

数据中心末端配电智能母线槽设计

白皮书



目录

1. 前言	2
2. 不断变化的数据中心行业的现状挑战	2
2.1 驱动力	2
2.2 挑战	2
3. 传统配电架构与新一代数据中心末端配电架构对比	4
3.1 传统末端配电架构	4
3.2 新一代末端配电架构	5
3.3 机房末端配电方案比较	7
4. 智能母线系统安全可靠性的提升	8
4.1 耐电弧空气母线槽	8
4.2 过电流保护	8
4.3 持续监控	9
4.4 机械联锁	9
4.5 易于维护	10
5.结论	10

1. 前言

本白皮书探讨了数据中心行业的发展趋势及目前数据中心中的末端配电架构面临的挑战，评估了智能小母线解决方案在当前数据中心配电的适用性。通过对传统和当前末端配电架构的对比，明确了在满足当前数据中心要求的情况下两种配电架构的效率。此外，白皮书重点说明了在数据中心场景下的发生飞弧事件的风险，并讨论了如何通过创新的小母线配电架构来提高末端配电系统的耐电弧性。

2. 不断变化的数据中心行业的现状及挑战

在过去的十年中，数据中心领域已经成为全球增长最快的行业之一，**预计市场在2019-2025年以15.1%的复合年均增长率增长**。尽管有很多人对数据中心行业还不了解，但数据中心行业通过存储、处理、通信和分发我们每天每秒产生的数据，在现代社会中发挥着至关重要的作用。

2.1 驱动力

近年来，我们已经经历了一个新的数字化时代的变革，同时也改变了我们处理、消费和交流信息的方式。人工智能、机器学习、大数据、物联网、5G的出现，使我们的日常生活数字化，数据消耗方式增加。**据估计到2025年，全球数据将超过175ZB**。因此，数据中心需要采用创新的配电架构设计，来满足更高容量的配电网络、更高的机架密度和更高的效率等新需求。



2.2 挑战

许多数据中心都在紧跟数字化转型的步伐。**据《福布斯》报道，有不到30%的数据中心企业认为他们的数据中心是满足当前的需求的，仅有11%的企业认为他们的数据中心的更新速度超过了他们的需求**。因此目前许多数据中心仍然采用的是之前配电系统。

对于任何数据中心来说，配电都是一项大的投资，通常至少有10年的使用寿命。而它所供电的IT设备的使用寿命通常为2-3年，甚至更短。因此，如果以往的配电系统无法适配和集成这些新技术，就会导致数据中心运营效率低。如果企业跟上不断增长的数据消耗水平，数据中心容量会更容易过载，有一定的安全风险。



所有数据中心都希望实现100%安全可靠的电力可用性。随着数字化服务的发展，推动了全球对数据的需求。对于全球数据中心来说，企业必须寻求更智能的配电解决方案来面对这些新挑战。

2.2.1 可拓展性

无论数据中心的类型是超大规模、Colo、企业还是边缘数据中心都希望可以以最快速度对数据进行即时访问，因此数据中心需要有足够的弹性，来根据用户具体的需求扩大或缩减可用的电力容量。因此在设计配电架构的时候，可拓展性至关重要。随着数据消耗趋势的迅猛增长，数据中心更需要采用可以快速适应市场变化并且保持高运营效率的基础设施。

2.2.2 效率

数据中心需要不间断且高效的电源供电才能保持市场竞争力。若企业面临意外停机的风险，其盈利能力和品牌声誉都会造成影响。因此数据中心一直在寻找创新的更高效的设计来提高IT基础设施的电力水平。

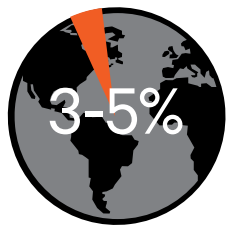
为了确保高效电力的连续性，数据中心需要全面了解配电系统和所连接的基础设施的状态，这个可以通过定制化的监控架构来实现。通过预测并响应电源潜在的安全问题，来降低高昂的停机风险。

