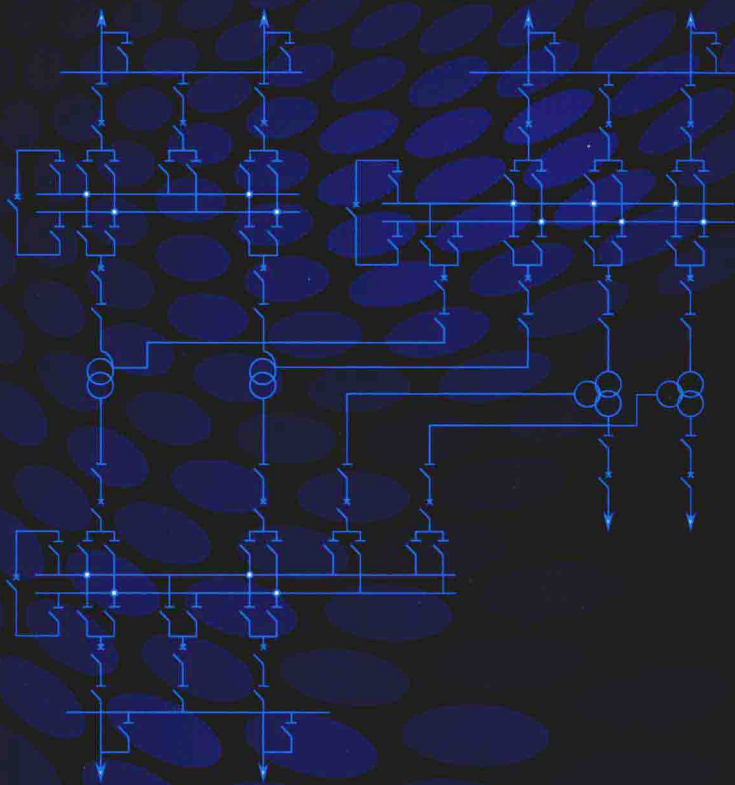


电气设备选择与 计算实例

DIANQI SHEBEI XUANZE YU JISUAN SHILI

王越明 主编

王朋 副主编



化学工业出版社

电气设备选择与 计算实例

王越明 主编

王朋 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电气设备选择与计算实例/王越明主编. —北京: 化学工业出版社, 2014. 6
ISBN 978-7-122-20239-0

I. ①电… II. ①王… III. ①电气设备-基本知识
IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 065423 号

责任编辑: 高墨荣
责任校对: 王素芹

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 371 千字 2014 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

FOREWORD

随着社会的发展,电力系统的规模越来越大,结构越来越复杂。在电力系统和电气设备的设计和运行中,短路电流的计算分析和电气负荷计算是解决一系列技术问题所不可缺少的基本计算,是电气设备合理选择及继电保护的合理配置及定值整定和运行方式分析等问题的重要依据,对于工程设计的安全和经济合理性有着十分重要的意义。

本书在编写过程中,以有关国家标准、行业标准和专业性文件为指导,收集了近年来与本书有关的技术资料结合现场实际,加以整理、补充和完善。

本书全面系统地介绍了负荷计算方法和短路电流计算方法及设备选择方法,主要包括负荷计算、短路电流计算,电气主接线设计,变压器、高压开关电器、低压电器、互感器、母线、避雷器及电动机等常用电气设备的选择计算等内容,并配合具体计算选择实例,深入浅出,简明扼要,方便读者学习阅读。

本书适合广大从事电气设备运行、维护及设计等工程技术人员使用,亦可作为电气工程技术人员培训教材和大中专院校电气工程等专业教学用书。

本书由王越明主编,王朋副主编。全书共10章,第1、5、6章由王朋编写,第2~4、7、10章由王笃亭编写,第8、9章由王越明编写。本书由郭明良教授主审。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有疏漏以及不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

目 录

CONTENTS

| | |
|---------------------------------|-----------|
| 第1章 负荷计算 | 1 |
| 1.1 概述 | 1 |
| 1.2 用电设备组额定容量的计算 | 1 |
| 1.3 负荷计算的方法 | 3 |
| 1.3.1 需要系数法 | 3 |
| 1.3.2 利用系数法 | 7 |
| 1.3.3 二项式法 | 12 |
| 1.4 单相用电设备计算负荷的计算 | 13 |
| 1.5 变配电所总负荷的计算 | 16 |
| 1.5.1 功率损耗计算 | 16 |
| 1.5.2 变电所总计算负荷 | 18 |
| 1.6 功率因数的提高 | 19 |
| 1.7 尖峰电流的计算 | 21 |
| 1.8 负荷计算实例 | 22 |
| | |
| 第2章 短路电流计算 | 25 |
| 2.1 短路电流计算的假设条件及步骤 | 25 |
| 2.1.1 短路电流计算的假设条件 | 25 |
| 2.1.2 短路电流计算的步骤 | 25 |
| 2.2 电力系统各主要元件参数计算 | 26 |
| 2.2.1 电力线路的阻抗计算 | 26 |
| 2.2.2 变压器的阻抗计算 | 30 |
| 2.2.3 发电机的阻抗计算 | 35 |
| 2.2.4 电抗器的电抗计算 | 37 |
| 2.2.5 标幺值法 | 37 |
| 2.3 网络变换及化简 | 46 |
| 2.4 对称短路的分析和计算 | 47 |
| 2.4.1 无限大容量系统三相短路及短路电流的计算 | 47 |
| 2.4.2 有限容量系统三相短路及短路电流的计算 | 51 |
| 2.5 不对称短路电流的计算 | 53 |
| 2.5.1 对称分量法的应用 | 53 |
| 2.5.2 短路回路各元件的序电抗 | 54 |
| 2.5.3 不对称短路的序网络图 | 56 |
| 2.5.4 不对称短路的计算 | 56 |
| 2.6 短路电流的电动力效应与热效应计算 | 59 |
| 2.6.1 短路电流的电动力效应计算 | 59 |
| 2.6.2 短路电流的热效应计算 | 59 |

