

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高职高专规划教材

机械工业出版社精品教材

# 供 配 电 技 术

第 4 版

刘介才 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书是教育部高职高专规划教材,为2012年第3版的修订本,主要适用于电气自动化技术、电力系统自动化技术、建筑电气工程技术、供用电技术等专业。本书亦可供广播电视大学、职工大学、业余大学及应用型本科有关专业使用,并可供有关工程技术人员参考。

本书共分十章,包括概论,供配电系统的主要电气设备,电力负荷及其计算,短路计算及电器的选择校验,供配电系统的接线、结构及安装图,供配电系统的保护,供配电系统的二次回路及其自动装置与自动化,电气照明,安全用电、节约用电与计划用电,供配电系统的设计施工、运行维护与检修试验。

本书在第3版的基础上,本着“与时俱进、精益求精”的精神,根据我国近年来新颁布的一系列标准规范及供配电技术的最新发展,进行了全面的修订,使本教材切实具有新颖实用的特色。

为便于教师授课,本书备有免费电子课件和章后习题详解,凡选用本书做授课教材的教师均可来电索取,电话:010-88379375, Email: cmp-gaozhi@sina.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

供配电技术/刘介才编著. —4版. —北京:机械工业出版社,2017.1  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 教育部高职高专规划教材  
机械工业出版社精品教材  
ISBN 978-7-111-55202-4

I. ①供… II. ①刘… III. ①供电系统-高等职业教育-教材②配电系统-高等职业教育-教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第249105号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:于宁

责任校对:陈延翔 封面设计:马精明

责任印制:李飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017年1月第4版第1次印刷

184mm×260mm · 26印张·627千字

0001—5000册

标准书号:ISBN 978-7-111-55202-4

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 出版说明

教材建设工作是整个高职高专教育教学工作中的重要组成部分。改革开放以来，在各级教育行政部门、学校和有关出版社的共同努力下，各地已出版了一批高职高专教育教材。但从整体上看，具有高职高专教育特色的教材极其匮乏，不少院校尚在借用本科或中专教材，教材建设仍落后于高职高专教育的发展需要。为此，1999 年教育部组织制定了《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》)，通过推荐、招标及遴选，组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师，成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍，并在有关出版社的积极配合下，推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版 500 种，用 5 年左右时间完成。出版后的教材将覆盖高职高专教育的基础课程和主干专业课程。计划先用 2~3 年的时间，在继承原有高职、高专和成人高等学校教材建设成果的基础上，充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验，解决好新形势下高职高专教育教材的有无问题；然后再用 2~3 年的时间，在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上，通过研究、改革和建设，推出一大批教育部高职高专教育教材，从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

“教育部高职高专规划教材”是按照《基本要求》和《培养规格》的要求，充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的，适用于中等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

# 前言

本书是教育部高职高专规划教材，为 2012 年第 3 版的修订本，主要适用于电气自动化技术、电力系统自动化技术、建筑电气工程技术、供用电技术专业。本书也适用于广播电视大学、职工大学、业余大学及应用型本科的有关专业，并可供有关工程技术人员参考。教材内容可根据各校专业要求和教学时数自行取舍。限于教学时数时，目录中标有“\*”号的章节，可作为选讲内容，或安排给学生自学。

本书共分十章。首先是概论，简要地讲述供配电工作的意义、要求及本课程任务，供配电系统及发电厂、电力系统和自备电源的基本知识，电力系统的中性点运行方式及低压配电系统的接地形式，供电质量要求及电力用户供配电电压的选择等，为学习本课程打下初步的基础。接着依次讲述供配电系统的主要电气设备、电力负荷及其计算、短路计算及电器的选择校验、供配电系统的接线与结构及安装图、供配电系统的保护、二次回路及其自动装置与自动化、电气照明、安全用电、节约用电与计划用电。最后讲述供配电系统的设计施工、运行维护与检修试验。

为便于学生复习和自学，每章前列有内容提要，每章末附有复习思考题和习题，书末附有习题参考答案。为配合教学和习题的需要，书末还附录一些技术数据图表。为便于学生更准确地理解有关专业名词术语的含义，本书对首次出现的一些专业名词术语加注了英文，并在本书前面列有中英含义对照的字符表，供参考。

本书在第 3 版的基础上，本着“与时俱进、精益求精”的精神，根据我国近年来新颁布的一系列标准规范及供配电技术的最新发展，又进行了全面的修订，使本教材切实具有新颖、实用和便于自学的特色。

