

在交流230V供电的国家应用于高密度的机柜供电附件

作者：Neil Rasmussen

白皮书28号

APC[®]
Legendary Reliability[®]

摘要

本文介绍并比较了各种向数据中心和网络机房内的高密度机柜供电的选择。所涉及的问题包括馈线数量、单相还是三相、断路器的数量和位置、过载、连接器类型选择、电压选择、冗余以及冗余缺失。确定并量化需要不断适应变化的机柜电源系统。为机柜电源系统制定了相应的准则，使其能够可靠地向高密度负载供电的同时又能够适应不断变化的需求。

引言

信息技术（IT）的发展使数据中心和网络机房通常每隔2到3年就要更新一次。随着设备的变更，功率的要求、冗余度的要求以及连接器的要求也经常变化。由于机柜已成为装载和组织计算及通信系统的标准方式，机柜的配电系统必须适应这些不断变化的要求。

由于最新一代计算设备的高功率密度，数据中心内机柜功率密度的预期急剧的上升。在由1U服务器或刀片式服务器等现有的IT设备组成的一个满配置的机柜中，其功耗可达20 kW甚至更高。一个仅由230V 10A电源回路供电的普通机柜是无法支持数据中心环境中这种密度的。在双路供电的电气环境中，每个机柜将需要20个这样的回路方可支持20 kW的负载。

现代计算机设备的功率需求是变化的，是一个取决于计算负荷，随时间而变化的函数。到2000年之前，这种变化还都非常小，对于几乎所有计算和通信系统都可以忽略不计。然而在2000年，处理器和服务器中开始实施电源管理技术；今天，那些功耗随计算负荷的不同而显著变化的计算设备的比例在不断增长。功耗的变化幅度可能高达设备基准功耗的200%。机柜配电系统的设计必须考虑到这种变化。

本文重点论述机柜的交流配电。直流配电在现代高密度数据中心中作用有限，如APC白皮书63号“针对数据中心和网络机房的交流和直流选择”中所述。

本文仅限于对230 V配电系统和连接器标准的讨论。对于在北美占主流的120 V配电系统，相应的机柜配电策略会有相当大的差别。

以往对机柜供电的方式

今天最常见的方式是为机柜专门设计、构建并安装一个电源解决方案。如果该机柜的要求发生变化，则必须设计、构建并安装一个替代的电源解决方案。尽管这种方式可以满足任何独有的电源要求，但它需要相当多的规划、工程设计以及重新布线的工作。机柜通常由数据中心或网络机房内的公共配电盘供电。在许多情况下，该配电盘不能为了调整机柜配电系统（比如，安装另一个断路器）而断电。其结果就是“带电作业”，这不仅会带来极为严重安全隐患，还极可能在操作的回路中形成故障，并 / 或使相邻的连线回路断电或故障。这些错误会导致意料之外的停机。

理想情况下，机柜电源系统应根据需要适应任何可行的设备组合，而无需进行任何可能威胁安全或对系统可用性有负面影响的操作。

机柜供电的要求

以下各节归纳了对机柜电源的各方面的要求。列举各要求的性质，并概述了合理的设计方式。

电压要求

在世界大多数地区，数据中心由230V电源供电。这使得其配电相对北美地区的数据中心要简单很多。选择230V作为数据中心的单一电压标准可以确保兼容97%以上的设备，包括最为关键的设备。对于某些设备，必须通过一个选择开关将电源由120V切换为230V方式运行；如果在具有这种开关的设备上没有打开此开关，则可能在由230V供电时造成灾难性故障。其余3%的仅以120V运行的设备可以从数据中心中排除，因为在几乎所有情况下，这些设备是小型附件设备，并且具有可运行于230V下性能可接受且可随时获得的替代产品。

机柜环境为单相供电。极少有需要三相电源的机架式IT设备（某些品牌的刀片式服务器需要特别注意）。个别时候，会有预先配置好的OEM机柜通过一个三相输入的内部配电单元（PDU），向单相IT负载提供3个单相电源支路。需要特别注意的是，这些IT负载实际上是单相的。尽管没有三相负载，但是有很好的案例可以说明有必要向机柜配送三相电源，请参见后文所述。

