

DIANNENG
JILIANG JI YONGDIAN JIANCHA
SHIYONG JISHU

电能计量 及用电检查 实用技术

李国胜
编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

DIANNENG
JILIANG JI YONGDIAN JIANCHA
SHIYONG JISHU

电能计量 及用电检查 实用技术

李国胜
编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是根据 DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》和 DL/T 825—2002《电能计量安装接线规则》以及电力营销工作实际情况编写而成的。本书以能力定位,将电能计量及用电检查实际工作中所需技术、技能模块作为章节,包括常用电气计算、电工工具及电工基本操作、实用电工仪器仪表、电能计量装置的配置、电能计量装置的安装和接线、电能计量装置误接线及故障检查、窃电的防治技术、电量的退补计算及检定工作中的技术要求和技巧等。

本书可作为供电公司供电营销专业各工种人员,特别是从事用电报装、装表接电、用电检查、电能表修校、抄表核算收费人员以及农电工和进网作业电工的参考书籍,也可作为现场电能计量人员、反窃电技术人员和技术管理人员的培训用书,亦可作为电能计量及用电检查人员职业技能培训和鉴定考核用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电能计量及用电检查实用技术/李国胜编. —北京:
中国电力出版社, 2009

(电能计量工作实用系列丛书)

ISBN 978-7-5083-8619-5

I. 电… II. 李… III. ①电能-电量测量②用电管理 IV. TM933.4 TM92

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 040747 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25 印张 613 千字

印数 0001—3000 册 定价 40.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

随着电力体制改革的不断深入、电力买方市场的逐步成熟,电力营销工作在电力企业中的作用将进一步加强。电力营销工作,对内肩负着提高企业经济效益的重任,对外履行服务电力客户、服务社会的职责。营销工作质量的好坏不仅直接影响到电力企业的生存和发展,而且影响到电力企业在广大电力客户中的形象与声誉。电力营销工作处在电力市场的最前沿。

为了提高电能计量及用电检查人员的技术能力和水平,更好地为电力营销工作服务,特编写了这本书。

本书是编者多年从事电能计量及反窃电工作的技术经验总结,技能水平升华,技巧固化凝结。书中所提供的实用技术均建立在电工基本理论基础之上,经过实践反复验证,对于提高电能计量及用电检查人员的技术水平大有裨益。同时对参加相关工种职业培训和鉴定考评的培训师、考评员、学员及考生均具有一定的借鉴和帮助作用。

本书充分体现了模块技能培训法的基本模式,采用职业能力分析法,密切结合生产实际,突出实际操作技能,以本专业职业技能为主线,其中的理论知识为技能提高服务。

本书在编写过程中得到了很多现场技术人员的大力支持。武汉供电公司的童祚武和荆州供电公司的李定柏等提供了宝贵的技术资料;还有一些技术人员提出了很多宝贵的意见和建议;武汉供电公司的余念群帮助编写了本书第九章的大部分内容,笔者在此一并致谢。

由于编写时间和编写水平所限,难免有疏漏甚至错误之处,恳请广大读者、有关专家批评指正。

编者

2009年3月

前言

第一章 常用电气计算	1
第一节 三角函数及三角公式	1
第二节 相量及相量的加减方法	3
第三节 电力负荷及负荷电流的计算	5
第四节 导线截面的计算	13
第五节 计量二次回路导线截面的计算	18
第六节 电压损失的计算	21
第七节 用户功率因数及其计算	24
第八节 电能表快慢的判断(计算)	32
第二章 电工工具及电工基本操作	34
第一节 基本电气安全用具	34
第二节 常用手动工具	38
第三节 电钻及电锤	44
第四节 低压配电	48
第五节 导线的选择	52
第六节 导线线头的加工工艺	53
第七节 钎焊焊接工艺	64
第三章 实用电工仪器仪表	68
第一节 钳形表的使用	68
第二节 万用表的使用	70
第三节 直流电桥的使用	74
第四节 兆欧表的使用	80
第五节 接地电阻测量仪的使用	85
第六节 数字式双钳相位表及相序表的使用	89
第七节 电能计量故障及误接线检测仪的使用	91
第八节 配电变压器容量现场检测仪的使用	103
第九节 低压隐蔽性线缆现场检测仪	113
第十节 双向台区用户识别仪	115
第四章 电能计量装置的配置	117
第一节 计量装置的配置要求	117
第二节 电能表的选择与配置	117
第三节 互感器的选择与配置	119

