

第3章 电气计算负荷

内容提要：本章首先介绍电力负荷的概念和负荷曲线，其次是负荷的估算方法，然后着重讲述用电设备组计算负荷和工厂计算负荷的确定方法，重点在需要系数法。本章内容是用户供电系统运行分析和设计计算的基础。

3.1 电力负荷与负荷曲线

供电系统要能安全可靠地正常运行，其中各个元件（包括电力变压器、开关设备及导线电缆等）都必须选择得当，除了应满足工作电压和频率的要求外，最重要的就是要满足负荷电流的要求。因此有必要对供电系统中各个环节的电力负荷进行统计计算。

3.1.1 电力负荷概念

电力负荷是指单台用电设备或一组用电设备从电源取用的电功率，包括有功功率、无功功率和视在功率。

通过负荷的统计计算求出的、用来按发热条件选择供电系统中各元件的负荷值，称为计算负荷(calculated load)。根据计算负荷选择的电气设备和导线电缆，如果以计算负荷连续运行，其发热温度不会超过允许值。

由于导体通过电流达到稳定温升的时间大约需 $(3\sim 4)\tau$ ， τ 为发热时间常数。截面在 16mm^2 及以上的导体，其 $\tau\geq 10\text{min}$ ，因此载流导体大约经30min(半小时)后可达到稳定温升值。由此可见，计算负荷实际上与从负荷曲线上查得的半小时最大负荷 P_{30} (亦即年最大负荷 P_{max})是基本相当的。所以，计算负荷也可以认为就是半小时最大负荷。本来有功计算负荷可表示为 P_c ，无功计算负荷可表示为 Q_c ，计算电流可表示为 I_c ，但考虑到“计算”的符号c容易与“电容”的符号C相混淆，因此大多数供电书籍都借用半小时最大负荷 P_{30} 来表示有功计算负荷，无功计算负荷、视在计算负荷和计算电流则分别表示为 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 。这样表示，也使计算负荷的概念更加明确。

这里， P_c 和 P_{30} 均表示计算负荷。

3.1.2 负荷分级

各级用电负荷的供电电源和供电方式，应根据负荷对供电可靠性的要求和地区供电条件，按照负荷等级确定。按GB 50052—1995《供配电系统设计规范》规定，根据其对供电可靠性的要求及中断供电造成的损失或影响的程度分为三级：

1. 一级负荷(关键负荷)

突然停电将关乎人身生命安全，或在经济上造成重大损失，或在政治上造成重大不良影响。

一级负荷应由两路电源供电，当其中一路电源发生故障时，另一路电源应不致同时受到损坏。有特殊要求的一级负荷，两个独立电源应来自两个不同的地点。两个供电电源应在设备的控制箱内实现自动切换，切换时间应满足设备允许中断供电的要求。一级负荷中特

别重要的是负荷,除上述两路电源外,还必须增设应急电源。

为保证对特别重要负荷的供电,严禁将其他负荷接入应急供电系统。常用的应急电源有:

- ① 独立于正常电源的发电机组。
- ② 供电网络中独立于正常电源的专门供电线路。
- ③ 蓄电池。
- ④ 干电池。

在一级负荷中,当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所不允许中断供电的负荷,应视为特别重要的负荷。

2. 二级负荷(重要负荷)

突然停电将在经济上造成较大损失,或在政治上造成不良影响。二级负荷应由两回路供电,并可在配电装置内实现切换,当一回线路故障时,应不影响另一回路供电。当负荷较小或取得两回路有困难时,可由一回专用线路供电。小容量负荷可以采用一路电源加不间断电源,或一路电源加设备自带的蓄电池组在末端实现切换。

3. 三级负荷(一般负荷)

不属于一级和二级负荷者。三级负荷对供电方式无特殊要求,但在不增加投资或经济允许的情况下,也应尽量提高供电可靠性。

3.1.3 用电设备工作制

设备安装容量 P_N (亦称设备功率)是指连续工作的用电设备铭牌上的标称功率 P_E 。但是,用电设备往往因工作性质不同而具有不同的运行工作制,这时,从供电安全性和经济性两方面来考虑,应按设备铭牌功率予以折算。

工厂的用电设备,按其工作制分以下三类:

1. 连续运行工作制

能长期连续运行,每次连续工作时间超过 8h,运行时负荷比较稳定。在计算其设备容量时,直接查取其铭牌上的额定容量。这类工作制设备在恒定负荷下运行,且运行时间长到足以使之达到热平衡状态,如通风机、水泵、空气压缩机、电动发电机组、电炉和照明灯等。机床电动机的负荷,一般变动较大,但其主电动机一般也是连续运行的。

2. 短时运行工作制

这类设备的工作时间较短,停歇时间较长。在计算其设备容量时,直接查取其铭牌上的额定容量。这类工作制设备在恒定负荷下运行的时间短(短于达到热平衡所需的时间),而停歇时间长(长到足以使设备温度冷却到周围介质的温度),如机床上的某些辅助电动机(例如进给电动机)、控制闸门的电动机等。

3. 断续周期工作制

这类工作制设备周期性地时而工作,时而停歇,如此反复运行,而工作周期一般不超过 10min,无论工作或停歇,均不足以使设备达到热平衡,如电焊机和吊车电动机等。这类设备的工作呈周期性,时而工作时而停歇,如此反复,且工作时间与停歇时间有一定比例。

断续周期工作制设备,可用“负荷持续率”(又称暂载率)来表示其工作特征。负荷持续率为一个工作周期内工作时间与工作周期的百分比值,用 ϵ 表示,即

$$\epsilon = \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中： T 为工作周期； t 为工作周期内的工作时间； t_0 为工作周期内的停歇时间。

断续周期工作制设备的额定容量(铭牌容量) P_N ，是对应于某一标称负荷持续率 ϵ_N 的。如果实际运行的负荷持续率 $\epsilon \neq \epsilon_N$ ，则实际容量 P_e 应按同一周期内等效发热条件进行换算。由于电流 I 通过电阻为 R 的设备在时间 t 内产生的热量为 I^2Rt ，因此在设备产生相同热量的条件下， $I \propto 1/\sqrt{t}$ ；而在同一电压下，设备容量 $P \propto I$ ；又由式(3-1)知，同一周期 T 的负荷持续率 $\epsilon \propto t$ 。因此 $P \propto 1/\sqrt{\epsilon}$ ，即设备容量与负荷持续率的平方根值成反比。由此可见，如果设备在 ϵ_N 下的容量为 P_N ，则换算到实际 ϵ 下的容量 P_e 为

