

数据中心预防性 维护策略

第 124 号白皮书

版本 1

作者 Thierry Bayle

> 摘要

在加强数据中心成本控制和节约能源的讨论中，有时候忽视了数据中心物理基础设施预防性维护 (PM) 是控制 TCO 和停机时间的重要工具。预防性维护旨在预防故障发生。通过更好地理解预防性维护的最佳操作方法，IT 经理和设备管理人员可提高系统运行时间。本白皮书介绍了有助于保障数据中心和 IT 设备间运行时间的 PM 服务类型，并探讨了各种预防性维护方法和手段，并给出了推荐的操作方法。

目录

[点击内容即可跳转至具体章节](#)

简介	2
PM 结果	2
PM 的发展	3
PM 发展的证据	4
物理基础设施组件的故障原因	6
建议操作	7
PM 方案	11
结论	13
资源	14

简介

本文重点介绍供电、制冷系统预防性维护 (PM) 的最佳实践。对 PM 实践方法 (如: 零部件更换、校准) 以及非操作性 PM 技术 (如: 热扫描和软件监控) 进行了评估。同时还探讨了更整体化、减少以零部件为导向的 PM 行业发展趋势。

“**预防性维护**” (也称“防范维护”) 一词, 指出现故障之前对潜在故障的系统检查和检测。PM 一词含义很广, 根据数据中心的临界点涉及各种防范和避免问题的方法。比如, **状态基准维护**是通过概念公式评估停机风险, 随时间推移评估和描绘设备状态的一种 PM。

PM 不能与针对非预测性问题或者处理紧急情况的**临时维护**混淆。大多数情况下, PM 包括更换零件、断路器面板热扫描、部件/系统调试、空气或水过滤器清洁、润滑或者物理基础设施固件升级。

从基本层面上说, 可将 PM 部署为提高数据中心某个具体部件的可用性性能的战略。从较高层面来讲, PM 可以充当确保整个数据中心供电系统 (发电机、转换开关、变压器、断路器和开关、PDU 和 UPS) 和制冷系统 (CRAC、CRAH、加湿器、冷凝器和冷水机) 的主要手段。

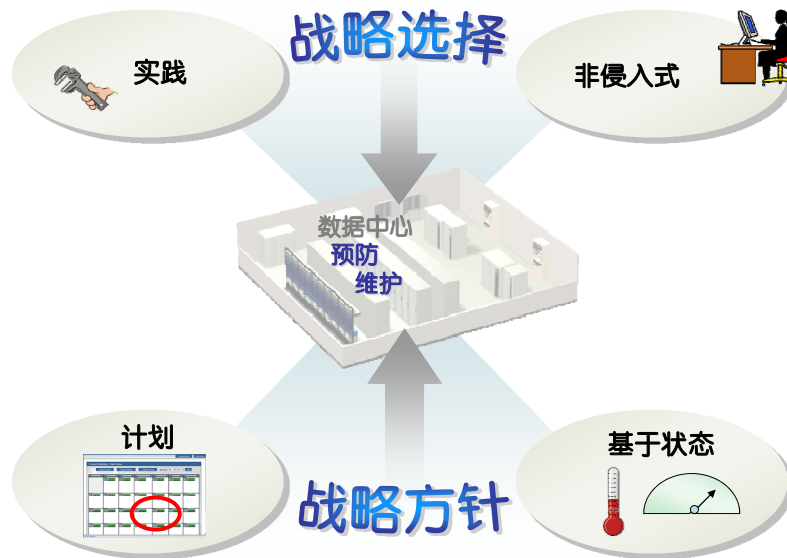


图 1
PM 现状

数据中心供电和制冷系统预防性维护 (PM) 策略要确保定期进行计划维护检查, 并根据情况考虑状态基准维护实践。PM 策略应该针对停机风险提供保护, 同时避免出现延误或者检查和维护的遗漏。维护计划必须确保由经过充分培训并具有专业资质的维护专家对物理基础设施设备进行检查 (如: 观察设备外观和性能变化以及设备工作声音的变化), 执行必要的操作。

PM 结果

PM 检查期间可能会出现下列四种结果之一:

- 发现潜在问题并立即采取行动防止今后出现故障。这是 PM 检查后最可能出现的结果。
- 发现新问题, 并计划适当的维修。这类检查应详细记录, 以便服务提供商和数据中心所有者可以将最近事件与过往的 PM 做对比, 进行趋势分析。
- 检查期间没有发现问题, 并且在进行下次 PM 检查前没有出现停机。设备具有生产商许可和合格证明, 在操作指导范围内能正常工作。

