

IDC 机房设计和运行管理

数据中心 UPS 供电系统的 设计与应用

张广明 韩 林 编著

人民邮电出版社
北京

第 1 章

数据中心机房供电系统的设计概论

正确设计和配置 UPS 设备以及以它为核心的整个供电系统,是当前提高供电质量、满足信息网络对供电质量要求的最关键的问题之一。本章综合了在 UPS 供电系统设计和应用中存在的若干问题。在这些问题上,有些是非常明显的,是用户已经发觉或者已经为之付出代价的,有些则是用户尚未意识到,但是确实已经存在并且可能即将暴露而要付出代价的。有些问题是 UPS 设备和具体使用中的技术问题,有些则是系统设计和应用中的观念问题。有些问题直接影响着供电质量和使用效果,有些则与系统建设周期、投资成本和使用寿命有关。有些问题发生在 UPS 及相关设备的制造供应商一方,有些则只发生在用户一方。

充分了解并重视这些问题,对提高 UPS 供电系统的供电质量和应用水平是绝对必要的。

1.1 数据中心基础物理设施——NCPI

网络数据中心 IDC (Internet Data Center) 通常是指能够实现对数据信息的集中处理、存储、传输、交换、管理的物理空间,而计算机设备、服务器设备、网络设备、通信设备、存储设备等通常认为是数据中心的關鍵设备。数据中心的基础设施 (Data Center Infrastructure) 是指为确保数据中心的关键设备和装置能安全、稳定和可靠运行而设计配置的基础工程,也称机房工程。数据中心基础设施的建设不仅要为数据中心中的系统设备运营管理和数据信息安全提供保障环境,还要为工作人员创造健康适宜的工作环境。

1.1.1 NCPI 概念的提出

美国可用性研究中心是首先进入 IT 系统基础物理设施研究和设计领域的咨询机构,该机构通过大量的调查研究后提出了“NCPI”概念。“NCPI”(Network Critical Physical Infrastructure) 的含义是“网络关键基础物理设施”,它包括与数据中心基础物理设施有关的全部内容,诸如不停电供电系统、空调制冷系统、IT 设备(机架)微环境、系统管理、机房建设装修等方面。该中心在大量调查答案和数据的基础上总结归纳出 5 个方面共 22 条用户需求,这些需求是当前数据中心包括供电系统在内的基础物理设施面临的也是今后必须解决的问题,并针对不同的问题分类阐述了解决这些问题的科学方法和未来的发展趋势。这些意见和解决方法中很多已超出了传统概念的机房和 UPS 设备的功能范围,预示着传统的机房和供电系统正发生着设计理念的变化。

一个 IT 系统可由四个层面组成,如图 1-1 所示。每个层面的组成和功能要求如下。

(1) People (人员): 包括人员的工作态度、专业知识、操作技能等。

(2) Process (流程): 包括设备操作流程、组织结构、管理流程等。

(3) Information Technology (信息系统): 包括数据应用、数据传输、操作系统、计算机、服务器、通信设备、网络设备等。

(4) Network Critical Physical Infrastructure (网络关键基础物理设施): 包括供电子系统、空气调节子系统、机柜子系统、监控子系统、防雷子系统、安防子系统、机房建造装修设施等。

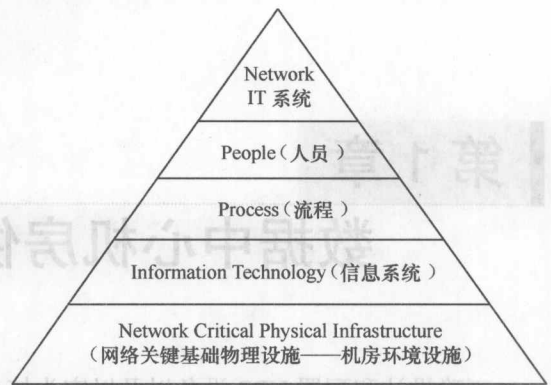


图 1-1 IT 系统的功能组成

世界上第一个数据中心诞生于 20 世纪 70 年代, 当时是因为基础设施需要为主机运行提供支持。从那时起, 数据中心的用户已经逐渐从政府和金融机构发展到几乎所有的公司。随着互联网的日益普及, 如今的数据中心甚至可以成为公司的代名词, 这样的事例不胜枚举。数据中心已经基本上在扮演着无数公司生产机构和收入中心的角色, 最明显的事例是互联网服务提供商和托管服务提供商。

当前, 从全球经济模式及商务运作形式一直到人们的日常生活方式都在发生着巨大的变化, 其中最明显的莫过于互联网和电子商务的迅猛发展, 全球网络、全球通信信息实时处理以及一年 $365 \times 24\text{h}$ 的贸易, 将逐渐变成日常生活的准则。在计算机网络系统中, 所有的硬件加在一起的费用也只是全部网络费用的一小部分 (20%), 而大部分费用用在检查错误, 服务器的重新启动、维护和更新以及数据重建等方面。从某种意义上讲, 保护用户的数据比保护用户的网络设备更为重要。有些大型企业深知自己成功与否取决于计算机, 供电故障只要出现几分钟, 就可能出现如下致命后果: 有损形象、丢失合同、丢失客户、中止客户服务、生产积压以及丢失运行的数据。一个网站宕机, 那么, 一个潜在的用户就会在 8s 内离开; 一个路由器宕机, 局域网可能几百个用户无法工作; 一个光纤室宕机, 可能有几千个用户断开网络连接。

随着技术的进步, 数据中心已从安装几个大型计算机的普通机房发展到数百台服务器的高密度计算中心, 它需要相当于一个小城镇的供电量。正在建设或升级数据中心的企业的挑战是, 在不了解今后 5~10 年内 IT 技术发展的情况下设计和规划数据中心。

1.1.2 数据中心子系统的组成

数据中心的主要组成部分共有如下 11 个。

(1) 物理结构

数据中心的物理结构就是能够安装数据中心并保护其免受环境条件影响的墙壁、地板和天花板。在考虑在何地建设、如何建设该结构时, 需要采取适当的预防措施。因为一旦数据中心建成后, 要想修改极其困难, 所以, 必须认真规划, 准确预测所需数据中心空间的容量。此外, 该物理结构一般要使用数十年, 如果可能, 结构的设计应能允许将来进行简单的扩建。

(2) 配电

电源是数据中心所有设备运转的动力, 从照明到加热和冷却, 再到所有的 IT 设备都需要它。为了保持数据中心的正常运转, 需要认真考虑如何进行电源的分配。该子系统的重要组成部分包括电源维修入口、配电盘、变压器、断路器、转接开关以及 PDU。如果对可用性的

