

[应急照明]

轨道交通应急照明电源蓄电池容量计算方法研究

文/中铁第四勘察设计院集团有限公司电化处 刘毅

针对轨道交通项目应用特点,介绍了几种常用的应急照明电源铅酸蓄电池容量计算方法。并通过某城轨车站应急照明电源设计实例比较了安时(Ah)容量法、简化算法、恒功率法在设计思路、校正系数考量以及计算结果上的差异,分析了环境条件、裕量系数等对典型轨道交通项目应急照明电源蓄电池容量计算结果和设计方案的影响,给出了推荐计算方法。

逆变应急电源是一种把蓄电池的直流电能逆变成正弦波交流电能的应急电源,适用于允许中断供电时间为0.25 s左右的负荷。轨道交通项目中的应急照明电源是一种应急照明专用的备用电源,其特点包括负荷类型较为单一(无电动机等其他类型负荷)、设备功率不大(一般不大于30 kW)、蓄电池备用工作时间较长(一般不少于60 min,推荐不少于90 min)。

正确计算和选择蓄电池容量对于保证应急照明供电时间是至关重要的。然而,实际工程中的蓄电池容量选择往往不尽合理,既有忽略了一些重要设计考虑的情况,也有校正系数重复计算的问题,各类规范推荐的蓄电池容量计算方法也不尽相同。本文针对城轨项目应急照明电源的应用特点,通过设计算例介绍并比较了国家标准、行业标准(电力)和国际电工协会标准中推荐的几种铅酸蓄电池容量计算方法,供工程实际参考。

计算设定条件

为方便比较各计算方法差异,统一以某城轨项目计算功率为15 kW的应急照明电源作为算例。设计环境温度为冬季18℃、夏季27℃。蓄电池组采用免维护阀控式胶体密封铅酸蓄电池(GEL

型),单只蓄电池电压12 V(单格2 V),蓄电池容量以C10(10 h放电率标称容量)为标准,单格电池(2 V)的终止电压取1.8 V。逆变器效率设为0.93,电池组数假设为1,每组电池只数取20,蓄电池放电时间为90 min。

安时(Ah)容量法

根据GB51194—2016《通信电源设备安装工程设计规范》,蓄电池组容量可按下式计算

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

式中,蓄电池组的计算放电电流 I ,可按式(2)计算为

$$I = \frac{S \cos \phi}{\mu U} \times 1000 \quad (2)$$

以上公式中的各项参数,依照规范要求和前文设定的计算条件,具体取值如表1所示。

将所有计算条件分别代入式(1)、式(2),可以求得单格电池(蓄电池采用1×20组,每组单只蓄电池电压12 V,格数为6)放电电流为74.67 A,每组单只蓄电池容量不小于287.14 A·h,应急照明电源的整体蓄电池容量 Q 不小于1×20×287.14 A·h。

表1

参数	定义说明	取值	备注
T	放电小时数	1.5 h	依前文设定的计算条件 参照GB51194—2016
η	放电容量系数	0.53	表5.2.4, 采用插值法 求得放电终止电压为 1.8 V、放电小时数为 1.5 h的蓄电池放电容量 系数约为0.53
α	电池温度系数	0.008	依前文设定的计算条件
K	安全系数	1.25	参照GB51194—2016
$S_{\cos \phi}$	应急照明电源 额定计算功率	15 kW	依前文设定的计算条件
μ	逆变器效率	0.93	依前文设定的计算条件
U	单格电池 (2 V) 的终止电压	1.8 V	依前文设定的计算条件

安时(A·h)容量法是我国传统的蓄电池容量确定方法,在邮电行业UPS铅酸蓄电池组容量计算中运用较多。需要说明的是,安时法计算出的容量 Q 是经放电容量系数 η 换算的,无论实际放电小时数多大,计算得出的蓄电池容量均为10 h放电率标称容量,这点与之前设定的计算条件也是相符的。

简化计算法

DL/T5044—2014《电力工程直流电源系统设计技术规程》的附录C提供了蓄电池容量的简化计算法和阶梯计算法两种方法,已有研究证明两种方法的计算结果比较接近,为方便计,以下讨论仅以简化计算法为例。

与安时(A·h)容量法考虑放电容量系数 η 类似,简化计算法设立了容量换算系数 K_c 。工程设计人员可根据不同蓄电池型式、终止电压和放电时间查找对应的容量换算系数,通过容量换算系数将事故放电时间内的放电电流计算转换为蓄电池10 h放电率标称容量(A·h)。