| | | |
|--------------|-------------------------|------------|
| 2.7 | 短路电流计算实例 | 61 |
| 2.7.1 | 实例 1 | 61 |
| 2.7.2 | 实例 2 | 64 |
| 第 3 章 | 电气主接线 | 68 |
| 3.1 | 主接线的设计依据及基本要求 | 68 |
| 3.1.1 | 主接线的设计依据 | 68 |
| 3.1.2 | 对主接线的基本要求 | 69 |
| 3.1.3 | 电气主接线的设计程序 | 70 |
| 3.2 | 电气主接线的基本形式 | 71 |
| 3.2.1 | 有母线系统接线 | 71 |
| 3.2.2 | 无母线系统接线 | 75 |
| 3.2.3 | 单元接线 | 75 |
| 3.3 | 电气主接线实例 | 76 |
| 3.3.1 | 电厂的电气主接线 | 76 |
| 3.3.2 | 变电所的电气主接线 | 81 |
| 第 4 章 | 变压器的选择 | 84 |
| 4.1 | 变压器容量和台数的选择 | 84 |
| 4.1.1 | 主变压器容量的选择 | 84 |
| 4.1.2 | 主变压器台数的选择 | 86 |
| 4.2 | 主变压器型式的选择 | 86 |
| 4.2.1 | 相数和结构型式的选择 | 88 |
| 4.2.2 | 绕组数量和连接方式的选择 | 88 |
| 4.2.3 | 电压调整方式的选择 | 89 |
| 4.3 | 变压器选择实例 | 90 |
| 4.3.1 | 主变压器选择原则 | 90 |
| 4.3.2 | 变压器选择实例 | 90 |
| 第 5 章 | 开关电器的选择 | 93 |
| 5.1 | 高压开关电器的选择 | 93 |
| 5.1.1 | 电气设备选择的一般原则 | 93 |
| 5.1.2 | 高压断路器的选择 | 94 |
| 5.1.3 | 高压隔离开关选择 | 96 |
| 5.1.4 | 高压负荷开关的选择 | 97 |
| 5.1.5 | 高压开关柜选择 | 97 |
| 5.2 | 低压开关电器的选择 | 98 |
| 5.2.1 | 低压断路器 | 98 |
| 5.2.2 | 低压刀开关 | 100 |
| 5.2.3 | 低压熔断器 | 100 |
| 5.3 | 开关电器选择实例 | 103 |
| 第 6 章 | 母线和输电线路的选择 | 107 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 6.1 | 母线的选择 | 107 |
| 6.1.1 | 基本概念..... | 107 |
| 6.1.2 | 截面的选择..... | 109 |
| 6.1.3 | 动热稳定性校验..... | 116 |
| 6.2 | 输电线路的选择 | 118 |
| 6.2.1 | 基本概念..... | 118 |
| 6.2.2 | 截面的选择..... | 124 |
| 6.2.3 | 定性校验热稳定..... | 131 |
| 6.3 | 输电线路选择举例 | 131 |
| 6.3.1 | 母线选择举例..... | 131 |
| 6.3.2 | 输电线路选择举例..... | 133 |
| 第 7 章 | 电动机的选择 | 136 |
| 7.1 | 电动机选择的基本原则和内容 | 136 |
| 7.1.1 | 电动机选择的基本原则..... | 136 |
| 7.1.2 | 电动机选择的主要内容..... | 136 |
| 7.2 | 电动机功率的选择 | 138 |
| 7.2.1 | 电动机的额定功率和实际功率..... | 138 |
| 7.2.2 | 恒定负载电动机额定功率的选择..... | 138 |
| 7.2.3 | 周期性变动负载电动机额定功率的选择..... | 142 |
| 7.3 | 电动机选择实例 | 145 |
| 第 8 章 | 互感器的选择 | 148 |
| 8.1 | 电压互感器的选择 | 148 |
| 8.1.1 | 电压互感器的一般知识..... | 148 |
| 8.1.2 | 按照基本技术参数选择..... | 149 |
| 8.2 | 电流互感器的选择 | 153 |
| 8.2.1 | 电流互感器的一般知识..... | 153 |
| 8.2.2 | 测量用电流互感器..... | 155 |
| 8.2.3 | 保护用电流互感器..... | 158 |
| 8.2.4 | TP 类保护用电流互感器 | 162 |
| 8.3 | 电子式互感器简介 | 167 |
| 8.4 | 互感器选择举例 | 171 |
| 8.4.1 | 发电机差动保护用电流互感器选择..... | 171 |
| 8.4.2 | 220kV 线路保护用电流互感器的选择 | 172 |
| 8.4.3 | 母线差动保护用电流互感器选择..... | 173 |
| 8.4.4 | 超高压输电线路保护用电流互感器选择..... | 176 |
| 8.4.5 | 超高压电网降压变压器差动保护用电流互感器选择..... | 177 |
| 8.4.6 | 大型发电机变压器组差动保护用电流互感器选择..... | 179 |
| 第 9 章 | 其他电气设备的选择..... | 181 |
| 9.1 | 电抗器的选择 | 181 |
| 9.1.1 | 按照基本技术参数选择..... | 181 |