要求非常高，则需要部分或完全冗余。

(3) 不停电供电电源——UPS

不停电供电电源通常是指用于保护负载免受劣质电源影响，并在电网掉电时为负载提供电源的不间断电源。它采用电池备用供电，可以提供从5分钟到几个小时的电源。与其他关键子系统一样，如果需要高可用性，冗余同样必不可少。

(4) 发电

如果断电持续很长时间，仅采用标准UPS电池是不够的，所以，现在大部分数据中心都采用现场发电。这些发电系统以柴油、天然气或其他碳氢化合物为燃料，可以在现场提供长时间的高质量电源，直至燃料耗尽。如遇超长时间断电，燃料的及时供应或大量存储可以保持关键系统运转数天。

(5) 加热和冷却

加热和冷却子系统为数据中心提供基本的工作环境。由于在大部分情况下计算机设备产生的热量非常大，所以必须认真考虑冷却问题，尤其是在大量采用占地面积小的服务器时，数据中心的功率密度正在快速增加。在规划未来的功率密度水平和数据中心发展时，必须要考虑周全。

(6) 加热和冷却冗余备份

很多数据中心的温度在冷却功能失效后会立即超过设备的工作温度限制，因此，经常需要系统冗余来避免宕机，需要储存冷水来保持冷却。精密空调（HVAC）系统通常连接到发电机备份电源上，以最大限度地缩短、由于电源故障导致的宕机时间。

(7) 现场安全性

任何安装了关键系统的现场都必须解决安全性问题，对现场的访问仅限于拥有通行证并经过适当培训后能够正确使用相关设备的人员。现场安全性通常依靠武装警卫、入侵预防、视频监控和先进的身份识别技术等予以保证。

(8) 高架地板

尽管并非所有的数据中心都采用高架地板，但目前大部分都在采用。高架地板是一种特殊地板，主要用于形成一个压力均匀的冷气静压室，可以很方便地在需要冷气的地方为机架提供冷气，同时还可以很方便地在设备下面布置数据和电源电缆。

(9) 防火和灭火

在建立任何结构时都必须了解有关消防规定，并认真执行。由于进出数据中心的数据和电源电缆非常多，因此防火是一个很重要的问题，但这个问题却经常被忽视。除防火系统外，数据中心还应配备灭火系统。灭火系统不仅需要与数据中心集成，而且传感器也必须非常精确，这样才能够避免灭火系统意外启动。要知道，这种意外启动不仅会使数据中心宕机，而且会永久损坏设备。

(10) 监控系统

现场监控系统类似于汽车上的仪表盘。对关键参数的监控有助于进行预防和预测性维护；监控既可以本地进行，也可以远程进行。这样一来，从任何地点都能够对数据中心进行监控。

(11) 紧急断电

紧急断电系统也是数据中心的一个子系统，但是每个人都希望永远不要将其派上用场。在出现紧急情况时，该系统将全面禁用数据中心的所有的电源系统。在发生火灾或自然灾害时，该系统允许救援人员进入房间而不必担心电气安全。

1.1.3 可用性的影响

衡量一个系统性能优劣的最重要指标是可用性。

系统可用性 $A(t)$ 的定义为：电子系统在使用过程中（尤其是在不间断连续使用的条件下），可以正常使用的时间与总时间之比。系统可用性可分别用平均无故障时间 $MTBF$ 和平均维修时间 $MTTR$ 表示，它们之间的关系为：

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

互联网数据中心 IDC 的功能是对各类分散管理的网站提供大数据吞吐量的、高质量的、安全保密的机房租用、专线接入、服务器托管、服务器租用服务。为了向各网站、企业和终端用户提供高效、快速的互联网服务，IDC 必须是高效、安全、高可用的。当系统的可用性达到 99.9% 时，它在一年中可能造成互联网停机的时间为 8.76h；当系统的可用性达到 99.99% 时，在一年中可能造成互联网的停机时间为 0.876h；即使将系统的可用性提高到 99.999%，在一年中，仍然可能造成互联网发生 5.26min 的停机。

这里需要说明有关这些系统的几个常见问题与数据中心可用性级别的关系。在当前的许多环境下，正常运行时的可用性都期望为“5 个 9”，即 99.999%，这相当于每年的宕机时间约为 4min。而每次宕机时间经常持续一个小时甚至更长，这就相当于要求每 10~20 年才发生一次宕机事件。在大部分情况下，要达到这一目标非常困难。由于众多数据中心子系统的相互作用，99.999% 的数据中心可用性意味着每个子系统的可用性级别要比这高得多。从根本上来讲，所有子系统叠加的宕机时间必须是 5min 或者更短。这些因素需要认真考虑，尤其是在确定减少宕机时间需要的费用以及根据“组件”可用性和“整个系统”可用性对厂商进行评估时。

在建立、升级或审查数据中心时，应考虑上述每个子系统。它们对于数据中心的正常运转非常重要，对宕机时间会产生巨大影响。对产品生产商提供的解决方案不要一味求“全”，而是应关注所提供的产品的可用性。某个子系统的可用性或许能够达到“5 个 9”，但是整个系统的级别却很低，在设定整个数据中心的可用性时，必须要考虑这一问题。

有助于实现和评估总体系统可用性的一个方法是按子系统进行可用性的“冗余配备”。采用这种方法，可以为每个子系统配备或分配具体的可用性目标。由于每个子系统实际的可用性级别不同，因此每个子系统的可用性目标也不同。例如，变压器是一个备份设备，可用性可能非常高，但是泵送系统有多个活动部件，可用性通常较低，这样一来，虽然变压器的设计可用性标准可能是“7 个 9”，但水泵可能限制在“6 个 9”。通过为不同的子系统分配可用性级别并设计可用性目标，客户可以与生产商密切合作建立一套系统，该系统应能够在应用于数据中心时使总体系统实现可用性目标。表 1-1 是系统中各个子系统对系统可用性的影响。

表 1-1 各子系统对系统可用性的影响

子系统	可用性影响
1. 物理结构有小的雨水漏洞	1 或 2
2. 消防洒水系统被错误地触发	3、4 或 5
3. 空气处理器需要维修	0、1 或 2（取决于设计）
4. 入侵数据中心	0~5
5. 断路器错误打开	0、1 或 2（取决于设计）
6. EPO 被触发	5

其中:

0 = 没有影响;

1 = 在问题解决前, 数据中心有少部分不可用, 例如 1 个机柜;

2 = 在问题解决前, 数据中心的较大部分不可用, 例如 3~4 个机柜;