由上表可知,第三阶段计算容量最大。因此,按简化计算法满足持续放电各阶段计算容量得出每组单只蓄电池的容量不小于248.90 A·h,应急照明电源整体蓄电池容量 Q 不小于 $1 \times 20 \times 248.90$ A·h。

恒功率法

IEEE485—2010是IEEE推荐的铅酸蓄电池配置方法,其附录E介绍了计算蓄电池容量的恒功率法。恒功率负载(如应急照明)蓄电池放电时,其输出电压逐渐下降而输出电流逐渐增大;当电压下降到终止电压时,电流达到最大值。但在整个放电过程中蓄电池的输出功率是恒定的。典型的恒功率放电特性曲线如下图所示。

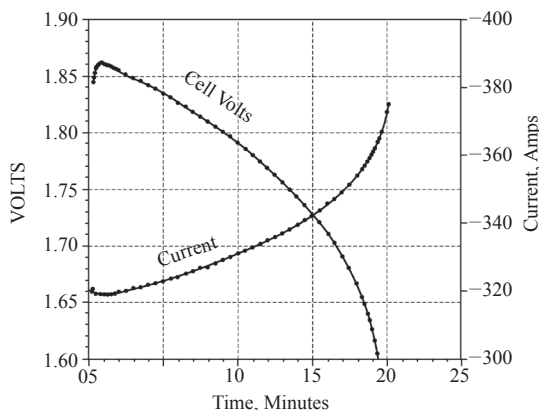


图 典型的恒功率放电特性曲线

依照IEEE485—2010推荐的计算步骤,设计选型时首先计算出蓄电池单格负载功率,然后根据规定的电池备用时间和单格电池终止电压查询蓄电池恒功率放电参数表(该表数据由电池厂家根据设定条件试验提供),表中单格电池功率值大于计算功率的对应电池型号即能满足设计要求,采用这种方法选型的蓄电池规格更贴近产品实际。

当蓄电池单格负载功率超出蓄电池参数范围时,可以考虑并联2组或多组串联只数相同的蓄电池组(最大并联数不超过4),蓄电池的总容量为所有串联蓄电池组的容量之和。

恒功率法计算所需的单格蓄电池最小负载功率如式(3)所示

$$W = \frac{P}{\mu n N} \quad (3)$$

式中, W 为单格电池负载功率; P 为应急照明电源的额定功率,按前文规定的计算条件取15 kW;为逆变器效率,按前文规定的计算条件取0.93; N 为蓄电池只数,按前文规定的计算条件取20; n 为单只蓄电池内单元格数,取6。

将所有计算条件分别代入式(3),可以求得单格电池(蓄电池采用 1×20 组,每组单只蓄电池电压12 V,格数为6)负载功率至少需134.41 W。

表2列举了由3个品牌厂商提供的蓄电池恒功率参数表中按放电时间90 min,单格终止电压1.8 V的条件摘抄参数。

可以看到12V140、8G4D、12XL175这三个型号的电池满足要求,对应的3个品牌蓄电池容量分别为 $1 \times 20 \times 140$ Ah、 $1 \times 20 \times 180$ Ah、 $1 \times 20 \times 170$ Ah,设计时可取大值 $1 \times 20 \times 180$ A·h。

在轨道交通项目中,应急照明电源的蓄电池只数实际上是一个综合了逆变器电压调节范围的工程常用值数组。应急照明电源设备功率在20 kW

表2

品牌	电池型号	放电时间 /h	单格终止 电压 /V	25℃时恒功率 放电数据 / (W/单格)
品牌一	12V110	1.5	1.8	116.6
	12V130	1.5	1.8	124
	12V140	1.5	1.8	136.3
品牌二	8G5SHP	1.5	1.8	96.6
	8G4D	1.5	1.8	151
	8G8D	1.5	1.8	186
品牌三	12XL125	1.5	1.8	96.9
	12XL155	1.5	1.8	121
	12XL175	1.5	1.8	137

