

# 高效的、可扩展的、可重新配置的数据中心配电架构

## 白皮书 129 号

第 1 版

作者: Neil Rasmussen

### > 摘要

如今的数据中心配电，在效率、功率密度、电源监测及可重新配置性方面已经取得了长足进步。在过去，人们使用大量基于变压器的配电单元通过硬管和软管所构成的地板下固线线路供电。而事实证明，这种技术已经过时。本白皮书介绍了一些新型配电方法，包括模块化配电及吊顶式母线槽，并通过将其与传统配电方法进行比较来说明其优势。

### 内容

*点击具体章节即可跳转*

简介	2
背景介绍	3
优化的配电系统	4
替代的配电方法	11
结论	14
资源	15

## 简介

现有大多数的数据中心使用的是相同的、大约 40 年前开发的配电架构（如图 1 所示）。

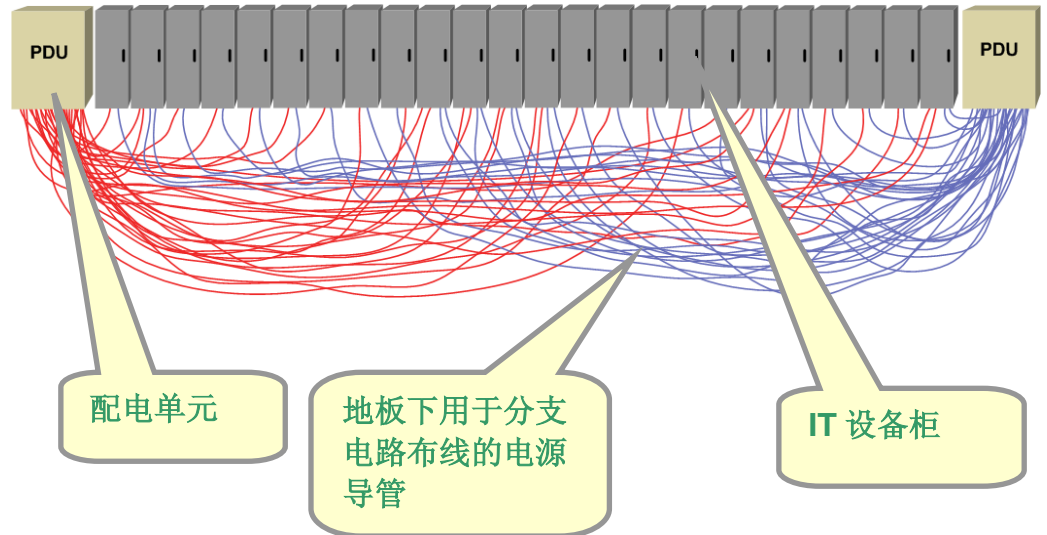


图 1  
传统数据中心配电中心系统布线图

在传统的配电系统当中，数据中心的主电源分配至配电单元（配电单元——一般额定功率为 50 千瓦至 500 千瓦）。配电单元一般配有大型电源变压器用以转换电压或电源净化。然后，配电单元分流至分支电路（一般额定功率为 1.5 千瓦至 15 千瓦），为 IT 设备配电。每一台 IT 设备机柜使用一条或多条分支电路。IT 机柜的布线通常要求使用硬管或软管，一般部署在高架地板之下，如图 2 所示，



图 2  
部署在地板下的硬管配电图示

自从高效的、可扩展的、可重新配置的配电系统的推出，数据中心在用电方式方面发生了巨大的变化，使传统架构面临着挑战。尤其是随着功率密度持续升高、独立 IT 设备不断增加、需要在现有 IT 设施部署的基础上添减设备。

本白皮书将阐述传统配电架构已经无法适应数据中心发展的原因，同时介绍目前投入实施的一种更为高效的配电系统。系统经过改良后可在对 IT 机架甚至整个配电单元进行安装或更改时无需任何新接布线，可以部署吊顶配电，可以使用单根柔性配电线支持高达 30 千瓦的机架功率，可以提高用电效率、减少铜线数量，可以测量分支电路功率，还带有标准容量管理系统。

## 背景介绍

在传统的配电系统推出之时，当时的数据中心内仅有少数的大型设备。那时候，除了对 IT 设备进行重要升级时执行计划宕机外，很少会对此进行变更。这些功率密度较低的设施，对地板下气流的需求并不高，通常对于机房内每 3 平方米面积内部署的支路数量不足一个。然而，现代的数据中心早已有了翻天覆地的演变，这就对传统配电架构提出了严峻的挑战：

