 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i8.7010

Analysis on the application of integrated power module in data center

Li Chen

Work unit: Shanghai Branch of China Telecom Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract

With the expansion of data centers and increasing energy efficiency requirements, traditional power distribution systems face challenges including complex designs, low efficiency, and operational complexities. This paper examines the application of integrated power modules (such as prefabricated AC power supply modules and APT2.0 prefabricated power modules) in data centers. By analyzing differences between conventional systems and integrated modules in architecture, efficiency, space utilization, and operational costs, it demonstrates the significant advantages of integrated modules in enhancing energy efficiency, reducing operational expenses, and accelerating deployment. Results indicate that integrated power modules effectively address pain points in traditional systems while optimizing overall operational efficiency and reliability. The study concludes that integrated power modules represent a critical development direction for future data center power distribution systems.

Keywords

integrated power module; data center; power supply and distribution system; energy efficiency improvement

一体化电力模块在数据中心中的应用分析

陈力

中国电信股份有限公司上海分公司，中国 · 上海 200120

摘　要

随着数据中心规模扩大以及能效要求的提高，传统供配电系统遇到设计繁杂、效能低下、运维棘手等一系列问题。本文聚焦于剖析一体化电力模块（如预制式交流供电模组与APT2.0预制式电力模组）在数据中心中的应用情况，通过分析传统系统与一体化模块在架构、效率、空间利用水平及运维成本上的差异，阐释一体化模块在提升数据中心能效、降低运营成本、加快部署速度上的显著优越性。结果表明，一体化电力模块能切实解决传统系统存在的痛点，优化数据中心整体运行的效率与提升可靠性。本文认为一体化电力模块是数据中心供配电系统未来的关键发展走向。

关键词

一体化电力模块；数据中心；供配电系统；能效提升

1 引言

伴随云计算、大数据、人工智能等技术的迅猛进步，数据中心作为对信息处理及存储起关键作用的设施，其建设规模急剧扩大，数量呈爆发式增长。但是，传统数据中心供配电系统存在设计错综、能效低下还有运维的问题，对数据中心朝着高效能、高可靠性及快速部署方向的革新造成阻碍。处于这一背景下，一种革新性的供配电方案—一体化电力模块应运而生，其采用高度集成与预制化的设计思路，把包括变压器、低压配电柜、UPS 输入输出柜等在内的核心组件归整到一个预制模块中，实现供配电架构的优化精简，推动部署速度上扬。按照集成程度与应用场景呈现的区别，一体化电力模块衍生出如预制式交流供电模组、APT2.0 预制式电力模组类的多种类别，体现出数据中心针对高效稳定供配电解决手段的持续探索，已经成为数据中心供配电系统发展的主流走向。

2 一体化电力模块在数据中心中的应用优势

2.1 精简架构，提升空间利用率

一体化电力模块将供配电系统关键组件，像变压器、低压配电柜、UPS 输入输出柜等，高度集成到一个预制模块当中，打破传统供配电系统组件分散布局旧模式。此集成化设计极大降低了设备占地规模，实现数据中心内部空间利用的高效化，面对数据中心场地资源有限局面，可给服务器等核心设备预留出更充裕的空间，便于后续对设备展开扩容及升级活动，满足数据中心业务持续拓展对空间的渴求，提升数据中心整体空间的价值及运用效率。

2.2 高效供电，降低能源损耗

一体化电力模块采用前沿电力电子技术以及优化的电

【作者简介】陈力（1986–），男，中国上海人，本科，工程师，从事通信工程领域研究。

路设计方案，切实增强了电能转换成效。在实施供电流程里，使电能在不同设备传输及转换时的能量损耗降低，对无功功率损失予以降低，该智能监控与调节系统能按照数据中心实际的负载情形，即时调节供电参数，保证电力供应始终高效输送，再进一步增进能源利用成效，大幅削减数据中心电力开支，符合绿色数据中心搭建理念。

2.3 快速部署，缩短建设周期

基于一体化电力模块采用预制化的设计理念，所有组件在工厂里已经完成组装、调试及测试，现场只需做简易的安装及连接操作便可投入运转 [1]。跟传统供配电系统麻烦的现场施工、设备调试操作相比，大幅度缩短了数据中心搭建的时长，快速部署能力助力数据中心更快步入运营阶段，占得市场先机，使投资收益回报比例上扬，尤其适合时间紧迫程度高的紧急项目与业务快速膨胀情形。

2.4 智能运维，降低运维成本

一体化电力模块集成的智能运维系统，有着高效的实时监控与预警本质，此系统可针对模块内各关键组件的运行参数与状态信息，实施全面且不间断的监测，可及时发现潜在的故障迹象并快速发出预警信号。和传统模式的供配电系统相比，其降低了人工巡检的次数与操作难度，降低了对运维人员专业技能的过度依存，利用智能分析赋予的能力，可精确找出故障所在点，减少维修时长，切实杜绝故障扩大造成的损害，进而有力降低数据中心的运维成本，加大运维效率与可靠系数。

