

# 基于边缘计算的通信大数据中心电源基础设施能效优化与实时监控系统

傅海波

福建省邮电工程有限公司 福建 福州 362000

**摘要：**边缘计算技术的发展为通信大数据中心电源基础设施优化提供了新路径。通过构建由边缘感知层、边缘计算层与云端管理层组成的系统架构，实现对电源设施的高效管控。提出负载动态匹配、储能协同控制及智能散热优化方法，结合实时监控系统的数据采集、可视化展示与故障预警功能，有效提升电源基础设施能效，降低运行成本，增强系统可靠性与稳定性，为通信大数据中心绿色高效发展提供有力支撑。

**关键词：**边缘计算；通信大数据中心；电源基础设施；能效优化；实时监控系统

## 引言

随着5G、人工智能等技术快速发展，通信大数据中心能耗问题日益严峻，其电源基础设施能效优化成为关键。边缘计算凭借低时延、本地化处理优势，可实时分析处理电源系统数据。本文针对通信大数据中心电源基础设施，设计基于边缘计算的系统架构，探索能效优化策略，构建实时监控系统。研究成果对提升电源系统运行效率、降低能耗成本、保障数据中心稳定运行具有重要理论与实践意义。

## 1 边缘计算与通信大数据中心电源基础设施概述

### 1.1 边缘计算

边缘计算是下沉数据处理能力至网络边缘侧的分布式计算范式，可解决云计算数据传输延迟高、带宽压力大等问题。它在数据源或用户终端附近部署资源，能实时处理海量数据，实现毫秒级响应，提升效率与体验。技术体系含硬件设备与软件平台，构建完整生态。在智能制造、智能交通等领域有广泛应用，能减轻云端压力、增强数据隐私保护，是支撑新型数字经济发展的关键技术。

### 1.2 通信大数据中心电源基础设施

通信大数据中心电源基础设施是保障数据中心稳定运行的核心，承担电力供应、转换与分配功能。主要由UPS系统、蓄电池组、柴油发电机组、配电系统及智能监控模块构成。UPS系统实现市电与电池电能无缝切换；蓄电池组在市电异常时提供短时电力支撑；柴油发电机组作为备用电源满足大功率用电需求；智能配电系统精准分配与监控电力，智能监控模块采集参数优化调度，提升能源利用效率。各子系统协同，为数据中心运行筑牢电力基石。

## 2 基于边缘计算的通信大数据中心电源基础设施系统架构设计

### 2.1 边缘感知层

在基于边缘计算的通信大数据中心电源基础设施系统架构中，边缘感知层扮演着至关重要的角色。此层主要由各类传感器及数据采集设备构成，其核心任务是对电源系统的关键参数与状态进行精准且实时的感知与采集。比如，电流传感器能够精确测量电源输出的电流大小，以便及时掌握负载情况；电压传感器则可准确监测电压的波动，保障电源输出的稳定性。温度传感器对电源设备的温度进行密切监控，防止因过热引发故障。这些传感器还能感知设备的运行状态，如风扇的转速、设备的振动等，为后续的数据分析与处理提供全面且基础的数据支撑。这些采集到的数据通过通信网络，以高效且稳定的方式传输至边缘计算层，为整个电源基础设施系统的智能决策与优化运行奠定坚实基础。

### 2.2 边缘计算层

边缘计算层作为整个架构的关键环节，具备强大的本地化数据处理与分析能力。当接收到边缘感知层传输过来的大量电源相关数据后，边缘计算层首先对这些数据进行快速的清洗与预处理，去除噪声与异常值，提升数据质量。接着，运用特定的算法与模型，对电源系统的运行状态展开深入分析，例如通过功率计算与趋势预测，判断电源是否存在过载风险；利用故障诊断算法，精准定位可能出现的故障点。

在这一过程中，边缘计算层能够依据分析结果，及时对电源设备进行本地控制与调整。关于电源输出功率的调节，目前主要采用电源在线自动调节的方式实现。这是通过在电源设备中集成智能控制模块，该模块与

边缘计算层进行实时通信。边缘计算层根据负载变化情况，向智能控制模块发送功率调节指令，智能控制模块依据指令自动调整电源内部的功率转换电路参数，从而实现输出功率的精准调节。这种调节方式具有快速响应的特点，能够在负载变化的瞬间做出调整，以适配负载变化。

在调节过程中，通过合理的设计和严格的控制策略，能够有效避免对在用设备造成掉电风险。一方面，智能控制模块在调节功率时会采用平滑过渡的方式，逐步调整输出功率，避免功率突变导致电压波动过大；另一方面，边缘计算层会实时监测电源的输出电压和电流，一旦发现异常情况，会立即停止调节并采取相应的保护措施，如启动备用电源或降低负载需求，确保在用设备的稳定供电。