| | | |
|---------------|---------------------------------|------------|
| 9.1.2 | 按照短路条件校验 | 183 |
| 9.2 | 高压熔断器的选择 | 184 |
| 9.2.1 | 基本概念 | 184 |
| 9.2.2 | 按照基本技术参数选择 | 185 |
| 9.2.3 | 高压熔断器的校验 | 186 |
| 9.3 | 穿墙套管和绝缘子的选择 | 188 |
| 9.3.1 | 基本概念 | 188 |
| 9.3.2 | 按照基本技术参数选择 | 190 |
| 9.3.3 | 稳定性校验 | 191 |
| 9.4 | 避雷器的选择 | 192 |
| 9.4.1 | 避雷器的分类 | 192 |
| 9.4.2 | 避雷器的配置方式 | 194 |
| 9.4.3 | 氧化锌避雷器的技术参数 | 196 |
| 9.4.4 | 避雷器的选择计算 | 201 |
| 9.4.5 | 避雷器选择举例 | 203 |
| 第 10 章 | 某变电所负荷计算、短路电流计算及设备选择综合实例 | 205 |
| 10.1 | 原始资料分析 | 205 |
| 10.2 | 负荷计算和主变压器的选择 | 206 |
| 10.2.1 | 负荷计算 | 206 |
| 10.2.2 | 主变压器的选择 | 206 |
| 10.3 | 电气主接线设计 | 207 |
| 10.4 | 短路电流计算 | 208 |
| 10.4.1 | 最大运行方式下短路电流计算 | 210 |
| 10.4.2 | 三相短路电流计算结果 | 213 |
| 10.5 | 电气设备的选择 | 213 |
| 10.5.1 | 断路器的选择 | 214 |
| 10.5.2 | 电压互感器的选择 | 216 |
| 10.5.3 | 电流互感器的选择 | 216 |
| 10.5.4 | 高压熔断器的选择 | 218 |
| 10.5.5 | 母线的选择及校验 | 219 |
| 参考文献 | | 221 |

负荷计算

1.1 概述

负荷计算是供电设计中很重要的环节，其目的是为了合理选择电力系统导线、变压器、开关电器等设备，使电气设备和材料既能得到充分利用又能满足电网的安全运行。同时又为确定测量仪表的量程、选择继电保护装置等提供重要的计算依据。

在进行供电设计时，原始资料为各种用电设备的产品铭牌数据，如额定容量、额定电压等，这些数据是设计的依据。但是不能简单地按用设备额定容量来选择导体和各种供电设备。原因是所安装的设备并不是同时运行的，而且运行着的设备实际需用的负荷也并不是每一时刻都等于设备的额定容量，而是在不超过额定容量的范围内，时大时小地变化着。所以直接用额定容量（也称安装容量）来选择供电设备和供配电系统，必将导致有色金属的浪费和工程投资的增加。因而，供配电设计的第一步，需要计算用电设备的实际负荷。负荷计算的内容主要有：

① 求计算负荷，也称需用负荷。目的是为了合理地选择各级电压供电网络、变压器容量和电气设备型号等。

② 求尖峰电流。用于计算电压波动、电压损失，选择熔断器和保护元件等。

③ 求平均负荷。用来计算电能需求量、电能损耗和选择无功补偿装置等。

电气负荷计算方法主要有需要系数法、利用系数法、二项式系数法、单位面积功率计算法、单位产品功率计算法等。

① 需要系数法：用设备功率乘以需要系数和同时系数，直接求出计算负荷；

② 利用系数法：采用利用系数求出最大负荷班的平均负荷，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求得计算负荷；

③ 二项式系数法：将负荷分为基本负荷和附加负荷，后者考虑一定数量大容量设备影响；

④ 单位面积功率法、单位指标法、单位产品耗电量法等：可用于初步设计用电量指标的估算，对于住宅建筑，在设计各阶段均可使用单位面积功率法。

目前我国设计部门在进行工矿企业供电设计时，常用需用系数法、二项式法和利用系数法，前两种在国内各设计单位的使用最为普遍。

1.2 用电设备组额定容量的计算

进行负荷计算时，需将用电设备按其性质分为不同的用电设备组，然后确定设备容量

(或称设备功率)。

用电设备铭牌上标出的功率(或容量)称为用电设备的额定功率(或额定容量),该功率是指用电设备额定的输出功率。由于各用电设备的额定工作条件不同,有的长期工作,有的短时工作,因而在求计算负荷时,不能将额定功率直接相加,而需将不同工作制的用电设备额定功率换算为统一规定工作制条件下的功率,这个功率称为用电设备的设备功率(或设备容量)。