功率要求

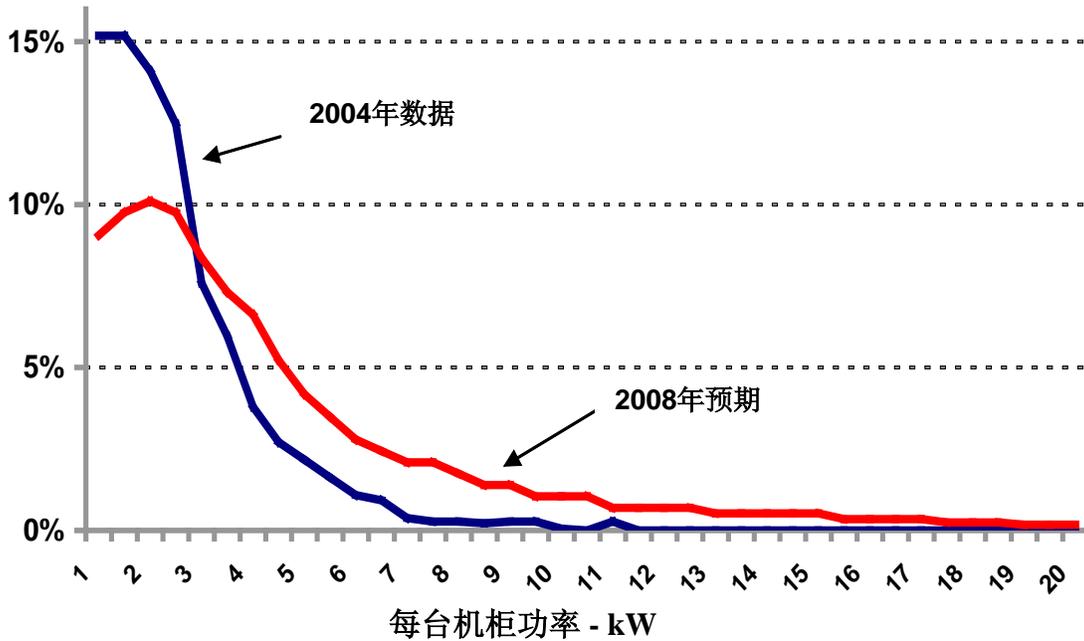
机柜内的功率密度根据所安装的设备不同会有很大差别。在负载极低的情况下，机柜内可能只有无源的接插面板或少数网络互联交换机，其功耗小于100W。在负载极高的情况下，机柜内可能装满了高密度服务器，总负载高达20 kW甚至更高。

除了满足机柜整体功率要求之外，机柜电源系统还必须能够为每一设备提供所需的功率。向一个机柜提供多个支路可能能够满足总体功率要求，但个别大负载的功率要求可能会超出任何一个支路的容量。例如，如果机柜内有一台需要16A电流的设备，则向其中送入多少条10A支路都是不够的。另一个例子是，一台具有16A连接器的刀片机箱，最初它可能只装了少数几个刀片，在16A回路上仅使用5A的容量。有些用户可能认为可以将多个刀片机箱置于一个16A回路上，但随着机箱装满刀片，回路就会出现过载。在这类情况下，建议每一支路上仅连接一个负载设备。

关于机柜平均功率水平的设计值应当多大合适有相当多的争论。APC于2004年的一项针对企业数据中心、网络机房及通信机房使用模式的调查确定了每台机柜功耗的分布，如图1中所示。此图显示了不同功率配置水平的机柜出现的频度。出现频度随功率水平的提高而降低。95%的机柜的功耗低于6.5 kW。

图1中还（基于技术/客户趋势）示出了对2008年使用情况的预期。图示表明每台机柜的平均功率在随时间上升。如果机柜完全装满IT设备，现在就可以配置出每台要求超出20 kW功率的机柜。尽管有可能实现，但我们还是没有看到这种情况在现实设施中频繁地出现。所收集的数据显示，每台机柜的平均功率密度将会显著上升。然而，功率密度大于6 kW的情况在已装机设施中占的比例仍然较小。

图1 - 每台机柜功耗频度分布



对机柜功率分布基础数据的分析表明以下结论：

- 负载非常低的主要是装有接插面板、交换机和集线器的机柜
- 负载在1 kW以内的主要是内装设备比较稀疏的机柜
- 负载在2-3 kW范围内的主要是装有典型设备但机柜空间明显未充满的机柜
- 负载在5 kW范围内的有一部分是装有1U服务器，或者各种设备混装
- 负载在7 kW以上范围的较为少见，但根据客户的需要，随着服务器技术的进步，近年来密度在增加，这一范围的负载正在变得更常见

企业计算环境下机柜功耗的平均值约为1.7 kW。然而，企业各自的整体机柜环境的平均功耗却不尽相同。各个企业在机柜内安装设备的方式不同。有些会在机柜内留出大量的未使用空间，而其他则是尽可能将设备装满。因此，整个市场范围内的平均机柜功耗并不一定是企业内平均机柜功耗的良好预测指标。

最后一级过流保护器与设备之间的电路称为“支路”。在多数采用230V电压的国家，实际上机柜内的所有支路的额定值均为16A¹。

表1 - 支路功率限制

¹ 请注意，机柜中也有25A和32A的回路，但这些回路是馈电回路而非支路，因为它们需要在机柜内有额外的断路器，如后面几节所述。能够直接使用25A或32A支路的机柜设备非常少；它们通常是刀片式、路由器或独立式服务器或存储设备。

电压	最大支路额定电流	每一支路的最大容量kW值	1/2/3/4条支路的总机柜功率
230V	16A	3.7 kW	3.7 / 7.4 / 11 / 14.7

机柜可用的最大功率取决于机柜内所提供的支路的数量及类型。如果要支持当前和未来IT技术条件下的功率密度，支路的数量显然要大于1。

综合**表1**和**图2**的数据，可以得出以下结论：

- 单个230V支路可以支持当前最常见的机柜的负载要求，但无法满足未来的要求。
- 两条230V支路可以支持当前约98%的机柜负载要求，但未来只能支持90%的机柜。
- 三条230V支路可以支持当前几乎所有机柜的负载要求，在未来的支持比例仍可达到98%以上。

