场安装第一时间做好防水处理，这也是对可靠性影响最大的一点。（举例）

另外，如现场管道施工未严格执行设计要求，因为施工偏差引起的管道偏口、转动设备的应力集中、动平衡测试均是影响可靠性的重要体现。





3.11 可靠性管理的六个阶段

控制方案制订及优化阶段

首先针对控制方案要有详细的说明，这决定了接下来组态的内容及方式。（举例）

解决方案为OEM厂家在设计阶段务必提供详细控制方案、I/O list、报警联锁值，与设计院、仪表专业、控制专业、工艺进行对接，确定最终版本，务必做到任何沟通信息要落到纸面上，尽量规避口头传递信息，后续如因特殊情况在根据生产规范流程进行变更优化。

对于新的项目部分建议对其进行SIL评估，在保证可靠性的同时来规避潜在风险。





3.11 可靠性管理的六个阶段

通过设备巡检确保功能可靠性的一些思考：

- ⇒ 对于巡检人员日常工作认真度没有有效的管理方法；
- ⇒ 对于巡检过程中发现的问题不能及时准确的反馈；
- ⇒ 对于巡检人员工作内容没办法实时掌握；
- ⇒ 新巡检人员对于设备的运转状况不了解，不能及时发现设备问题；
- ⇒ 对于参数很多的生产设备人工巡检的过程中容易造成数据错误；
- ⇒ 纸质记录的巡检方式，数据没办法整理，不能对设备状况进行分析；
- ⇒ 没有完善的人员交接班机制，对巡检发现的问题没有交流跟进；
- ⇒ 对于多数量的巡检点在复杂的生产环境中容易遗漏；
- ⇒ 没办法对多个分厂范围区域进行统一管理。





3.11 可靠性管理的六个阶段

Centrifugal Compressor 离心压缩机

Activity No. 项目序号	Activity Description 项目内容
1	Perform audio & visual inspection of compressor for any leaks, unusual noises, obvious changes in vibration, loose parts, loose bolts or studs around the compressor or drive, coupling guard in place and secured. 外观和听声音检查压缩机是否存在泄漏、压缩机或驱动机周围是否有异常噪音、明显的振动、部件松动、螺栓松动，联轴器护罩是否就位固定。
2	Check process gas inlet filter differential pressure, strainer differential pressure, lube oil filter differential pressure, and DGS filter differential pressure. Raise notification for filter change out upon reaching the alarm limit. 检查工艺气体入口过滤器压差、粗滤器压差、润滑油过滤器压差、干气密封过滤器压差。如果压差报警则更换过滤器。
3	Verify dry gas seal system is functional, check site flow meter of primary gas, buffer gas, separate gas and primary vent, check and trend seal primary vent pressures. 检查确认干气密封系统功能，检查主密封气、缓冲气、隔离气和主密封排放气现场流量计，检查主密封排放气压力趋势。
4	Verify local gauges (pressure, temperature, flow rate and etc.) related to the compressor are functional and compare the readings indicated in DCS. 检查确认压缩机的就地仪表（压力、温度、流量等）功能并与DCS中的读数比较。
5	Verify lube oil system is functional, check oil level in reservoir, oil supply pressure, oil supply and return temperature, and oil return sight glasses on site. 检查确认润滑油系统功能，检查油箱中油位、供油压力、供油温度、回油温度，检查现场回油视镜。
6	Monitor compressor running conditions by checking and trending bearings vibration, bearings temperature, axial displacement and relational process parameters. 监测压缩机运行状态，检查轴承振动、轴承温度、轴位移和相关工艺参数的趋势。
7	Perform oil sample analysis including checks for viscosity, water, oil additives, and metals (spectrographic and ferrography). 进行润滑油采样分析，包括粘度、水分、添加剂和金属成分（光谱和铁谱）。
8	Air compressors - Visually inspect intake air filters and clean or replace as necessary. 空压机-外观检查入口过滤器，必要时清理或者更换。
9	Check compressor inlet guide vane mechanism (if equipped) and lubricate linkage parts. 检查压缩机入口导向叶片机构（如果有）并润滑连杆机构。
10	Visually inspect condition of casing support bolting, shims, base plate, and foundation, inspect casing slide keys and shoes, re-grease if necessary.



结语

《制造业可靠性提升实施意见》提出将围绕制造强国、质量强国战略目标，聚焦机械、电子、汽车等重点行业，对标国际同类产品先进水平，补齐基础产品可靠性短板，提升整机装备可靠性水平，壮大可靠性专业队伍，形成一批产品可靠性高、市场竞争力强、品牌影响力大的制造业企业。到2025年，重点行业关键核心产品的可靠性水平明显提升，可靠性标准体系基本建立，企业质量与可靠性管理能力不断增强，可靠性试验验证能力大幅提升，专业队伍持续壮大。到2030年，10类关键核心产品可靠性水平达到国际先进水平，可靠性标准引领作用充分彰显，培育一批可靠性公共服务机构和可靠性专业人才，我国制造业可靠性整体水平迈上新台阶，成为支撑制造业高质量发展的重要引擎。



谢谢!

<http://www.chemicalsafety.org.cn>