第四节	配置实例分析计算·····	123
第五节	相关设备的选择与配置·····	124
第六节	电能计量柜·····	126
第七节	电能计量控制柜·····	128
第八节	关口电能计量的技术要求·····	130
第五章	电能计量装置的安装和接线·····	135
第一节	计量装置的安装接线规范·····	135
第二节	用户的计量方式·····	148
第三节	电能计量设备及常用工具·····	150
第四节	电能表的正确接线·····	157
第五节	计量装置安装接线的操作流程·····	162
第六节	用电现场管理终端的安装及运行维护·····	179
第七节	内线工程及其检查与验收·····	184
第八节	电力用户的接电·····	192
第九节	低压带电作业及装表接电安全·····	200
第六章	电能计量装置误接线及故障检查·····	205
第一节	互感器的正确接线·····	205
第二节	电能表的接线分析·····	209
第三节	计量装置的停电检查·····	227
第四节	计量装置的带电检查·····	231
第五节	电子式电能表及多功能电能表的故障分析和处理·····	247
第六节	计量装置的带电检查操作流程·····	252
第七节	计量装置的带电检查案例分析·····	255
第八节	电能计量装置误接线的仿真系统·····	268
第七章	窃电的防治技术·····	283
第一节	窃电的手段分析·····	283
第二节	防治窃电的措施·····	294
第三节	侦察窃电的常用方法·····	310
第四节	侦察窃电的操作原则和安全事项·····	322
第五节	窃电的取证、判定和处理·····	325
第八章	电量的退补计算·····	331
第一节	电量的抄读与计算·····	331
第二节	计量装置误接线时电量的退补·····	333
第三节	计量装置故障时电量的退补·····	345
第四节	计量装置综合误差的计算·····	348
第五节	安装了主、副电能表时电量的退补计算·····	351
第六节	窃电量和窃电金额的认定·····	352

第九章 检定工作中的技术要求和技巧.....	354
第一节 电子式电能表检定工作中的相关要求和技巧.....	354
第二节 检定工作中的其他技术要求和注意事项.....	361
第三节 互感器二次容量和电压降以及阻抗的简易测量.....	363
附录.....	365
附录 A 绝缘导线的安全载流量	365
附录 B 500V 护套线的安全载流量	366
附录 C 湖北省电网关口电能计量装置技术规范	367
附录 D 湖北省电网关口电能表技术改造作业指导书.....	370
附录 E 湖北省电力公司防窃电改造用金属表箱技术规范	373
附录 F 湖北省预防和查处窃电行为条例	376
附录 G 几种常见电子式电能表计的代码含义	380
参考文献.....	392

第一章

常 用 电 气 计 算

第一节 三角函数及三角公式

一、三角函数的定义

1. 锐角三角函数的定义

直角三角形 $Rt\triangle ABC$ ，如图 1-1 所示，锐角 $\angle ABC = \alpha$ ，其三角函数定义如下：

$$\begin{aligned} \text{正弦 } \sin \alpha &= \frac{\text{对边 } b}{\text{斜边 } c} & \text{余弦 } \cos \alpha &= \frac{\text{邻边 } a}{\text{斜边 } c} \\ \text{正切 } \tan \alpha &= \frac{\text{对边 } b}{\text{邻边 } a} & \text{余切 } \cot \alpha &= \frac{\text{邻边 } a}{\text{对边 } b} \end{aligned}$$

2. 任意角三角函数的定义

任意角参数示意图如图 1-2 所示。在圆 O 中，设 $OA = r$ ， OA 与 X 轴正方向夹角为 α ， A 点坐标为 (x, y) ，则

$$\begin{aligned} \text{正弦 } \sin \alpha &= \frac{y}{r} \\ \text{余弦 } \cos \alpha &= \frac{x}{r} \\ \text{正切 } \tan \alpha &= \frac{y}{x} \\ \text{余切 } \cot \alpha &= \frac{x}{y} \end{aligned}$$

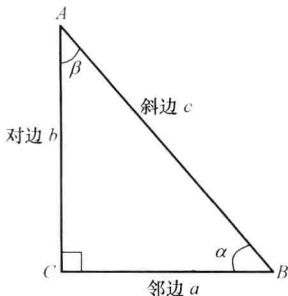


图 1-1 直角三角形边角关系示意图

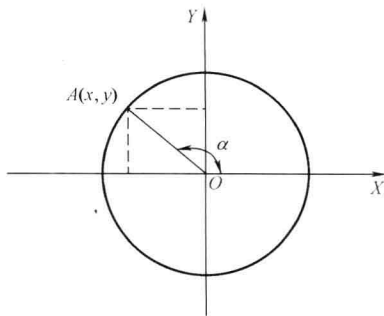


图 1-2 任意角参数示意图

3. 特殊角的三角函数值（见表 1-1）

表 1-1

特殊角的三角函数值

α	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°	360°
$\sin \alpha$	$0 = \frac{\sqrt{0}}{2}$	$\frac{1}{2} = \frac{\sqrt{1}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$1 = \frac{\sqrt{4}}{2}$	0	-1	0