用电设备按照工作制的不同分为如下三类。

① 长时工作制用电设备,这类设备长期连续运行,负荷比较稳定,此类设备有:通风机、空气压缩机、水泵、提升机、机床电动机、电炉和照明灯等。

② 短时工作制用电设备,这类工作制的设备工作时间短,而停歇时间长,此类设备有:小绞车、机床上的某些辅助电动机(如进给电动机)等。

③ 断续周期工作制用电设备,这类工作制的设备周期性地时而工作、时而停歇,如此反复进行,而工作周期一般不超过 10min,此类设备有:电焊机、吊车电动机等。

(1) 单台用电设备的设备功率

① 长时连续工作制用电设备。长时连续工作制用电设备的设备功率就等于其铭牌上的额定功率。

② 短时工作制用电设备。短时工作制用电设备的设备功率就等于其铭牌上的额定功率。如该设备正常生产不使用,只在事故或检修时用,支线负荷按额定功率确定,干线上的负荷可不考虑。如其容量较大,影响干线配电设备选择时,应适当考虑。

③ 断续周期工作制用电设备。断续周期工作制设备的功率,是将用电设备在不同负载持续率下的额定容量统一换算为规定的负载持续率下的额定功率。这种换算,是以“热量等效”的原则进行的。

负载持续率又称为暂载率或相对工作时间,用符号 ϵ 表示,用一个工作周期内的工作时间 t 与工作周期 T 的百分比表示

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

式中 T ——工作周期;

t ——工作周期内的工作时间;

t_0 ——工作周期内的停歇时间。

同一设备,在不同的负荷持续率下工作,其输出功率是不同的。

对于起重运输设备,要求统一换算到暂载率 $\epsilon = 25\%$ 下的功率,即

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon}} = 2P_N \sqrt{\epsilon_N} \quad (1-2)$$

对于电焊设备,要求统一换算到暂载率 $\epsilon = 100\%$ 下的功率,即

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon}} = P_N \sqrt{\epsilon_N} \quad (1-3)$$

式中 P_e ——换算为统一要求负载持续率下的用电设备的设备功率, kW;

ϵ ——统一要求的负载持续率;

P_N ——设备铭牌上的额定有功功率, kW;

ϵ_N ——设备铭牌上的负载持续率。

④ 电炉变压器的设备功率是指额定功率因数时的有功功率,即

$$P_e = S_r \cos\varphi_r \quad (1-4)$$

式中 S_r ——电炉变压器的额定容量, kV·A;

$\cos\varphi_r$ ——电炉变压器的额定功率因数。

⑤ 整流变压器的设备功率是指额定直流功率。

⑥ 白炽灯和卤钨灯的设备功率为灯泡额定功率。气体放电灯的设备功率为灯管额定功率加镇流器的功率损耗（荧光灯采用普通型电感镇流器加 25%，采用节能型电感镇流器加 15%~18%，采用电子镇流器加 10%；金属卤化物灯、高压钠灯、荧光高压汞灯用普通电感镇流器时加 14%~16%，用节能型电感镇流器时加 9%~10%）。

【例 1-1】 有 380V 对地焊机 1 台，其额定有功功率为 $P_N = 30\text{kW}$ ，额定暂载率 $\epsilon_N = 60\%$ ，试求该对地焊机的设备功率 P_e 。

解：由于电焊设备，要求统一换算到暂载率 $\epsilon = 100\%$ 下的功率，所以其设备功率应为：

$$\begin{aligned} P_e &= P_N \sqrt{\frac{\epsilon_N}{\epsilon}} = P_N \sqrt{\epsilon_N} \\ &= 30 \sqrt{0.6} \\ &= 23 \text{ kW} \end{aligned}$$

(2) 用电设备组的设备功率

用电设备组的设备功率是指不包括备用设备在内的所有单个用电设备的设备功率之和。

(3) 变电所或建筑物的总设备功率

变电所或建筑物的总设备功率应取所供电的各用电设备组设备功率之和，但应剔除不同时使用的负荷，例如：

① 消防设备容量一般可不计入总设备容量。

② 季节性用电设备（如制冷设备和采暖设备）应选择其最大者计入总设备容量。

(4) 柴油发电机的负荷统计

① 当柴油发电机仅作为消防、保安性质用电设备的应急电源时，用电负荷应计算消防泵（含消防栓泵、喷淋泵、消防加压泵和排水泵）、消防电梯、防排烟设备、消防控制设备、安防设备、电视监控设备、应急照明等设备的功率。

② 当采用柴油发电机作为备用电源时，除计算保安性质负荷的用电设备外，根据用电负荷的性质和需要，还应计算所带其他负荷的设备功率。

由于发生火灾时，可停掉除保安性质负荷用电设备以外的非消防用电设备的电源，而非消防状态下消防设备又不投入运行，二者不同时使用，所以应取其大者作为确定发电机组容量的依据。