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon}} \quad (3-2)$$

3.1.4 设备容量计算

电力负荷计算中的设备容量 P_e ，此容量的计算与用电设备组的工作制有关，不含备用设备的容量。

一般连续工作制和短时工作制的用电设备组容量计算，其设备容量是所有设备的铭牌额定容量之和。

断续周期工作制的设备容量计算，其设备容量是将所有设备在不同负荷持续率下的铭牌额定容量换算到一个规定的负荷持续率下的容量之和。容量换算的公式如式(3-2)所示。断续周期工作制的用电设备常用的有电焊机和吊车电动机，各自的换算要求如下：

① 电焊机组 电焊机的铭牌负荷持续率有20%、40%、50%、60%、75%、100%等多种，要求容量统一换算到 $\epsilon=100\%$ ，因此由式(3-2)可得换算后的设备容量为

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{100}}} = S_N \cos\varphi \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{100}}}$$

即

$$P_e = P_N \sqrt{\epsilon_N} = S_N \cos\varphi \sqrt{\epsilon_N} \quad (3-3)$$

式中： P_N 、 S_N 为电焊机的铭牌容量(前者为有功功率，后者为视在功率)； ϵ_N 为与铭牌容量相对应的负荷持续率(计算中用小数)； ϵ_{100} 为其值等于100%的负荷持续率(计算中用1)； $\cos\varphi$ 为铭牌规定的功率因数。

② 吊车电动机组，吊车(起重机)的铭牌负荷持续率有15%、25%、40%、60%等，要求容量统一换算到 $\epsilon=25\%$ ，因此由式(3-2)可得换算后的设备容量为

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon_{25}}} = 2P_N \sqrt{\epsilon_N} \quad (3-4)$$

式中： P_N 为吊车电动机的铭牌容量； ϵ_N 为与 P_N 对应的负荷持续率(计算中用小数)； ϵ_{25} 为其值等于25%的负荷持续率(计算中用0.25)。

3.1.5 负荷曲线及有关物理量

1. 负荷曲线

在生产过程中，由于生产过程的变化或用电设备使用上的随机性，实际负荷都是随着时

间而变化的。电力负荷随时间变化的曲线称为负荷曲线,它能反映用户用电的特点和规律。

按负荷种类分,有有功功率负荷曲线和无功功率负荷曲线;按时间长短分,有日负载曲线和年负载曲线;按计量地点分,有用户的负荷曲线、电力线路的负荷曲线、变电站的负荷曲线、发电厂的负荷曲线以及整个系统的负荷曲线。

图 3-1 为某企业有功日负荷曲线,图 3-2 为有功年负荷曲线。

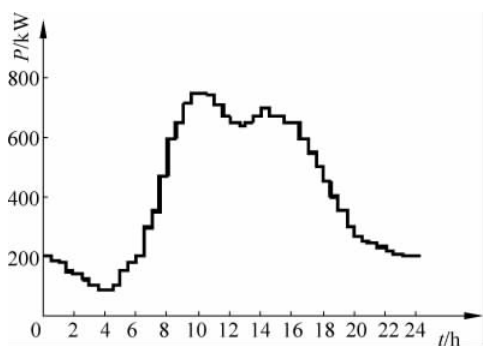


图 3-1 日负荷曲线

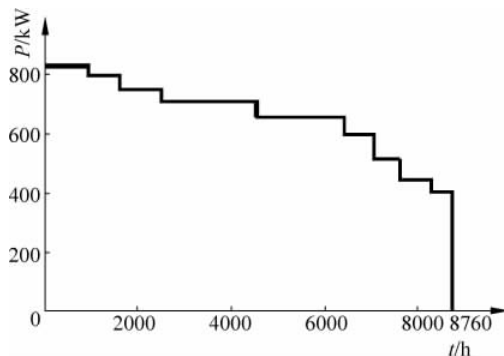


图 3-2 年负荷曲线

2. 负荷的表示方式

① 平均负荷 P_{av} : 平均负荷是指电力负荷在一段时间内的平均值。电力用户的年平均负荷 P_{av} 可由年电能消耗量与年工作时间之比来计算:

$$P_{av} = \frac{W_a}{T_{gz}} \quad (3-5)$$

② 最大负荷 P_{max} : 最大负荷是指一年中典型日负荷曲线(全年至少出现 3 次的最大负荷工作班内的负荷曲线)中的最大负荷,即 30min 内消耗电能最大时的平均负荷,记作 P_{max} 或 P_{30} 。

③ 有效负荷 P_e : 有效负荷是指由典型工作班负荷曲线(工作班时间为 T)按下式计算所得的有效值:

$$P_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2 dt} \quad (3-6)$$

④ 计算负荷 P_c : 电力用户的实际负荷并不等于用户中所有用电设备额定功率之和。这是因为,实际运行中,并非所有设备都同时投入工作,并非所有设备都能工作于额定状态,并非所有设备的功率因数都相同,还应考虑用电设备的效率与配电设备的功率损耗。

因此,在用户供电系统设计中,必须首先找出这些用电设备的等效负荷。所谓等效是指用电设备在实际运行中对配电设备所产生的最大热效应与等效负荷产生的热效应相等,或实际负荷产生的最大温升与等效负荷产生的温升相等。从等效的含义上讲,前述“半小时最大平均负荷”就是等效负荷。等效负荷可以作为供电系统设计和电气设备选择的依据。在供电系统设计中,将等效负荷称为计算负荷 P_c 。

3. 负荷相关的系数

① 负荷系数: 负荷系数是指平均负荷与最大负荷之比,它反映了负荷的平稳程度。

$$K_L = \frac{P_{av}}{P_{max}} \quad (3-7)$$

② 利用系数：利用系数是针对用电设备组而言的。利用系数 K_x 定义为用电设备组在最大负荷工作班内消耗的平均负荷 P_{av} 与该设备组的总安装容量 $\sum P_N$ 之比，即

$$K_x = \frac{P_{av}}{\sum P_N} \quad (3-8)$$

③ 形状系数：形状系数也是针对用电设备组或用户整体而言的。形状系数 K_z 定义为有效负荷 P_e 与平均负荷 P_{av} 之比，即

$$K_z = \frac{P_e}{P_{av}} \quad (3-9)$$

3.2 负荷估算

在工程方案和初步设计阶段，通常要做电力负荷的估算，根据建筑面积、行业特点及经济发展情况等进行负荷容量的估算。

3.2.1 年最大负荷和年最大负荷利用小时数

1. 年最大负荷

年最大负荷 P_{max} 就是全年中负荷最大的工作班内（这一工作班的最大负荷不是偶然出现的，而是全年至少出现 2~3 次）消耗电能最大的半小时平均功率。因此年最大负荷也称为半小时最大负荷 P_{30} 。