3 = 在问题解决前, 数据中心的很大一部分不可用;

4 = 在问题解决前, 数据中心一半或更多部分不可用;

5 = 在问题解决前, 整个数据中心宕机。

1.2 数据中心 UPS 供电系统当前面临的 22 个问题

长期以来, 业界对 UPS 供电系统的认识一直停留在电力电子技术层面, 很少有权威的专业机构认真研究用户在应用过程中面对的技术问题。例如多数 UPS 厂商的研发部门把精力放在 UPS 设备的性能上, 如提高转换效率、功率密度、输出电压稳定度(调整率)以及传输失真度等指标上。不能说这样的做法不正确, 而且这些做法推动了电力电子技术、电器工程技术和计算机技术在 UPS 领域的应用和发展, 但是, 长期以来, 研发部门的工程师很少会从研发实验室的仪器堆中“走”出来, 去现场考察 UPS 在实际运行中存在的问题, 并从中发现新的应用要求和技术发展趋势。美国 UPS 厂商 APC 公司从 2000 年起派出工程师和设计专家到全球 200 多家大型 UPS 用户、电力设计机构考察, 认真倾听来自设备经理、IT 经理、CEO、工程顾问、项目经理等不同层面的反馈, 发现了以前从来没有认真思考过的问题, 并总结归纳出了 5 个方面共 22 条数据中心 UPS 供电系统当前面临的也是今后必须解决的迫切问题。这 22 个问题全面而直接地反映了用户(特别是数据中心的用户)对 UPS 设备和供电系统的意见和要求, 其中很多已超出了传统概念的 UPS 设备应具备的功能范围。

1.2.1 生命周期成本问题

这类问题一般是 UPS 用户中的高级决策人员、财务管理人员首先关心的问题。UPS 系统的购买通常被视为固定资产的投资行为, 所以长期及短期的投资回报率和投资风险是他们首先考虑的重要问题。

问题 1 如何能优化投资和可用空间, 避免 UPS 容量的浪费以及能否做到“边成长边投资”问题

通常情况下, 用户在设计采购方案时, 需要考虑到未来的业务发展。例如, 如果业务量以每年 20% 的速率增长, 则 5 年后所有 IT 或通信设备的负载量将是第 1 年的 2.5 倍, 所以最初采购时就要考虑到未来的需求。为了适应业务发展的终期目标, 许多用户采用“一次到位”的方式采购 UPS。从对 UPS 装机运行 5~10 年的用户的调查发现, 用户的设计容量(即 UPS 的购买容量)、用户设备的预计负载量以及用电设备的实际负载量之间存在着很大差异。平均来看, 在首次装机时预计负载量只是设计容量的 30%, 而实际负载量又只是预计负载量的 30%。换句话说, 在最初装机运行时, UPS 的实际负载量仅为 9% 左右。随着业务的发展, 用电设备逐年增加, 在第 5 年时预计负载量增加到设计容量的 80% 左右, 而实际负载量只达到设计容量的 28%。

图 1-2 为 UPS 配置容量与实际运行容量的统计结果。实际上，大容量 UPS 的用户对系统可用性的要求非常高，几乎全部采用冗余并机系统，所以实际的购买容量比上述容量还大 1.5 倍（3 台并机，“2+1”冗余）或 2 倍（2 台并机，“1+1”冗余）。从图 1-2 中还可以看出，用户在 UPS 容量上的投资，70%以上都被浪费了。事实说明，在大容量 UPS 供电系统的用户中，这是一个普遍存在的问题。现在已经有用户提出，是否有一种办法可以解决这个问题，能否有一种能够“边成长边投资”的方案。

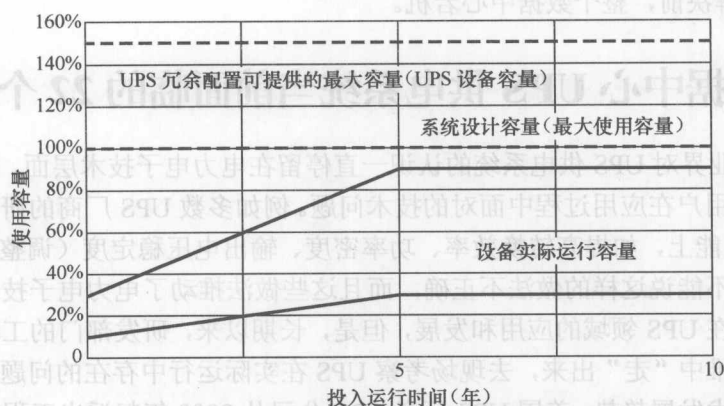


图 1-2 UPS 配置容量与实际运行容量的统计结果

问题 2 空间或占地面积的问题

如何提高 IT 设备所占空间与其他基础支撑设施所占空间的比例？对于部分 UPS 用户（如远离市区的工厂或 IDC 等）来说，空间根本不是问题，但对于那些位于商务区的数据中心机房和旧机房的扩容改造，或者其他办公用房改造为机房的用户来说，基础支撑设施所占据的空间是个令人头痛的问题。基础支撑设施通常指机械和电力基础设施。机械设施通常包括 IT 机房空调等，电力基础设施包括发电机组、UPS 系统、电池系统、输入开关柜和输出配电柜等。随着 IT 设备的小型化（刀片式服务器的出现就是一个例子），人们发现 IT 设备的空间与基础支撑设备的空间的比例有越来越小的趋势，这使得用户的心里感到不平衡——有一天是否会尴尬地发现：不能直接产生利润的基础设施竟会比直接产生利润的 IT 设备所占用的空间还大？有没有一种方案能够压缩整个基础支撑设施所占用的空间呢？

问题 3 装配速度问题

市场瞬息万变，对于企业来说，“快”是生存之道。然而，构建一个数据中心，不仅电源系统的各个部件存在着交货周期问题，而且方案设计、系统安装等也需要时间。大型 UPS 系统、柴油发电机、大型开关设备等需要很长的交货周期，这一点已是人所共知。用户必须提前 6 个月购买这些系统和设备，若中间环节稍有差迟，用户设备的启用时间就会被推迟。在极端情况下，甚至出现当用户启用设备时市场已经变化，最初的设计方案已经彻底过时。有些用户必须提前 6 个月购买拟建中的数据中心的各种设备，6 个月后他们才发现到了一个进退两难的境地。因为他们的项目已经因为后期资金的限制而被迫取消或缩减了规模，他们被这些订购的设备困住了。