应注意，即使不能为机柜提供足够的支路，也不会妨碍系统的运行。如果机柜的配电容量不足，也可通过从机柜中取出设备、将其移至另一机柜的方式降低其功耗。然而，其后果是会出现空间利用率下降。对于非常用的机柜，这并非严重的问题。在数据中心内分散负载的成本和收益将在APC白皮书46号“超高密度机柜和刀片式服务器的制冷策略”中讨论。

可适应的机柜电源系统应能够在任何时候向任何机柜提供最大预期负载所需的足够功率，而不需要对电源系统进行重新设计。每台机柜配备2条230V支路是一项实际设计准则，能够轻易地加装额外的回路。

冗余度要求

在电源系统中实现冗余和/或容错将可以提高计算系统的可用性。在高可用性环境中，实现冗余的通用方式是对每一个计算设备均提供两条独立的电源路径；而设备相应地通过一个独立的并联电源接受两条电源馈线，并联合电源按照仅有一路电源供电时设备也可以连续运行的规格设计。这种系统可以实现以下关键优势：

- 如果一个电源故障，系统将正常运行
- 如果一路馈线由于设备功能失常而故障，系统将正常运行
- 如果一路馈线由于用户错误而故障，系统将正常运行
- 如果电源的故障使得电源馈线故障并使断路器跳闸，共用该断路器的其他设备将不受影响
- 如果有一路馈线需要切断以进行维护或升级，系统将正常运行

为使此方式有效，必须满足以下要求：

1. 被保护的设备必须支持双电源供电，并可允许一条馈线故障
2. 正常情况下，每一回路断路器的负载量必须总是小于额定跳闸电流的50%，这样当另一回路故障时就不会因为负载上升而导致断路器跳闸。这也有助于防止另一回路由于线路电压低而跳闸。

满足这两项要求可能会非常困难。有些计算设备仅配有1条电源线。也有配3条电源线的设备，但需要其中任意两条正常方可正确运行。这些类型的设备不能在一路馈线缺失的条件下运行。这种情况下，可以采用自动转换开关（ATS），它可以从两路输入中形成一条馈线。这种ATS可以集中部署，也可以在配有保护设备的机柜内安装小型机架安装式ATS进行分布式部署。更多信息，请参见APC白皮书48号，“各种机柜电源冗余配置的可用性比较”。

可适应的机柜电源系统应能够支持单路或双路环境，抑或单路与双路设备的混合。此外，还必须提供电流监测，确保所有回路的负载均不超过50%的容量，以防止断路器在一条电源路径缺失时跳闸。

过载保护要求

支路的过流保护是配电方面引起误解最多的概念之一。机柜内的每条支路必须经由一个独立的断路器供电，一个机柜通常需要有多个支路。图2所示为机柜配电的常见方法，图中示出了各种不同的支路配置。在图2a中，一条支路为一个机柜供电。对于10 A的系统，这种安排在230V下最高容量限值为2.3 kW。为实现更高的机柜功率，需要更大的断路器和导线，或者需要采用多个支路。为一个机柜提供多个支路有两种备选方案，如图2b和3c所示。

图2 - 为机柜提供支路的方法图示，显示向机柜提供多条支路的备选方法

图2a - 对机柜的单一支路

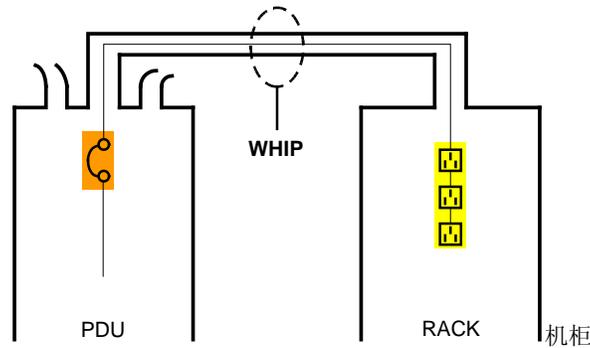


图2b - 多条支路：
在PDU上生成所需的支路

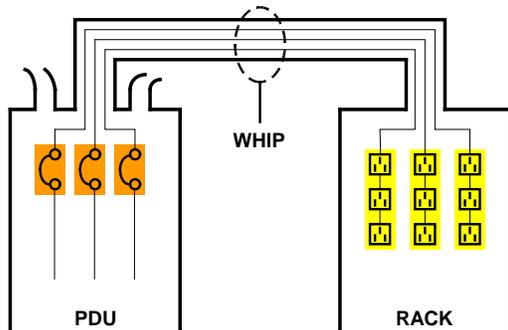


图2c - 多条支路：
在机柜内生成所需的支路

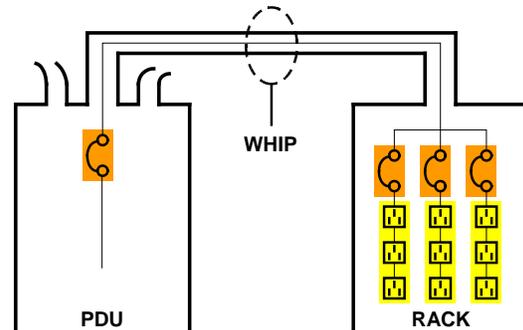


图2b和2c的安排能够提供相同的功率，但配线和断路器布置并不相同。应注意，在图2b中，线缆管或“预制插接电缆”包含有多条支路。这两种备选方案会产生如表2中的归纳显著的优势和劣势

