

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

AQ

中华人民共和国安全生产行业标准

AQ/T XXXXX—20XX

化工装置老化评估方法

Ageing assessment methods for chemical plants

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2025.6)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

20XX - XX - XX 实施

中华人民共和国应急管理部 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
5 老化评估流程与步骤	3
6 设备老化评估	4
7 单元老化评估	8
8 装置老化评估	8
附录 A（规范性） 关键设备服役时间评估	9
附录 B（规范性） 非计划停工情况评估	10
附录 C（规范性） 设备缺陷状况评估	11
附录 D（规范性） 老化机理及严重程度评估	12
附录 E（规范性） 设备完整性管理水平评估	13
附录 F（规范性） 检验检测策略及结果有效性评估	15
附录 G（规范性） 动设备能效及运行状况评估	16
附录 H（规范性） 腐蚀防护有效性评估	17
附录 I（规范性） 工艺平稳运行水平评估	18
附录 J（规范性） 仪控设备老化评估	21
参考文献	23

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国应急管理部提出。

本文件由全国安全生产标准化技术委员会化学品安全分技术委员会（SAC/TC 288/SC 3）归口。

本文件起草单位：中石化安全工程研究院有限公司、应急管理部化学品登记中心、中国寰球工程有限公司、中国石化工程建设有限公司、中国特种设备检测研究院、中国石油化工股份有限公司茂名分公司、中国石油化工股份有限公司广州分公司、中国石油化工股份有限公司金陵分公司、中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司、中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司、中国石化扬子石油化工有限公司、中国石化上海石油化工有限公司。

本文件主要起草人：……

化工装置老化评估方法

1 范围

本文件规定了化工装置老化评估的基本要求、老化评估流程与步骤，设备老化评估、单元老化评估与装置老化评估方法。

本文件适用于危险化学品生产、使用危险化学品从事生产的化工企业的装置、设备。其他化工企业、危险化学品经营(带储存)企业装置、设备老化评估可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 26610	承压设备系统基于风险的检验实施导则
GB/T 29531	泵的振动测量与评价方法
GB/T 30579	承压设备损伤模式识别
GB 32284	石油化工离心泵能效限定值及能效等级
GB/T 44692.1	危险化学品企业设备完整性 第1部分：管理体系要求
GB/T 44692.2	危险化学品企业设备完整性 第2部分：技术实施指南
DL/T 393	输变电设备状态检修试验规程
DL/T 596	电力设备预防性试验规程
SH/T 3059	石油化工管道设计器材选用规范
SH/T 3096	高硫原油加工装置设备和管道设计选材导则
SH/T 3129	高酸原油加工装置设备和管道设计选材导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

老化 ageing

设备、系统的特性随时间或使用逐渐变化的过程。

注：老化包括实物老化和过时，实物老化是指设备、系统由于物理、化学和/或生物等作用而发生的老化；过时是指设备、系统相比当前知识、技术、法规、标准变得陈旧或落后的过程。

3.2

老化指数 ageing factor

用于表征设备、单元、装置等评估对象老旧程度的无量纲数。

3.3

老化机理 ageing mechanism

设备、系统老化的特定机制。

3.4

老化评估 ageing assessment

分析设备、系统老化相关信息，并确定其当前和未来在验收准则范围内执行功能能力的过程。

3.5

老化管理 ageing management

针对设备的变形、破裂、性能退化等老化效应及其影响，使设备的安全功能在企业服役生命周期内得到保证而开展的活动。

3.6

关键设备 critical equipment

生产系统中起主导、关键作用的设备，这类设备一旦发生故障，会严重影响生产均衡、人身安全，造成巨大的经济损失和严重的社会后果。

3.7

关键回路 critical loop

含危险物料、危险能量，对装置运行和安全起关键作用，或者定级为SIL1及以上的控制回路。

3.8

老化速度 deterioration rate

在设备使用过程中，因老化原因导致设备性能退化的快慢。

3.9

设备完整性管理 equipment integrity management

在设备全生命周期内，基于风险和体系化的思维，采取规范管理和改进技术相结合的方法，并实施持续改进，以保证设备在物理上和功能上是完整的，符合其预期的功能和用途的管理活动。

3.10

腐蚀适应性评估 corrosion adaptability evaluation

根据生产装置原料中腐蚀性介质含量及其分布情况，在一定工况条件下，核算有关工艺设备和管线的材质对腐蚀性介质的耐受能力，同时对设备和管线所用材质与相关标准规范进行核对，结合装置实际生产运行情况等找出存在或可能存在腐蚀隐患，并提出适宜的和可操作的解决方案。

3.11

实测腐蚀速率 measured corrosion rate

根据装置运行期间的定点测厚、在线监测技术（如腐蚀探针、在线测厚等）、停工期间的离线测厚、腐蚀挂片等腐蚀监测方式直接获取的腐蚀速率或通过获取的数据计算得到的腐蚀速率。

3.12

带电检测 energized test

在运行状态下对设备状态量进行的现场检测，一般采用便携式检测设备进行短时间的检测，有别于连续或周期性的在线监测。

3.13

工业仪表控制系统 industrial instrument control system

包括分散控制系统DCS、安全仪表系统SIS、可燃有毒气体检测系统GDS、数据采集和监控系统SCADA、可编程逻辑控制器PLC系统、工业控制计算机系统IPC（含嵌入式计算机系统）、机组控制系统CCS等。

