

高效的、可扩展的、可重新配置的高密度数据中心配电架构

第 129 号白皮书

版本 2

作者 Neil Rasmussen

> 摘要

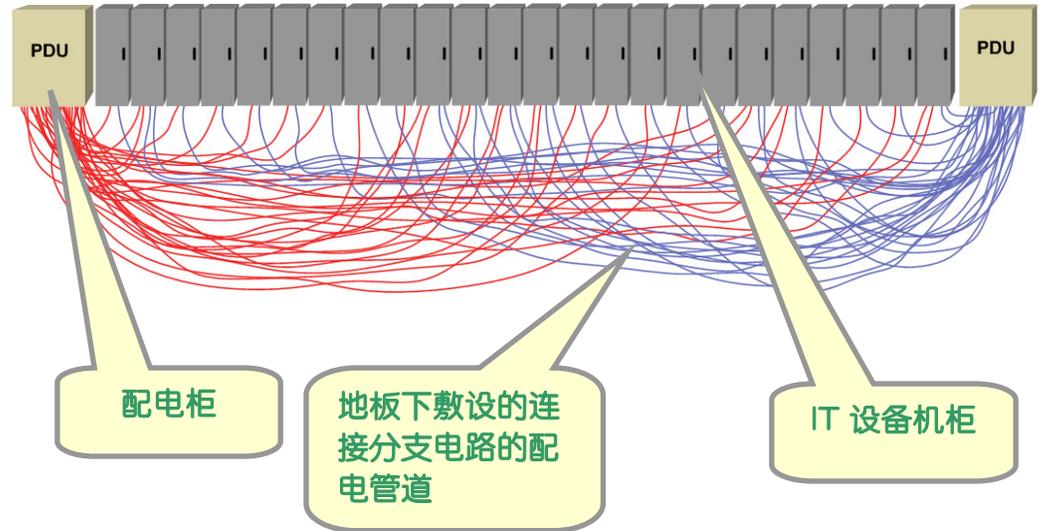
如今的数据中心配电，在效率、功率密度、电源监控及可重新配置能力方面已经取得了长足进步。过去基于变压器的配电柜被广泛使用，通过地板下铺设的硬管和软管线路给系统供电。而事实证明，如今这种技术在数据中心应用中具有一定的局限性。本白皮书介绍了一种可替代的模块化配电系统，通过与传统配电方法进行比较来说明其优势。

简介

现有大多数的数据中心使用的配电架构都相同，而且该架构开发于大约 40 年前。这种系统如图 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，数据中心的主进线先至配电柜（配电柜一般额定功率为 50 kW 至 500 kW）。配电柜一般配有大型电力变压器用以转换电压或改善电力质量。然后，配电柜将主进线分配成一定数量的分支电路（一般额定功率为 1.5 kW 至 15 kW）为 IT 设备配电。每台 IT 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



自推出该配电系统后，数据中心用电方面已然发生了巨大变化，特别是数据中心面临功率密度升高、独立 IT 设备数量不断增加、需要在现有 IT 设施部署的基础上添减设备等难题。而这些难题对传统的配电系统带来了很大的挑战。

本白皮书将阐述如今传统配电架构在数据中心使用中存在着局限性的根源，同时介绍目前投入实施的一种非常高效的配电系统。改良后的系统在对 IT 机柜甚至整个配电柜进行安装或更改时无

需新接布线，采用吊顶配电方式，使用单根柔性配电线可支持高达 30 kW 的机柜功率密度，提高了用电效率、减少铜线消耗，可以测量分支电路功率，还配备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数量非常少的大型 IT 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。这些设施功率密度较低，因此对地板下气流量的需求并不高，特别是对于每 3 平方米面积内部署的支路数量不足一个的机房。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寥寥数个大型 IT 设备，现代数据中心内可能装有一千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柜处增减插座。
- 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附近 IT 负载的情况下添加电路。
- 单位机柜功率密度显著提高，单位机柜内部的支路数量也相应增多。
- 大量电线导管堵塞地板下的通风空间，导致气流阻塞，加大更改布线的难度。
- 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供电系统，必须确保所有电路负载均不超过 50%。然而，目前尚没有任何办法对其进行监控或规划。

尽管人们已经普遍意识到了这些问题，市场上也出现了各种相应的解决产品，如今构建的多数数据中心仍在使用传统的配电方法。这就导致一些新建的数据中心处于以下窘境：

- 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，或当一条电路断电时哪些电路可能过载。
- 地板下的供冷空间被大量的缆线阻塞，减少了现代 IT 设备的通风量。
- 数据中心操作员发现，配电柜的占地面积过大，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柜无法得到充分利用
- 配有大型变压器的配电柜产生大量废热，必须对其制冷，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。

