大型数据中心电源系统设计探讨

访悉地国际设计顾问有限公司电气总工李兴林

■ 史海疆/本刊记者

李兴林　教授级高工
悉地国际设计顾问有限公司电气总工

在大型数据中心中一般采用两级配电系统，由UPS双总线系统向列头柜供电。

随着数据设备虚拟化技术的发展，以及刀片式服务器的应用，数据中心正在由分散向集中、由小型向大型转化。由于功率密度的提高和对供电可靠性的要求越来越高，以及电源与UPS配电系统投资在整个数据中心投资中所占比重的增加，如何设计大型数据中心电源及UPS配电系统成为设计中的关键问题之一。为此，我刊特地采访了悉地国际设计顾问有限公司电气总工李兴林，请他就相关问题作出解答。

电气应用：李总您好！非常感谢您在百忙之中接受我刊的采访。大型数据中心的重要性毋庸置疑，一旦中断供电将造成重大的经济损失和社会影响，请您介绍一下大型数据中心在供电方面有哪些要求。

李兴林：大型数据中心一般采用35 kV或10 kV电压供电，由两路独立电源供电，两路电源分列运行，互为备用，每路电源100%容量。

大型数据中心宜配置两组独立的自备应急电源,每组自备应急电源的供电容量应能满足全部应急保障设备负荷的需求,包括不间断电源系统（UPS）、机房空调系统、机房照明和蓄电池充电设备等。

自备应急电源的选择与设置应符合以下规定:

1）当数据中心专用自备发电机组的总容量达到或超过8 000 kV·A时,宜采用10 kV发电机组。

2）10 kV发电机组宜采用小电阻接地系统,其接地电阻值应与同级公共电网的继电保护方式相匹配。

3）单台发电机组的容量及台数应根据负载的最大单台设备起动电流、投入顺序及总负载容量等因素确定。当负载较大时,可采用多机并列运行,并可分组分区供电。

柴油发电机设置

电气应用：请问李总对于大型数据中心配备的柴油发电机电源系统在设计时应考虑哪些问题?

李兴林：主要应考虑的问题包括：①柴油发电机电压选择；②柴油发电机容量选择；③柴油发电机台数选

中国知网 https://www.cnki.net

择；④柴油发电机励磁方式的选择；⑤柴油发电机的并车。

（1）柴油发电机电压的选择

由于制造的因素以及低压断路器断流能力的限制：低压0.4 kV柴油发电机单台最大容量为2 000 kW/2 500 kV·A；10 kV高压柴油发电机最大容量为2 400 kW/3 000 kV·A。

受低压断路器断流能力的限制，0.4 kV柴油发电机只有总容量不超2 500 kV·A才允许并车。低压柴油发电机供电距离受到限制，不便于柴油发电机集中设 置。高压柴油发电机供电距离远，可以并车，便于集中设置。满足供电距离和集中设置的要求时，优先选择低压柴油发电机，否则选择高压柴油发电机。

如采用中压柴油发电机，在一台配电变压器检修时，因检修时间不会很短，故障的发生又是随机的，就有可能发生单点故障，造成灾难性后果。如采用中压发电机，宜增加设置备用配电变压器。

（2）柴油发电机容量的选择

柴油发电机的供电范围包括：IT负荷、空调系统负荷、应急照明负荷和消防负荷等。柴油发电机的容量应与UPS的容量相配合，其计算公式为

$$P=k_1P_1+k_2P_2+P_3+P_4$$

式中，P为柴油发电机容量；P_1为IT设备负荷；P_2为空调系统负荷，P_3为照明系统负荷；P_4为消防用电设备负荷；k_1为UPS需要的发电机容量系数，采用永磁励磁方式时，取1.2，UPS采用PFC电路时，取1.3，采用带输入滤波器的传统双变换式UPS时取3；k_2为空调系统负荷需要的发电机容量系数，取1.5。