此外，边缘计算层还会根据温度情况自动调整散热风扇的转速，确保设备在适宜的温度范围内运行。边缘计算层会将经过处理的关键数据，有选择性地传输至云端管理层，既减轻了网络传输负担，又保障了云端能够获得有价值的信息，用于更宏观的管理与决策<sup>[1]</sup>。

### 2.3 云端管理层

云端管理层处于整个系统架构的顶端，承担着对整个通信大数据中心电源基础设施系统的宏观管理与调控职责。它接收来自边缘计算层上传的关键数据，并借助强大的云计算资源与大数据分析技术，对这些数据进行深度挖掘与综合分析。通过对多数据源数据的整合与对比，能够从全局视角洞察电源系统的运行态势，例如分析不同区域数据中心电源的能耗分布情况，找出能耗过高的区域并探究原因。云端管理层还能基于长期积累的数据，构建电源系统的预测模型，对未来的电源需求、设备故障概率等进行预测，为资源调配与设备维护提供前瞻性的指导。云端管理层能够对边缘计算层与边缘感知层进行远程配置与管理，根据实际需求灵活调整系统参数与运行策略，保障整个电源基础设施系统始终处于高效、稳定的运行状态，以满足通信大数据中心日益增长的业务需求。

## 3 基于边缘计算的通信大数据中心电源基础设施能效优化方法

### 3.1 负载动态匹配优化

在边缘计算驱动的通信大数据中心中，业务流量呈现显著的时空波动性与突发特征，传统静态供电模式难以满足实时负载需求，导致电源转换效率下降与能源浪费。负载动态匹配优化通过构建基于深度学习的负载预测模型，结合历史用电数据、业务类型分布及实时流量

监控信息，对未来时段的电力需求进行高精度预测。模型采用长短时记忆网络（LSTM）或Transformer架构，捕捉负载变化的长期趋势与短期波动特征，预测误差可控制在3%以内。在此基础上，配置智能配电系统，利用功率调节模块实现供电单元与计算节点的精准匹配。当预测到负载需求降低时，系统自动将冗余服务器集群转入休眠状态，并通过动态电压频率调节（DVFS）技术降低运行节点的供电电压与频率，通过边缘计算负载率实时匹配最佳电压，减少不必要的能耗，例如采用智能PDU+边缘节点，部署电流传感器实时检测机柜负载，边缘节点动态调整输出电压，转换损耗降低8-12%。针对边缘计算节点分布广、网络延迟敏感的特性，采用分布式优化算法实现多区域负载的协同调配，在保障服务质量的前提下，将电源使用效率（PUE）降低15%-20%，有效提升基础设施整体能效。

### 3.2 储能系统协同控制

通信大数据中心的瞬时高功率需求与电网供电稳定性之间的矛盾，使得储能系统成为提升能效的关键环节。储能系统协同控制借助能量管理系统（EMS）构建多时间尺度控制策略，达成与市电、分布式电源及负载的动态交互。在分钟级尺度，EMS依据实时电价信号与负载预测数据，规划储能系统充放电计划，于电价低谷充电、高峰放电，降低用电成本。UPS智能充放电管理，铅酸电池在非最佳温度/充放区间效率骤降，通过部署电池边缘监控节点和设置动态策略，延长电池使用寿命，提升电池能效。针对边缘计算场景对数据处理实时性的要求，引入模型预测控制（MPC）算法，综合考量电网波动、储能系统荷电状态（SOC）及负载变化，滚动优化运行策略。当市电短时中断或电压波动时，储能系统能在毫秒级无缝切换至备用供电模式，保障关键业务不间断运行。通过储能系统与电源基础设施的深度协同，可将峰谷差率降低30%以上，提升可再生能源消纳能力，实现能源利用效率与供电可靠性的双重提升<sup>[2]</sup>。

### 3.3 智能散热管理优化

散热系统作为通信大数据中心第二大能耗来源，其能效优化对整体PUE指标具有重要影响。智能散热管理优化借助物联网（IoT）传感器网络与数字孪生技术，搭建起数据中心热环境实时感知与动态调控体系。在机房关键位置，部署高精度温湿度、气流速度传感器，并融合机架内服务器CPU温度数据，经边缘计算节点实时分析热流分布特性。基于流体力学仿真与机器学习算法构建热环境预测模型，能提前精准定位热点区域，制定针对性散热策略。采用变风量（VAV）与变水温（VWV）