- 在 PM 检查期间或者检查结束后立即发现缺陷，在尝试修复时出现了意外的停机（如：出现了新问题）。

当不合格人员进行维护时，出现不良结果的风险会显著增大。本文在后面会讨论降低与 PM 有关的停机风险的方法。

PM 的发展

对于 60 年代的数据中心，数据中心设备组件仅被视为一般性支持系统，按此标准接受维护。当时，数据中心充当核心业务的辅助工具，最重要的业务处理任务人工手动完成。数据中心所有者方面的态度是“为什么要花钱搞维护？”而生产商只对安装设备感兴趣，“修理设备”不是他们关心的事。

随着时间的推移，计算机开始承担为数众多的重要商业任务。越来越多的公司开始将数据资产向数据中心迁移，而设备故障以及与之相关的停机开始成为业务增长和赢利能力的严重威胁。数据中心 IT 设备制造商们开始认识到主动维护计划有助于保障产品的作业性能。

这时出现了年度维护合同，许多数据中心所有者认识到了高水平服务带来的好处。随着公司数据日益成为多数公司的重要资产，对 IT 设备的合理维护开始成为支持关键业务程序可用性的必要条件。今天的 PM 概念，体现了从被动维修的心理（“坏了，修好”）发展到了一种主动的维护要求（“检查设备，看看有什么危险的信号，在损坏前将它修好”），从而最大程度地保证了全年无间断使用的可能性。

物理基础设施架构变革的影响

与计算机维护相同，数据中心物理基础设施（如供电和制冷系统）的设备维护也随着时间的推移不断进步。在 80 年代，UPS 的内部架构采用了 100% 独立组件设计，这些组件并没有从便于维护维修的角度出发与设备内其他重要组件进行整合。要实现预期可用性，这些 UPS 必须进行常规维护，如：调整、紧固和清洁。每次检查时每台 UPS 通常需要一名维护人员花上 6 - 8 个小时对单个内部组件进行检查和调整。

在 90 年代，UPS 的架构有了新的发展（参见图 2）。物理基础设施设备同时采用了单独维护组件、整合组件和计算机化（数字化）组件。值此时期，一台典型的 UPS 只有 50% 的人工维护组件，剩余的“内脏”是不需要连续维护的计算机化组件。

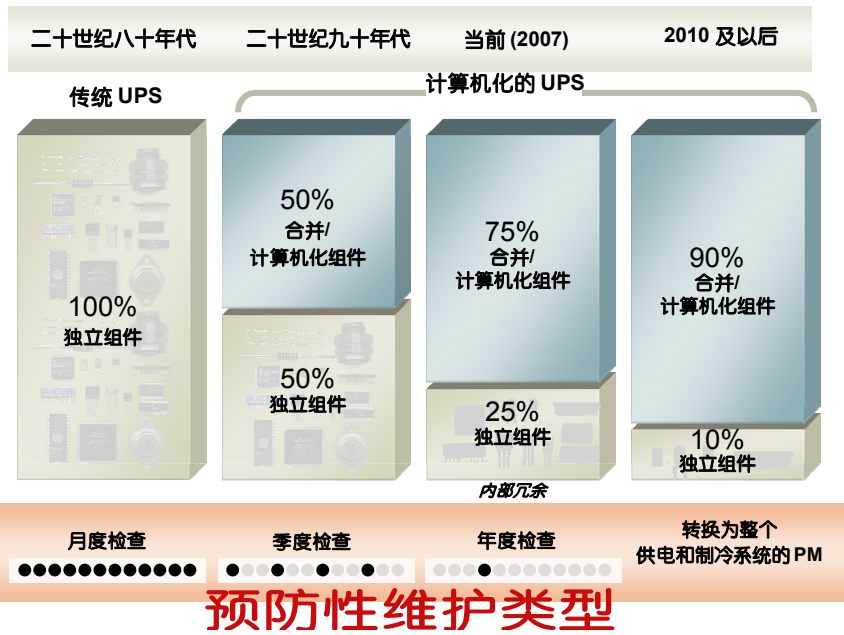


图 2
UPS 设计以及相关 PM 的发展

预防性维护类型

到 90 年代中期，UPS 内的计算机化组件开始以输出信息的形式将内部运行状况通知给操作人员。虽然 PM 检查仍需要按季度进行，但每次检查时维修人员对每台 UPS 检查的平均耗时变成了 5 小时。目前维护性组件与计算机化组件的比例已经进一步降到了 25% 的维护性组件和 75% 的计算机化组件（参见图 2）。