2. 年最大负荷利用小时

年最大负荷利用小时数 T_{max} 是这样一个假想时间：电力负荷按照最大负荷 P_{max} 持续运行 T_{max} 时间所消耗的电能恰好等于该电力负荷全年实际消耗的电能 W_a 。如图 3-3 所示，年最大负荷 P_{max} 延伸到 T_{max} 的横线与两坐标轴所包围的矩形面积，恰好等于年负荷曲线与两坐标轴所包围的面积，即全年实际消耗的电能 W_a ，因此年最大负荷利用小时数为

$$T_{max} = \frac{W_a}{P_{max}} \quad (3-10)$$

式中： W_a 为年实际消耗的电能。

根据实际运行经验，各类负荷的 T_{max} 大致有一个范围，见表 3-1。某些企业的年最大负荷利用小时数见表 3-2。

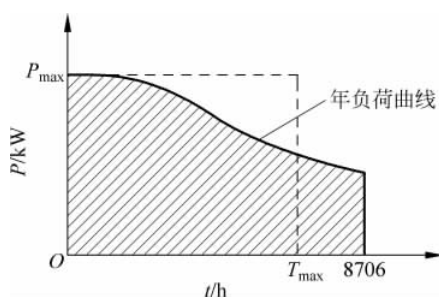


图 3-3 年最大负荷和年最大负荷利用小时

表 3-1 各类用户负荷的年最大负荷利用小时 T_{max} 值

负荷类型	T_{max} (h)	负荷类型	T_{max} (h)
户内照明及生活用电	2000—3000	三班制企业用电	6000—7000
一班制企业用电	1500—2200	农业灌溉用电	1000—1500
二班制企业用电	3000—4000		

表 3-2 某些企业的年最大负荷利用小时数

工厂类别	年最大负荷利用小时数(h)	
	有功负荷	无功负荷
重型机械制造厂	3770	4840
机床厂	4345	4750
工具厂	4140	4960
滚珠轴承厂	5300	6130
启动运输设备厂	3300	3880
汽车拖拉机厂	4960	5240
农业机械制造厂	5330	4220
仪器制造厂	3080	3180
汽车修理厂	4370	3200
车辆修理厂	3560	3660
电器工厂	4280	6420
金属加工厂	4355	5880

3.2.2 单位产品耗电量法

若已知某企业的产品和产量,查表可得该产品的单位产品耗电量 ω 和该类工厂的年最大负荷利用小时数 T_{\max} ,进而按下式求出企业年电能需要量 W_a 和计算负荷 P_c 。

$$\left. \begin{aligned} W_a &= \omega n \\ P_c &= \frac{W_a}{T_{\max}} \end{aligned} \right\} \quad (3-11)$$

各类工厂的单位产品耗电量可由有关设计手册或根据实测资料确定。若已知某车间或某企业的年生产量 m 和每一产品的单位耗电量 a (见表 3-3),则企业全年电能 W 为:

$$W = m \times a \quad (3-12)$$

表 3-3 各种产品的单位耗电量

产品名称	单位	单位产品耗电量(kW·h)
有色金属锻造	吨	600~1000
铸铁件	吨	300
锻铁件	吨	30~80
拖拉机	台	5000~8000
汽车	辆	1500~2500
轴承	套	1~4
并联电容器	kVar	3
电表	只	7
变压器	kVA	2.5
电动机	kW	14
量具、刀具	吨	6300~8500
工作母机	吨	1000
重型机床	吨	1600

3.2.3 负荷密度法

已知建筑面积 $A(\text{m}^2)$, 并查设计手册, 得到同类建筑的负荷密度指标 $\rho(\text{W}/\text{m}^2)$, 则计算负荷 P_c 可按下式求得: $P_c = \rho A$

若已知车间生产面积 $S(\text{m}^2)$ 和负荷密度指标 $\rho(\text{kW}/\text{m}^2)$ 时, 车间平均负荷为

$$P_{\text{av}} = \rho \cdot S \quad (3-13)$$

车间负荷密度指标如表 3-4 所示, 各类建筑物的用电指标如表 3-5 所示。

车间计算负荷 P_c 为

$$P_c = \frac{P_{\text{av}}}{\alpha} \quad (3-14)$$

式中: α 为有功负荷系数。

表 3-4 车间低压负荷密度指标

车间类别	负荷密度指标 $\rho(\text{kW}/\text{m}^2)$	车间类别	负荷密度指标 $\rho(\text{kW}/\text{m}^2)$
铸钢车间(不包括电弧炉)	0.055~0.06	木工车间	0.66
焊接车间	0.04	煤气站	0.09~0.13
铸铁车间	0.06	锅炉房	0.15~0.2
金工车间	0.1	压缩空气站	0.15~0.2

表 3-5 各类建筑物的用电指标

建筑类别	用电指标 (W/m^2)	建筑类别	用电指标 (W/m^2)
公寓	30~50	医院	40~70
旅馆	40~70	高等学校	20~40
办公	40~80	中小学	12~20
商业	一般: 40~80	展览馆	50~80
	大中型: 70~130		
体育	40~70	演播厅	250~500
剧场	50~80	汽车库	8~15

3.2.4 形状系数法

- (1) 将用电设备分组, 求出各用电设备组的总安装容量。
- (2) 查出各用电设备组的利用系数及对应的功率因数, 计算平均负荷:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{av}} &= \sum P_{\text{av},i} = \sum (K_{x,i} P_{N,i}) \\ Q_{\text{av}} &= \sum Q_{\text{av},i} = \sum (P_{\text{av},i} \tan \phi_i) \end{aligned} \right\}$$

- (3) 根据负荷的平稳程度, 适当选择形状系数 K_Z 的值(一般情况下可取 $K_Z = 1.15$), 按下式估计计算负荷:

$$\left. \begin{aligned} P_c &\approx P_e = K_Z P_{\text{av}} \\ Q_c &\approx Q_c = K_Z Q_{\text{av}} \end{aligned} \right\} \quad (3-15)$$

3.3 负荷计算

计算负荷是供电设计计算的基本依据,直接影响到电器和导线电缆的选择是否经济合理。虽然各类负荷的变化有一定的规律可循,实际上,负荷不是一成不变的,影响计算负荷的因素很多,它与设备的性能、生产的组织、生产者的技能及能源供应的状况等多种因素有关。因此负荷计算也只能力求接近实际。

