

资产完整性

目录

	页码
1.0 范围.....	3
1.1 危害.....	3
1.2 变更.....	3
2.0 防损措施建议	3
2.1 引言.....	3
2.2 设备和工艺.....	3
2.3 人为因素.....	3
2.3.1 资产完整性.....	3
2.3.2 应急预案	7
2.3.3 异物排除	9
3.0 相关建议的技术支持.....	9
3.1 损失历史.....	9
3.1.1 损失统计	9
3.1.2 损失警示	9
3.2 设备和工艺.....	11
3.2.1 资产完整性影响.....	11
3.3 操作和维护	11
3.3.1 资产完整性.....	11
3.3.2 应急预案	24
4.0 参考文献.....	25
4.1 FM.....	25
4.2 其他.....	25
附录 A 术语表	25
附录 B 文件修订记录.....	27
附录 C 设备应急计划.....	28
C.1 设备应急计划的过程	28
C.2 冗余配置和租用策略	28
C.2.1 冗余配置.....	28
C.2.2 租赁设备	29
附录 D 异物排除 (FME) 程序.....	29
D.1 目的	29
D.2 定义	30
D.3 适用性	30
D.4 责任	30
D.5 异物排除 (FME) 1 级	31
D.6 异物排除 (FME) 2 级	32
D.7 异物排除 (FME) 3 级	33
附录 E 替代服务提供商	40
E.1 替代服务提供商 (ASP) 的服务和部件的审核和检验程序指南.....	40



E.2 现场检验和出厂检验服务40

E.3 现场维护和支持服务40

E.4 返修服务41

E.5 售后部件（逆向工程和重新设计）41

 E.5.1 逆向工程部件42

 E.5.2 重新设计的部件42

 E.5.3 设计流程42

 E.5.4 验证/测试过程42

 E.5.5 制造过程42

E.6 工业控制系统 (ICS) 升级/替换42

E.7 替代服务提供商 (ASP) 服务协议43

示意图清单

图 3.3.1.1-1.资产完整性流程图.....13

图 3.3.1.2.4.完整性操作窗口17

图 3.3.1.2.7.设备使用老化的影响因素20

图 3.3.1.3. 影响执行 RUL 研究的设备状况22

1.0 范围

本数据册旨在为资产完整性计划的制定和实施提供综合性指南，以利于系统和设备的有效防损。

与特定系统和设备的检查、测试和维护 (ITM) 程序任务相关的建议，可在这些系统和设备的数据册中找到。

系统和设备的设计超出了本数据册的范围。然而，在设计阶段做出的决定会极大地影响 ITM（下文也称检测维护或设备检护等）程序的范围、实施和有效性，从而影响设备的可靠性。有关可维护资产的设计信息，可在相关设备的数据册、OEM 指南、行业实践和/或适用的规范和标准中找到。

1.1 危害

具可行性的资产完整性计划对于使工艺流程（包括生产、公用设施和配套系统）维持可靠运行至关重要。这种管理系统采用设计、运行和 ITM 数据来确保设备的可靠性，降低设备故障概率并防止能源逸出。如果资产完整性计划不完善，结果可能是设备故障及由此造成的财产损失和运营中断。

1.2 变更

2024 年 7 月。中期修订。少许编辑修改。

2.0 防损措施建议

2.1 引言

资产完整性计划的目标是确保生产、公用设施和配套系统设备的可靠运行并胜任其预定用途。该计划的核心是检查、测试和维护 (ITM) 程序，用于评估系统和设备的状况，以便在出故障前即发现和处理任何缺陷问题。资产完整性计划的良好运作需要公司内部所有部门的协同努力，包括管理、运营、工程和维修部。

不同的行业在制定资产完整性计划时可能会采取不同的路径。在某些行业内，其行业标准中有详细定义的流程和可预测的损伤机理。其他行业可能因为缺乏行业标准，需要依赖独立评估来确定潜在的损伤机理。无论何种情况下，制定资产完整性计划时采用的信息中应包括对独特危害或危险因素的考量。

2.2 设备和工艺

2.2.1 基于工艺流程，识别生产、公用设施以及配套系统和设备所面临的危害/风险。确保了解这些危害，而且公司员工可以获得有关它们的信息。

2.2.2 尽可能通过设计和运行参数来评估和控制这些固有危险。如果工艺、系统或设备需要维修、变更、翻新或替换，或者使用或操作规程发生了变化，则应重新评估存在的危害及采用的评估/控制方法。这包括验证资产完整性计划的范围及其实施情况。

2.2.3 设备的设计和安装应便于其使用年限内接受检查、测试和维护 (ITM) 活动（即设计中考虑到可维护性）。在对工艺、系统或设备进行维修、变更、翻新或替换之时，同时也要考虑到满足有效执行检测维护工作的需要。

2.2.3.1 如有必要应采取一种方法来衡量基于过程间隔的追踪（如产量、运行时数、启动次数），以确定何时应执行检测维护项目。只要可能，在设备的使用年限内应保存此运行数据。

2.3 人为因素

2.3.1 资产完整性

有效的资产完整性计划应能证实机械、电气、承压和生产设备及其相关系统在设计、安装、操作、维护和保护方面合乎要求。资产完整性计划的目的是要尽早发现缺陷并在设备整个使用年限的最佳时间纠正问题（更多相关信息参见 3.3.1.1 节和图 3.3.1-1）。

2.3.1.1 资产完整性计划

2.3.1.1.1 确保参与资产完整性计划各个方面的人员都接受必要的培训，并具备因所执行任务的复杂性而必须掌握的专业知识和技能。这包括工程师、操作员、设计师、承包商和供应商。

2.3.1.1.2 制定并实施书面资产完整性计划，以确保生产、公用设施以及配套系统与设备的完整性和可靠性。该计划成功的关键包括：

- A. 高度重视资产完整性的文化
- B. 来自组织内部各层级的支持和承诺，包括有分工明确和问责制的管理层
- C. 书面政策明确地给出该计划的目标，包括风险承受能力和所要求的可靠性水平

2.3.1.2 检查、测试和维护 (ITM) 程序

2.3.1.2.1 制定、搜集、保存制定和实施适当的 ITM 活动与战略所需的现有全部信息，以使设备在其整个使用年限中保持完整性与可靠性。

A. 制定对资产完整性计划所涵盖的系统、设备和部件进行识别、描述和追踪的方法。系统、设备和部件的相关生产流程图 (PFD)、管道和仪表图 (P&ID) 以及公用设施和配套系统单线图等都应包括在内。

- 1. 为设备和部件分配唯一性识别符。
- 2. 应搜集来自设备设计和调试的任何相关信息，以及订购零件或执行维修/改造所需的信息。
- 3. 在系统中添加、移除或更换设备或部件时应更新相关信息。

B. 依据故障的后果来确定系统和设备的优先顺序。这应基于对全厂的系统性风险评估，包括生产、公用设施和配套系统。

C. 确定与工艺和设备相关的固有危险以及导致损伤的机理和故障模式，借以在设备整个使用年限内评估核实设备的完整性能否胜任其预定用途。

D. 确定预期运行参数/模式，包括所有运行模式的爬坡速度和完整性操作窗口。

E. 考虑相关监管团体提供的指南、规范、标准、运行数据、工厂人员的见解、行业实践、设备特定数据册和原始设备制造商 (OEM) 指南。

2.3.1.2.2 使用 2.3.1.2.1 节中的信息制定、实施 ITM 程序。

A. 使用一致的方法确定哪些活动是必要的，以制定并实施适当的检查、测试和维护 (ITM) 活动和策略。这应包括基线检护活动以及不定期触发的设备检护间隔或条件。可实施多项 ITM 策略来确保设备的完整性和可靠性。

- 1. 在采用应变式 ITM 策略（故障法）的情况下，应完成以下事项：
 - a. 建立识别设备故障的方法，以利进行设备的维修/更换。
 - b. 设备出现故障后，确保在可接受的时限内有人员执行维修或更换相关的设备。
 - c. 确保在解决故障及处理后续故障所需时限内不缺乏必要用品（维修/更换所需的工具、设备、零件和消耗品）。
- 2. 如采用预防式 ITM 策略，应完成以下事项：
 - a. 提前作出检测维护计划，设定某种条件来触发对设备的检护。触发因素可以是基于时间或基于工艺的间隔（例如产量、运转时数、启动次数）。
 - b. 触发后即展开设备检护，与设备状况无关。
 - c. 确保用于触发检测维护活动的间隔是可靠的。可利用多个基于过程的间隔来触发相同的检测维护项目。在这种情况下，应确保在检测维护项目完成后重置所有间隔。

- d. 对设备执行基线检测维护，作为趋势分析起点或用于比较。这包括对新造/修好/购置的设备的基线检查和设备传感器的基线测试。
 - e. 为了解设备是否已触发过程间隔而确立一种方法，以便于及时展开检测维护。
 - f. 确保在触发过程间隔后检护人员能在可接受时限内执行检测维护活动。
 - g. 确保在执行检护工作所需的时限内不缺乏必需用品（维修/更换所需的工具、设备、零件和消耗品）。
3. 如采用预测式和/或基于状况监测的 ITM 策略，应确保以下事项：
- a. 将触发检测维护活动的受监测状况与设备检护中要解决的损伤机理相关联。
 - b. 对设备执行基线检测维护，作为趋势分析起点或用于比较。这包括状况监测的基线信号和设备传感器的基线测试。
 - c. 确保评估受监测变量的人员有适当的培训和专业知识。
 - d. 确保监测中将产生误报的可能性降到最低。
 - e. 确定各受监测变量的可接受的安全操作限值（绝对值上限和下限以及变化率），并给出触发检测维护活动的接受标准。
 - f. 以适当的间隔对状况进行监测、采样和趋势分析，以充分识别接受标准之外的状况并提供足够预警以便在故障之前采取措施（早期发现）。
- B. 详细描述在 ITM 程序下执行的每项检测维护活动。如能获得详细的 OEM 建议、行业实践和/或适用的规范和标准，它们可能足以提供预防式或基于状况的 ITM 指南。
- C. 给出要求评估结果的检测维护活动的验收标准。
- 2.3.1.2.3 按 ITM 程序要求来执行和记录检测维护工作。
- A. 通过流程追踪掌握检测维护活动在触发后的完成情况。
- B. 对 ITM 工作结果立即进行审查和评估，以确保采取任何必要的纠正措施。
- 1. 如 ITM 工作结果偏离验收标准，则按缺陷管理流程办（有关缺陷管理的更多信息，参见 2.3.1.4 节）。确保将所述偏差传达给运营部门。如果相关设备在运行时出现偏差，则需要量化偏差的严重性以确定是否有必要关闭设备。
- C. 按下述要求监控设备状况和性能并做出相关趋势分析：
- 1. 监测运行数据以确保设备处于其运行参数范围内，并了解何时超出了运行参数。如果设备超出运行参数，应确定是否需要调整 ITM 程序，并评估对设备剩余使用年限的影响。
 - 2. 监测流程、系统、设备的状况和性能情况和趋势，及检测维护程序活动。如果结果和趋势偏离验收标准或表明设备恶化速度加快，则评估是否需采取进一步行动和/或需要对检测维护程序进行调整。当检测维护程序识别出一个或多个超出可接受范围的情况，而且在重启之前不会进行维修、更改或置换，应展开适用性 (FFS) 评估。更多相关指南请参阅 2.3.1.4.1(A) 和 3.3.1.3(A)。
- D. 如需要推迟检测维护活动，则应在选择推迟的项目之前确定在检测维护程序指定的时限内未完成设备检护的后果。
- E. 追踪延迟的工作直到完成。
- F. 评估程序结果和趋势，以确定其对项目范围/策略的影响。

根据 ITM 趋势、适用性评估、剩余使用年限和/或根本原因分析结果，采用基于状况的方法，评估 ITM 程序的范围、频率/间隔和策略，以有效识别损伤机理。

考虑运行参数/模式和完整性操作窗口的变化对损伤机理和 ITM 程序范围的影响。这包括由于异常/跳闸/强制停机/严重故障和/或设备损坏导致的设备变化对损伤机理和 ITM 程序范围的影响。

考虑影响使用老化的各种因素的累积影响对 ITM 程序范围的影响。

2.3.1.3 设备使用老化和剩余使用年限

为在整个使用年限内保持完好性和可靠性，需要有效管理设备的使用老化问题。评估设备在使用年限内由工艺和设备本身损伤机理造成的设备老化。使用基于状况的方法来确定使用老化对设备剩余使用年限的影响。评估以下因素对设备使用老化和剩余使用年限的累积影响：图 3.3.1.2.7 显示了影响设备使用老化的各因素的交互作用。

- 物理、运行和环境的使用条件
- 运行历史（包括状态和性能监测分析）
- 检测维护程序评估结果和趋势分析（包括适用性）
- 实足年龄和使用年限

剩余使用年限 (RUL) 研究是基于对这些影响因素的状况评估来进行的（包括适用性评估），以确定设备的剩余使用年限。考虑维修、改造、翻新和更换等选项，确保设备的完好运行，减少使用期间过早发生故障的几率。更换关键老化部件可延长使用年限。图 3.3.1.3 显示了设备状况或条件的相互作用，包括使用老化的影响因素、运行历史、ITM 结果和趋势分析以及适用性评估结果，这些因素影响何时展开 RUL 研究。

应考虑到置换设备的交付周期，尤其是在安装置换设备之前将继续使用原设备的情况下。考虑制定设备应急计划（预案），提前准备对过早发生运行故障的响应，处理好 RUL 时限和更换时限之间的任何时差问题。

更多有关剩余使用年限的指南，请参见 2.3.1.4.1(D) 和 3.3.1.3(C)；更多有关设备使用老化的指南请参见 3.3.1.2.5、6 和 7。有关特定设备的应急计划指南，请参见 2.3.2、3.3.2 和相关的数据库。

2.3.1.4 缺陷管理

2.3.1.4.1 制定并实施缺陷管理流程，作为资产完整性计划的一部分，以确保所有已确定的设备状况缺陷均得到评估并跟踪直至解决。典型的缺陷管理流程包括以下要素：

A. 合于使用或适用性 (FFS) 评估

当检测维护程序识别出一个或多个超出可接受范围的情况并且在重启动之前不进行维修、更改或置换时，应执行 FFS 评估。如能及时采取纠正措施，包括进行修理、更改或置换以使设备恢复到其预定用途下可接受的状态，则可能不需要完成 FFS 评估。

B. 维修/更改/调整负载/置换

1. 在对设备执行任何纠正措施时，尽可能使用设备特定的数据册、OEM 指南、行业惯例和/或公认的工程规范和惯例。
2. 如纠正措施涉及改动设备，或更换设备时采用了非“同质更换”的方式，应走变更管理 (MOC) 流程。
3. 执行 QA/QC 检查以确保按要求来完成相关工作。这包括进行检查和测试，以确保维修工作符合可接受的标准并在工作完成后满足预定运行要求。
4. 在检测维护结果的基础上精心准备对设备的变更或置换工作。
5. 建立并记录新的监测用基线。