③ 民用建筑设计中，在方案和初步设计阶段可按供电变压器容量的 10%~20% 估算柴油发电机容量。

1.3 负荷计算的方法

1.3.1 需要系数法

由于一个用电设备组中的设备并不一定同时工作，工作的设备也不一定都工作在额定状态下，另外考虑到线路的损耗、用电设备本身的损耗等因素，设备或设备组的计算负荷等于用电设备组的总容量乘以一个小于 1 的系数，叫做需要系数，用 K_d 表示。

利用一个需要系数乘以设备容量求得设备有功计算负荷的方法，称为需要系数法。该方法计算十分简便，应用最为普遍。比较适用设备台数较多的车间及全厂范围的计算负荷的确定。

(1) 单组用电设备组的计算负荷

将用电设备按其工作性质参照表 1-1 划分为若干组。工作性质相同的同组用电设备按下

式确定其计算负荷:

$$\left. \begin{aligned} P_{30} &= K_d \sum P_e \\ Q_{30} &= P_{30} \tan \varphi \\ S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \\ I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N} \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

- 式中 P_{30} ——该用电设备组的有功计算负荷, kW;
 Q_{30} ——该用电设备组的无功计算负荷, kvar;
 S_{30} ——该用电设备组的视在计算负荷, kV·A;
 $\sum P_e$ ——该用电设备组的设备容量之和, kW;
 $\tan \varphi$ ——该用电设备组功率因数角的正切值, 不包括备用者, 其具体数值见表 1-1;
 K_d ——该用电设备组的需要系数, 具体数值见表 1-1;
 U_N ——额定电压, kV;
 I_{30} ——该用电设备组的计算电流, A。

表 1-1 各用电设备组的需要系数 K_d 及功率因数 $\cos \varphi$

| 用电设备组名称 | K_d | $\cos \varphi$ | $\tan \varphi$ |
|--------------------------|-----------|----------------|----------------|
| 单独传动的金属加工机床: | | | |
| 1. 小批量生产金属冷加工机床 | 0.12~0.16 | 0.50 | 1.73 |
| 2. 大批量生产金属冷加工机床 | 0.17~0.20 | 0.50 | 1.73 |
| 3. 小批量生产金属热加工机床 | 0.20~0.25 | 0.55~0.60 | 1.51~1.33 |
| 4. 大批量生产金属热加工机床 | 0.25~0.28 | 0.65 | 1.17 |
| 压床、锻锤、剪床及其他锻工机械 | 0.25 | 0.60 | 1.33 |
| 连续运输机械 | | | |
| 1. 联锁的 | 0.65 | 0.75 | 0.88 |
| 2. 非联锁的 | 0.60 | 0.75 | 0.88 |
| 轧钢车间反复短时工作制的机械 | 0.30~0.40 | 0.50~0.60 | 1.73~1.33 |
| 通风机 | | | |
| 1. 生产用 | 0.75~0.85 | 0.80~0.85 | 0.75~0.62 |
| 2. 卫生用 | 0.65~0.70 | 0.80 | 0.75 |
| 泵、活塞式压缩机、鼓风机、电动发电机组、排风机等 | 0.75~0.85 | 0.80 | 0.75 |
| 透平压缩机和透平鼓风机 | 0.85 | 0.85 | 0.62 |
| 破碎机、筛选机、碾砂机 | 0.75~0.80 | 0.80 | 0.75 |
| 磨碎机 | 0.80~0.85 | 0.80~0.85 | 0.75~0.62 |
| 铸铁车间造型机 | 0.70 | 0.75 | 0.88 |
| 搅拌器、凝结器、分级器等 | 0.75 | 0.75 | 0.88 |
| 水银整流机组 (在变压器一次侧): | | | |
| 1. 电解车间用 | 0.90~0.95 | 0.82~0.90 | 0.70~0.48 |
| 2. 起重机负荷 | 0.30~0.50 | 0.87~0.90 | 0.57~0.48 |
| 3. 电气牵引用 | 0.40~0.50 | 0.92~0.94 | 0.43~0.36 |

续表

| 用电设备组名称 | K_d | $\cos \varphi$ | $\tan \varphi$ |
|--------------------|-----------|----------------|----------------|
| 感应电炉 (不带功率因数补偿装置): | | | |
| 1. 高频 | 0.80 | 0.6 | 1.33 |
| 2. 低频 | 0.80 | 0.35 | 2.67 |
| 电阻炉: | | | |
| 1. 自动装料 | 0.70~0.80 | 0.98 | 0.20 |
| 2. 非自动装料 | 0.60~0.70 | 0.98 | 0.20 |
| 小容量试验设备和试验台: | | | |
| 1. 带电动发电机组 | 0.15~0.40 | 0.70 | 1.02 |
| 2. 带试验变压器 | 0.10~0.25 | 0.20 | 4.91 |
| 起重机: | | | |
| 1. 锅炉房、修理、金工、装配车间 | 0.05~0.15 | 0.50 | 1.73 |
| 2. 铸铁车间、平炉车间 | 0.15~0.30 | 0.50 | 1.73 |
| 3. 轧钢车间、脱锭工部等 | 0.25~0.35 | 0.50 | 1.73 |
| 电焊机: | | | |
| 1. 电焊与缝焊用 | 0.35 | 0.60 | 1.33 |
| 2. 对焊用 | 0.35 | 0.70 | 1.02 |
| 电焊变压器 | | | |
| 1. 自动焊接用 | 0.50 | 0.40 | 2.29 |
| 2. 单头手动焊接用 | 0.35 | 0.35 | 2.68 |
| 3. 多头手动焊接用 | 0.40 | 0.35 | 2.68 |
| 焊接用电发电机组 | | | |
| 1. 单头焊接用 | 0.35 | 0.60 | 1.33 |
| 2. 多头焊接用 | 0.70 | 0.75 | 0.80 |
| 电弧炼钢炉变压器 | 0.90 | 0.87 | 0.57 |
| 煤气电气滤清机组 | 0.80 | 0.78 | 0.80 |

