

数据中心机房电源系统与暖通空调协同节能优化研究

张泽鹏

中国电信集团有限公司济南分公司 山东 济南 250011

摘要：数据中心机房电源系统与暖通空调之间存在显著的运行耦合关系，独立运行模式易引发效率损耗、温控失衡与系统性能源浪费。本文围绕两类系统的能耗构成、独立运行弊端及协同优化路径展开论述。研究指出，负载波动与热环境变化的连锁传导是能耗居高不下的主因。从联动调控策略、供需效率匹配、余热回收利用及智能联合调度四个维度切入，配合统一监控平台搭建、动态参数标定与多系统联合运维等保障措施，可有效削减机房整体能耗，推动能源利用模式向高效低耗方向持续优化。

关键词：数据中心；电源系统；暖通空调；协同节能；联动调控

引言：数据中心机房的电力供给与热环境调控分别由电源系统与暖通空调系统承担，两套体系运行状态高度关联却长期独立管控。电源设备散热直接改变机房热负荷，空调制冷强度又反向影响电力转换效率，单一系统的固定调控难以适配另一系统的动态变化。独立运行模式下效率损耗叠加、温控冗余并存，整体能效长期受限。围绕两类系统的耦合特征与协同优化路径展开系统梳理，对挖掘数据中心节能潜力、降低运营能耗具有切实的参考价值。

1 电源系统与暖通空调的运行耦合

1.1 电源系统的运行特征与能耗构成

数据中心电源系统承担机房各类用电设备的电力供给与电力调控工作，整体运行状态跟随机房负载变化产生动态波动^[1]。系统依托多级电力转换与电力稳压流程保障供电稳定性，电力转换的全过程会产生持续性的能源消耗。机房设备负载的动态变化会改变电源设备的运行工况，负载波动会直接影响电力转换的能源损耗程度。电源系统的能耗来源集中于电力转换环节的能量损耗与设备常态运行的基础能耗，两类能耗形式贯穿系统全运行周期。不同运行工况下的负载体量变化，会改变电力传输与转换的损耗水平，形成差异化的能耗状态。电力设备长期处于持续运行状态，内部组件的运行损耗会随运行时长产生细微变化，进一步影响整体能耗的浮动区间。

1.2 暖通空调系统的运行特征与能耗构成

数据中心暖通空调系统负责机房内部热环境调控，通过气流循环与温度调控实现机房空间热量的有序消散。系统运行状态跟随机房内部热量分布与环境参数变化产生自适应变动，热量聚集程度的高低直接影响系统的运行强度。暖通空调系统的能耗主要来源于气流输送、热量交换与设备常态运转产生的能源消耗，环境调

控的强度变化会直接改变能耗的生成体量。机房内部热源的分布状态会改变空调设备的运行负荷，空间热量的不均匀分布会提升环境调控的能源消耗。室内外环境的参数差异，也会对空调系统的热量交换效率产生影响，造成系统能耗出现常态化浮动。

1.3 电源系统与暖通空调之间的相互耦合关系

电源设备在电力转换与供电运行过程中会持续释放热能，成为数据中心机房主要的内生热源之一。电源设备的运行负荷变动会改变热能释放的总量与分布状态，间接改变机房空调系统的运行负荷与调控需求。空调系统开展机房散热与温度调控的过程中，会优化电源设备的运行环境，稳定的热环境可以保障电力设备维持稳定的运行工况。机房热环境的波动会影响电源设备的电力转换效率，环境温度的异常变动会增加电力运行的能源损耗。两类系统的运行状态相互牵制、相互影响，任一系统的工况调整都会引发另一系统的运行状态产生连锁变动，形成紧密的运行关联体系。

1.4 协同节能的内在逻辑与必要性

机房电源与暖通空调系统的独立运行模式会造成工况匹配度不足的问题，单一系统的独立调控无法适配机房整体的能耗优化需求。电源设备运行产生的热量若无法得到精准适配的散热调控，会造成空调系统无效能耗的增加，也会影响电力系统的运行效率。依托两类系统的运行关联特性开展联动调控，可以贴合机房负载与热环境的动态变化，优化各系统的运行工况。针对性的联动调控模式能够减少两类系统运行过程中产生的无效能源损耗，挖掘机房整体能耗的优化空间。开展双系统协同调控工作，可以实现机房能源利用模式的优化升级，适配数据中心长期高效低耗的运行发展需求。

