

(3) 高压水银荧光灯、金属卤化物灯也要考虑镇流器的功率损耗(约为灯泡功率的10%),其设备容量为灯泡额定功率的1.1倍。

4. 备用设备

在计算负荷时,成组用电设备的设备容量是指不包括备用设备在内的所有单个用电设备的额定功率。

无论是工厂或高层建筑,都有相当一部分的备用设备,如工厂的备用通风机、水泵、鼓风机、空压机,高层建筑中的备用生活水泵、空调制冷设备等,这些备用设备的容量在计算时不能列在设备总容量之中。

消防水泵、专用消防电梯和在消防状态下才使用的送风机、排烟机等,以及在非正常状态下使用的用电设备都不应列入设备总容量之中。当夏季有制冷的空调系统,而冬季则利用锅炉采暖时,由于后者设备容量小于前者,因此锅炉的设备容量也不应计入设备总容量之中。

例2-1

已知某工厂金工车间有一台额定容量为 $22 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 的电焊机, $\epsilon_N = 60\%$, $\cos \varphi = 0.6$, 求该电焊机的设备容量。

解 由电焊机的设备容量公式得

$$P_e = S_N \cos \varphi \sqrt{\epsilon_N} = 22 \times 0.6 \times \sqrt{0.6} = 10.2 \text{ kW}$$

2.3 负荷计算的方法

计算负荷是指通过负荷的统计计算求出的、用来按发热条件选择供配电系统中各电气设备的负荷值。

计算负荷的物理意义:按这个计算负荷持续运行所产生的热效应,与按实际变动负荷长期运行所产生的热效应相等。换句话说,当导体持续流过计算负荷时所产生的导体恒定温升,恰好等于导体流过实际变动负荷时所产生的平均最高温升,从发热的结果来看,二者是等效的。所以根据计算负荷选择的电气设备和导线,在实际运行中其最高温升不会超过容许值。

通过计算负荷可以确定供配电系统的用电计算负荷,以便正确合理地选择电气设备和线路,并为进行无功补偿提高功率因数提供依据,由此再合理地选择变压器、开关电器及导线电缆。

2.3.1 估算法

将工厂的年产量 A 乘以单位产品耗电量 a , 可得到工厂年耗电量,即

$$W_e = Aa \quad (2-11)$$

各类工厂的单位产品耗电量 a 可由有关设计单位根据实测资料确定,亦可查有关设计

手册。

在求得工厂年耗电量 W_a 后,将其除以工厂的年最大负荷利用小时 $T_{\max}$,就可求出工厂的有功计算负荷,即

$$P_{30} = \frac{W_a}{T_{\max}} \quad (2-12)$$

其他的计算负荷 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 的计算,参见下述需要系数法。

2.3.2 需要系数法

1. 需要系数

经过长期运行观察,同一类型工业企业的负荷曲线具有大致相似的形状,因此定义负荷曲线最大有功功率与额定有功功率的比值为需要系数,一般用 K_d 表示,即

$$K_d = \frac{P_{\max}}{P_N} \quad (2-13)$$

需要系数 K_d 是用电设备组在最大负荷时需要的有功功率与其设备容量的比值。它不仅与用电设备组的工作性质、设备台数、线路损耗等有关,而且与生产组织、工作人员技能水平、季节等很多因素有关。附录表 A-1 列出了部分工厂和民用建筑的需要系数。

附录表 A-1 中的需要系数是设备台数较多时的数据,因此数值一般比较小。当设备台数较少(如 5 台以下)时,则需要系数值应适当取大。如果只有一两台设备,则需要系数可取为 1,即有功计算负荷就等于设备容量。当设备台数较少时,功率因数也应适当取大。

2. 用需要系数法确定计算负荷的基本公式

需要系数法是指用设备容量乘以需要系数,直接求出计算负荷。这种方法比较简便,应用广泛,尤其适用于变电所的负荷计算。

用电设备组中的若干台设备不一定都同时运行,同时运行的设备并不同时在最大负荷下运行,而且,各设备及线路都有功率损耗,因此,用电设备组的计算负荷与其设备容量之间的关系为

$$P_c = K_d P_e \quad (2-14)$$

确定了三相用电设备组的有功计算负荷 P_c 后,可分别求得

无功计算负荷为

$$Q_c = P_c \tan \varphi \quad (2-15)$$

视在计算负荷为

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \quad \text{或} \quad S_c = \frac{P_c}{\cos \varphi} \quad (2-16)$$