为便于教师授课，本书特备有免费电子课件和章后习题详解，凡选用本书做授课教材的教师均可来电索取，电话：010-88379375。

本书的修订，得到一些学校老师和出版社有关编辑的支持，谨在此表示谢意！

限于本人水平，书中错漏难免，敬请使用本书的师生和有关专家指正，本人不胜感激！

刘介才



## 出版说明

## 前言

## 本书常用字符表

## 第一章 概论 ..... 1

第一节 供配电工作的意义、要求及  
课程任务 ..... 1

第二节 供配电系统及发电厂、电力  
系统和自备电源基本知识 ..... 2

第三节 电力系统的中性点运行方式及  
低压配电系统的接地型式 ..... 9

第四节 供电质量要求及电力用户供  
配电电压的选择 ..... 14

复习思考题 ..... 23

习题 ..... 23

## 第二章 供配电系统的主要电气设备 ... 25

第一节 电气设备概述 ..... 25

第二节 电力变压器和互感器 ..... 25

第三节 高低压开关电器 ..... 39

第四节 高低压熔断器和避雷器 ..... 58

第五节 无功补偿设备和成套配电装置 ... 68

复习思考题 ..... 76

习题 ..... 77

## 第三章 电力负荷及其计算 ..... 78

第一节 电力负荷与负荷曲线 ..... 78

第二节 三相用电设备组计算负荷的  
确定 ..... 82

\* 第三节 单相用电设备组计算负荷的  
确定 ..... 90

第四节 用户计算负荷及年耗电量的  
计算 ..... 93

第五节 尖峰电流及其计算 ..... 100

复习思考题 ..... 100

习题 ..... 101

## 第四章 短路计算及电器的选择校验 ... 103

第一节 短路的原因、后果及其形式 ... 103

第二节 无限大容量电力系统发生三相  
短路时的物理过程和物理量 ... 105

第三节 无限大容量电力系统中的短路  
电流计算 ..... 107

第四节 短路电流的效应与校验 ..... 116

第五节 高低压电器的选择与校验 ..... 120

复习思考题 ..... 130

习题 ..... 131

## 第五章 供配电系统的接线、结构及 安装图 ..... 133

第一节 变配电所的主接线方案 ..... 133

第二节 变配电所的类型、所址及其  
布置与结构 ..... 145

第三节 变电所主变压器及应急柴油  
发电机组的选择 ..... 159

第四节 供配电线路的接线与结构 ..... 161

第五节 供配电线路导线和电缆的  
选择计算 ..... 177

第六节 供配电系统的电气安装图 ..... 186

复习思考题 ..... 195

习题 ..... 196

## 第六章 供配电系统的保护 ..... 197

第一节 继电保护的任务与要求 ..... 197

第二节 常用的保护继电器及其接线和  
操作方式 ..... 198

第三节 高压电力线路的继电保护 ..... 209

第四节 电力变压器的继电保护 ..... 219

|                                         |     |                                                  |     |
|-----------------------------------------|-----|--------------------------------------------------|-----|
| 第五节 供配电系统和建筑物的防雷保护 .....                | 227 | 第三节 变配电所主要电气设备的检修试验 .....                        | 342 |
| 第六节 电气装置的接地与接零 .....                    | 238 | 第四节 供配电线路的检修试验 .....                             | 355 |
| 第七节 低压配电系统的漏电保护与等电位联结 .....             | 249 | 复习思考题 .....                                      | 359 |
| 复习思考题 .....                             | 254 | 附录 .....                                         | 361 |
| 习题 .....                                | 255 | 附表 1 S9 系列和 SC9 系列电力变压器的主要技术数据 .....             | 361 |
| <b>第七章 供配电系统的二次回路及其自动装置与自动化</b> .....   | 257 | 附表 2 部分高压断路器的主要技术数据 .....                        | 363 |
| 第一节 供配电系统的二次回路及其操作电源 .....              | 257 | 附表 3 部分万能式低压断路器的主要技术数据 .....                     | 364 |
| 第二节 高压断路器的控制与信号回路 .....                 | 260 | 附表 4 RM10 型低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线 .....             | 366 |
| 第三节 电测量仪表与绝缘监视装置 .....                  | 264 | 附表 5 RT0 型低压熔断器的主要技术数据和保护特性曲线 .....              | 367 |
| 第四节 供配电系统的自动装置 .....                    | 268 | 附表 6 部分并联电容器的主要技术数据 .....                        | 368 |
| * 第五节 高层建筑自动化系统 .....                   | 274 | 附表 7 并联电容器的无功补偿率 $\Delta q_c$ .....              | 369 |
| 第六节 供配电系统二次回路的接线和接线图 .....              | 277 | 附表 8 工业与民用建筑部分重要电力负荷的级别 .....                    | 369 |
| 复习思考题 .....                             | 282 | 附表 9 工业用电设备组的需要系数、二项式系数及功率因数参考值 .....            | 374 |
| 习题 .....                                | 283 | 附表 10 民用建筑用电设备组的需要系数及功率因数参考值 .....               | 375 |
| <b>第八章 电气照明</b> .....                   | 284 | 附表 11 部分企业的需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时参考值 .....        | 376 |
| 第一节 照明技术的有关概念 .....                     | 284 | 附表 12 LJ 型铝绞线、LGJ 型钢芯铝绞线和 LMV 型硬铝母线的主要技术数据 ..... | 376 |
| 第二节 电光源和灯具 .....                        | 287 | 附表 13 绝缘导线和电缆的电阻和电抗值 .....                       | 378 |
| 第三节 照明质量及照度计算 .....                     | 298 | 附表 14 导体在正常和短路时的最高允许温度及热稳定系数 .....               | 380 |
| * 第四节 照明供配电系统及电气安装图 .....               | 303 | 附表 15 电力变压器配用的高压熔断器规格 .....                      | 380 |
| 复习思考题 .....                             | 309 | 附表 16 绝缘导线明敷、穿钢管和穿塑料管时的允许载流量 .....               | 381 |
| 习题 .....                                | 310 | 附表 17 10kV 常用三芯电缆的允许载流量及校正系数 .....               | 386 |
| <b>第九章 安全用电、节约用电与计划用电</b> .....         | 311 | 附表 18 LQJ-10 型电流互感器的主要                           |     |
| * 第一节 电力供应与使用的管理原则 .....                | 311 |                                                  |     |
| 第二节 安全用电措施及触电急救 .....                   | 312 |                                                  |     |
| 第三节 节约用电措施及并联电容器的装设与运行 .....            | 320 |                                                  |     |
| 第四节 计划用电措施及电价与电费 .....                  | 329 |                                                  |     |
| 复习思考题 .....                             | 332 |                                                  |     |
| 习题 .....                                | 332 |                                                  |     |
| <b>* 第十章 供配电系统的设计施工、运行维护与检修试验</b> ..... | 333 |                                                  |     |
| 第一节 供配电工程的设计与施工 .....                   | 333 |                                                  |     |
| 第二节 供配电系统的运行维护 .....                    | 336 |                                                  |     |

|                                                                           |     |                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|-----|
| 技术数据 .....                                                                | 387 | 附表 26 垂直管形接地体的利用系<br>数值 .....                 | 392 |
| 附表 19 外壳防护等级的分类代号 .....                                                   | 387 | 附表 27 部分工业建筑一般照明标<br>准值 .....                 | 392 |
| 附表 20 架空裸导线的最小截面积 .....                                                   | 388 | 附表 28 部分民用和公共建筑照明<br>标准值 .....                | 395 |
| 附表 21 绝缘导线芯线的最小截面积 ...                                                    | 389 | 附表 29 GC1-A、B-2G 型工厂配照灯的<br>主要技术数据和计算图表 ..... | 397 |
| 附表 22 GL- <sup>11、15</sup> <sub>21、25</sub> 型电流继电器的主要<br>技术数据及其动作特性曲线 ... | 389 | 附表 30 功率因数调整电费表 .....                         | 398 |
| 附表 23 爆炸性气体和粉尘危险<br>区域的划分 .....                                           | 390 | <b>习题参考答案</b> .....                           | 399 |
| 附表 24 部分电力装置要求的工作接地<br>电阻值 .....                                          | 391 | <b>参考文献</b> .....                             | 402 |
| 附表 25 土壤电阻率参考值 .....                                                      | 391 |                                               |     |

# 本书常用字符表

## 一、电气设备的文字符号

| 文字符号 | 中 文 含 义    | 英 文 含 义                                | 旧符号       |
|------|------------|----------------------------------------|-----------|
| A    | 装置, 设备     | Device, Equipment                      | Z, SB     |
| A    | 放大器        | Amplifier                              | FD        |
| AL   | 照明配电箱      | Lighting distribution board            | XM        |
| AP   | 电力配电箱      | Power distribution board               | XL        |
| APD  | 备用电源自动投入装置 | Auto-put-into device of reserve-source | BZT       |
| ARD  | 自动重合闸装置    | Auto-reclosing device                  | ZCH       |
| AW   | 电能表箱       | Watt-hour meter box                    | XW        |
| C    | 电容; 电容器    | Electric capacity; Capacitor           | C         |
| EPS  | 应急电源       | Emergency power supply                 | EPS       |
| F    | 避雷器        | Arrester                               | BL        |
| FD   | 跌开式熔断器     | Drop-out fuse                          | DR        |
| FDL  | 负荷型跌开式熔断器  | Load-type drop-out fuse                | DRF       |
| FE   | 排气式避雷器     | Expulsion-type arrester                | GB        |
| FE   | 熔断器熔体      | Fuse element                           | RT        |
| FG   | 保护间隙       | Protective gap                         | JX        |
| FMO  | 金属氧化物避雷器   | Metel-Oxide arrester                   | JB        |
| FU   | 熔断器        | Fuse                                   | RD        |
| FV   | 阀式避雷器      | Valve-type arrester                    | FB        |
| G    | 发电机; 电源    | Generator; Source                      | F; DY     |
| HLG  | 绿色指示灯, 绿灯  | Green(indicator) lamp                  | LD        |
| HL   | 指示灯, 信号灯   | Indicator lamp, Pilot lamp             | XD        |
| HR   | 热脱扣器       | Heating release                        | RT        |
| K    | 继电器; 接触器   | Relay; Contactor                       | J; JC, C  |
| KA   | 电流继电器      | Current relay                          | LJ        |
| KAR  | 重合闸继电器     | Auto-reclosing relay                   | CHJ       |
| KG   | 气体(瓦斯)继电器  | Gas relay                              | WSJ       |
| KR   | 热继电器       | Heating relay                          | RJ        |
| KM   | 中间继电器; 接触器 | Medium relay; Contactor                | ZJ; JC, C |
| KO   | 合闸接触器      | Closing (ON) contactor                 | HC        |
| KS   | 信号继电器      | Signal relay                           | XJ        |
| KT   | 时间继电器      | Time-delay relay                       | SJ        |
| KV   | 电压继电器      | Voltage relay                          | YJ        |
| L    | 电感; 电抗器    | Inductance; Reactor                    | L; DK     |
| M    | 电动机        | Motor                                  | D         |
| N    | 中性线        | Neutral wire                           | N         |
| PA   | 电流表        | Ammeter                                | A         |
| PE   | 保护(接地)线    | Protective earthing wire               | —         |
| PEN  | 保护中性线      | Protective earthing and neutral wire   | N         |
| PJ   | 有功电能表      | Active energy meter                    | Wh        |

