大型数据中心供配电系统技术探讨

访艾默生网络能源公司高级技术顾问李成章

■ 史海疆/本刊记者

李成章　教授级高工
艾默生网络能源公司高级技术顾问

确定数据中心机房的建设等级和用电容量后，可进行配电系统的设计。机房容量较大时，根据需要可选用10 kV、20 kV和35 kV系统。

随着数据设备虚拟化技术的发展、互联网的普及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。由于机房功率密度的提高和对供电可靠性的要求越来越高，电源与UPS配电系统投资在整个数据中心投资中所占比重增加，如何设计大型数据中心的电源及供配电系统成为机房设计中关键问题之一。为此，本刊特地采访了艾默生网络能源公司高级技术顾问李成章，请他对相关问题予以解答。

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！由于业务量的增长，数据中心近几年的发展十分迅速，首先请您介绍一下在做数据中心供配电系统设计时依据的标准和规范有哪些？*

李成章：数据中心有专门的设计标准，全球第一个综合性的数据中心电信基础标准TIA—942《数据中心电信基础设施标准》，是2005年4月由美国电信产业协会（TIA）、TIA技术工程委员会和美国国家标准学会（ANSI）批准的。国内的相关规范和标准是综合国外标准以及国内数据中心建设发展情况做出的，数据中心设计规范GB 50174—2008《电子信息系统机房设计规范》于2008年11月12日发布，2009年6月1日开始实施。TIA—942标准对数据中心分级标准及相关要求为：Ⅰ级—基本型；Ⅱ级—冗余型；Ⅲ级—可在线维护型；Ⅳ级—容错型。

GB 50174—2008中关于数据中心的分级规定如下：电子信息系统机房划分为A、B和C三级。设计时应根据机房的使用性质、管理要求及其在经济和社会中的重要性质确定所属级别。A级机房信息系统中断，将造成重大的经济损失，造成公共场所秩序严重混乱；B级机房信息系统中断，将造成较大的经济损失，造成公共场所秩序混乱；不属于A级或B级的电子信息系统机房应为C级。

中国知网 https://www.cnki.net

合理计算负荷

电气应用：请问李总对于大型数据中心的负荷计算需要注意哪些问题？

李成章：大型数据中心主要用电负荷有IT设备负荷、不间断电源系统（UPS）、空调系统负荷、消防负荷和照明负荷等。

（1）UPS电源系统负荷（输出）统计

1）具体负荷设备明确时，按设备数据功率统计。

2）具体负荷设备不明确时，按设备机柜平均负荷统计。

3）设备机柜数量也不明确时，可按机房面积平均负荷估计。

4）需了解负荷设备的功率因数，分别统计有功功率和视在功率。

5）需注意三相负荷平衡的情况，有大容量单相负荷设备时应按相分别统计。

（2）变配电系统负荷统计

变配电系统负荷主要包括：UPS电源系统、机房空调系统、机房照明及建筑电气设备。

UPS电源系统负荷（输入）＝供电负荷＋充电负荷

在UPS电源系统负荷（输出）及蓄电池组容量明确时，供电负荷=UPS电源系统负荷/UPS电源主机效率；在UPS电源系统负荷（输出）及蓄电池组容量不明确时，供电负荷=（N台主用UPS电源主机额定输出容量×负荷率）/UPS电源主机效率，充电负荷＝（N+X）台UPS电源主机额定输出容量×（0.15～0.25）。

机房空调系统负荷＝N台主用空调机组额定负荷容量×负荷率

空调设备负荷率根据数据中心所在地区的气候条件、环境条件、综合数据中心建筑形式和空调方式等因素，参考以往的运行经验确定。

机房照明及其他负荷按建筑电气常规方法统计（环境热负荷的估算系数一般取0.1～0.2 kW/m²）。

日常运行负荷、充电负荷和消防负荷应分别统计。

供电电源确保可靠

电气应用：李总请您介绍一下大型数据中心在供电电源方面有哪些要求？

李成章：不同规模的数据中心是由不同的高低压配电系统组成，从高压配电系统的角度出发可以大体上分为超大型数据中心（总负荷在10 000 kV·A以上）、大型数据中心（总负荷在1 000～10 000 kV·A）、中型数据中心（总负荷小于1 000 kV·A）和小型数据中心。对于中小容量的数据中心，直接引入低压系统为数据中心供电；对于中大型数据中心，大多需要引入10 kV供电。

极高可靠性要求的数据中心应从两个独立的电网变电所的专用输出回路上分别引入一路市电，通过专线敷设并引至数据中心，每一路市电的容量均可承担全部用电负荷，包括UPS电源系统、机房空调系统、机房照明系统、蓄电池充电及建筑设备。两路专用的独立用电设备互为冗余，正常时并行工作。

高可靠性要求的数据中心宜从两个独立的电网逆变所引入两路市电，也可从一个电网变电所的两段独立供电母线上引入一路市电，并以专线方式敷设至数据中心，同时每一路市电的供电容量均可承担全部负载，互为备份，正常时并行工作。

一般可靠性数据中心宜引入两路市电电源，条件受限时也可只引入一路市电电源。

数据中心一般采用柴油发电机组作为自备应急电源。对于大型、高等级数据中心也可以选择可靠性高、输出电源品质好、带非线性负载能力强、体积小和重量轻的大功率燃气轮机发电机组。数据中心自备应急电源配置应满足不同用途或等级数据中心对供电可靠性的要求。