计算电流为

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3} U_N} \quad \text{或} \quad I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi} \quad (2-17)$$

式中 U_N ——三相用电设备的额定电压;

$\cos \varphi, \tan \varphi$ ——用电设备组的平均功率因数及相对应的正切值。

例2-2

已知某机修车间的金属切削机床组,接有 380 V 三相交流电动机,其中 1.5 kW 的 10 台,2.2 kW 的 15 台,4 kW 的 12 台,7.5 kW 的 5 台。求该机床组的计算负荷。

解 该机床组的设备总容量为

$$P_e = 1.5 \times 10 + 2.2 \times 15 + 4 \times 12 + 7.5 \times 5 = 133.5 \text{ kW}$$

机修车间的金属切削机床组电动机属于小批量生产的冷加工机床电动机,查附录表 A-1 得 $K_d = 0.16 \sim 0.20$,取 0.2, $\cos \varphi = 0.5$, $\tan \varphi = 1.73$ 。因此可得

$$\text{有功计算负荷} \quad P_c = K_d P_e = 0.2 \times 133.5 = 26.7 \text{ kW}$$

$$\text{无功计算负荷} \quad Q_c = P_c \tan \varphi = 26.7 \times 1.73 = 46.19 \text{ kvar}$$

$$\text{视在计算负荷} \quad S_c = \frac{P_c}{\cos \varphi} = \frac{26.7}{0.5} = 53.4 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$\text{计算电流} \quad I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3} U_N} = \frac{53.4}{\sqrt{3} \times 0.38} = 81.14 \text{ A}$$

例2-3

已知某工厂金工车间有一台吊车,其电动机的额定功率为 5.5 kW, $\epsilon_N = 40\%$,额定电压为 380 V, $\cos \varphi = 0.7$ 。求该电动机的设备容量及计算电流。

解 将吊车的额定功率换算到 $\epsilon = 25\%$ 时,则其设备容量为

$$P_e = 2 P_N \sqrt{\epsilon_N} = 2 \times 5.5 \times \sqrt{0.4} = 6.95 \text{ kW}$$

由于只有一台,因此可认为 $P_c = P_e = 6.95 \text{ kW}$ 。

其计算电流为

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi} = \frac{6.95 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.7} = 15.09 \text{ A}$$

3. 用需要系数法确定多组用电设备的计算负荷

当确定拥有多组用电设备的干线或车间变电所低压母线上的计算负荷时,应考虑各组用电设备的最大负荷并不同时出现,因此,要计入同时系数,或称混合系数。同时系数是指运行中所有用电设备的综合最大负荷与各个设备的最大负荷的比值,用 K_z 表示。

对于车间干线,取 $K_z = 0.85 \sim 0.95$;对于低压母线,由用电设备组计算负荷直接相加计算时,取 $K_z = 0.80 \sim 0.90$,由车间干线计算负荷相加计算时,取 $K_z = 0.90 \sim 0.95$;对于工厂总变电配电所母线,取 $K_z = 0.95 \sim 1.00$ 。

因此,多组用电设备的总的有功计算负荷为

$$P_c = K_z \sum P_{c_n} \quad (\text{kW}) \quad (2-18)$$

总的无功计算负荷为

$$Q_c = K_z \sum Q_{c_n} \quad (\text{kvar}) \quad (2-19)$$

式(2-18)和式(2-19)中的 ΣP_{α} 和 ΣQ_{α} 分别表示各用电设备组的有功和无功计算负荷之和。

总的视在计算负荷仍按式(2-16)计算,即 $S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}$; 总的计算电流仍按式(2-17)计算,即 $I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N}$ 。

这里要注意的是,由于各用电设备组的功率因数并不相同,因此不能用 $S_c = \frac{P_c}{\cos \varphi}$ 及 $I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3}U_N \cos \varphi}$ 分别计算 I_c 及 S_c 。

由多组用电设备的计算负荷 P_c 和 S_c , 可求得多组用电设备的平均功率因数为

$$\cos \varphi = \frac{P_c}{S_c} \quad (2-20)$$

例2-4

已知某机修车间的 380 V 线路上,接有冷加工机床电动机 30 台,共 96 kW,其中较大容量的电动机有 7.5 kW 2 台,5.5 kW 3 台,4 kW 4 台,3 kW 8 台,2.2 kW 5 台;通风机 2 台,共 3 kW;电阻炉 1 台,2 kW。试确定该线路的计算负荷。

