

# 数据中心UPS电源系统蓄电池组的选型研究

分析了蓄电池组在数据中心不间断电源系统（UPS）的重要性，通过防酸排气式和阀控式铅酸蓄电池的性能对比，介绍了蓄电池组的选型原则，阐明了数据中心UPS电源系统选用阀控式铅酸蓄电池的原因，举例说明理论公式估算法和恒功率放电法如何计算蓄电池组容量及其选择配置，探讨了环境温度和安全系数对蓄电池容量计算结果的影响，提出了数据中心UPS电源系统蓄电池组容量计算和选择的优化方法。

曹连兵 宋晓伟 王启凡/中国移动通信集团设计院有限公司电源所  
王 睿/哈尔滨移动分公司无线中心

## 0 引言

随着移动通信、互联网技术发展的需求及我国信息化战略的不断推进，数据中心（IDC）作为通信、互联网产业中不可或缺的重要一环迅速发展起来。数据中心机房主要以服务器、交换机和路由器等IT设备为主。这些设备一般使用220 V交流或直流电源供电，为保障数据中心设备供电的可靠性，通常机房会配备不间断电源系统（UPS）为设备提供不间断的电源。对于数据中心的供电一般采用市电双电源的供电系统，并配以高质量的UPS电池组供电，在市电出现故障时由UPS供电来确保计算机系统的正常运行，防止因断电造成重要损失。由此可见，UPS是供电系统的核心设备，对数据中心供电系统安全可靠起到至关重要的作用。市电正常和出问题时UPS能源走线图如图1所示。

蓄电池组作为UPS系统中的一个重要组成部分，其性能直接影响到整个系统的可靠性、保障性和安全性。正常时蓄电池组处在浮充备用的状态，事故时

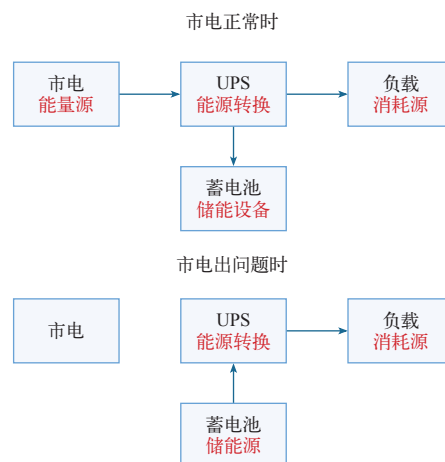


图1 市电正常和出问题时UPS能源走线图

为各种重要的负荷提供应急电力。同时，出于其在整个系统中材料成本占有率高、故障发生率较高的考虑，扩展蓄电池种类、提升配套蓄电池性能已经成为迫在眉睫的问题<sup>[1]</sup>。因此，近年来针对UPS系统运行环境和性能指标要求的配套蓄电池选型可行性的研究逐渐扩展、加深，以达到UPS电源不间断供电以及成本降低的目的。

## 1 蓄电池组选型的原则

蓄电池具有可反复充放电，使用方便的特点，使其在许多应用领域有着不可替代的地位。普遍使用的储能、备用电池有防酸排气式铅酸蓄电池和阀控式铅酸蓄电池两种，它们均处于铅酸蓄电池范畴，其中以阀控式密封铅酸蓄电池为主。概括来讲，防酸排气式铅酸蓄电池与阀控式铅酸蓄电池相比，蓄电池室占地面积较大，并有较高的防酸、防爆要求，同时，其运行时的维护工作量大。但是，由于防酸排气式铅酸蓄电池