(续)

| 文字符号  | 中文含义         | 英文含义                               | 旧符号      |
|-------|--------------|------------------------------------|----------|
| PJR   | 无功电能表        | Reactive energe meter              | varh     |
| PV    | 电压表          | Voltmeter                          | V        |
| Q     | 开关           | Switch                             | K        |
| QF    | 断路器(含低压自动开关) | Circuit-breaker                    | DL, (ZK) |
| QK    | 刀开关          | Knife-switch                       | DK       |
| QS(F) | 负荷开关         | Load-switch                        | FK       |
| QS    | 隔离开关         | Disconnecter                       | GK       |
| R     | 电阻; 电阻器      | Resistance; Resistor               | R        |
| HLR   | 红色指示灯, 红灯    | Red (indicator) lamp               | HD       |
| RP    | 电位器          | Potential meter                    | W        |
| S     | 电力系统; 起辉器    | Power system; Glow starter         | XT; S    |
| SA    | 控制开关; 选择开关   | Control switch; Selector switch    | KK; XK   |
| SB    | 按钮           | Push-button                        | AN       |
| T     | 变压器          | Transformer                        | B        |
| TA    | 电流互感器        | Current transformer                | LH       |
| TAN   | 零序电流互感器      | Neutral-current transformer        | LLH      |
| TM    | 电力变压器        | Power transformer                  | LB       |
| TV    | 电压互感器        | Voltage transformer                | YH       |
| U     | 整流器; 变流器     | Rectifier; converter               | ZL; BL   |
| UPS   | 不间断电源        | Uninterrupted power supply         | UPS      |
| V     | 电子管; 晶体管     | Electronic tube; Transistor        | G; T     |
| VD    | 二极管          | Diode                              | D        |
| VE    | 电子管          | Electronic tube                    | G        |
| VT    | 晶体(三极)管      | Transister                         | T        |
| W     | 导线; 母线       | Wire; Busbar                       | XL; M    |
| WA    | 辅助小母线        | Auxiliary small-busbar             | FM       |
| WAS   | 事故音响信号小母线    | Accident sound signal small-busbar | SYM      |
| WB    | 母线           | Busbar                             | M        |
| WC    | 控制小母线        | Control small-busbar               | KM       |
| WF    | 闪光信号小母线      | Flash-light signal small-busbar    | SM       |
| WFS   | 预告信号小母线      | Forecast signal small-busbar       | YBM      |
| WH    | 白色指示灯, 白灯    | White (indicator) lamp             | BD       |
| WL    | 灯光信号小母线; 线路  | Lighting signal small-busbar; Line | DM; XL   |
| WO    | 合闸电源小母线      | Switch-on source small-busbar      | HM       |
| WS    | 信号电源小母线      | Signal source small-busbar         | XM       |
| WV    | 电压小母线        | Voltage small-busbar               | YM       |
| X     | 电抗           | Reactance                          | X        |
| X     | 端子板; 插头; 插座  | Terminal block; Plug; Socket       | —        |
| XB    | 连接片; 切换片     | Link; Switching block              | LP; QP   |
| XS    | 插座           | Socket                             | CZ       |
| YA    | 电磁铁          | Electromagnet                      | DC       |
| YE    | 黄色指示灯, 黄灯    | Yellow (indicator) lamp            | UD       |
| YO    | 合闸线圈         | Closing operation (ON) coil        | HQ       |
| YR    | 跳闸线圈; 脱扣器    | Opening operation coil; Release    | TQ       |

## 二、物理量的下角标的文字符号

| 文字符号 | 中文含义           | 英文含义                            | 旧符号        |
|------|----------------|---------------------------------|------------|
| a    | 年, 每年; 有功的     | year, annual; active            | n; yg      |
| Al   | 铝              | Aluminium                       | L          |
| al   | 允许             | allowable                       | yx         |
| av   | 平均             | average                         | pj         |
| C    | 电容; 电容器        | electric capacity; capacitor    | C          |
| c    | 计算; 顶棚, 天花板    | calculate; ceiling              | js; dp     |
| cab  | 电缆             | cable                           | L          |
| cr   | 临界             | critical                        | lj         |
| Cu   | 铜              | Copper                          | T          |
| d    | 需要; 基准; 差动     | demand; datum; differential     | x; j; cd   |
| dsq  | 不平衡            | disequilibrium                  | bp         |
| E    | 地; 接地          | earth; earthing                 | d; jd      |
| e    | 设备; 有效的        | equipment; efficient            | SB; yx     |
| ec   | 经济的            | economic                        | j, ji      |
| eq   | 等效的            | equivalent                      | dx         |
| es   | 电动稳定           | electrodynamic stable           | dw         |
| f    | 地板             | floor                           | db         |
| Fe   | 铁              | Iron                            | Fe         |
| FU   | 熔断器            | fuse                            | RD         |
| h    | 高度; 谐波         | height; harmonic                | h          |
| i    | 电流; 任一数目       | current; arbitrary number       | i          |
| ima  | 假想的            | imaginary                       | jx         |
| K    | 继电器            | relay                           | J          |
| k    | 短路             | short-circuit (sc)              | d          |
| L    | 电感; 负荷(载)      | inductance; load                | L; H, fz   |
| l    | 线; 长延时         | line; long-delay                | x; c       |
| m    | 最大, 幅值         | maximum                         | zd         |
| man  | 人工的            | manual                          | rg         |
| max  | 最大             | maximum                         | zd         |
| min  | 最小             | minimum                         | zx         |
| N    | 额定, 标称         | rated, nominal                  | e          |
| n    | 数目             | number                          | n          |
| nat  | 自然的            | natural                         | zr         |
| np   | 非周期性的          | non-periodic, aperiodic         | f-zq       |
| oc   | 断路, 开路         | open circuit                    | dl         |
| oh   | 架空线路           | over-head line                  | K          |
| OL   | 过负荷, 过载        | over-load                       | gh, gz     |
| op   | 动作             | operating                       | dz         |
| OR   | 过电流脱扣器         | over-current release            | TQ         |
| p    | 有功功率; 周期性的; 保护 | active power; periodic; protect | yg; zq; bh |
| pk   | 尖峰             | peak                            | jf         |

(续)

| 文字符号        | 中文含义     | 英文含义                           | 旧符号         |
|-------------|----------|--------------------------------|-------------|
| $q$         | 无功功率     | reactive power                 | wg          |
| qb          | 速断       | quick break                    | sd          |
| r           | 无功; 滚球   | reactive; roll-ball            | wg; —       |
| RC          | 室空间      | room cabin                     | —           |
| re          | 返回, 复归   | return, reset                  | f, fh       |
| rel         | 可靠性      | reliability                    | k           |
| S           | 系统       | system                         | XT          |
| s           | 短延时      | short-delay                    | d           |
| saf         | 安全       | safety                         | aq          |
| sh          | 冲击       | shock, impulse                 | cj, ch      |
| step        | 跨步       | step                           | kp          |
| $t$         | 时间       | time                           | $t$         |
| tou         | 接触       | touch                          | jc          |
| $u$         | 电压       | voltage                        | $u$         |
| w           | 接线; 墙壁   | wiring; wall                   | jx; qb      |
| $x$         | 某一数值     | a number                       | $x$         |
| $\alpha$    | 吸收       | absorption                     | $\alpha$    |
| $\rho$      | 反射       | reflection                     | $\rho$      |
| $\tau$      | 透射       | transmission                   | $\tau$      |
| $\theta$    | 温度       | temperature                    | $\theta$    |
| $\Sigma$    | 总和       | total, sum                     | $\Sigma$    |
| $\varphi$   | 相        | phase                          | $\varphi$   |
| 0           | 零, 无, 空  | zero, nothing, empty           | 0           |
| 0           | 停止, 停歇   | stoping                        | 0           |
| 0           | 每(单位)    | per (unit)                     | 0           |
| 0           | 中性线      | neutral wire                   | 0, N        |
| 0           | 起始的      | initial                        | 0           |
| 0           | 周围(环境)   | ambient                        | 0           |
| 0           | 瞬时       | instantaneous                  | 0           |
| 30          | 半小时[最大]  | 30min [maximum]                | 30          |
| $\infty$    | 无限大; 稳态  | infinity; steady state         | $\infty$    |
| *           | 相对值, 标么值 | relative value, per unit value | *           |
| ~           | 交流的; 工频的 | alternating current; in 50 Hz  | ~           |
| $\perp$     | 垂直的; 法线的 | perpendicular; normal          | $\perp$     |
|             | 并联的; 平行的 | shunt; parallel                |             |
| $\triangle$ | 三角形联结    | $\triangle$ -connection        | $\triangle$ |
| Y           | 星形联结     | Y-connection                   | Y           |

## 第三章 电力负荷及其计算

本章首先介绍电力负荷的分级、类别及负荷曲线的有关概念，然后重点讲述用电设备组计算负荷的计算，企业及其他用户计算负荷和年耗电量的计算，最后讲述尖峰负荷的计算。本章内容是供配电系统运行分析和设计计算的基础。

### 第一节 电力负荷与负荷曲线

#### 一、电力负荷的分级及其对供电电源的要求

电力负荷，既可指用电设备或用电单位(用户)，也可指用电设备或用电单位所耗用的电功率或电流。这里的电力负荷指用电单位(用户)或用电设备。

##### (一) 电力负荷的分级

电力负荷根据其对供电可靠性的要求及中断供电在对人身安全、经济损失上所造成的影响程度，按 GB 50052—2009《供配电系统设计规范》规定，分为以下三级：

##### 1. 一级负荷

符合下列情况之一时，应视为一级负荷：①中断供电<sup>①</sup>将造成人身伤害者。②中断供电将在经济上造成重大损失者，例如重大设备损坏、大量产品报废、用重要原料生产的产品大量报废、国民经济中重点企业的连续生产过程被打乱需要长时间才能恢复等。③中断供电将影响重要用电单位的正常工作，例如重要交通枢纽、重要通信枢纽、重要宾馆、大型体育馆、经常用于国际活动的大量人员集中的公共场所等用电单位中的重要电力负荷。