今天，大多数数据中心现场每年仅需要进行一两次 PM 检查。但是如果物理基础设施设备处在不良工作环境（如：高温、灰尘、污染和振动）中，可能需要进行更多的 PM 检查。检查频率取决于实际环境和数据中心所有者的业务要求。组件的系统设计也可能影响 PM 的检查频率。通常检查次数取决于生产商的建议。

PM 发展的证据

与过去相比，如今的物理基础设施变得更加稳定，维护也更加方便。生产商尽可能地对组件采取了容错设计。以下是一些硬件设计改进的例子：

- 在传统背面检查通道之外，另提供侧面和正面内部组件检查通道的计算机房空调 (CRACS)
- 可以控制内部风扇转速的冷却设备的变频驱动 (VFD)。VFD 解决了对传送带维护的要求（传统上传送带有很高的维护要求）
- UPS 的环绕式旁路功能可以解决 PM 检查期间 IT 停机问题

在硬件改进之外，对于基础设施的设计和架构也从支持 PM 的角度做出了调整，包括计划更为简单，维护次数更少以及安全性更高。例如：

- 冗余冷却和电源设计可以实现并行维护，即使在维护期间也能对重要的 IT 负载提供保护
- 压接（电气和机械连接方式）的合理设计可以减少或者避免“重新紧固”的要求，从而避免了因过多操作带来的电弧放电风险
- 近期对电弧放电风险的关注正在改变系统的设计思路，设计中尽量考虑避免 PM 人员在维护期间发生触电事故

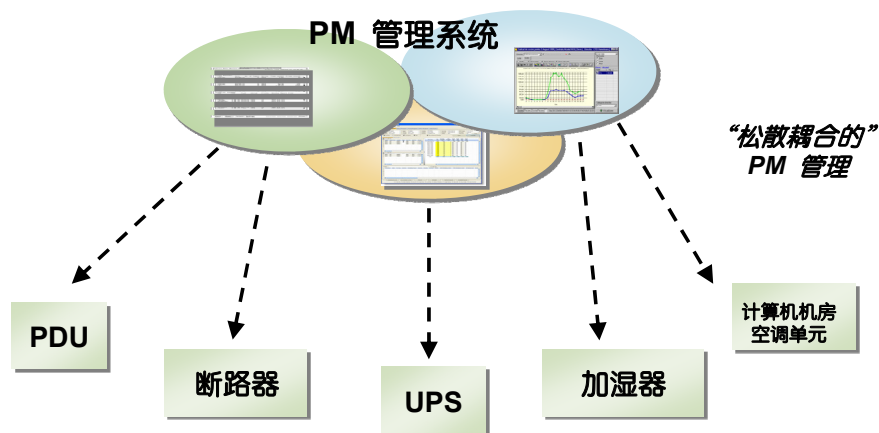
软件设计是重要的成功因素

物理基础设施硬件的设计只是降低 PM 成本和复杂程度的一个方面。高效的物理基础设施管理软件设计，作为实现高可用性的重要成功因素，其作用日益突出。卓越的数据中心充分利用且依赖于物理基础设施管理软件。

通过自诊断功能，如果单个组件偏离了正常的工作温度范围，基础设施组件可以实现使用时间通信和广播警告，并能在传感器检测到异常读数时给出提示。虽然目前还需要 PM 技术支持人员对维护管理系统通信输出结果进行处理，但今后的发展方向将是一种具有完全自我修复功能的物理基础设施系统。

使用多种管理系统，每种系统仅针对各自的组件类型。
管理系统之间很少存在或者根本没有通信。

图 3
传统做法：组件型 PM 管理



具有超前思维的数据中心所有者正在为整个数据中心电源系统规划一种综合性的 PM 策略。在目前传统 PM 对现有设备支持仍唱主流的背景下，对将来设备维护的策略应着眼于一种将数据中心视为整体而非单个组件拼装结构（参见图 3 和图 4）。