目前普遍采用的确定用电设备组计算负荷的方法,有需要系数法和二项式法。需要系数法比较简便。二项式法的应用局限性较大,但在确定设备台数较少而容量差别较大的分支干线的计算负荷时,采用二项式法较之需要系数法合理,且计算也比较简便。本书只介绍这两种计算方法。

3.3.1 需要系数法

1. 需要系数概念

用电设备组的计算负荷,是指用电设备组从供电系统中取用的半小时最大负荷 P_{30} ,如图 3-4 所示。用电设备组的设备容量 p_e ,是指用电设备组所有设备(不含备用的设备)的额定容量 P_N 之和,即 $p_e = \sum P_N$ 。而设备的额定容量 P_N 是设备在额定条件下的最大输出功率(出力)。但是用电设备组的设备实际上不一定都同时运行,运行的设备也不太可能都满负荷,同时设备本身和配电线路还有功率损耗,因此用电设备组的有功计算负荷应为

$$P_{30} = \frac{K_{\Sigma} K_L}{\eta_e \eta_{WL}} P_e \quad (3-16)$$

式中: K_{Σ} 为设备组的同时系数,即设备组在最大负荷时运行的设备容量与全部设备容量之比; K_L 为设备组的负荷系数,即设备组在最大负荷时输出功率与运行的设备容量之比; η_e 为设备组的平均效率,即设备组在最大负荷时输出功率与取用功率之比; η_{WL} 为配电线路的平均效率,即配电线路在最大负荷时的末端功率(亦即设备组取用功率)与首端功率(亦即计算负荷)之比。

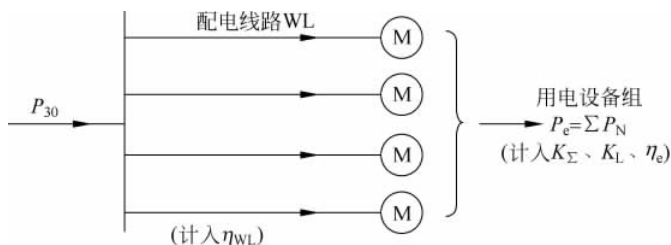


图 3-4 用电设备组的计算负荷说明

令上式中的 $K_{\Sigma} K_L / (\eta_e \eta_{WL}) = K_d$, 这里的 K_d 称为需要系数。所以,需要系数为

$$K_d = \frac{P_{30}}{P_e} \quad (3-17)$$

即用电设备组的需要系数,为用电设备组的半小时最大负荷与其设备容量的比值。

实际上,需要系数值不仅与用电设备组的工作性质、设备台数、设备效率和线路损耗等

因素有关,而且与操作人员的技能和生产组织等多种因素有关,因此应尽可能地通过实测分析确定,使之尽量接近实际。

附录表 A-1 列出工厂各种用电设备组的需要系数值,供参考。

附录表 A-1 所列需要系数是按车间范围内台数较多的情况来确定的。所以需要系数值一般都比较低,例如冷加工机床组的需要系数平均只有 0.2 左右。因此需要系数法较适用于确定车间的计算负荷。如果采用需要系数法来计算分支干线上用电设备组的计算负荷,则附录表 1 中的需要系数值往往偏小,宜适当取大。只有 1~2 台设备时,可认为 $K_d=1$,即 $P_{30}=P_e$ 。

住宅用电负荷需要系数见表 3-6。

表 3-6 住宅用电负荷需要系数

按单相配电计算时所连接的基本户数	按三相配电计算时所连接的基本户数	需要系数	
		通用值	推荐值
3	9	1	1
4	12	0.95	0.95
6	18	0.75	0.80
8	24	0.66	0.70
10	30	0.58	0.65
12	36	0.50	0.60
14	42	0.48	0.55
16	48	0.47	0.55
18	54	0.45	0.50
21	63	0.43	0.50
24	72	0.41	0.45
25~100	75~300	0.40	0.45
125~200	375~600	0.33	0.35

2. 需要系数法负荷计算

按需要系数法确定三相用电设备组有功计算负荷的基本公式为

$$P_{30} = K_d P_e \quad (3-18)$$

在求出有功计算负荷 P_{30} 后,无功计算负荷为

$$Q_{30} = P_{30} \tan\varphi \quad (3-19)$$

式中 $\tan\varphi$ 为对应于用电设备组 $\cos\varphi$ 的正切值。视在计算负荷为

$$S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos\varphi} \quad (3-20)$$

式中 $\cos\varphi$ 为用电设备组的平均功率因数。计算电流为

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N} \quad (3-21)$$

如果只有一台三相电动机,则此电动机的计算电流就取其为额定电流,即

$$I_{30} = I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3}U_N \eta \cos\phi} \quad (3-22)$$

式中 U_N 为用电设备组的额定电压。负荷计算中常用的单位：有功功率为“千瓦”(kW)，无功功率为“千乏”(kVar)，视在功率为“千伏安”(kVA)，电流为“安”(A)，电压为“千伏”(kV)。

例 3-1 已知某机修车间的金属切削机床组，拥有电压为 380V 的三相电动机 7.5kW 3 台，4kW 8 台，3kW 17 台，1.5kW 10 台。试求其计算负荷。

解：此机床组电动机的总容量为

$$P_e = 7.5\text{kW} \times 3 + 4\text{kW} \times 8 + 3\text{kW} \times 17 + 1.5\text{kW} \times 10 = 120.5\text{kW}$$

查附录表 A-1 中“小批生产的金属冷加工机床电动机”项，得 $K_d = 0.16 \sim 0.2$ (取 0.2)， $\tan\varphi = 1.73$ ，因此可求得：

有功计算负荷

$$P_{30} = 0.2 \times 120.5\text{kW} = 24.1\text{kW}$$

无功计算负荷

$$Q_{30} = 24.1\text{kW} \times 1.73 = 41.7\text{kVar}$$

视在计算负荷

$$S_{30} = \frac{24.1\text{kW}}{0.5} = 48.2\text{kVA}$$

计算电流

$$I_{30} = \frac{48.2\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 73.2\text{A}$$

3. 单相用电设备计算负荷的确定

当单相用电设备的总容量小于三相设备总容量的 15% 时，不论单相设备如何分配，均可直接按三相平衡负荷计算；若单相用电设备的总容量大于三相用电设备总容量的 15% 时，则需将其换算成三相等效负荷后，再参与负荷计算。