2.2.3 空间优化

数据中心分布着服务器机柜、存储、网络设备、机架、空调机组和配电系统等核心基础设施，因此提升空间的利用率很重要。随着数据需求的增加，所需的IT基础设施也增加，所以需要对空间进行优化来减少空间浪费，并且要方便让企业在需要时添加新的IT基础设施时，便于重新部署。

2.2.4 投资成本

由于新技术和需求的不断变化，企业需要考虑对电力基础设施的投资情况，确保投资在回本之前基础设施不会落后而影响效率。运营成本也是数据中心的一项大支出，据估计到2025年，数据中心将消耗全球3%-5%的电力。电力容量增加，能源成本也会增加，因此数据中心行业正在寻找资本和运营成本都相对较低的电力解决方案。



数据中心的运营成本也是一项不断增长的支出，因为预计到2025年，数据中心将消耗全球电力的3~5%

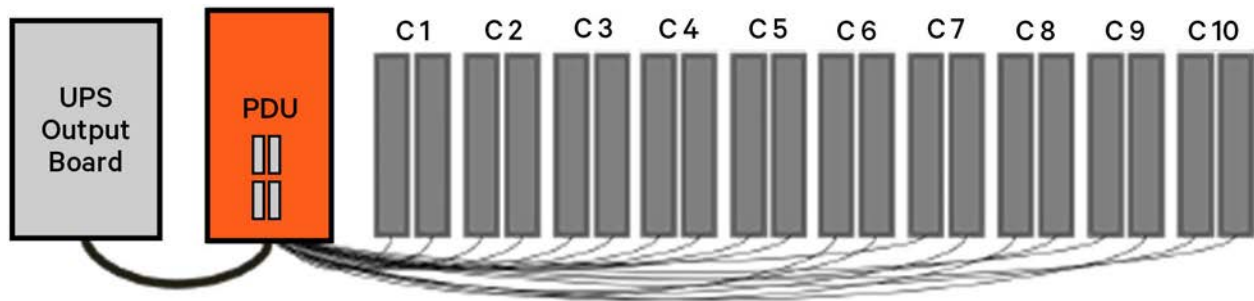
2.2.5 安全性

安全性是数据中心关注的关键问题，电气故障不仅会导致停机，还会危及生命。随着电力密度和容量的增加，数据中心内的电力基础设施规模也增加，这就使得标准的安装、操作和维护过程中的潜在风险增加。例如，改造升级基础设施所花费的时间越多，就越容易发生人为失误。例如，若出现将工具掉入带电的PDU中或在维护前未正确断开断路器，就会造成致命后果。

3. 不断变化的数据中心行业的现状及挑战

3.1 传统末端配电架构

目前许多数据中心设施仍采用的是行业数字化之前传统的配电架构。当时在设计传统配电系统时，数据中心的复杂程度远低于现在，主要由少量的大型IT设备组成，因此数据中心不会频繁进行改造升级，且IT设备的功率密度也不高，对数据中心制冷的要求也较低。



数据中心的电力通过配电单元(PDU)进行分配。PDU的额定功率通常为50kW至500kW，主要由主路输入断路器、支路电路配电盘、电力变压器、输出电缆、防雷以及监控和通信模块组成。PDU系统可以通过内置或独立的变压器来调整输入电压并将适当的电压分配到支路为IT负载供电。当采用内置变压器设计的PDU占地面积相对更大，每100kW的IT负载大约占地2.5m²。

为了容纳从A点到B点所需的长距离电缆，数据中心一般会采用架空地板通道或架空电缆桥架的方式接入。架空地板通道主要是为了建立空气流通通道。气流通常通过带有铝格栅的通风地砖来进行管理。地板下的空隙为布线和管道工程提供了空间，包括电线、数据和电信线路、安全线路和暖通空调及空调系统组件。