在一级负荷中，当中断供电将造成人员伤亡或重大设备损坏或发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷，以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷，应视为一级负荷中特别重要的负荷。

##### 2. 二级负荷

符合下列情况之一时，应视为二级负荷：①中断供电将在经济上造成较大损失者，例如主要设备损坏、大量产品报废、连续生产过程被打乱需较长时间才能恢复、重点企业大量减产等。②中断供电将影响较重要用电单位的正常工作，例如交通枢纽、通信枢纽等用电单位中的重要电力负荷，以及中断供电将造成大型影剧院、大型商场等较多人员集中的重要的公共场所秩序混乱者。

##### 3. 三级负荷

所有不属于一级和二级负荷者，应为三级负荷。

① “中断供电”(停电)一般分计划检修停电和事故停电。由于计划检修停电，供电单位要事先通知用户，用户可采取措施避免或减少停电损失。这里确定负荷分级的“中断供电”是指事故停电。

## (二) 各级电力负荷对供电电源的要求

### 1. 一级负荷对供电电源的要求

一级负荷属重要负荷, 应由“双重电源”<sup>①</sup>供电; 当一个电源发生故障时, 另一个电源不应同时受到损坏。

一级负荷中特别重要的负荷, 除由双重电源供电外, 还应增设应急电源, 并严禁将其他负荷接入应急供电系统。而且设备供电电源的切换时间, 应满足设备允许中断供电的要求。可作为应急电源的有: 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用馈电线路; ③蓄电池; ④干电池。

### 2. 二级负荷对供电电源的要求

二级负荷也属重要负荷, 但其重要程度次于一级负荷。二级负荷宜由两回线路供电。在负荷较小或地区供电条件困难时, 二级负荷可由一回 6kV 及以上专用的架空线路供电。

### 3. 三级负荷对供电电源的要求

三级负荷属不重要负荷, 对供电电源无特殊要求。

附表 8 列出了工业和民用建筑部分重要电力负荷的级别, 其中工业负荷级别为 JBJ 6—1996《机械工厂电力设计规范》所规定, 民用建筑负荷级别为 JGJ 16—2008《民用建筑电气设计规范》所规定。

## 二、电力负荷的类别

电力负荷按用途分, 有照明负荷和动力负荷。照明负荷为单相负荷, 在三相系统中很难做到三相平衡; 而动力负荷一般可视为三相平衡负荷。电力负荷按行业分, 有工业负荷、非工业负荷和居民生活负荷等。

电力负荷(设备)按工作制可分为以下三类:

(1) 长期连续工作制 这类设备长期连续运行, 负荷比较稳定, 例如通风机、空气压缩机、电动发电机组、电炉和照明灯等。机床电动机的负荷虽然变动一般较大, 但大多也是长期连续工作的。

(2) 短时工作制 这类设备的工作时间较短, 而停歇时间相对较长, 例如机床上的某些辅助电动机(如进给电动机、升降电动机等)。

(3) 断续周期工作制 这类设备周期性地工作—停歇—工作, 如此反复运行, 而工作周期一般不超过 10min, 例如电焊机和起重机械。

## 三、用电设备的额定容量、负荷持续率及负荷系数

### 1. 用电设备的额定容量

用电设备的额定容量, 是指用电设备在额定电压下、在规定的使用寿命内能连续输出或耗用的最大功率。

对电动机, 其额定容量是指其轴上正常输出的最大功率。因此其耗用的功率即从电网吸取的功率, 应为其额定容量除以其本身的效率。

对电灯和电炉等, 其额定容量是指其在额定电压下耗用的功率, 而不是指其输出的功率。

① “双重电源”供电, 是指一个负荷由在安全供电方面互相独立的两条电路来供电, 过去也称为“两个独立电源”供电。

电动机、电炉和电灯等设备的额定容量,均用有功功率  $P_N$  表示,单位为瓦(W)或千瓦(kW)。

变压器、互感器和电焊机等设备的额定容量,一般用视在功率  $S_N$  表示,单位为伏安(VA)或千伏安(kVA)。

电容器类设备的额定容量,则用无功功率  $Q_c$  表示,单位为乏(var)或千乏(kvar)。

**必须指出:**对断续周期工作制的设备(如电焊机、起重机等)来说,其额定容量是对应于一定的负荷持续率(duty cycle)的。

## 2. 负荷持续率

负荷持续率,又称暂载率或相对工作时间,符号为  $\varepsilon$ ,其定义为一个工作周期  $T$  内工作时间  $t$  与  $T$  的百分比,即

$$\varepsilon \stackrel{\text{def}}{=} \frac{t}{T} \times 100\% = \frac{t}{t+t_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中,  $t_0$  为工作周期  $T$  内的停歇时间。 $T$ 、 $t$  和  $t_0$  的单位均为秒(s)。

同一设备,在不同负荷持续率下运行时,其输出的功率是不同的。例如某设备在  $\varepsilon_1$  下的设备容量为  $P_1$ ,那么该设备在  $\varepsilon_2$  下的设备容量  $P_2$  该是多少呢?这应该进行“等效”换算,即按在同一周期内不同负荷( $P_1$  或  $P_2$ )下造成相同的热损耗条件来进行换算。

假设设备的内阻为  $R$ ,则电流  $I$  通过该设备在  $t$  时间内产生的热量为  $I^2 R t$ ,因此在  $R$  不变且产生的热量相同的条件下,  $I \propto 1/\sqrt{t}$ 。又电压相同时,设备容量  $P \propto I$ ,因此  $P \propto 1/\sqrt{t}$ 。而由前面式(3-1)可知,一周期的负荷持续率  $\varepsilon \propto t$ 。由此可得  $P \propto 1/\sqrt{\varepsilon}$ ,即设备容量与负荷持续率的二次方根成反比关系,因此

$$P_2 = P_1 \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \quad (3-2)$$

## 3. 用电设备的负荷系数

用电设备的负荷系数(或称负荷率)  $K_L$ ,为设备在最大负荷时输出或耗用的功率  $P$  与设备额定容量  $P_N$  的比值,即

$$K_L \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P}{P_N} \quad (3-3)$$

负荷系数表征了设备容量的利用程度。负荷系数的符号有时也用  $\beta$  表示。

## 四、负荷曲线的有关概念

### (一) 负荷曲线的绘制与类型

负荷曲线是表征电力负荷随时间变动情况的一种图形。它绘制在直角坐标上,纵坐标轴表示负荷功率(一般用有功功率),横坐标轴表示负荷变动所对应的时间。

负荷曲线按负荷对象分,有工厂(企业)的、车间的或某台设备的负荷曲线。按负荷的功率性质分,有有功和无功负荷曲线。按所表示的负荷变动时间分,有年的、月的、日的和工作班的负荷曲线。按绘制方式分,有依点连成的负荷曲线(如图 3-1a 所示)和梯形负荷曲线(如图 3-1b 所示)。

年负荷曲线,通常绘成负荷持续时间曲线,按负荷大小依次排列,如图 3-2c 所示。此年负荷持续时间曲线按所绘对象(负荷)的典型夏日负荷曲线和典型冬日负荷曲线来绘制,

如图 3-2a、b 所示。其夏日和冬日在全年中所占的天数，应视当地地理位置和气象情况而定。例如在我国南方，可近似地取夏日 200 天，冬日 165 天；而在我国北方，可近似地取夏日 165 天，冬日 200 天。假如绘制南方某企业的年负荷曲线(参看图 3-2c)，其  $P_1$  在年负荷曲线上所占的时间为  $T_1 = 200(t_1 + t'_1)$ ，而  $P_2$  在年负荷曲线上所占的时间为  $T_2 = 200t_2 + 165t'_2$ ，…… 其余类推。

另一种形式的年负荷曲线，是按全年每日的最大负荷(通常取每日最大负荷的半小时平均值)绘制的，称为年每日最大负荷曲线，如图 3-3 所示。横坐标依次以全年 12 个月份的日期来分格。这种年最大负荷曲线，可用来确定拥有多台电力变压器的变电所在一年的不同时期宜于投入几台运行，即所谓“经济运行方式”，以降低电能损耗，提高供配电系统运行的经济性。