续表

α	0°	30°	45°	60°	90°	180°	270°	360°
$\cos\alpha$	$1=\frac{\sqrt{4}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}=\frac{\sqrt{1}}{2}$	$0=\frac{\sqrt{0}}{2}$	-1	0	1
$\tan\alpha$	0	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	1	$\sqrt{3}$	$+\infty$	0	$-\infty$	0
$\cot\alpha$	$+\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	$-\infty$	0	$+\infty$

二、三角公式

1. 基本公式

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$$
$$\tan\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} \quad \cot\alpha = \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$$

2. 任意角的三角函数诱导公式（见表 1-2）

表 1-2 任意角的三角函数诱导公式

角度 函数	$90^\circ-\alpha$	$90^\circ+\alpha$	$180^\circ-\alpha$	$180^\circ+\alpha$	$270^\circ-\alpha$	$270^\circ+\alpha$	$360^\circ-\alpha$	$360^\circ+\alpha$
sin	$\cos\alpha$	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$	$-\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	$\sin\alpha$
cos	$\sin\alpha$	$-\sin\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\cos\alpha$	$-\sin\alpha$	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\cos\alpha$

特别应掌握以下公式：

$$(1) \cos(90^\circ-\alpha)=\sin\alpha \quad \cos(90^\circ+\alpha)=-\sin\alpha$$
$$(2) \sin(90^\circ-\alpha)=\cos\alpha \quad \sin(90^\circ+\alpha)=\cos\alpha$$

3. 负角（-α）的简化公式

$$\sin(-\alpha)=-\sin\alpha$$
$$\cos(-\alpha)=\cos\alpha$$

4. 和差公式

$$\sin(\alpha+\beta)=\sin\alpha\cos\beta+\cos\alpha\sin\beta$$
$$\sin(\alpha-\beta)=\sin\alpha\cos\beta-\cos\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha+\beta)=\cos\alpha\cos\beta-\sin\alpha\sin\beta$$
$$\cos(\alpha-\beta)=\cos\alpha\cos\beta+\sin\alpha\sin\beta$$

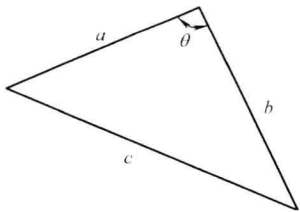


图 1-3 任意角三角形示意图

三、余弦定理

任意角三角形示意图如图 1-3 所示。

其中
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

第二节 相量及相量的加减方法

一、电功率、电流、功率因数的计算公式

1. 单相交流电路的计算公式

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = U_{ph} I_{ph} \cos \varphi \\ Q_1 = U_{ph} I_{ph} \sin \varphi \\ S_1 = U_{ph} I_{ph} \\ P_1 = S_1 \cos \varphi \\ I_{ph} = \frac{P_1}{U_{ph} \cos \varphi} \\ \cos \varphi = \frac{P_1}{U_{ph} I_{ph}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} \end{array} \right. \quad (1-1)$$

式中: P_1 为单相交流有功功率, W; Q_1 为单相交流无功功率, var; S_1 为单相交流视在功率, VA; U_{ph} 为单相交流相电压, V; I_{ph} 为单相交流相电流, A; $\cos \varphi$ 为功率因数。

2. 三相交流电路的计算公式

在三对称电路中, 有

$$\left\{ \begin{array}{l} P_3 = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi \\ Q_3 = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi \\ S_3 = \sqrt{3} U_L I_L \\ P_3 = S_3 \cos \varphi \\ I_L = \frac{P_3}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} = \frac{S_3}{\sqrt{3} U_L} \\ \cos \varphi = \frac{P_3}{U_L I_L} = \frac{P_3}{S_3} = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} \end{array} \right. \quad (1-2)$$

式中: P_3 为三相交流有功功率, W; Q_3 为三相交流无功功率, var; S_3 为三相交流视在功率, W; U_L 为三相交流线电压, V; I_L 为三相交流线电流, A; $\cos \varphi$ 为功率因数。

例如, 某工厂的变压器容量为 100kVA, 其用电时功率表指示的功率为 80kW, 那么该厂功率因数 $\cos \varphi = P/S = 0.8$ 。

二、相量及相量图

1. 相量的定义

用来反映正弦量有效值和初相角的静止矢量称为相量。

2. 相量的画法

相量的长度等于正弦量有效值的大小, 相量与横轴正向的夹角等于正弦量的初相角, 这种图称为相量图。

3. 相量的符号

用大写字母并在其上打一个圆点 “.” 表示: 如 $\dot{I}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{E}$; 或者加注双下标表示相量的参考方向或极性 (如 $\dot{U}_{BC}$ 表示电压的参考方向由 B 指向 C; 或 $\dot{U}_{BC}$ 的参考正极在 B、参考负极在 C)。