但是，在房间高度有限或设备较重的情况下，架空地板通道并不一定可行。因此会采用另一种做法就是通过安装在机柜顶部或悬挂在天花板上的电缆桥架来作为电缆通道。

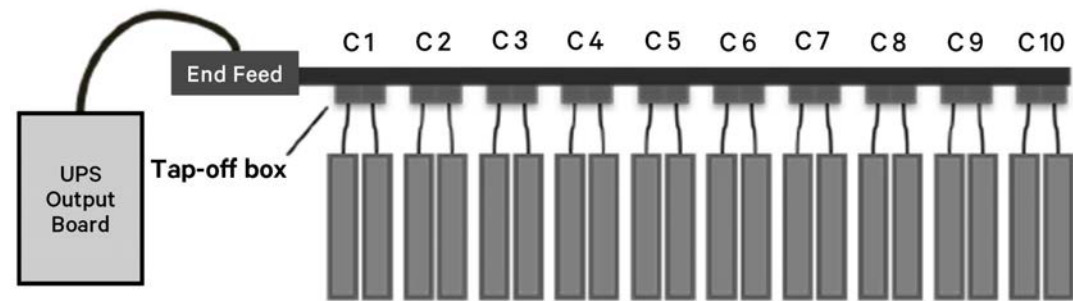


尽管这些传统架构已经发展了多年，但它原来设计所基于的原理和需求与目前行业的数字化转变已经不相适应，导致效率降低。效率降低的原因如下：

- 地板下电缆空间的受限，可扩展弹性降低
- 地板下扩容不方便，增加了整改时间和人力成本
- 大量电缆接入使数据中心布局灵活性降低且部署时间长
- 地板下布线，电路可追溯性差，很难对电路进行监控
- 地板下若电缆较多，会降低空气流动，增加热量损失和事故风险
- 传统配电架构占用柜位，空间利用率低
- 大型变压器的PDU单元会产生更多热量，降低数据中心的效率
- 系统必须断电才能安全地进行维护或更改，影响数据中心运营效率
- 初始成本低，但由于需要耗费大量时间来布线新电缆，因此扩容的成本可能很高
- 电工可能被迫在进行带电工作，易发生飞弧事故

3.2 新一代末端配电架构

小母线系统是传统列头柜配电的替代方案。当前小母线配电架构主要包括进线箱、母线和带有过流保护装置、连接配件的终端箱。



智能小母线在高密数据中心应用较多，它可以提供灵活的架空配电，且可扩展性强。目前智能小母线可以水平、垂直、机柜顶部或地板下安装，但数据中心领域较多都采用机柜顶部架空配电，为IT机架供电。仅母线槽就可以提供从低压开关设备或配电盘到IT机架的所有低压配电，从而无需笨重的PDU。

智能小母线解决方案可以根据客户机柜的具体数量、尺寸和容量等实际需求，来定制满足要求的母线槽和分接单元，通过分解接单元将电力分配到每个机柜。一条母线槽由多个母线直线段拼接组成，直线段间由连接件进行连接。分接单元安装位置灵活，具备带电热插拔功能，能在母线长度方向任意位置插拔取电。



智能小母线系统为数据中心行业提供了一种优化的配电架构，可以根据当前和未来的需求分配和管理电力容量。这种配电架构提高了数据中心的安全性、灵活性、可用性和成本效率主要体现在以下几点：



高弹性

扩大或缩减容量，只需变更分接单元，不受地板下空间限制



快速部署

由于提高了可扩展性，所以节省了所需的安装时间



热插拔

即插即用，能在不断电情况下实现系统扩容、平衡负载或重新配电设计等



节省占地

节省柜位，提高空余空间利用率



可追溯性强

插接箱位于机柜上方，因此电路保护开关易于维护



操作安全

防止手指接触导线的安全保护装置提高了操作人员的安全



可靠性高

相对于电缆，母线槽铝或钢外壳可保护导体免受物理应力



节约人力成本

工厂预制化，无需现场大量电缆接线，减少人力成本

3.3 机房末端配电方案比较

在讨论了当前数据中心管理人员面临的主要挑战，并评估了传统和当前小母线解决方案的应用之后，将传统列头柜方案与当前小母线系统的扩容弹性、电力可用性、空间利用率、安全性和成本方面进行了对比，如下表。可以看出虽然智能小母线系统提供了更安全的解决方案，但如果不使用额外的过电流保护装置，就无法完全消除飞弧的风险。因此，在评估每种架构所实现的成本效率时，需要根据数据中心规模 and 实际需求进行综合评估。

