数据中心10 kV电源切换技术应用分析

宋晓伟[1]，曹连兵[2]，郝 彬[3]，景传刚[3]

（1. 中国移动通信集团设计院有限公司信息能源所 北京， 100080；2. 中国人民大学新校区建设办公室 北京 100072；3. 中国移动通信集团设计院有限公司建筑所 北京， 100080）

摘要：数据中心单机架功耗迅速增加，导致数据中心负荷越来越大，市电电源与后备电源高压发电机组的可靠切换变得非常重要。从系统结构、联锁逻辑控制和负载控制等方面对电源切换系统进行了分析，并就应用时需注意的技术要点进行说明，为将来数据中心的10 kV电源切换系统设计起到更好的保障作用。

关键词：数据中心；电源切换；中压ATS；负载控制

Analysis on application of 10 kV power switching technology in data center

SONG Xiaowei[1], CAO Lianbing[2], HAO Bin[3], JING Chuangang[3]

(1. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd. Division of Information Energy, Beijing 100080, china；2. Renmin University of China New Campus Construction Office, Beijing 100872, china；3. China Mobile Group Design Institute Co., Ltd. Division of Architecture, Beijing 100080, china；)

Abstract: With the rapid increasing power consumption of single cabinetin data center, the whole electrical load becomes more lager. The reliability of power switching system is more important between mains power supply syste mand backup power supply system 10 kV diesel generators. The power switching system is analyzed from the aspects of system structure, interlocking logic control and load control, and the technical points that should be paid attention to in applicationis explaind. It will play a better role in guaranteeing the design of 10 kV power switching system of data center in the future.

Key words: data center; power switching; medium- voltage ATS; load control

0 引言

随着5G的到来，社会步入大数据时代，数据中心的建设需求更加旺盛。单机架功率迅速增加，从3 kW、5 kW到现在的7 kW及以上，超大型数据中心的快速发展，也带来了供电保障的巨大压力，数据中心的供电系统更加复杂化，可靠性保障等级越来越高。依据GB 50174—2017《数据中心设计规范》的规定，对于A级机房，在两路市电电源停电或者故障时，需要由后备电源进行保障，一般国内的后备电源均为柴油发电机组。国内现在已经积极采用高效节能的10 kV高压发电机组并机发电，与市电电源进行有效切换。但是如何保障切换的可靠性是一直关注的焦点，中压自动转换开关（ATS）的使用已经逐步增多，本文将对已经较多应用的综合继电保护（或者PLC）控制切换技术和10 kV中压ATS技术（机械电气联锁）进行实际应用对比分析，更好地指导未来数据中

心建设。

1 典型数据中心供电架构

要对数据中心供电架构中的某点进行分析，必须了解整个供电架构，以典型的A级数据中心2*N*供电架构为例，具体如图1所示。

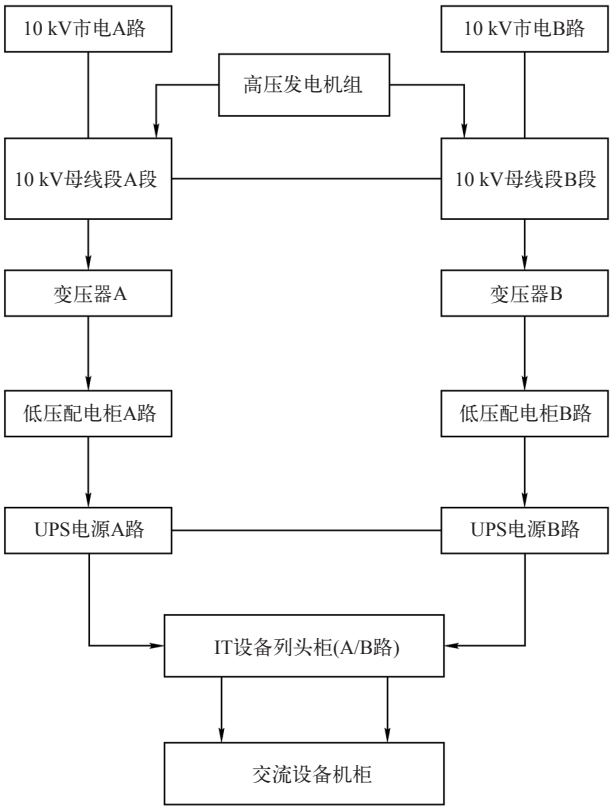

图1 传统A级机房2*N*供电架构

Fig. 1 2*N* Power supply structure for traditional class A IDC room

1）系统正常运行时，两路10 kV市电电源分别带A、B段母线运行，两段母线之间联络开关处于分闸状态，A、B段母线上的两路发电机进线开关也处于分闸状态。

2）当其中任意一路市电电源停电或者故障时，联络开关闭合，由另一路市电电源承担全部负荷。此时，停电的母线段处的进线开关处于分闸状态，A、B段母线上的两路发电机进线开关仍处于分闸状态。

