[UPS]

电力调度控制中心高可靠性UPS电源系统设计探讨

文/杨　鹏
中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司

UPS是电力调度控制中心的重要基础支撑系统，担负着向服务器及网络通信等重要设备提供高质量不间断电源的重要任务。从UPS的基本功能及分类入手，结合工程实践经验，梳理了UPS供电负荷、容量计算和建设模式等工程设计中需要重点关注的问题，对电力调控中心UPS系统工程设计人员具有借鉴作用。

调度自动化系统是电力系统运行与控制的重要基础设施，实现了电力系统的数据处理、运行监视和分析控制。随着我国新型电力系统建设的不断推进，为适应未来电力系统发展和安全稳定优质运行，提升大电网一体化调度控制能力，促进清洁能源全网消纳，目前已经有多个网省电力调度控制中心开展了面向新型电力系统的新一代调度自动化系统建设。在新一代调度自动化系统中，服务器、刀片机、数据存储阵列、二次系统安全防护设备、路由器及交换机等电子设备得到大量应用。这些设备7×24 h不间断、高效、可靠运行是调度自动化系统稳定运行的重要保障。因此电力调度控制中心必须具备一个高可靠性的UPS，为负载提供优质可靠的电源。然而在实际应用中，许多电源供给问题是UPS本身引起的，一旦出现故障将导致调度自动化系统的业务中断。因此如何建立一个合理、安全的UPS成为大家关注的热点。本文结合工程设计实践经验，探讨电力调度控制中心UPS设计中需要重点关注的问题。

UPS的功能及分类

1. UPS的功能

UPS是“不间断电源系统”（Uninterruptible Power System）的简称，通常指交流不间断电源系统，是由变流器、开关和储能装置（如蓄电池）组合构成的，在交流输入电源故障时用以维持负载电力持续性的电源设备。UPS可有效解决电力中断、过电压、欠电压、三相不平衡、频率波动和谐波等问题，使计算机网络系统或其他电子设备运行更加安全可靠，功能包括：

1）隔离作用。将瞬间间断、谐波、电压波动、频率波动以及电压噪声等电网干扰阻挡在负载之前，降低电网对负载的干扰。

2）电压变换及稳压作用。输出电压等于或不等于输入电压（如380 V/380 V、380 V/220 V），并提供高精度、高稳定性的电压波形。

3）频率变换及稳频作用。输入频率等于或不等于输出频率（如50 Hz/50 Hz、50 Hz/60 Hz），并提供高精度、高稳定性的频率。

4）提供一定的后备时间。UPS配套蓄电池贮存一定的能量，在电网停电或间断时继续供电一段时间来保护负载，后备时间为10 min、30 min、60 min或更长。电力调控中心后备时间一般按照不小于2 h设计。

2. UPS的分类

UPS按其基本拓扑结构可分为后备式、在线互

动式和在线双变换式三种类型。

（1）后备式

后备式UPS又称离线式（Off-Line）UPS。如图1所示，正常运行方式下，负载由市电输入经UPS切换开关供电。当交流输入供电超出UPS的预定允许差或中断时，起动逆变器，使UPS单元转入储能供电运行方式。后备式UPS电路简单、价格低，但对输入电源的频率不稳、波形畸变以及从电网侵入的干扰等不良影响改善甚微。目前这种机型的应用范围随着新技术的不断成熟而逐渐缩小。

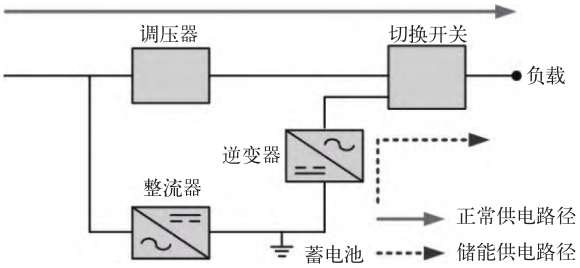

图1　后备式UPS电路结构

（2）在线互动式

在线互动式（Line Interactive）UPS的“在线”是指整流/逆变器处于热备份状态，同时具有对电池充电的功能，提高了后备式UPS的功率容量，减小了市电中断时的转换时间，对输出电压起到滤波作用。如图2所示，市电在稳压电路和整流/逆变器的作用下借助蓄电池的能量转换共同调节输出电压，达到较好的稳压效果。当市电中断时，蓄电池通过整流/逆变器供电，实现输出电压的不间断。在线互动式UPS的特点是输入功率因数和输入电流谐波成分取决于负载电流，输出能力强，对负载电流峰值系数、浪涌电流系数、输出功率因数及过载等没有严格控制，对输出电压尖峰干扰有滤波作用。