极高可靠性要求的数据中心配置两路独立的自备应急电源，每一路自备应急电源的供电容量应满足全部负荷的用电需求，包括UPS电源系统、机房空调器、机房照明、蓄电池充电及建筑设备等。当然，如果市电电源具有高可靠性时，也可配置一路冗余的自备应急电源。

高可靠性要求的数据中心应配置一路自备应急电源，供电容量应能满足全部用电负荷的需求，包括UPS电源系统、机房空调、机房照明、蓄电池充电及建筑设备中的一、二级负荷。

一般可靠性要求的数据中心宜配置一路自备应急电源，供电容量应能满足全部用电负荷的需求，当数据中心条件受限制，且市电电源具有较高可靠性时，也可以部分或全部采用移动式发电机组作为自备应急电源。

按照我国规范，对于A级机房柴油发电机燃料存储量应能满足72 h的运行时间；而按照美国规范对于IV级机房，柴油发电机燃料存储量应能满足96 h的运行时间，也就是规定柴油发电机可能运行72 h或96 h。运行时间越长，柴油发电机存在故障的几率越高，所以柴油发电机也需要备份。柴油发电机需要与配电变压器对应分组设置，每组柴油发电机两台或三台，采用“1+1”或“2+1”方式设置，互为备用或轮流备用。柴油发电机电

中国知网 https://www.cnki.net

源与两台变压器低压母线引出的回路通过ATS开关转换，然后对UPS、空调设备、照明系统和消防系统供电。

柴油发电机宜选择低压发电机，因为柴油发电机与配电变压器共同组成“*N*+2”电源系统。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。

合理选择设计方案

电气应用：请问李总在进行数据中心机房供配电系统设计时，需要考虑哪些方面？

李成章：数据中心的供电系统主要是结合UPS供电等级进行设计，按照美国ANSI/TIA—942《数据中心电信基础设施标准》数据中心按照其可用性的不同，被分为四个等级，分为Tier1～Tier4，具体如下表所示。

表 数据中心等级介绍

等级	系统类型	系统描述	供电电源	系统总线
Tier1	1	单台UPS系统，无冗余	单路市电	单总线
Tier2	1+1	2台UPS并联运行	单路市电	单总线
Tier3	*N*+1	*N*台UPS加一个冗余模块；在高可靠性系统中≤3，常规选择分散旁路，亦可选择集中旁路	双路市电	单总线
Tier4	双母线2*N*或2(*N*+1)	2个UPS系统独立输出供电，UPS输出	双路市电（来自上级两个不同的降压站）	双总线

确定数据中心机房的建设等级和用电容量后，可进行配电系统的设计。机房容量较大时，根据需要可选用10 kV、20 kV和35 kV系统。常规使用的为10 kV供电系统，配合0.4 kV 的发电机组，低压发电机组单机或者并机容量不宜超过2 400 kW。常规中小型数据中心的发电机容量小于2 400 kW。在发电机台数小于10台时，根据现场条件可以选用0.4 kV的发电机组。

数据中心机房供配电系统根据设备所在的位置可分为4个部分：由数据机房至变电所；柴油发电机房至UPS机房的配电；由UPS机房内部至数据机房的配电；由数据机房内部至计算机、网络设备和电子设备的配电。

UPS机房的输入配电柜由数据机房变电所两台不同的变压器低压配电柜引来，与低压柴油发电机输出配电柜经由ATS切换后供电。UPS输入配电柜之间通过母联开关相互连接，提供系统供电可靠性。市电与备用发电机组电源转换电路必须采用4极自动转换开关（ATS），而有些4极ATS在转换过程中存在中性线中断现象，严重影响了UPS的正常运行，由此引发的UPS故障和负载停电事件越来越受到关注，因此建议采用中性线触头重叠切换的4极ATS。

UPS机房配电形式根据UPS供电方案具有不同的表现形式，双母线供电解决方案中单边系统可为单机或者并机；并机系统中又分为集中并机和分散并机。A级数据中心机房UPS系统按照容错系统配置。容错，就是具有两套及两套以上系统在工作，至少可承受住一次突发设备的故障和人为操作失误。“2*N*”和“2（*N*+1）”都是典型的容错系统配置。

并机冗余是两台及以上同型号、同功率的UPS并联，负载功率只有*N*台UPS 的功率，任何一台UPS故障后自动退出，剩余的*N*台UPS继续保护负载。在不采用双母线系统时，常通过多台UPS并联的合理配置为负载供电。无论在并机系统还是在双母线系统中，均存在两种并机方式——分散并机和集中并机方式。

机房电源的中性线与PE线之间的电压在高于信息设备要求时，在电源分配单元（PDU）进线处，即在双电源列头柜输出处设置隔离变压器，以防止中性线和PE线之间产生的电位差高于信息设备正常运行允许值，引起硬件设备故障、设备烧毁和通信异常等。隔离变压器的设置有很多方案，设置△/Y隔离变压器为典型的方案。通过增加隔离变压器产生新的中线，降低了零地电压。

A级数据机房系统为“2*N*”系统，故PDU成对配置。一方面满足服务器的双电源供电；另一方面可实现负载供电的备份，提高系统的可靠性。新一代数据中心对供电系统的可靠性、可管理性的要求越来越高。IT用户需要对信息设备的供电系统进行更可靠、更灵活和更精细化的管理。双电源列头柜可通过配置智能仪表监测主路和支路的状态、电气参数和耗电量等，并借助智能通信接口（RS 485、SNMP接口）接入IT管理部门的监控网络，从而实现对PDU电力分配的远程管理。**EA**

中国知网 https://www.cnki.net