通过从传统的组件型 PM 到完整供电系统或者完整的制冷循环冷却型 PM 做进一步的分析可以更清楚的了解 PM 的发展进程。以 UPS（不间断电源）物理基础设施组件为例，当电源出现故障时，通常并不一定是 UPS 出现了问题，原因也可能是断路器、开关或者电路问题。因此提供一种与所有这些重要组件进行绑定，并能以通信方式将数据返回给了解整个电源系统并能正确解释系统消息的维护人员的监控系统，具有重要意义。

“完整的” PM 组织

要对 PM 实现优化增效，数据中心所有者的内部组织架构应该进行相应调整，以满足高效实施综合性和整合型 PM 操作方法的要求。传统上 IT 和设施小组并没有很好地紧密配合，协调工作。IT 小组仅负责对数据中心的 IT 系统提供支持，而设施部门偏重于监督物理基础设施组件的安装和维护。由于这些系统目前已与数据中心建立了紧密耦合，因此需要考虑一种能实现两个小组关键成员紧密合作的其他方法。

一种管理系统，将所有组件视为一个系统加以维护。

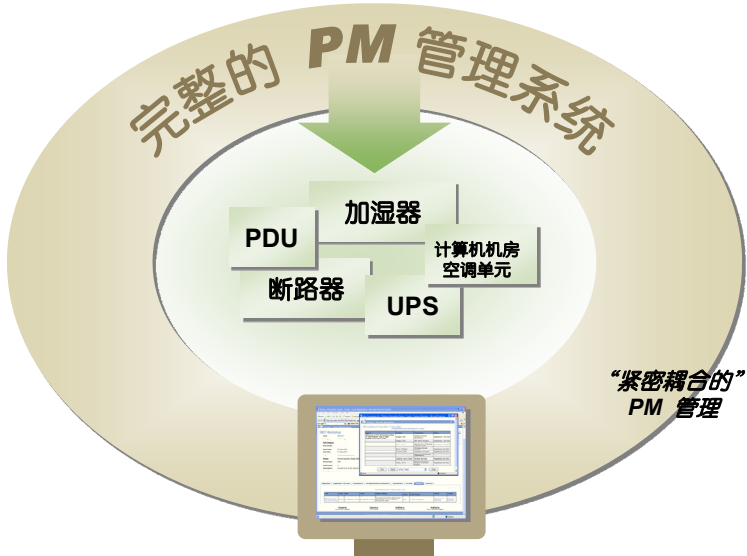


图 4

策略方法：综合型完整的PM管理

物理基础设施组件的故障原因

早期的 UPS（80 年代或者 90 年代安装的设备）需要人为定期进行调整，以防止出现电压漂移和“超差”问题。例如，需要电位差计校准的 UPS 控制卡应由技术人员使用示波器每季度人工调整一次，而现在可以通过集成的微处理器完成。定期重新校准可以将 UPS 故障率控制在最低水平。

更现代的 UPS 由数字信号处理器控制件控制。除非更换了主要组件，否则无需重新校准，也不会出现“漂移”。除了超差情况外，谐波和电涌也会对物理基础设施电源组件造成不良影响。

温度波动是造成电子元件故障的另一种常见原因。电子元件只能在一定的温度范围内正常工作。如果温度稳定在设计范围内，发生故障的机会很小。但是如果温度超出了设计范围，故障率会显著提高。事实上，在罗萨拉摩斯国家实验室由高性能计算研究员所做的研究表明温度每增加 10° C (18° F)¹，故障率会增加两倍（参见图 5）。

美国采暖、制冷和空调工程师学会 (ASHRAE) TC 9.9 推荐的工作温度范围是 18 - 27° C。合适的气流有助于保证稳定和安全的工作温度，维持合适的环境条件，进而增加元件的使用寿命推迟故障出现时间。电流过大是造成内部组件损坏的另一个原因。机械系统同样需要检查正常和异常的轴承磨损以及定期更换油料和润滑剂。