C. 运行参数的再评估

根据揭示出的恶化、设备状况和未来使用要求，确定是否需要调整系统的运行参数。

D. 剩余使用年限 (RUL)

如果恶化情况超过预设的可接受范围，但仍被认为合于使用，则应进行 RUL 研究。当设备是否适于在预定时限内运行存在疑问时，也可以进行这项研究。这包括使用老化问题对预定用途下的剩余使用年限的累积影响。RUL 研究主要适用于固定和旋转机械设备。但是，有些寿命预测分析可能适用于其他类型的设备。

1. 确保数据的准确性和相关性。尽可能使用实际测得数据。当使用提供的或平均的数据代替测得数据时，计算出的恶化率可能不代表实际情况。同样，取决于恶化方式，比较来自设备同一位置的趋势数据对于确保数据准确性至关重要。
2. 就所发现的恶化计算出复检的间隔。该间隔应基于 RUL 计算、预定操作规程/条件以及设备特定数据册、OEM 指南、行业实践和/或公认的工程规范和实践的指导。

2.3.1.5 根源分析 (RCA)

2.3.1.5.1 如有必要应进行根源分析并据其结论确定纠正措施。应拿出旨在防止再发或防范类似事件的具体建议和纠正措施。对基于 RCA 结果的纠正措施，应制定成功与否的衡量指标以证明所需效果。这些措施可以是物理或程序的更改，并且应使用变更管理 (MOC) 流程来确保安全及追踪至完成。

通常需要进行深入根源分析的情况，包括设备过早故障、设备故障超出基于危害分析的预期或预测、出现过度或未能预测的恶化，和/或当设备意外地超出运行参数运行的情况。如果资产完整性计划预测的状况在预测的时间范围内以预测的方式发生，则可能不需要 RCA。执行 RCA 的严格程度可因检测维护程序结果的情况而异。有效的根源分析有利于资产完整性计划的持续改进和演变。

2.3.1.6 文件记录要求和趋势分析

2.3.1.6.1 记录每次检测维护活动和任何后续的缺陷管理工作及根源分析任务。

2.3.1.6.2 对检测维护的结果进行趋势分析，识别设备状况的任何重大变化，以便能在发生运行故障之前预测/识别潜在故障。

2.3.1.6.3 使用从检测维护程序和缺陷管理流程中收集的所有数据，重新评估危害识别和评估过程（2.2.1 和 2.2.2 节）。这可能会影响检测维护的范围和频率。

A. 根据 RCA 信息、运行参数以及何时发生的维修/更改/调整负载/置换等，对 ITM 频次/间隔、策略和方法作出更新。

B. 将相关信息纳入资产完整性计划，为新的设计提供要考虑的实际情况。

2.3.1.7 审核

2.3.1.7.1 执行对计划的审核并给出审核报告。由经验丰富的人员做出审核和报告，最好是来自维保组之外的人员。包括对必要记录的全面审核，以实现审核的特定目标。

A. 确保审核频率和深度与以前审核的结果和资产完整性计划的整体表现相称。

B. 如在资产完整性计划制定时未纳入考虑的规程下运行，则应对生产、公用设施和配套系统设备所面临的危害进行审核。

2.3.1.7.2 如审核过程中发现问题，应确保在审核报告中给出纠正措施并追踪至完成。

2.3.2 应急预案

2.3.2.1 设备应急预案

2.3.2.1.1 制定和维护一份设备应急计划或预案 (ECP)，作为业务连续性计划 (BCP) 的组成部分，以降低关键场所工艺面临的设备故障风险，包括生产、公用设施和配套系统。

作为 ECP 流程的组成部分，对现场工艺与系统进行系统性评估，以确定保持业务连续性的关键设备（如关键资产清单）。

评估此设备的设备故障情形和业务中断风险。考虑工艺瓶颈、单一故障点、独一无二且交货期长的设备，评估设备的完整性、可靠性与剩余使用寿命、设备使用的适用性、运行历史/趋势以及使用老化。评估降低设备特定故障风险所需的 ECP 的类型与范围。设备应急预案中涉及的所有设备都应有 3.3.1.2.1 节中要求的设备信息。

ECP 包括恢复方案/缓解或减损措施，以解决从设备故障中恢复运营的需求，可包括维修/更换/租赁所需备货周期的选项、二手和/或冗余设备、备用设备和备件以缩短停工时间。

ECP 中应纳入评估设备特有的运输和卸除/拆解、安装/搬运和所需技工要求。见 3.3.2 节。

如果要求供应商执行与 ECP 实施相关的任务，应确保以下事项：

- A. 他们通过了任何潜在 OEM 指南和/或适用的规范和标准（例如 RAGAGEP）的资格预审。这包括任何公司标准和/或指南。
- B. 确保他们可提供相关设备特定的专业技工/工具要求。

确定在 ECP 实施中相关设备/工艺涉及的标准操作程序是否有任何特定的调试/启动前安全审查要求。

2.3.2.1.2 要使 ECP 具可行性（即能最大程度地缩短设备故障停机时间并降低风险，其必须满足以下条件：

- A. 在 ECP 中应记录为最大程度地缩短设备故障停机时间而作出的响应和恢复计划。
- B. ECP 中已考虑保持业务连续性的关键设备的设备情况、故障情形、风险和意外中断事故的工艺影响。
- C. 已针对关键设备制定了 ECP 减损方案/策略，并考虑了维修/更换前置时间选项、二手和/或冗余设备、备用设备和备件（如需要）。
- D. 准备好设备的设计/规范/安装信息以及与 OEM 和/或供应商签署的合同/服务协议，根据需要纳入 ECP 当中。
- E. ECP 包括经过验证的关键设备运输与拆除程序以及安装/处理要求。

2.3.2.1.3 每年对 ECP 进行一次审核、测试与验证，以管理变更事宜，保持可行性，并确认有效性。现场发生重大变更时，也应对 ECP 进行审核、测试与验证，包括以下变更：

- A. 备件投入使用或正在进行维修，以及备件不再提供/可用。
- B. 可行情况下，不再存储或保留备件。
- C. 工艺、收入流和设备状况发生变更。

2.3.2.2 备件的储备

2.3.2.2.1 备件策略是可用于从设备故障中恢复的防范选项/策略之一。根据制造商说明书要求储备备件（整机和/或零件），以减少设备的故障停机时间及防范物质损坏和/或污染。资产完整性计划中应有按制造商要求对备件进行检测维护的规定，以确保可行性及预定用途下的适用性。

与使用中的设备相比较，审核备件的设计/额定参数/物理特性以核实兼容性。这是为确保必要时备件能投入使用，使设备从故障中恢复正常运行。这包括确定是否需要对接件进行维修或改动以恢复状况。

“常规备件”是消耗品，因此不认为其减少设备故障时的停机时间。对常规备件的预期是它能在设备使用年限内投入正常运行条件下使用。这包括原始设备制造商推荐的备件。“设备故障备件”旨在用于关键设备意外停机的情况，以缩短停机时间并使设备恢复运行。在本数据册中，“备件”是指设备故障备件。请参阅与特定设备/场所相关的数据册，以获取有关配置设备故障备件的指南。

对于备用设备，应按 3.3.1.2.1 节要求维护设备信息。

核实备用设备的位置、状况和性能，设备可位于场内或场外。核实备件是否为自有/专用于预定用途。

2.3.2.2.2 要使备件具可行性（即能最大程度地缩短设备故障停机时间并降低风险，其必须满足以下条件：

- A. 备件的设计/额定参数/物理特性与使用中设备及工艺兼容。
- B. 核实备件的位置、条件和兼容性，是否利于作出响应及从设备故障中恢复，以期最大限度地缩短停机时间。
- C. 妥善存放备件，并作为资产完整性计划的一部分进行检查、测试和维护，以保持相应性能。

D. 备件经核实适用于预定用途。

E. 在在用设备发生故障停机时备件可随时投入使用。

F. 备件（场内和场外）的运输、卸除/拆解和安装/搬运要求等应有书面方案。这包括对将备件安装到相应位置所需的任何较大改动作出预案（例如基座、支撑、框架尺寸、与系统/制程的连接等）。安装备件所需的硬件（例如垫片套件、耦合器、电缆）都已备齐。

设备故障备件的资产完整性计划的范围和实施方式与在用设备的资产完整性计划相同，以确保备件的可用性。

附录 C 提供了为冗余（即 **N+1 设备**）和租用设备制定 ECP 缓解策略的最佳实践指南。

更多有关设备应急预案和备件的指南，请参阅设备/场所特定数据册。

2.3.3 异物排除

2.3.3.1 确定应符合异物排除 (FME) 程序规定的设备。此后还要确定必要的 FME 程序合规级别（1、2 或 3 级）。由于高速旋转元件的公差低，涡轮机、发电机、电动机和压缩机最易遭受异物损坏 (FOD)。但在每次打开设备（如变压器、压力容器、管道系统、锅炉、开关设备等）进行检查、测试、维护和/或维修时，都应考虑异物排除。

2.3.3.1.1 制定一份设备和系统及其合规级别的列表。

2.3.3.2 在对已知需符合 FME 程序要求的设备或系统进行维护时，应严格遵守程序步骤。

2.3.3.3 定期审核 FME 程序结构，保证程序的有效性已识别设备和系统的所有关键部件，且仍在对设备执行相关合规程序。

附录 D 为不同级别的 FME 管控提供了最佳实践指南。涉及对旋转设备（尤其是燃气轮机和发电机）进行大拆卸的项目，应采用 3 级异物排除指南，因为将异物引入这些系统很可能极具破坏性且代价高昂。但对于不涉及大拆卸的项目（例如，仅允许远程检查的设备），则可应用较低级别的 FME。在为相关工作选择所需保护级别时，应考虑与潜在 FME 事件相关的总体风险。

3.0 相关建议的技术支持

3.1 损失历史

3.1.1 损失统计

产业内与维护相关的损失事件不胜枚举。FM 损失记录表明，未得到有效制定、实施与管理的检查、测试与维护程序，会对设备防损造成不利影响。最近 10 年的损失数据表明，不完备的资产完整性计划（如缺乏检查、测试与维护、设计不当或缺陷管理不到位）是造成多数设备损失的重要因素。

3.1.2 损失警示

3.1.2.1 缺乏检查、测试和维护导致半自磨机的齿圈故障

一个所有权共享的矿企生产铜精矿和钼以及少量的银和金。该矿是一个露天开采和选矿综合体。产量约为每天 17,637 吨（16,000 公吨）。该场所有一台 11,000 马力（8,200 千瓦）半自动（SAG）磨机，由两台 5500 马力（4,100 千瓦）小齿轮电机提供动力。SAG 磨机为两个平行球磨机供料。矿石首先通过初级破碎机送入矿堆，然后通过输送机运送到半自磨机的进料口。

在轮班开始后的电路检查期间，工头听到一阵隆隆的异响。这时可看到灰尘从大齿轮盖和磨橡上掉下。人们发现有一个齿圈发生了断齿，磨机被关闭。关闭程序启动，半自磨机上的所有材料都被清除了。在润滑系统的各个收集点发现了几片断齿，最长的有 12 英寸（305 毫米）。由于齿的断裂，北小齿轮和电机部件移动了 1/4 英寸。最后发现南北小齿轮都有损坏。

全部磨矿作业因此停止了两个月。两个月后磨机可重新启动的唯一原因是齿轮能够反向运行，直到完成更换。新更换的齿圈在加急后用了 4 个月时间交付，随后又花费 4 周的工厂停机时间进行现场安装和调试。

在故障分析期间进行详细测试时，发现齿轮上的 394 个齿中有 24 个严重损坏。损坏可能是由于齿距线的向内移动。在故障发生前 10 年内尽管不得不多次更换配对齿轮并在无润滑情况下运行，但齿圈在这 10 年内都未进行过检查。

这次损失中齿圈没有被检查或测试，这导致损坏累积到轮齿失效的程度，不得不更换齿轮。尽管发生多次小齿轮无润滑和磨损情况，但检测维护程序并未作出调整以检查是否造成了附带损害。由于没有执行可发现这种潜在恶化情况的检测维护项目，该矿企未能采取措施阻止损伤的持续或筹划必要的更换。

3.1.2.2 没有对内部故障的变压器进行缺陷管理导致变压器失效和产能下降

一家轮胎制造厂日产 11,000 件客运车和农用车的轮胎，除出口外，其在东道国的市场份额为 100%。该厂通过专用空中输电线从 4.3 英里（7 公里）外的变电站接收来自公用设施公司的电力。工厂的变电站内有一个油断路器，用于保护两台 7.5 MVA 充油变压器，将功率从 20 kV 降至 2.4 kV。使用 2.4 kV 电压在该地区是独一无二的，用于为班伯里混合器、分解磨机和其他生产设备的电机提供动力。全产能运转需要两台变压器。

作为预防式维护，对变压器油样进行了测试。油中溶解气分析结果显示两台变压器都有潜在故障迹象。有人建议更换这两台设备并制定从变压器故障中恢复的业务连续性计划。工厂管理层就更换提出了商业论证，且每年都对油进行修复以期延长变压器的使用年限。

有一天晚上该工厂失电了，据称是由于公用电网停电。相关员工确认两台变压器的 20 kV 油断路器和下游 2.4 kV 断路器已断开。两台设备中较旧的一个差动继电器跳闸了。

经对变压器进行绝缘电阻和匝数比测试，确定较旧的一台在高压侧有故障匝数迹象，证实变压器存在内部故障。尽管发现变压器性能下降并且油中溶解气体分析结果表明两台变压器都有内部故障迹象，但第二天即在二级断路器打开的情况下使这些装置通电。当上游的油断路器合闸时，较旧的变压器发出一声巨响，断路器再次打开。

通过检修口对变压器进行的内部检查确认高压绕组已损坏。电网停电造成的瞬态过电压使已经老化的变压器发生故障。

第二天该厂以减产约 40% 方式重新开工，其中一台变压器在运行，同时对损坏的设备进行维修/更换。通过其他减损措施将产能提高到约 70%。故障变压器在大约 6 周内被修复。

3.1.2.3 缺陷管理流程的缺失导致冷却塔倒塌

燃煤发电厂使用大型蒸汽涡轮发电机发电。生产所需的冷却水由横流式双曲线冷却塔提供。该冷却塔已有 37 年的历史，使用了红木制成的水槽。

从调试到损失事故前三年，冷却塔设备的检护程序规定了两年的检查间隔。在损失发生前三年，检查间隔增加了三年，以配合重大停电。在事故前四个月完成了预定的检查。

检查结果揭示冷却塔结构存在几个关键问题。其结构与总管分离，有弓形柱，柱上有失效部分。相关人员建议应在恢复使用之前完成结构升级。

只进行了部分维修，导致局部性倒塌，有大约 25% 的冷却塔水槽倒在地上。损失的原因是水槽结构部件（红木）的水蚀。结构部件横截面的这种减少，造成结构性损伤，从而导致部分倒塌（7.5 周停机时间）。