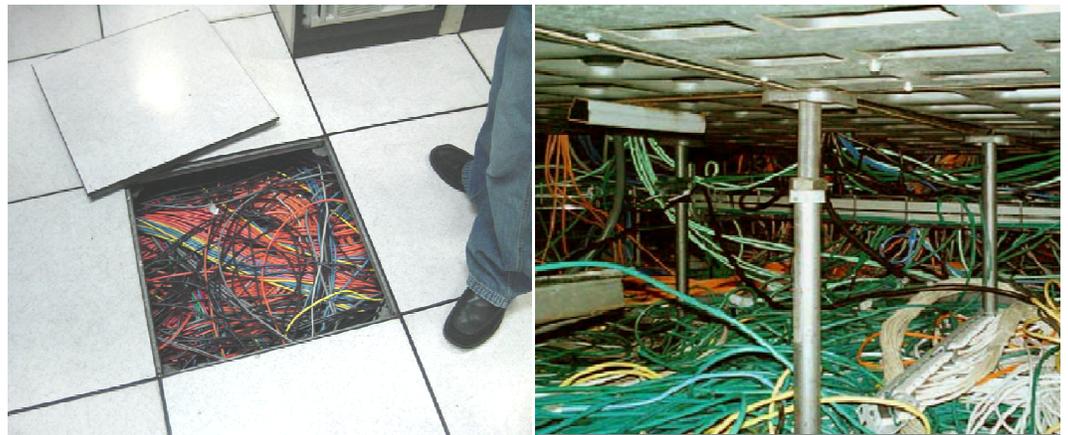


图 3

实际运营过程中的
数据中心布线拥塞

采用下文介绍的配电架构，上述所有问题都可迎刃而解。

优化配电系统

理想的配电系统需具备以下特征：

- 可在运行的系统中安全的新增或变更电路
- 无需在地板下敷设缆线
- 可对所有的电路功率进行监控
- 可远程监控所有断路器状态
- 可随时对 IT 区域或相关配电区域进行部署
- IT 机柜仅仅通过一根缆线满足所有功率需求
- 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，其中主要包括：

- 提供分支电路功率测量功能
- 配有柔性电源线吊顶线缆槽
- 配有固定吊顶母线槽的可插拔电线板
- 功率高，可插接机柜配电柜
- 无变压器的配电柜
- 功率容量管理软件