通常情况下,因系统的进度及可用性要求的不同,数据中心的实际建设时间一般要 3~18 个月不等。用户希望能够缩短从做出决定进行修建到实际建成并投入运行的时间。

问题 4 服务合同的费用问题

大型 UPS 系统及一些电力基础设施的其他组成部分的复杂性,加上缺乏技术娴熟、经验丰富并经过高级培训的技术人员,导致了服务合同费用的居高不下。随着系统使用年限的增加,用户的运营费用不断上升。更令用户感到不平的是,服务费用都是按照 UPS 的装机容量来报价的,尽管用户实际只用到了 UPS 的 70% 以下甚至只有 10% 的容量。用户非常希望能够找到降低系统复杂性的途径,以此来简化所需要的服务并降低服务合同的费用。

问题 5 投资风险问题

针对 UPS 系统的投资,是否有灵活的退出策略?变幻莫测的市场环境,使所有企业的决策者对未来的业务不确定性感到不安。这种对未来业务的不可知性,直接导致了对 IT 设备及电力基础设施投资的风险性。目前的电力基础设施需要大量投资,但没有可变通及灵活的退出策略。许多用户在试图寻求能够在项目启动失败时提供简单而经济的退出策略。

除此之外,许多用户都在租赁的办公环境内办公,数据中心的办公室也在其内,而且通常在 2~5 年内就搬迁到新的办公环境。对于当前的基础设施而言若要搬迁到其他地方,要么技术上不可行,要么将需要一笔很大的开支,因为现有的数据中心基础设施并不能搬迁,而是需要重新购买。总之,用户希望能够在各种情况下都能低成本地退出。

1.2.2 UPS 系统的可适应性及可扩展性

问题 6 系统和部件的标准化与规范化问题

如何降低系统的设计风险,是当前在 IT 机房设计和实施过程中普遍思虑的问题。目前大型 UPS 用户的电力基础设施变得越来越复杂,多种品牌型号的 UPS、输入输出开关装置、信号及动力电缆的布线等,导致了现场工程设计工作和设计方案的多样性,大大增加了用户或技术顾问公司、设计院的负担,顾问工程师会因为设计的复杂性和资源配置问题而承担极大的风险。因此,用户和顾问公司都希望有一种方案能够使得所有部件标准化、规范化,这不仅可降低设计和施工的工作量,还可以因为设计方案的标准化、规范化而降低设计和组建的风险。

问题 7 不可预测的功率密度问题

用电设备的功率密度,即单位体积内或单位面积内负载消耗的电功率,在随着技术的发展而增大。举例说明,五六年前,一台典型的 IT 机柜内可以放 5~8 台服务器,功率密度大约为每个机柜 1.0~1.5kW,而如今,随着刀片式服务器的面市,在极端情况下每个机柜内负载量甚至能够达到 10kW。对于未来功率密度的增大速率和程度,尽管每个用户都有自己的一套理论,但有一点是大家的共识,那就是功率密度在不断增大且无法准确预见。这种情况对于规模相对较大的数据中心来说会带来两方面的问题。一是在 IT 设备因业务增长而追加设备的过程中,不同区域或不同机柜内的功率密度会变得不均衡,这样会在数据中心内形成一

些功率密度非常高的区域，从而会因大量热损耗而引起局部升温，即形成过热点，这必然要对散热设施提出更高的要求。二是功率密度的不均衡对设备的配电提出了挑战。一个机柜如果安装早期的服务器，也许只能容纳 10 台，即只需 10 个电源插座就够了，而现在，一个机柜能容纳 40 个 1U 的服务器，即至少需要 40 个电源插座，将来这个数目还可能增加。显然，对于 UPS 的配置也提出了更高的要求，所以用户会提出这样的疑虑：电力基础设施能否适应这种不断变化而又无法预测的功率密度带来的影响呢？

问题 8 如何适应不断变化的其他需求

IT 技术革新通常每隔 1.5~3 年就发生一次，数据中心也不例外。随着数据中心环境的变化，电力基础设施和其他基础设施都必须适应并满足这些要求。机柜内的设备升级更换时会导致许多其他问题，诸如新旧设备的重量密度不同、安装要求不同（如一个公司的服务器常常不能安装在其他公司的机柜上）、单电源设备与双电源设备对配电要求不同、交流设备与直流设备对配电要求也不同。例如，某些服务器是双电源供电的，这样的服务器就不容易得到专为单电源服务器设计的基础设施的支持，反之亦然。除此之外，UPS 容量的扩展也是用户十分关心的问题。UPS 扩容时的问题主要有以下三个方面。第一是新旧 UPS 系统的兼容问题。如果新增加的 UPS 与现有的 UPS 品牌不同甚至品牌相同而只是机型不同，都会增加额外的服务费用和服务难度，并可能影响原系统的可靠性和可用性指标。第二是新扩容的 UPS 与现场环境的匹配问题，用户担心万一最初设计时不够全面，那么在 UPS 扩容升级时会不会发生预留给新增 UPS 的空间不够，改动输入输出布线是否需要改变房屋结构等新的问题。第三是 UPS 扩容升级过程中会不会被迫中断现有业务。若干年前为设备扩容而停业半天的情况时有发生，而他们的用户似乎习以为常了。但是现在不同了，许多行业需要 24h 不间断运行的业务，无论什么原因，哪怕是设备升级，中断几分钟也将被视为重大事故，所以 UPS 用户非常希望有一种不停电扩容的解决方案。

问题 9 断路器数量增加以及断路器指标的离散性问题

在传统的集中式 UPS 设计中，UPS 和关键负载之间安置了许多断路器，实际上每个断路器都是一个单路径故障点。许多用户已经开始认识到断路器这一单路径故障点对关键负载可靠性的重大影响，换句话说，每一个断路器都是影响输出业务的潜在隐患，所以断路器数量越多，关键负载可靠性就会越低。另外，指标相同而厂商不同的断路器，其运行过程中的实际动作稳定值和动作时间也存在着很大差异，例如一个标称 20A 的断路器的动作电流是 20A，而另一个标称 20A 的断路器的动作电流可能只有 17A，还可能两个动作电流相同的断路器完成动作所需要的时间不同，这些都会影响数据中心整个系统的保护机制。情况最糟糕时，下游断路器可能不动作，却最终导致上游的断路器动作，结果发生大面积负载掉电的情况。用户希望能够减少 UPS 与负载之间的断路器的数目以及采用更加标准化的断路器。

1.2.3 UPS 系统的可用性问题

现在，UPS 厂商开始重视 UPS 系统的可用性问题了，常见的提高 UPS 可用性的技术是采用冗余技术和可热插拔的模块化设计。但是，当我们把目光从 UPS 本身移到整个电力基础设施系统的时候发现，影响用户设备供电可用性的因素其实还有许多。