检护间隔的增加使得水槽结构件受到更大的水蚀作用。在发现恶化状况后，应对检查结果采取缺陷管理以确定结构构件横截面是否仍然合于使用，然后确定恶化的影响。这种努力可能会使人们及时采取行动，纠正冷却塔检修中的缺陷并防止损失。

3.1.2.4 缺乏设备应急计划，导致业务中断问题加重

一家标称产能为 900,000 吨/年（816,500 吨/年）纸浆的大型单线牛皮纸浆厂通过现场发电可满足其所有电力需求。多余的能源被卖给电网。现场产生的电力通过一台独特的电压比变压器被增强。该变压器已使用 4 年，具有专用保护功能以及油中溶解气体在线监测功能。设备检护中未出现任何异常迹象，其中包括：

- 每三年进行一次功率因数测试

- 绝缘电阻测量
- 每两年进行欧姆电阻测试和匝数比测试
- 每年一次绝缘油测试
- 定期目视检查和清洁

在一次日常运行中发电机跳闸，发现升压变压器的泄压阀有漏油。油中溶解气体在线检测显示了重要的读数。变压器与电网断开，工厂不得不购电以恢复运营。变压器发生了内部短路并出现数次匝间故障。此外，绝缘油中的硫含量被确定为造成损失的原因。

发电机升压变压器发生电气故障后不得不外购电力。此外，在没有涡轮机冷凝过程的情况下，工厂被迫排放蒸汽，这增加了对锅炉给水处理站的需求。这次损失也影响了生产。工厂未能实现其生产计划。不得不购电约占其营业中断损失的一半。

3.2 设备和工艺

3.2.1 资产完整性影响

资产完整性计划及其检测维护程序的范围受到制程中多方面影响。制定 ITM 程序所需基础知识来自有关设计、操作和危害的信息。检测维护程序的结果会影响新设备和现有设备的设计、建造和操作（包括完整性操作窗口、安全操作限值以及维修和/或更改）。

3.3 操作和维护

3.3.1 资产完整性

资产完整性计划是为确保机械、电气、承压和生产设备及其相关系统的完好性和可靠性的关键要素。设备的完好性和可靠性考虑了设备在整个预定生命周期内的预定用途。促进完好性和可靠性可提高效率并减少设备故障。

设备故障是安全失效导致火灾、爆炸或其他危害的主要原因。预防设备故障和阻止能源的逸出，取决于设备的设计、安装、操作、维护和保护方式。资产完整性计划可通过检测、监测和分析预测相关的损伤机理，来对原始设备的设计加以验证。这些计划可灵活地管理定义 ITM 程序的流程、运行条件和参数变化。

3.3.1.1 资产完整性计划

资产完整性计划影响设备的整个生命周期。在初始设计和启动后，资产完整性计划将执行设备检护程序，该程序侧重于确保设备在运行和搁置期间的可靠性。检测维护程序考虑了运行过程中可能出现的与工艺和设备相关的潜在损伤机理和故障模式。这应是一个不断更新的过程，需要适应设备在整个使用寿命期间发生的使用老化问题及工艺变更。

从现有设备的运行历史中吸取的经验教训应纳入到会经历类似条件的类似新设备的设计和资产完整性计划中。

资产完整性计划需要有效地管理关键要素，这些要素在可行的计划之制定和实施过程中作为流程步骤相互作用。

可行的计划的基础是责任和问责要素，这是起始流程步骤，提供整个组织内所需的支持和承诺，以有效实施该计划。参见 2.3.1.1 节。其他过程步骤元素包括以下内容：

识别和评估

工艺过程知识、操作参数、危险识别和评估过程步骤，用于支持根据设备使用寿命内的工艺危害来识别和了解设备所面临的环境和设计目的。这包括基于运行参数的完整性操作窗口。参见 2.2。

防范/减损

充分的设计和调试，作为一个工艺步骤可以减轻工艺设备面临的固有危险。见 2.2.2 节。

探测

检查、测试和维护程序、基于流程和设备相关损伤机理和故障模式的状况和性能监控，以及结果记录和趋势分析的流程步骤直接影响资产完整性计划的可行性。这是资产完整性计划的核心。参见 2.3.1.2 节

管理

有效的缺陷管理流程步骤，包括适用性和剩余使用年限评估，对于资产完整性计划的内容及其实施是否能够有效地管理设备的损伤机理和设备的完整性、可靠性起到验证作用。参见 2.3.1.4 节

提升

根本原因分析流程步骤以及因设备故障而采取的纠正措施，有助于程序的持续改进和发展。参见 2.3.1.5 节

资产完整性计划的流程步骤详见图 3.3.1.1-1。

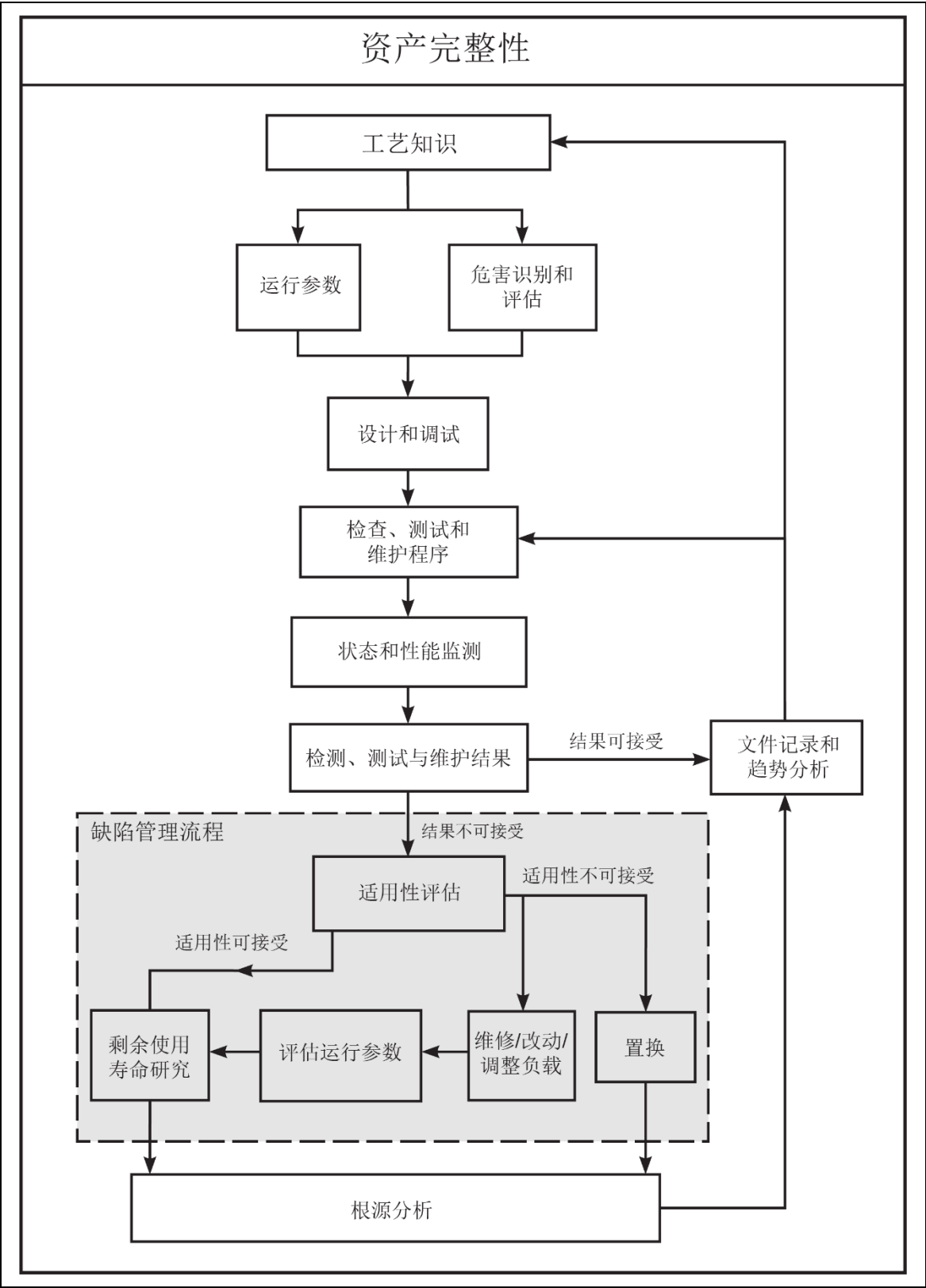


图 3.3.1.1-1. 资产完整性流程图

3.3.1.2 检查、测试、维护 (ITM)

检测维护程序是资产完整性计划的核心。该计划是为确保设备的持续可靠运转而制定并实施必要的检查、测试和维护活动。根据设备设计、使用老化、预期损伤机理和故障模式以及使用可用性的不同，检测维护工作的范围、技术、间隔和位置将有所变化。

应该注意的是，执行检测维护的间隔通常基于必要的可用性（风险承受力）和 ITM 成本之间的权衡，以便使检测维护程序更具成本效益和可实施性。

各检测维护项目通常应有详细描述，包括以下内容：

- A. 关于何时、何处、如何以及为何执行检测维护项目的指示。这包括工作单上的简单说明，乃至某些工作的全部步骤，具体取决于该项工作的性质。
- B. 执行设备检护的必要的报告。报告的详细程度应与该检测维护项目的性质和所给出的工作指示相称。有关文件记录的指南请参阅 2.3.6 节。
- C. 用于比较检测维护结果的验收标准。

3.3.1.2.1 主设备清单

在决定 ITM 策略和活动之前，应对系统、设备和部件采用一种识别、描述和追踪的方法，以确保资产完整性计划范围内的所有资产都得到考虑。一种方法是制定设备和仪器主清单。

该清单应包括资产完整性计划涵盖的所有资产，通常附有相关的生产/工艺流程图以及管道和仪表图，包括公用设施和配套系统单线图。保护系统也应包括在清单上。在创建设备主清单期间，应对图纸、示图和 P&ID 就地核实，确保信息的准确性、一致性并确保相关控制和保护装置到位（如阀门、仪表、排水孔盖等）。设备和仪表主清单上应提供适当细节，将设备分为主要部件和子部件。确保包括冗余、备用和/或租用设备。

设备和仪表主清单中通常包含的信息包括：

- 设计规格
- 铭牌数据（制造商、型号、序列号、安装日期、材料、尺寸规格、当地供应商/服务商等）
- 设备名称及编号
- 位置（厂房编号、楼层等）
- 负责和/或了解设备的个人姓名
- 技术手册、所有者信息、其他文件和图纸的位置
- 设备故障和日常备件可用性的记录，以及零件和设备供应商名称和联系信息列表、相关维修人员和租用的可能性（如果适用）

3.3.1.2.2 检测维护程序可采用某种公认策略或组合策略来执行检测维护活动。所采用的策略取决于设备、工艺关键性、已识别危害、损伤机理、故障模式和运行历史。此外应认识到，每项资产的运行或状况的变化可能会改变相关的损伤机理和故障模式。因此对任何单一资产，在其生命周期的任何阶段可合并采用一组维保和减损措施。企业必须确保在必要时更新每项资产的当前维保策略，以反映资产的当前状况。

下面介绍了所使用的三种主要策略。

A. 应变式

应变式方法（也名为故障、纠正和运行到失灵）是指部件出现运行故障后执行检测维护或进行维修/更换。应变法是 ITM 最古老和最基本的形式。要采取的行动局限于特定的故障事件，目的是将资产恢复到可接受的性能水平。通常，这种被动方法只用于那些对整个流程的完好性和可靠性无直接影响的资产，不应对任何保护系统采用此方法。采用应变法的部件可包括：在流程中有内置冗余的资产、可轻松地在流程运行中更换备件的资产，或是那些发生故障几乎不会造成任何后果的零件（即对流程不是必需的，无显著的附带损害风险）。在工作日志上这种类型的活动可显示为“计划外”或“应急”活动。如作为策略采用，此类工作应能由相关人员及时处理。纠正此类情况的时间通常与部件或设备在流程中执行的功能有关。

应变式方法的特点：

- 由于只需要极少的分析和规划，因此应变策略的实施成本可能低于其他更复杂的策略（前期成本，从长远来看可能不）。
- 由于不用停下来进行检测维护，设备的初始停机时间较短。
- 通常有不可预测的失灵，可能导致可用性降低和间接成本增加。
- 设备寿命较短。
- 故障后所揭示出的损伤可能证明：如尽早监测和修复也许不至于那么严重。

B. 预防式

预防方法（也称为基于时间的方法）包括在触发流程间隔（如月数、运行时数、英里数、启动次数、停止次数等）时进行维护活动，以防止意外故障。此概念指在发生故障之前按预定间隔安排检测维护（无论其当前状况如何），对部件进行翻新或更换，防止发生故障。它需要有关恶化情况以及部件使用年限的统计知识。预防式策略旨在防止灾难性故障及避免任何计划外活动。与应变式维护相比，设备停机时间通常会减少。当资产发生恶化的具体原因和部件的操作规程是确定的、一贯的且可预测的，此方法最适合。

在确定预防式维护的间隔时，使用年限和故障概率等应基于统计数据。此数据通常来自 OEM 和行业团体。因此，该数据可能无法准确反映特定场所的任何特定操作规程，运行期间可能发生意外故障，从而导致计划外活动和设备停机。

此外，因要求在预定时间内更换部件，所以在故障发生前很久部件可能就被更换了。这会浪费被更换部件的未使用年限，或由于过度维护而造成损伤（如过于频繁地对轴承使用润滑脂）。

预防式方法的特点：

- 设备应在其整个使用寿命内接受有计划的 例行检测维护。
- 预防式 ITM 可为了解未受监测设备的恶化提供所需的源数据。
- 由于是定期安排检护工作而不论设备状况，因此预防式 ITM 通常成本高昂。
- 安排、执行和追踪检测维护活动需要资源
- 运行良好的设备可能因例行拆卸而受干扰，乃致引起不良状况（例如，运行良好的机器在检测维护时被拆除后重新组装。检护中技术员发生误操作而造成损坏。）
- 与应变式方法相比，使用年限和可靠性增加

C. 预测及基于状况

预测式和/或基于状况的方法使用技术手段来监测设备的状况。对于大多数设备而言，在发生恶化时会以过热、噪声、移位、部件磨损等形式造成性能损耗。因此，监视设备这种能耗方式或揭示其效率下降的方式，可获得设备出现问题的早期迹象。应监测的变量因资产和资产涉及的流程不同而异。监测手段所收集的信息然后用于甄别恶化情况并触发检测维护活动。预测式方法依据监测数据外推，以更好地预测即将发生的故障。这两种方法都决定检测维护应仅在必要时才执行（在故障或无法修复的损坏发生之前）。