图 4 显示的配电系统中，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。

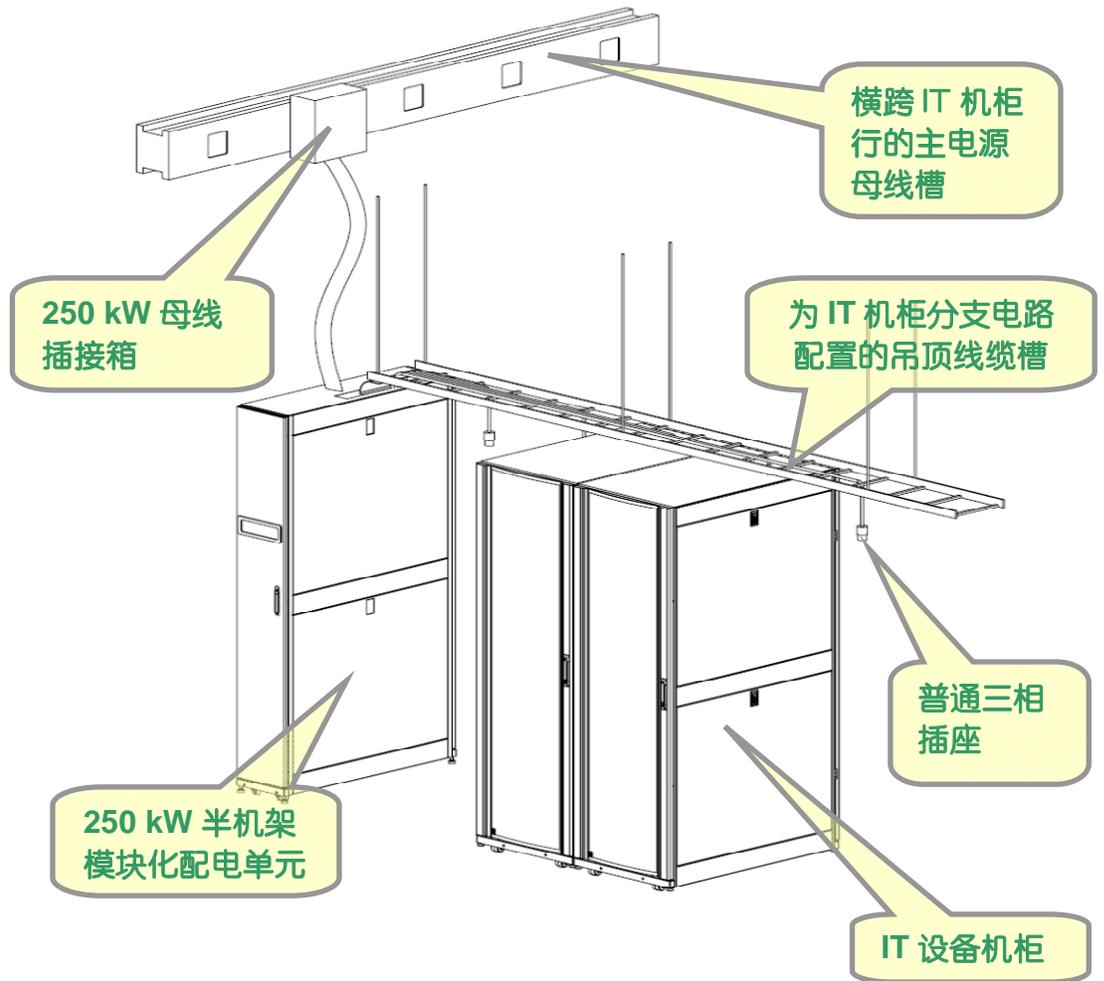


图 4
模块化配电系统说明

系统描述

配电系统有两个步骤。对于较大的数据中心，如图 4 上方所示来自 UPS 的主要关键母线电源被分配至不同的 IT 机柜行，而这些 IT 机柜行使用一个或多个吊顶母线槽。这些母线槽都是预先安装好的，横跨整个 IT 机柜行。在安装一组机柜时，小型的模块化配电柜也会被同时安装，并插接上方的母线槽。与母线槽的连接情况请参看图 4。

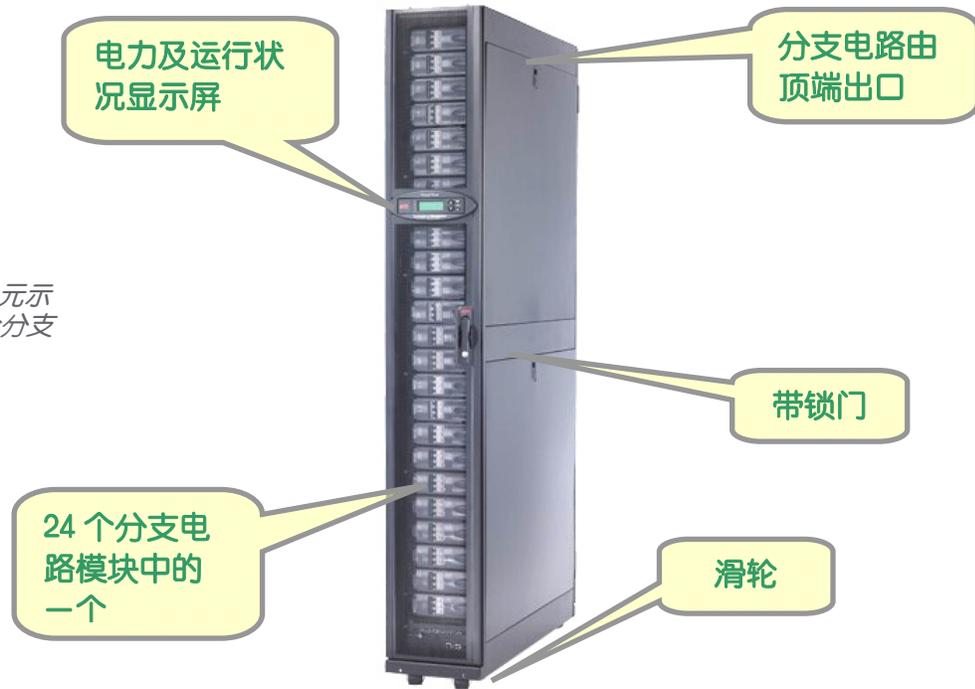


图 5

250 kW 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导线线头事先未经过处理，模块化配电柜使用的是安装有预前端接防电击断路器模块的背板。这一设计使得配电柜的表面变窄，从而避免了在现场端接导线的麻烦。