4 基本要求

4.1 企业应对已达到设计使用年限、未规定设计使用年限但实际使用超过 20 年的化工装置开展老化评估。

4.2 企业在开展老化评估时应识别和确定影响装置老化的因素，在确定老化机理的前提下，结合企业的管理措施和技术手段进行综合评估。

4.3 化工装置老化评估应按照设备、单元、装置的次序进行评估，获取老化指数。

4.4 影响化工装置老化指数获取的因素包括但不限于：

- a) 关键设备服役时间；
- b) 非计划停工次数；
- c) 设备缺陷或故障状况；
- d) 老化机理及严重程度；
- e) 设备完整性管理水平；
- f) 检验检测策略及结果有效性；
- g) 动设备能效及运行状况；
- h) 腐蚀防护有效性；

- i) 工艺平稳运行水平;
 - j) 仪控设备老化。
- 4.5 化工装置老化评估应根据装置所属设备类型的不同, 选择相应的因素开展评估。
- 4.6 化工装置老化评估应定期开展并形成老化评估报告, 报告中应明确下次老化评估的时间, 原则上评估周期不应超过 5 年, 当装置出现因设备老化导致的严重故障甚至是事故事件时, 应开展针对性的老化评估。
- 4.7 企业应通过获取的设备老化指数、单元老化指数、装置老化指数确定当前设备、单元、装置的老化状况, 并分析影响装置老化的薄弱环节, 采取相应的老化管理措施。
- 4.8 通过老化管理措施, 在设备老化指数得到改善的情况下, 单元老化指数、装置老化指数应进行相应计算调整, 并根据新的老化指数确定老化管理措施。

5 老化评估流程与步骤

5.1 老化评估流程

化工装置老化评估应按照图1规定的程序开展。

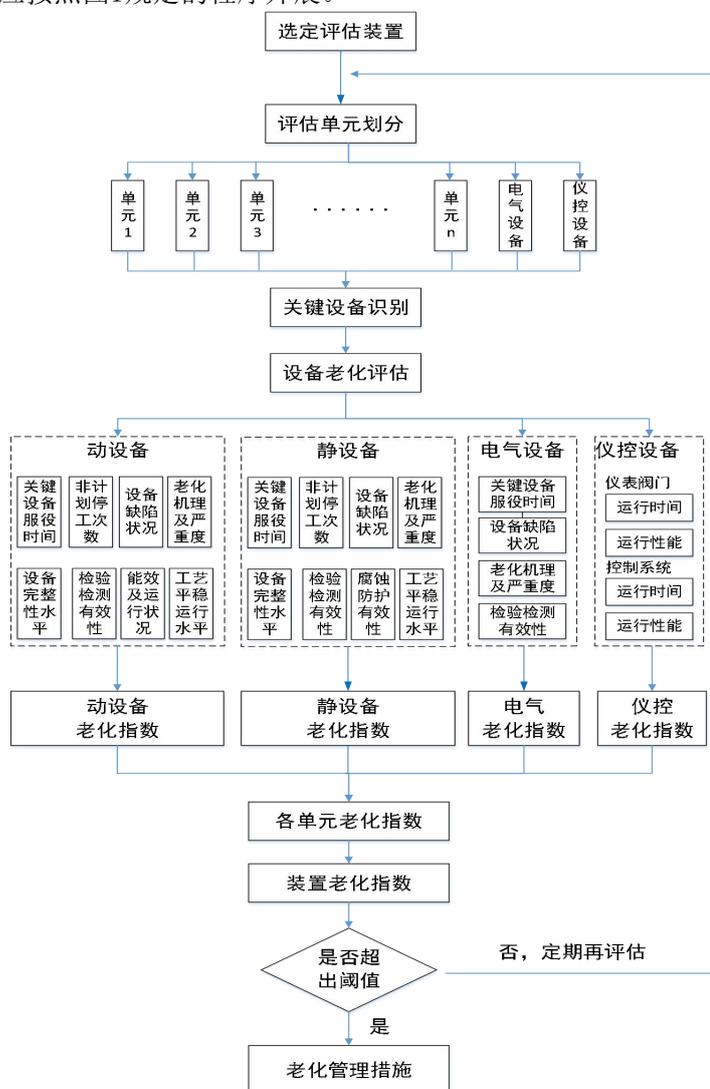


图 1 化工装置老化评估流程

5.2 评估单元划分

企业应基于评估装置工艺流程将评估装置划分为若干老化评估基本单元。动设备、静设备按照装置工艺流程划分评估单元，电气设备与仪控设备分别按照独立单元进行评估。

5.3 关键设备识别

企业应按照GB/T 44692.2对设备进行等级评价，确定老化评估的关键设备。

5.4 老化评估过程

动设备、静设备、电气设备和仪控设备应根据专业要求开展对应关键设备的老化评估，获取设备的老化指数，并以此为基础获取单元的老化指数，最终获取装置的老化指数。

5.5 老化评估结果

根据设备、单元和装置老化指数，判定设备、单元、装置的老化状况，并确定控制措施和下次评估日期。

6 设备老化评估

6.1 评估内容

6.1.1 动设备老化评估内容包括但不限于：

- a) 关键设备服役时间；
- b) 非计划停工次数；
- c) 设备缺陷状况；
- d) 老化机理及严重程度；
- e) 设备完整性管理水平；
- f) 检验检测策略及结果有效性；
- g) 能效及运行状况；
- h) 工艺平稳运行水平。