问题 10 操作人员人为操作失误的问题

美国权威调查机构 UP TIME INSTITUTE 提供的信息表明, 54% 的宕机故障都是人为因素造成的。其他许多组织也对这一数据进行了调查, 有的估计值甚至高达 75%~80%。无论确切的百分比是多少, 大家都一致认为造成关键负载宕机的首要原因是人为因素。其中, 大部分是由于目前数据中心复杂性极高而又缺乏处理这类复杂系统的专业技术人员等原因造成的。除此之外, 针对如此复杂的系统, 对人员的培训也远远没有达到所需要的水平。众所周知, 使用那些机要任务设备的飞行员和舰长都经过上千小时的培训性运行实践, 而且培训初期都采用了模拟装置, 但是没有一家企业对数据中心管理人员的培训能够达到这种水平, 而往往是自学式的在职培训, 再加上这些行业内的人员的高流动率, 我们就很容易理解“人为因素”是宕机或可用性丧失的首要原因了。用户非常希望得到一种能够很容易地减少人为因素的解决方案。

问题 11 如何把 UPS 与关键负载之间的故障点减至最少

造成关键负载宕机的许多故障发生在 UPS 与关键负载之间。过去, 用户通常在 UPS 及发电机之间引入冗余设备, 从而提高 UPS 和发电机的可靠性, 但是用户往往容易忽略终端配电一级的单路故障点, 例如用户在 UPS 和关键负载之间设置多个断路器, 而且 UPS 和关键负载之间的距离很长。在调查过程中, 我们经常发现 UPS 放置于地下室而负载放置于 5 楼的情况, 所以希望冗余设施距离负载能够更近一些, 并且减少 UPS 和关键负载之间的断路器数量。

问题 12 如何减少大面积断电的故障点

我们不希望宕机事故的发生, 但现实中不可能绝对不宕机, 所以一旦发生宕机, 我们便希望故障的影响尽量局限在小面积的用电设备上。用户在设计整个供电系统时往往会在集中式供电或分布式供电这两种方案中犹豫不决: 集中式供电有许多优点, 但是它的致命缺陷是一旦 UPS 系统发生故障, 所有设备均会因停电而宕机; 分布式供电能够解决大面积业务中断的危险, 但是存在着不易管理等缺点。用户希望能够消除并控制电源系统的故障。

问题 13 UPS 对供电系统的谐波干扰问题

从表面上看来, UPS 的谐波干扰并不会影响自身的可用性, 但是当同一个供电系统中接有多台 UPS 时, 每台 UPS 都相当于系统内部的一个干扰源, 一台 UPS 对电网产生的谐波干扰会影响其他 UPS 的正常运行。当 UPS 设备对系统产生谐波干扰时, 则需要利用更粗的电缆和更好的接地系统来补偿。用户希望能够减少 UPS 设备产生的谐波干扰。

谐波的存在不仅是影响 IT 系统稳定性的重要原因之一, 成为造成系统故障的隐性杀手, 也是降低系统运行效率和能源利用率, 增加供电系统复杂性的重要原因。

问题 14 用户内部以及用户与厂商之间的信息共享问题

目前, 由于各种设备安装的复杂性, 在 UPS 的应用中有时会遇到一些特别的问题, 故障发生了但却分析不出故障根源。用户认为, 基础设施部件中存在着太多的变化, 希望能够通

过全球统一标准的系统收集数据和比较结果，并规范校正和处理措施，他们希望同一机构内不同场地的机房能够采用同样的设备，从而使企业内不同部门的管理人员能够分享管理经验及故障处理经验，还希望 UPS 供应商能够提供这些技术知识。

1.2.4 UPS 系统的可管理性问题

问题 15 UPS 输出的分路管理问题

用户对其数据中心内分支电路的超载问题比较关心，主要原因是每天都有越来越多的设备插入系统中，导致分支电路的负载增加甚至过载，还有其他的原因比如授权的用户和未授权的用户在输出端插入用电设备，而该设备（指非关键性设备）是根本不允许与关键电源及 UPS 输出相连接的。当分支线路过载时，断路器就会动作，本支路内连接的机柜或所有设备就会宕机。在极端情况下，会发生保护该过载电路的断路器不动作却引起上游断路器动作的情况，这将使更多的机柜或更大面积的设备发生宕机。用户非常希望能够获得可管理的输出，以便在上述故障发生之前可以得到报警，有些用户甚至提出希望能够管理并控制配电插座上的每一个插孔。

问题 16 监控负载机柜的电源状态

机柜使用量大的用户往往希望能够有一些安装在本地的显示装置，以提醒维护操作人员可能发生的故障。目前要弄清楚每个机柜上的电源状况是很困难的，但在有些情况下，即使能够查看每个机柜上的电流，也需要通过远程管理界面才能查看。用户希望能够在巡查过程中看到每一个机柜的各个输出插座的电流情况，从而查明设备是否在正确的范围内工作。

问题 17 线缆管理的问题

传统的配电系统工程设计施工中，往往都把输出配电柜安装在高架地板上，并通过多个支路把单相电源分配给各 IT 设备。随着业务的发展，IT 设备被不断地追加安装，机柜中的功率密度不断增加，这就必须把更多的电缆连接到配电柜上。如果机柜采用 2N（双总线）设计，就需要有 AB 两路供电电缆。如果再考虑到高密度服务器数量有进一步增加的趋势（IU 高度的服务器乃至刀片式服务器），在极端情况下，一个机架上甚至可以安装 200 多个刀片式服务器，而所有这些服务器都需要 1 根或 2 根电源线及几根网络电缆，这样就使数据中心的电缆数目大大增加，成为管理和发生宕机风险方面令数据中心管理人员头痛的问题，有时他们为了查找一根电源线的来源甚至要花几十分钟或一两个小时。如何改变电缆的混乱状况，改善电缆的管理水平呢？

问题 18 预防性故障分析的问题

数据中心机房管理的重要内容之一是预防性故障分析。预防性的故障分析是数据中心电源系统难以实现的一个课题，用户一直依赖劳动力密集的预防性维护操作、红外线探测等作为他们检查潜在问题的方法，而这些乏味的重复性工作又往往需要受过专业训练、经验丰富的工程师来完成。用户希望电源系统具备足够的智能水平以及自我诊断能力，以便能够在故障发生之前发现并汇报这些潜在故障。