¹ 美国 Los Alamos 国家实验室《在高性能运算中保持低功耗的重要性》，Feng, W, 2005 年 8 月

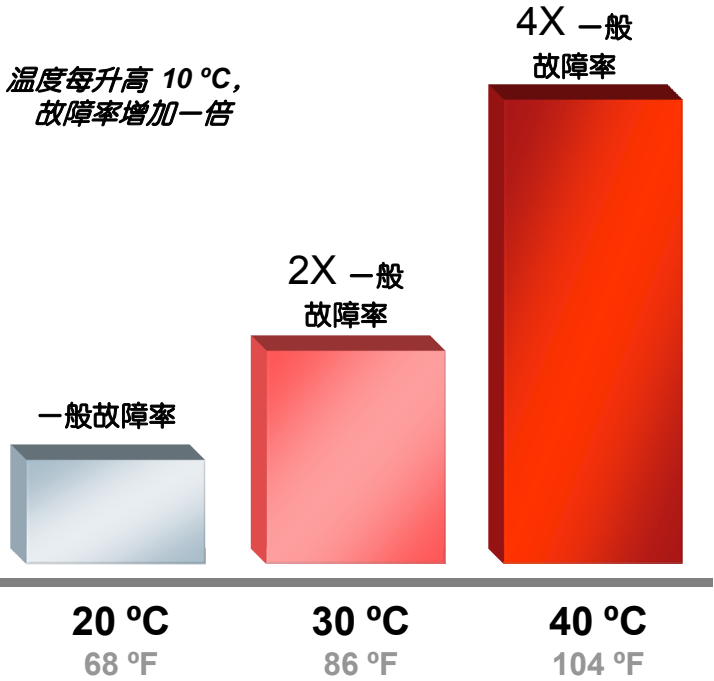


图 5
罗萨拉摩斯国家实验室热故障研究

建议操作

通过具有专业资质的维护人员进行检查确认物理基础设施设备能正常工作，可以实现数据中心所有者针对系统运行时间所设定的目标。具有数据中心专业知识的物理基础设施专家可以发现各种内部组件老化问题，同时能计算出组件对整个系统可靠性的影响程度。

PM 专家应观察数据中心的环境（断路器、安装方法、布线技术、机构连接和负荷类型），并提醒所有者可能出现的过早零部件磨损情况以及可能对系统可用性造成不良影响的因素（如：操作设备时可能出现的人为错误、过高的工作温度、过高的酸液液位、锈蚀和服务器电源电压波动）。

PM 检查还包括对可影响性能的外部环境因素进行评估（参见表 1）。PM 检查的深度和广度取决于数据中心的临界点（参见第 122 号白皮书《确定数据中心临界点/级别层次的指导原则》），并编制相应的行动方案。


 资源链接
第 122 号白皮书
确定数据中心关键性/级别等
级的准则

表 1
PM 环境检查样表

内部环境	外部环境
<p>实践</p> <ul style="list-style-type: none"> • 电路板外观 • 子组件外观 • 线缆外观 • 连接器 • 筛选器 • 绕组 • 电池 • 电容 • 绝缘 • 通风 <p>非侵入式</p> <ul style="list-style-type: none"> • 总体外观 • 热扫描读数 • 故障预警报告 • 内部温度读数 	<ul style="list-style-type: none"> • 整体清洁度 • 温度水平 • 酸度水平 • 锈蚀 • 破坏频率 • 滴水 • 区域内的含尘量 • 热点 • 通风障碍物 • 访问障碍 • 打开的门窗 • 附近施工 • 无线电使用 • 屋顶渗透 • 设备的噪声质量 • 设备与接地电缆的连接

热扫描和预测性故障

PM 检查期间推荐对机架和断路器面板进行热扫描。异常的温度读数提示需要干预。通过对不同时间所获取的红外线扫描读数的比较可以看出发展趋势以及发现潜在问题。因此，比如在电气连接重新固定的实际应用中，这种方法可以实现科学的数据替代主观臆测。

热扫描方法还可以用于开关设备、变压器、隔离开关、UPS、配电盘、配电单元和空调设备隔离开关。

还可以采用计算流体力学 (CFD) 方法来分析数据中心的温度和风流模式，并确定冷却设备故障带来的影响。

对于预测故障方法的应用，比如更换电容器，仅在连续随机诊断系统给出更换建议时才进行电容器更换。这种方法完全不同与传统所采用的“已经用了 6 个月，是时候更换了”的做法。采用预测故障方法可以避免不必要的侵入式操作，以及由此可能带来因人为因素造成的停机。

表 2 列出了需要进行 PM 检查的物理基础设施设备。这些系统相互关联，因此需要按完整的系统进行维护。

表 2
需要数据中心 PM 的设备
(部分列表)