- 较之过去数据中心内少数的大型 IT 设备，现代数据中心内可能装有上千台带有独立电源线的插接设备，这就需要更多的电源插座。
- 在数据中心生命周期内，机柜内的 IT 设备更换频繁，常常需要更改功率或在机架处增减插座。
- 由于功率需求的变化，处于运作中的数据中心时常要在不干扰相邻 IT 负载的情况下添加电路。
- 单位机架功率密度显著提高，单位机架内部的支电路数量也相应增多。
- 大量电线导管充塞地板下的通风空间，导致气流阻塞，加大布线变更的难度。
- 分支电路断路器连接的 IT 设备数量常常远不只一台，这就很难估算分支电路尺寸或判断是否临界过载。
- 现代数据中心普遍安装双路电源系统，必须确保所有电路负载均不超过 50%。然而，目前尚没有任何对其进行监测或规划的机制。

尽管人们已经普遍意识到了这些问题，市场上也出现了一些相应的解决产品，如今构建的多数数据中心仍在使用的传统配电方法。这就导致一些新建的数据中心受困于以下窘境：

- 数据中心操作员不得不带电更换电路（“热作业”）。
- 数据中心操作员无法判断哪些电路临界过载，或当双路电源系统中一条电路断电时电路是否过载。
- 地板下的供冷空间被大量的缆线阻塞，减少了现代 IT 设备所需的高通风量。
- 数据中心操作员发现，配电单元的占地面积过大，对地板承重能力要求过高。
- 由于没有足够的分支电路，配有大型变压器的配电单元无法得到充分利用
- 配有大型变压器的配电单元产生需要冷却的废热，导致数据中心效率降低。

图 3 为一些能够反映上述问题的实际运营过程中的数据中心布线情况图片。

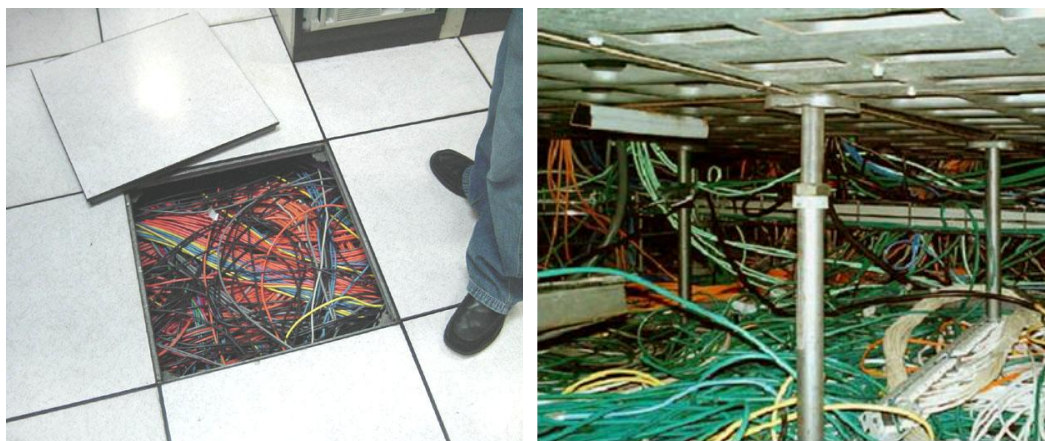


图 3

实际运营中的数据中心布线拥塞

下文介绍的配电架构中，上述所有问题都可迎刃而解。

## 优化的配电系统

理想的配电系统需具备以下特征：

- 可在运行的系统中安全地新增或变更电路
- 无需在地板下敷设缆线
- 可对所有的电路功率进行监测
- 可远程监测所有断路器状态
- 可随时对 IT 区域或相应得配电单元进行部署
- IT 机柜仅仅通过一根线缆满足所有功率需求
- IT 人员可以自行更换使用 IT 机柜上的插座型号
- 可对每条支电路的容量及冗余进行管理
- 无需使用过量的铜线
- 效率高

为应对数据中心日益变化的需求，当今的配电系统已经取得了长足进步，而且各种各样的改进随着时间不断地推出。其中主要包括：

- 提供分支电路功率测量功能
- 配有吊顶线缆槽的柔性电源线
- 配有固定吊顶母线槽的可插拔电线板
- 大功率，可插接的机架配电单元
- 无变压器的配电单元
- 功率容量管理软件