这些策略首先需要收集测得数据以确定何时存在超限条件或状况。对测量结果的后续分析将确定该状况是否严重。如果是，则确定恶化的具体类型和状况的严重程度。这使干预措施的计划或执行仅在观察到设备状况下降且机器的剩余使用寿命临近结束时才开始。

状况监测技术的实施涉及多种策略。每个部件或设备都可采用一种或多种状况监测策略及相关技术手段。无论如何，状况监测技术应适用于检测与流程中设备运行参数对应的不同损伤机理。以下为一些不同的策略：

- 持续性策略：持续性策略通常是自动化的，由一处中心站点（即控制室）持续接收监测数据。这些系统通常安装成本较高，因此用于需要几秒钟内发出设备状况通知的情形。
- 周期性策略：周期性策略按设定的间隔（基于时间或过程的间隔）执行。如果不接入监测中心，其安装成本可以更低。如不利用中心站点监测，则必须在现场收集数据，因此周期性策略通常比较耗费人力。这些策略通常用于设备状况表明可能会出问题的情形，如忽略将导致故障的发生。

- 瞬态策略：瞬态策略仅在启动、关闭、报警或其他瞬态运行模式下进行状况监测。该策略也可在调试期间或大修前后使用，以确认任何更换或改动在工作负载下是否可接受。

可以实施的监测技术包括但不限于以下之类：

1. 性能监测：性能监测利用各种形式的状况监测，并将其转化为系统或设备的运行特性。这种监测可用在任何部件上，只要安装了用于评估状况或效率的仪器。
2. 温度监测：温度监测可包括热成像和其他技术。
 - a. 热成像监测：热成像监测可用于检测电气和机械缺陷，例如过度摩擦、过热、连接松动、隔离弱化和冷却阻断。热成像监测通常用于轴承、电机、熔断器、继电器、蒸汽管、驱动齿轮、皮带、联轴器、发电机、变压器、熔断器连接、开关设备、启动器、接触器和通电设备。
 - b. 定点温度监测：定点温度监测通常用于追踪不同运行模式下和瞬态温度曲线。这使得在运行中对特定位置的追踪监测成为可能，而热成像则可能无法办到。
3. 振动监测：振动监测是检测有旋转部件设备（如泵、电机、风扇和涡轮机）的机械缺陷的一种非常有效的技术。它可以发现有缺陷的轴承、不平衡和不对中情形。
4. 润滑分析：润滑分析可识别部件磨损、轴承磨损、添加剂消耗/燃料稀释、冷却液泄漏、污染、污垢进入和内部密封件的恶化等。它用于变速箱、发动机、压缩机、泵和电机。润滑对于机械运行至关重要。应确保对润滑分析和物理特性的精确诊断。
5. 颗粒分析：磨损的机械部件会释放碎屑，无论是往复式机械、齿轮箱还是液压系统。收集和分析这些碎片，会得出哪些部件正在恶化以及恶化率信息。它用于变速箱、发动机、压缩机、泵和电机。
6. 声发射监测：声发射监测可用于检测、定位和连续监测位于结构、管道和压力容器中的裂缝或泄漏。声发射是一种检测工具，而不是一种精密技术。用于旋转机械和承压部件。
7. 超声波监测：超声波监测可识别润滑不足/过度润滑的轴承、壁厚损失和次表面缺陷。超声波技术用于旋转机械和压力保持部件。
8. 在线电气设备监测：溶解气体分析或局部放电被用于评估大型电动机和发电机的状况。可识别在固体绝缘（分层）中产生的空隙。

预测或基于状况的方法的特点：

- 设备的检修仅在必要时进行。
- 相关活动足够提前，以避免造成重大损失。
- 设计缺陷确定之后可进行永久性维修。
- 运行时数增加。
- 需要监测和分析设备以及培训。
- 如果数据分析不当，会使设备检护工作不明智或缺失，导致结果不能令人满意。3.3.1.2.3 可应用的各种 ITM 策略。

3.3.1.2.3 在每件设备上可应用各种 ITM 策略。为可靠地确定用于每台设备的 ITM 策略，通常应进行设备优先级排序和 ITM 策略选择。此过程可能因场所不同而异。在全厂范围使用同一明确定义的过程来确定设备的关键性，有助于确保在比较系统或设备时的一致性。以下节段介绍了一些典型过程示例。

A. 成文的行业标准

已使用较长时间的流程标准化信息可能存在。该信息通常由公认的行业实体制定并维护，供企业/生产厂家使用。

B. 把系统和设备分组

利用由行业确定的系统和设备的组类，来表示每台设备的关键程度。这些分组类别本质上可以是一般的或复杂的。

C. 可靠性为主的维护 (RCM)

RCM 是系统性维护过程，它分析系统的功能。首先，选择一件关键设备，然后定义和分析该部件所属的系统。所做分析将得出该系统什么情况下无法满足其预设要求。确定该系统各种可能的故障方式的根本原因，并对每种方式应用 ITM 策略。主要目标是以具有成本效益的方式保证运营安全。RCM 通常应用于旋转机械设备。

D. 基于风险的检查 (RBI) 和基于风险的维护 (RBM)

RBI 和 RBM 是确定如何、在何处以及何时对企业资产进行检查和维护的方法。RBI 和 RBM 方法被用于确定 ITM 的优先级，其前提是：为最有效地利用检测维护活动和资金，应首先关注那些存在最高风险的流程、系统或设备。

RBI 和 RBM 是需要高级管理层长期承诺实施和支持的综合性程序。在这些程序中，风险的确定是通过为厂内相关流程、系统或设备预设故障场景。然后将这些故障的概率和后果转换为风险矩阵，来直观地描述所包含资产的风险等级。通过这个矩阵来确定哪些资产超过可接受的风险水平，因此需要应用防范手段来降低风险水平。

3.3.1.2.4. 完整性操作窗口 (IOW) 和安全操作限值 (SOL)

IOW 是根据危害识别和评估确定的设备运行参数的允许范围（例如温度上限和下限、最小和最大变温速率等）。定义 IOW 边界的上限和下限也称为 SOL。

在这些限制范围内运行时，设备可满足工艺和设计参数要求，且故障可能性较低。在 SOL 之外（因此在 IOW 之外）运行，将导致加速恶化和过早发生故障。IOW 和 SOL 取决于设备的状况，并且会随时间而变化。操作员需熟悉从操作程序和培训中获得的设备 IOW 和 SOL 信息。图 3.3.1.2.4 提供了描述 IOW 和 SOL 的图示。

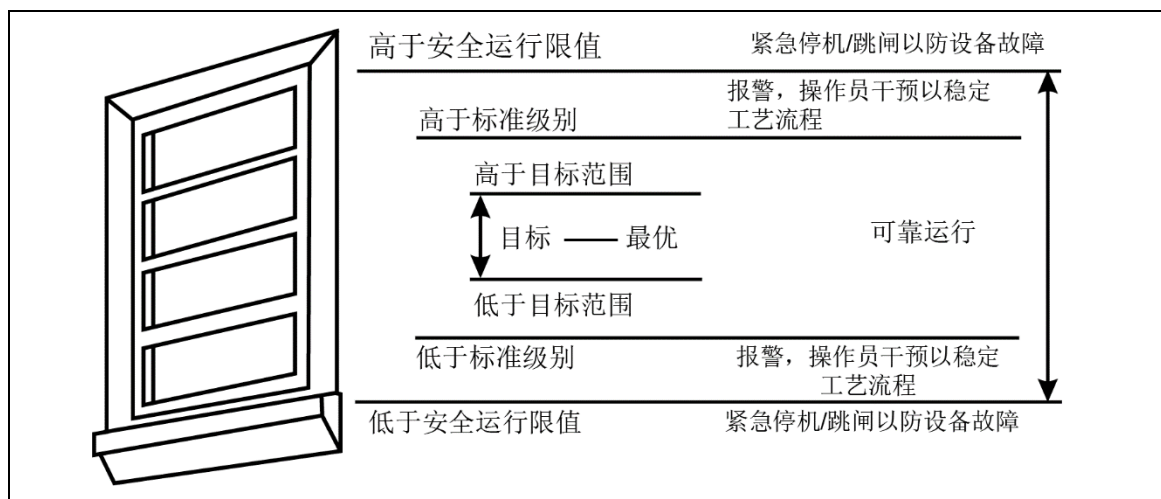


图 3.3.1.2.4. 完整性操作窗口

3.3.1.2.5 设备的使用老化

使用老化不仅仅是指实足年龄。使用老化是设备在其使用年限内的恶化，它受以下因素的累积影响：物理、操作和环境条件、操作历史、检测维护程序评估结果/趋势分析以及相对于使用年限的实足年龄。设备和部件设计中要考虑流程/环境相关的恶化/损伤机理，具有基于普遍标准的特定安全系数/安全因子。这允许设备在有相关工艺危害（温度、压力、腐蚀速率、循环等）的预定运行条件下可靠地运行。原始设备制造商在设计寿命中考虑了设备使用年限内的这种预期恶化。然而，设备材料的物理、冶金和化学性能会因暴露于运行和环境条件而恶化。由于这些因素，随着时间的推移，设备的完好性会因使用老化而降低。

使用老化取决于工艺和设备。设备会出现老化（这可能与使用时间有关，也可能无关），导致运行故障的可能性增加。这取决于恶化和损坏的程度。其可以是计入设计寿命的正常使用老化，也可以是加速的使用老化，具体取决于影响因素对设备的作用。如这些因素管理不当、设备具有潜在的设计缺陷、制造缺陷和/或设计不适合相关流程，加速的使用老化和过早/意外故障可能会增加。由于循环加载/疲劳运行，即使设备在其完整性操作窗口内也可能发生意外故障。操作和环境条件可导致损伤机理的潜在变化，从而影响使用老化和剩余使用年限。更改运行参数至超出预定的 OEM 设计限制/完整性操作窗口，也会改变损伤机理和使用年限，从而增加性能恶化和运行故障概率。

如何管理这些影响因素，会影响是否可进行维修（如可能）、改造或翻新以恢复设备状况，或者是否需要更换部件或更换整台设备。正确的操作和具可行性的 ITM 程序可以使设备达到并可能超过原始设计寿命。相反，操作不当和/或检查、测试和维护不当会缩短使用年限。要清晰地了解设备使用年限的情况，应包括考虑到剩余使用年限的研究结果。

3.3.1.2.6 设备使用老化与资产完整性

了解工艺流程危害为资产完整性计划的范围和实施提供了基础，可借以有效监测损伤机理和影响因素对使用老化和剩余使用年限的影响。作为检测维护程序的一部分，需要充分了解、评估和分析损伤机理，并在需要进行纠正，以在整个使用年限内保持设备完好性。

如资产完整性计划揭示的恶化情况超出可接受范围，则可能还需要适用性评估给出的分析。这可能会导致对 ITM 程序的调整。操作程序和/或运行参数可能需要修改，确保设备处于任何完整性操作窗口变更范围内，以防设备在使用中经历可能加速恶化的条件。输出或效率降低（基于状态和性能监测）、故障频率和/或重复维修次数增加等可能是恶化加剧的指标，会对使用年限产生负面影响。可能需对设备进行维修、改动或翻新，以恢复设备状况。更换恶化的关键部件可延长设备使用年限。也可能需要根据 RUL 研究结果置换整台设备。RUL 研究提供的信息可用于确保及时更换老化设备，以防在运行中出现故障。

为认真对待使用老化问题，需采用基于状况的方法来确定相关影响因素，以评估设备的剩余使用年限。这包括 ITM 分析、利用状况和性能监测结果进行趋势预测等。检测维护程序的范围和频次可能需要调整，以更密切地监测设备的损伤机理，直到其被修复、更改、翻新或置换。

3.3.1.2.7 设备使用老化的影响因素

设备使用老化的影响因素作为风险指标，可包括但不限于以下情况：

物理方面

- 机械性能下降
- 腐蚀/侵蚀：包括绝缘层下的腐蚀 (CUI) 和防火层下的腐蚀 (CUF)
- 磨损
- 热降解
- 疲劳
- 循环应力
- 脆化
- 断裂韧性
- 应力腐蚀
- 氧化
- 蠕变
- 氢蚀/氢损伤
- 变形/扭曲

操作和环境条件

- 操作规程/条件、参数、运行时数/占空比变化
- 工艺或生产率变化
- 工艺材料的变化
- 完整性操作窗口变更

- 操作员 – SOP 和/或 EOP 不合要求
- 过热
- 过压
- 冷量损失
- 抗振动性能
- 泄漏
- 错位
- 热冲击
- 化学侵蚀
- 机械冲击
- 缺乏润滑
- 结垢
- 失去钝化层
- 环境条件（即清洁、凉爽、密闭、干燥、含盐空气、大漠沙、环境温度的高低、工艺有害物质等）
- 持久环境条件/固有工艺条件

运转历史

- 工艺偏移：设计限制内的操作不一致
- 不利条件和性能监测趋势
- 由于异常/跳闸/强制停机/严重故障和/或设备损坏导致造成的不利影响
- 超过设计限制的运转历史
- 设备的设计/类型/型号/同类设备的运转历史，包括组件升级/更换对设备使用年限的影响
- 故障频率增加和/或关键部件的重复维修/翻新/更换
- 与原始设计相比不利的操作历史。

检查、测试与维护

- 按资产完整性计划进行的损伤机理评估结果/趋势分析，在需要恢复设备完好性的情况下对关键部件进行适当维修、改造、翻新和/或更换。
- 合于使用评估结果

实足年龄和使用年限

- 相对于设备使用年限的实足年龄

在评估使用老化时，实足年龄是一个影响因素。设备相对于实足年龄的使用年限因设备类型和运行环境而异，这反过来又会影响设备随时间的恶化。区分使用老化和实足年龄很重要。恶化会随时间的推移而发展，但其受制于多种影响因素，包括实足年龄。实足年龄长期暴露于各种损伤机理、运行环境条件等。