应按照表1规定的内容进行评估。

表 1 动设备老化评估内容

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
1	关键设备服役时间	通过设备使用时间和设计年限评估	0: $f \leq 50\%$ 1: $50\% < f \leq 75\%$ 2: $75\% < f \leq 100\%$ 3: $100\% < f \leq 150\%$ 4: $f > 150\%$	设备层级	1	应符合附录A
2	非计划停工次数	通过非计划停工次数/总停工次数评估	0: $f = 0$ 1: $0 < f \leq 10\%$ 2: $10\% < f \leq 25\%$ 3: $25\% < f \leq 50\%$ 4: $f > 50\%$	装置层级	0.75	应符合附录B
3	设备缺陷状况	通过单元内缺陷设备占比以及设备本体缺陷情况评估	0: $f \leq 10\%$ 1: $10\% < f \leq 20\%$ 2: $20\% < f \leq 30\%$ 3: $30\% < f \leq 40\%$ 4: $f > 40\%$	单元层级	0.75	应符合附录C

表1 动设备老化评估内容（续）

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
4	老化机理及严重程度	通过对故障模式的检测能力、老化速度、后果三个方面综合评估	0: 一级 1: 二级 2: 三级 3: 四级 4: 五级	设备层级	1.5	应符合附录D
5	设备完整性管理水平	通过评审风险管理、缺陷管理、维护维修、变更管理等综合评估	0: 运行优秀(90-100%) 1: 运行良好(80-90%) 2: 运行一般(60-80%) 3: 体系运行差(40-60%) 4: 未建立(0-40%)	装置层级	1	应符合附录E
6	检验检测策略及结果有效性	通过检验检测策略、采用的技术手段以及结果综合评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	设备层级	1.25	应符合附录F
7	能效及运行状况	通过能效、振动情况及维修情况综合评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	设备层级	1	应符合附录G
8	工艺平稳运行水平	通过报警情况、控制回路投用情况等评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	装置层级	0.75	应符合附录I

6.1.2 静设备老化评估内容包括但不限于：

- a) 关键设备服役时间；
- b) 非计划停工次数；
- c) 设备缺陷状况；
- d) 老化机理及严重程度；
- e) 设备完整性管理水平；
- f) 检验检测策略及结果有效性；
- g) 腐蚀防护有效性；
- h) 工艺平稳运行水平。

应按照表2规定的内容进行评估。

表2 静设备老化评估内容

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
1	关键设备服役时间	通过设备使用时间和设计年限评估	0: $f \leq 50\%$ 1: $50\% < f \leq 75\%$ 2: $75\% < f \leq 100\%$ 3: $100\% < f \leq 150\%$ 4: $f > 150\%$	设备层级	1	应符合附录A
2	非计划停工次数	通过非计划停工次数/总停工次数评估	0: $f = 0$ 1: $0 < f \leq 10\%$ 2: $10\% < f \leq 25\%$ 3: $25\% < f \leq 50\%$ 4: $f > 50\%$	装置层级	0.75	应符合附录B

表2 静设备老化评估内容（续）

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
3	设备缺陷状况	通过单元内缺陷设备占比以及设备本体缺陷情况评估	0: $f \leq 10\%$ 1: $10\% < f \leq 20\%$ 2: $20\% < f \leq 30\%$ 3: $30\% < f \leq 40\%$ 4: $f > 40\%$	单元层级	0.75	应符合附录C
4	老化机理及严重程度	通过对损伤模式的检测能力、老化速度、后果三个方面综合评估	0: 一级 1: 二级 2: 三级 3: 四级 4: 五级	设备层级	1.5	应符合附录D
5	设备完整性管理水平	通过评审风险管理、缺陷管理、维护维修、变更管理、员工能力等综合评估	0: 运行优秀(90-100%) 1: 运行良好(80-90%) 2: 运行一般(60-80%) 3: 体系运行差(40-60%) 4: 未建立(0-40%)	装置层级	1	应符合附录E
6	检验检测策略及结果有效性	通过检验检测策略、采用的技术手段以及结果综合评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	设备层级	1.25	应符合附录F
7	腐蚀防护有效性	通过材质适应性、腐蚀介质指标合格率、防护层状况综合评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	设备层级	1	应符合附录H
8	工艺平稳运行水平	通过报警情况、控制回路投用情况等评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	装置层级	0.75	应符合附录I

6.1.3 电气设备老化评估内容包括但不限于：

- a) 关键设备服役时间；
- b) 设备缺陷状况；
- c) 老化机理及严重程度；
- d) 检验检测策略及结果有效性。

应按照表3规定的内容进行评估。

表3 电气设备老化评估内容

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
1	关键设备服役时间	通过设备使用时间和设计年限评估	0: $f \leq 50\%$ 1: $50\% < f \leq 75\%$ 2: $75\% < f \leq 100\%$ 3: $100\% < f \leq 120\%$ 4: $f > 120\%$	设备层级	1.5	应符合附录A
2	设备缺陷状况	通过单元内缺陷设备占比以及设备本体缺陷情况评估	0: $f \leq 10\%$ 1: $10\% < f \leq 20\%$ 2: $20\% < f \leq 30\%$ 3: $30\% < f \leq 40\%$ 4: $f > 40\%$	单元层级	0.5	应符合附录C

表3 电气设备老化评估内容（续）

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
3	老化机理及严重程度	通过对故障模式的检测能力、老化速度、后果三个方面综合评估	0: 一级 1: 二级 2: 三级 3: 四级 4: 五级	设备层级	0.75	应符合附录D
4	检验检测策略及结果有效性	通过检验检测策略、采用的技术手段以及结果综合评估	0: 优秀 1: 良好 2: 中等 3: 一般 4: 差	设备层级	1.25	应符合附录F