图 4 所示的配电系统，是一款集合以上所有优势的配电架构，堪称现代高密度数据中心的理想之选。

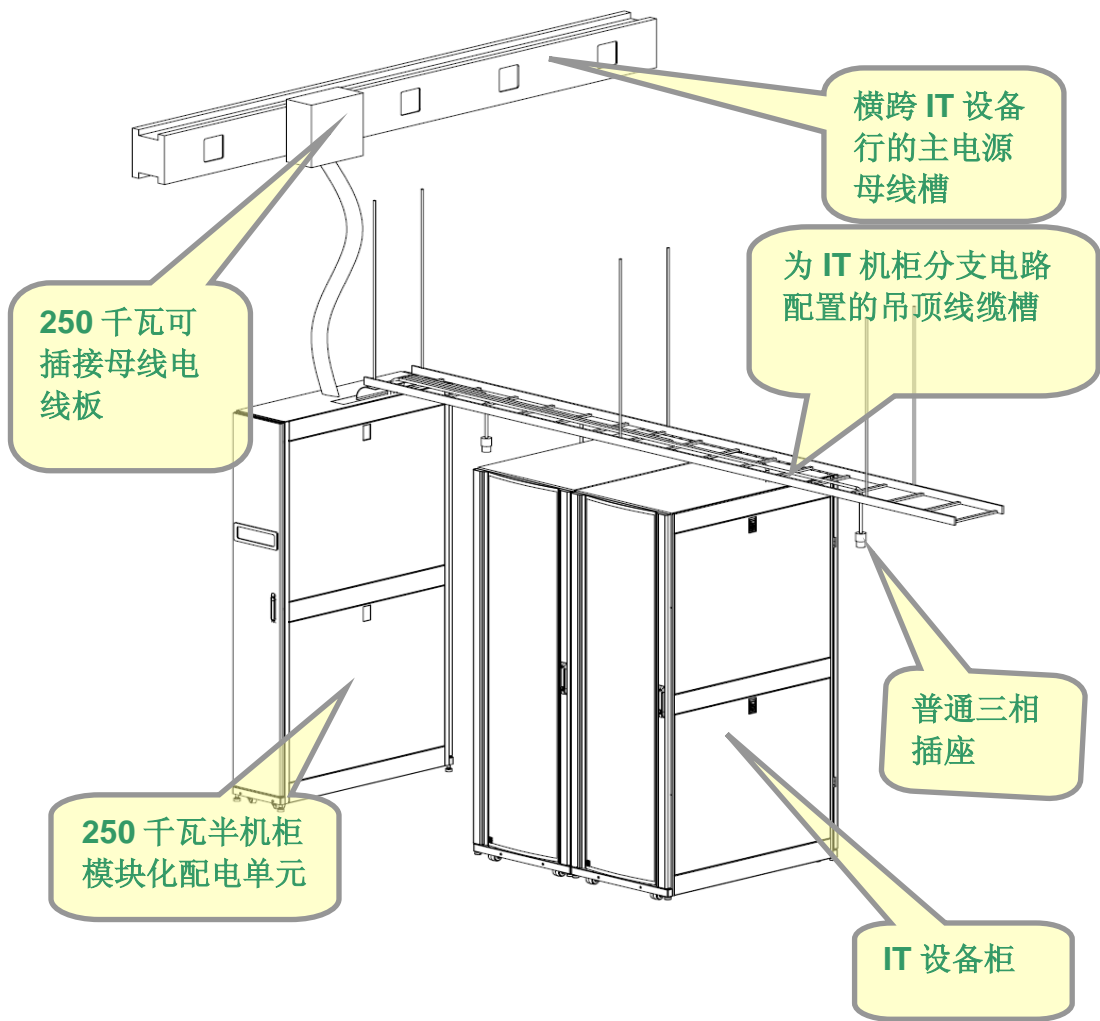
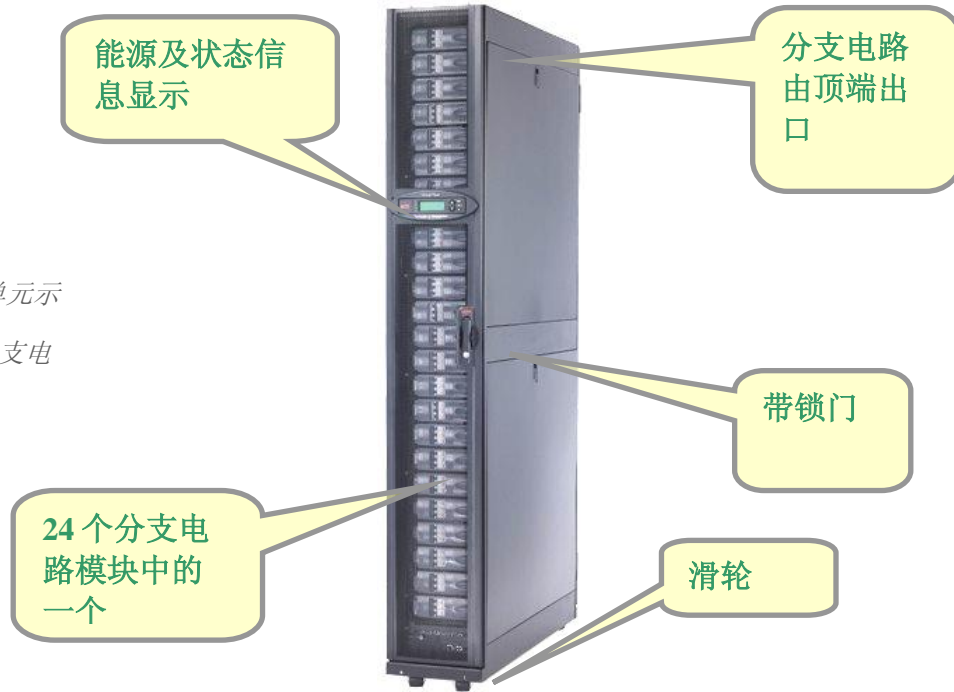