表2 - 向机柜提供多条支路的两种备选方案的比较

	馈线数目	断路器位置	优势	劣势
在PDU上生成所需的支路	所需的每条支路一条馈线	仅在PDU内	断路器总数更少 无故障配合问题 每一条支路均可满载使用 引向机柜的馈线可以插拔	PDU内需要有更多的断路器位置
在机柜内生成所需的支路	机柜内每一种电压值一条馈线，数量更少	馈线断路器在PDU内 支路断路器位于机柜内	引向机柜的馈线更少 PDU内的断路器更少	需要更多的断路器来监测有无过载。 故障配合。 更多断路器串联会降低可靠性 馈线可能需要硬连线。 由于附加断路器的损耗，会对电气效率有些许影响

表2的归纳表明，避免在机柜内形成生成支路会得到非常大的优势。

绝大多数用25A或更大电流的回路向机柜供电的用户并不理解这些回路是馈线回路而非支路回路。当采用25A（或更大）的线缆时，典型的16A支路**必须**经由位于**机柜内部**的符合支路额定值的断路器来向插座供电。

可适应的机柜电源系统应不需要硬连线、级联的断路器以及断路器的配合分析，这就需要优先采用每台机柜多条支路的方式。理想情况下，多条支路可采用一条多导线的电缆连至机柜，以简化向机柜的连线。

连接器要求

机柜内使用的所有交流供电设备中99.99%以上通过电源线和插头连接（采用硬连线方式的比例可以忽略）。而且，数据中心内所有IT设备中有99%采用可分离的电源线，这意味着插头类型可以更换。OEM供应商在建立完整的机柜系统时会利用这一点，而且经常会在机柜内的所有设备上安装采用IEC 60320（先为IEC-320）型式电源插头的导线，并配以IEC60320型式的插口。这样做的好处是单一配置可以在全世界使用。表3中提供了国际上各IEC插头类型出现频度的大致统计：

表3 – IT设备上IEC连接器类型的出现频度

频率	连接器类型	说明	使用场合
80%	IEC 60320 (先前为IEC-320) C-14 (公头) C-13 (母头)	230V 10A (单相)	小型服务器、集线器、部门交换机、监视器、电源组块、企业服务器、路由器、某些刀片式服务器、大型部门服务器
16%	IEC 60320 (先前为IEC-320) C-20 (公头) C-19 (母头)	230V 16A (单相)	企业服务器、路由器、某些刀片式服务器、大型部门服务器、存储设备
1%	IEC 60309 (先前为IEC-309)	230V各种额定电流值 (单相和三相)	企业服务器、电信级路由器、存储设备
3%	其他IEC	230V各种额定电流值 (单相)	小型服务器、集线器、部门交换机、监视器、电源组块

各国的插头确实有所不同，但除北美地区之外，多数国家均采用单一的供电电压，因此多数电源线的额定值为230V 16A。这意味着一种插头类型即可服务于从小型集线器到企业服务器的大多数应用场合。然而，许多IT人员并没有采用IEC插头为其设备供电，而是采用特定国家的插头（即Shuko或UK），放弃了标准化的所有优势。之所以如此是因为某些设备供应商并不提供两端配有IEC对IEC连接器的电源线。即使带有这类IEC电源线，也经常是弃之不用，转而由特定国家使用的电线取而代之。实际上由于不理解标准化的好处，以至于在供应商只提供IEC对IEC的电源线时，有些IT人员还会要求其提供针对特定国家的电源线。

通过对IEC插头类型、PDU和UPS的标准化，IT管理员可以预期几乎所有机架式安装设备均由C13或C19插座这种供电方式来供电，由此可以方便IT方面的更新。当对地处多个国家的多个数据中心进行管理时，这种优势就更具价值。例如，采用针对特定国家的PDU需要向多个厂商采购，这就进一步增加了数据中心管理的复杂性。采用特殊插座组合的PDU的交货时间会造成时间和成本超限。从库存和管理的角度，插座类型的各种组合会很快变得无法应对。关于标准化好处的更多信息，请参见APC白皮书116号，“网络关键物理基础设施的标准化和模块化”。

机柜内所需插座的数量随所安装的设备的不同会有很大的差别。一个机柜最少可能仅有一个单个负载，相反也可能装满（42）台双电源的瘦服务器，总共需要84个插座。

可适应的机柜电源系统应能够为所遇到的各种类型的插头提供电源插座，并提供两路馈线，每路包含（42）个插座。为实现这一目的，必须在每台机柜内提供大量且多种类的插座，或者提供许多易于更换的插座选项，以满足不断变化的要求。