传统列头柜		智能母线系统
扩容弹性	需要重新布设空开、线缆，花费时间较长	即插即用，更快实现扩容。可根据需要逐步增加容量
电力可用性	- 地板下布线空间有限而影响散热，降低配电系统效率 - 对系统进行任何改动都需要预定停机时间	- 铜排阻抗低，系统更节能 - 插接箱可以实现热插拔，即插即用，无需停机操作
空间利用率	占用IT设备柜位	零占地设计，提高机房有效使用率和出租空间
安全性	- 电缆受到磨损，绝缘性变差 - 维护期间需要带电作业避免停机，存在安全隐患	- 母排实心导体耐用，不宜磨损，降低电气风险 - 母线有安全设计，降低接触带电电路概率 - 母线槽阻抗低这种更高效率设计可能会增加飞弧风险
成本	初始成本低，但后期扩容费用昂贵且耗时	- 容量可以逐步增加，从而降低前期投入成本 - 扩容所需人力费用低，可节省大量成本

4.智能母线系统安全可靠性的提升

4.1 耐电弧空气母线槽

随着电力容量和机架密度的增加，故障电流也会增加。因此数据中心对于更高效追求同时也会增加发生飞弧事件的风险。新一代小母线系统采用低阻抗设计，减少了沿母线槽传输的电流阻力，这个设计有利于减少热损失和压降，但会增加预期故障电流水平，引发飞弧事故。



Vertiv™ PowerBar iMPB 智能中功率母线采用多个安全结构设计，包括防呆设计、电气机械连锁设计、高耐受电流能力等，来提高母线槽的耐电弧性。

4.2 过电流保护

过流保护装置用于检测电气系统中的故障情况，并在故障电流超过母线槽的电流容量时自动将电气设备与电源断开。其中用于保护电路免受过流影响的两种器件是保险丝和断路器。

保险丝通过切断母线槽中的故障电流来恢复正常运行状态。每个保险丝都包含一个金属丝元件，用来承载有限的电流。当高故障电流流过保险丝时会产生热量，这时保险丝元件熔化，产生间隙，从而保护智能母线系统免受可能产生的飞弧的影响。一旦保险丝熔断，不能再用作保护装置，必须更换。断路器具有相同的用途，但与保险丝操作方式不同，当高故障电流流过断路器时，断路器会自动将电气设备与电源断开。它可以重置进行多次使用。

Vertiv™ PowerBar iMPB 智能中功率母线配备多种塑壳断路器、开关保险丝和隔离开关，来确保最大程度地防止潜在的故障电流，并可以根据客户的特定规格等级进行非标定制。

4.3 持续监控

目前数据中心中配电密度、容量和效率都在不断提高，因此持续监控在新一代数据中心配电中极其重要。监控系统帮助数据中心维护人员全面了解电力系统，方便在供电连续性受到影响之前找到潜在的操作异常。Vertiv™ PowerBar iMPB 智能中功率母线在主进线单元和分接单元都配备了精密监控系统，监控系统采用手拉手式连接，一个主监控箱最多可以采集4条母线及各输出回路电参数。