图 4  
模块化配电系统展示

### 系统描述

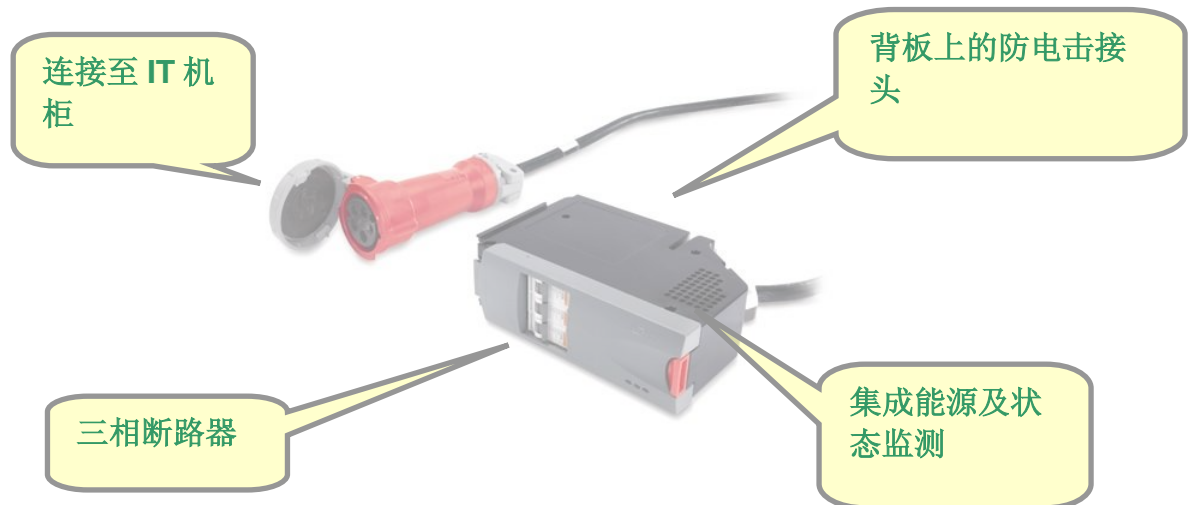
配电系统有两个步骤。对于较大的数据中心，来自 UPS 的主要关键母线电源被分配至使用一个或多个母线槽的 IT 设备行（如图 4 上方所示）。这些母线槽都是预先安装好的，横跨整个 IT 机架布局。在安装一组机架时，小型的模块化配电单元也会被同时安装，并插接上方的母线槽。与母线槽的连接情况请参看图 4。



**图 5**  
250 千瓦模块化小型配电单元示例  
图中这款产品配有 24 个分支电路模块

不同于传统断路器面板的未经过事先处理导线线头，模块化配电单元使用的是安装有预先端接防电击断路器模块的背板。这一设计使得配电单元的表面变窄，而且避免了在现场处理导线线头的麻烦。

模块化配电单元内起初并未安装分支电路模块。从模块化配电单元到 IT 机架的电源电路均使用软线缆连接，这些线缆需在现场插接到模块化配电单元的正面，以满足每台机架的不同需要。IT 机架的分支电路线缆为预先端接，同时配有可插接模块化配电单元防电击背板的断路器模块。图 6 为分支电路模块示例。