谐波要求

在历史上，计算设备曾经在交流电源线上产生谐波电流，由此需要在电源系统中加入专门的功能部件，如加粗中性线导线和采用K系数变压器。20世纪90年代期间，对计算设备的设计制定了相应的规章，而且老旧的设备也在不断地淘汰，这就使得到2000年之前，这方面的问题已经被消除。在机柜电源环境中不需要因为谐波而加强的配线以及变压器。关于这方面的更多信息，请参见APC白皮书26号，“谐波和中性线过载的危害”。

降容要求

与北美地区不同，其他国家的电路不需要降容。因此用户可望利用系统的全部电流或功率额定值。本文中所述配电体系结构的功率容量均为全额定值。

电缆要求

向机柜供电的电缆是机柜电源系统的基本组成部分。今天通常的做法是在地板下布设电缆。地板下布设电缆会对适应性造成多种障碍，如APC白皮书19号“重新审核高架地板在数据中心应用中的适用性”中所述。

在可适应的机柜电源系统中，布设至每一机柜的电缆将提供可能需要的所有支路。机柜内设备变更时无需对布设的电缆进行任何改动。今后向加装的机柜提供相应的电源馈线也将容易而且安全。

电流监测要求

机柜电源系统会不断地经历负载的变化，这些变化是由于设备的安装和拆除，以及所安装设备功耗的动态变化所造成的。这就需要监测支路的功率，以防由于过载造成故障或危险。这一问题在APC白皮书43号“数据中心和网络机房内的动态功率变化”中有详细介绍。

一致性要求

由于在典型的数据中心内有大量的电源回路，因此最大限度简化所提供的配电类型（支路额定值、每条线缆极数、断路器类型以及位置等）的优点是显而易见的。理想情况下，对每台机柜应提供统一的一种电源馈线类型，以使灵活性最高，并减少人为错误。

人为错误是数据中心内持续存在的风险，是造成大多数停机的原因。对满足97%需求的通用配电回路进行标准化只是减少人为错误风险性的一种方法。通过采用标准化的线缆，可以降低用户产生混淆的可能性，最大限度简化零配件，加速学习曲线，这些都可以降低出现代价高昂的错误的风险。

选择合适的配电系统

除了对机柜供电的各种要求，机柜还可以有多种电路组合进行供电，每种组合所提供的总功率容量及主要特性各有不同。对于每一个在2.3 kW至44 kW范围内的机柜，至少有22种实用而不同的方式进行供电。这些备选方案的详见附录A。

通过对这些备选方案进行系统性研究，可以确定这些方案在成本和收益方面并不相当，某些方案具备明显的优势。当考虑前一节所确定的要求时，附录A的分析表明，在PDU与机柜之间有4种基本的优选机柜配电型式，多个配电型式会出现在一台机柜以实现所需的功率密度。4种优选的型式为：

230V 16A线缆

230V 32A线缆

230V/400V 16A三相线缆

230V/400V 32A三相线缆

图3通过显示支路配置示出了这4种优选型式。表4中给出了这4种基本优选配电类型的特性和优势。在表4中，带阴影的属性代表了该特性的最佳性能水平。数据表明对机柜进行三相配电有明显优势。

本文的分析表明，除了专用线缆情况外，包括单相或三相25A线缆的配电线缆并非优选。25A线缆值并非最优，因为机柜内必须形成的最常见的支路规格为16A，这将导致采用25A线缆规格时出现两种不利的问题：

- 1) 16A支路断路器与25A馈线断路器之间难以实现协调，会使级连的断路器跳闸的可能性增加。
- 2) 需要两条16A支路才能完全利用一条单相25A线缆馈线，而如果完全利用了其中一条支路，另一条就只能利用一半。这是断路器低效使用的情况；此外，馈线断路器还可能在支路断路器跳闸之前跳闸。