当 K_d 有一定的变动范围时, 应根据生产工艺、设备台数和容量等情况确定其具体值。设备使用率高、设备台数较少且其容量差别稍大时, 取用较大值; 设备使用率低、台数较多时取用较小值。

(2) 多组用电设备总的计算负荷

各用电设备组的计算负荷相加再乘以同时系数即得多组用电设备总的计算负荷:

$$\left. \begin{aligned}
 P_{30} &= K_{\Sigma P} \sum_{i=1}^n P_{30 \cdot i} \\
 Q_{30} &= K_{\Sigma Q} \sum_{i=1}^n Q_{30 \cdot i} \\
 S_{30} &= \sqrt{(P_{30})^2 + (Q_{30})^2} \\
 I_{30} &= \frac{S_{30}}{\sqrt{3}U_N}
 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

式中 $K_{\Sigma P}$ ——最大有功负荷同时系数，具体数值见表 1-2；
 $K_{\Sigma Q}$ ——最大无功负荷同时系数，具体数值见表 1-2；
 P_{30} ——该用电设备组的有功计算负荷，kW；
 Q_{30} ——该用电设备组的无功计算负荷，kvar；
 S_{30} ——该用电设备组的视在计算负荷，kV·A；
 $P_{30 \cdot i}$ ——各用电设备组的有功计算负荷，kW；
 $Q_{30 \cdot i}$ ——各用电设备组的无功计算负荷，kvar。

表 1-2 需要系数法的同时系数

| 应用范围 | K_{Σ} |
|--------------------------------|--------------|
| 确定车间变电所低压母线的最大负荷时，所采用的有功负荷同时系数 | |
| 1. 冷加工车间 | 0.7~0.8 |
| 2. 热加工车间 | 0.7~0.9 |
| 3. 动力站 | 0.8~1.0 |
| 确定配电所母线的最大负荷时，所采用的有功负荷同时系数 | |
| 1. 计算负荷小于 5000kW | 0.9~1.0 |
| 2. 计算负为 5000~10000kW | 0.85 |
| 3. 计算负超过 10000kW | 0.80 |

注：1. 无功负荷的同时系数 $K_{\Sigma Q}$ 一般采用与有功负荷的同时系数 $K_{\Sigma P}$ 相同数值；
 2. 当由全厂各车间的设备容量直接计算全厂最大负荷时，应同时乘以表中两种同时系数。

【例 1-2】 某小批量生产车间 380V 线路上接有金属切削机床共 20 台，其中 10.5kW 的 4 台，7.5kW 的 8 台，5kW 的 8 台；车间有 380V 电焊机 2 台，每台容量 20kW， $\epsilon_N=65\%$ ；车间有吊车 1 台 11kW， $\epsilon_N=50\%$ ，试计算此车间的计算负荷。

解：（1）金属切削机床组的计算负荷

查表 1-1 得到需要系数和功率因数为：

$$K_d = 0.2, \quad \cos\varphi = 0.5, \quad \tan\varphi = 1.73$$

$$P_{e(1)} = 10.5 \times 4 + 7.5 \times 8 + 5 \times 8 = 142\text{kW}$$

$$P_{30(1)} = 0.2 \times 142 = 28.4\text{kW}$$

$$Q_{30(1)} = 1.73 \times 28.4 = 49.1\text{kvar}$$

$$S_{30(1)} = \sqrt{28.4^2 + 49.1^2} = 56.8\text{kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30(1)} = \frac{56.8}{\sqrt{3} \times 0.38} = 86.3\text{A}$$

（2）电焊机组的计算负荷

查表 1-1 得到需要系数和功率因数为：

$$K_d = 0.35, \quad \cos\varphi = 0.35, \quad \tan\varphi = 2.68$$

$$P_{e(2)} = \sqrt{\epsilon_N} P_N = \sqrt{0.65} \times 2 \times 20 = 0.806 \times 2 \times 20 = 32.2\text{kW}$$

$$P_{30(2)} = 0.35 \times 32.2 = 11.3\text{kW}$$

$$Q_{30(2)} = 11.3 \times 2.68 = 30.3\text{kvar}$$

$$S_{30(2)} = \sqrt{11.3^2 + 30.3^2} = 32.3\text{kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30(2)} = \frac{32.3}{\sqrt{3} \times 0.38} = 49.1 \text{ A}$$