## (二) 与负荷曲线有关的物理量

### 1. 年最大负荷和年最大负荷利用小时

年最大负荷(annual maximum load)  $P_{\max}$ ，是

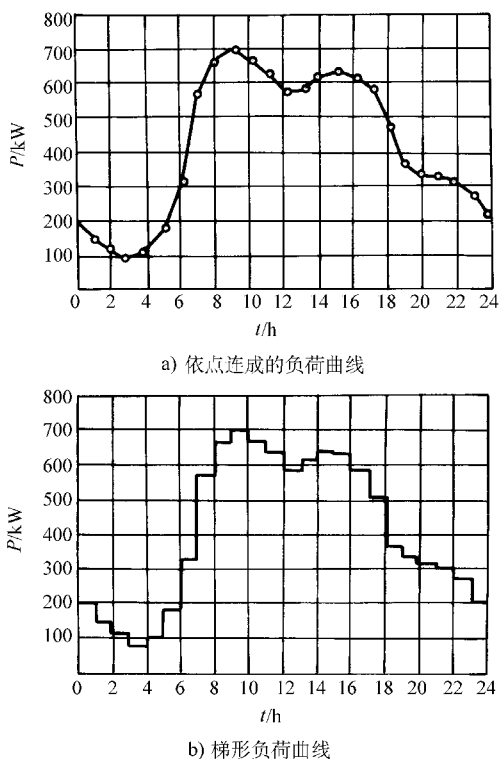


图 3-1 日有功负荷曲线

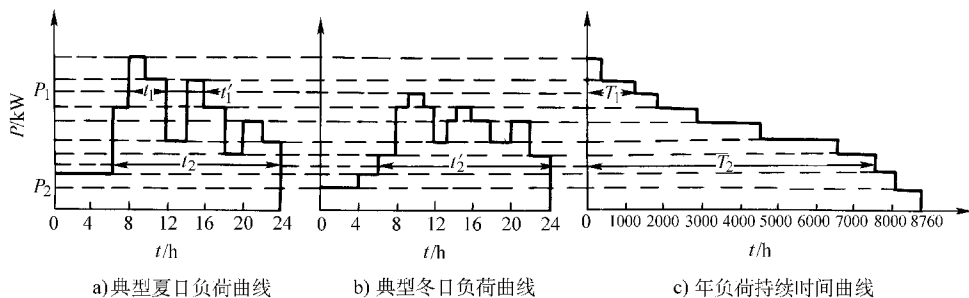


图 3-2 年负荷持续时间曲线的绘制

指全年中负荷最大的工作班内(该工作班的最大负荷不是偶然出现的,而是在负荷最大的月份内至少出现过 2~3 次)消耗电能最多的半小时平均负荷  $P_{30}$ 。

年最大负荷利用小时  $T_{\max}$ ，是假设电力负荷按年最大负荷  $P_{\max}$  (亦即  $P_{30}$ ) 持续运行时，在此  $T_{\max}$  时间内电力负荷所耗用的电能，恰与该电力负荷全年实际耗用的电能相等，如图 3-4 所示。因此年最大负荷利用小时是一个假想时间，按下式计算：

$$T_{\max} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{W_a}{P_{\max}} \quad (3-4)$$

式中， $W_a$  为电力负荷全年实际耗用的电能。

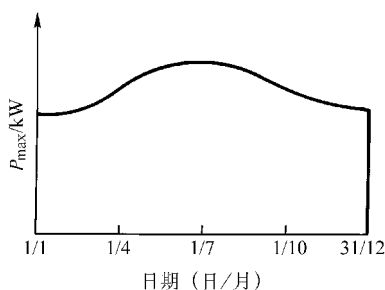


图 3-3 年每日最大负荷曲线

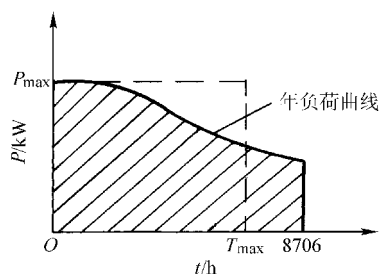


图 3-4 年最大负荷和年最大负荷利用小时

年最大负荷利用小时是反映电力负荷特征的一个重要参数，与企业的生产班制有明显的关系。例如一班制企业， $T_{\max} \approx 1800 \sim 3000\text{h}$ ；两班制企业， $T_{\max} \approx 3500 \sim 4800\text{h}$ ；三班制企业， $T_{\max} \approx 5000 \sim 7000\text{h}$ 。

## 2. 平均负荷和负荷曲线填充系数

平均负荷 (average load)  $P_{\text{av}}$ ，是指电力负荷在一定时间  $t$  内平均耗用的功率，即

$$P_{\text{av}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{W_t}{t} \quad (3-5)$$

式中， $W_t$  为  $t$  时间内所耗用的电能。

年平均负荷  $P_{\text{av}}$ ，就是电力负荷全年平均耗用的功率，如图 3-5 所示，即

$$P_{\text{av}} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{W_a}{8760} \quad (3-6)$$

式中， $W_a$  为全年所耗用的电能。

负荷曲线填充系数  $\beta$ ，就是将起伏波动的负荷曲线“削峰填谷”，由此求出的平均负荷  $P_{\text{av}}$  与最大负荷  $P_{\max}$  的比值，亦称负荷系数或负荷率，即

$$\beta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P_{\text{av}}}{P_{\max}} \quad (3-7)$$

负荷曲线填充系数表征了负荷曲线不平坦的程度，亦即负荷变动的程度。从发挥整个电力系统效能来说，应尽量设法提高  $\beta$  值，因此供配电系统在运行中必须实行负荷调整。

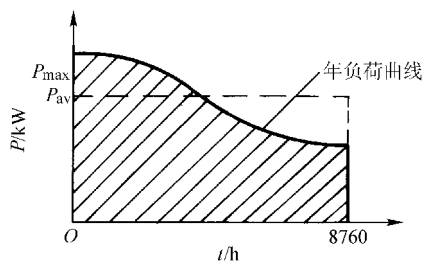


图 3-5 年平均负荷

## 第二节 三相用电设备组计算负荷的确定

### 一、概述

计算负荷 (calculated load)，是指通过统计计算求出的、用来按发热条件选择供配电系统中各元件的负荷值。按照计算负荷选择的电气设备和导线电缆，如以计算负荷持续运行，其发热温度不致超出允许值，因而不会影响其使用寿命。

由于导体通过电流达到稳定温升的时间大约需  $(3 \sim 4)\tau$ ， $\tau$  为发热时间常数。而截面积在  $16\text{mm}^2$  以上的导体的  $\tau$  均在  $10\text{min}$  以上，也就是载流导体大约经  $30\text{min}$  后可达到稳定的

温升值。因此通常取半小时平均最大负荷  $P_{30}$  (亦即年最大负荷  $P_{\max}$ ) 作为“计算负荷”。

计算负荷是供配电设计计算的基本依据。如果计算负荷确定过大, 将使设备和导线、电缆选择偏大, 造成投资和有色金属的浪费。如果计算负荷确定过小, 又将使设备和导线、电缆选择偏小, 造成设备和导线、电缆运行时过热, 增加电能损耗和电压损耗, 甚至使设备和导线、电缆烧毁, 造成事故。因此正确确定计算负荷具有重要的意义。但是也要指出, 由于负荷情况复杂, 影响计算负荷的因素很多, 虽然各类负荷的变化有一定规律可循, 但准确确定计算负荷却十分困难。实际上, 负荷也不可能是一成不变的, 它与设备的性能、生产的组织以及能源供应状况等诸多因素有关, 因此负荷计算也只能力求接近实际。

我国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。需要系数法是世界各国普遍采用的确定计算负荷的基本方法, 简单方便。二项式法应用的局限性较大, 但在确定设备台数较少而设备容量差别悬殊的分支干线的计算负荷时, 采用二项式法较之采用需要系数法更为合理, 且计算也较简便。本书只介绍这两种确定计算负荷的方法。

## 二、按需要系数法确定三相用电设备组的计算负荷

### (一) 需要系数的概念

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 3-6 所示。用电设备组的设备容量 (equipment capacity)  $P_e$ , 是指用电设备组所有设备 (不包括备用设备) 的额定容量  $P_N$  之和, 即  $P_e = \sum P_N$ 。而设备的额定容量, 是设备在额定条件下的最大输出功率。但实际上, 用电设备组的设备不一定都同时运行, 运行的设备也不太可能都是满负荷, 同时设备和线路在运行中都有功率损耗, 因此用电设备组进线上的有功计算负荷应为