如果功率密度高于一条16A支路的容量或需要多条16A单相或16A三相线缆时，相比于25A三相线缆，32A三相线缆是更好的解决方案。

图3 - 机柜配电的4种优选型式图示

图3a - 230V 16A线缆

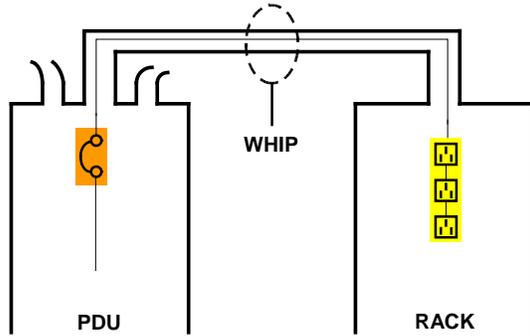


图3b - 230V 32A线缆

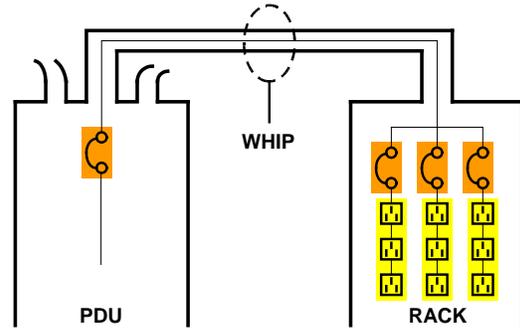


图3c - 230V 16A三相线缆

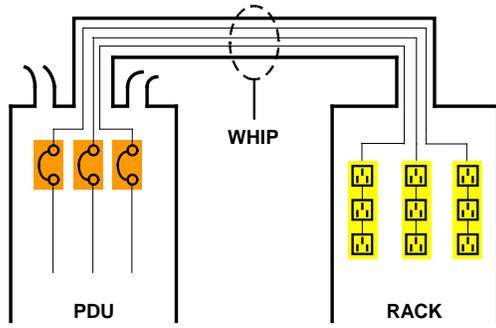


图3d - 230V 25A三相线缆

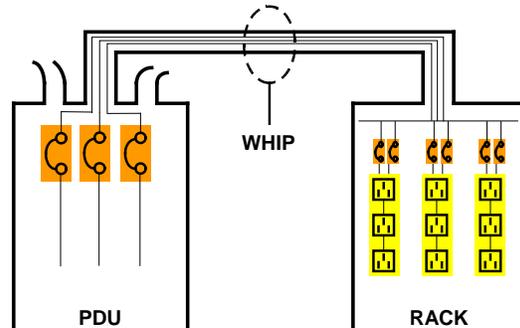


表4 - 4种优选机柜配电类型的特性

特性	230V 16A	230V 32A	230/400V 16A 三相	230/400V 32A 三相	备注
可由1、2、3或4条 线缆实现的功率 水平 (kW)	3.7 7.4 11 14.7	7.4 14.7 22.1 29.4	11 22.1 33.1 44.2	22.1 44.2 66.2 88.3	
每条线缆的功率 (kW)	3.7	7.4	11	22.1	
每个PDU断路器每 极的功率 (kW)	3.7	7.4	3.7	7.4	
最大单一负载 (kW)	3.7	7.4	3.7	7.4	目前几乎没有一个在生产的IT机柜产品需要每一插头的功率超过7.4 kW，但这种情况可能会改变。
每条线缆的1 kW IT 设备的数量	3	7	11	22	应注意，一条专用馈线只能支持一个设备。

与负载串联的断路器数量	1	2	1	2	
故障协调	E	G	E	G	32A设计需要机柜内有附加的支路断路器。
每台机柜2 kW条件下的每kW成本	270美元	320美元	515美元	645美元	包括源断路器、线缆以及机柜PDU。
每台机柜10 kW条件下的每kW成本	81美元	64美元	52美元	64美元	包括源断路器、线缆以及机柜PDU。

注：蓝色阴影部分表示该特性的最佳性能水平

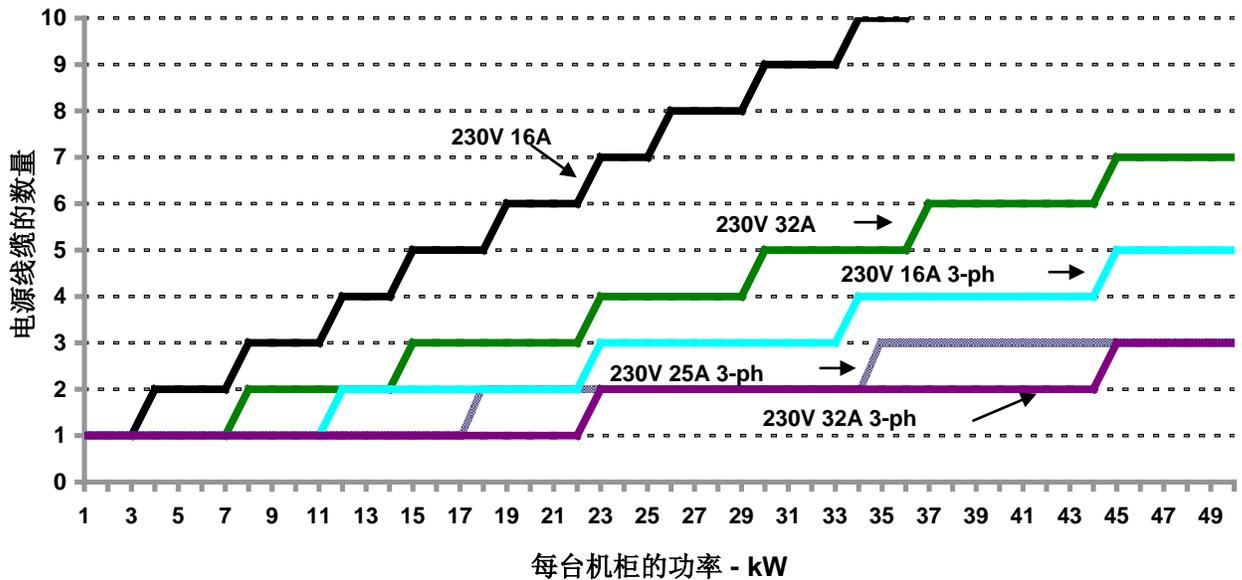
注：线缆成本不包括任何安装成本

故障协调 – 图例： E = 优秀 G = 良好

多种优选型式可以共同使用以实现更大的机柜总额定功率。图4示出了实现机柜总额定功率增长所需要的线缆数量。图中的4条曲线代表了各种类型配电的线缆数量。230V 25A三相机柜配电回路并非优选的方式，只是在图中作为参考之用。应注意，所需的线缆数量会按照预期随机柜额定功率的增加而线性增加。对于每台机柜额定功率高于11 kW的情况，采用230V 16A和32A单相系统时其线缆数量将会很大。