2 电源系统与暖通空调独立运行的能耗问题

2.1 电源系统独立运行的效率损耗问题

数据中心电源系统独立完成运行调控时,仅依托实时电力负载调整工作状态,未结合机房热环境变化优化运行策略^[2]。电力设备面对动态波动的机房负载,始终保持固定运行参数,负载工况与设备运行状态无法形成有效适配。多级电能转换与传输流程会持续产生能量损耗,动态负载波动会进一步放大这类能源消耗。机房内部温热环境的浮动会干扰电力组件运行性能,进一步增加电能转换过程中的损耗。固化的调控模式难以适配机房负载的动态更迭,常规运行场景中会持续产生无效能耗,拉低电力能源整体利用效率。

2.2 暖通空调独立运行的过冷过热问题

暖通空调系统采用独立调控模式时,调控逻辑以机房整体环境温度为核心依据,无法精准匹配电源设备动态散热需求。机房内部热源分布存在明显的不均匀特征,设备集中区域热量聚集速度更快,其余空间热量堆积程度相对平缓。统一化的全域温控模式难以适配差异化散热需求,设备密集区域易出现热量堆积,造成局部温控不达标。机房整体温度达到运行标准后,非设备区域会出现制冷过量的情况,形成普遍的低温冗余状态。失衡的温控状态会抬高空调运行负荷,持续产生无意义的能源消耗。

2.3 两者缺乏联动导致的系统性浪费

电源系统与暖通空调系统独立运行过程中,两套体系的调控逻辑相互割裂,运行数据不存在互通与联动渠道。电源设备散热状态的动态变化无法反馈至空调调控体系,制冷设备无法根据热源波动调整运行强度。空调温控调节节奏无法适配电源负载的动态变化,造成散热供给与实际需求出现错位。工况匹配失衡会持续增加电力系统运行损耗,空调输出的多余冷量也会转化为无效能耗,多维度能耗问题相互叠加,引发机房整体性能能源浪费,压缩设备节能运行的可调空间。

2.4 独立调控模式下的能效瓶颈分析

独立调控模式固化两套设备的运行边界,单一体系仅聚焦自身运行指标的稳定输出,忽视机房整体能效的统筹优化。电力系统优先保障供电稳定性,忽视热环境波动对能耗效率的干扰。空调系统以环境温度达标为核心目标,忽视热源动态变化引发的制冷冗余。传统调控思维局限于单一设备运行维度,无法实现机房能源资源的统筹调配。僵化的运行调控逻辑难以适配数据中心动态变化的运行场景,各类能耗损耗问题无法得到有效缓解,让机房整体能效长期局限于固定水平,形成难以突破的运行短板。

3 电源系统与暖通空调协同节能的优化路径

3.1 基于负载动态变化的联动调控策略

数据中心机房运行工况始终伴随用电负载的动态波动,不同负载区间对应差异化的设备散热水平与能耗特性。依托机房负载的动态演化规律搭建联动调控逻辑,可以打破两套系统独立运行的固化模式。电力负载产生小幅波动时,电源设备的热能释放体量会随之改变,机房内部热环境的变化趋势具备可预判性^[3]。调控体系可依托负载数据的实时变动,提前修正暖通设备的运行工况,让制冷输出贴合热源变化节奏。负载峰值区间可适度强化散热调控力度,规避热量堆积引发的能耗损耗。负载低谷区间可弱化制冷运行强度,减少制冷资源的无效输出。动态适配的调控模式能够贴合机房全时段运行状态,实现能耗损耗的常态化削减。

3.2 供电效率与制冷效率的匹配优化方法

机房整体能效提升需要依托供电环节与制冷环节的双向效率适配,消除两类系统运行参数的适配偏差。针对电力转换过程中的能耗损耗特征,调整电源设备的运行参数,让电力转换效率维持在优质区间。结合电源设备不同工况下的散热特性,对空调送风风量与换热强度进行精细化调节。弱化高强度制冷对低负载电力工况的资源浪费,改善低强度散热对高负载电力工况的适配不足。通过双向参数的精细调校,平衡电力运行损耗与制冷运行能耗的相互关系。逐步消除两类系统运行过程中的效率错配问题,实现机房整体能源利用水平的稳步提升。

3.3 余热回收与电源散热的协同利用方式

电源设备运行过程中散发的热量具备可回收再利用的属性,传统运行模式会直接释放这类热能,造成能源资源浪费。结合机房空间布局与设备散热规律,布设适配的热能收集与转换装置,捕捉电力设备散逸的多余热量。将收集后的热能应用于机房辅助温控及配套设施的温度调节工作,替代部分空调制热与辅助温控的能源消耗。依托散热时序与余热存量的变化,调整余热回收装置的运行强度,保障散热效率不受回收流程干扰。实现热源损耗资源的二次利用,拓宽机房节能运行的实施渠道。