除了对电气系统进行监控外，母线关键部位实时温度检测也十分重要，目前国内有多种母线系统测温方式，来提高整体系统的安全可靠性。

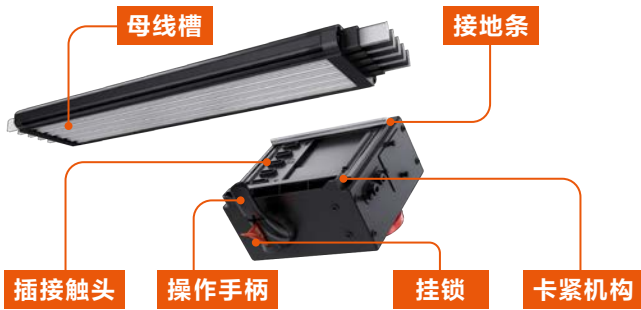
4.4 机械联锁

Vertiv™ PowerBar iMPB 智能中功率母线具有安全机械联锁设计，“先连接，后上电”做到上电下电零飞弧、更安全。当插接箱安装或者拆卸时，提供了多一层的操作安全保障，提高维护人员的操作安全性。

机械联锁装置使用高抗拉强度的金属将分接箱紧紧的固定到母线槽上，确保不会错误安装。安装到母线槽上之后，就可以转动旋转手柄。这时分接箱的插接头伸出，并在手柄旋转完成后强制锁定。

在电气连接之前，插接箱和母线槽之间的这种机械联锁设计可以降低在安装时发生电弧闪光的风险。

Vertiv™ PowerBar iMPB 智能中功率母线的分接箱采用三步安装流程，保留了E&I独有的“先接地，后断开”的安全功能（即每个分接箱在安装过程中接地条最先与母线槽外壳上凹槽连接，过电流始终通过接地条流出），因此母线系统实现了较低的故障电流和较短的故障清除时间。



第1步：分接箱的接地条作为第一个连接点与母线槽外壳连接

第2步：卡紧机构通过金属弹簧将分接箱上端固定到母线槽上，固定好后插接触头才会露出，这种机械联锁可以确保分接箱不会连接到错误的相位

第3步：当分接箱安装到母线槽上后，旋转操作手柄转动90度，手柄上锁，整个分接箱上电过程结束

4.5 易于维护

对于主路输入的始端箱和支路输出的插接箱，其二次回路器件（熔丝，监控模块，指示灯等）与一次回路的母排相比，更容易出现故障，因此二次回路的在线维护很重要。PowerBar iMPB智能中功率母线一次回路与二次回路电气隔离，实现二次回路（熔丝，监控模块，指示灯等）可热插拔，二次维护不断电，器件轻松换，全方位保障用户运营不间断。



5. 结论

随着全球数据消耗量的增加，数据中心行业不断受到挑战，企业不得不寻找更智能的配电解决方案，以更好地适应当今数据中心的运营需求。

在探究了传统数据中心电源架构的主要特点后，发现传统架构的灵活性和电力可用性较低与目前行业特性不相适应。因此，我们开发了Vertiv™ PowerBar iMPB 智能中功率母线系统来克服当今数据中心运营商所面临的配电挑战。

通过对传统架构和当今配电架构的对比，发现小母线解决方案在可扩展性、电力可用性、空间利用率和安全性方面为数据中心行业的配电模式带来了新的转变，以应对行业对更高单柜密度和更高效率的追求。



维谛技术有限公司

深圳市南山区学苑大道 1001 号南山智园 B2 栋
电话: (0755) 86010808
邮编: 518055

售前热线: 400-887-6526
售后热线: 400-887-6510
网址: Vertiv.com



免责声明

尽管本公司已采取一切预防措施以确保信息的准确性和完整性, 但本文件信息可能包含财务、运营、产品系列、新技术等关于未来的预测信息, 该预测具有不确定性, 可能与实际结果有差别, 本公司不对信息的任何错误或遗漏负责。本文件信息仅供参考, 不构成任何要约或承诺。本文件信息如有变更, 恕不另行通知。

Vertiv和Vertiv标识是维谛技术的商品商标和服务商标。©维谛技术2025年版权所有。

E-X621****-0825