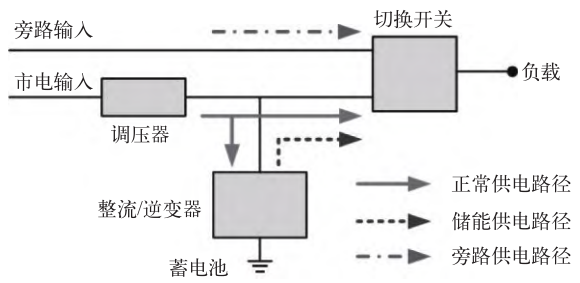

图2　在线互动式UPS电路结构

（3）在线双变换式

在线式UPS电源一般采用双变换模式，其整流器多为晶闸管整流器，但也有新一代IGBT-PWM-DSP高频变换整流器。如图3所示，当市电正常时，整流器将交流电压转换为直流电压，向逆变器提供能量的同时对蓄电池进行充电。逆变器将直流电压逆变成交流正弦波电压供给负载，起到无级稳压的作用；当市电中断时，转入储能供电方式，此时蓄电池直流电压经逆变器逆变成交流正弦波电压供给负载。因此无论是市电供电正常时，还是市电中断由蓄电池供电期间，逆变器始终都处于工作状态，这就从根本上消除了来自电网的电压波动和干扰对负载的影响，实现了对负载的无干扰、稳压、稳频以及零转换时间供电。

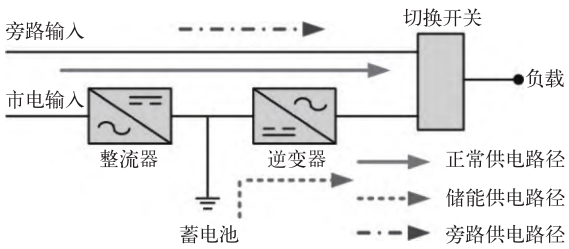

图3　双变换在线式UPS电路结构

在线双变换式UPS具有输出性能指标好、整机抗干扰能力强及无切换时间等优点。因此，电力调控中心中推荐采用在线双变换式UPS。

UPS冗余方案

提升UPS可用性的措施：

1）采用技术先进、高可靠性的UPS主机。

2）采用各种冗余技术，提高UPS的整体可靠性。

3）采取有效手段，提升UPS的运行管理水平。

4）采用易于维护的UPS设备。

其中，采用冗余技术最为关键。事实上，无论采用何种先进技术，UPS设备生产商都无法生产出故障率为零的设备。此外，运行维护人员难免会发生误操作，因此必须采取冗余技术进行容错。

根据冗余方案的不同，UPS可分为单机冗余UPS、关键设备冗余UPS和系统级冗余UPS，性能比较详见表1。

表1　UPS冗余方案比较

冗余类型	单机冗余UPS	关键设备冗余UPS	系统级冗余UPS
实例	1台UPS	$N+1$并机系统	$2N$、M（$N+1$）（$M=2, 3\cdots$）并机系统
冗余程度	UPS内部冗余；故障时切换至旁路供电	UPS设备级冗余；1台UPS故障，由其他UPS继续供电	系统级冗余；一个系统故障，另外一个系统可继续供电
故障隔离	无	可有效隔离	可有效隔离
系统安全	差	较好	优
输出母线	单母线	单母线	双母线或三母线
费用	最低	随着N的增大，费用接近单机	最高
可靠性	最低	高于单机系统；在主机平均无故障时间一定的条件下，随着N的增大，系统可靠性下降	相较单机和关键设备冗余系统，可靠性有大幅提升
其他	系统结构简单	系统结构简单	系统结构较为复杂，对运行维护人员要求高