注意：在画相量图或说明相量时，以下两种情况建议使用简化画法：

- (1) 如果相量与其对应的相量图在一起时，那么相量符号上圆点可以省掉；
- (2) 如在描述“相量 $\dot{U}$ ”时，可以省掉相量符号上的圆点，而直接写成“相量 U ”。

4. 相量图举例

如图 1-4 所示， $u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha)$ ，相量 $\dot{U}$ 的长度等于 U 的大小，相量 $\dot{U}$ 与横轴正向的夹角等于 α 。在相量图简化画法时，横轴可以简化为水平虚线，甚至可以省掉。

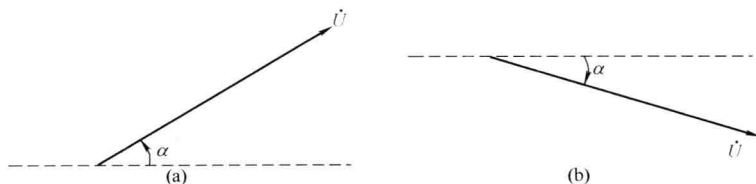


图 1-4 相量图举例

(a) $\alpha > 0$ 时的相量图；(b) $\alpha < 0$ 时的相量图

三、相量法

1. 相量加法的步骤（见图 1-5）

- (1) 根据 $e = e_1 + e_2$ ， $\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$ 。
 - (2) 用平行四边形法则求出 $\dot{E}$ 。
 - (3) 算出或量出 E 和 α 的大小。
- 最后，写出解析式 $e = E_m \sin(\omega t + \alpha)$ 。

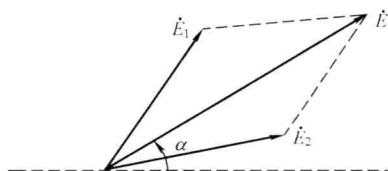


图 1-5 相量加法示意图

2. 相量减法的步骤（见图 1-6）

- (1) 根据 $i = i_1 - i_2$ ， $\dot{I} = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$ 。
 - (2) 将 $\dot{I}_2$ 反向等长延长画出一 $\dot{I}_2$ 。
 - (3) 用平行四边形法则求出 $\dot{I}$ 。
 - (4) 算出或量出 I 和 α 的大小。
- 最后，写出解析式 $i = I_m \sin(\omega t + \alpha)$ 。

3. 相量法的应用

【例 1-1】 如图 1-7 所示，在 RL 串联电路中，已知 $u_1 = 3\sqrt{2} \sin(314t)$ V， $u_2 = 4\sqrt{2} \sin(314t + \frac{\pi}{2})$ V，求： $u = u_1 + u_2 = ?$

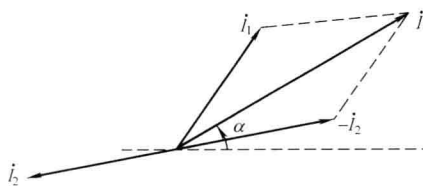


图 1-6 相量减法示意图

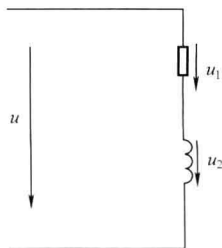


图 1-7 RL 串联电路

解 如图 1-8 所示，因为 $u = u_1 + u_2$ ，所以 $\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ (V)}$$

$$\alpha = \arctan U_2 / U_1 = \arctan 4 / 3 = 53^\circ 8'$$

$$u = 5\sqrt{2} \sin(314t + 53^\circ 8') \text{ (V)}$$



注意：图 1-8 中三相电压相量的符号使用了简化符号。



问题思考：如图 1-9 所示，如果已知 i_1 和 i_2 ，那么利用相量法如何求出 $i = i_1 - i_2$ ？

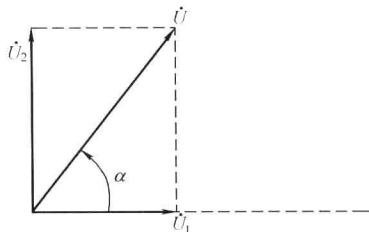


图 1-8 两个电压相加示意图

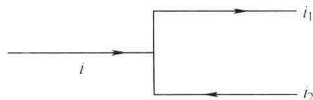


图 1-9 总电流与分电流

第三节 电力负荷及负荷电流的计算

一、电力负荷计算的意义和作用

为了正确合理地选择变压器容量、电气设备、计量设备、测量仪表、导线电缆型号等各组电气元件，进行合理的电源布点，甚至继电保护装置整定，都必须首先确定计算负荷。若计算负荷确定得过大，将造成投资和材料的浪费；而确定得过小，又将使电气设备和导线在运行中发生过热而引起绝缘过早老化，降低使用寿命甚至烧毁，影响供电系统的安全可靠运行。因此计算负荷的确定是一项重要的工作，电力工程设计、用电管理都要从调查研究和确定电力负荷开始。