设备	需要 PM 的内部元件	必要的整体维护水平
变压器	松紧度, 连接扭矩	低
PDU	松紧度, 连接扭矩	低
数据中心水气分配系统	管路内部密度、阀门、阀座和密封	低
列式 CRAC	过滤器、线圈、固件、管路连接和风扇电机	中
新一代 UPS	风扇、电容和电池	中
架高地板	实际地板、地板位置、清除氧化锌晶须	高
传统 UPS	风扇、电容、电路板和电池	高
传统 CRAC	皮带、空气过滤器、管路连接、压缩机、风扇电机、水泵、线圈	高
加湿器	排水口、过滤器、塞和水处理器	高
转换开关	开关组件、固件和扭矩	高
外部电池 (湿式电池和 VRLA)	扭矩、连接、电解液/酸液液位、温度水平	高
火灾报警系统	阀门和流量开关	高
冷却器	油压水平、气体水平和温度设置	高
发电机	燃料过滤器、机油过滤器、软管、皮带、制冷剂、曲轴箱透气件、风扇壳、水泵、连接扭矩、发电机轴承、主断路器	高

计划操作方法

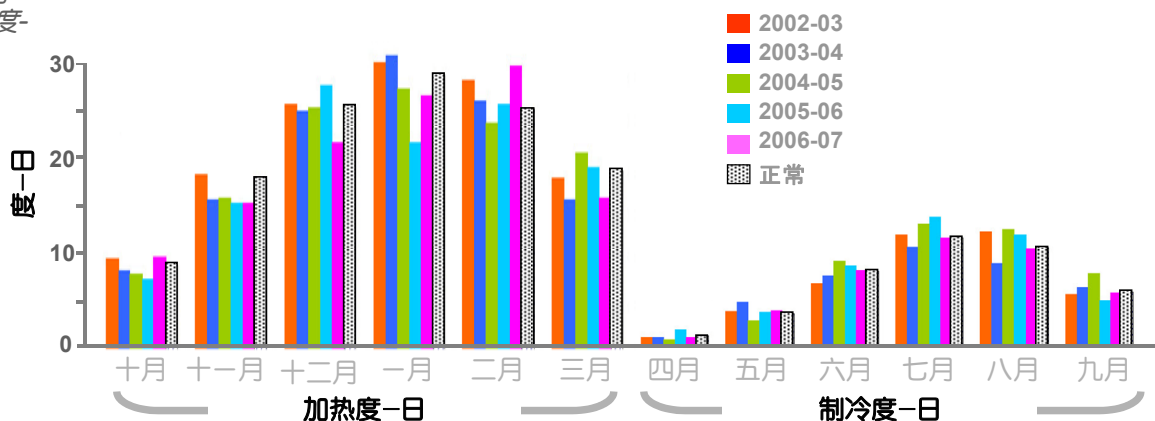
传统维护计划操作是在数据中心所有者已经严重担心系统可用性的前几天制定的。通常夜晚、周末和三天长假都是维护计划时间的使用和考虑范围。但是全球经济的发展和全年 24 小时全天候可用性的要求已经改变了这种维护计划的做法。

大多数情况下将 PM 安排在夜晚和周末的理由已不复存在。事实上传统的计划方法可能会在很大程度上增大 PM 的成本和操作风险。从最基本的小时工资制来看, 加班维护成本非常高。更重要的是, 加班或者在非正常工作时间进行作业, 服务和支持技术人员很容易出现身体疲劳、警觉性也会降低, 这样会增加错误的可能性, 有时甚至会有人员受伤的风险。

通过帮助数据中心所有者合理安排 PM 检查期限, PM 服务商/合作伙伴可以创造额外价值。在新建数据中心时, PM 服务商/合作伙伴可以对所有者数据中心的平面图提供建议, 为将来 PM 检查时便捷和无损操作创造条件。另外, 由政府机构, 如: 美国国家大气海洋局 (NOAA), 收集的信息可以提供气候变化数据, 可以用来帮助数据中心所有者优化维护周期 (参见图 6)。

图 6

作为计划PM 检查的指
导性研究数据（采暖度-
日和空调度-日）



资料来源：美国国家海洋和大气管理局，国家气象服务局
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/cdus/degree_days/
 短期能源展望，2007年6月



注：度-日是室外温度与标准温度 18.3° C (65° F) 对比的结果；温度越高或越低，度-日数也越高。“热天”采用“制冷度-日”计量。比如某天平均温度为 80° F，制冷度-日计为 15 (80 - 65 base = 15 CDD)。“冷天”采用“加热度-日”计量。比如某天平均为 40° F，加热度-日计为 25 (65 base - 40 = 25 HDD)。通过对您所在地区的度-日模式进行研究，可以对历年室外温度的增加和减少进行评估并得出温度变化资料。

