

「变电站」

500 kV无人值守变电站直流辅助电源系统负荷统计与容量计算

文/上海电气输配电工程成套有限公司 郑华珍

根据实际设备的功耗值，统计某新建500 kV无人值守变电站的直流负荷，并根据电流换算法和容量换算法计算出蓄电池容量。分析两种方法存在的差异，并提出改进后的考虑1 min初始冲击负荷及三个放电阶段后容量换算法的公式，给500 kV及以下变电站蓄电池容量计算提供了一定的参考意义。

直流系统在变电站中为控制、信号、继电保护、自动装置及事故照明等提供可靠的直流电源。它还为操作提供可靠的操作电源。直流系统的可靠与否，对变电站的安全运行起着至关重要的作用，是变电站安全运行的保证。变电站采用交流电源经逆变后作为直流系统的主电源，采用蓄电池作为备用电源，在发生交流电源消失的情况下，蓄电池的容量及输出电压均应保证变电设备的可靠运行。

进行蓄电池容量计算，需要先统计变电站内所有直流负荷，本文以某新建500 kV无人值守变电站为例，收集站内采用的实际设备直流功耗值，详细统计出3个不同放电阶段的负荷，根据电流换算法和容量换算法计算蓄电池容量，分析两种方法计算结果的差异，提出了容量换算法存在的缺陷，并给出了考虑1 min放电负荷和不同放电阶段容量系数后的容量换算法公式。

某500 kV新建变电站规模及保护配置

某新建500 kV站主变容量为 $2 \times 3 \times 334 \text{ MV}\cdot\text{A}$ ，三绕组500/220/35 kV，本期、远期规模及主接线方式如表1所示。500 kV及220 kV采用H-GIS主设备，35 kV采用常规敞开式设备。二次设备采用综合自动化系统，所有元件配置微机保护、测控装置等。装置直流功率损耗均按照实际采用设备的数值。35 kV以上断路器分合闸电流按照2 A/相计算，35 kV及以下断路器分合闸电流按2 A/台计算。

表1 变电站规模

设备	本期	远景	接线方式
主变	2	4	—
500 kV线路	2	6	3/2断路器
220 kV线路	12	16	双母双分段
35 kV电容器	6	8	单母线

负荷统计（按照远景规模）

500 kV线路各配置2套线路保护装置，1套测控装置，每台断路器配置1套操作箱及1套断路器保护。500 kV母线按远景主接线的数量配置4套母线差动保护。配置3台500 kV故障录波器柜，1面保护信息管理子站。则经常负荷为 $(6 \times 35 + 6 \times 25 + 6 \times 25 + 7 \times 50 + 4 \times 45 + 3 \times 80 + 1 \times 80) \text{ W} = 1\,360 \text{ W}$ ，事故负荷为 $(6 \times 50 + 6 \times 50 + 6 \times 50 + 7 \times 50 + 4 \times 60 + 3 \times 80 + 1 \times 80) \text{ W} = 1\,810 \text{ W}$ （等式左侧中被乘数为设备数量，乘数为各设备对应的直流功率损耗）。

220 kV线路各配置2套线路保护装置，1套测控装置，1套操作箱，220 kV母线共配置4面母线保护屏，4面母联/分段断路器保护柜，2套电压切换装置，2台故障录波器，1面保护信息管理子站。则经常负荷为 $(16 \times 35 + 16 \times 25 + 20 \times 25 + 4 \times 45 + 4 \times 15 + 2 \times 15 + 2 \times 80 + 1 \times 80) \text{ W} = 1\,970 \text{ W}$ ，事故负荷为 $(16 \times 50 + 16 \times 50 + 20 \times 50 + 4 \times 60 + 4 \times 25 + 2 \times 25 + 2 \times 80 + 1 \times 80) \text{ W} = 3\,230 \text{ W}$ 。

每组变压器的继电保护由2面保护柜组成，包括2套纵差保护、3套后备保护、1套非电量保

护、3套操作箱及3套测控装置。经常负荷为 $4 \times (2 \times 50 + 3 \times 15 + 1 \times 25 + 3 \times 25 + 3 \times 25) \text{ W} = 1\,280 \text{ W}$ ，事故负荷为 $4 \times (2 \times 70 + 3 \times 25 + 1 \times 50 + 3 \times 50 + 3 \times 50) \text{ W} = 2\,260 \text{ W}$ 。

35 kV电容器各配置1套电容器保护装置，配置2套无功自投切装置，共配置3套站用变保护装置；经常负荷为 $(8 \times 15 + 3 \times 15 + 2 \times 15) \text{ W} = 195 \text{ W}$ ，事故负荷为 $(8 \times 25 + 2 \times 25 + 3 \times 25) \text{ W} = 325 \text{ W}$ 。