(3) 吊车组的计算负荷

查表 1-1 得到需要系数和功率因数为:

$$K_d = 0.15, \cos\varphi = 0.5, \tan\varphi = 1.73$$

$$P_{e(3)} = \sqrt{\epsilon_N} P_N = \sqrt{0.5} \times 11 = 0.7 \times 11 = 7.7 \text{ kW}$$

$$P_{30(3)} = 0.15 \times 7.7 = 1.2 \text{ kW}$$

$$Q_{30(3)} = 1.2 \times 1.73 = 2.1 \text{ kvar}$$

$$S_{30(3)} = \sqrt{1.2^2 + 2.1^2} = 2.4 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30(3)} = \frac{2.4}{\sqrt{3} \times 0.38} = 4.6 \text{ A}$$

(4) 全车间的总计算负荷

查表取同时系数为 0.9, 所以全车间的计算负荷为: $K_{\Sigma} = 0.9$

$$P_{30} = K_{\Sigma p} \sum_{i=1}^n P_{30 \cdot i} = 0.9 \times (28.4 + 11.3 + 1.2) = 36.8 \text{ kW}$$

$$Q_{30} = K_{\Sigma q} \sum_{i=1}^n Q_{30 \cdot i} = 0.9 \times (49.1 + 30.3 + 2.1) = 73.4 \text{ kvar}$$

$$S_{30} = \sqrt{(P_{30})^2 + (Q_{30})^2} = \sqrt{36.8^2 + 73.4^2} = 82.1 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N} = \frac{82.1}{\sqrt{3} \times 0.38} = 124.7 \text{ A}$$

1.3.2 利用系数法

利用系数法确定计算负荷时, 不论计算范围大小, 都必须求出该计算范围内用电设备有效台数及最大系数, 而后算出结果。

(1) 用电设备组在最大负荷班内的平均负荷

$$\text{有功功率} \quad P_p = K_1 P_N \text{ (kW)} \quad (1-7)$$

$$\text{无功功率} \quad Q_p = P_p \tan\varphi \text{ (kvar)} \quad (1-8)$$

式中 P_N ——用电设备组的设备功率, kW;

K_1 ——用电设备组在最大负荷班内的利用系数, 见表 1-3;

$\tan\varphi$ ——用电设备组的功率因数角的正切值, 见表 1-3。

表 1-3 利用系数 K_1 、 $\cos\varphi$ 及 $\tan\varphi$

| 用电设备组名称 | K_1 | $\cos\varphi$ | $\tan\varphi$ |
|--|-----------|---------------|---------------|
| 一般工作制小批生产用金属切削机床 (小型车、刨、插、铣、钻床、砂轮机等) | 0.1~0.12 | 0.5 | 1.73 |
| 一般工作制大批生产用金属切削机床 | 0.12~0.14 | 0.5 | 1.73 |
| 重工作制金属切削机床 (冲床、自动车床、六角车床、粗磨、铣齿、大型车床、刨、铣、立车、镗床) | 0.16 | 0.55 | 1.51 |
| 小批生产金属热加工机床 (锻锤传动装置、锻造机、拉丝机、清理转磨筒、碾磨机等) | 0.17 | 0.6 | 1.33 |

续表

| 用电设备组名称 | K_1 | $\cos\varphi$ | $\tan\varphi$ |
|--------------------------------|-----------|---------------|---------------|
| 大批生产金属热加工机床 | 0.2 | 0.65 | 1.17 |
| 生产用通风机 | 0.55 | 0.8 | 0.75 |
| 卫生用通风机 | 0.5 | 0.8 | 0.75 |
| 泵、空气压缩机、电动发电机组 | 0.55 | 0.8 | 0.75 |
| 移动式电动工具 | 0.05 | 0.5 | 1.73 |
| 不连锁的连续运输机械（提升机、皮带运输机、螺旋运输机等） | 0.35 | 0.75 | 0.88 |
| 连锁的连续运输机械 | 0.5 | 0.75 | 0.88 |
| 起重机及电动葫芦（ $\epsilon = 100\%$ ） | 0.15~0.20 | 0.5 | 1.73 |
| 电阻炉、干燥箱、加热设备 | 0.55~0.65 | 0.95 | 0.33 |
| 试验室用小型电热设备 | 0.35 | 1 | 0 |
| 10t 以下电弧炼钢炉 | 0.65 | 0.8 | 0.75 |
| 单头直流弧焊机 | 0.25 | 0.6 | 1.33 |
| 多头直流弧焊机 | 0.5 | 0.7 | 1.02 |
| 单头弧焊变压器 | 0.25 | 0.35 | 2.67 |
| 多头弧焊变压器 | 0.3 | 0.35 | 2.67 |
| 自动弧焊机 | 0.3 | 0.5 | 1.73 |
| 点焊机及缝焊机 | 0.25 | 0.6 | 1.33 |
| 对焊机及铆钉加热器 | 0.25 | 0.7 | 1.02 |
| 工频感应电炉 | 0.75 | 0.35 | 2.67 |
| 高频感应电炉（用电动发电机组） | 0.7 | 0.8 | 0.75 |
| 高频感应电炉（用真空管振荡器） | 0.65 | 0.65 | 1.17 |