1.2.5 UPS 系统的可服务性问题

问题 19 减少平均维修时间 (MTTR) 的问题

电源基础设施的平均维修时间是指从故障发生、故障报警到管理员发现并判断故障位置、原因,从而通过更换部件而使系统恢复正常的平均时间。系统的易管理性是减少平均维修时间的前提。但是很多用户开始认识到,故障判断后,部件的更换往往是减小平均维修时间的关键。许多供应商提供了响应时间的承诺,比如 4h 响应的承诺。供应商在多数情况下能够完成承诺,服务工程师在 4h 内能赶到现场,但问题是赶到现场是一回事,是否携带了合适的备件又是另一回事。而服务工程师经常因带错备件无功而返。如果用户自身在装机时同时购买常用部件,这种情况会有所改善,但用户端的储存条件又不能保证备件的“完好性”。另外,自备配件也会占据用户的宝贵空间。总之,用户希望能更准确地处理故障同时修复时间更短。

问题 20 降低系统的复杂性问题

目前的电力基础设施是非常复杂的,同时,基础设施的许多子系统和各部件也同有越来越复杂的趋势。在并机系统、多模块 UPS 系统、负载总线同步装置和大型近代开关等之间,准确迅速地判断故障是非常困难的事情。比如,对那些不十分熟悉现场的操作人员来说,将系统转入旁路状态,简直就是一种挑战。系统的复杂性会带来两方面的影响:第一,系统越复杂,操作人员和管理人员产生人为失误的可能性就越大;第二,系统越复杂,系统发生故障时对故障进行定位所需要的时间越长,从而使修复时间越长。用户非常希望能够降低数据中心基础设施的复杂程度同时提高操作的容易程度。

问题 21 带电操作的问题

带电操作通常被认为是当前数据中心电源基础设施中无法避免的一个弊端。目前许多数据中心的电源基础设施都采用了冗余技术;当多个冗余部件中的一个部件发生故障时,并不会给管理员带来“恐慌”,真正给管理服务工程师带来“恐慌”的是如何取出故障部件并更换新的部件,因为根据业务的需求,更换过程是不允许停机操作的,换句话说,这个过程需要带电操作。带电操作既对管理工程师的人身安全造成了威胁,同时也增大了操作失误的机率,严重时还会引起关键设备宕机。所以,数据中心的管理人员希望能够有一种可以减少电力基础设施中不得不实施带电操作的方法,此外许多国家和地区的健康与安全法规都正在做出禁止带电操作的规定。

问题 22 供应商之间的相互推诿的问题

由于系统的复杂性,数据中心的设计者和用户要与越来越多的设备厂商打交道,各厂商的设备之间的配合以及各厂商的工程师与工程师之间的配合变得越来越复杂了。当系统中的某一个环节出现问题时,各厂商的工程师往往从自身利益角度出发,而不是从整个系统的角度出发来判断、认定和解决问题,他们往往会自觉或不自觉地推卸责任;各方面的工程管理人员,往往在解决问题的现场会上唇枪舌战,使本来复杂的问题变得更加复杂而难以解决。

争论的焦点往往会从解决问题、发现解决问题的方案本身能到发现其他设备的缺陷上面去，甚至有的用户抱怨说，在这种情况下他们已经从一个职员变成为一个必须善于斡旋的“政治家”。用户非常希望能得到一种解决方案，它能减少或消除供应商之间的相互推诿。

以上五大类 22 个问题是从事数据中心市场的设计工程师、顾问工程师、设备经理、IT 经理、CEO、项目经理那里得到并汇总而成的。需要说明的是，对于某一个数据中心而言，肯定会关心这 22 个问题，只是不同的用户在不同的场合下会关心其中的某些问题。

解决这 22 个问题并不是一朝一夕可以做到的，但它既然是当前数据中心 UPS 供电系统存在的问题，也必然是所有 UPS 供电系统普遍存在的问题。问题决定需要，因此这 22 个问题将成为高可用 UPS 供电系统技术发展的主要依据和动力。

1.3 数据中心规划设计的事实与误解

要使数据中心实现高可用性，达到使用预期，在建设过程中各个子系统必须统筹考虑。在过去的几十年中，出现了若干与数据中心有关的误解，这些误解最终抑制了数据中心设计性能的发挥。如今，这些误解已经被澄清，真相得以揭示，只要付诸实施，即可有助于实现系统可用性的最大化。

在任何数据中心的设计和建设过程中，有一些误解和基本事实是 CEO 和 CIO 们必须了解的。这些事实可能适用于您的数据中心，因此在规划和分配资源时应当认真考虑。误解包括业界很多最常见的数据中心设计错误。在制定有关数据中心以及为数据中心提供资源的承包商和生产商的能力预期时，需要考虑这些误解。

检查这些事实并确定您是否坚持这些事实最恰当的时间就是在结束数据中心设计之前。与此同时，也要对这些误解进行检查，以确保不会被与建设数据中心有关的诸多常见错误所左右。

如果数据中心已经建成，那么在某些方面的控制力就会减弱，但是原则仍然适用。当审查可用性预期或者评估基础设施升级时，这些原则尤其有帮助。

1.3.1 10 个毋庸置疑的事实

事实 1 UPS 成为数据中心供电系统的代名词

UPS 是为了解决供电系统存在的问题应运而生的，在漫长的发展历程中，UPS 设备的技术水平和功能在不断变化，当今 UPS 设备无论是在输出容量上，还是在基本性能、智能化管理、可靠性、可维护性和可管理性上，都获得了长足的发展。如今它已经不是一个简单的电网停电后可以继续维持向负载供电的设备，它还肩负着全面改善供电质量，并通过智能管理、智能监控和网络通信实现对整体电力基础实施保护的任务，成为一个有强大管理功能的信息技术设备，已经完全融入企业信息系统，成为其中不可缺少的一部分。

从应用的角度看，随着时间的推移，配置 UPS 的功能要求也在发生着明显的变化，如图 1-3 所示。

功能 1：市电停电时，保护负载硬件设备。在 UPS 设备应用初期，大部分用户都首先意识到这一点。

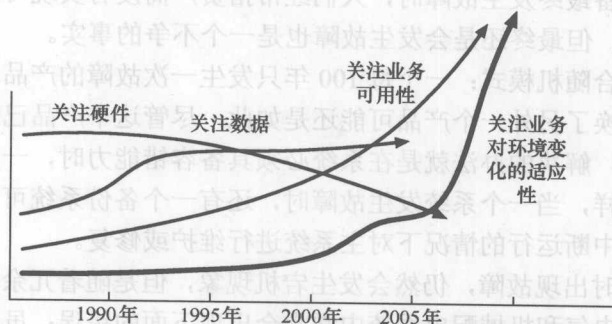


图 1-3 UPS 供电系统功能的变化

功能 2：市电掉电时，保护负载设备运行的数据。这是应用 UPS 设备的主要目的之一，特别是随着互联网和电子商务的迅猛发展，用户意识到保护运行数据比保护网络设备更为重要。