全站自动化负荷按照4 000 W计算。

综合以上计算，二次设备经常负荷为 $(1\,360 + 1\,970 + 1\,280 + 195) \text{ W} = 4\,805 \text{ W}$ ， $(1\,810 + 3\,230 + 2\,260 + 325) \text{ W} = 7\,625 \text{ W}$ 。

全站配置1面事故照明逆变器柜5 kV·A，2面UPS系统屏共10 kV·A。

断路器跳闸电流考虑220 kV系统母线保护动作，断路器跳闸，按照整个母线上的断路器动作来考虑，共10 kW。

断路器自投电流按照事故放电末期，合上35 kV所用变高压侧开关和380 V低压侧开关考虑，共8 A。

直流负荷统计如表2所示。不同的负荷，放电持续时间各有不同，无人值守站可将负荷放电时间分为3个时段M1(0~1 min)、M2(1~60 min)及M3(61~120 min)。二次设备保护控制负荷、UPS负荷将持续整个放电时间，事故照明需要保证在M3时段的容量，断路器跳闸电流为初期冲击负荷，断路器自投电流发生在事故末期，按照随机负荷统计。

表2 直流负荷统计

序号	负荷名称	装置容量/kW	负荷系数	负荷电流/A	事故放电电流/A			
					I_1 初期 (0~1 min)	I_2 持续 (1~60 min)	I_3 持续 (61~120 min)	I_4 随机负荷 (5 s)
1	事故照明	5.000	1.00	45.455	45.455		45.455	
2	二次设备经常负荷	8.805	0.60	48.027	48.027	48.027	48.027	
3	二次设备事故负荷	11.625	0.60	63.409	63.409	63.409	63.409	
4	220kV断路器跳闸	10.000	1.00	90.909	90.909			
5	恢复供电断路器合闸		1.00					8.000
6	UPS	10.000	0.60	54.545	54.545	54.545	54.545	
	电流统计/A				302.345	165.982	211.436	8.000

蓄电池容量计算

本站设置一套双重化的阀控式铅酸蓄电池供电的直流系统，配置3套微机型高频开关电源。直流系统选用110 V电压。

下面按照电流换算法和容量换算法分别进行蓄电池容量计算。

(1) 电流换算法

电流换算法（国际上统称为HOXIE计算方法）直接由负荷电流确定蓄电池的容量，该方法在给定放电终止电压条件下进行计算，只要选择的蓄电池容量大于或接近计算值，就不必再对蓄电池容量进行电压校验。

$$C_{C1} = K_K \frac{I_1}{K_C} = 1.4 \times \frac{302.345}{1.43} \text{ A} \cdot \text{h} = 296 \text{ A} \cdot \text{h}$$

$$\begin{aligned} C_{C2} &= K_K \left(\frac{I_1}{K_{C1}} + \frac{I_2 - I_1}{K_{C2}} \right) \\ &= 1.4 \times \left(\frac{302.345}{0.598} + \frac{165.982 - 302.345}{0.6} \right) \text{ A} \cdot \text{h} \\ &= 389.65 \text{ A} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{C3} &= K_K \left(\frac{I_1}{K_{C1}} + \frac{I_2 - I_1}{K_{C2}} + \frac{I_3 - I_2}{K_{C3}} \right) \\ &= 1.4 \times \left(\frac{302.345}{0.374} + \frac{165.982 - 302.345}{0.376} + \right. \\ &\quad \left. \frac{211.436 - 165.982}{0.598} \right) \text{ A} \cdot \text{h} \\ &= 730.453 \text{ A} \cdot \text{h} \end{aligned}$$

$$C_R = \frac{I_R}{K_{CR}} = \frac{8}{1.45} \text{ A} \cdot \text{h} = 7.724 \text{ A} \cdot \text{h}$$

蓄电池容量等于 $C_{C1} \sim C_{C3}$ 中最大值与 C_R 之和，即738.177 A·h。

式中， $C_{C1} \sim C_{C3}$ 为蓄电池10 h放电率各阶段的计算容量，单位为A·h； $I_1 \sim I_3$ 同表2，为各阶段负荷电流， I_R 为随机负荷电流（5 s），单位为A； K_K 为可靠系数，取1.4； K_C 为1 min放电时的容量换算系数，单位为1/h； K_{C1} 为各计算阶段中全部放电时间的容量换算系数，单位为1/h； K_{C2} 为各计算阶段中

(下转第87页)