**图 6**  
插入模块化配电单元的分支电路模块

对于需要使用专门分支电路的设备而言，例如大多数的刀片服务器，一根配电单元线缆内含有一个、两个、甚至三个分支电路，这些线路直接插接刀片服务器，无需额外机架配电单元（比如配电盘）。当机架内的设备进行混合部署时，可以使用机架式配电单元提供额定电流且可更换插座。**图 7** 为一个常见的机架式配电单元，图中的接头可插接**图 6**中的相应接头。

图 7

专为需在 IT 机柜背部垂直安装时设计的 12 千瓦三相机架条形插座



在该系统中，新增 IT 机柜行配备有配电单元，以及所有配套分支电路电线和条形机架插座，可在一小时内安装完成，无需任何切线或端接操作。

### 小片区域或极高密度应用

在某些情况下，数据中心内可能会存在一片或多片只需要少量分支电路的区域。一旦发生一堆极高密度的机架需要摆放在一起，或由于房间形状等客观限制导致一小组的机架独立放置，在这些情况下，就无需使用带有 24 支分支电路容量的标准模块化配电系统。

这时，可选用包含小型模块化配电单元的架构。该架构可直接安装于 IT 机架，不占用地板空间，最多可容纳 6 支分支电路。该配电单元安装于机架之上，所占面积仅为 5U，并包含所有大型落地式单元所具有的能源及状态监测功能。

图 8

直接安装于 IT 机柜内，可为 6 台 IT 机柜供电的小型模块化配电单元（图为机柜门打开和关闭的视图）



### 小型数据中心

**图 4** 中的系统是针对内有大量 IT 机架行的**大型**数据中心而进行优化设计的系统，系统部署灵活。吊顶式母线槽比高功率电线安装起来更加容易，可以添加或更改配电单元。300 千瓦以下的小型数据中心可采用简化架构，其组成元件及工作原理相同。

对于只允许使用一到两个配电单元的小型数据中心，分阶段部署配电单元所具有的灵活性无异于“英雄无用武之地”，而用传统导管及电线将模块化配电单元（**图 5**）直接连接至关键母线的方法往往更加经济。这种情况下，可省去安装吊顶母线槽的操作。至于很小的数据中心或形状不规则的数据中心，采用上文提到的（**图 8**）中的小型模块化配电单元则极为适合。

小型数据中心也可以采取一种更为简化的方案，即将模块化配电单元直接集成于 UPS 系统，构成一个可安放于 IT 房间并与 IT 机柜排成一行的紧凑部署方案。这样便可以省去利用主母线布线环节，同时也无需准备额外的房间安置电源。这种适用于 200 千瓦及以下功率的数据中心方法操作方便，倍受欢迎（请参见**图 9**）。

图 9

针对小型数据中心设计，与 UPS 集成的模块化配电单元



### 改造/升级应用

许多数据中心项目往往涉及现有数据中心的升级，扩容或安装高密度区域项目是其中最为普遍的。相比安装传统的配电单元，模块化配电系统的安装过程要来得简单方便许多，尤其适合于这些改造项目。在为现有数据中心安装新的传统配电单元时会面临一系列的挑战，而模块化配电系统却可将多数的挑战难题一并“解决”。

随着数据中心的发展，模块化配电单元可以与现有传统配电单元共处运行。在这些改造方案中，传统配电单元的安装常常受限于各种历史局限，不使用吊顶母线槽元件，每个配电单元均由传统管道及电线连接至主母线。

模块化配电单元在升级传统数据中心时最重要的优势就是，由于线缆均置于吊顶线缆槽之内，其安装不会加剧地板下气流阻塞现象。现有数据中心的地板往往不深，地板下气流已经成为数据中心制冷性能甚至整体能效的“绊脚石”，因此这一优点显得尤为重要。

### 功率及状态信息监测

在数据中心配电系统中，可能有数以百计的断路器处于过载状态。而经过优化的配电系统采用更高容量的机架供电，其断路器数量较之一般系统减少 20-40%。即使这样，系统中仍存在诸多电路，这些电路可分为四个级别：

- UPS 主母线
- 配电单元输入
- 分支电路
- 插座

模块化配电系统采用内置电流及能源监测，可对各个级别的每条线路做到了如指掌（插座级监测在一些配置中为可选功能）。除此之外，配电单元的分支电路断路器也处于监测之中，以便实时掌握其工作状态。所有的监测均通过简单网络管理协议（SNMP）公开标准协议进行通讯。容量管理软件可对系统中每条电路实施监测，增强安全系数，验证冗余并对现有容量进行确认。