6.1.4 仪控设备老化评估内容包括控制系统卡件和关键回路的仪表阀门的运行时间、运行性能和后果，应按照表4规定的内容进行评估。

表4 仪控设备老化评估内容

序号	评估因素	评估方式	评估等级	评估层级	权重因子	评估内容
1	关键设备服役时间	通过设备使用时间和设计年限评估	控制系统：服役时间分数+性能分数 仪表阀门：服役时间分数+性能分数 综合结果取控制系统和仪表阀门的最大值。	设备层级	1	应符合附录J
2	关键设备运行性能	通过单元内非正常精度个数和装置完整运行周期内更换个数评估	0: $f \leq 70\%$ 1: $70\% < f \leq 100\%$ 2: $100\% < f \leq 130\%$ 3: $130\% < f \leq 140\%$ 4: $f > 140\%$	设备层级	1	

6.2 设备老化指数

6.2.1 装置各单元的动设备、静设备和电气设备按照老化评估因素开展评估获得等级后，利用公式(1)计算得到设备的老化指数。

$$E_a = \frac{\sum \rho_i \times A_i}{\sum \rho_i} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

E_a —设备老化指数；

A_i —评估因素；

ρ_i —评估因素权重因子。

6.2.2 装置各单元的仪控设备按照老化评估因素开展评估获得等级后，利用公式(2)计算得到设备的老化指数。

$$L = \max(T_1 + Q_1, T_2 + Q_2) \quad (2)$$

式中：

L—仪控设备老化等级；

T_1 —控制系统时间系数；

Q_1 —控制系统性能系数；

T_2 —仪表阀门时间系数；

Q_2 —仪表阀门时间系数。

6.2.3 按照表 5 利用设备老化指数 E_a 判定设备老化状态。

表 5 老化状况评估要求

装置老旧程度	老化指数	处置建议	评估周期
低	0~1	当前应对措施有效，建议持续改进。	原则上不超过五年
中	1~2	得到一定控制，应保持关注并择期改善。	3-5 年
较高	2~3	应在限定时间内采取有效措施降低风险。	限期整改后再评估，根据评估结果确定评估周期
高	3~4	应立即采取有效措施降低风险。	立即整改后再评估，根据评估结果确定评估周期

7 单元老化评估

7.1 在设备老化评估的基础上，开展各单元的老化评估，评估时应注意评估设备样本数量的合理性。

7.2 通过各单元中动、静、电气设备老化指数的平均值与正标准差修正获得单元老化指数，计算公式见公式(3)和公式(4)。

$$U_a = \frac{\sum_1^N E_a}{N} + S \dots\dots\dots (3)$$

$$S = \text{sqrt}\left(\left(\left(E_1 - \frac{\sum_1^N E_a}{N}\right)^2 + \left(E_2 - \frac{\sum_1^N E_a}{N}\right)^2 + \dots\dots\dots \left(E_n - \frac{\sum_1^N E_a}{N}\right)^2\right)/n\right) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

U_a —单元老化指数；

E_a —某设备老化指数；

N —单元内老化评估设备数量；

S —设备老化指数的正标准差；

n —老化指数高于单元平均老化指数的设备数量。

7.3 根据附录 J 中的计算方法计算控制系统时间评估等级和性能评估等级以及仪表阀门时间评估等级和性能评估等级，仪控设备单元老化指数取控制系统评估等级和仪表阀门评估等级二者中的最大值。

7.4 按照表 5 利用单元老化指数 U_a 判定单元老化状态。

7.5 应根据不同的单元老化指数水平，分析导致单元老化指数增高的原因，采取相应的老化管理措施。

8 装置老化评估

8.1 装置老化指数 P_a 用装置中最差单元的老化指数表示。

8.2 按照表 5 利用装置老化指数 P_a 判定装置老化状态。

8.3 应根据不同的装置老化指数水平，分析导致装置老化指数增高的原因，采取相应的老化管理措施。

附 录 A
(规范性)
关键设备服役时间评估

A.1 设计使用年限

动设备、静设备的设计使用年限应以设计单位出具的年限为准，未按规定设计使用年限的设备原则上以20年作为设计使用年限。

电气设备原则上以表A.1中推荐年限作为设计使用年限，对于仪控设备，原则上控制系统以12年作为设计年限，仪表阀门以15年作为设计年限。

表 A.1 电气设备推荐使用年限

分类	设备类型	关键回路	重要回路
变配电设备	6~10kV配电变压器、接地变压器、消弧线圈、互感器、电抗器、电容器	15年	20年
	6~35kV中高压断路器（柜）	15年	20年
	低压开关柜	15年	20年
电缆和架空线	电力电缆（含附件）	15年	20年
旋转电机	电动机（同步电动机、异步电动机）	20年	30年
继电保护及安全自动装置	微机继电保护装置	10年	12年
调度自动化、变电站综合自动化系统、微机防误系统	通讯管理机、交换机、远动装置等	8年	12年
	服务器、工作站		12年
不间断电源	直流电源成套装置（电力用）		12年
	UPS不间断电源		10年
	EPS不间断电源		15年
	蓄电池组	6年	8年
其他电力电子设备	变频器及成套设备	10年	12年