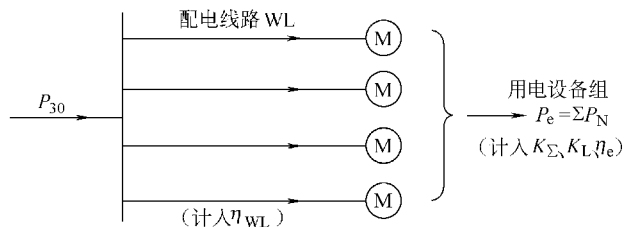


图 3-6 用电设备组的计算负荷

$$P_{30} = \frac{K_{\Sigma} K_L}{\eta_e \eta_{WL}} P_e \quad (3-8)$$

式中,  $K_{\Sigma}$  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 (不含备用) 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的输出功率与运行的设备容量之比;  $\eta_e$  为设备组的平均效率, 即设备组在最大负荷时的输出功率与其取用功率之比;  $\eta_{WL}$  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 (亦即设备组的取用功率) 与其首端功率 (亦即计算负荷  $P_{30}$ ) 之比。

令式 (3-8) 中的  $K_{\Sigma} K_L / \eta_e \eta_{WL} = K_d$ , 这里的  $K_d$  即“需要系数” (demand coefficient)。由此可得需要系数的定义式为

$$K_d \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P_{30}}{P_e} \quad (3-9)$$

即用电设备组的需要系数  $K_d$ , 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。

实际上,用电设备组的需要系数 $K_d$ 不仅与其工作性质、设备台数、设备效率及线路损耗等因素有关,而且与其操作人员的技能水平和生产组织等多种因素有关,因此需要系数值宜尽可能实测分析确定,使之尽量接近实际。

附表9和附表10分别列出了工业和民用建筑用电设备组的需要系数值,供参考。

## (二) 需要系数法的基本计算公式及其应用

由式(3-9)可得按需要系数法确定三相用电设备组有功计算负荷 $P_{30}$ 的基本公式为

$$P_{30} = K_d P_e \quad (3-10)$$

式中, $P_e$ 为用电设备组所有设备(不含备用设备)的额定容量之和。

这里必须指出,对断续周期工作制的用电设备组,其设备容量应为各设备在不同负荷持续率下的铭牌容量换算到一个统一的负荷持续率下的容量之和。

断续周期工作制的用电设备常用的有电焊机和起重机电动机,它们的容量换算要求如下:

(1) 电焊机组的容量换算 要求统一换算到 $\varepsilon = 100\%$ ,因此由式(3-2)可得换算后的设备容量为

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_{100}}} = S_N \cos\varphi \sqrt{\frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_{100}}}$$

即

$$P_e = P_N \sqrt{\varepsilon_N} = S_N \cos\varphi \sqrt{\varepsilon_N} \quad (3-11)$$

式中, $P_N$ 、 $S_N$ 为电焊机的铭牌容量( $P_N$ 为有功容量, $S_N$ 为视在容量); $\varepsilon_N$ 为与 $P_N$ 、 $S_N$ 对应的负荷持续率(计算中用小数); $\varepsilon_{100}$ 为其值为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) 起重机电动机组的容量换算 要求统一换算到 $\varepsilon = 25\%$ ,因此由式(3-2)可得换算后的设备容量为

$$P_e = P_N \sqrt{\frac{\varepsilon_N}{\varepsilon_{25}}} = 2P_N \sqrt{\varepsilon_N} \quad (3-12)$$

式中, $P_N$ 为起重机电动机的铭牌容量; $\varepsilon_N$ 为与 $P_N$ 对应的负荷持续率(计算中用小数); $\varepsilon_{25}$ 为其值为25%的负荷持续率(计算中用0.25)。

在按式(3-10)求出有功计算负荷 $P_{30}$ 之后,可按下列各式分别求其余的计算负荷:

$$\text{无功计算负荷} \quad Q_{30} = P_{30} \tan\varphi \quad (3-13)$$

$$\text{视在计算负荷} \quad S_{30} = \frac{P_{30}}{\cos\varphi} \quad (3-14)$$

$$\text{计算电流} \quad I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N} \quad (3-15)$$

式中, $\cos\varphi$ 为用电设备组的平均功率因数; $\tan\varphi$ 为对应于 $\cos\varphi$ 的正切值; $U_N$ 为用电设备组的额定电压。

**必须注意:**附表9所列的需要系数值是按车间范围设备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值平均只有0.2左右。因此需要系数法比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,则附表9中所列需要系数值往往偏小,宜适当取大。只有1~2台设备时,宜取

$K_d = 1$ , 即  $P_{30} = P_e$ 。在  $K_d$  适当取大的同时,  $\cos\varphi$  值也宜适当取大。只有一台电动机时, 其  $P_{30} = P_N / \eta$ , 式中  $P_N$  为电动机额定容量,  $\eta$  为电动机效率。一台电动机的计算电流  $I_{30} = I_N = P_N / (\sqrt{3} U_N \cos\varphi \cdot \eta)$ 。

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)。

最后必须指出: 需要系数值与用电设备的类别和工作状态有很大关系, 因此按需要系数法计算时, 首先要正确判别用电设备的类别和工作状态, 否则将造成错误。例如机修车间的金属切削机床电动机, 应属小批生产的冷加工机床电动机, 因为金属切削就是冷加工, 而机修车间不可能是大批生产。又如压塑机、拉丝机和锻锤等, 应属热加工机床。

**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 11kW 1 台, 7.5kW 3 台, 4kW 12 台, 1.5kW 8 台, 0.75kW 10 台。试求其计算负荷。

**解** 此机床组电动机的总容量为:

$$\begin{aligned} P_e &= 11\text{kW} \times 1 + 7.5\text{kW} \times 3 + 4\text{kW} \times 12 + 1.5\text{kW} \times 8 + 0.75\text{kW} \times 10 \\ &= 101\text{kW} \end{aligned}$$

查附表 9 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),  $\cos\varphi = 0.5$ ,  $\tan\varphi = 1.73$ , 因此可求得:

$$\begin{aligned} \text{有功计算负荷} \quad P_{30} &= 0.2 \times 101\text{kW} = 20.2\text{kW} \\ \text{无功计算负荷} \quad Q_{30} &= 20.2\text{kW} \times 1.73 = 34.95\text{kvar} \\ \text{视在计算负荷} \quad S_{30} &= \frac{20.2\text{kW}}{0.5} = 40.4\text{kVA} \\ \text{计算电流} \quad I_{30} &= \frac{40.4\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 61.4\text{A} \end{aligned}$$

**例 3-2** 某装配车间 380V 线路, 供电给 3 台起重机电动机, 其中 1 台 7.5kW ( $\varepsilon = 60\%$ ), 2 台 3kW ( $\varepsilon = 15\%$ )。试求该线路的计算负荷。

**解** 按规定, 起重机电动机容量要统一换算到  $\varepsilon = 25\%$ , 因此题示 3 台起重机电动机总容量为:

$$P_e = 7.5\text{kW} \times 2 \sqrt{0.6} + 3\text{kW} \times 2 \times 2 \sqrt{0.15} = 16.3\text{kW}$$

查附表 9 得  $K_d = 0.1 \sim 0.15$  (取 0.15),  $\cos\varphi = 0.5$ ,  $\tan\varphi = 1.73$ , 因此可得:

$$\begin{aligned} \text{有功计算负荷} \quad P_{30} &= 0.15 \times 16.3\text{kW} = 2.45\text{kW} \\ \text{无功计算负荷} \quad Q_{30} &= 2.45\text{kW} \times 1.73 = 4.24\text{kvar} \\ \text{视在计算负荷} \quad S_{30} &= \frac{2.45\text{kW}}{0.5} = 4.9\text{kVA} \\ \text{计算电流} \quad I_{30} &= \frac{4.9\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 7.44\text{A} \end{aligned}$$

### (三) 多组用电设备计算负荷的确定

确定拥有多组用电设备的干线上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不同时出现的因素。因此在确定多组用电设备的计算负荷时, 应结合具体情况对其有功负荷和无功负荷分别计入一个综合系数 (又称同时系数或参差系数)  $K_{\Sigma p}$

和  $K_{\Sigma q}$  :

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

对低压母线, 由用电设备组计算负荷直接相加来计算时可取  $K_{\Sigma p} = 0.80 \sim 0.90$ ,  $K_{\Sigma q} = 0.85 \sim 0.95$ 。如果由车间干线计算负荷直接相加来计算时可取  $K_{\Sigma p} = 0.90 \sim 0.95$ ,  $K_{\Sigma q} = 0.93 \sim 0.97$ 。