图 3.3.1.2.7 显示了影响设备使用老化的各因素的交互作用。

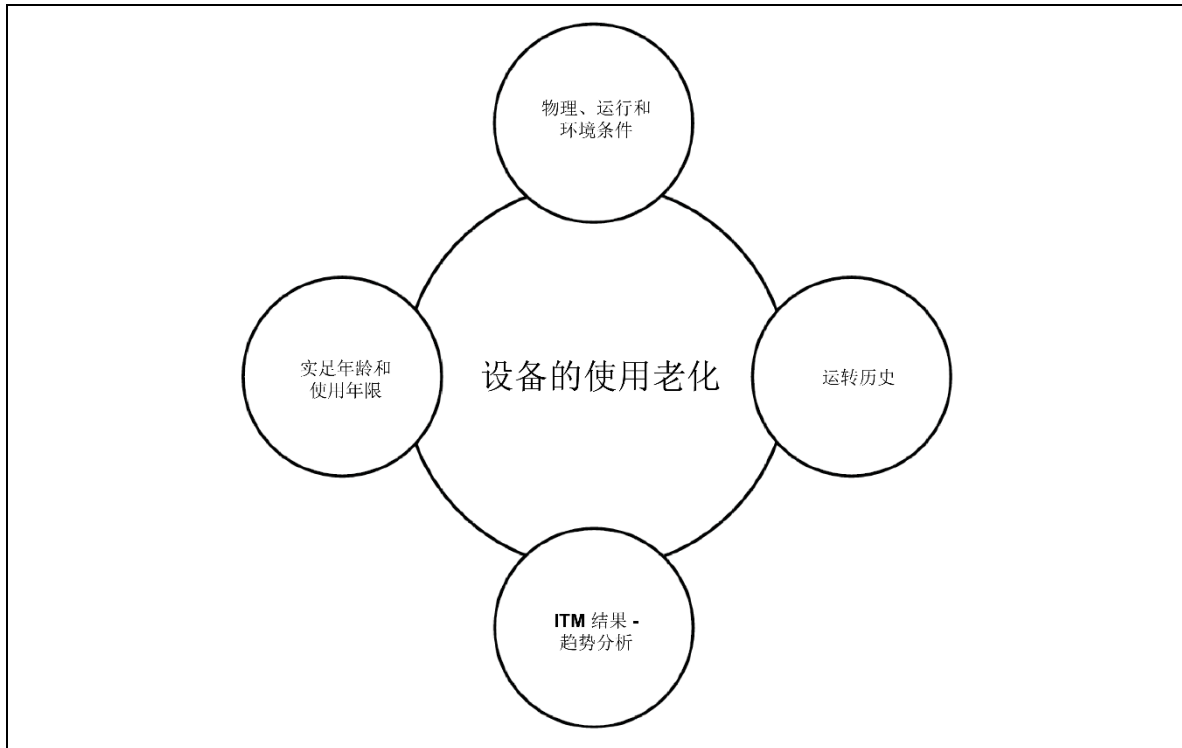


图 3.3.1.2.7. 设备使用老化的影响因素

3.3.1.3 缺陷管理

缺陷管理流程作为资产完整性计划的一部分，确保所有已确定的设备状况缺陷均得到评估并跟踪直至解决。该流程在 ITM 计划结果识别出一个或多个损伤机理条件/恶化情况超出可接受限时启动。该流程旨在确定所发现的恶化情况对设备使用年限的影响。

A. 合于使用 (FFS)

在检测维护程序发现了超出验收标准的恶化或损伤后，将评估该结果以确定相关影响。对 ITM 结果进行评估以确定设备的完好性（即是否适于在预定用途下继续运行），称为合于使用或适用性 (FFS) 评估。适用性评估是一项全面的定量或定性工程评估，用于证明在役设备当前状况下的完好性。该评估考虑已发现的恶化和损伤机理的影响，据此做出主动决策：按原额定值或以低于额定值运行，或是对设备进行维修、监测或置换。该评估需要原始设计数据、设备运行记录和检测维护历史以及未来运行状况预测。典型的 FFS 流程如下：

1. 确定恶化类型和程度。
2. 确定是否能执行 FFS 评估。
3. 确定相关数据要求。
4. 查考可用的 FFS 技术和验收标准。
5. 执行 FFS 评估。
6. 采取任何必要补救措施。
7. 确定是否需要展开运行中监测。
8. 建立相关文件记录。

全球有关加压和结构资产的 FFS 评估标准最广泛使用的是 API 579/ASME FFS-1。该标准概述了 FFS 评估的三个等级：

- 1 级是基本的检查。
- 2 级是更细化的评估，包括详细的计算。
- 3 级是最深入的分析，通常包括基于计算机的建模。

如果评估后确定设备在当前条件下合于使用，则通常会展开剩余寿命研究。

如果适用性评估确定设备不合使用，则会评估多个选项。一种选择是对设备进行修理或物理整改，直至达到可接受状况。另一种方法是调整设备负载，降低运转压力，使设备当前状况达到可接受要求（这取决于相关工艺允许这种负载调整）。另一选项是停止使用该设备并绕过它（如设备非生产的关键）或更换它。在以上每一种情况下，都应重新评估设备的 IOW 和 SOL，并进行剩余寿命研究。

每次根据检测维护程序的结果确定需要进行适用性评估时，通常都应执行根源分析(RCA) 和/或事件调查。

B. 对置换、维修和改动的质量保证/质量控制 (QA/QC)

当发现恶化时，可能需要在设备恢复使用之前采取纠正措施。纠正措施的范围将取决于损伤机理和恶化程度。

在对设备进行任何更换、修理或改动时，确保所使用的部件/设备属于适当的类型和材质非常重要。为确保这一点，可以制定并落实 QA/QC 实务和程序，用于设备和系统的采购、制造、接收和存储、建造和安装。在设备和系统的维修、改造、负载调整、更换和退役上也应落实 QA/QC 实务和程序。

核实材料符合设计规范（尺寸、机械性能和化学成分）是质量保证的一部分。这可在制造、接收、建造/维修/改造和/或日常检测维护期间实施。这可以采用多种技术手段来执行以确保满足设计规范。最常见的核实做法是确认材料化学成分是阳性材料标识 (PMI)。

PMI 通常是指对材料进行物理测试以识别其化学成分的做法。PMI 可用于在投入使用之前或之后确认构造材料与指定的设计一致。PMI 可以通过各种技术来执行。X 射线荧光是该领域使用最广泛的简便方法。在实验室环境中，带有能量色散 X 射线谱仪 (EDS) 或光学发射谱仪 (OES) 的扫描电子显微镜 (SEM) 更为常见。

不同的 PMI 技术在其结果的准确性上可能会有所不同。这应归结于不同测试技术的局限性。通常实验室技术更准确，且能检测原子量较低的元素。

C. 剩余使用年限

当设备受到使用老化影响因素的累积影响时，包括导致恶化和使用老化的操作和/或环境条件，设备的剩余使用年限可能会受到负面影响。设备的 **RUL** 是制定和实施主动资产管理策略的关键，目的是在设备发生故障前，提前规划其维修、改造、翻新或更换。**RUL** 是指设备在预期服务中可继续运行的剩余时间。这基于作为 **RUL** 研究一部分的工程评估结果。

RUL 研究是一项全面的定量和/或定性工程评估流程，采用基于状况的方法来确定设备的剩余使用年限。**RUL** 研究可能会根据需要制定设备应急计划，以应对设备剩余使用年限与维修、改造、翻新或更换设备所需时间之间的差距。这是为了最大限度地缩短由于设备过早发生运行中故障而导致的停机时间并降低停机风险。

RUL 研究采用的基于状况的方法综合考虑了服务老化的影响因素（包括物理、运行和环境状况）、当前及趋势化的设备 **ITM** 结果（基于已知的恶化和损伤机理特性，这些机理影响设备及其制造材料的性能，同时结合设备的**实际使用年限和服务寿命**）、运行状况与历史以及适用性评估结果。图 3.3.1.3 显示了设备状况或条件的相互作用，包括使用老化的影响因素、运行历史、**ITM** 结果和趋势分析以及适用性评估结果，这些因素影响何时展开 **RUL** 研究。

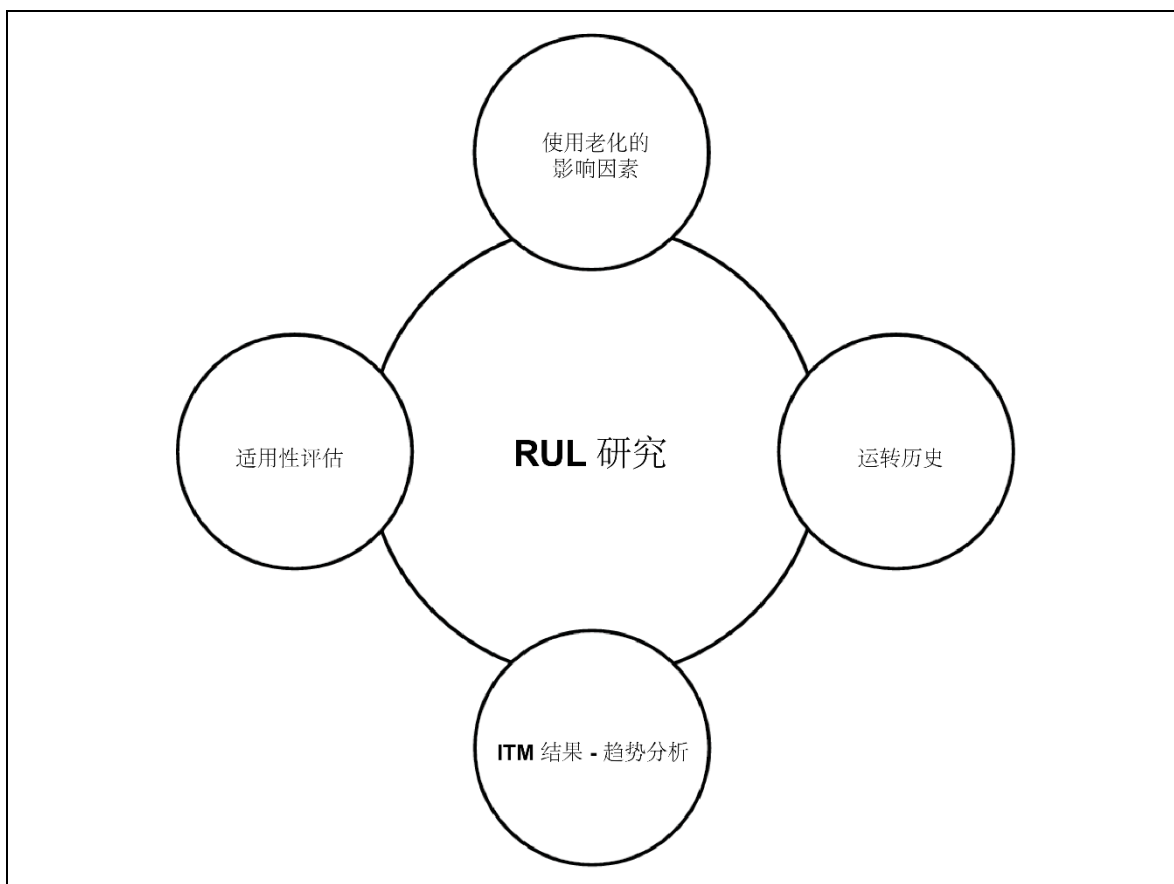


图 3.3.1.3. 影响执行 **RUL** 研究的设备状况

RUL 研究被用于估计：在执行下次计划的 ITM 活动之前和/或对设备进行维修、更改、翻新或更换之前，其可继续使用的时长。RUL 可纳入缺陷管理流程，用于确定设备所需检护项目。进行这项研究的方法因设备类型而异。

很多时候，人们希望延长一件设备的复检间隔。为了做到这一点，通常安装状况监测设备以监测指示损伤机理进展的参数。这通常会伴随操作条件的变化，以减少设备的运行压力。这可能会影响标准操作程序 (SOP)，导致 SOP 的变化和对操作员的再培训以充分了解由设备状况导致的运行条件的变化。

通常，RUL 研究和 FFS 评估由 OEM、合格的第三方承包商和/或关键的公司内部员工组成的多专业团队进行。这可能取决于设备类型，以及在确定剩余使用年限和/或适用性中要评估的恶化程度。

3.3.1.4 根源分析 (RCA)

RCA 是一种揭示某事件或状况的深层因素而非由表层因素产生的症状之方法。RCA 应能确定事件或状况的根源，在采取纠正措施之后，将防止所述状况再次发生。

执行 RCA 的严格程度可因检测维护程序结果的情况而异。根据危急程度、后果和设备历史等情况，也可能不需要进行完整的根源分析。同样，如果部件接近或超过其剩余使用年限，且由于某种预期的损伤机理而发生恶化，则 RCA 分析所能做的很少，仅涉及确认这种损伤机理。

通常需进行深入根源分析的情形包括：设备过早出现故障、以未能预测的方式发生故障，或是出现过度或不可预测的恶化情况。RCA 分析通常是作为事件调查的一部分。

在所有情况下，RCA 的范围应与设备或系统的关键程度以及损失造成的后果相称。

执行根源分析时，通常会考虑以下因素：

A. 相关人员

1. 参与人员的资质应与 RCA 规模相应
2. 深入的 RCA 可涉及各类专家，包括无损检测、机械/电气工程、腐蚀/冶金、工厂流程、工厂运营、建模专家和管理人员。

B. 设备记录审核

1. 问题报告和维修/改动历史
2. 设备检护要求的说明
3. 系统及设备的拆解检查报告
4. 原始设备制造商 (OEM) 技术信函和公告
5. 维护记录，包括程序步骤细节，以确保程序中不存在可能导致类似事件发生的缺陷或失误
6. 相关维修项目的积压清单
7. 任何关于恶化/故障的报告，例如：
 - 故障零件的分析/检查
 - 症状描述
 - 故障排除报告

C. 故障部件的分析/检查、症状描述、运行中执行的任何故障排除。

3.3.1.5 成文记录和趋势分析

维护与资产完整性计划所涵盖设备相关的记录（历史数据），是进行追踪、趋势分析和审核工作所必不可少的。检测维护活动的所有结果、适用性评估、剩余使用年限研究和根源分析都应有成文记录。这样可以对这些结果进行趋势分析，并反过来用于 ITM 程序和危害分析中。这是为了确保在危害分析和检测维护程序的重新评估中，能把实际工艺、系统和设备条件以及任何意外危害因素纳入考量。

趋势分析是在选定的时间范围内对 ITM 结果和运行参数进行分析，以找出可能预示设备故障的任何重大变化。ITM 结果和运行参数在一段时间内变化的速率（加速、减速或保持不变）和范围，被用于对潜在故障进行预测/识别。这使得在发生运行故障之前采取纠正措施成为可能。

3.3.1.5.1 相关工作的成文记录通常包含以下信息：

- A. 技术员姓名、技术员资格、日期、执行的任务、使用的设备或工具、受影响的部件、任务的范围、采取的步骤、工作开始前如何准备设备、实际状况、环境条件、工作结果、所有测量/读数的单位, 技术员解读
- B. 足够的细节使具有相同技能水平的技术人员可以重复该活动并产生可比较的结果
- C. 主设备列表上确定的相关设备的唯一性标识符。参见 2.3.1.1.1