解 根据用电设备性质,将需要系数相近的用电设备归于一组,本题可分成冷加工机床电动机、通风机、电阻炉三个不同的组。

(1)冷加工机床电动机组

查附录表 A-1,取 $K_d = 0.2$, $\cos \varphi = 0.5$, $\tan \varphi = 1.73$,得

$$P_{d1} = 0.2 \times 96 = 19.2 \text{ kW}$$

$$Q_{d1} = 19.2 \times 1.73 = 33.2 \text{ kvar}$$

(2)通风机组

查附录表 A-1,取 $K_d = 0.8$, $\cos \varphi = 0.8$, $\tan \varphi = 0.75$,得

$$P_{d2} = 0.8 \times 3 = 2.4 \text{ kW}$$

$$Q_{d2} = 2.4 \times 0.75 = 1.8 \text{ kvar}$$

(3)电阻炉组

查附录表 A-1,取 $K_d = 0.7$, $\cos \varphi = 1$, $\tan \varphi = 0$,得

$$P_{d3} = 0.7 \times 2 = 1.4 \text{ kW}$$

$$Q_{d3} = 1.4 \times 0 = 0 \text{ kvar}$$

取同时系数 $K_x = 0.95$,则该机修车间总的有功计算负荷为

$$P_c = K_x \Sigma P_{d\alpha} = 0.95 \times (19.2 + 2.4 + 1.4) = 21.85 \text{ kW}$$

该机修车间总的无功计算负荷为

$$Q_c = K_x \Sigma Q_{d\alpha} = 0.95 \times (33.2 + 1.8 + 0) = 33.25 \text{ kvar}$$

该机修车间总的视在计算负荷为

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} = \sqrt{21.85^2 + 33.25^2} = 39.79 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

该机修车间总的计算电流为

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N} = \frac{39.79}{\sqrt{3} \times 0.38} = 60.46 \text{ A}$$

在实际工程计算和设计说明书中,为简明清晰,常采用表格将计算结果列出,见表 2-2。

表 2-2

例 2-4 按需要系数法计算负荷

序号	用电设备组名称	台数/台	容量 P_e / kW	需要系数 K_d	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	计算负荷			
							P_c /kW	Q_c /kvar	S_c /(kV·A)	I_c /A
1	冷加工机床电动机	30	96	0.2	0.5	1.73	19.2	33.2		
2	通风机	2	3	0.8	0.8	0.75	2.4	1.8		
3	电阻炉	1	2	0.7	1	0	1.4	0		
机修车间		33	101				23	35		
总计		取 $K_g = 0.95$					21.85	33.25	39.79	60.47

2.3.3 二项式系数法

1. 用二项式系数法确定计算负荷的基本公式

$$P_c = bP_e + cP_x \quad (2-21)$$

式中 bP_e ——用电设备组的平均功率,其中 P_e 为用电设备组的设备总容量;

cP_x ——用电设备组中 x 台容量最大的设备投入运行时增加的附加负荷,其中 P_x 是 x 台最大容量的设备总容量;

b, c ——二项式系数,见附录表 A-1。

如果用电设备总台数 n 少于附录表 A-1 中规定的最大容量设备台数 x 的 2 倍,即 $n < 2x$,其最大容量设备台数取 $x = n/2$,并按“四舍五入”原则取整台数。例如,某机床电动机组只有 5 台时,则 $x = 5/2$,取 3 台。

如果用电设备只有一两台,就可认为 $P_c = P_e$;对于单台电动机,则 $P_c = P_e/\eta$,其中 η 为电动机的额定效率。

在设备台数较少时,功率因数应适当取大。

例2-5

用二项式系数法确定例2-2中机床组的计算负荷。

解 由附录表 A-1 可查得 $b=0.14, c=0.4, x=5, \cos \varphi=0.5, \tan \varphi=1.73$ 。

已求出该机床组的设备总容量为 $P_e=133.5 \text{ kW}$ 。

x 台容量最大的设备容量为

$$P_x = 7.5 \times 5 = 37.5 \text{ kW}$$

有功计算负荷为

$$P_c = 0.14 \times 133.5 + 0.4 \times 37.5 = 33.69 \text{ kW}$$

无功计算负荷为

$$Q_c = 33.69 \times 1.73 = 58.3 \text{ kvar}$$

视在计算负荷为

$$S_c = \frac{33.69}{0.5} = 67.38 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

