

# 预测性维护



## 概述

预测性维护计划根据设施规模、设备、法规和生产效率目标，分为各种形式和规模。本概述：

- 概括了一些最常用的预测性维护方法
- 说明了如何确定维护改进的成本节约
- 纵览一个预测性维护过程
- 列出了相关标准

关于更加具体的成本计算或测量指南，请参考本系列文章中的其他技术应用文章。

## 维护方法

### 反应性维护

运转至出现故障的方法：让系统一直运行到出现某个故障。这个方法在收入损失以及设备更换方面成本最高。

### 预防性维护 (PM)

按照定期计划执行维护维修，可以将部件老化减小到最低程度，并延长设备寿命。预防性维护将在设定的一定日期后或机器运转一定时间之后进行，而不管是否需要维修。尽管预防性维护与反应性维护相比更加经济有效，但它仍然需要大量人力资源和备件库存。

### 预测性维护 (PdM)

对关键指标进行随时跟踪，以便预测设备何时需要维修。预测性维护计划将定期对设备进行检测，随时跟踪测量值，并在测量值将要超出设备运行限值时采取纠正措施。与预防性维护相比，根据需要来维修设备需要的工时和部件更少。但是，对测量值进行跟踪需要新的工具、培训和软件，以便对数据进行收集和分析并预测维修周期。

### 以可靠性为中心的维护 (RCM)

基于设备对生产运行的重要性、停产所带来的收入损失和客户损失、对安全的影响以及它的维修成本，排列维护工作的优先顺序。可靠性维护取决于在预测性维护中所使用的相同测量值，但可通过在不太重要的设备上安排较少的工作而额外节约维护资源。与 PdM 相比，RCM 还需要更多的培训和软件。

### 维护软件：CMMS 和 AMS

大多数采取预测性维护的设施都会购买或开发专用的数据库，该数据库通常称为资产管理系统 (AMS) 或计算机管理维护系统 (CMMS)。为了跟踪趋势，数据库系统应该能够存储以下内容：

- 关键设备的列表
- 每种设备的维护和测量步骤
- 维护计划日程表
- 每个测量的历史记录
- 每个测量的限值（维护报警触发）

很多系统还将跟踪保修状态、折旧记录和采购信息，并能生成工作订单，管理计划日程表，并跟踪员工培训历史和相关技能。

## 成本分析

有大量事实可以证明，谨慎且完善计划的维护能够延长设备寿命，并避免发生成本高昂的停产。NFPA 70B 中引用的保险数据表明，大致一半与电气故障相关的损坏可以通过定期维护来避免。

为了确定在您的系统所需要进行的投资，您需要知道两件事情：故障的概率和故障的成本。通过将这两个数字相乘，您可以估算包括维护在内的设施设备的投资额。

### 故障概率

IEEE 493 标准包含有关电气设备的故障率以及用于确定任何给定负载停产概率的技术的有用信息。它还针对每种设施提供了操作人员知识、维护历史、厂商技术参数以及由 PdM 软件工具提供的故障分析。

### FMEA：故障模式和影响分析

FMEA 在以可靠性为中心的维护中使用，是一种用于分析系统如何出现故障、故障所造成的影响、故障频率以及潜在故障概率的方法。FMEA 方法基于以下参数为设备部件分配风险优先级：

- 影响的严重程度
- 发生概率
- 故障保持未被发现的概率

例如，对于一台关键的三相电机，因断相而造成的过电流跳闸就是一个故障模式。存在未被发现其断相的概率可能很高，因为断相时电机可能会继续运转。为了发现隐藏的故障状态，需要进行与故障模式紧密相关的测量。在这个电机的例子中，通过电流监视可迅速发现三相电机上的断相状态。

### 故障成本

非计划停产带来的成本：

- 停产中的收入损失 – 这在生产装置在或接近最大生产能力下运转或市场竞争十分激烈时尤为关键。以每小时的美元数计算。
- 因客户信任度降低而造成的收入损失 – 有多少客户会离您而去。
- 更换已损坏电气或生产设备的成本
- 维修成本，尤其是人工成本
- 废品成本
- 清洁或重新启动生产的成本
- 保险费降低

为了实施预防性维护，需要估算故障成本，并将该成本与维护计划的成本进行比较。

1. 计算生产线或其他关键工艺产出的每小时净收入。  
例如，5000 美元/小时。
2. 计算每个设备故障的平均停产时间以及每年的故障次数。  
例如，故障电机维修平均需要 5 个小时；每年有两台电机出现故障。
3. 将 #1 的结果乘以 #2 中的两个值。  
例如，5000 美元  $\times$  5  $\times$  2 = 50000 收入损失
4. 估算人工及设备维修成本。  
例如，50 美元/小时  $\times$  5/电机 + 3000/电机 = 6500 美元
5. 将 #3 和 #4 中的结果相加。这就是您每年可以避免的收入损失加维修的总成本。  
例如，50000 美元 + 6500 美元 = 61500 美元
6. 基于不会带来收入损失的计划停产重复成本计算。  
例如，50 美元/小时  $\times$  5/电机 + 3000 美元/新电机 + 1500 美元/维修过的电机 = 5000 美元