3.3.1.5.2 以下是所记录的数据在资产完整性计划中被用于趋势分析的方式：

- A. 将当前检查数据与基线数据和以前的检查数据进行比较，以确认损伤机理是否正在扩大。
- B. 将状况和性能监测数据与预定工作条件和 IOW 进行比较，以确定是否发生了会加速恶化或引发潜在问题（因此需采取额外措施）的条件变化。
- C. 将检查结果和监测信息再纳入资产完整性计划，以使该计划保持其可行性
- D. 追踪 ITM 活动（检测维护任务）的完成率
- E. 记录故障类型和位置以找出系统性问题。
- F. 应保留 RCA 和事件调查结果以与未来事件进行比较

3.3.1.6 审核

审计过程可以是综合性的，也可以是细化的。综合性审核将查看进行中的流程，并确定是否合乎要求或需要改进。详细的审计将查看流程中的细节，并重点关注计划的执行情况。

审核目标举例来说包括但不限于以下内容：

- 绩效指标审查
- RCA 报告审查以确保建议得到实施
- 审查缺陷问题以确保其状态被追踪处理，追踪到问题了结而且结果是合理的
- 审查检测维护活动的完成百分比，并积极跟进被推迟的活动
- 已实施的新技术正在产生预定的结果
- 来自 OEM 和行业机构的通知处于评估和实施中
- 是否落实和更新了必要的培训、实践和程序要求
- 是否遵循了审计建议

每次审计都应该有可操作的纠正措施。这些项目应与审计目标相关联并应改进观察到的缺陷问题。纠正措施举例来说包括但不限于以下内容：

- 更换有问题的设备
- 对设备进行必要的改动
- 更新程序
- 在有必要的情况下应增加培训或进行再培训

3.3.2 应急预案

从导致关键设备无法使用的计划外停机中恢复的能力，对于保持工艺流程的弹性至关重要。ECP 文件是关于对导致关键流程严重中断的设备故障的响应和恢复计划，以尽可能地减少故障停机时间。该计划是对生产流程进行系统性评估的结果，主要为确定对运营连续性非常关键的设备。

从故障场景中恢复以减轻风险所需采取的措施，包括审查相关设备设计信息及其完好性/可靠性。**ECP** 中的减损选项/策略可包括有关设备维修/置换/租用的前置时间或交付周期选项、旧设备和/或多余的设备、备件、运输和安装/处理要求。

备用或租用设备的运输/搬运注意事项包括：

A. 在使用场地内搬迁设备：

1. 确定相关索具要求并全部备足（如起重机、直升机、桥吊）。
2. 确定任何潜在的建筑改造要求（如破拆屋顶、墙壁、设备）。

B. 将设备从持有/储存地运输到使用场所：

1. 与承运人和航运公司订立相关计划和协议。处理任何可能的运输问题，预先确定运输路线及是否有必要采用空运。考虑到季节性天气变化和地点偏远等可能延迟运输的因素。
2. 确定是否有以下因素导致的任何特殊许可要求：
 - 在公路上运输（例如，道路和十字路口重量和高度限制；特殊运输车辆的要求）。
 - 设备的空中运输
 - 水路运输
 - 国家间的通关要求

作为业务连续性计划 (**BCP**) 的一部分，**ECP** 的范围特定于设备的故障场景。具备可行性的 **ECP** 将通过快速恢复运转来减少/最小化设备故障停机时间。

4.0 参考文献

4.1 FM

相关的设备特定数据册。

4.2 其他

化学过程安全中心 (**CCPS**)。处理老化的工艺设施和基础设施。约翰·威利父子出版公司，纽约（2018 年）。

化学过程安全中心 (**CCPS**)。资产完整性管理指南。第 1 版。约翰·威利父子出版公司，纽约（2016 年）。

化学过程安全中心 (**CCPS**)。基于风险的工艺安全指南，约翰·威利父子出版公司，纽约（2007 年）。

健康与安全摘要 (**HSE**)。管理老化工厂要点指南（2010 年）。

附录 A 术语表

IOW: 完整性操作窗口。根据危害识别和评估确定的设备运行参数的允许范围（例如温度上下限、最小和最大变温速率等）。定义 **IOW** 边界的上限和下限值也称为安全操作限值 (**SOLs**)。

MOC: 变更管理。防止在变更（包括技术、设施和/或人员变更）期间引入未识别的危害的程序。

RAGAGEP: 公认和普遍接受的良好工程实践。

SOL: 安全操作限值。请参阅“完整性操作窗口 (**IOW**)”。

风险: 事件发生的概率与该事件发生的后果的乘积。

根源分析: 一种确定事件的潜在因素、而非由潜在原因产生的症状的方法。

故障分析: 为确定作用于材料的损伤机理而执行的一系列测试和/或检查。

故障模式：设备因无法承受运行条件而出现故障时所作反应的分类。（例如微泄漏、释放、爆炸等）。也可以是故障本身的表现方式（例如阀门出故障而自闭，或泵不能启动/运行）。造成故障的机理可能是疲劳、腐蚀或磨损、人为错误、过应力或设计/制造相关缺陷。

合于使用或适用性（FFS）：鉴于恶化情况和故障机理超出资产完整性计划给出的验收标准和可接受的限度，而对设备进行全面的定量或定性工程评估以确定其完好性（即能否在预定用途下继续运行）。FFS 可说明继续使用的合理性，或给出使设备恢复使用所需的纠正措施。

基于过程的间隔：源于系统或设备所涉流程中的测量数据的间隔（例如产量、运行时数、启动次数）。这些间隔可用于定制历史上基于时间的预防式 ITM。

基于状况（监测）的 ITM：由被监测设备或系统的当前状况触发而执行的检测维护活动。

基于状况的间隔：源于监测系统和/或设备状况（例如温度、压力、流量等）的间隔。

可靠性：设备或系统在规定时间内、规定的环境和运行条件下按预定运行的能力。

可行性：能有效工作。

可用性：设备或系统在需要时正常运行的能力。可度量表示为设备能处于可操作状态的时间百分比。

瓶颈：流程中最慢的操作（阻塞点）。

趋势分析：趋势分析是在选定的时间范围内对 ITM 结果和运行参数进行分析，以找出可能预示设备故障的任何重大变化。ITM 结果和运行参数在一段时间内变化的速率（加速、减速或保持不变）和范围，被用于对潜在故障进行预测/识别。这使得在发生运行故障之前采取纠正措施成为可能。

缺陷：显示的状况不符合检测维护程序设定的验收标准。

冗余（配置）：一种确保设备发生故障时系统运行安全的策略。拥有至少一台独立的备用设备。

设备故障：设备无法以预定性能执行其预定功能。

设备使用老化：随时间的迁移，设备在其使用年限内的恶化导致的设备状况变化，其中应考虑物理、操作和环境条件、运行历史、检测维护程序结果/趋势分析以及相对于使用年限的实足年龄等的累积影响。使用老化是暴露于这些影响因素的结果，而这些因素也因设备和过程的不同而异。

设计寿命：原始设备制造商在预定用途下的固定设计参数内确立的原始设计时限。

剩余使用年限 (RUL) 研究：作为主动资产管理策略的一部分，通过全面的定量和/或定性工程评估，采用基于状况的方法确定设备在预期服务中剩余的使用年限（即在使用中设备发生故障之前）。

剩余使用年限 (RUL)：也称为“剩余寿命”或“剩余工作年限”。设备在预定用途下继续运行的剩余时限。这基于作为 RUL 研究一部分的工程评估结果。

使用年限：也称为“预期寿命”或“生命周期”。设备为预定用途在设计限值（即完整性操作窗口参数）内运行的时限。该时限考虑了各相关因素对使用老化的累积影响。

损伤机理：导致设备老化的过程。例如腐蚀、开裂、过热等。

替代服务提供商 (ASP)：不隶属于原始设备制造商的实体。

性能监测：监测能显示被监测设备或系统的性能（例如效率）的变量。

应变式 ITM：由设备故障而触发和执行的检测维护活动。

预测式 ITM：在触发了设备的预定状态时执行的检测维护活动，基于设备当前状况和性能监测，

预防式 ITM：无论设备状况如何，在触发预定间隔时即执行检测维护。

在这些限制范围内运行时，设备可满足工艺和设计参数要求，且故障可能性较低。在 SOL 之外（因此在 IOW 之外）运行，将导致加速恶化和过早发生故障。

状况监测：对显示被监测设备运行状况的变量进行监测

资产完整性计划：确保系统和设备在其使用年限内保持完好和可靠的管理体系。

附录 B 文件修订记录

本附录旨在记录每次发布时对文件所做的更改。应注意，章节编号特指所示日期发布的版本中的章节编号（各版本的章节编号并不总是相同）。

2024 年 7 月。中期修订。少许编辑修改。

2023 年 7 月。中期修订。对资产完整性计划流程相关的指南进行了编辑修改，使之更加明晰。设备使用老化和剩余使用年限指南内容也有修订，变得更加明晰，其中包括给出了新图示 3.3.1.2.7 和 3.3.1.3，分别涉及“设备使用老化的影响因素”和“影响展开 RUL 研究的设备条件”。新增附录E，即“替代服务提供商 (ASP) 的服务和部件的审核和检验程序指南”。

2022 年 7 月。中期修订。些微编辑更改。

2021 年 10 月。中期修订。本文有以下重大修改：

- A. 增加了有关设备使用老化的指南。
- B. 更新了关于适用性和剩余使用年限的指南。

2021 年 1 月。中期修订。在附录 A 术语表中，添加了新定义。

2020 年 10 月。中期修订。附录 C 中更新了 N+1 冗余设备指南。

2020 年 1 月。中期修订。进行了以下修改：

- A. 修订了设备应急计划和备用指南。
- B. 添加了设备应急计划和备件配置可行性评估的指南。
- C. 将备件配置和运输指南从附录 C 移至第 2.0 和 3.0 节。

2018 年 7 月。该文件已被全面修订。进行了以下重大修改：

- A. 将本文的标题从维护和检查更改为资产完整性。
- B. 以更有条理和简洁的格式来组织原数据册中的信息。
- C. 删除多余的信息。
- D. 删除了对理解相关建议无强化作用的支持材料。
- E. 添加了有关资产完整性、缺陷管理和根源分析的部分。

2014 年 1 月。添加 2.5 节异物排除 (FME)，和附录 D 异物排除程序。

2011 年 4 月。包括以下更改：

- 增加有关用于特殊应用的关键工厂机械和高风险设备的建议。
- 添加用于管理维修服务的新建议。
- 为基于时间和基于状况的维护程序添加了技术指导。

2003 年 5 月。修订了标题为“3.1 损失历史”的部分。还进行了些微编辑更改。

2002 年 9 月。FM 对基于风险的检查的概述已添加为附录 C.3，基于风险的检查——FM 概述，并在建议 2.2.1.4 中添加了对此附录的引用。此外，本数据册的标题和范围已从维护改为维护和检查，以强调检查在任何维护计划中的重要性。

2001 年 5 月。仅编辑性改动。无任何技术更改。

2000 年 1 月。对本文件 1995 年 1 月版进行了重新组织以使格式一致。无任何技术更改。

附录 C 设备应急计划

C.1 设备应急计划的过程

制定和维护具备可行性的设备应急计划 (ECP) 的过程包括以下步骤：

1. 建立多学科小组，对生产流程安全性进行系统评估，作为设备应急计划或预案的一部分。
2. 审查/制定涵盖全部流程的生产流程图，包括生产、公用设施和配套系统及相关设备。
3. 确定被认为是运营连续性关键的系统和设备。评估设备故障风险，考虑的因素包括：流程瓶颈、单点故障、特殊及交付周期长的设备、设备剩余寿命、设备适用性、工艺危害和运行历史/趋势。这些是故障是否易发的风险指标。
4. 评估设备的故障场景及相关威胁。
5. 评估从设备故障中恢复的能力。制定减损措施，可能包括备件配置（厂内外存储的备用整件和/或零件）、N+1 内置冗余、维修和 更换选项、租用设备、旧设备/或多余的设备。考虑原始设备制造商备件的建议。审查有助于减轻设备故障影响的任何长期服务协议。
6. 如配置了备件或冗余设备，应检查资产完整性计划以确保其可行性。
7. 制定、确认和保存关键设备的设计、安装和调试信息。
8. 审核运输、搬运、安装和运行调试要求，包括任何必要的特殊许可。
9. 就 ECP 的范围和实施对员工、承包商和供应商进行资格预审和培训。
10. 制定从设备故障中恢复的 ECP 文件。每年对 ECP 进行一次审核、测试与验证，以管理变更事宜，确保预案的有效性。

C.2 冗余配置和租用策略

本指南代表了评估和核实冗余和租用设备的各种 ECP 防范策略的最佳实践。有关租用设备运输的指南，请参阅 3.3.2 节。

C.2.1 冗余配置

N+1 设备（或在线备用设备）是在生产、公用设施和/或配套系统中已**正确**安装和连线的设备冗余。N+1 设备确保了系统的可用性，能在设备故障时满足生产流程需求。该设备具可用性，能完全投入使用，从而**最大程度地缩短运行中设备故障造成的停机时间并降低业务中断风险**。

要使 N+1 设备具可用性，**以最大程度地缩短设备故障停机时间并降低风险**，其必须满足以下条件：

- A. N+1 设备是在生产、公用设施和/或配套系统中已**正确**安装和连线的设备冗余。
- B. 冗余设备在投入使用时不会产生明显的流程中断，因此可减少设备运行故障造成的业务中断风险。
- C. 冗余设备不会因运行中设备的缺陷而受到损坏。
- D. N+1 设备的设计/额定参数，与运行中的设备和工艺流程兼容。
- E. N+1 设备作为资产完整性计划的一部分进行检查、测试和维护，以保持相应性能。
- F. N+1 设备**经核实适用于预定用途**。
- G. **在在用设备发生故障停机时，N+1 设备可随时投入使用**。
- H. 标准/紧急操作程序准备就绪，可用于将 N+1 设备投用并关闭在用设备。

N+1 设备（在线备件）的资产完整性计划的范围和实施方式与在用设备的资产完整性计划相同，以确保 N+1 设备的可用性。

减少设备运行故障导致的业务中断风险是具备可行性的 N+1 冗余设备的关键属性之一。为减轻相关风险，N+1 设备不会因在用设备的缺陷而受到损坏。

评估冗余设备的额定值与使用中的设备相比如何，以确定在用设备发生故障时流程可以恢复到什么程度。

对冗余设备可用性和状况的核实应纳入资产完整性计划。这包括在启动之前对冗余设备的必要检查。就其预定用途评估冗余设备合于使用与否。考虑是否需要进行维修或改动以使冗余设备可用。