3 一体化电力模块在数据中心中的应用问题

3.1 标准不统一与集成适配性挑战

现阶段预制化电力模块未形成统一国家标准，仅以团体标准《数据中心电力模块预制化技术规范》作为参考，引发各厂商在设备配置、接口协议、测试标准等方面呈现出差异。例如，部分厂商在进行 2.5MVA 容量配置时，采用 4000A 或者 5000A 的断路器，其他厂商说不定会选用别样规格；UPS 输出柜配置、总进线柜与母联柜合并设计等关键之处均无强制约束，标准碎片化的情形，让不同厂商设备彼此间兼容性风险大幅攀升，用户在集成环节需额外投入资源开展适配性验证，说不定会因设备不相符而引发系统故障 [2]。

3.2 高密度部署下的散热与结构稳定性风险

一体化电力模块凭借高度集成设计，把变压器、低压配电柜、UPS 等设备紧凑安置，然而实现了空间节省，但高功率密度（以单柜功率 12 - 15kW 来说）对散热系统提出了苛刻的要求，要是采用传统风冷模式，或因气流分布不均引发局部高温点，减少设备实际寿命；倘若采用液冷技术的话，要搞定管道密封性、维护便捷性这类难题，高密度部署增加了对机柜结构强度的要求，要戒备振动、沉降等因素引发的设备移位以及连接松动问题。

3.3 初期投资成本与长期收益的平衡难题

即便一体化电力模块在全生命周期成本（TCO）上呈现出优势，但该一体化电力模块初期采购成本依然高于传统分散式供配电系统。以 2000kW 数据中心为例，采用一体化方案大约能节省 300 ㎡配电房面积，可初期设备采购所产生的费用可能增加 350 万元，针对预算存在局限的中小规模数据中心，必须权衡空间释放带来的潜在获利（如机柜租赁收益）与前期资本开支压力，有部分项目会因投资回报的周期太过漫长，而舍弃采用。

3.4 运维人员技能转型与知识更新滞后

一体化电力模块聚合了智能监控、AI 预测性维护等功能，需运维人员从常规“被动反馈”模式转变到“主动预防”模式。但是，数据中心运维团队普遍在对集中化监控系统、传感器网络以及数据分析工具的熟练应用上存在能力短板。例如，华为 FusionPower6000 电力模块可实现故障点的快速定位，若运维人员不具备解读电气单线图、温升模型等数据的本事，实现高效运维仍存在阻碍。

4 一体化电力模块在数据中心中的应用策略

4.1 建立标准化协同机制，破解集成适配难题

在数据中心应用一体化电力模块，集成适配方面的难题迫切需要攻克。为合理应对，应推动行业联盟扮演关键角色，制订统一又全面的技术规章，此规范需精准划定设备接口规格参数，实现不同厂商设备物理连接无缝畅通；确定通信协议的标准范畴，保证数据传输精确性及稳定性，实现各设备高效且顺畅地信息交互；将测试方法进行规范，令评估设备性能与兼容性的准则达成一致。例如，要求厂商在电力模块预先设置标准化对接接口，实现与各品牌 UPS、配电柜的顺畅连接；规定采用 SNMP 协议以达成兼容，实现监控系统的全面兼容，构建第三方认证体系显得尤为关键。对于符合标准的设备，赋予其权威认证标志，为用户开展选型工作提供可靠的依据支撑，减少选型的潜在风险，就已落成项目而言，可凭借“模块化升级包”之力，按阶段逐步地把传统配电柜转变为预制化单元，实现安定升级与契合。

4.2 优化热管理设计，保障高密度运行稳定性

数据中心一体化电力模块实施高密度分布时，散热状况直接关乎运行的稳定性，应采取针对性措施优化热管理设计。一方面，选用“冷热通道隔离与行级空调”结合的制冷混合方案，封闭冷通道可显著降低冷量散失，阻止冷热气流相混合，增进制冷功效，行级空调能贴近机柜作布置，做到精准的空气配送，直接把冷量传递至设备进风口。例如，在先控电气某大型数据中心项目中，当完成 20kW/ 柜行级空调的部署后，PUE 从 1.8 急剧降低到 1.3，极大缩减能源消耗规模。另一方面，就单机柜功率大于 20kW 的高密集区域而言，可优先推进液冷方案的试点实施，选取“冷板式液冷辅以风冷”的混合样式，冷板与发热元件直接贴合，迅速抽

走热量，风冷协同处理剩下热量，兼顾散热效率及维护成本。除此之外，在数据中心大量部署 150 余个温度传感器，构建起温度上升的模型，该模型能实时探查各区域温度的变化情形，精确预估热点的实际位置，依照预测成果实时调整风量大小，让一体化电力模块一直处于恰当温度范围，维持高密度运转时的稳定性及可靠性。