### 电压配置

本白皮书中所介绍的架构是一款适合全球数据中心电压需求的方案。不过，在北美地区有两种运行电压配置可选。北美地区大多数高效 IT 的运行电源使用的是 415/240 V 交流三相电源。该配



电系统与欧洲及世界多数地区所用相同，在北美却并不普遍。第二种选择方案是北美地区楼宇中普遍使用的传统 208/120 V 交流三相电源。该款方案消耗的铜线更多，使用的集成有大型电源变压器的配电单元数量也更多，因此成本较高，而使用效率却相对较低。

对于北美地区的数据中心而言，415/240 V 交流系统具有许多重要优势，详情请参见 APC 128 号白皮书《通过采用经过改良的高密度配电系统提高数据中心能效》。我们推荐使用这种电压。不过，本文所推荐的配电系统同样也适用于北美地区常用的 208/120 V 交流电压。



资源

APC 白皮书 128

通过采用经过改良的高密度配电系统提高数据中心能效

## 电压配置

本白皮书所介绍的配电系统可克服诸多传统配电方法的缺陷。新型系统的优势见表 1。

表 1

传统配电系统与模块化配电系统的比较

问题	传统配电系统	模块化配电系统
添加分支电路	需安装新导管；确定断路器选型并进行安装；布线并进行端接。如果系统处于运行中，电工可能需要暴露于外的电线进行带电操作。如果电路配有功率监测，则需添加新的感应器以及（或者）程序	预先制作插接分支电路；可于运行的系统中进行安装，无需带电操作电线；每条分支电路均处于功率监测之下，模块插入后可进行自动配置
移除分支电路	如若系统处于运行中，电工可能需要暴露于外的电线进行带电操作。不得从地板下复杂的布线中移除电线导管。如果电路配有功率监测，需变更相应程序	分支电路从配电单元中拔出，尚可再次使用于其它系统
移除或更改机柜	分支电路需进行机械操作，并将机柜断电	分支电路可从机架上拔出；可将机架推出
简化规划程序	一般来讲，往往需要在确定最终功率密度前确定配电单元的数量和位置。涉及到高架地板时，需提前对安装和特殊的地板下安装支架进行设计。	无需提前确定配电单元的数量和位置。可在以后的使用中随时添加配电单元，无需提前做特殊的准备
可靠性	许多导线线头均是在现场制作的，会出现端接松动等问题。热作业时出现的操作错误可能导致电线损坏、断路器跳闸，从而中断 IT 负载运行	导线线头均在出厂前预先制作好，可靠性更高。消除了添加及更改电路时与其他电路发生互相干扰的隐患
最小占地面积	基于变压器的配电单元每 100 千瓦 IT 负载的占地面积为 2.5 平方米，或者大约是 7% 的机房空间。	每 100 千瓦 IT 负载的占地面积为 0.7 平方米，或者大约是 2% 的机房空间
安全性	添加、移除、检测分支电路以及使用手持式电流监测器会存在操作人员带电操作电线的危险	安装插入式防电击分支电路。无需现场布线
气流干扰	大量由地板下引出的线缆插接配电单元，对地板下的气流形成干扰。布线的地面开口会造成大量气流通道旁路，导致空调容量和效率降低	无需在地板下布缆。不会有地面额外开口造成的地板空气外泄的情况。
简化工程设计	每次安装均需进行机架长度、密度、安培容量及成本等方面的复杂权衡，以确定配电单元的合理安装位置	从标准参考设计中进行挑选，以满足各项要求。多个决策可以在以后进行阶段性的部署
前期成本	配电单元一般于前期安装。安装工程巨大，在最初安装时就需要支出所有费用	多数的配电成本只有在需要时支出
能效	线缆较长，造成大量的电力损失。在北美地区，208/120 V 交流系统所造成的电力损失是 415/240 V 交流系统的 10 倍	线缆较短，电力损失较少

## 替代的配电方法

本白皮书中所介绍的配电架构并不是传统配电系统问题的唯一解决方案。理论上还有两种方案，其实我们在前文中有所提到的，而且这两种方案早已应用于数据中心的，那就是机架母线槽和直流电源配电。我们将就这两种替代配电方法进行介绍，并将其与本文中的系统进行对比。

### 机架母线槽

在本白皮书中介绍的配电架构于 2008 年推出之前，吊顶机架母线槽一直是为 IT 机柜提供电源的最佳解决方案。在机架母线槽系统中，IT 机柜通过断路器盒（图 10）直接连接于吊顶母线槽。