功能 3：全球网络、全球通信、信息实时处理，以及 365×24h 的贸易，已经成为整个社会日常生活的准则。要求供电系统在市电正常和故障等各种情况下都要保证供电系统正常运行，即系统必须有很高的可用性，以确保数据中心业务的连续性。

功能 4：当 IT 技术发展和变革的周期小于设备的使用周期时，就对其基础设施提出了可扩展和适应性问题。用户在关注业务可用性的同时，开始关注系统对环境变化的适应能力。

功能 3 从 20 世纪 90 年代中期开始变得愈来愈重要。随着信息技术的高速发展和网络时代的到来，对以 UPS 为核心的整个供电系统的可用性、可维护性、可管理性也提出了越来越高的要求。越来越多的厂商和用户已经形成这样的共识：在 UPS 各种性能指标基本满足计算机网络设备供电要求的情况下，真正能为客户带来价值的是系统的可用性。用户关心的重点开始从仅仅强调 UPS 本身由设计和制造决定的可靠性，转移到由整个供电系统方案设计和方案决定的可用性上来。

功能 4 从 20 世纪 90 年代末期开始受到关注，特别是进入 21 世纪后，信息技术的高速发展和 IT 基础设施生命周期的缩短，可扩展性成为 IT 基础设施设计建造时必须考虑的最重要的因素之一。信息化发展到今天，网络基础设施在现代企业投资中所占比例越来越大，而决策者们的困惑也随之不断增加。在不少企业决策者的心目中，网络基础设施最好是一步到位，构建起来的系统不但要满足当前的业务需求，还要为将来的业务发展做好充足的准备，但结果却往往与预期大相径庭。首先，谁能确保企业未来的发展与今天的规划完全吻合？在 1999 年以前，没有人预测到互联网浪潮会来得如此迅猛；而 2000 年全球 IT 投资急剧上升的时候，同样也没有人预测到网络经济竟然会发生这么大的起伏变化。很多数据中心在一次投资大规模网络基础设施后，在市场形势发生变化时很难及时调整策略，决定退出时损失也会非常大。即使把经济环境的不确定性因素排除在外，IT 技术的飞速发展也会使得其基础设施迅速过时，最初的投资越大，损失也就越大，令“一步到位”的设想落空。

事实 2 最终还是会发生故障

这也是一个不争的事实，它适用于数据中心内的所有设备，不管是 UPS 系统设备，还是数据存储设备。对于关键任务数据中心，必须非常谨慎地选择具有出色服务记录的高质量、可靠的厂商。即便如此，设备最终仍然会发生故障。

不幸的是，当设备最终发生故障时，人们经常指责厂商没有实现可靠性的预期目标。预期目标必须切实可行，但最终还是会发生故障也是一个不争的事实。

故障分布可能符合随机模式：一个每 100 年只发生一次故障的产品实际上可能在使用的第一周就出现故障，换了另外一个产品可能还是如此，尽管这个产品已达到了预定的可靠性水平。对于这类问题，解决的办法就是在系统必须具备容错能力时，一定要建立允许冗余和并行维护的系统。这样，当一个系统发生故障时，还有一个备份系统可以防止运行中断；与此同时，还可以在在中断运行的情况下对主系统进行维护或修复。

如果两个系统同时出现故障，仍然会发生宕机现象，但是随着冗余级别的增加，这个概率会变得非常低。在电气和机械配电系统中常常会出现下面的错误：虽然采用冗余 UPS，但是只有一个电源路径为负载配电。在这种情况下，UPS 下行的连接或设备故障就会导致负载中断。尽管电气布线可能非常可靠，但是偶尔也会发生故障。由于这是惟一的电源路径，因此通常不会将其停下来进行适当的日常维护，这样一来，发生故障的可能性就更大。

事实 3 IT 负载的密度会继续增加

很多数据中心面临的一个常见问题是负载密度的增加。简单地浏览一下 IT 设备我们不难看出，计算机服务器等设备的外形尺寸已经变得非常之小，但是在很多情况下，这些服务器需要的功率密度却增加了，因为它们要处理更多的 CPU 或者硬盘。图 1-4 是 HP 公司对 IT 设备功率密度变化趋势预测的示意图。

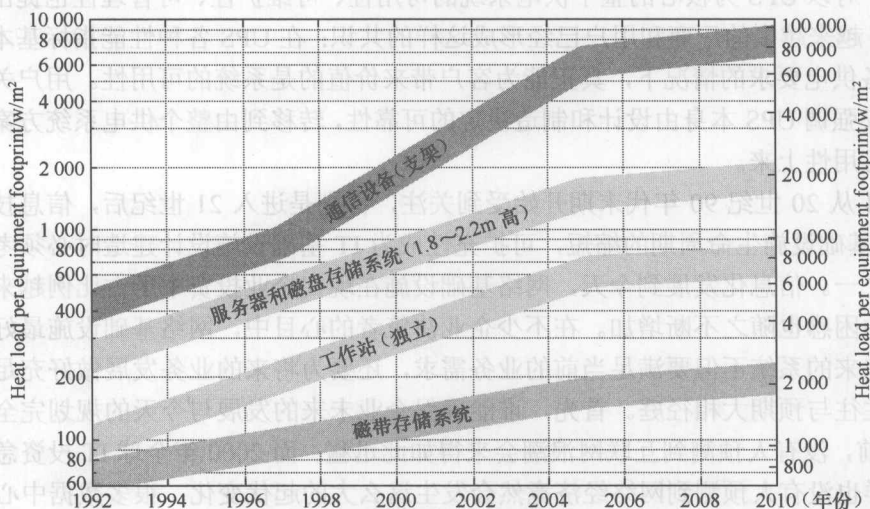


图 1-4 IT 设备功率变化趋势

仅以 2000 年到 2010 年这 10 年的变化情况来看，各种设备的功率密度变化可达到+50%~100%。几年前，一个数据机柜中只能装入 4~6 个服务器，而现在则可以容纳 42 个甚至更多的最新薄型 Web 服务器（有时候还配置双 CPU）。在确定数据中心电气和冷却系统的规模时，这一趋势经常会造成规划不当。

过去，在规划数据中心时通常为其配置每平方英尺 20~60W 的电源。而现在，这个数字很轻松地就可以达到每平方英尺 100~200W。当前的趋势瞬息万变，因此预测长期的需要可