总的有功计算负荷为

$$P_{30} = K_{\Sigma p} \sum P_{30.i} \quad (3-16)$$

总的无功计算负荷为

$$Q_{30} = K_{\Sigma q} \sum Q_{30.i} \quad (3-17)$$

以上两式中  $\sum P_{30.i}$  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

$$S_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} \quad (3-18)$$

总的计算电流为

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3} U_N} \quad (3-19)$$

**注意:** 在计算多组设备总的计算负荷时, 为了简化和统一, 各组的设备台数不论多少, 各组的计算负荷均按附表 9 所列的计算系数来计算, 而不必考虑因设备台数少而适当增大  $K_d$  和  $\cos\varphi$  值的问题。

**例 3-3** 某机工车间 380V 线路上, 接有流水作业的金属切削机床电动机 30 台共 85kW, 其中较大容量电动机有 11kW 1 台, 7.5kW 3 台, 4kW 6 台, 其他为更小容量的电动机。另有通风机 3 台, 共 5kW; 电葫芦 1 个, 3kW ( $\varepsilon = 40\%$ )。试确定各组的和总的计算负荷。

**解** 先求各组的计算负荷:

(1) 机床组 查附表 9 得  $K_d = 0.18 \sim 0.25$  (取 0.25),  $\cos\varphi = 0.5$ ,  $\tan\varphi = 1.73$ , 因此

$$P_{30(1)} = 0.25 \times 85 \text{ kW} = 21.3 \text{ kW}$$

$$Q_{30(1)} = 21.3 \text{ kW} \times 1.73 = 36.8 \text{ kvar}$$

$$S_{30(1)} = 21.3 \text{ kW} / 0.5 = 42.6 \text{ kVA}$$

$$I_{30(1)} = \frac{42.6 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ kV}} = 64.7 \text{ A}$$

(2) 通风机组 查附表 9 得  $K_d = 0.7 \sim 0.8$  (取 0.8),  $\cos\varphi = 0.8$ ,  $\tan\varphi = 0.75$ , 因此

$$P_{30(2)} = 0.8 \times 5 \text{ kW} = 4 \text{ kW}$$

$$Q_{30(2)} = 4 \text{ kW} \times 0.75 = 3 \text{ kvar}$$

$$S_{30(2)} = 4 \text{ kW} / 0.8 = 5 \text{ kVA}$$

$$I_{30(2)} = \frac{5 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ kV}} = 7.6 \text{ A}$$

(3) 电葫芦 查附表 9 得  $K_d = 0.1 \sim 0.15$  (取 0.15),  $\cos\varphi = 0.5$ ,  $\tan\varphi = 1.73$ , 而  $\varepsilon = 25\%$ , 故其设备容量为:

因此

$$\begin{aligned} P_e &= 3\text{kW} \times 2\sqrt{0.4} = 3.79\text{kW} \\ P_{30(3)} &= 0.15 \times 3.79\text{kW} = 0.569\text{kW} \\ Q_{30(3)} &= 0.569\text{kW} \times 1.73 = 0.984\text{kvar} \\ S_{30(3)} &= 0.569\text{kW} / 0.5 = 1.138\text{kVA} \\ I_{30(3)} &= \frac{1.138\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 1.73\text{A} \end{aligned}$$

以上三组设备总的计算负荷(取  $K_{\Sigma p}=0.95, K_{\Sigma q}=0.97$ )为:

$$\begin{aligned} P_{30} &= 0.95 \times (21.3 + 4 + 0.569)\text{kW} = 24.6\text{kW} \\ Q_{30} &= 0.97 \times (36.8 + 3 + 0.984)\text{kvar} = 39.6\text{kvar} \\ S_{30} &= \sqrt{24.6^2 + 39.6^2}\text{kVA} = 46.6\text{kVA} \\ I_{30} &= \frac{46.6\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 70.8\text{A} \end{aligned}$$

为了使人一目了然,便于审核,实际工程设计中常采用计算表格形式,如表 3-1 所示。

表 3-1 例 3-3 的电力负荷计算表(按需要系数法)

| 序号   | 用电设备<br>组名称 | 台<br>数                                   | 设备容量<br>$P_e/\text{kW}$                               | 需要系<br>数 $K_d$                 | $\cos\varphi$ | $\tan\varphi$ | 计 算 负 荷            |                      |                     |                   |
|------|-------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|--------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
|      |             |                                          |                                                       |                                |               |               | $P_{30}/\text{kW}$ | $Q_{30}/\text{kvar}$ | $S_{30}/\text{kVA}$ | $I_{30}/\text{A}$ |
| 1    | 机床组         | 30                                       | 85                                                    | 0.25                           | 0.5           | 1.73          | 21.3               | 36.8                 | 42.6                | 64.7              |
| 2    | 通风机组        | 3                                        | 5                                                     | 0.8                            | 0.8           | 0.75          | 4                  | 3                    | 5                   | 7.6               |
| 3    | 电葫芦         | 1                                        | 3( $\varepsilon=40\%$ )<br>3.79( $\varepsilon=25\%$ ) | 0.15<br>( $\varepsilon=25\%$ ) | 0.5           | 1.73          | 0.569              | 0.984                | 1.138               | 1.73              |
| 负荷总计 |             | 34                                       | —                                                     | —                              | —             | —             | 25.9               | 40.8                 | —                   | —                 |
|      |             | 取 $K_{\Sigma p}=0.95, K_{\Sigma q}=0.97$ |                                                       |                                | 0.53          | —             | 24.6               | 39.6                 | 46.6                | 70.8              |

注: 总的  $\cos\varphi = P_{30}/S_{30} = 24.6/46.6 = 0.53$ 。

三、按二项式法确定三相用电设备组的计算负荷

(一) 二项式法的基本计算公式及其应用

二项式法确定有功计算负荷的基本公式为

$$P_{30} = bP_e + cP_x \tag{3-20}$$

式中,  $bP_e$  为用电设备组的平均负荷, 其中  $P_e$  为用电设备组的设备总容量, 其计算方法与需要系数法相同;  $cP_x$  为用电设备组中  $x$  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  $x$  台最大设备的设备容量;  $b$ 、 $c$  为二项式系数。

其余的计算负荷  $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$  的计算公式与前述需要系数法相同。

二项式系数  $b$ 、 $c$  及最大容量的设备台数  $x$  和  $\cos\varphi$ 、 $\tan\varphi$  等值, 可查附表 9。

**必须注意:** 按二项式法确定计算负荷时, 如果设备总台数  $n < 2x$  时, 则  $x$  宜相应地取小一些, 建议取为  $x = n/2$ , 且按“四舍五入”的修约规则取为整数。例如某机床电动机组电动机只有 7 台, 而附表 9 规定  $x = 5$ , 但这里的  $n = 7 < 2x = 10$ , 因此建议取  $x = 7/2 \approx 4$  来计算, 即取其中 4 台最大容量电动机的容量来计算  $P_x$ 。

如果用电设备组只有 1~2 台设备时, 就可认为  $P_{30} = P_e$ , 即  $b = 1, c = 0$ 。对于单台电动

机, 则  $P_{30} = P_N / \eta$ , 这里  $\eta$  为电动机效率。当设备台数较少时,  $\cos\varphi$  也宜适当取大。

由于二项式法确定的计算负荷, 不仅考虑了用电设备组的平均最大负荷, 而且考虑了少数大容量设备投入运行时对总计算负荷的附加影响。因此二项式法较之需要系数法更适于确定设备台数较少而容量差别较大的低压分支干线的计算负荷。

**例 3-4** 试用二项式法确定例 3-1 所述机修车间金属切削机床组的计算负荷。

**解** 由附表 9 查得  $b=0.14$ ,  $c=0.4$ ,  $x=5$ ,  $\cos\varphi=0.5$ ,  $\tan\varphi=1.73$ 。而设备总容量为:

$$P_e = 101\text{kW} \text{ (见例 3-1)}$$

$x$  台最大容量设备的容量为:

$$P_x = P_5 = 11\text{kW} \times 1 + 7.5\text{kW} \times 3 + 4\text{kW} \times 1 = 37.5\text{kW}$$

因此按式(3-20)可求得其有功计算负荷为:

$$P_{30} = 0.14 \times 101\text{kW} + 0.4 \times 37.5\text{kW} = 29.14\text{kW}$$