其计算电流为

$$I_c = \frac{67.38}{\sqrt{3} \times 0.38} = 102.38 \text{ A}$$

比较例2-5与例2-2可见,用二项式系数法计算的结果比用需要系数法计算的结果大。

2. 用二项式系数法确定多组用电设备的计算负荷

采用二项式系数法确定有多组用电设备干线上或车间变电所低压母线上的计算负荷,同样要考虑各组用电设备的最大负荷不同时出现,因此,在确定计算负荷时,必须在所有用电设备组中取其中一组最大的附加负荷 cP_x ,再加上所有用电设备组的平均负荷 bP_e ,故总的有功计算负荷为

$$P_c = \sum (bP_e) + (cP_x)_{\max} \quad (2-22)$$

总的无功计算负荷为

$$Q_c = \sum (bP_e \tan \varphi) + (cP_x \tan \varphi)_{\max} \quad (2-23)$$

式(2-22)和式(2-23)中, $\sum (bP_e)$ 和 $\sum (bP_e \tan \varphi)$ 分别为各用电设备组的有功和无功平均负荷之和; $(cP_x)_{\max}$ 和 $(cP_x \tan \varphi)_{\max}$ 分别表示各用电设备组的有功和无功附加负荷中最大的一个。

总的视在计算负荷为

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \quad (2-24)$$

总的计算电流为

$$I_c = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_N} \quad (2-25)$$

例 2-6

用二项式系数法确定例 2-4 中机修车间 380 V 线路的计算负荷。

解 先求出各组的 bP_{ad} 和 cP_{ad} 。

(1) 冷加工机床电动机组

查附录表 A-1, 取 $b=0.14, c=0.4, x=5, \cos \varphi=0.5, \tan \varphi=1.73$, 得

$$b_1 P_{ad} = 0.14 \times 96 = 13.44 \text{ kW}$$

$$c_1 P_{ad} = 0.4 \times (7.5 \times 2 + 5.5 \times 3) = 12.6 \text{ kW}$$

(2) 通风机组

查附录表 A-1, 取 $b=0.65, c=0.25, \cos \varphi=0.8, \tan \varphi=0.75$, 得

$$b_2 P_{ad} = 0.65 \times 3 = 1.95 \text{ kW}$$

$$c_2 P_{ad} = 0.25 \times 3 = 0.75 \text{ kW}$$

(3) 电阻炉组

查附录表 B-1, 取 $b=0.7, c=0, \cos \varphi=1, \tan \varphi=0$, 得

$$b_3 P_{ad} = 0.7 \times 2 = 1.4 \text{ kW}$$

$$c_3 P_{ad} = 0 \times 2 = 0 \text{ kW}$$

以上各组中, 以 $c_1 P_{ad} = 12.6 \text{ kW}$ 为最大, 因此总的计算负荷为

$$P_c = (13.44 + 1.95 + 1.4) + 12.6 = 29.39 \text{ kW}$$

$$Q_c = (13.44 \times 1.73 + 1.95 \times 0.75 + 0) + 12.6 \times 1.73 = 46.51 \text{ kvar}$$

$$S_c = \sqrt{29.39^2 + 46.51^2} = 55.02 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

把例 2-6 运算结果同例 2-4 比较, 可见其计算值比例 2-4 的值为大。供电设计的实践表明, 计算低压分支干线或支线时, 采用需要系数法的计算结果偏小, 以二项式系数法计算较为合适。

2.3.4 单相负荷计算

1. 概述

在工厂里, 除了广泛应用的三相设备外, 还应用有电焊机、电炉、电灯等各种单相设备。单相设备接在三相线路中, 应尽可能均衡分配, 使三相负荷尽可能均衡。如果三相线路中单相设备的总容量不超过三相设备总容量的 15%, 则不论单相设备如何分配, 单相设备可与三相设备综合按三相负荷平衡计算。如果单相设备容量超过三相设备容量的 15%, 则将单相设备容量换算为等效三相设备容量, 再与三相设备容量相加。