（3）柴油发电机台数的选择

互为备用的UPS装置的主电源，不能由同一台柴油发电机供电。1台低压柴油发电机对应同一台变压器供电的1台或几台UPS装置。高压柴油发电机不能采用单母线接线，高压柴油发电机要构成与市电2路供电相对应的系统。对应同一高压柴油发电机母线，可以共用1台备用柴油发电机。多台低压柴油发电机可以共用一台备用柴油发电机。对应2路电源的柴油发电机分别设置在2个防火分区的机房内。

（4）柴油发电机励磁方式的选择

柴油发电机主要的励磁方式包括：永磁发电机励磁；3次谐波励磁；无刷励磁。柴油发电机的励磁方式最好选择永磁励磁方式或3次谐波励磁方式。

（5）柴油发电机的并车

设置多台高压发电机时，需设置同期系统。低压柴油发电机单台1 000 kW以下、总容量不超过2 000 kW时，可以并车。

UPS选型

电气应用：在数据中心电源系统中，UPS占据着十分重要的地位，请问李总在规划设计阶段对于UPS应如何选型？

李兴林：UPS性能分类代码由3部分组成。前面的3个字符规定在正常工作方式下的电源质量，表示UPS输出电压和频率与交流输入电源（市电）电压和频率的关系。中间的两个字符规定在正常工作方式（包括暂时的静态旁路工作）和储能方式下的输出电压波形，表示是正弦波或非正弦波。最后3个字符规定在不同条件下UPS 瞬态输出电压性能，表示是否符合标准规定的瞬态电压性能。

（1）电源质量分类

UPS的性能分类代码中，最前面的3个字符表示UPS在正常工作方式下的电源质量，分为3类：

1）VFI。UPS的输出与市电电压、频率无关。

2）VFD。UPS输出取决于市电电压和频率变化。

3）VI。UPS的输出频率取决于市电电源频率的变化，输出电压与市电电压无关。

（2）输出电压波形的分类

第1个字符表示在正常和旁路方式下的输出电压波形，可以为S、X和Y；第2个字符表示在储能方式下的输出电压波形，可以为S、X和Y。

S表示在所有线性和基准非线性负载条件下，出波形均为正弦波，其总谐波失真因数D小于0.08。

X表示在线性负载条件下，输出波形均为正弦波（与S相同），在非线性负载条件下（如果超过规定的极限），其总谐波失真因数D大于0.08。

Y表示输出波形是非正弦波。

（3）瞬态输出电压性能分类

UPS的性能分类代码中，最后的3个字符表示在不同条件下UPS的瞬态输出电压性能，第1个字符表示在改变工作方式时的输出电压瞬态性能；第2个字符表示在正常／储能方式下，带线性阶跃负载时的电压瞬态性能；第3个字符表示在正常／储能方式下，带非线性阶跃性负载的输出电压瞬态性能。

这3个字符可以为1、2和3。1表示瞬态电压≤1类输出动态性能数据（无中断或无零电压输出）；2表示瞬态电压≤2类输出动态性能数据（输出电压为0，持续1 ms）；3表示瞬态电压≤3类输出动态性能数据（输出电压为0，持续10 ms）。

UPS系统按结构型式分为：后备式UPS系统、在线互动式UPS系统、双变换式UPS系统和Delta变换式UPS

中国知网 https://www.cnki.net

系统。

后备式UPS系统的工作方式：

1）正常时市电对负载供电，对蓄电池浮充电。

2）市电中断时静态转换开关（STS）动作，蓄电池经逆变器对负载供电。

在线互动式UPS系统的工作方式：

1）正常时市电对负载供电，整流器作为充电器对蓄电池浮充电。

2）市电中断时STS动作，蓄电池经逆变器对负载供电。

双变换式UPS系统的工作方式：

1）正常方式。交流输入经两次变换，蓄电池浮充电，负载由逆变器供电。

2）蓄电池放电方式。市电中断时，蓄电池经逆变器对负载供电。

3）旁路方式。UPS故障、负载电流瞬变、UPS 过载及蓄电池放电终止时，负载切换到旁路电源。

Delta变换式UPS系统的工作方式：

在正常情况下（市电电压的变化在额定电压的±15%以内），负载由市电经Delta变压器的一次侧绕组供电，逆变器将PBP平衡点的电压控制到额定电压。根据市电电压变化范围，有下面三种不同的情况：