4.3 构建全生命周期成本模型，量化投资回报

在数据中心采用一体化电力模块的时候，可去开发“数据中心投资速评”工具，用户仅需输入如项目容量、功率密度、UPS 架构这类关键参数，工具会自动制作出涵盖资本性支出（CAPEX）及运营性支出（OPEX）的对比报告。以中电电气的工具方面举例，就 2000kW 数据中心项目而言，一体化方案虽令初期采购成本增添 350 万元，但借助腾出 300 ㎡空间开展机柜配置，每年可创造出 837 万元的租赁收入款项，1.5 年便可完成投资回收。采用“电力损耗模拟器”，量化分析一体化电力模块全链路效率提升所实现的电费节省，就像华为 FusionPower6000 在 2.5MVA 系统取得 97.8% 的链路效率值，跟传统方案对比，每年节省的电费为 200 万元，直观彰显一体化方案的经济利好。

4.4 打造智能化运维平台，推动人员技能升级

实施集中化监测架构，整合电力模块内诸如变压器、UPS、配电柜等设备的运转数据，采用 3D 可视化界面呈现电气链路运行状态。例如，华为 ECC 控制器可实时显现母线电容寿命、断路器健康度等核心数据，若剩余寿命降至阈值以下，触发告警。搭建“AI 运维辅助载体”，凭借机器学习对历史故障数据做分析，自行产出维护提案。就运维团队而言，实施“理论与实操结合”培训，关键提升智能监控系统、传感器网络、数据分析工具方面的应用本领，且借助模拟故障情形开展压力测试。

5 案例分析：一体化电力模块在数据中心的成功应用

5.1 浙江联通云基地项目

浙江联通云基地定义为 A 级标准云基地，就供配电系统这方面，对能效、可靠性以及建设的周期时长，设定了苛刻的标准 [3]。传统供配电方案不易同时满足此类要求，基于这一情形，项目采用 APT2.0 预制式电力模组解决途径。该方案借其高度预制化的相关特性，在工厂中完成所有关键组件集成与调试，现场仅需实施简易安装连接的相关事宜，极大减少了建设所耗周期，助力项目快速实现供配电系统建设及调试，切实推动云基地快速建成并开启运营。运行工作推进阶段，APT2.0 模块透露着高效供电的显著长处。依靠优化电力输送途径与缩减能量损耗流程，大幅削减了能源开支，其内置的智能运维系统达成供配电设备实时的监测与故障预先告警，运维人员可预先介入处置，降低了非预期停机时间，减少了运维花销，全面强化云基地整体运行的效率与可靠程度。

5.2 天津朝亚数据中心项目

天津朝亚数据中心按照 A 级数据中心建设的相关标准打造。就供配电系统而言，关键要考量的是冗余备份能力与快速建设速度，传统供配电模式在达成这两点目标上显现出较大局限，APT2.0 预制式电力模组解决方案堪称理想的抉择。在项目实施的阶段，APT2.0 模块借助其预制化长处，把诸多关键组件集于一处，极大减少了现场施工的工作量与安装调试的时间，实现供配电系统的敏捷式部署，为数据中心提早投入运营赢得了宝贵时机。从运行保障这一维度，APT2.0 模块呈现出系统整机冗余备份的特质，倘若供配电系统出现单一故障，冗余部分可迅速实现无停顿切换，维持数据中心业务连贯稳定开展，切实杜绝供电中断引发的数据丢失及业务中断隐患，极大提高了数据中心的整体可靠水平，为天津朝亚数据中心高质量运营筑牢根基。

6 结语

综上所述，数据中心采用一体化电力模块具有显著优越性，包含架构的简化改进、空间利用率的提高改善、高效供电的实现、能源损耗的有效降低、快速部署的达成及智能运维的开展等。但在应用过程当中，也会面临集成度上升导致的兼容性困境、初始投资花费较高及运维人员技能要求变动等挑战。未来，伴随技术持续进步与标准渐趋完备，一体化电力模块于数据中心供配电系统的作用将愈发关键，驱动数据中心往高效、可靠、绿色的路径发展，数据中心需积极发掘一体化电力模块创新应用的模式路径，促进与厂商、金融企业及教育机构的联合协作，一起促进数据中心供配电系统升级优化与永续发展。

参考文献

[1] 胡晓.电力模块技术融合至贵州某数据中心配电系统的应用分析[J].建筑电气,2025,44(01):56-60.

[2] 解广州.数据中心智能融合电力模块技术探析[J].电力设备管理,2024,(18):211-213.

[3] 郑匡庆,张恒新,吕飞扬,等.金融业大型数据中心预制化电力模块应用研究[J].中国金融电脑,2024,(05):66-69.