根据《数据中心设计规范》要求，A级机房要求采用$2N$或M（$N+1$）系统级冗余，B级机房宜采用$N+1$关键设备冗余。目前，除少数县级、地区级调控中心外，一般电力调控中心机房均按照A级标准建设。此外，考虑到电力调控中心主要设备均采用双电源供电，因此建议采用具有双母线输出的$2N$或2（$N+1$）的系统级冗余结构。

调度控制中心UPS供电方案设计要点

1. UPS供电范围及负荷分类

电力调度控制中心内调度大厅、通信机房、自动化机房、DTS室及运维值班室等对供电可靠性有较高要求的负荷应由交流不停电电源系统供电。如条件允许，大楼弱电系统也可由交流不停电系统供电。

电力调度控制中心的UPS负荷按照性质不同，可分为工艺负荷、动力负荷和备用照明负荷。

1）工艺负荷包括：服务器、调度数据网路由器、交换机及二次系统安全防护设备等调度自动化专业相关设备负荷；通信网管服务器和软交换设备等通信专业相关设备负荷。

2）动力负荷主要是指工艺机房内采用UPS供电的精密空调负荷。

3）电力调控中心内工艺机房及辅助区备用照明负荷按照一般照明照度值的10%进行统计，有人值守工艺用房按照一般照明照度值的50%进行统计。

2. UPS容量确定

UPS容量的确定包括两方面：其一是UPS供电系统容量的确定，是指整个UPS（可能包含多台UPS主机）可提供的最大容量；其二是单台UPS主机容量的确定，需要根据系统结构、冗余方案等技术条件确定。

目前尚无规程规范明确提出电力调度控制中心UPS容量的计算方法。工程设计中，UPS供电系统容量计算的总原则是满足调控中心内所有UPS负荷的供电需求并留有适当裕度，在保证供电可靠性的同时，节省投资，提高经济效益。此外还需要考虑如下因素。

（1）负载性质对UPS输出功率的影响

UPS产品技术参数中标明了功率因数值（一般工频机为0.8．高频机为0.9），表示在约定的负载功率因数时UPS可以输出的额定功率，即UPS的额定输出功率是在约定的负载功率因数下确定的。UPS实际可带的负载量与负载功率因数密切相关，当负载为纯电阻性或容性时，UPS主机输出功率会有所下降。当UPS所带负载的功率因数不同于其技术参数所标注的功率因数时需进行功率折算。图4为某品牌300 kV·A UPS 输出电流与负载功率因数的关系曲线。需要注意的是，不同品牌、不同型号UPS的功率折算曲线是有差异的，工程设计中需要根据具体备选UPS设备进行折算。

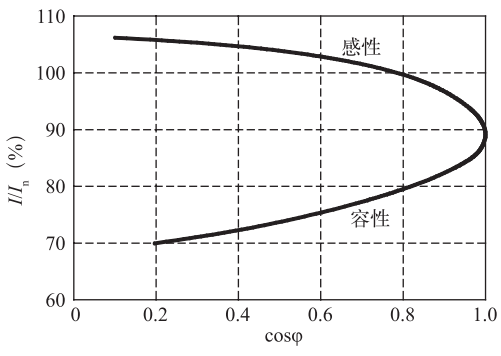

图4　某品牌UPS输出电流与负载功率因数关系曲线

（2）避免UPS重载运行

如果UPS设计容量偏小，将造成逆变器处于重载运行，其输出波形发生畸变，输出电压幅值抖动过大。这样既不能为负载提供优质电源，还极易

造成UPS逆变器的损坏。大量运行经验表明，UPS负载量不宜长期超过其额定容量的70%～85%。电力调控中心UPS采用冗余设计时，建议当冗余主机故障后，剩余主机实际负载按照不超过额定容量的70%进行设计。