A.2 服役时间

设备的服役时间按照评估时间与投用时间的差值计算为设备服役时间，以年为单位。

A.3 服役时间评估

按照设备服役时间与设计使用年限的比值进行评估，动设备按照表1、静设备按照表2、电气设备按照表3的方法确定评估等级。应对待评估的每台设备进行评估，并确定等级。

附 录 B
(规范性)
非计划停工情况评估

B.1 非计划停工次数

应对评估装置自投用日期以来的非计划停工次数进行统计，若受限，至少应统计近五年的非计划停工次数。

B.2 停工次数

装置的停工次数应包括非计划停工次数和正常计划停工次数，应对评估装置自投用日期以来的正常计划停工次数进行统计，若受限，至少应统计近五年的正常计划停工次数。

B.3 非计划停工情况评估

按照非计划停工次数与装置停工次数的比值进行评估，动设备按照表1、静设备按照表2的方法确定评估等级。

B.4 非连续生产型化工装置

若待评估装置为非连续生产型化工装置，可用实际产量与计划产量的比值作为本项因素的替代性评估结果。

附 录 C
(规范性)
设备缺陷状况评估

C.1 设备缺陷数量统计

企业应按照GB/T 44692.1和GB/T 44692.2建立缺陷管理要求，通过缺陷台账、检验报告、历史检维修情况以及现场复核发现缺陷情况，统计评估设备所在单元内发生设备缺陷的数量，并列出缺陷情况，原则上应对评估装置自投用日期以来的缺陷情况进行统计，若受限，应统计不少于3年的缺陷情况。

C.2 设备缺陷状况评估

通过单元内发生缺陷的设备数量/单元内设备总数量计算缺陷设备占比。发生故障类缺陷的评估设备，应给予1.2倍的修正，修正后按照动设备按照表1、静设备按照表2、电气设备按照表3的方法进行评级。若由该设备的缺陷导致装置非计划停工，则该设备缺陷状况直接判定为4级。

附 录 D
(规范性)
老化机理及严重程度评估

D.1 老化机理的识别

静设备应按照GB/T 30579开展设备老化机理的识别。

D.2 老化机理及严重程度评估

采用特定故障/损伤模式的检测能力、老化速度和后果综合评估。动设备评估时应进行故障模式分析，静设备评估时应进行腐蚀回路分析，在此基础上确定损伤模式。当单一设备面临多种故障/损伤模式时，检测能力、老化速度、后果取不同损伤模式下的最高值。

D.3 老化机理及严重程度评估标准

老化机理及严重程度按照表D.1进行评估。

表 D.1 老化机理及严重程度评估标准

故障/损伤模式	检测能力	老化速度	后果	评估等级
具体故障模式/损伤模式	易于检测（宏观检查）	20 年以上	设备功能损失	0
	相对容易（无损检测）	10 年~20 年	有害物质轻微泄漏	1
	相对困难（破坏性检测）	5 年~10 年	有害物质一般泄漏	2
	难以检测	2 年~5 年	有害物质较大泄漏	3
	无法检测	小于 2 年	有害物质严重泄漏	4

附录 E
(规范性)
设备完整性管理水平评估

E.1 评审要素设置

设备完整性管理水平评估评审要素包括合规管理、风险管理、维护维修、变更管理、缺陷管理，按照表E.1计分规则进行评价。

表 E.1 评审要素设置

序号	评审要素	评审方式
1	合规管理	可以结合安全设计诊断进行
2	风险管理	现场复核、资料查阅
3	缺陷管理	现场复核、资料查阅
4	维护维修	现场复核、资料查阅
5	变更管理	现场复核、资料查阅

E.2 评估方法

按照评审要素计分得到实际分数，通过实际分数与总分数的比值表征评审得分率。

E.3 评估标准

按照表E.2以评审得分率为设备完整性管理水平等级。

表 E.2 设备完整性管理水平评估标准

标识颜色	评审得分率	评估等级
绿色 ■	运行优秀 (90%~100%)	0
蓝色 ■	运行良好 (80%~90%)	1
黄色 ■	运行一般 (60%~80%)	2
橙色 ■	体系运行差 (40%~60%)	3
红色 ■	未建立 (0~40%)	4

E.4 评审内容

设备完整性管理水平评估按照表E.3进行内容评估，最终得出该装置的得分率。

表 E.3 设备完整性管理评审要素及内容

序号	评审要素	评审内容	对应评估表
1	合规管理	(1) 是否开展法律法规、标准规范和其他应遵守的要求的识别，并建立清单； (2) 现行适用的法律法规和标准规范的不符合情况。	合规管理评估表
2	风险管理	(1) 风险识别与风险清单； (2) 风险评价的范围和重点，建立风险可接受准则，使用适宜的风险管理工具对识别的风险进行评估； (3) 定期开展设备风险评估，确保符合生产经营状况和风险控制要求； (4) 根据风险评价结果，采取措施降低风险事件的可能性和后果，将风险控制可在可接受水平； (5) 对风险识别、风险评估、风险控制的有效性定期进行监视与测量。	风险管理评估表

表E.3 设备完整性管理评审要素及内容（续）

序号	评审要素	评审内容	对应评估表
3	缺陷管理	(1) 缺陷识别与缺陷数据的完整性； (2) 根据缺陷数据收集规则，对识别出的缺陷进行分类登记，形成标准化的缺陷数据库； (3) 建立设备缺陷分级标准，组织对设备缺陷开展评估，确定等级； (4) 缺陷得到及时妥当处置； (5) 缺陷是否彻底消除。	缺陷管理评估表
4	维护维修	(1) 识别维护维修过程的质量控制活动； (2) 建立维护维修过程的质量控制程序和标准； (3) 维修工单与返修情况； (4) 预防性维护维修开展情况。	维护维修管理评估表
5	变更管理	(1) 建立、实施和保持变更管理程序； (2) 对设备变更进行分级管理； (3) 严格按照变更流程确定的内容和范围执行； (4) 变更关闭前相应的人员培训、操作规程图纸修改等。	变更管理评估表