图 10

机架母线槽  
图为电源插线板连接  
吊顶电源母线

母线槽预装在所有 IT 设备行的上方。这解决了传统配电方法中的一系列难题，使得更改工作更加简便，同时无需进行地板下的布线操作。母线槽是首款实现了灵活、可重新构建配电系统的传统配电替代方案。虽然机架母线槽依然可做为一种有效的传统配电替代方案，但是本文介绍的新型模块化配电单元架构已经克服了机架母线槽的一系列实际缺陷。表 2 为机架母线槽与模块化配电系统的比较。

表 2

机架母线槽与 IT 机柜模块化配电系统的比较  
(最佳性能以淡绿色填色表示)

问题	机架母线槽	模块化配电系统
处理混合部署及更改电源密度	母线槽尺寸必须按照最大密度及容量进行设计, 否则未来添加额外母线槽工程会很繁杂或者难以进行	可通过添加或更改分支电路来调节功率密度, 以适应电流配置。为额外容量安装额外配电单元的工作更加轻松
面对形状不规则的房间布局	母线槽必须提前安装至所有预期机柜上方	柔性线缆易于绕过房间内的障碍物、IT 专用机柜以及受限的 IT 设备地板规划
安全访问断路器	断路器安装于吊顶式母线槽之上, 访问时需使用爬梯。许多情况下, 由于地方法规, 并不允许执行该操作。需要链条或其他螺线管	所有的分支电路保护器安放于带锁的门内, 放置于一个容易访问的地点
最小的占地面积	不占地板空间	每 100 千瓦 IT 负载占用 0.7 平方米, 或者大约 2% 的机房空间
标准化的全球解决方案	监管要求因地域而不同, 在不同的地点需要采用不同的物理配置、额定电流或数据通讯	采用标准架构可满足所有国际监管要求, 采用全球化监测标准
对每条机架分支电路进行能源监测	母线槽系统一般仅仅通过使用可选设备对母线内的总体功率进行监测, 并依赖机架式配电单元报告每台机架的功率情况	配电单元可自动检测到新安装的分支电路, 每台机柜均配有所有分支电路功率监测提供的单一通讯端口。即使机柜并不使用机架式配电单元, 例如刀片服务器, 情况也一样如此
简化工程设计	即使在同一数据中心的不同机架行内, 每次安装都必须在机架行长度、密度、母线槽安培容量间进行复杂权衡, 并且每次安装要投入成本, 以优化安装效果并确保母线槽不会过载	从标准参考设计中挑选, 以满足各项要求。多个决策可以在以后进行阶段性的部署
使用最少的铜线	母线槽铜线必须根据最大功率密度过量设计	分支电路的铜线只在必要时安装在需要的容量上
标准长度的终端配电线缆	母线槽与 IT 机柜的距离一直保持一致, 因此所有的线缆长度相同, 简化了备件的库存保管工作	配电单元至 IT 机柜的距离可能各不相同, 需要不同长度的线缆。用户可切开线缆并重新端接, 但这会造成不便
可用于不具操作性的吊顶安装情况	由于监管要求, 在许多地方母线槽不能安装于地板之下	配电线缆槽可安装在吊顶天花板下 IT 机架的上方, 或安装于地板之下
前期投资成本最小	在建设初期就需要投入大部分的母线槽费用。	多数的配电成本只有在需要时支出
能效	母线槽尺寸需按照最大容量设计 (例如, 使用最多的铜线), 所造成的电力损失略低。鉴于铜线的成本高昂, 需 50 多年才能收回成本。	使用铜线的数量基本接近实际负载, 造成的电力损失略高。

较之传统配电方案，机架母线槽是一种巨大的进步，本白皮书中所介绍的配电架构仍然使用母线槽来分配大量电力。如表 2 所示，模块化配电系统在为 IT 机柜提供终端配电时具有一些母线槽无可比拟的优势。终端配电母线槽不占地面空间，而模块化配电系统在更改密度应用时体现出更强的扩展性和适应性。后者具备全球化的应用标准，并且前期规划及工程设计要求较少。

一般来说，对于机架配电，母线槽更适合那些体积庞大、IT 设备布局脉络清楚、具备地面开口布局设计的设备。如果 IT 设备位置无法提前确定、房间形状不规则或内有障碍物，或者房间内的功率密度预计会有巨大差异，那么在那些条件下采用模块化配电就是上上策。无论如何，这两种方案都大大优于传统的地板下导管配电系统。表 3 简要说明了选择这两种方案主要参考因素。