核实所需规程是否到位及是否有适当程度的培训，以便将流程从在役设备切换到冗余设备。这包括关闭原在用设备。

C.2.2 租赁设备

一段时间内使用租借的设备以弥补现有设施不足。

1. 维护供应商的主要和紧急联系人信息。
2. 与 OEM 和/或供应商签订的关于租用设备可用性和服务的服务协议/合同（包括长期服务协议）。
3. 核实供应商的服务范围和质量。
4. 评估所租用设备的额定功率（输出），将其与使用中的设备相比。
5. 保存好在用和租赁设备的安装、移动和拆卸相关说明书和要求。
 - a. 确定临时连接点位。现有系统应有足够接合点来连接预期要租用的设备。
 - b. 租用设备所需的调试过程均应予以书面记录和考虑。此外，应了解并考虑当地政府/公用设施部门对租用设备调试运行的任何许可（例如环境、电气要求）。
- c. 应确定拆除现有设备、安装备用设备所需的人员。
 - 确定所需的供应商
- d. 应确定、规划将备用设备安装在指定位置所需的任何重大改造工程（如基座、支承、框架尺寸等等）。
 - 确保保有使备用件合用的所有必要硬件（例如垫片套件、联轴器、电缆/母线等）。
6. 如供应商需要执行和实施与租赁相关的任何任务时：
 - a. 他们通过了任何潜在 OEM 指南和/或适用的规范和标准（例如 RAGAGEP）的资格预审。这包括任何公司标准和/或指南。
 - b. 确保他们可提供相关设备特定的专业技工/工具要求。

附录 D 异物排除 (FME) 程序

D.1 目的

此程序属于相关操作的典范做法，用以防止异物进入并留在打开后进行检护、修理且易受异物损坏 (FOD) 的设备内部。该程序还包括对临时安装的或辅助性物品的控制，例如工具、管口挡板、过滤器、孔口和清洁材料。

注：防止异物损坏 (FOD) 的最有效方法是保持高质量的内部管理。如果物品一开始就被排除在工作区外，则不会落入异物排除 (FME) 控制区内。为完成必要的工作应对工具进行适当管理。所有人员都必须了解相关规定，要特别注意带入工作区的所有物料和工具。

D.2 定义

进出控制：用于控制人员、工具 and 材料进出的方法。这包括使用边界标记、标志、进入/退出登记册和监视器。根据异物排除 (FME) 区域的类别，边界标记应使用坚实的屏障如临时性金属墙、丙烯酸玻璃墙、铁丝网，如果合适也可用织物帘幕、FME 胶带、绳索等。

进出管制点：沿异物排除 (FME) 边界设立的点，人员、工具和材料在此允许进入但受到管控。

洁净区：位于 FME 区域之外的一块区域。一般是在 FME 区域之外为子装配件的存储或对其进行操作而预留的。

收尾单：收尾单用于识别异物排除 (FME) 屏障登记表（表格 2）、FME 防掉落清单（表格 3）、工具登记表（表格 4）或物料登记表（表格 5）上的任何差异，包括对收尾检查期间查出的任何情况的描述，及检查是如何进行的（例如目视、管道镜）。业主代表 (OR) 和技术总监 (TD) 应在停机或设备检护完成后审核并签署该表单。填好的收尾单应永久保存为停机记录的一部分。

异物：不属于系统或部件本身的材料，例如胶带、扎线、扎带、焊条、工具、钢笔、铅笔、电线、线缆、纸质/塑料标签、贴纸、标志、未妥善固定的操作标签、抹布、塑料面罩、塑料袋、包装物、垫圈材料、多余的密封材料、耳塞、锯末、化学品、溶剂、油漆、眼镜或珠宝等个人物品，或任何其他可能影响系统或部件运行的物品。

FME 审核：业主代表 (OR) 和/或技术总监 (TD) 对设备检护使用 FME 现场审核清单（表格 1）进行定期审核，以评估 FME 程序是否正确实施。

FMEA：异物禁区：在开口、仪器、电气或机械部件周围的一处工作区，应由实物边界标记包围，需要特定管控措施以防止异物落入系统或部件的内部。应在这些区域张贴标志。

FME 屏障：塞子、罩子、盖子、扎袋、胶带、围网或其他用于封闭或覆盖管道或设备上开口以防落入异物的装置。

FMEA 边界：某件工作周边的物理边界，通常由边界标记和将特定区域标识为异物禁区 (FMEA) 的可见标志组成。

FME 标识（标签）：附在挂绳、屏障或路障末端的标签，以记录具体的 FME 屏障或边界。

FMEA 监管员：根据本程序负责访问控制的个人。监管员负责核实工作组的所有记录，因此应胜任、训练有素并充分了解异物损坏 (FOD) 对机器造成的后果。

挂绳：固定物品的带子、绳索、束线或类似物，用于确保持有或使用物品的人在失去对其控制时，该物品不会成为异物排除 (FME) 控制区中的异物。

业主代表 (OR)：业主代表负责监督技术总监 (TD) 对异物排除 (FME) 程序的正确实施，并根据异物排除 (FME) 现场审核清单对程序进行定期审核。

技术总监 (TD)：该主管（无论是业主的雇员还是负责相关工作的承包商的雇员）直接负责监督对相关设备的工作的完成情况，因此直接负责停机期间的异物排除 (FME) 程序的执行。

D.3 适用性

任何时候打开设备或系统进行检查、测试、维护和/或维修，都应适用此程序及其所有规定。这包括但不限于涡轮机（燃气或蒸汽）、发电机、发电机断路器、变压器、管道系统、进气系统、冷凝器、热交换器、泵、大型电机、压缩机和其他大型固定设备。由于检查、测试、维护和/或维修时面临的 FME 相关风险不同，因此异物排除 (FME) 程序的适用有不同级别，下面有详述。尽管 FME 相关建议有不同级别，但在进行对系统有风险的所有检护和维修活动中都应遵守 FME 的一般做法。在为相关工作选择所需保护级别时，应考虑与潜在 FME 事件相关的总体风险。

D.4 责任

项目中的每个人都应完全熟悉该程序，并了解遵循适当程序的必要性。业主代表 (OR) 负责确保所有与 FME 区域接触的员工都了解相关实施内容、实施原因和每日更新的介绍。业主代表 (OR) 还应通过与技术总监 (TD) 的直接互动、程序的定期审核以及通过例行的现场合规性检查，来监督 TD 对异物排除 (FME) 程序的正确实施。

技术总监 (TD) 应对任何项目下的异物排除 (FME) 程序的实施负主要责任并接受问责；TD 还负责在项目开始时与业主代表 (OR) 就证明无异物遗留而采取的检查级别（例如目视或摄像头）达成一致意见。TD 必须在安全会议上向所有工艺人员强调 FME 程序。

在技术总监 (TD) 协调下，所有工艺人员应负责确保 FME 屏障安装到位，FME 标识悬挂并附在相关开口处，并且所有此类 FME 屏障和标签都正确记入相关表单中。相关人员应按所有异物排除 (FME) 标签行事，不得移除 FME 标签，除非移除与工作相关。如工作中移除了此类 FME 标签，应及时重新安装好，除非即将组装部件。

D.5 异物排除 (FME) 1 级

FME 的 1 级适用于异物落入可能性低的部件和系统，且目视检查和/或移除异物都无阻碍或限制。在这种情况下，检查和/或取回物品的难度较低，无需进行部件大拆卸。一般来说，FME 的 1 级所涉及的设备不太重要，没有与之相关的关键容差。

FME 的 1 级的最低要求如下：

- A. 在每次停机开始时，就 FME 程序的要求对所有人员进行训导，包括承包商和业主的人员。包括所有人员的签名，确认都了解 FME 程序（表 6）。
- B. 需要适当预防措施及专业上的细心。
- C. 准备一份工作前简报，对要进行的所有工作进行说明，确保充分准备并仅使用必要的工具和材料。遵循适当的工作程序。根据需要更新简报
- D. 确定所有进入点的 FME 边界和 FME 标识并告知 FME 要求。
- E. 在异物排除 (FME) 工具表（表 4）上列出所有工具和设备，并确保在每班结束时或在换班时对其点数或交代，不会留在易出问题的地方。只要可能应对 FME 区域的工具进行评估、合并以限制工具数量，从而降低 FME 相关风险。
- F. 所有设备部件应放置整齐，无论是处于异物禁区 (FMEA) 内还是在其外。小零件应装袋或放入箱中并贴上标签。应准备一份零件清单，如有多个相同零件，则应对零件计数。应使用异物排除 (FME) 物料表（表 5）登记所有需要更换的部件。
- G. 拆卸之前把要修理或打开的设备清洗干净，以防设备打开后使异物进入。
- H. 设备打开后，使用 FME 屏障（盖子、挡板、气囊或其他适当的屏蔽物）防护所有可能落入异物的区域。填写并保存 FME 屏障登记表（表 2）。确保 FME 屏障物易于识别，以免被误认为是设备或系统的正常部分或普通消耗品（FME 屏障通常为鲜红色或橙色）。使用 FME 屏障登记表记录所有 FME 屏障，采用唯一性标识符，给出屏障的位置和类型（例如塞子、磁条）。确保所有不易看见的 FME 屏障（例如排油管线、抽气管线）附有从 FME 屏障延伸到设备外部的尾线，其末端带有 FME 识别标签。
- I. 打开设备时发现的任何异物（碎片、工具、抹布等）都应登记并放置在受控区，以便技术人员检查和评估。
- J. 始终保留一份异物排除 (FME) 防掉落清单（表格 3），确保所有人员立即报告（无需担心报复）任何遗落而无法立即找到或取出的物品。
- K. 在异物排除 (FME) 防掉落清单上记下任何遗落或不明去处的工具，只要可能确保立即找到它们。
- L. 如要安装新的零件，应在安装前对其进行彻底检查和清洁。
- M. 在移除任何 FME 屏障之前，应清洁 FME 屏障周围的区域，除去碎片和其他物体，以防设备打开后使异物混入。
- N. 重新组装时，排查和清除异物排除 (FME) 防掉落清单（表格 3）上的每一项。重新组装过程中应择时移除清单上的挡板和覆盖物（仅当系统的某节段准备好重新组装时才移除挡板并从列表中清除该项目）。彻底检查系统的所有部件和节段是否有异物。任何去向不明的 FME 屏障物都应由技术总监 (TD) 和业主代表 (OR) 审查。

- O. 在最终检查之前彻底清洁所有外壳（最好用真空吸尘器，但必要时可用风吹）。
- P. 在重新安装之前，对所有小口径管道和管子用风吹扫，对所有大口径管道进行擦拭、真空抽吸或风吹。此外，应移除所有的屏障。清除 FME 屏障登记表（表格 2）上的屏障。任何去向不明的 FME 屏障物都应由技术总监 (TD) 和业主代表 (OR) 审查。
- Q. 在关闭或重新安装之前，对所有外壳、管道、开口和排水装置进行目视检查（直接或远程）。检查应由 TD 和 OR 执行和/或见证。
- R. 在设备最后一次关闭之前，确保已处理好 FME 防掉落清单（表格 3）上的所有项目。如果不是所有项目都已解决，那么 TD 和 OR 应讨论防掉落清单问题，并就采取适当的行动方案达成一致意见。

D.6 异物排除 (FME) 2 级

FME 的 2 级适用于存在异物落入可能性的部件和系统，而目视检查和/或移除异物都无太大难度。第 2 级适用于涉及涡轮机和其他密布有危险间隙的关键旋转设备的工作，这些设备包括泵和电机，以及为此类系统供电的容器和管道系统。

FME 的 2 级的最低要求如下：

- A. 遵守所有 FME 1 级要求。
- B. 将进入异物禁区 (FMEA) 限制在一个位置。
- C. 应使用异物排除 (FME) 监视器来控制对工作区的访问，及清点进出工作区的所有物料。如没有 FME 监视器，应限制进入工作区。
- D. 将所有拆下的管道在两端加盖或塞住，并标上位置和其他相关标识符。
- E. 为进入 FME 区域的人员提供个人物品储物柜或收集箱。
- F. 确保进入 FME 区域的人员口袋为空。只允许必要的物品出现在 FME 区域：所有个人物品（例如手机、手表、珠宝、钢笔、刀具和钱包）都应留在外面。不是在工作区执行具体任务所需要的任何零散物品（包括珠宝）应留在 FME 监视器下或个人物品储物柜或收集箱中。
- G. 指示所有人员在进入工作区之前确认衣服和靴子底部干净且无杂屑物。使用异物禁区 (FMEA) 的监视器检查所有进入工作区人员的衣服和靴子，尤其是在重新组装过程中。
- H. 最好穿无鞋带的套穿式安全靴或靴套。如果不使用套穿式安全靴，则应将鞋带和带扣用胶带固定。
- I. 安全眼镜应有防护挂绳。
- J. 确保工作区中所有工具安排得井井有条，人人管好各自工具（负责其下落：“带出自己带进的东西”）。
- K. 如果工具有可能掉入不能轻易取回的区域，则应将工具捆系起来。
- L. 工作区内的所有部件都应整齐地装袋或装箱并贴上标签。
- M. 在每个班次结束或换班时应清除 FME 登记表项目，长期性工具除外。
- N. 技术总监 (TD) 应定期或至少每周进行一次 FME 审核，包括对 FME 边界、FME 标签、FME 屏障、异物禁区 (FMEA) 进出登记册的审核，以及检查所有尚未安装的管道。审核应按照异物排除 (FME) 现场审核清单（表 1）进行。
- O. 业主代表 (OR) 应至少每周对 FME 程序进行一次审核。审核应按照异物排除 (FME) 现场审核清单（表 1）进行。
- P. 在对难以看到的区域进行远程目视检查时，技术总监和业主代表应提前决定是否将录制的视频或图片与停机报告一起存档。

D.7 异物排除 (FME) 3 级

FME 3 级适用于有异物落入可能性的部件和系统，而且目视检查和/或移除异物的难度很大，可能需要对部件进行大拆卸。**3 级**适用于对旋转设备进行大拆卸的工作，特别是涡轮机和发电机。异物落入这些系统很可能造成极具破坏性和损失巨大的后果。

FME 的 3 级的最低要求如下：

- A. 遵守 **FME 1 级**和 **FME 2 级**的所有要求。
- B. 应设立进出管控点，要求所有人员签到和签出相关区域，提供所有物品的完整清单，包括带入工作区的长期和短期使用的工具和零件。如没有 **FME** 监视器，应限制进入工作区。
- C. 应指派 **FMEA** 监督员来管控进出登记及核实进出 **FMEA** 工作区的物料。
- D. 确保所有工具，包括手电筒，都有防护系绳。所有工具应绑在使用工具的人员身上，防止掉入开口的设备中。对所有可能出现电池盒或其他配件舱打开的工具，应在这些箱盒/配件上贴胶带以防其打开（例如手电筒、空气监测器）。
- E. 当部件或子部件被移到一个“洁净区”时，也应将 **FME** 程序适用到这个区域。
- F. 在发电机或大型电动机上工作时，请完成以下事项：
 - 1. 确保向发电机供给清洁、温暖、干燥的空气，尽量减少水分进入发电机。
 - 2. 除了侧面的屏障外，还应设置围罩或盖布（例如帐篷或防水布）以防灰尘、湿气及防止鸟类栖息在打开的设备上等。
 - 3. 确保在异物禁区 (**FMEA**) 工作的所有人员都穿着靴套和没有口袋的无绒工作服。