附 录 F (规范性)

检验检测策略及结果有效性评估

F.1 评估内容

F.1.1 检验检测及结果有效性通过评估检验检测策略、状态监测配置、检验检测覆盖度、技术有效性以及结果符合性获得，以平均值为评估结果。

F.1.2 在具体评估过程中，基于风险评估的检验检测策略以采取RBI、腐蚀适应性评估、RCM、FMEA、SIL评估等技术手段为重要参考，在结果符合性方面以检验检测结果和停工期间腐蚀检查报告为重要参考。

F.1.3 电气设备检验检测有效性评估应参照DL/T 596、DL/T 393的要求，采用带电检测、在线监测、智能巡检、线上巡检等状态检修或预防性试验手段定期全面开展供电设备缺陷识别及验证，必要时开展停电试验进一步确认。

F.2 评估标准

检验检测策略及结果有效性按照表F.1、表F.2的要求进行评估，其中技术有效性应参考GB/T 26610进行评价。

表 F.1 动设备检验检测策略及结果有效性评估标准

检验检测策略	状态监测配置	技术有效性	结果符合性	评估等级
基于风险评估型	有状态监测	高度有效	无缺陷	0
法规标准型（高标准）	-	中高度有效	轻微缺陷	1
法规标准型（低标准）	无状态检测有测温测振	中度有效	一般缺陷	2
企业良好实践		低度有效	较大缺陷	3
个人经验型	以上均无	无效	严重缺陷	4

表 F.2 静设备、电气设备检验检测策略及结果有效性评估标准

检验检测策略	状态监测配置	技术有效性	结果符合性	评估等级
基于风险评估	80%-100%	高度有效	无缺陷	0
法规标准型（高标准）	60%-80%	中高度有效	轻微缺陷	1
法规标准型（低标准）	40%-60%	中度有效	一般缺陷	2
企业良好实践	20%-40%	低度有效	较大缺陷	3
个人经验型	20%	无效	严重缺陷	4

附 录 G
(规范性)
动设备能效及运行状况评估

G.1 评估内容

- G.1.1 动设备能效及运行状况对设备能效、振动情况以及历史维修情况进行评估。
- G.1.2 根据GB 32284确定能效等级，根据GB/T 29531划分振动区间。必要时应进行现场检测确认。
- G.1.3 对于无能效及振动区间划分的动设备只评估历史维修情况。

G.2 评估标准

能效及运行状况按照下表G.1进行评估。

表 G.1 能效及运行状况评估内容

能效	振动区间	运行状况（维修次数）	评估等级
1级	A	0次	0
2级	B	1次	1
3级	-	2次	2
3级能效值-5%	C	3次	3
小于能效3级-5%	D	4次及以上	4

附 录 H
(规范性)
腐蚀防护有效性评估

H.1 评估内容

H.1.1 腐蚀防护措施有效性评估应基于装置已采取的腐蚀防护措施进行评价，主要包括选材适应性、工艺防腐以及防护层（涂层、衬里）、阴极保护、腐蚀监测手段等内容。

H.1.2 应结合腐蚀回路的划分逐个回路评估设备所用材料的适应性，可采用腐蚀适应性评估、RBI等技术，必要时应进行现场检测验证。

H.2 评估标准

腐蚀防护有效性按照表H.1要求进行评估。

表 H.1 腐蚀防护有效性评估标准

材料适应性	腐蚀介质指标合格率	防护层	综合判定说明	评估等级
所用材质完全符合设计环境下的腐蚀工况要求；有行业长期应用经验，实际腐蚀减薄远低于设计腐蚀裕量；无腐蚀异常记录，或监测数据波动极小，碳钢腐蚀速率 ≤ 0.05 mm/a，或材质未发生环境开裂、材质裂化或其它损伤	技术指标合格率 100%	完好无明显缺陷	防护措施有效	0
材质满足现行设计工况要求；有类似装置应用经验支持，腐蚀减薄在可接受范围；偶有轻微腐蚀，但不影响结构完整性，防护层或监测数据表明性能稳定，碳钢腐蚀速率 ≤ 0.13 mm/a，或材质发生轻微环境开裂、材质裂化或其它损伤但在可接受范围内，无需立即修复	技术指标合格率 $\geq 95\%$ 且 $< 100\%$	基本完好或局部修补	防护基本有效	1
材质与当前腐蚀介质存在轻微不匹配；腐蚀减薄接近设计容限值；有局部轻微腐蚀或局部防护层受损，或历史运行中存在轻度失效记录；尚未造成结构性问题，但需加强监控，碳钢腐蚀速率 $0.13\sim 0.25$ mm/a，或材质发生轻微环境开裂、材质裂化或其它损伤但经修复后不影响设备或部件的正常使用	技术指标合格率 $\geq 90\%$ 且 $< 95\%$	存在缺陷但可控	有一定风险，需跟踪	2
材质选择不符合现行标准或无适用案例支撑；材料部分区域出现点蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀等非均匀腐蚀现象；历史有过失效记录，或检测发现局部严重腐蚀；碳钢腐蚀速率 > 0.25 mm/a，或局部厚度减少明显，或材质发生较严重的环境开裂、材质裂化或其它损伤可能危及设备或部件的正常使用	技术指标合格率 $\geq 85\%$ 且 $< 90\%$	多点失效或局部穿孔	防护效果差，需干预	3
材质本质不适用于当前腐蚀环境；多次发生穿孔、失效、严重减薄等问题；无行业适用经验或未经过验证；腐蚀速率 > 0.5 mm/a，或设计裕量即将耗尽，或发生严重环境开裂、材质裂化或其它损伤已严重影响设备或部件的正常使用	技术指标合格率 $< 85\%$	严重损伤或功能丧失	存在重大隐患，需更换	4