PM 的协调

室外出现极端温度和暴雨“季节”会带来巨大的风险。如果气候数据表明四月到九月是进行 PM 检查的最佳月份，仍然需要考虑其他利弊因素。比如，在计划进行 PM 检查的“期限”内，附近有没有施工项目在进行？如果有，由于施工事故造成的断电或停水的风险将会非常高（如：水管线被施工设备意外挖断），这是一个需要考虑的重要因素。如果数据中心制冷系统停机，凉爽的天气是否能给数据中心提供免费的自然冷却？如果根据室外温度数据九月是进行 PM 检查的最佳季节，把 PM 检查计划在财务系统最繁忙的时最后一个季度月是否明智？

一种方法是将 PM 安排在不同的时间。通过降低对商业用户和客户提供预期的服务/支持，同时调集所有关键人员可能会带来一定风险。如果存在人力资源不足的问题，可分阶段计划 PM，这会更加平均地分散 PM 的任务，从而保障数据中心达到目标服务水平。

如果人力资源不是问题，可采取另一种方法，即在某一天或者连续几天中一次性完成 PM，而不用将 PM 分成几个阶段。不采用对不同机构计划多个 PM 检查，而是利用合作伙伴来提供、计划和执行关键基础设施的 PM 检查。这种通过引入具有资质合作伙伴的“方案导向型 PM”（不同于传统的部件导向型 PM）可以节约时间和成本，并能提高整个数据中心的性能。在满足对数据中心破坏最小，同时具有最多恢复方法的条件下，最优先采用的 PM 规划方法是聘请具有相应资质的服务商。

PM 的工作说明

PM 操作流程应由 PM 服务商和数据中心所有者精心编制。详细的 PM 工作说明 (SOW) 应由 PM 服务商编制并提交数据中心所有者，其内容应详细注明 PM 的工作范围。下面给出了 SOW 中需要包括的部分内容：

- 访问条款：绝大多数的生产商建议在设备安装和调试后每年进行一次 PM 检查，但是部分高使用率组件（如：加湿器）可能需要尽早分析以及连续监控。为了方便在数据中心现场对设备检查，应采用合适的协议。同时还需要考虑所有者操作所带来的限制。应该针对设备性能优化调整编制相应的方案。
- 零部件更换条款：SOW 应该包括针对需要“预防性”更换或升级零件的建议。如库存的可用性、测试和认证零件的供应、出现缺陷零件时应急方案以及旧的零部件拆除和处置问题都应在 SOW 中加以说明。
- 文件资料：SOW 应规定提交一份 PM 输出报告，对 PM 检查期间所采取的措施进行记录。输出报告应允许后续技术支持供应商自动审查。

PM 方案

PM 维护服务可直接向生产商或第三方维护服务商进行购买。选择能针对数据中心提供 PM 服务的组织是一项重要的决策。这些组织可以是全球性组织或者能够提供区域性或现场技术支持。表 3 对两类主流 PM 服务商进行了比较。

表 3

迎接服务挑战：生产商 vs. 未经授权的第三方

	制造商/经授权的第三方	未经授权的第三方
备件	本地数据中心所有者可用库存备件 经 ISO 认证工厂生产、测试的零件 零件为最新型/与维护产品兼容 更换使用原厂零件	更换零件可能从“二手市场”或者二手设备供货商处获取 更换零件可能由本地并未获得相应资格的技术人员修理 更换零件可能通过第三方中间商从生产商处购置，可能因此延误时间
产品知识	特定产品的指定服务 大量安装工作的相关经验	服务人员为“多面手”，应能为不同厂家生产的多种产品提供服务。 可能无法检查或者获得关键升级
本地支持	可以提供标准的 4 小时回复	本地公司可能提供 2 小时回复 可以覆盖生产商无法覆盖的地点
数据中心环境知识	厂家通常了解影响整个数据中心运行的供电和制冷系统问题，而不仅仅限于单个组件	对修理单个组件之外的数据中心整体状态可能了解有限
培训	人员经过了厂家培训并获得了国家安全标准证书 人员接收定期评估和升级培训	人员可能没有经过厂家培训，或者没能继续接受厂家培训
成本	通常诊断和解决问题需要较大投入，但时间相对较短	通常比生产商便宜
产品更新	服务涉及所有产品硬件和固件版本	获得产品和固件版本更新的能力有限
文献	服务资料属最新版本，包括服务升级信息 完成 PM 检查后向数据中心所有者提交技术报告和文档资料	服务人员可能无法获得更新的服务文档
工具	服务具有各种所需工具、测试设备和软件，且符合 ISO 校准规范要求	可能无法及时获取最新工具

