

金融数据中心弹性可扩展供配电布局设计

李晓利

中国中元国际工程有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22273

[摘要] 金融数据中心对供电连续性、可扩展性与运行经济性要求极高。本文以内蒙古和林格尔新区某总行级金融数据中心园区为依托,针对传统供配电布局扩展性差、供电半径大、损耗偏高等问题,开展弹性可扩展供配电布局设计研究。通过采用模块化分散供电布局,单栋机房楼规划14个变配电室,首层设动力配电室、二层设IT配电室,供电半径控制在80 m以内;低压采用单母线分段加母联自动投切架构,支持在线维护与无缝扩容;变压器选用SCB18型一级能效干式产品,负荷率控制在40%~45%经济运行区间,并配置SVG动态无功补偿与有源滤波装置,功率因数稳定达0.96以上。结果表明,该布局可适配从传统机柜到高功率密度智算集群的平滑演进,可为同类金融数据中心供配电设计提供参考。

[关键词] 金融数据中心; 供配电布局; 模块化分散供电; 弹性扩展; 经济运行

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A

Elastic and Scalable Power Supply and Distribution Layout Design for Financial Data Centers

Xiaoli Li

China IPPR International Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Financial data centers have extremely high requirements for power supply continuity, scalability, and operational economy. Taking a headquarters-level financial data center park in Helinger New Area, Inner Mongolia, as the engineering basis, this paper investigates the design of an elastic and scalable power supply and distribution layout to address the poor expandability, large power supply radius, and relatively high power losses associated with traditional power supply and distribution layouts. A modular decentralized power supply layout is adopted, with 14 substations planned for each data center building. A power distribution room for mechanical and general electrical loads is arranged on the first floor, while an IT power distribution room is arranged on the second floor, keeping the power supply radius within 80 m. On the low-voltage side, a sectionalized single-busbar configuration with automatic bus-tie transfer is adopted to support online maintenance and seamless capacity expansion. SCB18 dry-type transformers with Grade 1 energy efficiency are selected, with the load rate controlled within the 40%–45% economically optimal operating range. SVG dynamic reactive power compensation and active power filtering devices are also configured, maintaining the power factor above 0.96. The results show that the proposed layout can accommodate the smooth evolution from conventional server racks to high-power-density intelligent computing clusters, providing a reference for the power supply and distribution design of similar financial data centers.

[Key words] financial data center; power supply and distribution layout; modular decentralized power supply; elastic expansion; economical operation

引言

随着金融算力基础设施规模持续扩大,数据中心供配电系统面临可靠性、扩展性与经济性的多重挑战。传统集中式布局存在供电半径大、损耗高、扩容困难等问题,难以适应机柜功率密度提升和智算集群快速部署的需求。金融数据中心作为国家金融算力核心节点,要求供电系统具备高韧性、可扩展与经济运行能力。

本文依托内蒙古和林格尔新区某金融数据中心园区工程,围绕供配电布局的模块化、弹性化与经济性开展设计研究,分析变配电室规划、供电半径控制、低压架构选型、变压器经济运行等关键技术,为超大规模金融数据中心供配电系统设计提供实践依据。

1 供配电系统设计需求与约束条件

1.1 金融数据中心供电的高可靠性要求

金融数据中心承载核心金融业务,对供电连续性要求极高。本项目为总行级金融数据中心园区工程,一期总建筑面积超20万平方米,规划机柜超1万架,服务器装机容量超10万台,属于超大规模金融算力基础设施。供电系统须满足国标GB50174 A级要求,部分机房模块须满足TIA-942 Tier IV标准认证,供电可靠性要求达到99.9999%,实现金融级“零中断”供电。高可靠性要求对供配电布局提出多重约束:电源接入须具备多重冗余,末端供电须实现物理隔离,故障时须快速切换且不影响业务运行。因此,供配电布局不能仅考虑正常工况下的电能传输,还须兼顾故障隔离、在线维护与快速恢复能力。

1.2 机柜功率密度提升对扩展性的需求

随着智算集群等大功率密度设备部署,单机柜功率持续提升,供配电系统须具备平滑扩容能力。传统集中式布局在初期投资较小,但后期增容往往需要大规模改造,停电范围大、施工周期长,难以适应业务快速迭代。本项目要求供配电布局支持从传统机柜到大功率密度智算集群的平滑演进,变配电设施须模块化配置、就近供电、按需扩容^[1]。

1.3 供电半径与线路损耗的经济性约束

供配电布局直接影响线路损耗与运行成本。供电半径过大,线路压降与损耗增加,电缆用量上升;供电半径过小,变配电室数量增多,土建与设备投资增加。因此,须在供电可靠性、扩展灵活性与经济性之间寻求平衡。本项目将供电半径控制在80 m以内,以降低线路损耗,同时通过模块化分散布局实现就近供电。

