



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXX—XXXX

智能服务 预测性维护绩效评价方法

Intelligent services - Evaluation method of predictive maintenance efficiency

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 总则	3
5 绩效评价数据要素	5
5.1 概述	5
5.2 巡检时间	5
5.3 停机损失	5
5.4 人工成本	5
5.5 维护确定时间	5
5.6 维护计划时间	5
5.7 维护准备时间	5
5.8 维护时间	5
5.9 材料成本	5
5.10 行政成本	5
5.11 初始投入成本	6
5.12 运行能耗成本	6
5.13 库存成本	6
5.14 生产质量成本	6
5.15 故障频率	6
6 评价指标体系	6
6.1 纠正性维修成本	6
6.2 周期性维护成本	7
6.3 预测性维护成本	8
6.4 运维总成本	9
7 绩效评价流程	9

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这些专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会（SAC/TC 124）归口。

本文件起草单位：

本文件起草人员：

智能服务 预测性维护绩效评价方法

1 范围

本文件规定了设备预测性维护绩效的数据要素、绩效评价体系和绩效评价方法。
本文件适用于工业设备预测性维护实施效果的量化评估，各行业均可参照使用。

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 40571-2021 智能服务 预测性维护 通用要求
GB/T 43555-2023 智能服务 预测性维护 算法测评方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

运维 operation and maintenance

运维是运行和维修的简称，包括运行和维修的全过程

3.2

维修 maintenance

为使产品保持或回复到规定状态所进行的全部活动

3.3

预测性维护 predictive maintenance

根据观测到的状况而决定的连续或间接进行的维护，以监测、诊断或预测构筑物、系统和部件的条件指标。

[来源：GB/T 40571-2021，3.5]

3.4

预防性维护 preventive maintenance

探测、排除或缓解使用中的构筑物、系统或部件降质的活动，以便通过把降质和故障控制在可接受水平来维持或延长其使用寿命。

[来源：GB/T 40571-2021，3.6]

4 总则

预测性维护的应用效果和价值通过计算固定时间段内完整维护过程的成本进行衡量。本标准以评价完整的设备维护过程为基础，获取维护过程数据要素，构建绩效评价体系和评价方法。设备的运维过程、数据要素及评价指标如图 1 所示。