单相用电设备换算为三相等效设备容量的方法如下：

(1) 单相设备接于相电压时，将三相线路中单相用电设备容量最大的一相乘以 3 作为三相等效设备容量。

(2) 单相设备接于线电压时，先将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，再分相计算各相的设备容量，取最大负荷相的设备容量的 3 倍来作为等效的三相负荷容量。

4. 多组用电设备计算负荷的确定

对于干线上的多组用电设备或车间变电所低压母线上要确定计算负荷时，应考虑各组用电设备的最大负荷不同时出现的因素。应结合具体情况对其有功负荷和无功负荷分别计入一个同时系数 $K_{\Sigma p}$ 和 $K_{\Sigma q}$ ：

对车间干线，取 $K_{\Sigma p} = 0.85 \sim 0.95$ ， $K_{\Sigma q} = 0.90 \sim 0.97$

对低压母线，分两种情况：

(1) 由用电设备组的计算负荷直接相加来计算时，取 $K_{\Sigma p} = 0.80 \sim 0.90$ ， $K_{\Sigma q} = 0.85 \sim 0.95$ 。

(2) 由车间干线的计算负荷直接相加来计算时，取 $K_{\Sigma p} = 0.90 \sim 0.95$ ， $K_{\Sigma q} = 0.93 \sim 0.97$ 。

总的有功计算负荷为

$$P_{30} = K_{\Sigma p} \sum P_{30,i}$$

总的无功计算负荷为

$$Q_{30} = K_{\Sigma q} \sum Q_{30,i}$$

以上两式中的 $\sum P_{30,i}$ 和 $\sum Q_{30,i}$ 分别为各组设备的有功和无功计算负荷之和。

总的视在计算负荷为

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}$$

总的计算电流为

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N}$$

例 3-2 某机修车间 380V 线路上,接有金属切削机床电动机 20 台共 50kW (其中较大容量电动机有 7.5kW 1 台,4kW 3 台,2.2kW 7 台),通风机 2 台共 3kW,电阻炉 1 台 2kW。试确定此线路上的计算负荷。

先求各组的计算负荷。

(1) 金属切削机床组

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

故

$$P_{30(1)} = 0.2 \times 50 \text{kW} = 10 \text{kW}$$

$$Q_{30(1)} = 10 \text{kW} \times 1.73 = 17.3 \text{kVar}$$

(2) 通风机组

查附录表 A-1,取

$$K_d = 0.8, \cos\varphi = 0.8, \tan\varphi = 0.75$$

故

$$P_{30(2)} = 0.8 \times 3 \text{kW} = 2.4 \text{kW}$$

$$Q_{30(2)} = 2.4 \text{kW} \times 0.75 = 1.8 \text{kVar}$$

(3) 电阻炉

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

故

$$P_{30(3)} = 0.7 \times 2 \text{kW} = 1.4 \text{kW}$$

$$Q_{30(3)} = 0$$

因此总的计算负荷为 ($K_{\Sigma p} = 0.95, K_{\Sigma q} = 0.97$)

$$P_{30} = 0.95 \times (10 + 2.4 + 1.4) \text{kW} = 13.1 \text{kW}$$

$$Q_{30} = 0.97 \times (17.3 + 1.8) \text{kVar} = 18.5 \text{kVar}$$

$$S_{30} = \sqrt{13.1^2 + 18.5^2} \text{kVA} = 22.7 \text{kVA}$$

$$I_{30} = \frac{22.7 \text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{kV}} = 34.5 \text{A}$$

5. 尖峰电流及其计算

尖峰电流是指持续时间 1~2s 的短时最大电流。尖峰电流主要用来选择熔断器和低压断路器、整定继电保护装置及检验电动机自启动条件等。

(1) 单台用电设备尖峰电流的计算

单台用电设备的尖峰电流就是其启动电流,因此尖峰电流为

$$I_{pk} = I_{st} = K_{st} I_N \quad (3-23)$$

式中 I_N 为用电设备的额定电流; I_{st} 为用电设备的启动电流; K_{st} 为用电设备的启动电流倍数,笼型电动机为 $K_{st}=5\sim7$,绕线转子电动机 $K_{st}=2\sim3$,直流电动机 $K_{st}=1.7$,电焊变压器 $K_{st}\geq 3$ 。

(2) 多台用电设备尖峰电流的计算

引至多台用电设备的线路上的尖峰电流按下式计算:

$$I_{pk} = K_{\Sigma} \sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i} + I_{st,max} \quad (3-24)$$

或者

$$I_{pk} = I_{30} + (I_{st} - I_N)_{max} \quad (3-25)$$

式中: $I_{st,max}$ 和 $(I_{st} - I_N)_{max}$ 分别为用电设备中启动电流与额定电流之差为最大的那台设备的启动电流及其启动电流与额定电流之差; $\sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i}$ 为将启动电流与额定电流之差为最大的那台设备以外的其他 $n-1$ 台设备的额定电流之和; K_{Σ} 为上述 $n-1$ 台设备的同时系数,按台数多少选取,一般取 $0.7\sim 1$; I_{30} 为全部设备投入运行时线路的计算电流。

3.3.2 二项式法

1. 计算公式

二项式法的计算公式为

$$P_{30} = bP_e + cP_x \quad (3-26)$$

式中: bP_e 表示设备组的平均功率,其中 P_e 是用电设备组的设备总容量,其计算方法如前需要系数法所述; cP_x 表示设备组中 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 是二项式系数。附录表 A-1 中也列有部分用电设备组的二项式系数 b, c 和最大容量的设备台数 x 值,供参考。

如果用电设备组只有 $1\sim 2$ 台设备时,则可认为 $P_{30} = P_e$ 。对于单台电动机,则 $P_{30} = P_N/\eta$,这里 P_N 为电动机额定容量, η 为其额定效率。在设备台数较少时, $\cos\phi$ 值也宜适当取大。

由于二项式法不仅考虑了用电设备组最大负荷时的平均负荷,而且考虑了少数容量最大的设备投入运行时对总计算负荷的额外影响,所以二项式法比较适于确定设备台数较少而容量差别较大的低压干线和分支线的计算负荷。但是二项式系数 b, c 和 x 的值,缺乏充分的理论依据,而且只有机械工业方面的部分数据,从而使其应用受到一定的限制。

例 3-3 试用二项式法来确定例 3-1 所示机床组的计算负荷。

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

设备总容量(见例 3-1)为

$$P_e = 120.5\text{kW}$$

x 台最大容量的设备容量为

$$P_x = P_5 = 7.5\text{kW} \times 3 + 4\text{kW} \times 2 = 30.5\text{kW}$$

因此按式(3-26)可求得其有功计算负荷为

$$P_{30} = 0.14 \times 120.5 \text{kW} + 0.4 \times 30.5 \text{kW} = 29.1 \text{kW}$$