曹连兵/工程师

### 关键词/Keywords

蓄电池组 ·  
数据中心 ·  
UPS ·  
估算法 ·  
恒功率放电法 ·  
容量 ·

的电解液密度可随时测量，壳体透明，便于观察内部情况，能够及时发现早期故障，其可靠性大大增加。用一句话总结，阀控式铅酸蓄电池使用

方便，而防酸排气式铅酸蓄电池可靠性更高。表1归纳了两种铅酸蓄电池的主要差异<sup>[2]</sup>。

防酸排气式铅酸蓄电池在早期的UPS系统中

表1 防酸排气式蓄电池与阀控密闭式铅酸蓄电池的比较

| 序号 | 项目   | 防酸排气式铅酸蓄电池                                     | 阀控式铅酸蓄电池                                        |
|----|------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1  | 放电能力 | 容量较小时，两种蓄电池基本相同；容量较大时，较弱                       | 容量较小时，两种蓄电池基本相同；容量较大时，较强                        |
| 2  | 热失控  | 富液式，热容量大，不必考虑热失控问题                             | 贫液式，易发生热失控，导致电池损坏；胶体式，情况稍好，但不如防酸排气式             |
| 3  | 寿命   | 15~20年                                         | 10~12年                                          |
| 4  | 可靠性  | 壳体透明，便于观察蓄电池内部情况，对电压、温度及电解液密度的测量比较方便，便于发现早期故障  | 壳体采用不透明材料，不便观察蓄电池内部情况，无法测量电解液密度，很难发现早期故障        |
| 5  | 运行业绩 | 有大量常规项目运行业绩，并有丰富的核电厂核岛直流系统运行经验                 | 广泛用于大电厂、水电站、变电站、银行和通信行业等，无核电厂核岛直流系统运行经验         |
| 6  | 维护   | 一般不需要补酸，但需要定期补水，维护工作量较大                        | 寿命期内无须补酸、补水，维护工作量较小                             |
| 7  | 环境要求 | 需单独蓄电池间，蓄电池间应有良好的通风系统，房间内的电气设备为防爆型，各种设施需进行耐酸处理 | 小容量时，可与其他电气设备一同布置；大容量时，必须单独蓄电池间，蓄电池间应有空调系统或通风设施 |
| 8  | 布置   | 必须直立放置，需要专门的蓄电池架，占地面积较大                        | 可水平或直立放置，便于和系统的其他设备集成，占地面积较小                    |

使用较多，维护得当的情况下，可保持较长的使用寿命。但实际运行中，其电解液减少，需要经常补水，要求经常性地测量电解液的温度、密度，向蓄电池内添加蒸馏水，蓄电池维护工作量较大，现在UPS系统中已很少配套使用。虽然阀控式铅酸蓄电池的可靠性低于防酸排气式铅酸蓄电池，但其在电厂、变电站等项目有着大量的运行业绩，证明了它具备较高的可靠性，同时综合考虑其他诸如环境、运行维护和设备布置等多方面因素，采用体积较小、密封性能好和免维护的阀控式铅酸蓄电池能够减少蓄电池间的大量设计、施工工作，减少运行期间的维护工作量。因此，目前数据中心UPS电源直流系统普遍使用阀控式铅酸胶体蓄电池，并且也满足UPS系统要求的配套蓄电池必须具备短时间内输出电流大，放电电压高且平稳的特殊特性。数据中心机房UPS系统蓄电池组接线图如图2所示。

2 蓄电池组节数的确定

蓄电池组作为UPS电源系统中的后备保障，它

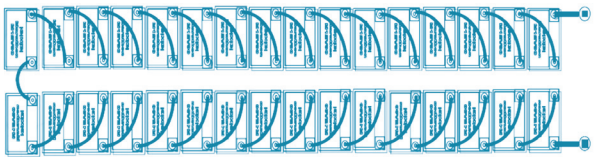


图2 数据中心机房UPS系统蓄电池组接线图

的好坏直接关系到整个数据中心供电的安全可靠性。因此，合理选择蓄电池类型是UPS电源系统设计的重要环节。根据QB-J-017—2013《中国通信电源系统工程设计规范》要求，当市电—市电自动或手动转换，发电机组自启动，市电—发电机组手动转换，发电机组一次性加载能力满足系统自动转换要求时，数据中心蓄电池组后备时间按15~30 min配置。为保证市电故障时UPS电源能持续不间断向负载供电，设计综合考虑了本数据中心设备配置系统结构、设备类型、备用电源情况和维护水平等情况选择放电时间，情况较好选择较短的放电时间，较差的情况选择较长的放电时间。

目前数据中心UPS配套蓄电池组常用的单体类型主要有12 V和2 V两种，这两种蓄电池组在设计

之初有截然不同之处，表2详细描述了两种蓄电池的区别<sup>[3]</sup>。

表2 2 V和12 V单体蓄电池性能对比表

| 蓄电池类型<br>项目 | 2 V         | 12 V        |
|-------------|-------------|-------------|
| 设计取向        | 长时间、小电流及深放电 | 短时间、大电流及浅放电 |
| 设计寿命/年      | 10          | 3~6         |
| 铅膏配方        | 长寿命配方，循环寿命长 | 大功率配方，循环寿命短 |
| 隔板          | 长寿命隔板，板厚    | 大孔径隔板，较薄    |
| 过放电恢复能力     | 板栅合金锡含量高，良好 | 一般          |
| 标称容量/A·h    | 200~3 000   | ≤200        |