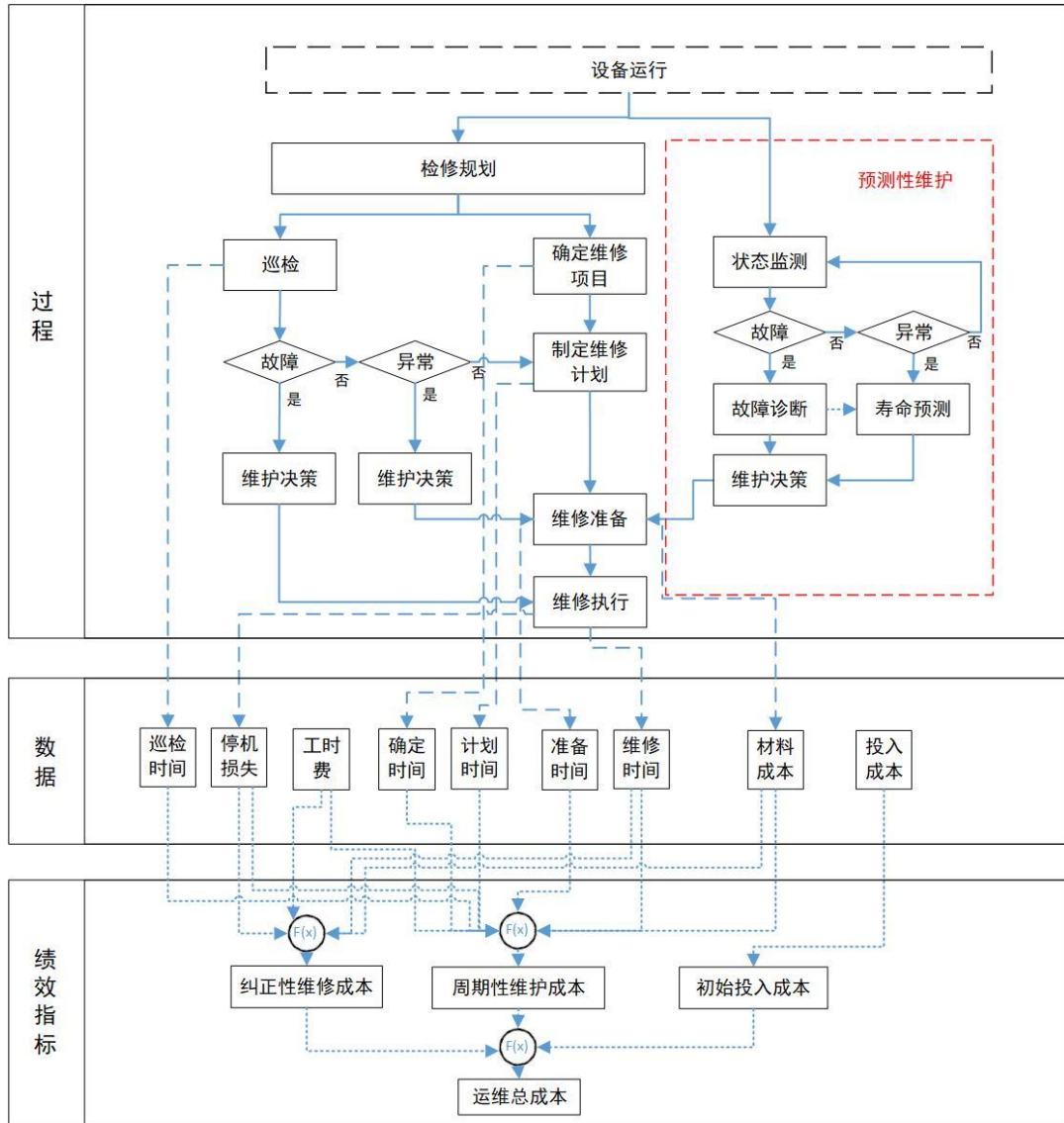


图 1 设备运维过程、数据及绩效指标

设备维护以确定维修项目、制定维修计划、维修准备和维修执行为核心，以检修规划执行、巡检、设备状态监测、故障诊断和寿命预测为触发，通过维修维护决策开展维护执行。

设备维护方式可分为纠正性维修、周期性维护和预测性维护三类：

- a) 纠正性维修，即针对故障的非计划性维修。该维修方式需要维修人员迅速采取行动，以尽快恢复设备的正常运行。由于需要更紧急的响应和更快速的解决方案，此维修方式成本通常较高。
- b) 周期性维护，即预防性维护，该维护方式为降低项目失效或功能退化的概率而按预定间隔或按照规定标准进行的维护。通常包括无异常情况下的保养，如清洁、润滑、校准等常规操作，目的是确保设备在正常运行期间保持良好状态，也包括针对异常的计划性维修，以解决潜在的问题，如更换部件、修复异常或调整设备参数等，其成本取决于所需的材料和人工费用。
- c) 预测性维护，该维护方式以设备状态实时监测为基础，以故障诊断、寿命预测为核心，结合运维决策等实现设备的科学维护与高效管理。该维护方式通过减少突发故障降低纠正性维修成本，通过优化检修大纲降低周期性维护成本。预测性维护的效果依赖于算法的性能，算法测评指标及测评方法应按照 GB/T 43555-2023 进行。

通常情况下，复杂设备同时采取上述三种维护方式，综合三种维护方式的运维总成本是评价预测性维护绩效的最终指标。标准针对完成运维过程采集数据要素，相关要求见第5章数据要素，构建完整的绩效评价指标体系，见第6章绩效评价指标体系，形成规范的绩效评价方法，见第7章绩效评价方法。

5 绩效评价数据要素

5.1 概述

绩效评价要素作为绩效评价指标的输入量，主要包括巡检时间、停机损失、工时费、准备时间、维修时间、材料成本和投入成本。

5.2 巡检时间

巡检是指通过人工或机器人对设备进行现场巡查和检测，是运行维护过程中的重要环节之一。巡检一般范围定期巡检和不定期巡检。巡检时间是指从巡检任务开始启动到巡检人员或机器人复位之间的时长：