电力负荷包括各种用电设备的用电负荷、供电线路的损失功率、变压器的损耗功率。

负荷调查的具体内容：用电负荷或用电回路的种类和数量；各类用电负荷的使用时间和分布情况；各用电回路的负荷大小；各类用电负荷对电源容量和电压质量的要求及对电网的影响；发展前景以及对可靠性的要求。

二、用电设备的分类

用电设备按其工作制分为三类，分别介绍如下。

(1) 长时工作制用电设备：是指用电时间较长或连续工作的用电设备，如各种泵类、通风机、压缩机、输送带、机床、电阻炉、电解设备和某些照明装置等。

(2) 短时工作制用电设备：是指工作时间短而停用时间长的用电设备，如金属切削机床的辅助机械的驱动电动机、水闸电动机等。

(3) 反复短时工作制用电设备：是指时而工作时而停用，如此反复运行的电气设备，如吊车用电动机、电焊用变压器等。

对于反复短时工作制用电设备，为表示其反复短时的特点，通常用暂载率（即负荷持续率）来描述，即

$$\epsilon = \frac{\text{工作时间}}{\text{计算周期}} = \frac{t_w}{t_w + t_b} \quad (1-3)$$

式中: ϵ 为暂载率; t_w 为每个周期的工作时间, min; t_b 为每个周期的停用时间, min。

三、用电设备容量的确定

设备容量一般是指用电设备的额定功率或额定容量, 用 P_N 或 S_N 表示。

对于不相同工作制的设备, 其额定功率或额定容量不能直接相加, 必须换算到统一规定的工作制下才能相加, 即按同一周期内相同发热条件来进行换算。

1. 一般用电设备容量

包括长时、短时工作制用电设备, 包括一般电动机和照明电热设备, 其设备容量 P_N 是指该设备铭牌上标明的额定功率。

2. 反复短时工作制用电设备容量

包括反复短时工作制电动机和电焊设备 2 种。吊车电动机标准暂载率分为 15%、25%、40%、60% 4 种; 电焊设备标准暂载率分为 20%、40%、50%、100% 4 种。对这类设备确定计算负荷时, 首先要进行换算。

(1) 反复短时工作制电动机容量的确定。

反复短时工作制电动机容量是指暂载率 $\epsilon=25\%$ 时的额定容量。

如果铭牌暂载率 ϵ_N 不是 25%, 那么应按式 (1-4) 进行换算, 使其变为 25% 时的额定容量, 称为计算额定容量 P_{cN} 。

$$P_{cN} = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{25\%}} P_N = 2 \sqrt{\epsilon_N} P_N \quad (1-4)$$

式中: ϵ_N 为电动机的铭牌暂载率; P_N 为电动机的铭牌额定容量; P_{cN} 为电动机换算为暂载率为 25% 时的额定容量 (即计算额定容量)。



小提示: 当采用利用系数法计算负荷时, 应统一换算到暂载率为 100% 时的额定容量。

【例 1-2】 有一台 10t 桥式吊车, 额定功率为 40kW (铭牌暂载率是 40%), 试求该设备的计算额定容量 P_{cN} 。

$$\text{解 } P_{cN} = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{25\%}} P_N = 2 \sqrt{\epsilon_N} P_N = 2 \sqrt{0.4} \times 40 = 50 \text{ (kW)}$$

【例 1-3】 一电动机, 铭牌暂载率为 40%, 额定功率为 10kW, 试换算至暂载率为 25% 时的计算额定容量。

$$\text{解 } P_{cN} = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{25\%}} P_N = 2 \sqrt{\epsilon_N} P_N = 2 \times \sqrt{40\%} \times 10 = 12.6 \text{ (kW)}$$

(2) 反复短时工作制电焊设备容量的确定。

反复短时工作制电焊设备容量 (包括电焊机和电焊变压器) 是指暂载率 $\epsilon=100\%$ 时的额定容量。

如果铭牌暂载率 ϵ_N 不是 100%, 那么应按式 (1-5) 或式 (1-6) 进行换算, 使其变为 100% 时的额定容量, 称为计算额定容量 S_{cN} 或者 P_{cN} 。

$$S_{cN} = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{100\%}} S_N = \sqrt{\epsilon_N} S_N \quad (1-5)$$

$$P_{cN} = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{100\%}} S_N \cos \varphi = \sqrt{\epsilon_N} S_N \cos \varphi_N \quad (1-6)$$