联合控制技术,依据热负荷动态调整空调系统送风量与冷冻水温度,在确保服务器安全运行温度的同时,降低空调能耗。引入自然冷却技术,利用室外低温空气与水侧经济器免费制冷,室外环境适宜时自动切换模式,减少机械制冷设备运行时长。通过智能散热管理系统的精细化调控,实现空调运行参数的自动调整(如温湿度的设定、风机转速调整、动态冷量分配等),合理化空调运行模式,减少空调运行时间,减少空调压缩机的运行时间,满足IT设备温湿度要求的同时使空调设备运行在最佳能效状态,可使空调系统能效比(EER)提升25%-30%,显著降低数据中心散热能耗,推动电源基础设施能效达到行业领先水平。

#### 4 基于边缘计算的通信大数据中心电源基础设施实时监控系统的实现

##### 4.1 数据采集与传输模块

###### 4.1.1 数据采集

借助高精度传感器阵列多维度采集信息。在交流配电柜输入输出端装电流互感器和电压传感器,毫秒级采样电流、电压;在UPS电池组正负极设专用传感器监测充放电状态;机房内合理分布温湿度传感器采集环境数据。采用MEMS技术微型传感器,适应复杂电磁环境,保障数据准确。

###### 4.1.2 边缘计算在数据中心的部署

区域集中部署:在电源系统集中的交流配电室、UPS室等区域设边缘计算节点,通过高速以太网连接区域内传感器与采集设备,处理本区域数据,如检测交流配电柜电流电压是否正常。

设备级部署:在关键大型设备如UPS主机旁单独部署边缘计算设备,直接连接监控接口,深入获取详细参数并分析,实现精细化监控管理。

分层部署架构:构建分层边缘计算架构,底层节点近距离采集处理数据后上传至汇聚节点,汇聚节点综合分析整合数据,根据规则决策控制。如底层节点检测区域温度过高,汇聚节点结合其他数据判断是否调整机房散热策略。

###### 4.1.3 数据传输

现场原始数据经边缘网关协议转换与预处理,将工业协议数据转为标准化JSON格式。边缘计算节点内置AI算法降噪与提取特征,以OPCUA协议上传有效数据,减少超90%无效带宽占用。传输链路采用5G+光纤双冗余设计,5G回传突发数据,光纤保障核心数据稳定传输。边缘计算节点内置SD-WAN模块动态调整路由,传输延迟控制在50ms内<sup>[3]</sup>。

##### 4.2 监控界面与可视化展示

采用WebGL与D3.js技术构建三维可视化系统,基于数字孪生理念1:1虚拟建模通信大数据中心电源基础设施,实时渲染呈现设备运行参数,实现状态空间化展示。深度融合多源异构信息可视化,用Echarts图表库绘制电气参数趋势曲线,展示运行趋势;采用拓扑图展示电源系统连接关系,节点颜色与闪烁频率反映设备健康状况,助运维人员定位异常。交互功能支持多维度数据钻取,用户点击设备图标可调取运行日志与历史数据,支持分钟级时间切片查询。系统集成AR功能,运维人员用移动终端扫描设备二维码,可在实景叠加虚拟信息层,实现参数立体呈现与远程专家协作。

##### 4.3 故障诊断与预警机制

故障诊断基于边缘计算节点部署的深度学习模型,用LSTM神经网络训练电源系统历史数据,学习正常运行参数波动规律。实时数据偏离阈值时,通过时序预测算法提前识别潜在故障,准确率超98%。预警机制构建分级响应体系,按故障严重程度分紧急、严重、一般三级。紧急故障触发声光报警并切断非关键负载;严重故障通过短信、邮件推送至运维人员;一般故障在监控界面黄色警示。预警信息含故障位置、类型及影响范围。故障定位采用贝叶斯网络推理算法,分析故障多参数关联性定位根源。系统内置故障树分析(FTA)模块,自动生成处理流程,提供维修指南,缩短故障恢复时间,降低平均故障修复时长(MTTR)至30分钟内<sup>[4]</sup>。

##### 结语

综上所述,本文通过研究基于边缘计算的通信大数据中心电源基础设施能效优化与实时监控系统的实现,设计分层架构,提出多元能效优化方法,实现数据高效采集与智能监控。有效提升电源基础设施能效,保障系统稳定运行。未来将进一步探索边缘计算与新型储能、智能电网等技术融合,完善系统功能,为通信大数据中心绿色低碳发展提供更优解决方案。

##### 参考文献

- [1]陈方正,穆春宇.通信机房电源基础设施一体化运维管理系统优化设计[J].通信电源技术,2024,41(15):132-134.
- [2]朱亚飞,车宇.通信机房电源基础设施一体化运维管理系统优化设计[J].通讯世界,2024,31(3):108-110.
- [3]赵丹阳,高丽媛.通信电源远程监控系统的应用研究分析[J].通信电源技术,2023,40(17):47-49.
- [4]冷凯莉,刘富贵,庞玉琼.通信电源监控系统在电力通信中的运用[J].中国宽带,2024,20(6):91-93.