2 模块化分散供电布局设计

2.1 单栋机房楼变配电室规划

本项目采用模块化分散供电布局,单栋机房楼规划14个变配电室,变压器总装机47700 kVA,园区六栋机房楼合计286200 kVA。变配电室按楼层功能分区布置:首层为动力配电室,主要承担制冷、水泵、照明等动力负荷供电;二层为IT配电室,主要承担机房IT设备供电。动力负荷与IT负荷分楼层设置,实现供电回路分离,减少相互干扰。模块化分散布局的核心在于将变配电设施靠近负荷中心布置,缩短供电距离。每栋机房楼独立配置变配电系统,单栋故障不影响其他楼栋运行,既保障了故障隔离的可靠性,又为分期投产和按需扩容提供了条件。

2.2 供电半径控制与线路损耗降低

本项目将供电半径控制在80 m以内。供电半径的确定综合考虑了线路压降、电缆载流量、短路电流水平与保护配合等因素。供电半径缩小后,线路阻抗降低,电压损失减小,电缆截面可适度优化,线路损耗显著下降。同时,短距离供电有利于提高末端电压质量,保障IT设备稳定运行。在平面布局上,变配电室布置在机房模块周边,与IT模块就近对应。供电、制冷设备就近服务对应IT模块,缩短供电距离,降低线路损耗。竖向布局上,动力配电室设于首层、IT配电室设于二层,动力线缆垂直短距离接入上层机房,进一步缩短管线路径。

2.3 低压单母线分段与母联自动投切架构

低压侧采用单母线分段加母联自动投切架构。正常运行时,两段母线分列运行,各自承担对应负荷;当一段母线失电时,母联开关自动投入,由另一段母线带全部重要负荷,保障供电连续性。该架构支持在线维护与无缝增容:检修时可将负荷转移至另一段母线,实现不停电检修;扩容时可在备用段接入新设备,不影响已有回路运行。单母线分段加母联自动投切架构兼顾了可靠性与灵活性,既满足金融数据中心高可靠性要求,又为后续增容改造提供了便利,完美适配从传统机柜到大功率密度智算集群的平滑演进^[2]。

3 弹性扩展与经济运行关键技术

3.1 变压器选型与负荷率经济控制

变压器统一选用SCB18型一级能效干式产品。该型变压器损耗低、效率高、防火性能好,适用于室内变配电室布置。在2N架构下,每组变压器负荷率精准控制在40%~45%经济运行区间,同时满足金融数据中心标准要求(负载率 $\leq 45\%$)。负荷率控制在40%~45%,既避免了变压器长期轻载运行导致的效率下降,又保留了足够的备用容量,便于负荷增长时平滑扩容。变压器经济运行区间的控制,需要与2N架构配合。2N架构下每台变压器均有一定备用容量,负荷率不宜过高,以保证单台故障时另一台可承担全部负荷;同时负荷率也不宜过低,以免效率下降、投资浪费。40%~45%的负荷率是可靠性、经济性与扩展性的平衡点。

3.2 SVG动态无功补偿与有源滤波配置

低压侧标配SVG动态无功补偿与有源滤波装置。SVG动态无功补偿可快速调节无功输出,稳定母线电压,补偿后功率因数稳定达0.96以上。有源滤波装置可抑制谐波,降低谐波对变压器、电缆及IT设备的危害。数据中心IT设备、UPS、变频器等非线性负荷产生大量谐波,若不治理将导致变压器附加损耗增加、电缆过热、保护误动等问题。SVG与有源滤波配合使用,可同时改善功率因数与电能质量,从源头降低电能损耗。

3.3 模块化增容与平滑演进机制

本项目供配电布局支持模块化增容。变配电室按模块化单元设计,预留备用柜位与电缆通道;低压母线采用可扩展结构,支持新增回路接入;变压器按2N架构配置,可在不停电条件下增容。当机柜功率密度提升或机柜数量增加时,可在对应模块内增加变配电设备,无需整体改造。该机制实现了从传统机柜到大功率密度智算集群的平滑演进,初期按常规机柜负荷配置,后期随智算设备部署逐步增容,投资分期投入,避免一次性过度投资。模块化增容还降低了改造期间的停电风险,保障金融业务连续性^[3]。

4 供配电布局与相关系统协同

4.1 与电源保障体系的衔接

本项目构建“四路10 kV双重市电+2N UPS/HVDC+冗余柴发”三重异构电源保障体系。供配电布局须与电源保障体系衔接:4路10 kV市电两两分组,分别引自园区两座110 kV变电站,AB路高压电源采用园区内双管沟敷设,确保双路全程物理隔离与路径独立;备用电源方面,四座动力楼共部署49台1800 kW级10.5 kV