式中: ϵ_N 为电焊机的铭牌暂载率; $S_N(P_N)$ 为电焊机的铭牌额定容量(其对应的功率因数为 $\cos\varphi_N$); $S_{cN}(P_{cN})$ 为电焊机换算为暂载率为 100% 时的额定容量(即计算额定容量)。

例如, 某电焊机的额定功率为 10kW, 铭牌暂载率为 25%, 则其设备计算额定容量为 5kW。

【例 1-4】 有一台电焊机, 铭牌额定容量是 22kVA, 额定功率因数为 0.5 ($\epsilon_N=60\%$), 其设备计算额定容量为多少?

$$\text{解 } P_{cN} = \sqrt{\frac{\epsilon_N}{100\%}} S_N \cos\varphi = \sqrt{\epsilon_N} S_N \cos\varphi_N = \sqrt{60\%} \times 22 \times 0.5 = 8.52 \text{ (kW)}$$

四、计算负荷确定方法

计算负荷是按照等效负荷, 以满足电气元件的发热条件而计算出的负荷功率或负荷电流。计算负荷是供电设计计算的基本依据, 其确定方法有以下六种。

(一) 需要系数法

1. 单个用电设备的计算负荷

(1) 一般用电设备 (Y) 的计算负荷。包括一般电动机和照明电热设备。单个用电设备铭牌上标明的额定功率 P_N 即为计算负荷, 即

$$P_c = P_N \quad (1-7)$$

式中: P_c 为计算负荷, kW; P_N 为用电设备额定功率, kW。

(2) 反复短时工作制用电设备的计算负荷。包括反复短时工作制电动机和电焊设备两种。对于单台反复短时工作制的用电设备, 计算额定容量 P_{cN} (或 S_{cN}) 即为计算负荷, 即

$$P_c = P_{cN} \quad (1-8)$$

式中: P_c 为计算负荷, kW; P_{cN} 为用电设备计算额定容量, kW。

(3) 求单台电动机或少数几台电动机的计算负荷时, 要考虑电动机的机械效率 η 。

$$P_c = P_i = \frac{P_o}{\eta} \quad (1-9)$$

式中: P_c 为计算负荷, kW; P_i 为电动机的输入电功率, 即电源的电功率, kW; P_o 为电动机的输出电功率, kW。

2. 同组用电设备的计算负荷

工作性质相同或相似的同一组用电设备可有很多台, 其中有的设备满载运行, 有的设备轻载或空载运行, 还有的设备处于备用或检修状态。将所有影响计算负荷的诸多因素归并为一个系数, 这个系数称之为需要系数 K_d 。需要系数一般查有关设计手册及设计标准中的需要系数表取得, 也可由经验资料并根据实际确定, 再利用式 (1-10) 即可求得计算负荷, 这种确定计算负荷的方法称为需要系数法。需要系数法主要用于确定整个用电单位或一定规模用电单位变、配电所的计算负荷; 对于用电负荷比较均匀的用电单位也常用需要系数法。

$$P_c = K_d \sum P_N \quad (1-10)$$

式中: P_c 为该组用电设备的有功计算负荷, kW; K_d 为该组用电设备的需要系数; $\sum P_N$ 为该组用电设备的总容量, kW。

值得注意的是, 各类工厂的需要系数可由有关设计单位根据调查统计的资料, 或参考有关设计手册确定。需用系数的大小, 不仅与用电设备的工作性质、设备台数、设备效率和线路损耗以及功率因数等因素有关, 而且与工厂的生产性质、工艺特点和劳动组织等因素有关。

表 1-3 列出了各类工厂的全厂需要系数值和功率因数, 仅供实际估算时参考。

表 1-3 各类工厂的全厂需要系数和功率因数

工厂种类	需要系数	功率因数	工厂种类	需要系数	功率因数
汽轮机制造厂	0.38	0.88	量具刀具制造厂	0.26	
锅炉制造厂	0.27	0.73	电机制造厂	0.38	
柴油机制造厂	0.32	0.74	石油机械制造厂	0.45	0.78
重型机械制造厂	0.35	0.79	电线电缆制造厂	0.35	0.73
机床制造厂	0.2		电器开关制造厂	0.35	0.75
重型机床制造厂	0.32	0.79	阀门制造厂	0.38	
工具制造厂	0.34		铸管厂	0.5	0.78
仪器仪表制造厂	0.37	0.81	橡胶厂	0.5	0.72
滚珠轴承制造厂	0.28		通用机械厂	0.4	