表格 1。异物排除 (FME) 现场审核清单

地点/工作：_____ 日期：_____ 技术总监：_____ 时间：_____

除非另有说明，否则所有任务都适用于所有 FME 级别

	任务	是	否	不适用	意见
1	是否已设立和标记 FME 边界？				
2	是否有适当的标志？				
3	FME 屏障安装是否正确？				
4	FME 屏障上是否附有 FME 标签？				
5	FME 标签是否正确填写？				
6	是否缺少任何 FME 屏障？				
7	FME 登记表是否正确填写？				
8	是否有主管人员监管 FME 程序的执行？				
9	拆除的管道（包括管子）是否有标记和标识？				
10	防掉落清单是否被更新？				
11	防掉落清单上有多少记项？				
12	异物禁区登记册是否已更新？				
13	是否使用了 FME 监视器？（2 & 3 级）				
14	拆除的管道（包括管子）的两端是否都已加盖/覆盖？（2 & 3 级）				
15	是否有用于存放个人物品的收集箱/储物柜？（2 & 3 级）				
16	工作区中的所有部件是否都装袋、装箱或贴上标签？（2 & 3 级）				
17	FME 登记项是否在每班结束时清除？（2 & 3 级）				
18	工具是否都放置整齐？（2 & 3 级）				
19	异物禁区是否有监视器以确保个人物品的移除？（2 & 3 级）				
20	所有工具都有系绳吗？（3 级）				
21	发电机/电气设备的 FME 规定是否有效？（3 级）				
22	发电机/电气设备是否覆盖并提供了加热和干燥的空气？（3 级）				
23	发电机区的工作人员是否都穿了靴套和不起毛的工作服？（3 级）				

意见：_____

填写人：_____ 业主代表：_____

表格 2。异物排除 (FME) 屏障登记表

地点/工作：_____ 日期：_____ 技术总监：_____

标签 #	安装日期	位置	屏障类型 ¹	安装者	拆除者	拆除日期	检查执行人	签名

¹ FME 屏障被安装在哪里？（轴承泄油管路、蒸汽注入、抽气管路等）
² 使用了什么类型的 FME 屏障？（塞子、磁条、管帽等） 7639 (7/18)

表格 4。异物排除 (FME) 工具登记表

工具编号	描述	进入异物禁区的日期	移出异物禁区的日期	持有人姓名

表格 5。异物排除 (FME) 物料登记表

材料	描述	进入异物禁区的日期	移出异物禁区的日期	持有人姓名

表格 6。异物排除 (FME) 确认表

技术总监: _____

通过签署此表格，我确认已接受必要的培训，了解此工作中使用的 FME 程序。

[illegible]

7643 (7/18)

附录 E 替代服务提供商

E.1 替代服务提供商 (ASP) 的服务和部件的审核和检验程序指南

应根据客户审核和检验 (A&I) 程序进行设备相关服务和/或部件的采购，以确保采购优质的部件和服务。

适用于所有服务和部件：

- A. 服务提供商应拥有记录在案且可验证的质量保证和质量控制 (QA/QC) 计划，该计划应包括所有部件和材料的完整可追溯性。
- B. 服务提供商应拥有记录在案且可验证的质量保证和质量控制 (QA/QC) 计划，该计划应涵盖与所采购服务相关的各个环节，包括规格、采购、制造、库存、检验、测试、运输、存储、安装检查和调试等内容。
- C. 该程序至少还应涵盖以下开列的适合所采购的服务或部件的内容。本指南不应被视为完整的指南，而应被视为制定详细的审核和检验程序的起点。
- D. 采购方或由采购方指定的负责采购服务/或部件的一方应实施验收与检验程序。

E.2 现场检验和出厂检验服务

提供的检验服务可能包括多种类型的无损检验 (NDE)。在采购这些服务时：

- A. 检验员应具有所执行的检验类型和所检验的特定部件的相关经验。除了这些经验之外，还要确保检验员了解 OEM 推荐的检验程序（或同等程序）以及 OEM 的验收标准。
- B. 如果提供了 NDE 服务，NDE 技术员应至少有 ASNT SNT-TC-1A 的 II 级认证资格（或同等的国家认可标准）。
- C. 推荐的做法是采用 ASNT SNT-TC-1A，其为雇主建立内部 NDE 人员认证的成文计划提供了指导。这与 ASNT 认证不同，因为公司可以定制其内部认证以满足其最低需求。
- D. 服务的提供应基于经证实可行的（或称合格的）文件化程序进行或有必要的可追溯性。
- E. 服务提供商应遵守严格的异物排除 (FME) 程序（参见附录 D）。

E.3 现场维护和支持服务

所提供的现场维护和支持服务（现场服务）可能包括技术性工作、现场技术指导和无损检测服务。在采购这些服务时：

- A. 服务提供商应使用有适当技能、经过培训、经验丰富的在册工程师和技师。NDE 人员应具有其所应用技术的适当级别的认证。
- B. 服务提供商应遵循行业既定的良好工程实践、流程和程序。服务的提供应根据证实可行的文件化程序进行。
- C. 服务提供商应严格遵守异物排除程序。
- D. 服务提供商应拥有（或有权获得）必要的车间生产制造能力。所述车间应有包括关键设备性能检测的质量控制记录。
- E. 服务提供商应有所有现场服务和安装人员的书面培训记录。
- F. 如出现在现场无法得到充分解决的问题，服务提供商应有必要的支持人员。
- G. 服务提供商提供的所有工具都应经过必要的检验并确定为适合用于维修，特别是起重设备。

E.4 返修服务

设备检验、测试和维护的一个重要内容是对部件进行修复，以延长其使用寿命。修复过程可能涉及许多专业，例如熟练工人、有损和无损检验人员以及工程支持。当零件被送到检修车间进行修复时，请确保满足以下要求：

- A. 该生产设施应对所执行的修复类型和所修复的特定部件拥有相关经验。此外，任何检验服务均应符合本文件 C.1.1 节的规定。
- B. 服务提供商应制定完善的书面计划，确保使用具备适当技能、经过培训和经验丰富的人员。服务提供商应有参与修复的全部人员的书面培训记录。服务提供商应遵循行业既定的良好工程实践、流程和程序。
- C. 该服务提供商（或经准供应商）应具有必要的修复能力，以及关键部件性能检测相关的质控记录。
- D. 服务提供商应能获得用于置换维修中报废零件的置换件。服务提供商应验证用来更换的零件的适用性（其使用历史或已使用情况记录），是否可再用于一次或多次维修间隔。
- E. 服务提供商应核实维修过程中使用的所有耗材的来源，例如焊丝、填充料、钎焊材料等。诸如钎焊和/或焊接等修复应进行工程评估。这包括通过冶金分析验证维修方法是否适合特定的用途、材料和温度，并确保使用经过认证的工艺和持证焊工进行操作。
- F. 对维修过程中所需的各类硬件（例如销钉、密封件等）服务提供商应能给出充分且可验证的来源。
- G. 服务提供商应有成文的、证实可行的维修程序，确保生产质量的可重复性以满足 OEM 规格要求。修复流程应包括如何执行程序步骤的详细规范说明：
 - 1. 记录相关部件的零件号、序列号、自上次维修和原始制造以来的累积运行历史。
 - 2. 进货图片、尺寸、NDE 和缺陷测绘/照片
 - 3. 根据需要进行基材冶金分析，以验证材料成分和性能
 - 4. 子组件的部件的拆卸
 - 5. 清洁
 - 6. 基于成文、合格程序的 NDE 方法
 - 7. 热处理
 - 8. 按照合格程序进行焊接和钎焊修理，根据与基材的兼容性，使用经过认证的填充材料
 - 9. 预热和焊后应力消除热处理（如果需要）
 - 10. 对修复后的部件进行加工，以匹配所需的尺寸。
 - 11. 再涂装和扩散热处理（如果需要）
 - 12. 子组件的重新组装
 - 13. 质控检查/质保检验、最终测试等。

在第一个部件经适用程序加工和满足质量要求后，则加以利用该经证实（合格）的维修程序和工艺规范，以确保能重复产生所要求的质量。未来对维修流程和程序的任何改进都应启动对合格性的重新评估，要按变更管理的修订流程来记录相关的变更。有必要在特定情况下使用修订后流程，以确保产生可重复的质量。

E.5 售后部件（逆向工程和重新设计）

在使用售后部件之前，供应商应已评估 OEM 的部件设计并确定部件性能是否有问题（即过早氧化、开裂、磨损或故障）。如果没有问题并且不存在专利侵权的问题，则满足下列质量标准的逆向工程部件是可接受的替代办法。如果部件存在已知问题，则可以接受符合下列标准的重新设计的部件。

E.5.1 逆向工程部件

如果相关的所有者提供了样本作为逆向工程部件的建模基础，则该所有者应了解，为精确地量化该部件，其可能在金相分析时被损坏或毁坏。通过逆向工程制造的新零件数量，在统计意义上一般认为不能少于六个，以确保部件特性精度。

用于测量逆向工程部件的样品应尺寸准确且在适当的公差范围内。3D 测量应使用可重复的测量技术进行，例如激光、白光、计算机断层扫描 (CT) 或 X 射线扫描。

相关部件、涂层（如需要）和子组件的部件中使用的所有合金的识别和复制，应通过光谱分析或等效方法来确定。所有必要且适当的冶金表面处理应予识别并包括在内。

如果与 OEM 标准有任何偏差（例如替代合金或其他材料），其在使用之前应进行评估并确定是否可以接受。

应聘请适当的专业人才（公司内、外）来协助制定冶金和其他相关技术规范，用于购买逆向工程部件。

E.5.2 重新设计的部件

如果在运行中某个部件常发生问题（即故障），替代服务提供商应在制造部件之前重新设计该部件以解决相关的问题。在另一种情况下，即为了避免潜在的专利侵权问题，替代服务提供商也可能选择重新设计部件。

E.5.3 设计流程

根据需要，供应商可使用设备测试、实验室测试、计算机模型等手段来分析部件任何问题的潜在根本原因。

对于存在已知问题的部件，应重新进行设计以消除问题（利用最先进的、普遍接受的最新分析工具和测试）。

重新设计的部件对其他部件和设备整机性能的影响，应作为重新设计过程的一部分进行评估。供应商应建立一个包含工程设计过程所有步骤的书面程序。

供应商应愿意向该所有者和 FM 充分披露其设计的合理性，以及在重新设计或实施修改中采用的可实质性地改变现有设备性能的任何假设。

E.5.4 验证/测试过程

供应商对其设计变更的验证过程应包括谐振频率裕度的验证。

供应商应具有测试能力，用于证明重新设计的部件将按照预期用途的要求运行。重新设计的部件或部件组合不应设备的其余部分产生重大影响，除非对所有受影响部件进行的分析最终表明，受影响部件在所有运行条件下都不会受到不利影响。

必要时应使用额外的仪器对重新设计的部件进行测试，以协助评估新设计的性能。

应额外进行定期检验，直至证明部件适合设备内的操作环境 and 应用，并满足目标维修和更换间隔要求。

E.5.5 制造过程

零部件供应商应有书面的质量保证/质量控制程序，可供业主核查。

质保/质控程序应明确说明零件供应商如何监控和保证各级分包商（包括原材料供应商）提供的所有工作的质量。

零部件供应商应保证其材料合规，并且根据材料识别程序的要求，所有材料证书具有完整的可追溯性。

零部件供应商应向业主提供关键制造数据以供核查，例如主要热化学分析、高分辨率射线照片、粘结层和面漆认证以及所使用的全部涂层的分析（如果需要）以及显示温度时间的热处理文件。

E.6 工业控制系统 (ICS) 升级/替换

工控系统应为设备提供完整、可靠、先进的控制、监测、排序和紧急保护功能。

服务提供商应遵循行业既定的良好工程实践、流程和程序。

服务提供商应详细了解特定设备的型号和组态设置。

服务提供商应了解所使用的控制平台的优缺点，包括响应率和采样率。服务提供商应该能够阐明所提供的控制平台与被替换的系统相比如何，并能够处理新系统任何明显的相对弱点。

服务提供商应了解所提供的控件硬件的已知故障模式，并且应有这些故障模式发生的应对准备以及如何采取防范措施。

工控系统应包含设备 OEM 所推荐的全部保护系统。

保护系统应有充分的冗余配置，使得在出现单一故障的情况下不会导致设备的跳闸或阻止设备跳闸。

应提供系统诊断，作为工控系统的组成部分。在工程师工作站和操作人员工作站，仪表和控制故障应能被自动识别和定位。每次设备故障都应该有故障报警。

新的/修改的系统应提供测试保护系统的能力。如果拟采用系统具有自诊断功能，被认为是不需要进行单独测试的，则供应商应给出相关文件，证明该自诊断功能足以消除单独测试系统部件的需要。

作为调试流程的一部分，应进行全面的工厂验收测试（包括关键辅助系统），以确保系统按预期工作。应对硬件进行物理测试以确保其正常运行。

全面的现场验收测试（包括关键辅助系统）应作为调试计划的一部分进行，以确保系统按预期工作。

E.7 替代服务提供商 (ASP) 服务协议

服务协议是涉及提供更换零件、零件翻新、检验服务、现场服务、监控和诊断 (M&D)、库存管理和合同管理等事宜的协议。与替代服务提供商签订服务协议类型的合同时，应考虑本数据册的审计和检验部分中提出的所有适用注意事项。

应对任何正在考虑的 ASP 服务协议的服务提供商进行财务和技术尽职调查。这种尽职调查应把根据服务协议提供零件或服务的任何子供应商包括在内。

在生产被迫中断的情况下，供应商应能够及时提供零部件和服务。

如果 ASP 无法按照合同履行，业主应保留从 OEM 或其他来源采购零件和服务的权利。

如果服务协议的服务提供商正在采购新的替代服务提供商零件并且不直接控制制造过程，则服务协议承包商应制定适当的计划来保证零件质量并遵守“审核和检验”程序指南中给出的指南。

如果服务协议承包商计划在资源共享安排中提供翻新的、灰市的或者二手的组件，那么供应商应该保证零件的来源（即自生产以来的操作历史、自上次修复以来的操作历史，以及其他关键历史参数），以确保这些零件适合设备预期的使用。

所有者应保留以下权利：利用第三方承包商/顾问的服务协助进行设备停运监控、零件翻新流程或在发生故障时进行根本原因分析 (RCA)。