以下的,其蓄电池只数常用值有16、18、19、20和21等,20 kW以上为32、40和41等。上述算例中,蓄电池只数 N 按规定的计算条件取为20,但在同一品牌蓄电池前提下,蓄电池只数对总容量的影响有限。以品牌三为例,当蓄电池只数取18时,利用恒功率法计算得到的单格电池负载功率为149.34 W,选取满足要求的电池型号为12XL205,对应的蓄电池总容量为 $1 \times 18 \times 200 \text{ Ah}$ 。

校正系数的考量

蓄电池容量计算的校正系数考量主要包括老化和温度两个方面。

铅酸蓄电池当其可用容量下降到额定容量的80%时即为寿命终止,需要更换。为保证蓄电池在整个寿命期均能满足计算负载的要求,蓄电池的计算容量应增加的富裕量即为老化系数。

另外,蓄电池的工作温度会影响蓄电池的寿命和性能(容量)。在25℃时蓄电池具有额定容量,温度下降时容量会减少,温度升高时容量会增加。如果最低温度低于25℃,则应选择较大的蓄电池,即考虑温度系数以保证在最低温度时仍具有需要的容量。如果最低温度高于25℃,工程设计中一般采取保守做法,即按标准温度25℃考虑,不选择较小的蓄电池。由此增加的可用容量作为设计裕量的一部分。

前面介绍的几种方法中,安时(A·h)容量法同时考虑了老化系数和温度系数,具体体现为公式

(1)中的 K 和 t_r ;简化算法中放电各阶段计算容量公式中的可靠系数 $K_k = \text{裕度系数} \times \text{老化系数} \times \text{温度系数} = 1.15 \times 1.1 \times 1.1 \approx 1.4$;IEEE485—2010附录E并未提及恒功率法的老化系数和温度系数考虑,但是厂商提供的恒功率放电数据表一般均为25℃标准环境所得数据,且规定了蓄电池80%深度循环的充放电寿命(即提示老化效应的边界)。

实际上,上述举例中简化算法求得的应急

照明电源蓄电池整体容量($1 \times 20 \times 248.90 \text{ A} \cdot \text{h}$)与恒功率法求得的容量($1 \times 20 \times 180 \text{ A} \cdot \text{h}$)之比,几乎就等于可靠系数 K_k 的取值。因此可以得出结论——简化算法与恒功率法在过滤掉可靠系数后,两者的计算结果几乎相同。

需要说明的是,轨道交通项目在设计阶段考虑应急照明电源功率时,工程人员一般会结合国家相关规范要求考虑一定的容量系数(如JGJ16—2008第6.2.2条第3款要求“额定输出功率不应小于所连接的应急照明负荷总容量的1.3倍”),多数工程为了招标方便还要求最终设备功率按5 kW一档取整。前文算例中规定的15 kW便是实际工程中按负载为LED灯和电子镇流器荧光灯考虑了1.3的裕量系数,并按5 kW档位取整得到的数值。这样一来,实际工程计算用到的应急照明电源功率已经考虑了相当程度的裕量系数,且远远大于安时(A·h)容量法提及的裕度系数 $\times$ 温度系数($1.15 \times 1.1 \approx 1.3$)。因此,在满足恒功率放电数据表规定的循环充放电寿命内,轨道交通项目根据恒功率法求得的应急照明电源蓄电池容量可以不再考虑校正系数。

结束语

安时(A·h)容量法是我国传统的邮电行业计算标准,简化算法/阶梯计算法是我国电力行业设计技术规程推荐的计算方法。两种方法都考虑了老化系数、温度系数等校正系数,并根据蓄电池型式、终止电压和放电时间规定了容量换算系数,两种方法的设计理念是完全一致的,对于同一工况来说,两者确定的蓄电池容量也是接近的。前文算例中两种方法的计算结果差异主要在于安时(A·h)容量法利用插值法查表求容量换算系数所得的误差。

恒功率法在容量计算中没有考虑放电容量系数,而是通过恒功率放电数据表完成了计算功率与蓄电池计算容量间的转换,在恒功率放电数据表规定的循环充放电寿命内可以不考虑老化系数。

综上,安时(A·h)容量法和简化算法设计裕量考虑完备,侧重于确保蓄电池在整个寿命周期内的性能状态,更适用于蓄电池运行环境和条件变化较大的应用场合。恒功率法计算相对简便而且更贴近产品实际,也是国际标准推荐的方法,与轨道交通项目应急照明电源恒功率负载的特点更为契合。EA

(收稿日期:2019.03.25)

(编辑:朱金凤)