某小型数据中心机房配置两台并联冗余的UPS，每台UPS额定容量为200 kV·A，蓄电池组总容量应满足电源故障后单台UPS满载运行0.5 h的要求。UPS蓄电池组额定电压为480 V，逆变器低压告警点为蓄电池组408 V，计算每台UPS应配蓄电池组的节数。

从上例可以看出，如果选用单体电压为2 V的蓄电池，则蓄电池组电节数为 $480/(V/\text{单体})=240$ 只，取终止电压1.75 V，这里放电终止电压取定为 $240(\text{只}) \times 1.75 \text{ V} = 420 \text{ V} > 408 \text{ V}$ ；如果选用单体电压为12 V的蓄电池，则蓄电池组电节数为 $480/(12(V/\text{单体}))=40$ 只，取终止电压10.5 V，这里放电终止电压取定为 $40(\text{只}) \times 10.5 \text{ V} = 420 \text{ V} > 408 \text{ V}$ 满足设计需求。

由于UPS的逆变器设置了低电压保护，当电池的个数多一点时，放电至逆变器低电压自动关闭时的单个电池电压会低一点，从而延长放电时间，能充分发挥电池容量；但这样，容易使蓄电池放电后期单个电池的电压过低，从而导致过放电。所以为了保护电池，电池个数应少一点，设计时需要适当地处理这一矛盾。通过上述分析得出，数据中心UPS系统蓄电池组分别选用2 V单体蓄电池240节和12 V单体蓄电池40节可满足本设计的需求。

### 3 蓄电池组容量在工程中的计算

根据YD/T 5040—2005《通信电源设备安装设计规范》和QB-J-017—2013《中国移动通信电

源系统工程设计规范》，蓄电池组的容量应接近近期负荷配置，依据蓄电池的寿命，适当考虑远期发展。在UPS供电系统中，每台UPS一般设置一组蓄电池，当容量不足时可并联，即使某台UPS接入两组蓄电池组（两组蓄电池组并联），但仍然认为该台UPS接一组蓄电池组。另外，UPS系统选择配置的蓄电池组总容量应符合规范中相应设备的放电时间要求，放电功率应满足UPS供电系统相应输出功率的要求，并适当考虑供电系统在今后适当发展的需求<sup>[3-4]</sup>。

蓄电池容量（A·h）是指在标准环境温度下，电池在给定时间止点终止电压时，可提供的恒定电流（A）与持续放电时间（h）的乘积。在确定了UPS的品牌和后备时间下，可以根据蓄电池品牌样本数据中提供的恒功率放电数据表，或者恒流放电曲线，通过功率法、估算法以及电源法等计算方法来计算确定蓄电池的型号和容量。在数据中心UPS电源工程设计中，一般按QB-J-017—2013《中国移动通信电源系统工程设计规范》提供的以下两种方式计算。

1) 理论公式估算法。根据《中国移动通信电源系统工程设计规范》中要求的蓄电池总容量保障的后备时间不小于0.5 h来计算。

2) 恒功率算法。通过查找蓄电池厂商提供的“蓄电池恒功率放电数表”（或“蓄电池额定放电功率表”）中的相关数据，计算蓄电池组所提供的总功率值。

在工程设计中，用于UPS供电系统中的蓄电池组容量有相当部分都是UPS厂商进行容量计算，采用的计算方法也是一致的，即按《中国移动通信电源系统工程设计规范》的规定计算，但往往会出现UPS厂商的蓄电池组容量计算结果小于设计单位按“设计规范”所计算出的结果。下面从上述两种蓄电池组容量计算方法中分析UPS电源工程设计中蓄电池组容量计算问题。

#### 3.1 理论公式估算法计算蓄电池组容量

按照《中国移动通信电源系统工程设计规范》附录F蓄电池后备时间计算中规定，通信机楼、数

据中心蓄电池组后备时间可在15 min、30 min、40 min、50 min和1 h系列内选择。因此,设计人员可据此设定系统中的蓄电池组总容量的放电小时率,本设计选用蓄电池组的后备时间不低于0.5 h。根据规范设计中所配置的蓄电池组总容量应按下面公式计算

$$Q \geq \frac{KIT}{\eta[1+\alpha(t-25)]} \quad (1)$$

表3 铅酸蓄电池放电容量系数( $\eta$ )表

| 电池放电小时 $T/h$ | 0.5  |      |      |      | 1    |      | 2    | 3    | 4    | 6    | 8    | 10   | $\geq 20$   |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|
|              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |             |      |
|              | 1.65 | 1.70 | 1.75 | 1.80 | 1.70 | 1.75 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | $\geq 1.85$ |      |
| 阀控电池         | 0.48 | 0.45 | 0.4  | 0.35 | 0.58 | 0.55 | 0.45 | 0.61 | 0.75 | 0.79 | 0.88 | 0.94 | 1.00        | 1.00 |