3）当两路市电电源均停电或者故障时，A、B段母线的进线开关均分闸，联络开关分闸，两路发电机进线开关合闸，发电机起动各带一段母线运行。

4）任何一路市电电源恢复时，柴油发电机组退出运行，联络开关合闸，由恢复的该路市电电源带载两段母线运行。

5）两路市电电源均恢复供电时，高压系统恢复为正常运行模式。

2 传统双电源切换方案特点分析

传统综合继电保护10 kV电源切换系统图如图2所示。PLC方式或者由综合继电保护方式控制的切换方案涉及QF_1～QF_5共5个开关，前4个为进线开关，最后1个为母线联络开关。5个开关之间设置电气联锁，通过控制器对5个断路器进行逻辑控制，任意时刻A段母线或者B段母线中两个电源不能同时运行，任意时刻两段母线间不能有两个电源同时并母线运行。

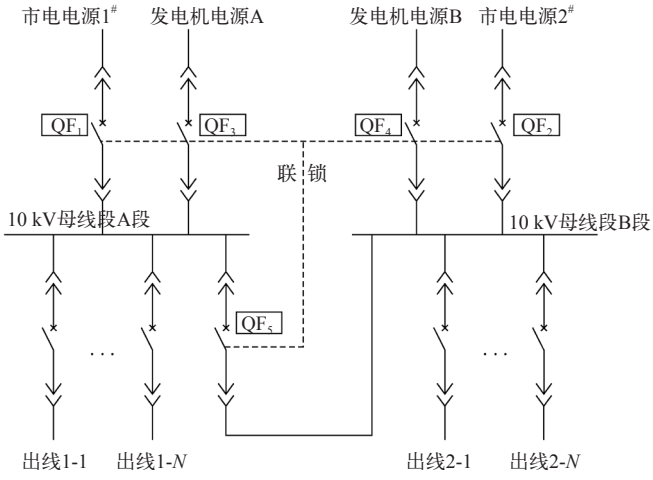

图2 传统综合继电保护10 kV电源切换系统图

Fig. 2 Traditional 10 kV power switching system diagram with PWZB

2.1 联锁与控制运行

对于该系统的电气联锁控制方面，通过图2可以看出，在物理层上，每段母线的两个电源在同一层级上，不同母线间的电源也在同一层级，为了区分市电与发电机的层级就必须在逻辑上进行严格编程。考虑整个系统的自动切换问题，需要完善的备自投和自复逻辑问题，而不是只判断信

号来做自动化分合开关的逻辑。通过PLC或者综合继电保护等多种控制产品搭配的方案，需要考虑5个开关的联动控制时间和选择配合，逻辑控制复杂，控制可靠性较低，联锁复杂，设计周期和深度上往往较长。

对于A、B段母线需要做二选一联锁控制，对于两段母线间需要做五选二电气联锁。例如当两路发电机组后备电源分别带两段母线时，联络开关处于分闸状态，此时其中一路市电恢复，按照运行要求需要恢复市电供电运行方式，先停发电机组，合闸联络开关，此时的自复逻辑实现可靠性就尤为突出。

2.2 负载控制

对于出线的负载控制问题，需要结合4个输入开关、1个联络开关的状态及状态发生的条件，再对负载进行控制，避免对市电和发电机组进行冲击。尤其是在发电机组带载情况下，高压发电机组并机运行，考虑到其对突加、突减负载的动态响应，如果超过其允许值，会引起电压与频率振荡波动，对后端设备造成损坏以及发电机停机，严重时将损坏发电机组。因此，必须对发电机所带的负载进行投切控制，也就是常说的逐级投切，以保障发电机组和负载安全。在高压发电机组后备电源投入之前，对负载进行减载，后备电源投入之后进行顺序加载，保障发电机组的正常稳定运行。

通过上述分析，要实现上述负载控制，传统方案在5个开关电气联锁与出线顺序投切的问题上，设计复杂，受限于综合继电保护功能，很多工程中对投切问题依然靠手动操作，例如依靠变压器出线柜的失电压脱扣功能，市电全部停电后，起动发电机组后再手动合闸低压出线柜，维护量加大。

3 中压ATS双电源切换方案特点分析

中压ATS与母联结构如图3所示。采用中压ATS方案的结构图中，QF_1，QF_2和QF_5这3个开关组成两个进线一个联络功能。当某一路市电停电或故障时，本着市电优先的原则，首先故障分闸，联络合闸，由另一路正常市电电源带两段母线，实现稳定供电；当两路市电电源都停电或故障时，高压发电机组起动，由中压ATS切换到发电机备用电源进行供电。