应注意，对于2N双路供电系统，图4中的线缆数量必须乘以2。

图4 – 对于4种不同的线缆规格，所需机柜电源线缆或馈线数量与机柜额定功率的函数关系



专用线缆

另一种配电型式是使用专用线缆。然而专用线缆只有当机柜内的负载设备仅有少数电源线、每条均吸收大量功率的情况下才是优选方案，特别是在设备采用非常见的插头类型或电源配置时更是如此。实际上，业界公认的IT设备紧凑化趋势正在造成两个重要的后果：

- 每一设备电源线所吸收的电流和功率不断增加，正在接近其**16 A**的极限。其结果是，多插座的机架式配电条正在缩减为每相一个可用的插座。
- 机柜后部数据电缆的增加给机架式配电条留出的空间更少。

这些后果正在迫使IT运行人员在高密度应用中抛弃传统的机架式配电条，转而采用可留出数据电缆空间的专用三相线缆。某些刀片式服务器和SAN存储单元均有采用这种应用方式的可能。例如，具有三相IEC 60309电源插头的大型刀片式服务器电源子系统。

专用线缆的优势在于，它们无需在机柜内加装断路器，由此可提高可靠性，并节省开支。专用线缆的重大劣势是当未来对设备进行变更时缺乏灵活性。**表5**中对专用线缆与标准230V 32A线缆进行了比较。

表5 - 提供非常高密度功率时两种备选方案的比较

	线缆数量	变更方式	优势	劣势
标准230V 32A三相线缆	每22 kW一条线缆	容易：插头插入机柜内不同的插座板	为小型或计划外设备提供各种不同插座	限于22 kW
专用线缆	机柜内每条电源线一条线缆，或者机柜内每三条电源线一条三相线缆	困难：断电并向PDU布设新的导线	无故障协调问题 由于电源线与断路器之间有一对一的关系，没有断路器跳闸风险 可以应对任何非常规的插头或电路 成本最低	必须提前规划，并了解机柜内可能存在的每一条电源线 没有针对小型辅助IT设备的方案 馈线必须采用硬连线

总体而言，专用线缆的应用仅限于标准IEC 230V 32A三相回路无法实现的功率要求或插头配置，或机柜的成本远较可日后重新配置的能力要重要得多的场合。

配电选择策略

从这些分析，可以得出关于支路优选配置的如下结论：

- 1) 使用单条230V 16A单相电源线缆对常见的约4 kW/机柜的中等密度机柜供电；默认对每台机柜提供此配置。
- 2) 使用单条230V 16A三相线缆对约11 kW/机柜的较高密度机柜供电。
- 3) 对于密集封装的1U服务器或刀片式服务器应用，采用一条或两条230V 16A三相线缆。

- 4) 对于每条电源线的输入电流要求超过20A的某些极高密度负载，采用两条或更多230V 32A三相线缆。

机柜的可适应的电源体系结构

本文所描述的问题不断获得更多的认可，这已经使得数据中心和网络机房的设计师和操作人员开始开发其自有的创新解决方案来应对对可适应的机柜电源系统的需求。尽管如此，从设备提供商的角度来看，一直是缺乏一种集成化且节约成本的方式。一种完全集成化的方式应包括一个模块式系统，该系统应实现配电的所有方面，从设施的交流主线连接，经过UPS，经过配电盘，一直到机柜内插头连接的机构。

2001年引入了第一套集成化且可适应的机柜电源系统，如图5所示。正在申请专利的InfraStruXure™系统包括为满足可适应式机柜电源系统要求而设计的组件。该系统包括预制的多支路配电线缆、具有多种插座配置的可快速更换式多电压计量型插座板、预先设计的断路器匹配、可在机柜或行一级配置的单路和双路供电支持、使用直流容量的要点以及快速的免导管的安装。该系统作为一个整体提供的系统，可以从库存组件中按需配置。

图5 - 可适应得机柜电源系统示例



可适应的机柜电源系统除了具有快速且经济地应对变化的能力之外，还具备与系统初始安装相关的生命周期时间和成本上的优势，包括对与数据中心设计相关的先期工程和安装工作的大幅简化。此外，能够适应机柜电源系统的能力也可使系统按照实际负载要求“正确选型”，并随需求的扩展而发展。正确选型的经济效益可以远远超出数据中心或网络机房全寿命期成本的50%，这方面在APC白皮书37号“避免因数据中心和网络机房基础设施过渡规划造成的成本”中有更为详细的讨论。

结论

数据中心或网络机房内单台机柜的功耗可能有很大的差别，而且预期在后续几年中会有增长。在数据中心的寿命期内，按照计件的方式，机柜设备会被更换5次或更多。这种情况需要机柜配电系统能够应对不断变化的要求。本文通过对有效的机柜配电系统的主要要求的说明，提出了一种可以满足可适应的机柜电源系统要求的实用的机柜电源体系结构。推荐的方法对4种主要的配电方式进行标准化，并提出了为指定设施选择最佳方式的策略。采用这一方式可以实现减少人为错误、适应变化的需求、最大限度减少提前规划要求并满足高密度IT设备要求的配电系统。