(2) 平均利用系数

$$K_{1p} = \frac{\sum P_p}{\sum P_N} \quad (1-9)$$

式中 $\sum P_p$ ——各用电设备组平均负荷的有功功率之和，kW；

$\sum P_N$ ——各用电设备组的设备功率之和，kW。

(3) 用电设备的有效有台数

用电设备的有效台数 n_{yx} 是将不同设备功率和工作制的用电设备台数换算为相同设备功率和工作制的有效值，故

$$n_{yx} = \frac{(\sum P_N)}{\sum P_{1N}^2} \quad (1-10)$$

式中 P_{1N} ——单个用电设备的设备功率，kW。

① 当有效台数为 4 台及以上，且最大一台设备功率 $P_{1N \cdot \max}$ 与最小一台设备功率 $P_{1N \cdot \min}$ 的比值 $m \leq 3$ 时，取

$$n_{yx} = n \quad (1-11)$$

在确定 n_{yx} 值时, 可将组内总功率不超过全组总设备功率 5% 的一些最小用电设备略去。

② 当 $m > 3$ 和 $K_{lp} \geq 0.2$ 时, 取

$$n_{yx} = \frac{\sum P_N}{0.5 P_{1N \cdot \max}} \quad (1-12)$$

如按上式求得的 n_{yx} 比实际台数还多, 则取 $n_{yx} = n$ 。

③ 当 $m > 3$ 和 $K_{lp} < 0.2$ 时, 取

$$n_{yx} = n'_{yx} n \approx \frac{0.95 (\sum P_N)^2}{\frac{(P_{nl})^2}{n_1} + \frac{(\sum P_N - P_{nl})^2}{n - n_1}} \quad (1-13)$$

$$n'_{yx} = \frac{n_{yx}}{n} \approx \frac{0.95}{\frac{(P')^2}{n'} + \frac{(1 - P')^2}{1 - n'}} \quad (1-14)$$

$$n' = \frac{n_1}{n}, \quad P' = \frac{P_{nl}}{\sum P_N} \quad (1-15)$$

式中 n —— 用电设备台数;

n_1 —— 用电设备中, 单台设备功率不小于最大一台设备功率一半的台数;

n' —— n_1 台数的相对值;

$\sum P_N$ —— 各用电设备组的设备功率之和, kW;

P_{nl} —— n_1 台设备的总设备功率, kW;

P' —— P_{nl} 功率的相对值;

n'_{yx} —— 有效台数相对值, 可根据相对值 n' 和 P' , 从表 1-4 查得。

表 1-4 用电设备有效台数相对值 n'_{yx}

| $n' \backslash P'$ | 1.0 | 0.95 | 0.9 | 0.85 | 0.8 | 0.75 | 0.7 | 0.65 | 0.6 | 0.55 | 0.5 | 0.45 | 0.4 | 0.35 | 0.3 | 0.25 | 0.2 | 0.15 | 0.1 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.10 | 0.14 | 0.20 | 0.32 | 0.52 |
| 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.09 | 0.11 | 0.14 | 0.19 | 0.26 | 0.36 | 0.51 | 0.71 |
| 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.21 | 0.27 | 0.36 | 0.49 | 0.64 | 0.81 |
| 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.22 | 0.27 | 0.34 | 0.44 | 0.57 | 0.72 | 0.86 |
| 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.10 | 0.11 | 0.13 | 0.15 | 0.18 | 0.22 | 0.26 | 0.33 | 0.41 | 0.51 | 0.64 | 0.79 | 0.90 |
| 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.18 | 0.21 | 0.26 | 0.31 | 0.38 | 0.47 | 0.58 | 0.70 | 0.83 | 0.92 |
| 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.20 | 0.24 | 0.28 | 0.33 | 0.40 | 0.48 | 0.57 | 0.68 | 0.79 | 0.89 | 0.94 |
| 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.12 | 0.13 | 0.15 | 0.17 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.29 | 0.34 | 0.40 | 0.47 | 0.56 | 0.66 | 0.76 | 0.85 | 0.92 | 0.95 |
| 0.15 | 0.14 | 0.16 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | 0.25 | 0.28 | 0.32 | 0.37 | 0.42 | 0.48 | 0.56 | 0.67 | 0.72 | 0.80 | 0.88 | 0.93 | 0.95 | |
| 0.20 | 0.19 | 0.21 | 0.23 | 0.26 | 0.29 | 0.33 | 0.37 | 0.42 | 0.47 | 0.54 | 0.64 | 0.69 | 0.76 | 0.83 | 0.89 | 0.93 | 0.95 | | |
| 0.25 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.32 | 0.36 | 0.41 | 0.45 | 0.51 | 0.57 | 0.64 | 0.71 | 0.78 | 0.85 | 0.90 | 0.93 | 0.95 | | | |
| 0.30 | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.43 | 0.48 | 0.53 | 0.60 | 0.66 | 0.73 | 0.80 | 0.86 | 0.90 | 0.94 | 0.95 | | | | |
| 0.35 | 0.33 | 0.37 | 0.41 | 0.45 | 0.50 | 0.56 | 0.62 | 0.68 | 0.74 | 0.81 | 0.86 | 0.91 | 0.94 | 0.95 | | | | | |
| 0.40 | 0.38 | 0.42 | 0.47 | 0.52 | 0.57 | 0.63 | 0.69 | 0.75 | 0.81 | 0.86 | 0.91 | 0.93 | 0.95 | | | | | | |