【例 1-5】 已知小批量生产的冷加工机床组, 拥有额定线电压为 380V 的三相交流电动机, 功率 7kW 的有 3 台、功率 4.5kW 的有 8 台、功率 2.8kW 的有 17 台、功率 1.7kW 的有 10 台。试用需要系数法求该机床组的计算负荷。

解 由于该类负荷的需要系数 $K_d = 0.14 \sim 0.16$, 如果取 $K_d = 0.15$, 综合功率因数 $\cos\varphi = 0.5$, $\tan\varphi = 1.73$, 那么

$$\sum P_N = 7 \times 3 + 4.5 \times 8 + 2.8 \times 17 + 1.7 \times 10 = 121.6 \text{ (kW)}$$

$$P_c = K_d \sum P_N = 0.15 \times 121.6 = 18.24 \text{ (kW)}$$

$$Q_c = P_{cN} \tan\varphi = 18.24 \times 1.73 = 31.56 \text{ (kvar)}$$

$$S_c = P_{cN} / \cos\varphi = 18.24 / 0.5 = 36.5 \text{ (kVA)}$$



注意: 以上的 $\cos\varphi$ 并非是电动机的额定功率因数。

【例 1-6】 一居民楼, 共有 60 家住户, 每家平均容量为 9kW, 试求计算负荷。

解 $\sum P_N = 60 \times 9 = 540 \text{ (kW)}$

由 $P_{cN} = K_d \sum P_N$ 知:

(1) 如果 K_d 取 0.85, 那么 $P_c = 0.85 \times 540 = 459 \text{ (kW)}$;

(2) 如果 K_d 取 1.0, 那么 $P_c = 1.0 \times 540 = 540 \text{ (kW)}$ 。

3. 多组用电设备的计算负荷

对于多组用电设备, 由于各组需要系数不尽相同, 各组最大负荷出现的时间也不相同, 因此在确定多组用电设备的计算负荷时, 除了将各组计算负荷累加之外, 还必须乘以一个同时系数 K_{sim} 。一般来说, 组数越多, 各最大负荷越不易重合于同一时刻, 同时系数 K_{sim} 越小。因此, 计算工厂负荷时, 先应将设备按工作性质划分为若干组, 分组计算, 然后再将若干组计算负荷之和乘以同时系数 K_{sim} 即得总的计算负荷。

$$P_c = K_{sim} \sum (K_d P_N) \quad (1-11)$$



注意: 对于车间干线, 同时系数可取 0.9; 对于企业总变配电所母线, 同时系数可取 0.95。

(二) 二项系数法

1. 同组用电设备

如果同一组用电设备中有几台(例如 n 台)用电设备对用电负荷变化影响很大;或者在同一个用电单位中,有的部门用电负荷的变化影响很大,那么使用需要系数法将不再合理。为了反映这种变化,可采用表示负荷变化规律的两个系数(这两个系数可以通过查表得到)来实现。查得两个系数后,再利用式(1-12)求得计算负荷。这一方法称为二项系数法。

$$P_c = b \sum P_N + c \sum P_{n \cdot \max} \quad (1-12)$$

式中: b 、 c 分别为表示负荷变化规律的两个系数; $\sum P_N$ 为该组所有用电设备的总额定负荷, kW; $b \sum P_N$ 为该组用电设备的平均负荷, kW; $\sum P_{n \cdot \max}$ 为该组中 n 台功率最大的用电设备的总额定功率负荷, kW; $c \sum P_{n \cdot \max}$ 为 n 台功率最大的用电设备运行时的附加负荷, kW。

【例 1-7】 已知某矿井有电压为 380V 的通风机, 功率 20kW 的有 3 台、功率 15kW 的有 2 台、功率 5kW 的有 8 台。试用二项系数法求该通风机组的计算负荷。

解 根据有关资料, 如果取 $b=0.65$ 、 $c=0.25$, 那么

$$\sum P_{n \cdot \max} = 20 \times 3 + 15 \times 2 = 90 \text{ (kW)}$$

$$\sum P_N = 20 \times 3 + 15 \times 2 + 5 \times 8 = 130 \text{ (kW)}$$

$$P_c = b \sum P_N + c \sum P_{n \cdot \max} = 0.65 \times 130 + 0.25 \times 90 = 107 \text{ (kW)}$$

二项系数法适用于设备容量差别较大、要考虑大容量设备影响的情况, 如机械加工车间和热处理车间中。

2. 单台设备

对于单台或少数几台设备的计算负荷, 一般取 $b=1$ 、 $c=0$, 则

$$P_c = b \sum P_N + c \sum P_{n \cdot \max} = \sum P_N$$

3. 多组用电设备

采用二项系数法确定多组用电设备的计算负荷时, 同样应考虑各组用电设备的最大负荷不同时出现的因素。因此, 在确定总计算负荷时, 只能在各组用电设备中选取其中附加负荷值最大的一组附加负荷值, 再加上所有各组设备的平均负荷值之和。