（3）避免UPS轻载运行

UPS设计容量过大，造成过度轻载运行。一方面是经济性较差，另一方面蓄电池供电时放电电流过小，造成电池组深度放电。

（4）UPS应考虑可扩展性

电力调控中心的UPS负荷是随着业务系统的建设和发展而不断增加的。因此UPS建设初期，在冗余方案设计、配电系统设计以及主机选型中均应考虑远景并机扩容的可能性。

工程设计中，电力调控中心UPS容量为

$$S=\left[\sum_{1}^{l}K_1S_{gi}\cos\varphi_i+\sum_{1}^{m}K_2S_{dj}\cos\varphi_j+\sum_{1}^{n}K_3S_{zk}\cos\varphi_k\right]/K_4$$

式中，S为UPS系统视在功率；S_{gi}、S_{dj}、S_{zk}为工艺负荷、动力负荷和备用照明负荷视在功率；$\cos\varphi_i$、$\cos\varphi_j$、$\cos\varphi_k$为工艺负荷、动力负荷和备用照明负荷功率因数；K_1、K_2、K_3为工艺负荷、动力负荷和备用照明负荷裕度系数。一般可取1.2、1.3和1.1；K_4为UPS功率折算系数，根据总负荷功率因数和UPS设备生产商提供的折算曲线或折算表确定。

3. UPS建设模式选择

通常电力调度控制中心大楼内，调控大厅、自动化机房、通信机房及DTS室等工艺用房分布在不同的楼层。此外，调度大楼内还有信息中心、交易中心及应急指挥中心等部门需要建设UPS。因此在UPS设计时，可选择集中式或分散式。

集中式是指在调度大楼内集中建设UPS机房和配套蓄电池室，配置大功率UPS主机，所有UPS用户采用星形集中供电。集中式的优点是便于统一管理，便于调度大楼建筑结构设计。缺点是成本较高，且需要敷设大量电缆，布线要求高。

分散式是指在调度大楼内设置多个UPS机房和配套蓄电池室，实现UPS负荷的近距离供电。实际工程中往往是按专业、分楼层进行设置。例如自动化专业、通信专业分别配置本专业的UPS。分散式的优点是成本较低、风险分散，敷设电缆短，布线要求低。缺点是不利于专业化管理，对调度大楼建筑结构设计要求高。

4. 对UPS前级供电系统的要求

为提高UPS的可靠性，在进行电力调度控制中心设计时应对UPS前级供电系统提出特殊要求。

（1）10 kV/35 kV高压电源

根据电力调控中心的负荷分级，调控中心含有一级负荷，按照《供配电系统设计规范》的规定，一级负荷应由两个电源点供电。为提高供电的可靠性，对网省级调控中心要求两个电源点源自不同的220 kV或110 kV变电站，即两个电源点的上级变电站应为不同220 kV或110 kV变电站。地区级调控中心两个电源点的上级变电站为不同变电站或同一变电站的不同母线段。

（2）220 V/380 V低压电源

为UPS供电的双路低压市电由调度大楼主变压器低压侧供电。为便于运行维护及管理，宜采用专用变压器供电。此外，根据《供配电系统设计规范》的规定，为确保一级负荷中特别重要负荷（调控中心UPS供电负荷属于此类负荷）供电的连续性，除两路市电外，应提供独立于正常电源以外的应急电源，即第三路电源。

第三路电源可以选择柴油发电机，并应结合重要负荷的容量进行配置。当调度大楼不具备配置柴油发电机的条件时（如受建筑条件约束无法设置油库），也可将移动式发电车作为第三路电源，并应设置发电车接口。工程设计中第三路电源通常采用自动转换开关或手动切换开关实现与双路正常市电的切换。

工程案例

1. UPS供电范围及负荷分类

图5为某电力调度控制中心UPS配置案例。该UPS由4台300 kV·A UPS组成2（N+1）双机双母线的集中式供电系统。其中1#、2# UPS“1+1”冗余并联组成A系统，3#、4# UPS“1+1”冗余并联组成B系统，A、B系统通过各自的输出总配电屏向调控大厅、自动化机房及通信机房等工艺用房内的UPS负载提供高可靠性的双路电源。

该调控中心大楼共有3路10 kV电源输入，UPS

供电系统的两路市电输入分别来自两段专用380 V低压母线。正常运行时，两段专用低压母线接在两台专用变压器的低压侧。当市电全部中断后，两段母线均切至应急发电车电源。