从而得到

$$Q_{30} = 29.1 \text{kW} \times 1.73 = 50.3 \text{kVar}$$

$$S_{30} = \frac{29.1 \text{kW}}{0.5} = 58.2 \text{kVA}$$

$$I_{30} = \frac{58.2 \text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{kV}} = 88.4 \text{A}$$

比较例 3-1 和例 3-3 的计算结果可以看出,按二项式法计算的结果比按需要系数法计算的结果稍大,特别是在设备台数较少的情况下。供电设计的经验说明,选择低压分支干线或分支线时,按需要系数法计算的结果往往偏小,以采用二项式法计算为宜。我国建筑行业标准 JGJ/T 16—1992《民用建筑电气设计规范》也规定:“用电设备台数较少、各台设备容量相差悬殊时,宜采用二项式法。”

2. 多组用电设备计算负荷的确定

采用二项式法确定多组用电设备总的计算负荷时,也应考虑各组用电设备的最大负荷不同时出现的因素,但不是计入一个同时系数,而是在各组设备中取其中一组最大的有功附加负荷 $(cP_x)_{\max}$,再加上各组的平均负荷 bP_e ,由此求得其总的有功计算负荷为

$$P_{30} = \sum (bP_e)_i + (cP_x)_{\max} \quad (3-27)$$

总的无功计算负荷为

$$Q_{30} = \sum (bP_e \tan \phi)_i + (cP_x)_{\max} \tan \phi_{\max} \quad (3-28)$$

式中 $\tan \phi_{\max}$ 为最大附加负荷 $(cP_x)_{\max}$ 的设备组的平均功率因数角的正切值。

例 3-4 试用二项式法确定例 3-2 所述机修车间 380V 线路的计算负荷。

解: 先求各组的 bP_e 和 cP_x

(1) 金属切削机床组

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

故

$$bP_{e(1)} = 0.14 \times 50 \text{kW} = 7 \text{kW}$$

$$cP_{x(1)} = 0.4 \times (7.5 \text{kW} \times 1 + 4 \text{kW} \times 3 + 2.2 \text{kW} \times 1) = 8.68 \text{kW}$$

(2) 通风机组

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

$$bP_{e(2)} = 0.65 \times 3 \text{kW} = 1.95 \text{kW}$$

$$cP_{x(2)} = 0.25 \times 3 \text{kW} = 0.75 \text{kW}$$

(3) 电阻炉

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

$$bP_{e(3)} = 0.7 \times 2 \text{kW} = 1.4 \text{kW}, \quad cP_{x(3)} = 0$$

以上各组设备中,附加负荷以 $cP_{x(1)}$ 为最大,因此总计算负荷为

$$P_{30} = (7 + 1.95 + 1.4) \text{kW} + 8.68 \text{kW} = 19 \text{kW}$$

$$Q_{30} = (7 \times 1.73 + 1.95 \times 0.75 + 0) \text{kVar} + 8.68 \times 1.73 \text{kVar} = 28.6 \text{kVar}$$

$$S_{30} = \sqrt{19^2 + 28.6^2} \text{kVA} = 34.3 \text{kVA}$$

$$I_{30} = \frac{34.3\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 52.1\text{A}$$

比较例 3-2 和例 3-4 的计算结果可以看出,按二项式法计算的结果较之按需要系数法计算的结果大得比较多,这也更加合理。

3.4 无功补偿后的工厂计算负荷

《供电营业规则》规定:用户在当地供电企业规定的电网高峰负荷时的功率因数应达到下列规定:100kVA 及以上高压供电的用户功率因数为 0.90 以上。其他电力用户和大、中型电力排灌站、趸购转售企业,功率因数为 0.85 以上。并规定,凡功率因数未达到上述规定的,应增添无功补偿装置,通常采用并联电容器进行补偿。这里所指功率因数,即为最大负荷时功率因数。

1. 无功功率补偿

工厂中由于有大量的感应电动机、电焊机、电弧炉及气体放电灯等感性负荷,还有感性的电力变压器,从而使工厂的功率因数降低。如果在充分发挥设备潜力、改善设备运行性能、提高其自然功率因数的情况下,尚达不到规定的功率因数要求时,则需要考虑增设无功功率补偿装置。

图 3-5 表示功率因数的提高与无功功率和视在功率变化的关系。假设功率因数由 $\cos\varphi$ 提高到 $\cos\varphi'$,这时在用户需用的有功功率 P_{30} 不变的条件下,无功功率将由 Q_{30} 减小到 Q'_{30} ,视在功率将由 S_{30} 减小到 S'_{30} 。相应地负荷电流 I_{30} 也将有所减小,这将使系统的电能损耗和电压损耗相应降低,既节约了电能,又提高了电压质量,而且可选择较小容量的供电设备和导线电缆,因此提高功率因数对供电系统大有好处。

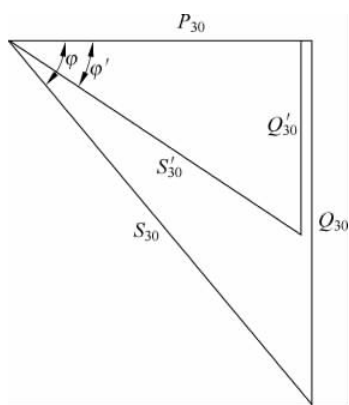


图 3-5 功率因数提高与无功功率、视在功率变化的关系

2. 无功补偿容量

由图 3-5 可知,要使功率因数 $\cos\varphi$ 由提高到 $\cos\varphi'$,必须装设并联电容器进行无功补偿,其容量为

$$Q_C = Q_{30} - Q'_{30} = P_{30}(\tan\varphi - \tan\varphi') \quad (3-29)$$

或者

$$Q_C = \Delta q_C P_{30}$$

式中: $\Delta q_C = \tan\varphi - \tan\varphi'$,称为无功补偿率,或比补偿容量。这无功补偿率,是表示要使 1kW 的有功功率由 $\cos\varphi$ 提高到 $\cos\varphi'$ 所需要的无功补偿容量 kVar 值。

在确定了总的补偿容量后,即可根据所选并联电容器的单个容量 q_C 来确定电容器个数:

$$n = \frac{Q_C}{q_C} \quad (3-30)$$

由上式计算所得的电容器个数 n ,对于单相电容器来说,应取 3 的倍数,以便三相均衡分配。工厂(或车间)装设了无功补偿装置以后,总的计算负荷 P_{30} 不变,而总的无功计算负荷应扣除无功补偿容量,即总的无功计算负荷为

$$Q'_{30} = Q_{30} - Q_C \quad (3-31)$$

总的视在计算负荷为

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + (Q_{30} - Q_C)^2} \quad (3-32)$$

由上式可以看出,在变电所低压侧装设了无功补偿装置以后,由于低压侧总的视在负荷减小,从而可使变电所主变压器容量选得小一些,这不仅可降低变电所的初投资,而且可减少工厂的电费开支。

例 3-5 某厂拟建一降压变电所,装设一台主变压器。已知变电所低压侧有功计算负荷为 650kW,无功计算负荷为 800kVar。为了使工厂变电所高压侧的功率因数不低于 0.9,如在低压侧装设并联电容器进行补偿时,需装设多少补偿容量? 并问补偿前后工厂变电所所选主变压器容量有何变化?