生产商提供 PM

生产商打包服务可以针对热线、支持和保证回复时间等内容以合同形式进行约定。生产商同时还维护着各个地区数以千计的设备并能利用数万小时的现场经验提高其维护操作方法以及增加员工的专业技能。经过工厂培训的现场人员将收集的数据传送给研发组织，以便分析出故障的真正原因。

生产商的研发小组对数据进行分析，生产出产品升级所需软硬件，并为下次进行 PM 检查提供依据。全球性的接触使得厂家服务人员综合的电源和冷却问题有更深入的了解，这种知识不仅有利于故障排除，也有利于预测分析。

由未经授权的第三方提供 PM

大多数第三方维护公司属于本地或者地区性的公司，他们的业务一般针对安装设备较少的项目。因此对于技术更新，他们的学习曲线会更长。由于他们与生产商和工厂直接联系很少，绝大多数第三方维护服务商无法提供更高层次的服务。他们遇到的许多问题都属于“新”问题，因为他们无法利用生产商全球安装所获取的全球持续进步的信息。

用户维护

数据中心所有者是否决定对其物理基础设施设备进行维护有几个决定因素：

- 设备的架构/复杂性
- 相关应用程序的临界点
- 数据中心所有者的业务模式

部分生产商通过改进对物理基础设施组件的设计来提供用户维护的方法（如：UPS 采用了模块化、用户可更换蓄电池套管）。有利于客户维护的因素包括通过内部预算而不是外部预算来购买维护服务的能力，以及数据中心人员是否经过培训，具有迅速诊断出潜在错误的能力。

不利于用户维护的因素包括有限的内部人员经验（非数据中心所有者业务核心能力）以及由于经营业绩不佳造成的员工知识库日渐贫乏。如果没有签订维护合同，可能从外部渠道获取零部件会出现延误并且针对问题提供迅速的解决方案也会有困难。对用户维护没有合理的规划组织，预期的提效和赢利目标都可能无法实现。

状态基准维护

预计和绘制不同时间设备的状况有助于发现最可能出现维修性缺陷的特殊部件。这种方法还能识别部件特殊部分在今后出现故障可能性被加大的情况（如：由于公用电源质量较差，UPS 经常切换到蓄电池供电）。状态基准维护方法还能通过统计数字和数据发现哪种设备组件最有可能保持正常工作状态，无需维护。因此可以实现维护的效益最高，损害最小。

提供有效的状态基准维护数据有助于估计出设备的下列状况：

- 老化
- 工作经验的历史情况
- 环境的历史（温度、电压、运行时间和异常事件）
- 工作特点（振动、噪音和温度）

结论

PM 是功能完善、正常运作的数据中心的生命线。维护合同应该包括 PM 工作范围的条款，这样数据中心所有者就能放心在需要时能获得综合的技术支持。目前的 PM 工作流程必须扩充加入“完整”的方法。增加的内容包括对目前对普通组件（如：UPS）进行的 PM 服务应该扩展到整个数据中心电源系统（发电机、转换开关、变压器、断路器和开关、PDU 和 UPS）以及制冷系统（CRAC、CRAH、加湿器、冷凝器和冷却器）。

今后，能够提供最有优势技术支持的服务商将是全球性的数据中心物理基础设施生产商。综合性的 PM 检查方法为数据中心所有者提供了一个能负责计划、执行、记录、风险评估和后续服务的合作伙伴。因此简化了操作流程、降低了成本并提高了整个系统的可能性水平。



关于作者

Thierry Bayle 是 APC-MGE 服务和项目类业务的服务运营副总裁，拥有法国图卢兹保罗·萨巴蒂埃大学电子和自动化硕士学位，在施耐德电气具有 7 年服务和配电工作经验。



点击图标打开相应
参考资源链接



确定数据中心关键性 / 级别等级的准则

第 122 号白皮书



浏览所有白皮书

whitepapers.apc.com



浏览所有 TradeOff Tools™ 权衡工具

tools.apc.com



联系我们

关于本白皮书内容的反馈和建议请联系：

数据中心科研中心

DCSC@Schneider-Electric.com

如果您是我们的客户并对数据中心项目有任何疑问：

请与您的 **施耐德电气** 销售代表联系