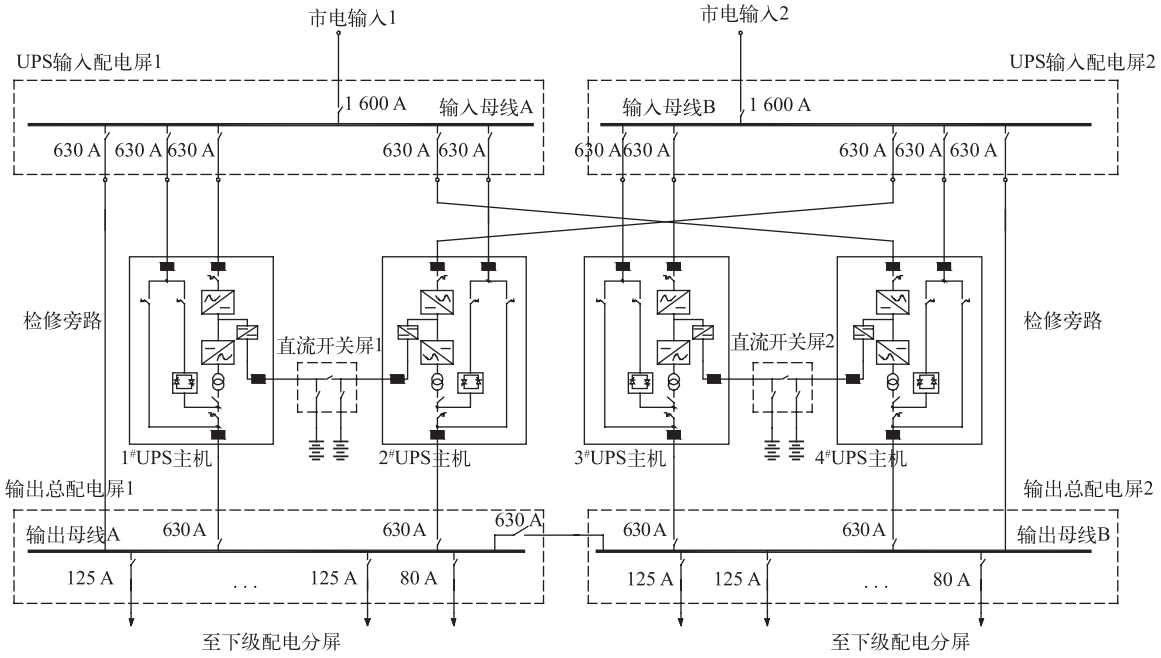

图5　某电力调度控制中心UPS接线图

结束语

UPS供电系统设计是电力调控中心工艺设计中的重点和难点之一。首先，不同于电力系统负荷预测，调控中心UPS负荷为非线性增长，与调控中心业务系统的发展密切相关。要准确进行UPS负荷统计，必须掌握该调控中心未来数年业务应用系统的发展规划。其次，UPS技术在不断发展，要求设计人员能够在积极跟踪新技术发展的同时，把握好技术先进性与实用性、经济性的关系。

除本文所述内容之外，UPS供电方案设计中还有如下内容高频机与工频机的选择；隔离变压器的配置；谐波电流的抑制；模块化UPS与传统型UPS的比较；以及蓄电池容量配置等问题值得探讨与研究。

总之，UPS设计方案的优劣直接关系到电力调控中心各业务系统能否可靠运行，工程设计人员必须结合各调控中心实际情况，以安全性为首要原则，提供安全、可靠和经济的系统设计方案。EA

（收稿日期：2023-08-02）

参考文献

[1] 万立勇．银行数据中心机房供配电方案探析[J]．电气应用，2022，41(6)：95-100．

[2] 娄洁良．通信机房UPS供电系统设计方案探讨[J]．电信科学，2000，16 (2)：40-42．

[3] 史玉立，罗皎虹．一种基于DSP控制的变电站所用电应急电源快速接入装置研究[J]．电气应用，2021，40(6)：82-87．