注：腐蚀速率为均匀腐蚀速率，可根据装置根据装置运行期间的定点测厚、在线监测技术（如腐蚀探针、在线测厚等）、停工期间的离线测厚、腐蚀挂片等腐蚀监测检测方式获取的数据计算所得实测腐蚀速率，若受限，可采用理论腐蚀速率。

附 录 I
(规范性)
工艺平稳运行水平评估

1.1 评估标准

通过时平均报警次数、自控投用率、自控性能优良率、平稳率综合评价装置平稳运行水平，评估时按照表I.1进行评估。

表 I.1 工艺平稳运行水平评估

评估等级	时平均报警次数	自控投用率	自控性能优良率	平稳率	综合评价 (四项平均值 f)
1	$r < 6$	$r > 98\%$	$r > 90\%$	$r > 98\%$	优秀: $1 \leq f \leq 2$
2	$6 < r \leq 12$	$90\% < r \leq 98\%$	$80\% < r \leq 90\%$	$95\% < r \leq 98\%$	良好: $2 < f \leq 2.5$
3	$24 < r \leq 12$	$80\% < r \leq 90\%$	$70\% < r \leq 80\%$	$90\% < r \leq 95\%$	中等: $2.5 < f \leq 3$
4	$r \geq 24$	$r \leq 80\%$	$r \leq 70\%$	$r \leq 90\%$	一般: $3 < f \leq 3.5$ 差: $3.5 < f \leq 4$

1.2 时平均报警次数

1.2.1 在指定时间范围内，分析装置DCS每小时的工艺报警数，评估装置的报警频繁情况，反映装置的报警管理及处置水平情况。

1.2.2 数据来源：DCS系统的报警及操作（A&E）事件数据，可通过OPC AE接口实时读取、DCS报警日志导出等方式采集。

1.2.3 指标计算方式

$$A_a = \frac{A_n}{t_a} \dots\dots\dots (I.1)$$

式中：

A_a —装置时平均报警数；

A_n —装置工艺报警累加次数；

t_a —时间范围内小时数；

1.2.4 指标统计所涉及的报警数据应包含各装置所有的工艺报警数据，可以依据报警类型进行识别。

1.3 自控投用率

1.3.1 在指定时间范围内，统计装置实时自控率的平均值，评估装置的自动化水平情况。

1.3.2 数据来源：控制回路的控制模式值（MODE）的历史运行数据，采集频率不低于1次/分钟，可通过OPC DA接口、实时数据库等方式采集。

1.3.3 指标计算公式

(1) 装置自控投用率

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} C_{rt_i}}{n_c} \times 100\% \dots\dots\dots (I.2)$$

(2) 实时自控投用率

$$C_{rt} = \frac{s_c}{s_n - s_m} \times 100\% \dots\dots\dots (I.3)$$

式中：

C_s —装置自控投用率；

n_c —统计时间范围内，实时自控投用率计算次数；

C_{rt} —实时自控投用率；

s_c —装置投自动的控制回路数，当前时刻，装置控制回路处于自动状态的控制回路总数；

s_n —装置所有控制回路的总数；

s_m —装置不参与统计的控制回路数，因报废、先进控制或顺序控制系统替代、开停工、物料或季节变化、仪表日常维护、生产计划安排而间歇性停运等特殊情况经管理部门审批后可不纳入参与统计范围。

1.4 自控性能优良率

1.4.1 在指定时间范围内，统计装置性能优良的控制回路数占有参与评估控制回路的比例，用于评估装置的自动化控制性能及运行效率。

1.4.2 数据来源：控制回路的测量值、设定值、输出值、控制模式值（MODE）等参数的历史运行数据，采集频率不低于1次/分钟，可通过OPC DA接口、实时数据库等方式采集。

1.4.3 指标计算方式：

(1) 自控性能优良率=装置性能优良的控制回路数占有参与评估控制回路的比例

(2) 单回路性能综合评分

$$E_p = (100 - S_u) \times \frac{\sum(a \times S_r + b \times A_c + c \times F_r)}{a + b + c} \dots\dots\dots (I.4)$$