3.4 智能控制平台下的双系统联合调度

智能控制平台可以实现机房电力与空调运行数据的全面采集与互通,打破传统调控模式的信息壁垒。平台可对电力负载数据、设备散热数据、机房环境数据进行整合分析,生成适配机房实时工况的调控方案。依托自动化数据研判能力,完成电源运行参数与空调运行状态的自主调校。依托历史运行数据积累,研判机房工况的变化趋势,提前完成系统运行状态的前置调整。

4 协同节能优化的实施保障与持续改进

4.1 统一监控平台的搭建与数据互通

协同节能模式的稳定落地需要完善的监测体系与数据交互体系作为支撑。搭建一体化机房监控架构能够整合电源运行模块与暖通空调运行模块的各类运行数据,打破传统运维模式下数据分散存储的问题。平台可接入电力负载体量、设备运行工况、机房环境温湿度等多维度运行信息,打通不同设备模块之间的数据传输阻隔^[4]。规范化的数据传输协议能够保障各类运行信息稳定传输与精准归集,实现机房全域运行状态的全面感知。数据资源的集中汇聚可以为工况分析与参数调控提供充足的数据支撑,摆脱碎片化数据对节能调控工作的限制。完整的数据互通体系能够支撑跨系统运行状态的深度研判,为精细化协同调控筑牢坚实的基础条件。

4.2 运行参数的动态标定与反馈调节机制

机房设备长期不间断运行会产生参数漂移现象,固化的参数标准无法适配复杂多变的节能运行需求。结合电源设备与暖通空调设备的运行特性,建立科学规范的动态参数标定流程,依据实时工况变化更新参数基准数值。利用设备采集的实时运行数据构建闭环反馈链路,精准捕捉设备运行过程中产生的参数偏移问题。调控体系依托反馈信息完成运行参数的自主修正,适配不同负载强度与环境状态下的设备运行需求。动态标定模式可以有效维持设备运行精度,减少参数偏移引发的能耗浪费与运行不稳定问题。闭环调节链路能够持续维系双系统工况的匹配度,保障节能运行体系始终保持稳定运转状态。

4.3 多系统联合运维的管理模式构建

传统运维体系针对单一设备开展管控工作,管理模式存在明显的独立性与局限性,无法适配双系统联动运行的全新工况。重构适配电源与暖通空调联动运行的运维体系,破除单一设备独立运维的管理壁垒。系统梳理双系统运行过程中相互关联的运维节点,制定适配协同节能模式的标准化运维规范。运维工作覆盖范围不再局限于设备故障排查与基础养护,延伸至系统工况匹配校验、能耗状态动态监测等新型工作内容。一体化运维模式可以强化设备全运行周期的状态管控,及时处置各类

干扰协同节能质量的运行问题,稳固机房长期高效节能的运行基础。

4.4 节能策略的持续迭代与长期运维优化

数据中心机房的负载结构、设备性能与运行环境始终处于动态变化之中,固定不变的节能策略难以适配长期运维发展需求。根据机房阶段性的运行特征与设备性能衰减规律,对现有节能调控策略进行阶段性更新与完善。依托机房长期积累的运行数据,深度挖掘工况演变规律与潜在能耗优化空间,完成联动调控逻辑与参数标准的迭代升级。更新后的调控策略可以有效适配设备老化、负载结构调整等各类运行变动带来的工况改变^[5]。长效运维优化机制能够稳步提升双系统运行的协同匹配度,让节能运行体系适配机房全生命周期运行需求,持续维系数据中心高效低耗的优质运行状态。

结束语

数据中心机房电源与暖通空调的协同节能,需从耦合机理出发,在调控策略、效率匹配、余热利用与智能调度四个层面同步推进。联动调控可以贴合负载波动削减无效能耗,供需匹配能够消除两类系统的效率错配,余热回收拓宽了节能实施渠道,智能联合调度则替代人工固定模式提升管控精度。统一监控平台与动态参数标定为协同运行提供数据支撑,多系统联合运维与策略持续迭代保障节能体系长期适配机房工况。多维协同,方能推动机房能源利用走向高效低耗。

参考文献

- [1]王贤.数据中心机房供配电系统的可靠性研究[J].通信电源技术,2024,41(4):213-215.
- [2]余礼.数据中心机房供配电系统的设计分析[J].建材与装饰,2025,21(18):55-57.
- [3]朱芳毅.数据中心机房供配电系统优化设计与能效管理研究[J].通信电源技术,2024,41(15):98-100.
- [4]张勇坚,周玉娟,卿江洁.某银行数据中心机房暖通空调系统升级改造与节能对比分析[J].暖通空调,2025,55(2):130-137.
- [5]刘海龙.数据中心建设中的暖通空调常见问题分析[J].中国航班,2022(2):94-96.