$$\text{巡检时间} = \text{巡检员复位时刻} - \text{巡检任务启动时刻} \dots\dots\dots (1)$$

5.3 停机损失

停机损失是指设备因为计划或非计划停机，导致生产任务中断而损失的生产收益，以及因为停机而导致的物料损失：

$$\text{停机损失} = \text{生产收益损失} + \text{生产物料损失} \dots\dots\dots (2)$$

5.4 人工成本

人工成本是指维护人员的工时费用，包括工艺人员、操作人员和工程人员等。人工成本由各项人工类别工时费率乘以维护工时：

$$\text{人工成本} = \sum_{i=1}^{N_L} l_{r_i} \times t_{m_i} \dots\dots\dots (3)$$

其中， N_L 为人工类别数， l_{r_i} 和 t_{m_i} 分别为每种人工类别对应的工时费率和维护工时。

5.5 维护确定时间

维护确定时间是指预防性维护策略中，用于确定维护项目所需的时间。

5.6 维护计划时间

维护计划时间是指预防性维护策略中，用于制定维护计划所需的时间。

5.7 维护准备时间

维护准备时间是指预防性维护策略中，用于执行维护计划所需的准备时间。

5.8 维护时间

维护时间是指预防性维护策略中，用于执行维护操作所需的时间。

5.9 材料成本

材料成本是指开展维护工作所需的材料费用，包括被更换零部件的费用和维护所需消耗品的费用：

$$\text{材料成本} = \text{零部件费用} + \text{消耗品费用} \dots\dots\dots (4)$$

5.10 行政成本

行政成本是指开展维护工作所需的行政费用，包括计划制定、工作调度、特别工作许可等行政事务的费用。

5.11 初始投入成本

初始投入成本是指建立维护体系而投入的设备采购、基础设施建设、软件采购和人员培训等一次性或非经常性的成本。

5.12 运行能耗成本

设备在不同的健康状态下，运行效率和能耗会有差异。不同的维护策略会使得设备的运行维持在不同的状态，因此设备运行能耗成本也是预测性维护绩效评价的要素之一。

5.13 库存成本

不同的维护策略对备机和备件的需求数量不一样，从而产生不同的库存成本。库存成本由备件购置成本和备件持有成本构成。

5.14 生产质量成本

设备在不同的健康状态下，生产质量会有差异。不同的维护策略会使得设备的运行保持在不同的状态，因此生产质量成本也是预测性维护绩效评价的要素之一。

5.15 故障频率

故障频率是指没有任何预防性维护情况下预计的设备每年故障频率，可以基于历史记录进行统计计算，也可以从IEEE-500等设备故障频率标准中查询。

$$\text{故障频率} = \frac{\text{故障次数}}{\text{统计年限}} \dots\dots\dots (5)$$

6 评价指标体系

6.1 纠正性维修成本

纠正性维修方式评价如下图所示。反应式维护方式的成本仅是风险成本。其计算方式与预测性维护方式的风险成本计算方式一致。

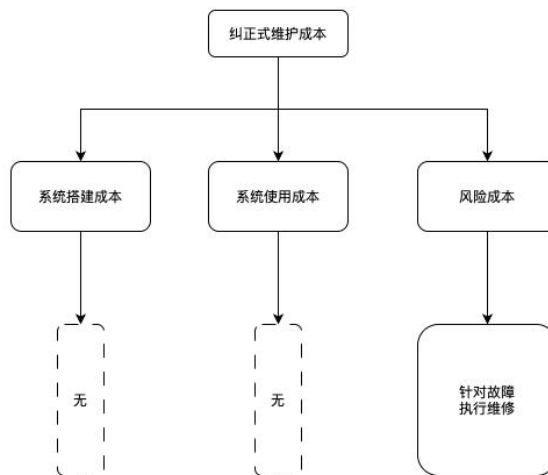


图 2 纠正性维修绩效评价

纠正性维修成本包括抢修过程中的维修成本和停机损失，具体计算公式如下：

$$\text{纠正性维护成本} = (\text{维修执行成本} + \text{停机损失}) \times \text{故障频率} \dots\dots\dots (6)$$