(三) 单耗总量法

单耗总量法是以单位功率消耗量乘以功率消耗总量来计算负荷的办法。

$$P_c = pS \quad (1-13)$$

式中: p 为单位功率消耗量, 简称单耗; S 为功率消耗总量。

单耗可以根据调查统计得到, 也可以通过查找有关的资料得到, 还可以通过测算得出。

用单耗总量法确定计算负荷通常有三种方法: 一种是用单位产品的功耗乘以总产量, 适用于有固定产品的工厂; 一种是用单位产值的功耗乘以总产值, 适用于无固定产品的工厂(如修理厂等); 还有一种是用单位面积的功耗乘以总面积。

【例 1-8】 某商场的建筑面积共计 2000m², 求其照明负荷(按 $p=60\text{W/m}^2$ 计算)。

解 $P_c = pS = 60 \times 2000 = 120 \text{ (kW)}$

另外, 在电力规划设计中经常用到一个假想时间 $T_{\max}$ (年最大负荷小时数), 其意义为按最大负荷功率 $P_{\max}$ 持续运行, 经过 $T_{\max}$ 时间所消耗的电能, 恰好等于全年实际消耗的电能 W 。年最大负荷小时数 $T_{\max}$ 的大小, 大致反映了负荷在一年内变化的程度。如果负荷随

时间的变化不大,则 $T_{\max}$ 值较大;如果负荷随时间的变化剧烈,则 $T_{\max}$ 值较小。年最大负荷小时数的值可查有关手册或根据经验值来确定。如果知道年最大负荷小时数,那么也可以根据式 (1-14) 确定计算负荷。

$$P_c = \frac{W}{T_{\max}} \quad (1-14)$$

式中: W 为年总耗电量, kWh; $T_{\max}$ 为年最大负荷小时数, h。

(四) 最大需量法

一般来说,计算负荷可以这样描述:在一段时间内,半小时平均负荷的最大值用 P_{30} 表示。

最大需量是电力用户在一个电费结算周期(如一个月)中,指定时间间隔(一般为 15min)内平均功率的最大值。

最大需量法,就是将最大需量表或具有最大需量功能的表计上反映的在一段时间内的半小时平均负荷的最大值 P_{30} 作为计算负荷的方法,最大需量法适用于正在运行线路电力负荷的确定,也可以作为相似线路电力负荷计算的参考。

$$P_c = P_{30} \quad (1-15)$$

(五) 利用系数法

利用系数法是采用利用系数求出最大负荷的平均负荷,再考虑设备台数和功率差异的影响,乘以与有效台数有关的最大系数得出计算负荷。利用系数法的理论根据是概率论和数理统计,因而计算结果比较接近实际,准确可靠,适用于各种范围的负荷计算;但因利用系数的实测与统计较难,计算较为繁琐,在此从略。

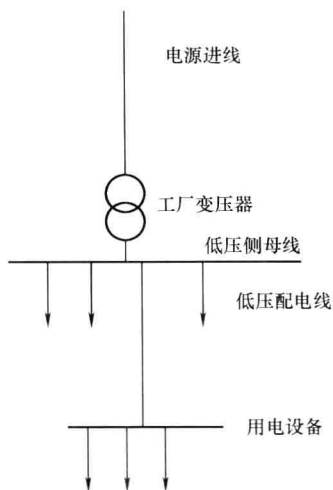


图 1-10 工厂供电示意图

(六) 逐级溯源法

整个用电单位的总计算负荷的确定方法常用逐级溯源法。逐级溯源法是指从用电负荷侧开始,逐级向电源侧计算的方法。以 10kV 变压器供电工厂为例,其步骤如下:首先确定各用电设备和设备组的计算负荷;然后计算各车间配电装置和配电干线的计算负荷;再求出配电变压器低压侧的计算负荷。

工厂变压器低压侧的计算负荷,加上变压器的损耗功率,就得到了配电变压器高压侧的计算负荷。如此逐级向上追溯相加,就可得到上级变压器低压侧和高压侧的计算负荷,以及全厂的电力负荷。工厂供电示意图如图 1-10 所示。

配电所或总降压变电所的计算负荷为各变电所有功、无功计算负荷之和再乘以同时系数。35kV 总降压变电所低压母线的计算负荷为各配变电所计算负荷加上线路的功率损耗后再乘以同时系数。35kV 总降压变电所低压母线计算负荷加上主变压器的功率损耗作为 35kV 总降压变电所高压母线的计算负荷。



注意:

(1) 当供电系统中某个环节装设无功功率补偿设备(如移相电容器)时,应在确定此