关于作者：

Neil Rasmussen是美国电力转换公司的创始人兼首席技术官。在APC，Neil领导着针对关键网络用电源、制冷和机柜基础设施的世界最大规模的研发预算，主要的产品开发中心位于马萨诸塞州、密苏里州、丹麦、罗德岛州、台湾以及爱尔兰。Neil目前正在APC负责模块式、可伸缩式数据中心基础设施解决方案的开发，是APC InfraStruXure系统的首席架构师。

在1981年创建APC之前，Neil在麻省理工学院（MIT）电气工程专业获得其学士和硕士学位，其论文主题是对一种托卡马克聚变反应堆的200MW电源进行分析。自1979年至1981年，他在MIT林肯实验室工作，研究内容是飞轮储能系统和太阳能电力系统。

附录A：对全套机柜供电备选方案的详细分析

表A1中列出了各种可提供机柜电源的实用的电路类型，包括多倍应用。表中按照机柜功率容量递增顺序排序。

表A1 - 实用的机柜电源电路配置的特性

总功率 (kw)	电路类型	线缆数	每条线缆的功率 (kw)	极数	每极功率 (kw)	最大单一负载 (kw)	断路器数	协调
2.3	230V 10A	1	2.3	1	2.3	2.3	1	E
3.7	230V 16A	1	3.68	1	3.7	3.68	1	E
4.6	230V 10A	2	2.3	2	2.3	2.3	2	E
5.8	230V 25A	1	5.75	1	5.8	5.75	3	P
6.9	230V 10A	3	2.3	3	2.3	2.3	3	E
6.9	230V/400V 10A三相	1	6.9	3	2.3	2.3	3	E
7.4	230V 32A	1	7.36	1	7.4	7.36	3	G
7.4	230V 16A	2	3.68	2	3.7	3.68	2	E
11.0	230V/400V 16A三相	1	11.04	3	3.7	3.68	3	E
11.0	230V 16A	3	3.68	3	3.7	3.68	3	E
11.5	230V 25A	2	5.75	2	5.8	5.75	6	P
13.8	230V/400V 10A三相	2	6.9	6	2.3	2.3	6	E
14.7	230V 32A	2	7.36	2	7.4	7.36	6	G
17.3	230V/400V 25A三相	1	17.25	3	5.8	5.75	9	P
17.3	230V 25A	3	5.75	3	5.8	5.75	9	P
20.7	230V/400V 10A三相	3	6.9	9	2.3	2.3	9	E
22.1	230V/400V 32A三相	1	22.08	3	7.4	7.36	9	G
22.1	230V/400V 16A三相	2	11.04	6	3.7	3.68	6	E
22.1	230V 32A	3	7.36	3	7.4	7.36	9	G
33.1	230V/400V 16A三相	3	11.04	9	3.7	3.68	9	E
34.5	230V/400V 25A三相	2	17.25	6	5.8	5.75	18	P
44.2	230V/400V 32A三相	2	22.08	6	7.4	7.36	18	G

故障协调 - 图例： E = 优秀 G = 良好 P = 差

表A1中所述的备选方案最多采用3条线缆，且仅包含整数倍增情况，其中所有线缆均采用相同的电路配置。专用线缆可以是上述每台机柜列表中一些线缆的混合组合。

尽管此表已经详尽，但如果目的是向高密度机柜供电，则可以排除某些组合。高密度负载的电源系统也应能够对至少3 kW的单一负载供电，因为有许多高密度负载需要最高3 kW的电源。在多数采用230V标准的国家中，实际上向机柜供电的所有支路均按照16A设备确定额定值。有鉴于此，可以排除10A线缆备选方案。此外，高密度负载的电源系统不应呈现较差的断路器协调比率。通过排除不满足这些判据的备选方案，表A1中的列表缩减为表A2的列表

表A2 - 适用于高密度负载的机柜电源电路配置的特性

总功率 (kW)	电路类型	线缆数	每条线缆功率 (kW)	极数	每极功率 (kW)	最大单一负载 (kW)	断路器数	协调
3.7	230V 16A	1	3.68	1	3.7	3.68	1	E
7.4	230V 32A	1	7.36	1	7.4	7.36	3	G
7.4	230V 16A	2	3.68	2	3.7	3.68	2	E
11.0	230V/400V 16A三相	1	11.04	3	3.7	3.68	3	E
11.0	230V 16A	3	3.68	3	3.7	3.68	3	E
14.7	230V 32A	2	7.36	2	7.4	7.36	6	G
22.1	230V/400V 32A三相	1	22.08	3	7.4	7.36	9	G
22.1	230V/400V 16A三相	2	11.04	6	3.7	3.68	6	E
22.1	230V 32A	3	7.36	3	7.4	7.36	9	G
33.1	230V/400V 16A三相	3	11.04	9	3.7	3.68	9	E
44.2	230V/400V 32A三相	2	22.08	6	7.4	7.36	18	G

故障协调 - 图例: E = 优秀 G = 良好 P = 差