其中：

维修执行成本指所维修设备在其进行抢修时产生的成本总和，材料成本与发生故障的部件相关，通

常为抢修工期×工时费×设备数+材料费用；
停机时损失见公式2。

6.2 周期性维护成本

6.2.1 概述

周期性维护绩效评价如下图所示。

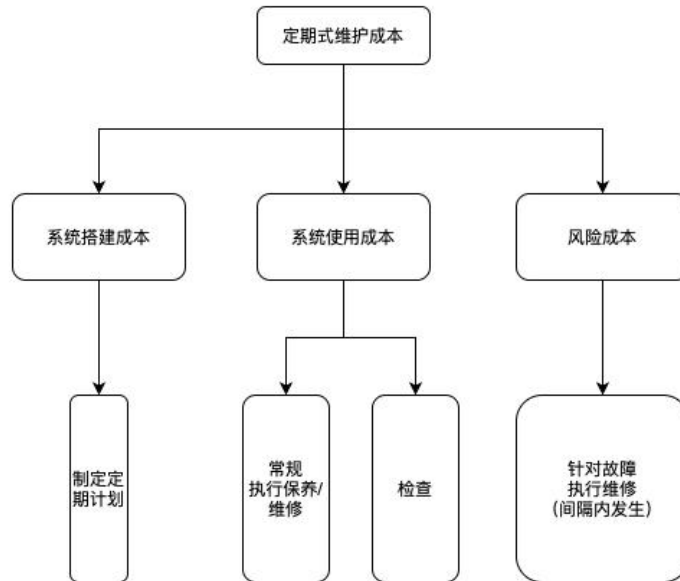


图3 周期性维护绩效评价

周期性维护成本也称预防性维护成本，包括周期性维护过程中的维护准备成本、维护执行成本和停机损失等，具体计算公式如下：

$$\text{周期性维护成本} = (\text{维护准备成本} + \text{维护执行成本} + \text{停机损失}) \times \text{周期性维护频率} + \text{风险成本} \cdots (7)$$

其中，

维护准备成本指在维护准备时间内产生的成本消耗，通常为维护准备时间×工时费；

维护执行成本指所维护设备在其进行定期维护时产生的成本总和，材料成本与设备及部件相关，通常为维护工期×工时费×设备数+材料费用；

停机时损失见公式2。

周期性维护频率依据检修大纲确定；

6.2.2 系统使用成本

$$\text{系统使用成本} = \text{常规执行保养成本} + \text{常规执行异常维修成本} + \text{检查成本}$$

常规执行保养成本包括涉及维修工作所需的材料费用、人工费用，以及任何额外的操作或设备使用成本。

$$\text{常规执行保养成本} = \text{材料费用} + \text{人工费用} + \text{操作成本} + \text{设备使用成本}$$

在常规检查后发现目标发生异常，则执行针对异常的维修，其成本包括涉及维修工作所需的材料费用、人工费用，以及任何额外的操作或设备使用成本。

$$\text{常规执行维修成本} = \text{材料费用} + \text{人工费用} + \text{操作成本} + \text{设备使用成本}$$

检查成本包括进行定期检查所需的工具、设备费用，人工费用，以及任何必要的专业服务成本。

$$\text{检查成本} = \text{工具费用} + \text{设备费用} + \text{人工费用} + \text{专业服务成本}$$

6.2.3 风险成本

风险成本的计算方式与预测性维护方式的风险成本计算方式一致。

6.3 预测性维护成本

6.3.1 概述

预测性维护绩效评价如下图所示。

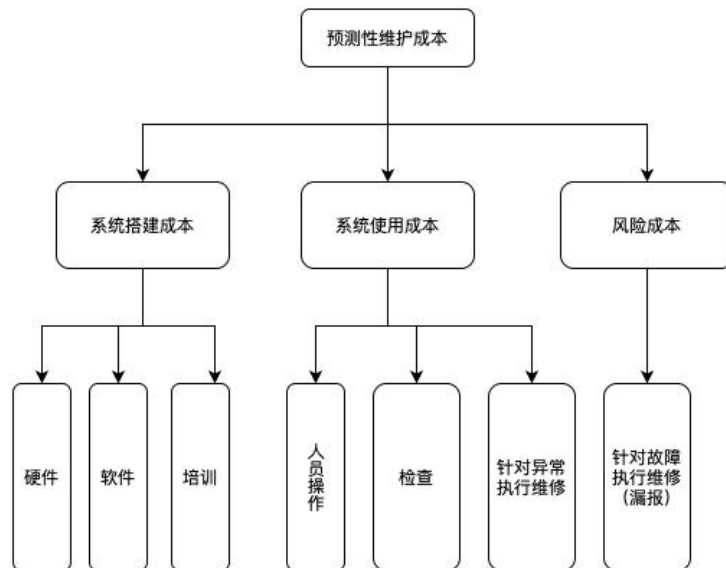


图 4 预测性维护绩效评价

预测性维护成本主要为初始投入成本、系统运行成本以及在触发异常或故障时的维修维护成本，具体计算公式如下：

$$\text{预测性维护成本} = \text{初始投入成本} + \text{系统运行成本} + \text{维修维护成本} + \text{风险成本} \dots \dots \dots (8)$$