中控制型系统是由集中电源型消防应急灯具、应急照明集中电源、应急照明配电装置及相关附件等组成的消防应急照明和疏散指示系统。应急照明集中电源是在火灾发生时,为集中电源型消防应急灯具供电、以蓄电池为能源的电源。虽然整个规范并未明确给出哪些可以做为应急电源,但整个规范看起来不难得出蓄电池为电源的应急电源结论。具体各规范和资料的内容如表2所示。

从表2中不难看出各规范和资料对于应急照明和疏散指示标志的应急电源的构成范围可谓是五花八门,有的画蛇添足、有的前后矛盾,这样会导致消防电源设计人员迷茫,结果就是由于设计人员侧重的规范和拥有的资料不同,设计出的方案可能符合某些规范的同时又不符合某些规范,最终导致规范的严肃性大打折扣、倍受质疑。对于消防工程验收人员来说工作也难以开展,由于侧重的规范不同对同一设计方案非常有可能审出不同的结果,最终导致消防部门的公信力受到社会公众的质疑。

要解决这一问题,最简单直接的方法就是统一各规范和资料对应急电源的构成,对于有特殊

要求的可以在统一的前提下提出本规范适应对象的特殊要求即可,如《石油天然气工程设计防火规范》(GB50183—2004) 9.1.2消防泵房及其配电室应设应急照明,其连续供电时间不应少于20 min。它在符合《供配电系统设计规范》的基础上,提出本规范适用对象对应急照明的要求:连续供电时间不应少于20 min,这样既简单又明了。

结束语

各规范和资料一定要统一主电源的构成范围、区分开应急电源和消防中的应急电源之间的不同,保持规范与规范、规范与资料及资料与资料之间的统一,特殊情况或特殊环境可以单独进行说明,只有这样设计人员才能牢固把握规范的内容,设计出合格的消防电源供配电系统;只有这样消防供配电系统的验收才能做到全国上下同标准,确保建筑物中的消防负荷在火灾等特殊情况发生时,发挥出应有的功能和作用。

鉴于本文作者对规范的理解有限,如有论述不当,请专家指正。EA (收稿日期:2014.09.05)

(编辑:刘群焱)

(上接第83页)

除第1阶梯时间外放电时间的容量换算系数,单位为1/h; K_{C3} 为各计算阶段中除第1、2阶梯时间外放电时间的容量换算系数,单位为1/h; K_{Cn} 为各计算阶段中最后1个阶梯放电时间的容量换算系数,单位为1/h。

(2) 容量换算法

蓄电池10 h放电率计算容量

$$C_C = \frac{K_{rel} C_s}{K_{cc}} = 1.4 \left(\frac{377.42}{0.748} \right) A \cdot h = 706.4 A \cdot h$$

式中, K_{rel} 为可靠系数,取1.4; K_{cc} 为容量系数。

与电流换算法相比,容量换算法的结果偏小。根据公式 $K_{cc} = tK_c$,可以看出容量换算法是将电流换算法的公式进行变形得到的,本质上是一致的,不同在于容量换算法忽略了0~1 min放电电流消耗的容量,并且在计算过程中只取一个时间段的容量换算系数,导致其在负荷放电阶段数不同的情况下,计算误差较大,且容量换算法确定的蓄电池容量需要进行放电电压水平的校验。

对3个阶段的放电电流进行分解,理解成3个容量的叠加,将不同阶段容量与各自的容量系数对应起来,推导出考虑初始冲击放电电流的蓄电

池容量公式

$$\begin{aligned} C_C &= K_{rel} \left(\frac{2I_1}{K_{cc}(120\min)} + \frac{I_2 - I_1}{K_{cc}(119\min)} \frac{119}{60} + \frac{I_3 - I_2}{K_{cc}(60\min)} \right) \\ &= 1.4 \left(\frac{2 \times 302.345}{0.748} + \frac{165.982 - 302.345}{0.748} \times \frac{119}{60} + \right. \\ &\quad \left. \frac{211.436 - 165.982}{0.598} \right) A \cdot h \\ &= 731.99 A \cdot h \end{aligned}$$

式中, $K_{cc}(120\min)$ 为在指定放电终止电压下,对应事故放电时间2 h的容量系数, $K_{cc}(119\min)$ 、 $K_{cc}(60\min)$ 为类似的含义。

由此可见,校正后的容量换算法计算出的蓄电池容量和电流换算法基本是一致的。

结束语

本文根据实际设备功耗值统计了某新建500 kV无人值守变电站直流负荷,采用电流换算法与修正后的容量换算法进行了蓄电池容量的计算,为500 kV及以下变电站的直流系统设计提供了一定的参考价值。EA (收稿日期:2014.09.05)

(编辑:刘群焱)