下面以200 kV·A的UPS电源为例来说明蓄电池组的计算过程,从上节分析可得知,数据中心UPS系统蓄电池组可分别选用2 V单体蓄电池240节和12 V单体蓄电池40节,这两种情况的计算过程完全相同,本节仅选2 V单体蓄电池240节蓄电池组容量计算。

(1) 计算负荷电流即UPS电源的放电电流

$$I = \frac{1000P \cos \alpha}{\eta NE} \quad (2)$$

式中, $I$ 为UPS放电电流; $P$ 为UPS额定容量,kV·A; $\cos \alpha$ 为功率因数,取0.9; $\eta$ 为逆变器效率,本设计取0.94; $N$ 为蓄电池组只数,2 V,取240只; $E$ 为单个蓄电池放电的终止电压,本设计取1.75 V/单体。

$$I = \frac{1000P \cos \alpha}{\eta NE} = \frac{1000 \times 200 \times 0.9}{0.94 \times 240 \times 1.75} \text{ A} = 456 \text{ A}$$

(2) 蓄电池组容量的计算

在工程设计计算时,可以将式(1)进行简化,即设 $C = \frac{KIT}{\eta[1+\alpha(t-25)]}$ ,则式(1)可简化为

$$Q = CI \quad (3)$$

式中, $Q$ 为蓄电池组容量,A·h; $C$ 为容量计算系数; $I$ 为负荷电流,A。

根据以往工程经验,将在不同放电时间、不同环境温度情况下得出蓄电池组容量计算系数( $C$ )列成表格。在工程计算时,可根据负荷电流

式中, $Q$ 为蓄电池组容量,A·h; $K$ 为安全系数,取1.25; $I$ 为负荷电流,A; $T$ 为放电小时数,h; $\eta$ 为放电容量系数,如表3所示; $t$ 为实际电池所在地最低环境温度数值。所在地有采暖设备时,按15℃考虑,无采暖设备时,按5℃考虑; $\alpha$ 为电池温度系数,1/℃,当放电小时率 $\geq 10$ 时,取 $\alpha = 0.006$ ;当 $10 > \text{放电小时率} \geq 1$ 时,取 $\alpha = 0.008$ ;当放电小时率 $< 1$ 时,取 $\alpha = 0.01$ 。

及表格中的蓄电池组容量计算系数( $C$ )简单快速计算出蓄电池组的总容量。

本节继续以200 kV·A UPS为例来计算蓄电池组容量,UPS安装在室内有采暖,故 $t = 15^\circ\text{C}$ ;放电时间为0.5 h,因此本例中放电小时率小于1时,取 $\alpha = 0.01$ ,放电终止电压为1.75 V,取放电容量系数 $\eta = 0.4$ ;带入容量计算系数 $C$ 的公式

$$C = \frac{KIT}{\eta[1+\alpha(t-25)]} = \frac{1.25 \times 0.5}{0.4 \times [1+0.01 \times (15-25)]} = 1.74$$

将计算出的系数 $C$ 带入式(3)得铅酸蓄电池组容量为: $Q = CI = (567 \times 1.74) \text{ A} \cdot \text{h} = 793.4 \text{ A} \cdot \text{h}$ 。

数据中心供电结构设计采用两台200 kV·A UPS并联冗余的方案,即“1+1”并联冗余UPS电源系统,当其中一台UPS退出时,另外一台UPS的负载不应超过额定容量的90%。若选用双登的阀控式密封铅酸蓄电池,在设备供应商提供的表中查得,本工程两台并联冗余的UPS每台按照全载时配蓄电池容量,即选用两组400 A·h/2 V的阀控式铅酸蓄电池组。

### 3.2 恒功率算法计算蓄电池组容量

蓄电池厂商一般采用的恒功率法计算蓄电池容量过程总结如下:

- 1) 根据UPS产品标称功率、负载效率和逆变效率,计算需要配置的电池供电总功率( $W$ )。
- 2) 根据电池供电总功率、备电时间和电池组

标称电压, 计算需要配置的电池组总容量 (C)。

3) 根据UPS产品电池组标称电压, 计算电池组单格电池数 (cell)。

4) 根据电池供电总功率、电池组单格电池数, 计算需要配置的单格电池放电功率 (W/cell)。

5) 根据电池组总容量值, 在配置组数不超过4组情况下, 确定不同电池配置的选型方案。

6) 根据不同配置的选型方案, 从UPS电池资源池中选择相近规格的电池规格。

7) 根据电池规格书中的恒功率放电数据、UPS系统备电时间和单格电池放电终止电压, 逐一计算不同配置方案下的恒功率放电参数满足度。

8) 根据不同配置方案的恒功率放电参数满足度计算表, 在满足配置原则条件下, 最后确定电池选型规格。

显然上述计算过程忽略了温度对放电的影响, 同时也未考虑安全系数, 这样计算的蓄电池容量结果偏小, 也是蓄电池厂商和设计人员计算结果不一致的原因。在蓄电池厂商的计算过程的基础上汇总, 添加温度对放电的影响的系数和安全系数, 得到蓄电池容量计算公式为

$$P_{\text{电池}} = \frac{KS_{\text{UPS}} \cos \theta}{\eta N [1 + \alpha(t - 25)]} \quad (4)$$

式中,  $P_{\text{电池}}$  为2 V电池单体功率, kW;  $K$  为安全系数, 取1.25;  $S_{\text{UPS}}$  为UPS电源的标称输出功率, kV·A;  $\cos \theta$  为负载的功率因数;  $\eta$  为逆变器效率, 取0.94;  $N$  为单体蓄电池组串联数量, 本设计取240只;  $k$  为温度对放电的影响系数, 本设计在室内有采暖取  $t = 15^\circ\text{C}$ , 则  $k = [1 + \alpha(t - 25)] = 0.9$ 。

将上述参数代入式 (4), 从而得出每节2 V电池单体功率为

$$\begin{aligned} P_{\text{电池}} &= \frac{KS_{\text{UPS}} \cos \theta}{\eta N [1 + \alpha(t - 25)]} \\ &= \frac{1.25 \times 200 \times 0.9}{0.94 \times 240 \times [1 + 0.01 \times (15 - 25)]} \text{ W} \\ &= 1.1082 \text{ kW} = 1\,108.2 \text{ W} \end{aligned}$$

查找蓄电池供应商产品的恒功率放电数据表, 如双登的铅酸蓄电池容量800 A·h在1.75 V/cell, 备电0.5 h时可提供1 351.4 W/cell, 本工程选用两组

400 A·h/2 V的阀控式铅酸蓄电池组。

从上述两种蓄电池组容量计算方法看, 若考虑温度调整系数及安全系数时, 两种计算结果基本相当。若环境温度和系数均不考虑时, 在环境温度在25 °C左右的电池室内, 新装蓄电池组一般不会出现容量问题, 因为正常的新蓄电池组放电容量大于或等于蓄电池的标定容量。随着使用时间的推移, 蓄电池组的容量在逐步减少, 当低于其标定容量时, 蓄电池组的放电容量小于其标定容量, 这就有可能出现蓄电池组的放电容量不能满足设计需要的情况<sup>[5]</sup>。因此, 在蓄电池容量选择时考虑环境温度的影响和安全系数是必要的。根据前期工程经验, 按以上方法所选择的蓄电池, 既满足放电时间的要求, 又不至于容量选得过大, 造成浪费。

## 4 结束语

本文介绍了铅酸蓄电池的原理及其在数据中心UPS电源系统中的应用情况。通过将防酸排气式铅酸蓄电池和阀控式铅酸蓄电池进行对比, 阐明了阀控式铅酸蓄电池体积较小、密封性能好和免维护特点, 更适用于数据中心机房的UPS电源系统。最后, 结合容量换算法和电流换算法, 探讨了环境温度和系数对蓄电池组容量影响, 优化了数据中心UPS电源系统蓄电池容量选择的方法。

## 参考文献

- [1] 孙国同, 陈珂. 数据中心UPS配套蓄电池类型选择探讨[J]. 移动通信, 2016, 40(17): 83-85.
- [2] 张春严, 张洪涛. UPS蓄电池组的选型、计算、使用和维护[J]. 氯碱工业, 2008, 44(4): 8-10.
- [3] QB-J-017—2013《中国移动通信电源系统工程设计规范》[S].
- [4] YD/T 5040—2005《通信电源设备安装工程设计规范》[S].
- [5] 郭武, 吴文静. 通信工程设计中配置蓄电池组容量的计算方法[J]. 电信工程技术与标准化, 2005, 5(5): 25-30.

(收稿日期: 2017-07-25) EA