1）当市电电压等于PBP处的电压时，Delta变压器的一次侧和二次侧绕组电压均等于零，无任何功率变换。

2）当市电电压低于PBP的电压时（例如－15%），Delta变换式UPS从系统输出端吸取一定的功率经主逆变器、Delta变换器进行整流、逆变两次变换。在这种情况下Delta变压器的一次侧、二次侧都有电压和电流，因此有功率变换，功率是从二次侧至一次侧的变换。

3）当市电电压高于PBP的电压时（例如+15%），为了保持功率平衡，Delta变换器应减小输入电流。但是负载经PBP从市电得到的功率不能满足负载需要Delta变换式UPS从Delta变压器吸取一定的功率经Delta变换器、主逆变器进行整流、逆变两次变换， 最后经PBP供给负载。在这种情况下Delta变压器的一次侧、二次侧都有电压和电流，因此有功率变换，功率是从一次侧至二次侧的变换。

市电电压在±15%范围内变化时，都可以给蓄电池充电。控制方法如下：

1）市电电压等于或低于PBP点的电压时，控制Delta变压器二次侧电流，使从市电吸取的、送到PBP的电流比负载需要的大，多余的电流通过主逆变器内部的回扫二极管到达DC母线，给蓄电池充电。

2）市电电压高于PBP点的电压时，市电输入电流仍控制为保持市电电压为额定值时的电流，此时的市电输入功率大于负载需要的功率。负载仅从市电吸取所需要的功率，其剩余功率流过Delta变压器。变压器一次侧耦合到二次侧，再经Delta变换器内部的回扫二极管整流到达DC母线，给蓄电池充电。

市电停电时或电压变化超出±15 %，负载由蓄电池经主逆变器供电，此时主静态开关断开。

动态UPS技术性能对比如下表所示。

表　动态UPS技术性能对比

电源质量问题	双变换式	旋转式	在线互动式
电压骤降	输出电压稳态：限制在±0.5%内；动态：限制在±5%范围内	输出电压稳态：限制在±1%范围内；动态：限制在±5%范围内	输出电压骤降直接冲击负载
电压骤升	输出电压稳态：限制在±0.5%内；动态：限制在±5%范围内	输出电压稳态：限制在±1%范围内；动态：限制在±5%范围内	在一个动力循环时，电压浪涌＞14%
频率变动	输出的频率变动限制在±0.5%范围内	无法控制来自电网的频率变动	无法控制来自电网的频率变动
波形畸变	线电压畸变不影响输出波形	线电压畸变在输出端用同步电动机修正	线电压畸变无法修正
电压不平衡	市电电压不平衡不影响负载	部分市电电压不平衡用同步电动机修正，部分直接影响负载	市电电压不平衡直接影响负载

电气应用：请李总为我们介绍一下大型数据中心中UPS系统冗余方式和配电方式的选择。

李兴林：大型数据中心多选择双总线冗余方式，而每个总线UPS系统内采用（*N*+1）冗余方式，即采用2（*N*+1）配置。考虑到发生故障时需要维修，应设置自动旁路和手动维修旁路。

一般UPS系统采用三级配电。

1）一级配电。由UPS装置对各列头柜供电。如对应UPS设置隔离变压器时，配电盘设在隔离变压器后。

2）二级配电。列头柜配电。由列头柜对各机柜供电。当每列机柜台数较多时，每列机柜在两端设置两个列头柜，分别对应2台UPS。

3）三级配电。机柜电源分配单元（PDU）配电。每台机柜设有2列或3列PDU，对机柜上的服务器、交换机等负载供电。

对A级IT设备，各级配电应采用放射式。容量较大设备由列头柜供电；容量较小设备一般由PDU供电。

在大型数据中心中一般采用两级配电系统，由UPS双总线系统向列头柜供电；再由两个列头柜对机柜进行双电源配电，即每个机柜有引自两个列头柜的电源。在机柜内部根据负载需要选择适合的配电方式。EA

中国知网 https://www.cnki.net