QF_3与QF_7、QF_4与QF_6两对开关组成中压ATS，具备电气联锁与机械联锁功能，在任何情况下防止不同电源并网运行。

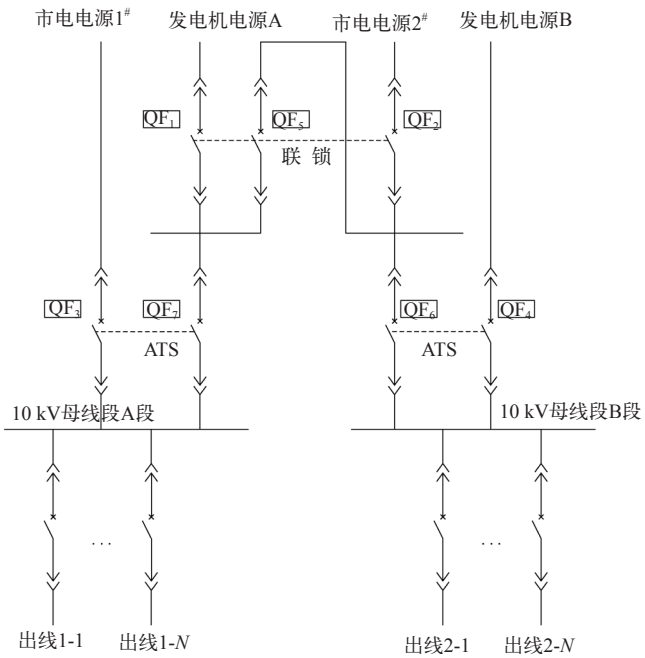

图3 中压ATS与母联结构图

Fig. 3 Medium-voltage ATS and bus tie system

3.1 联锁与控制运行

使用中压ATS的方案，可以明显看出层级清晰，真正实现了市电电源备自投和ATS切换的一、二级分层。市电优先在第一层级，市电与备用发电机组电源切换在第二层级，分段母线，物理隔离，因此联锁可靠。QF_1、QF_2和QF_5 3个开关做电气联锁实现三选二，QF_3与QF_7、QF_4与QF_6中压ATS具备电气联锁与机械联锁功能，防止市电电源与发电机电源并网运行。

由于母线分段，逻辑控制上更加简单一些。中压ATS的自动运行方式和手动操作均有机械以及电气联锁保护，机械联锁无须调整和人工操作，自动运行和退出，转化无须人工干预。但是从图

3中也可以看出，断路器和母线数量增加，导致该方案的初始投资会相比于传统方案更多，同时由于中压ATS近几年才逐渐开始大规模应用，投资上也会偏高。但其系统可靠度更高，后期维护操作简便是优势所在。

3.2 负载控制

前面分析的高压发电机的带载特性，对于中压ATS，其可以实现高压发电机组的并机投入与退出，对负载做顺序减载和顺序加载，保障发电机组和负载的正常运行。例如，当两路市电电源都停电或者故障时，此时ATS检测两路确认停电信号后，控制发电机组起动，断开母线联络开关，断开所有母线上出线开关后，发电机进线开关合闸，之后按照预设投切间隔时间逐渐合闸出线开关，带起全部负载。当任意一路市电恢复时（例如是A段母线），ATS确认该路市电恢复，按照预设减载时间间隔，断开两段母线上的所有出线开关，断开A、B段母线发电机进线开关，A段母线市电进线开关合闸，母线联络开关合闸，然后顺序合闸所有出线开关，完全恢复由市电电源供电。ATS向发电机控制系统发出取消发电机电源信号，发电机控制系统接收后经过一定时间完全停机。

现在数据中心建设规模越来越大，A、B级负荷分级也成为趋势，其顺序投切就更为重要，考虑到数据中心高压冷水机组的使用，融合了A、B级负荷及冷水机组的情况下，逻辑控制更加复杂，如果采用传统方案，势必会增加系统复杂度，意味着更多的故障点。因此，对于负荷种类较多的场景，推荐使用中压ATS带负载顺序投切功能，保障数据中心供电安全。

4 结束语

通过以上对比分析，在选择数据中心10 kV双电源切换方式时，需要综合考虑，从负荷的重要性和复杂性上进行区分，考虑投资成本、运维成本等方面，合理设计与建设，保障数据中心的供电可靠性和先进性。

参考文献

[1] GB 50174—2017 数据中心设计规范[S].

[2] 钟景华．数据中心供配电系统架构及备用电源的选择[J]．建筑电气，2018，37(1)：3-7.

[3] 张家富．对一级负荷供电要求的探讨及供电方案的分析[J]．建筑电气，2010，29(9)：32-36.

[4] 于智勇，徐义．数据中心10 kV供配电系统切换自动化工程实践[J]．智能建筑电气技术，2019(6)：79-82.

作者简介

宋晓伟

宋晓伟（1986－），男，硕士研究生，工程师，主要研究方向为通信电源系统设计。

(收稿日期：2019－03－21)EA