**表 3**  
选择母线槽或 IT 机柜模块化  
配电时的考量因素

采用机架母线槽的考量因素	采用模块化配电系统的考量因素
配电系统不占地板空间，或者少于 5% 的空间。	IT 机柜布局并未提前明确 房间并不是机架行排列整齐的简单矩形布局 房间内有不同的密度区域
以下条件不适合机架母线槽	以下条件不适合模块化配电系统
IT 机柜以后的安装位置不十分明确 无法提前预知未来的区域功率密度 由于天花板结构或其他限制，吊顶安装不具可操作性 需提供全球标准解决方案	配电系统不占地板空间，或者少于 5% 的空间。

### 直流配电

目前已经有人提议将直流配电作为数据中心交流配电的替代方案。从理论上来说，通过使用不同的电压及布线方式，有四种不同的直流配电方案。选用直流配电的主要原因是为了提高能效。

大量的研究声称，直流电源系统具有 10% 至 40% 的可观能效优势。然而，这些研究都建立在交流电源系统效率很低的假设基础之上。自这些研究之初，新型高效交流配电架构就已经广泛推出，并展现出可与这种假设的直流系统效率相抗衡的能效。美国绿色网格联盟（Green Grid）16 号白皮书《数据中心配电配置定量效率分析》及 APC 127 号白皮书《数据中心高效交流配电与直流配电的定量比较》中，对交流电源与直流电源效率进行了详细的定量分析比较。这两篇白皮书表明，最佳的交流配电系统几乎与直流配电系统同样高效，从而否定了业内使用直流配电替代交流配电的必要性。

直流配电最重要的问题在于缺少可用的、与之兼容的 IT 设备。虽然一些 IT 设备有 48V 直流输入选择，但是这是直流配电电压最低效率，与此同时还要消耗大量的铜线。

资源  
**APC 白皮书 127**  
数据中心高效交流配电与直流配  
电的量化比较

如果使用直流配电作为数据中心的标准配电系统，那么机架监测和电路分配就会面临同样问题。到时虽然还会继续使用母线槽和模块化配电的基础方法，但是必须开发新的端接系统。同时，设备的体积也必须扩大，以配合高直流电压所需的安全间隙。

如此说来，将业内交流配电改用直流配电的成本巨大，而相应的成本回报或效率回报却微不足道。因此，这种改变可以说是得不偿失。基于以上原因，虽然直流电源被用作是 IT 设备，比如刀片服务器机箱或机架，以及集装箱服务器内的配电系统，但是业内使用的配电系统依然以交流电源为主。

## 结论

本白皮书介绍了借助地板下导线配电的传统配电架构具有的巨大局限性。同时介绍了两种替代配电系统，即机架母线槽和模块化配电系统。较之传统的配电方法，这两种系统在可扩展性、效率、可重新配置性、管理性及功率密度等方面都获得了巨大的进步。事实证明，对于未能提前界定房间布局规划或需要进行改造的数据中心，以及形状不规则的房间布局或房内设障碍物的情况下，模块化配电系统具有无可比拟的优越性。

### 关于作者

**Neil Rasmussen** 是施耐德电气旗下的 IT 业务公司——APC 的高级创新副总裁。他负责为全球最大的用于电源、制冷和关键网络设备的机架基础设施方面的研发预算项目提供技术指导。

**Neil** 拥有与高密度数据中心电源和制冷基础设施相关的 14 项专利，并且出版了电源和制冷系统方面的 50 多份白皮书，其中大多白皮书均以 10 几种语言印刷出版。近期出版的白皮书所关注的重点是如何提高能效。他是全球高效数据中心领域闻名遐迩的专家。**Neil** 目前正投身于推动高效、高密度、可扩展数据中心解决方案专项领域的发展，同时还担任 APC 英飞系统的首席设计师。

1981 年创建 APC 前，**Neil** 在麻省理工学院获得学士和硕士学位，并完成关于 200MW 电源托克马克聚变反应堆的论文。1979 年至 1981 年，他就职于麻省理工学院林肯实验室，从事飞轮能量储备系统和太阳能电力系统方面的研究。



## 资源

点击图标打开相应参考资源链接



通过采用经过改良的高密度配电系统提高数据中心能效

APC 128 号白皮书



数据中心高效交流配电与高效直流配的定量比较

APC 127 号白皮书



浏览 **APC** 所有白皮书

[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



浏览 **APC** 所有 **TradeOff** 工具™

[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## 与我们联系

有关本白皮书内容提供宝贵的意见和建议，请联系：

**Data Center Science Center, APC by Schneider Electric**  
**[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)**

如果您是我们的顾客且对数据中心项目仍存有疑问：

请与您的施耐德电气旗下 **APC** 代表联系