解: (1) 补偿前应选变压器的容量和功率因数

变压器低压侧的视在计算负荷为:

$$S'_{30(2)} = \sqrt{650^2 + (800 - 530)^2} \text{ kVA} = 704 \text{ kVA}$$

主变压器容量的选择条件为 $S_{NT} > S_{30(2)}$,因此在未进行无功补偿时,主变压器容量应选为 1250kVA(参看附录表 A-5)。这时变电所低压侧的功率因数为

$$\cos\varphi_{(2)} = 650/1031 = 0.63$$

(2) 无功补偿容量

按规定变电所高压侧的 $\cos\varphi \geq 0.9$,考虑到变压器的无功功率损耗 ΔQ_T 远大于其有功损耗 ΔP_T ,一般 $\Delta Q_T = (4 \sim 5)\Delta P_T$,因此在变压器低压侧进行无功补偿时,低压侧补偿后的功率因数应略高于 0.9,这里取 $\cos\varphi'_{(2)} = 0.92$ 要使低压侧功率因数由 0.63 提高到 0.92,低压侧需装设的并联电容器容量为

$$Q_C = 650 \times (\tan\arccos 0.63 - \tan\arccos 0.92) \text{ kVar} = 525 \text{ kVar}$$

(3) 补偿后的变压器容量和功率因数

补偿后变电所低压侧的视在计算负荷为

$$S'_{30(2)} = \sqrt{650^2 + (800 - 530)^2} \text{ kVA} = 704 \text{ kVA}$$

因此补偿后变压器容量可改选为 800kVA,比补偿前容量减少 450kVA。

变压器的功率损耗为:

$$\Delta P_T \approx 0.01 \times S'_{30(2)} = 0.01 \times 704 \text{ kVA} = 7 \text{ kW}$$

$$\Delta Q_T \approx 0.05 \times S'_{30(2)} = 0.05 \times 704 \text{ kVA} = 35 \text{ kVar}$$

变电所高压侧的计算负荷为

$$P'_{30(1)} = 650 \text{ kW} + 7 \text{ kW} = 657 \text{ kW}$$

$$Q'_{30(1)} = (800 - 530) \text{ kVar} + 35 \text{ kVar} = 305 \text{ kVar}$$

$$S'_{30(1)} = \sqrt{657^2 + 305^2} \text{ kVA} = 724 \text{ kVA}$$

补偿后工厂的功率因数为 $\cos\varphi' = P'_{30(1)} / S'_{30(1)} = 657/724 = 0.907$,满足要求。由此例可以看出,采用无功补偿来提高功率因数能使工厂取得可观的经济效果。

3. 工厂供电系统负荷计算示例

按逐级计算法确定工厂计算负荷(这里举有功负荷为例) $P_{30(1)}$,应该是高压母线上所有高压配电线路计算负荷之和,再乘上一个同时系数。高压配电线路的计算负荷 $P_{30(2)}$,应该

是该线路所供车间变电所低压侧的计算负荷 $P_{30(3)}$ ，加上变压器的功率损耗 ΔP_T 和高压配电路的功率损耗 ΔP_{wl} 。对一般供电系统来说，由于高低压配电路一般不很长，因此在确定计算负荷时其线路损耗往往略去不计。

求出变压器低压侧总计算负荷后，变压器高压侧的计算负荷等于低压侧计算负荷与变压器功率损耗之和。在初步设计时，变压器的功率损耗可按式近似估算

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_T &\approx (0.01 \sim 0.02) S_c \\ \Delta Q_T &\approx (0.05 \sim 0.08) S_c \end{aligned} \right\} \quad (3-33)$$

例 3-6 某用户供电系统结构和负荷数据如图 3-6 所示，按照需要系数法，各级负荷计算如下。

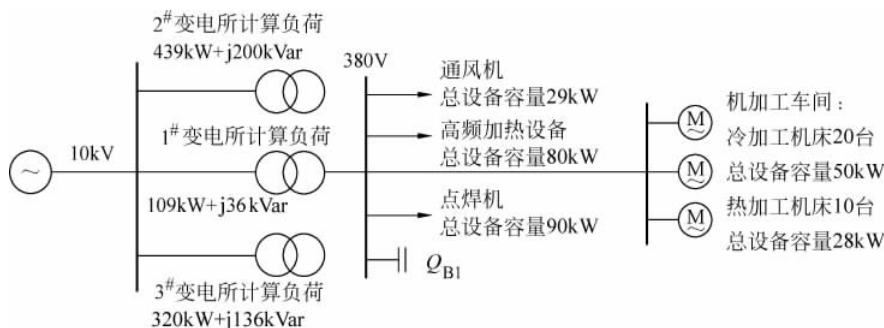


图 3-6 负荷计算示例图

(1) 用电设备组的负荷计算

通风机

$P_N = 29\text{kW}$ ，查附录表 A-1 得 $K_d = 0.85$ 和 $\tan\phi = 0.75$ ，于是

$$P_{c.1} = K_d P_N = (0.85 \times 29)\text{kW} = 25\text{kW}$$

$$Q_{c.1} = P_{c.1} \tan\phi = (25 \times 0.75)\text{kVar} = 19\text{kVar}$$

高频加热设备

$P_N = 80\text{kW}$ ，查附录表 A-1 得 $K_d = 0.6$ 和 $\tan\phi = 1.02$ ，于是

$$P_{c.2} = K_d P_N = (0.6 \times 80)\text{kW} = 48\text{kW}$$

$$Q_{c.2} = P_{c.2} \tan\phi = (48 \times 1.02)\text{kVar} = 49\text{kVar}$$

机加工车间

冷加工机床： $P_N = 50\text{kW}$ ，查附录表 A-1 得 $K_d = 0.16$ 和 $\tan\phi = 1.73$ ；

热加工机床： $P_N = 92\text{kW}$ ，查附录表 A-1 得 $K_d = 0.25$ 和 $\tan\phi = 1.33$ ；于是

$$P_{c.3} = \sum (K_d P_N) = (0.16 \times 50 + 0.25 \times 28)\text{kW} = 15\text{kW}$$

$$Q_{c.3} = \sum (P_c \tan\phi) = (8 \times 1.73 + 7 \times 1.33)\text{kVar} = 23\text{kVar}$$