其中：

初始投入成本计算见公式5；

系统运行成本包括软硬件系统运行时的费用；

维修维护成本依据触发不同可参考纠正性维护成本和周期性维护成本进行计算。

6.3.2 系统使用成本

系统使用成本指预测性维护系统上线运行之后，在运行期间产生的成本。具体计算方式如下：

$$\text{系统使用成本} = \text{人员操作成本} + \text{报警后检查成本} + \text{异常执行维修成本}$$

人员操作成本指系统上线运行后，需要配备相应的操作人员和/或维护人员所产生的成本。预测性维护系统越易用，其人员操作成本将越低。

报警后检查成本指的是预测性维护系统报警后，需要相应人员前往现场检查所产生的成本，计算方式如下：

$$\text{报警后检查成本} = \text{报警次数} \times \text{检查成本}$$

检查成本包括进行定期检查所需的工具、设备费用，人工费用，以及任何必要的专业服务成本。

预测性维护系统产生的误报警次数越低，其报警后的检查成本也将越低。

异常执行维修成本指的是预测性维护系统报警后，经人员检查后确认为异常，为避免潜在故障的发生，而采取的对异常的计划性维修成本。

$$\text{异常执行维修成本} = \text{异常次数} \times \text{异常的计划性维修成本}$$

6.3.3 风险成本

风险成本为预测性维护系统漏报导致故障发生后执行维修的成本。具体计算方式如下：

$$\text{风险成本} = \sum_{i=1}^n \text{故障次数}_i \times \text{紧急维修成本}_i$$

其中 n 代表故障的等级，根据特定的应用场景划分；故障次数 _{i} 表示第 i 级故障的单位时间内发生的次数；紧急维修成本 _{i} 表示第 i 级故障发生后所产生的紧急维修成本。

紧急维修成本包括直接的维修成本和因故障发生所带来的一系列间接成本。直接维修成本主要包括紧急维修成本和设备更换成本，间接成本主要包括生产损失、设备损耗、安全事故环境影响，以及品牌和声誉损失。

紧急维修成本包括紧急采购备件、雇用维修人员、加班费用等直接成本；

设备更换成本是指若设备报废产生的新设备采购、安装和调试的费用；

生产损失是指因设备计划外停机导致生产中断产生的经济损失；

设备损耗是指由于设备故障和维修导致的设备折损；

安全事故和环境影响包括设备故障可能导致的安全事故，对人员安全造成的威胁，或对环境造成的污染，产生的罚款、赔偿及修复成本；

品牌和声誉损失：因故障事件导致的企业公众形象和客户信任的负面影响，导致市场份额的流失。

不同的预测性维护系统在同一场景下的成本差异将体现在系统搭建的难易程度、易用程度、误报率和漏报率。

6.4 运维总成本

运维总成本通常度量设备完整运维过程中的总成本，但实际计算过程中引入权重以符合不同应用场景的要求。具体计算公式如下：

$$\text{运维总成本} = \text{纠正性维修成本} + \text{周期性维修成本} + \text{预测性维护成本} \dots \dots \dots (9)$$

其中：

纠正性维修成本的计算方法见公式 7；

周期性维护成本的计算方法见公式 8；

预测性维护成本的计算方法见公式 9。

针对单台装置或设备，通常仅存在一种运维模式，因此仅需根据运维模式选择上述三种运维模式中的某一种即可。

针对复杂设备，通常不同的装置或模块可能采取不同的运维模式，应根据设备的安全性要求合理定义风险成本和权重。

针对多台设备集成的系统，仅针对部分设备的运维总成本进行计算，通常会得到较为保守的数据，应综合考虑整个系统的运维成本。

7 绩效评价流程

预测性维护绩效评价流程具体如下：

- a) 搜集整理数据；
- b) 数据有效性确认。
- c) 综合分析；
- d) 风险成本评估；
- e) 初步计算；
- f) 用户单位沟通；
- g) 修正与完善；
- h) 用户单位确认；
- i) 公布。