高压柴油发电机组,按“12+1/11+1”架构分组并机。模块化分散供电布局与三重异构电源保障体系配合,实现从市电接入、备用电源到末端供电的全链路冗余。

4.2与末端供电架构的配合

末端供电方面,IT负载端采用2N容错双总线架构,服务器机房配置4×500 kVA高频UPS热备运行,液冷机房部署4×1200 A高压直流(HVDC)系统,末端通过智能小母线实现A/B路物理隔离供电。模块化分散供电布局为末端2N架构提供了基础:变配电室靠近机房模块,A/B路供电线路路径独立,末端小母线可就近接入,实现物理隔离供电。UPS及HVDC后备电池统一按15分钟满载配置,全链路满足国标GB50174 A级,部分模块满足TIA-942 Tier IV标准认证。

4.3与智慧运维系统的联动

供配电布局与智慧运维系统联动。项目采用“分楼独立监控+园区统一集成”的分层架构,6栋机房楼各自部署独立监控系统,通过集成平台实现数据汇聚与联动。供配电系统接入动力环境监控平台,实现高低压回路、IT负载、制冷系统等关键环节能耗数据的实时采集与颗粒化分析。模块化分散供电布局使各变配电室可独立监控、独立计量,为分项能耗分析与PUE优化提供数据支撑。

5 设计效果与工程验证

5.1供电可靠性提升效果

通过模块化分散供电布局与三重异构电源保障体系配合,项目供电可靠性达99.9999%,满足金融级“零中断”要求。单栋机房楼独立配置变配电系统,单栋故障不影响其他楼栋;低压单母线分段加母联自动投切架构,支持在线维护与无缝增容;末端2N容错双总线架构,实现A/B路物理隔离供电。全链路满足国标GB50174 A级,部分模块满足TIA-942 Tier IV标准认证。

5.2运行经济性优化效果

供电半径控制在80 m以内,线路损耗显著降低;变压器负荷率控制在40%~45%经济运行区间,效率保持较高水平;SVG动态无功补偿使功率因数稳定达0.96以上,减少无功损耗;有源滤波装置抑制谐波,降低附加损耗。通过上述措施,供配电系统运行经济性明显提升,为项目PUE值优化至1.188以下提供了支撑。

5.3弹性扩展能力验证

模块化分散供电布局支持从传统机柜到高功率密度智算集群的平滑演进。变配电室按模块化单元设计,预留备用柜位与电缆通道;低压母线采用可扩展结构;变压器按2N架构配置,可在不停电条件下增容。项目空间利用率提升约20%,供配电布局的弹性扩展能力得到验证,可为同类金融数据中心提供参考。

6 结论

本文以内蒙古和林格尔新区某金融数据中心园区为依托,开展了金融数据中心弹性可扩展供配电布局设计研究,主要结论如下:

(1)模块化分散供电布局可有效缩短供电距离、降低线路损耗。单栋机房楼独立配置变配电系统,动力负荷与IT负荷分层设置,实现了就近供电与故障隔离,为分期投产和按需扩容提供了条件^[4]。

(2)低压单母线分段加母联自动投切架构兼顾可靠性与灵活性。该架构支持在线维护与无缝增容,可在不停电条件下完成检修与扩容,满足金融数据中心高可靠性要求。

(3)变压器经济运行与电能质量治理协同配置效果显著。2N架构下负荷率控制在合理区间,配合SVG动态无功补偿与有源滤波装置,有效降低了电能损耗,改善了电能质量。

(4)模块化增容机制支持供配电系统平滑演进。变配电室按模块化单元设计,预留备用柜位与电缆通道,可随智算设备部署逐步增容,避免一次性过度投资,降低改造期间停电风险。

7 结束语

本文针对金融数据中心供配电布局扩展性差、供电半径大、损耗偏高等问题,开展了弹性可扩展供配电布局设计研究。通过模块化分散供电布局、低压单母线分段加母联自动投切架构、变压器经济运行控制及模块化增容机制,实现了供配电系统的就近供电、在线增容与平滑演进,为金融数据中心高可靠性供电与弹性扩展提供了工程实践依据。研究成果可为同类超大规模金融数据中心供配电系统设计提供参考,后续可结合新能源接入与算电协同调度,进一步提升供配电系统的绿色化与智能化水平。

[参考文献]

[1]王翔.双碳战略下的绿色金融数据中心建设[J].数字化用户,2024(30):127-128.

[2]高本瑞,于仲安,陈锋升,等.考虑互联网数据中心灵活调度的柔性配电网运行优化方法[J].浙江大学学报(工学版),2026,60(7):1504-1514.

[3]朱俊斌.金融数据中心应用预制模块化方案研究与建议[J].中国金融电脑,2022(2):79-82.

[4]龚慧钦.金融绿色数据中心建设关键要素研究[J].中国金融电脑,2023(3):75-77.

作者简介:

李晓利(1980--),女,山东莱西人,本科,高级工程师,建筑数据中心方向。