点焊机

点焊机： $P_N = 90\text{kW}$ ，查表得 $K_d = 0.35$ 和 $\tan\phi = 1.33$ ，于是

$$P_{c.4} = K_d P_N = (0.35 \times 90)\text{kW} = 32\text{kW}$$

$$Q_{c.4} = P_{c.4} \tan\phi = (32 \times 1.33)\text{kVar} = 42\text{kVar}$$

(2) 1[#]变电所低压侧计算负荷

取1[#]变电所各组负荷的同期系数为： $K_{\Sigma}=0.90$ ，于是

$$P_{c.LV1} = K_{\Sigma}(P_{c.1} + P_{c.2} + P_{c.3} + P_{c.4}) = 0.9 \times (25 + 48 + 15 + 32)\text{kW} = 108\text{kW}$$

$$Q_{c.LV1} = K_{\Sigma}(Q_{c.1} + Q_{c.2} + Q_{c.3} + Q_{c.4}) = 0.9 \times (19 + 49 + 23 + 42)\text{kVar} = 120\text{kVar}$$

$$S_{c.LV1} = \sqrt{P_{c.LV1}^2 + Q_{c.LV1}^2} = \sqrt{108^2 + 120^2}\text{kVA} = 163\text{kVA}$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_{c.LV1}}{S_{c.LV1}} = \frac{108}{163} = 0.66$$

(3) 低压集中补偿容量的计算

采用电容器分组自动投切的低压集中补偿方式，设补偿后功率因数为 $\cos\varphi=0.93$ ，则

$$Q_{B1} = P_{c.LV1}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 108 \times (1.23 - 0.40)\text{kVar} = 90\text{kVar}$$

补偿后变压器低压侧计算负荷为 $108\text{kW} + j30\text{kVar}$ ， $S_c=112\text{kVA}$ 。

(4) 变电所高压侧计算负荷

1[#]变电所变压器损耗按下式估算：

$$\Delta P_{T1} = 0.01S_c = (0.01 \times 112)\text{kW} = 1\text{kW}$$

$$\Delta Q_{T1} = 0.05S_c = (0.05 \times 112)\text{kVar} = 6\text{kVar}$$

1[#]变电所高压侧计算负荷为：

$$P_{c.HV1} = P_{c.LV1} + \Delta P_{T1} = (108 + 1)\text{kW} = 109\text{kW}$$

$$Q_{c.HV1} = (Q_{c.LV1} - Q_{B1}) + \Delta Q_{T1} = (120 - 90 + 6)\text{kVar} = 36\text{kVar}$$

(5) 全厂总计算负荷

取全厂负荷的同期系数为： $K_{\Sigma}=0.90$ ，于是

$$P_c = K_{\Sigma}(P_{c.HV1} + P_{c.HV2} + P_{c.HV3}) = 0.9 \times (109 + 439 + 320)\text{kW} = 868\text{kW}$$

$$Q_c = K_{\Sigma}(Q_{c.HV1} + Q_{c.HV2} + Q_{c.HV3}) = 0.9 \times (36 + 200 + 136)\text{kVar} = 335\text{kVar}$$

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} = \sqrt{868^2 + 335^2}\text{kV} \cdot \text{A} = 930\text{kVA}$$

$$\cos\varphi = \frac{P_c}{S_c} = \frac{868}{930} = 0.93$$

思考题与习题

3-1 电力负荷按重要程度分哪几级？各级负荷对供电电源有什么要求？

3-2 工厂用电设备按其工作制分哪几类？什么叫负荷持续率？它表征哪类设备的工作特性？

3-3 什么叫计算负荷？为什么计算负荷通常采用半小时最大负荷？正确确定计算负荷有何意义？

3-4 确定计算负荷的需要系数法和二项式法各有什么特点？各适用于哪些场合？

3-5 在接有单相用电设备的三相线路中，什么情况下可将单相设备与三相设备综合按三相负荷的计算方法来确定计算负荷？

3-6 为什么要进行无功功率补偿？如何确定其补偿容量？

3-7 某大批生产的机械加工车间，拥有金属切削机床电动机容量共 800kW ，通风机容量共 56kW ，线路电压为 380V 。试分别确定各组和车间的计算负荷 P_{30} 、 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 。

3-8 某机修车间,拥有冷加工机床 52 台,共 200kW; 行车 1 台,共 5.1kW($\epsilon=15\%$); 通风机 4 台,共 5kW; 点焊机 3 台,共 10.5kW($\epsilon=65\%$)。车间采用 220/380V 三相四线制(TN-C 系统)配电。试确定该车间的计算负荷 P_{30} 、 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 。

3-9 有一 380V 三相线路,供电给 35 台小批生产的冷加工机床电动机,总容量为 85kW,其中较大容量的电动机有 7.5kW 1 台,4kW 3 台,3kW 12 台。试分别用需要系数法和二项式法确定其计算负荷 P_{30} 、 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 。

3-10 某实验室拟装设 5 台 220V 单相加热器,其中 1kW 的 3 台,3kW 的 2 台。试合理分配上列各加热器于 220/380V 线路上,并求其计算负荷 P_{30} 、 Q_{30} 、 S_{30} 和 I_{30} 。

3-11 某厂变电所装有一台 630kVA 变压器,其二次侧(380V)的有功计算负荷为 420kW,无功计算负荷为 350kVar。试求此变电所一次侧(10kV)的计算负荷及其功率因数。如果功率因数未达到 0.9,问此变电所低压母线上应装设多大并联电容器的容量才能达到要求?

3-12 某厂的有功计算负荷为 2400kW,功率因数为 0.65。现拟在工厂变电所 10kV 母线上装设 BWF10.5-30-1 型并联电容器,使功率因数提高到 0.9。问需装设多少个并联电容器? 装设了并联电容器以后,该厂的视在计算负荷为多少? 比未装设前视在计算负荷减少了多少?