式中：

a、b、c—权重系数，装置控制回路可采用相同的权重系数，也可根据其特性和功能对部分关键回路的权重系数进行调整；

饱和率 S_u —可根据输出值处于限位的时间占统计总时间的百分比进行评估；

平稳率 S_r —可根据控制偏差标准偏差及标准偏差系数进行评估；

准确率 A_c —可根据控制偏差及控制偏差系数进行评估；

快速率 F_r —可根据上升时间与稳态时间进行评估。

(3) 单回路性能按照表I.2定级。

表 I.2 单回路性能定级

性能综合评分	性能定级
90~100	优
80~90	良
70~80	中
0~70	差
0	开环

1.5 平稳率

1.5.1 在指定时间范围内，利用方差法分析关键工艺指标的运行平稳率，评估装置波动情况。

1.5.2 数据来源：关键工艺指标的历史运行数据，采集频率不低于1次/分钟，可通过OPC DA接口、实时数据库等方式采集。

1.5.3 指标计算公式：

(1) 装置平稳率

$$S_r = \frac{\sum(S_{ra})}{t_s} \dots\dots\dots (I.5)$$

式中：

S_r —装置平稳率；

t_s —统计时间范围。

(2) 装置日平稳率

$$S_{ra} = \sum (\sigma) \times \frac{\omega_i}{\sum_1^n \omega_i} \dots\dots\dots (I. 6)$$

式中：

S_{ra} —装置日平稳率。

(3) 单个控制指标日平稳率

$$\sigma = \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \bar{x})^2}}{|\bar{x}|} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (I. 7)$$

式中：

ω —单个控制指标的权重；

n —单装置内控制指标的个数；

σ —单个控制指标的当日运行平稳率；

M —单个控制指标当日有效实时数据的个数；

x_i —单个控制指标当日第 i 个有效实时数据的值；

\bar{x} —单个控制指标当日实时数据平均值。

附 录 J
(规范性)
仪控设备老化评估

J.1 评估方法

设定仪控设备运行时间评估系数为T，运行性能评估系数为Q，通过运行时间和运行性能综合获得仪控设备老化指数。

J.1.1 运行时间评估系数T的计算及等级

设定控制系统运行时间评估系数 T_1 ，表示为：

$$T_1 = \frac{f_1}{15} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n t(i)}{15} \times 100\% \quad (\text{J.1})$$

式中：

f_1 —控制系统卡件平均使用年限；

$t(i)$ —控制系统各卡件使用时长，包括 AI、AO、DI 及 DO 卡件；

n —控制系统包含的总卡件数量，包括 AI、AO、DI 及 DO 卡件。

设定仪表阀门运行时间评估系数 T_2 ，表示为：

$$T_2 = \frac{f_2}{12} \times 100\% = \frac{\sum_{i=1}^p r(i)}{12} \times 100\% \quad (\text{J.2})$$

式中：

f_2 —仪表阀门平均使用年限；

$r(i)$ —各仪表阀门使用时长；

p —仪表阀门总数量。

J.1.2 运行性能评估系数Q的计算及等级

设定控制系统运行性能评估系数 Q_1 ，表示为：

$$Q_1 = \frac{a+b}{n_1+n_2} \times 100\% \quad (\text{J.3})$$

式中：

a —装置完整运行周期内，控制系统 AI、AO 卡件更换（包括非正常精度）的总个数；

b —装置完整运行周期内，控制系统 DI、DO 卡件更换的总个数；

n_1 —控制系统 AI、AO 卡件的总数量；

n_2 —控制系统 DI、DO 卡件的总数量。

设定仪表阀门运行性能评估系数 Q_2 ，表示为：

$$Q_2 = \frac{c+d}{p} \times 100\% \quad (\text{J.4})$$

式中：

c —仪表阀门非正常精度的个数；

d —装置完整运行周期内，仪表阀门更换的总个数；

p —仪表阀门总数量。

按照表J.1得到运行性能评估等级。

表 J.1 仪控设备老旧评价等级计算

范围	等级	精确等级计算(保留1位小数)		该控制回路的综合老旧等级: 取 L_c 和 L_i 的最大值
		控制系统等级 L_c	仪表阀门等级 L_i	
大于 150%	4	4	4	
140%-150%	3-4	$3+(C-140\%)/10\%$	$3+(I-140\%)/10\%$	
130%-140%	2-3	$2+(C-130\%)/10\%$	$2+(I-130\%)/10\%$	
100%-130%	1-2	$1+(C-100\%)/30\%$	$1+(I-100\%)/30\%$	
70%-100%	0-1	$0+(C-70\%)/30\%$	$0+(I-70\%)/30\%$	
0%-70%	0	0	0	
注: 控制系统 $C=T_1+Q_1$; 仪表阀门 $I=T_2+Q_2$				

参 考 文 献

- [1] GB/T 41717—2022 核电厂老化管理与寿命管理术语
- [2] GB/T 23694—2013 风险管理 术语
- [3] GB 32167—2015 油气输送管道完整性管理规范
- [4] GB/T 33172—2016 资产管理 综述、原则和术语
- [5] GB/T 33174—2016 资产管理 管理体系 GB/T 33173 应用指南
- [6] AQ/T 3034—2022 化工过程安全管理导则
- [7] 中华人民共和国安全生产法 中华人民共和国主席令第 13 号
- [8] 特种设备安全监察条例 中华人民共和国国务院令第 549 号
- [9] 危险化学品安全管理条例 中华人民共和国国务院令第 344 号
- [10] valutazione sintetica dell' adeguatezza del programma di gestione dell' invecchiamento delle attrezzature negli stabilimenti seveso.
- [11] Health and Safety Executive RR823:A Summary Guide: Managing Ageing Plant.
- [12] Plant Ageing Study - Phase 1 Report, ESR/D0010909/003/Issue2, A Report prepared for the Health and Safety Executive, 27th February 2009.
- [13] Center for Chemical Process Safety (CCPS): Dealing with Aging Process Facilities and Infrastructure.
- [14] NB/T 20512.2 核电厂运行许可证延续 第 2 部分:机械设备老化管理审查