能非常困难。与很多领域一样，进行适当的规划有助于缓解这个问题。现在，对数据中心的用途以及其中安装的设备进行评估越发显得异常重要。

一个设计方案是构建一个结构，并使该结构能够在不干扰当前数据中心运行的情况下增加电气和冷却设备。

事实 4 对可用性的要求将进一步提高

新经济时代的一个明显趋势就是公司、员工、客户和供应商与技术的联系越来越多，也越来越依赖于技术，这些连接的重要性呈几何级数增加，而维护电子商务的需求也使这种需要更进一步。这种趋势的最终结果是对系统可用性水平的要求越来越高。问题的严重性在于，随着对系统功能要求的提高，系统也变得越来越复杂，而正是这种复杂性趋势给提高可用性带来愈来愈大的困难。不管当前的可用性预期值是什么，明天对可用性的预期值都会向更高迈进。因此，数据中心的规划应充分考虑够满足未来可用性需要的空间。

事实 5 数据中心的崩溃可能会置企业于死地

“置企业于死地”听起来有点恐怖，但是现在已经有了由于系统崩溃导致股票大幅贬值、影响企业绩效的实例。

企业业务流程的性质决定了这类事件对财务或股票的影响。因此，每个企业所遭遇的风险很大程度上取决于企业本身。那些脆弱的企业所进行的交易对时间的敏感度非常大；他们要处理大量的金钱，用户群庞大或者广告声势浩大。无论在哪一种情况下，只要计算机宕机，就会导致交易失败，资金流失，令大量的用户失望，甚至大街小巷都已传遍企业计算机出现了问题。宕机带来的全部后果很难事先评估，但其结果却是显而易见的，例如工人生产率的损失和股票的贬值；但也可能非常模糊，例如客户不满意或者声誉受损。

事实 6 如果操作人员并非训练有素，即使是设计最优秀的数据中心也会崩溃

现在让我们来看一些有趣的数据，这些数据是将设施和数据中心操作人员接受培训的时间与其他主要操作职位所接受的培训时间进行的比较。例如，一个核设施中的操作人员可能接受 2 000h 的培训，空军地勤人员接受培训的时间为 1 200h，而数据中心操作人员可能很少，可能也没有接受过有关如何操作他们所管理的数据中心关键子系统的培训。数据中心操作人员通常通过在工作中的实际操作和不正规的培训获得知识。尽管这些知识也是正确的，但那是通过犯错误，甚至造成代价高昂的宕机获得的。

希望数据中心在运行时绝少出现宕机是业界共同的愿望，但是要真正做到这一点，必须对操作人员进行有效的培训。对操作人员的培训通常不太容易进行，这是因为制定一套标准的培训计划难度很大。在大部分情况下，培训内容涉及与各生产商的密切合作，要对与每个产品有关的操作问题做详细的了解。除了具体的设备操作，还需要为各类常见任务制定工作程序，以确保正常的实现和最低限度的风险。很多关键负载由于一个很简单的任务而中断，例如闭合了一个错误的断路器。

事实 7 统计资料显示，数据中心将在未来的 5 年内由于错误的 EPO 导致发生宕机

紧急断电系统（EPO）经常被称成为数据中心的致命点。对于数据中心经理来说，最可

怕的噩梦就是发生 EPO 的跳闸，无论是人工的还是自动的，因为立即切断计算机的供电对硬件和应用软件极其有害。对于配备了最好的设备和最高冗余水平的数据中心来说，只要紧急断电系统被启动，整个中心就会在约 1s 之内停止运转。尽管这对数据中心的冲击很大，但根据相关法规的规定，在有些情况下还是不可避免的。

在多数情况下，EPO 的错误配置很容易解决，由此产生的对数据中心的冲击是可以避免的。但是，很多数据中心操作人员不了解这些系统是如何工作的，对故障和自动跳闸也不敏感。部分业内数据显示，数据中心大概每 5 年经历一次故障性跳闸。对于任何希望达到 99.999% 可用性（5 个 9）的数据中心，一次 EPO 错误就会使实现这一目标的所有希望付之一炬，尽管保持的无错误纪录是那样完美。

事实 8 系统极有可能在状态变化过程（例如维护）中发生故障

系统发生故障的时间和导致发生故障的事件极有可能是物理学定律和人类行为规律两者的组合。例如，灯泡极有可能在打开时发生故障。这是因为电通过灯丝的突然闪现导致温度的迅速变化，温度的突然升高使灯丝材料热扩张，最终导致断裂。无论是热冲击引发故障，还是灯泡已经损坏，确定是否将要发生故障的惟一办法就是使系统投入运行。

各种数据中心系统也是如此。电源电子装置，例如 UPS 设备中采用的 IGBT，也会在发生热冲击时显示类似的故障模式。一个简单的预防措施就是：在第一次采用电源电子装置时，该装置不要连接关键负载。

产生这种现象的第二个也是比较重要的一个原因是人的行为。系统经常会在状态变更之后出现故障，这是因为系统没有正确地返回运行状态。比较常见的例子是打开一个断路器，在一个下行设备（例如发电机）上进行检查维护工作，工作完成后，技术人员忘记关闭该上行断路器，这时在供电系统某个环节发生了故障，当发电机启动时，负载因没有从发电机那里获得能源，因此负载中断。用什么解决方法呢？答案是在维修任一个子系统之后，必须认真进行系统测试，确保一切正常。

事实 9 任何设备都需要维护

不少人认为数据中心的部分系统无需维护。这种假设很危险。当可用性非常重要时，即使不需要频繁地进行预防性维护的系统也可能需要预测性维护，两者之间的区别十分微小。让我们看一下变压器的维护情况。通常变压器根本不进行维护，但实际上应定期进行检查，清洁外壳，检查负载和容量是否适当。进行这些工作将延长设备的使用寿命，预先发现潜在的问题。主动检查所有的设备有助于预测或发现潜在的问题。

事实 10 一个数据中心需要经历 4~5 代的 IT 设备更迭

任何大项目都必须提早计划，以便使用较低的成本，高效地预期未来的使用和需要，也许还会针对当前的需求扩大建设规模。数据中心内安装的设备更迭迅速，这对于数据中心来说可能是非常困难的事。因为一个数据中心要维持 15 年甚至更长时间，而其内部的设备经常 3~4 年就要更换，每年都会发生变化，在规划未来几代 IT 设备时，要预期未来的电气和冷却需求可能比较困难。这种频繁的变化还涉及数据中心与所安装设备的成本问题。一个配备全新的 10 000 平方英尺数据中心的基础设施成本可能不到 1 000 万美元，但是在它的寿命周