在计划停产的情况下，每年的维护成本为 5000 美元，没有收入的损失；而损失的收入加上意外停产成本为 61500 美元。

# 预测性维护计划的步骤

## 建立方案

1. 制作关键工艺、应用和设备的清单，并根据故障影响给它们排列优先顺序。高优先级设备：
  - 直接影响安全、环境、收入或客户关系
  - 独一无二、更换费用高昂或连续使用 (24x7)
  - 难于获得备件或在维修之前需要很长的准备时间
2. 利用 PdM 软件、操作员知识和维护历史记录，确定设备发生故障的可能性。
3. 将这两种信息（故障概率和故障影响）相结合，并制定一个检查计划（参见右面的示例）。
4. 建立一个用于存储每台设备的测量结果的数据库。将基准数据、维修历史记录、厂商建议和操作员知识包括进来：设备发生故障的时间/故障频率、原因以及维修费用。

## 测试

5. 使用合适的预测技术来检测设备，并将测量值记录在 PdM 数据库中。

## 监测

6. 在运行条件下分析和监测测量值是否发生改变：振动测量值趋势发生变化、同一过程吸入电流增加、电流导线接地、轴承温度上升等。

## 维修

7. 检查警告标记，确定是否需要维修。
8. 确定故障发生前的时间长度。同样，如果您没有用于对此进行确定的 PdM 工具，那么就需要依赖技术人员的经验和厂商数据。
9. 对故障前的维修进行计划安排。有效的 PdM 方法之一是维修设备不过早也不过迟。您不想让设备停止运转，但也同样不想在让设备持续运转一年或更长时间之后再更换设备。
10. 请利用您的准备时间来正确调整资源，检查备件情况，然后选择一个可将工厂中的停产状况降到最低程度的停产时间。

11. 进行维修。将结果归档，如有必要，尝试确定设备故障的根本原因。

12. 针对维修/更换的设备获取新的基准读数。

## 检查计划安排

检查频率基于多种因素，包括安全性、设备的临界状态、发生故障后的支出以及问题对生产和/或维护产生影响的频率。随着设备的老化、负荷过大或维护不良，检查可以更频繁一些。对设备进行维修或调改时，请进行跟踪检查。

设备类型	两次检查时间间隔的最长时间
变压器	1 年
440V 电机控制中心	
带空调	6-12 个月
不带空调或较旧	4-6 个月
配电设备	4-6 个月
大型电机*	1 年
小型电机	4-6 个月

\*假定正在使用振动分析、机器电路分析、润滑油分析和热成像技术。

## 通用设备清单

- 旋转机械/负荷
  - 电机
  - 发电机
  - 泵
  - 空调设备
  - 风机
  - 减速器
  - 冷却器
- 电机控制器和可调速驱动器
- 照明系统
- 电气系统
  - 开关柜
  - 变压器
  - 电线与电缆
  - 开关
  - 断路器
  - 计量仪表
  - 接地系统
  - 接地故障保护装置
  - 电涌保护器
  - 功率因数校正
  - 滤波器和电抗器
  - 室外母线结构
  - 应急系统
    - UPS
    - 发电机
    - 转换开关

## 标准

在为您的 PdM 计划制定安全的标准工作程序时，请参考这些标准。

国际电气和电子工程师协会标准 IEEE-90 描述了 EPM 计划的各个元素（包括安全性），而 1584™-2002 提供了闪弧危险计算指南，ANSI/IEE C2-81 国家电气安全规范用于对重工业设施进行控制。

MTS-2001 是国际电气测试协会 (NETA) ([www.netaworld.org](http://www.netaworld.org)) 的适用于配电设备与系统维护测试规范，它包含一套用于检验、测试和评估系统部件的分步标准程序以及针对各种部件给出了维护间隔建议的附录。

美国消防协会的适用于电气设备维护的标准 NFPA 70B “电气设备维护的推荐操作”提供了 PdM 计划概述以及包含实例测试和记录表格的附录。它描述了电气系统中每个部件的检查方法以及每个子元件的测试方法。例如，在有关旋转电机的章节中，它讨论了定子和转子绕组，以及电刷、集电环、整流子、轴承和润滑等。

NFPA 70B 还包括一个有关测试方法的章节，其中包括绝缘测试、变压器匝数比测试、断路器测试和接地阻抗测试，并讨论了电能质量问题，如谐波、瞬变、不平衡、电压突降和骤升。

另外请参见 NFPA 70E 工作场所电气安全标准，该标准涉及安全培训、程序、个人防护用品 (PPE) 要求以及上锁/挂牌程序。

美国职业安全与健康管理局安全标准 OSHA 29 CFR 1910 Subpart S “电气”和 Subpart I “个人防护用品”涉及电气系统、安全操作与维护要求等方面的内容。

国际标准化组织 (ISO) 的 ISO 6781 标准（美国国家标准协会）讨论了隔热、楼宇建筑围护结构中热异常的定性检测以及红外测量方法等问题。

ASTM International (<http://www.astm.org>) 适用于通过红外热成像方法检查电气和机械设备的 ASTM E 1934、1213、1311、1316 和 1256 标准指南，以及 ASTM 1060 和 1153 中的附加加热成像技术参考。