由于确定计算负荷的目的主要是选择线路上的设备和导线(包括电缆), 使线路上的设备和导线在通过计算电流时不致过热或损坏, 因此在接有较多单相设备的三相线路中, 不论单相设备接于相电压还是线电压, 只要三相负荷不平衡, 就应以最大负荷相有功负荷的 3 倍作为等效三相有功负荷, 以满足安全运行的要求。

2. 单相设备组等效三相负荷计算

(1) 单相设备接于相电压时的等效三相负荷计算

等效三相设备容量 P_e 应按最大负荷相所接单相设备容量 $P_{\Sigma \text{ max}}$ 的 3 倍计算, 即

$$P_e = 3P_{e, \text{eq}} \quad (2-26)$$

等效三相计算负荷则按前述需要系数法计算。

(2) 单相设备接于线电压时的等效三相负荷计算

由于容量为 $P_{e, \varphi}$ 的单相设备接在线电压上产生的电流 $I = P_{e, \varphi} / (U \cos \varphi)$, 这一电流应与等效三相设备容量 P_e 产生的电流 $I' = P_e / (\sqrt{3} U \cos \varphi)$ 相等, 因此其等效三相设备容量为

$$P_e = \sqrt{3} P_{e, \varphi} \quad (2-27)$$

(3) 单相设备分别接于线电压和相电压时的等效三相负荷计算

首先应将接于线电压的单相设备容量换算为接于相电压的设备容量, 然后分相计算各相的设备容量和计算负荷。总的等效三相有功计算负荷为其最大有功负荷相的有功计算负荷 $P_{30, \text{eq}}$ 的 3 倍, 即

$$P_{30} = 3P_{30, \text{eq}} \quad (2-28)$$

总的等效三相无功计算负荷为最大有功负荷相的无功计算负荷 $Q_{30, \text{eq}}$ 的 3 倍, 即

$$Q_{30} = 3Q_{30, \text{eq}} \quad (2-29)$$

关于将接于线电压的单相设备容量换算为接于相电压的设备容量的问题, 可按下列换算公式进行换算:

$$\text{A 相} \quad P_A = p_{AB-A} P_{AB} + p_{CA-A} P_{CA} \quad (2-30)$$

$$Q_A = q_{AB-A} P_{AB} + q_{CA-A} P_{CA} \quad (2-31)$$

$$\text{B 相} \quad P_B = p_{BC-B} P_{BC} + p_{AB-B} P_{AB} \quad (2-32)$$

$$Q_B = q_{BC-B} P_{BC} + q_{AB-B} P_{AB} \quad (2-33)$$

$$\text{C 相} \quad P_C = p_{CA-C} P_{CA} + p_{BC-C} P_{BC} \quad (2-34)$$

$$Q_C = q_{CA-C} P_{CA} + q_{BC-C} P_{BC} \quad (2-35)$$

式中 P_{AB}, P_{BC}, P_{CA} ——接于 AB、BC、CA 相间的有功设备容量;

P_A, P_B, P_C ——换算为 A、B、C 相的有功设备容量;

Q_A, Q_B, Q_C ——换算为 A、B、C 相的无功设备容量;

$p_{AB-A}, q_{AB-A}, \dots$ ——接于 AB 等相间的设备容量换算为 A 等相设备容量的有功和无功换算系数, 其值见表 2-3。

表 2-3 相间负荷换算为相负荷的功率换算系数

功率换算系数	负荷功率因数								
	0.35	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.8	0.9	1.0
$p_{AB-A}, p_{BC-B}, p_{CA-C}$	1.27	1.17	1.0	0.89	0.84	0.8	0.72	0.64	0.5
$p_{AB-B}, p_{BC-C}, p_{CA-A}$	-0.27	-0.17	0	0.11	0.16	0.2	0.28	0.36	0.5
$q_{AB-A}, q_{BC-B}, q_{CA-C}$	1.05	0.86	0.58	0.38	0.3	0.22	0.09	-0.05	-0.29
$q_{AB-B}, q_{BC-C}, q_{CA-A}$	1.63	1.44	1.16	0.96	0.88	0.8	0.67	0.53	0.29

2.4 功率损耗和电能损耗

2.4.1 功率损耗

要确定电力用户的计算负荷, 首先要考虑线路和变压器的功率损耗。