模块化配电柜内起初并未安装分支电路模块。从模块化配电柜到 IT 机柜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柜的正面，以满足每台机柜的不同需要。IT 机柜的分支电路线缆为预前端接，同时配有可插接模块化配电柜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，一根配电柜线缆内含有一到三个分支电路，这些线路直接插接刀片服务器，无需额外机柜级配电柜（比如配电盘）。当机柜内的设备进行混合部署时，可以使用提供额定电流且可更换插座的机柜式配电柜。图 7 为一个常见的机柜式配电柜，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 kW 三相机架条形插座



在该系统中，新增 IT 机柜行配备有配电柜，以及所有配套分支电路电线和条形机柜插座，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柜需要摆放在一起，或由于房间形状等客观限制导致一小组的机柜独立成群，在这些情况下，标准模块化配电系统的 24 支分支电路容量就派不上用场。

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 机柜，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柜之上，所占体积仅为 5U，并包含所有大型落地式配电柜所具有的能源及状态信息监控功能。

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 机柜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柜。300 kW 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柜的小型数据中心，分阶段部署配电柜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柜（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，即将模块化配电柜直接集成于 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，同时亦无需额外准备电源安置空间。这种适用于 200 kW 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

现有数据中心的升级往往涉及许多个数据中心项目，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柜，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柜时会面临一连串的挑战，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，模块化配电柜可以与现有传统配电柜共处运行。在这些改造方案中，传统配电柜的安装常常受限于各种历史局限，不使用吊顶母线槽元件，每个配电柜均由传统管道及电线连接至主母线。

模块化配电柜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。

功率及状态信息监控

在数据中心配电系统中，可能有数以百计的断路器处于负载状态。而经过优化的配电系统采用更高容量的机柜供电，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
- 配电柜输入
- 分支电路
- 插座

模块化配电系统采用内置电流及能源监控，可对各个级别的每条线路做到了如指掌（插座层监控在一些配置中为可选功能）。除此之外，配电柜的分支电路断路器也处于监控之中，以便实时掌握其工作状态。所有的监控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控，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柜数量也更多，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，详情请参见第 128 号白皮书《[应用改进型高密度配电系统提高数据中心效率](#)》。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的 208/120 V 交流电压。

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；确定断路器尺寸并进行安装；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控，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；每条分支电路均处于功率监控之下，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。不得不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控，需变更相应程序	分支电路从配电柜中拔出，尚可再次使用
移除或更改机柜	需要在物理层面上或者电气层面上将机柜断电	分支电路可从机柜上拔出；可将机柜推出
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柜的数量和位置。涉及到高架地板安装时，需提前设计地板下安装支架	无需提前确定配电柜的数量和位置。可在以后的使用中随时添加配电柜，无需做任何的提前准备
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它电路发生互相干扰的隐患
最小占地面积	基于变压器的配电柜每 100 kW IT 负载的占地面积为 2.5 平方米，或者大约是 7% 的机房面积	每 100 kW IT 负载的占地面积为 0.7 平方米，或者大约是 2% 的机房面积
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柜，对地板下的气流形成干扰。布线的地面切口会造成大量旁路气流通道，分散空调容量、导致空调效率降低	无需在地板下布缆。不会有额外的地面切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柜长度、密度、安培容量及成本等方面的复杂权衡，以合理确定配电柜的安装位置	从标准参考设计中进行挑选，以满足各项要求。多个决策可以在日后阶段性的部署
前期成本	配电柜一般于前期安装。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 208/120 V 交流系统的十倍	线缆较短，电力损失较少

结论

本白皮书介绍了地板下铺设线路的传统配电架构具有明显局限性。同时介绍了一种替代配电系统—模块化配电系统。较之传统的配电方法，这种系统在可扩展性、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 IT 事业部—APC 的高级创新副总裁。他负责为全球最大的用于关键网络设备（电源、制冷和机柜等基础设施）科技方面的研发预算提供决策指导。

Neil 拥有与高密度数据中心电源和制冷基础设施相关的 19 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十几种语言印刷出版。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。



[应用改进型高密度配电系统提高数据中心效率](#)

第 128 号白皮书



[浏览所有白皮书](#)

whitepapers.apc.com



[浏览所有TradeOff Tool™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

如果您作为我们的客户需要咨询数据中心项目相关信息：

请与所在地区或行业的 **施耐德电气** 销售代表联系，或登陆：

www.apc.com/support/contact/index.cfm