按式(3-13)可求得其无功计算负荷为:

$$Q_{30} = 29.14\text{kW} \times 1.73 = 50.4\text{kvar}$$

按式(3-14)可求得其视在计算负荷为:

$$S_{30} = 29.14\text{kW} / 0.5 = 58.3\text{kVA}$$

按式(3-15)可求得其计算电流为:

$$I_{30} = \frac{58.3\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 88.6\text{A}$$

比较例 3-1 和例 3-4 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支线时, 特别是用电设备台数少而各台设备容量相差悬殊时, 宜采用二项式法计算。

(二) 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, 亦应考虑各组设备的最大负荷不同出现的因素。但不是计入一个小于 1 的综合系数  $K_\Sigma$ , 而是在各组设备中取其中一组最大的附加负荷  $(cP_x)_{\max}$ , 再加上各组的平均负荷  $bP_e$ 。由此可得总的有功计算负荷为

$$P_{30} = \sum (bP_e)_i + (cP_x)_{\max} \quad (3-21)$$

总的无功计算负荷为

$$Q_{30} = \sum (bP_e \tan\varphi)_i + (cP_x)_{\max} \tan\varphi_{\max} \quad (3-22)$$

式中,  $\tan\varphi_{\max}$  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。

总的视在计算负荷  $S_{30}$  仍按式(3-18)计算。

总的计算电流  $I_{30}$  仍按式(3-19)计算。

为了简化和统一, 按二项式法计算多组设备总的计算负荷时, 与前述按需要系数法计算一样, 也不论各组设备台数多少, 各组的计算系数  $b$ 、 $c$ 、 $x$  和  $\cos\varphi$ 、 $\tan\varphi$  等均按附表 9 所列数值。

**例 3-5** 试用二项式法确定例 3-3 所述机工车间 380V 线路上各组设备的和总的计算负荷。

**解** 先求各组的平均负荷、附加负荷和计算负荷。

(1) 机床组 查附表 9 得  $b=0.14$ ,  $c=0.5$ ,  $x=5$ ,  $\cos\varphi=0.5$ ,  $\tan\varphi=1.73$ , 因此

$$bP_{e(1)} = 0.14 \times 85\text{kW} = 11.9\text{kW}$$

$$cP_{x(1)} = 0.5 \times (11\text{kW} \times 1 + 7.5\text{kW} \times 3 + 4\text{kW} \times 1) = 18.8\text{kW}$$

故

$$P_{30(1)} = 11.9\text{kW} + 18.8\text{kW} = 30.7\text{kW}$$
$$Q_{30(1)} = 30.7\text{kW} \times 1.73 = 53.1\text{kvar}$$
$$S_{30(1)} = 30.7\text{kW} / 0.5 = 61.4\text{kVA}$$
$$I_{30(1)} = \frac{61.4\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 93.3\text{A}$$

(2) 通风机组 查附表 9 得  $b=0.65$ ,  $c=0.25$ ,  $x=5$ ,  $\cos\varphi=0.8$ ,  $\tan\varphi=0.75$ , 因此

$$bP_{e(2)} = 0.65 \times 5\text{kW} = 3.25\text{kW}$$
$$cP_{x(2)} = 0.25 \times 5\text{kW} = 1.25\text{kW}$$
$$P_{30(2)} = 3.25\text{kW} + 1.25\text{kW} = 4.5\text{kW}$$
$$Q_{30(2)} = 4.5\text{kW} \times 0.75 = 3.38\text{kvar}$$
$$S_{30(2)} = 4.5\text{kW} / 0.8 = 5.63\text{kVA}$$
$$I_{30(2)} = \frac{5.63\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 8.55\text{A}$$

故

(3) 电葫芦 查附表 9 得  $b=0.06$ ,  $c=0.2$ ,  $x=3$ ,  $\cos\varphi=0.5$ ,  $\tan\varphi=1.73$ 。电葫芦在  $\varepsilon=40\%$  时  $P_N=3\text{kW}$ , 换算到  $\varepsilon=25\%$  时  $P_e=3.79\text{kW}$  (见例 3-3)。因此

$$bP_{e(3)} = 0.06 \times 3.79\text{kW} = 0.227\text{kW}$$
$$cP_{x(3)} = 0.2 \times 3.79\text{kW} = 0.758\text{kW}$$
$$P_{30(3)} = 0.227\text{kW} + 0.758\text{kW} = 0.985\text{kW}$$
$$Q_{30(3)} = 0.985\text{kW} \times 1.73 = 1.70\text{kvar}$$
$$S_{30(3)} = 0.985\text{kW} / 0.5 = 1.97\text{kVA}$$
$$I_{30(3)} = \frac{1.97\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 2.99\text{A}$$

故

比较以上各组的附加负荷  $cP_x$  可知, 机床组的  $cP_{x(1)}=18.8\text{kW}$  为最大。因此总计算负

荷为:  
有功计算负荷  
无功计算负荷

$$P_{30} = (11.9 + 3.25 + 0.227)\text{kW} + 18.8\text{kW} = 34.2\text{kW}$$
$$Q_{30} = (11.9 \times 1.73 + 3.25 \times 0.75 + 0.227 \times 1.73)\text{kvar}$$
$$+ 18.8\text{kvar} \times 1.73 = 55.9\text{kvar}$$

视在计算负荷

$$S_{30} = \sqrt{34.2^2 + 55.9^2}\text{kVA} = 65.5\text{kVA}$$

计算电流

$$I_{30} = \frac{65.5\text{kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38\text{kV}} = 99.5\text{A}$$

以上计算亦可列成负荷计算表格, 如表 3-2 所示。

表 3-2 例 3-5 的电力负荷计算表(按二项式法)

| 序号 | 用电设备<br>组名称 | 台数 $n$<br>或 $n/x$ | 容 量             |                 | 系 数<br>$b/c$ | $\cos\varphi$ | $\tan\varphi$ | 计 算 负 荷              |                      |                     |                   |
|----|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
|    |             |                   | $P_e/\text{kW}$ | $P_x/\text{kW}$ |              |               |               | $P_{30}/\text{kW}$   | $Q_{30}/\text{kvar}$ | $S_{30}/\text{kVA}$ | $I_{30}/\text{A}$ |
| 1  | 机床组         | 30/5              | 85              | 37.5            | 0.14/0.5     | 0.5           | 1.73          | $11.9 + 18.8 = 30.7$ | 53.1                 | 61.4                | 93.3              |
| 2  | 通风机组        | 3                 | 5               |                 | 0.65/0.25    | 0.8           | 0.75          | $3.25 + 1.25 = 4.5$  | 3.38                 | 5.63                | 8.55              |

(续)

| 序号   | 用电设备<br>组名称 | 台数 $n$<br>或 $n/x$ | 容 量                                                   |                 | 系 数<br>$b/c$                       | $\cos\varphi$ | $\tan\varphi$ | 计 算 负 荷                             |                      |                     |                   |
|------|-------------|-------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|
|      |             |                   | $P_e/\text{kW}$                                       | $P_x/\text{kW}$ |                                    |               |               | $P_{30}/\text{kW}$                  | $Q_{30}/\text{kvar}$ | $S_{30}/\text{kVA}$ | $I_{30}/\text{A}$ |
| 3    | 电葫芦         | 1                 | 3( $\varepsilon=40\%$ )<br>3.79( $\varepsilon=25\%$ ) |                 | 0.06/0.2<br>( $\varepsilon=25\%$ ) | 0.5           | 1.73          | 0.227+0.758<br>=0.985               | 1.70                 | 1.97                | 2.99              |
| 负荷总计 |             | 34                | —                                                     |                 | —                                  | 0.52          | —             | (11.9+3.25+<br>0.227)+18.8<br>=34.2 | 55.9                 | 65.5                | 99.5              |

注：总的  $\cos\varphi = P_{30}/S_{30} = 34.2/65.5 = 0.52$ 。

### \* 第三节 单相用电设备组计算负荷的确定

#### 一、概述

在工厂特别是在民用建筑中，除了广泛应用三相电气设备外，还普遍应用有诸如电灯、电炉、电焊机及家用电器等各种单相用电设备。

单相设备接在三相线路中，应尽可能地均衡分配，使三相负荷尽可能地平衡。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%时，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15%时，则应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，主要是为了选择供电系统中的设备和导线、电缆，使设备和导线、电缆在最大负荷电流通过时不致过热烧毁，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接于线电压，只要三相负荷不平衡，就应以最大负荷相的有功负荷的3倍作为等效三相有功负荷，以满足线路安全运行的要求。

#### 二、单相设备组等效三相负荷的计算

##### (一) 单相设备接于相电压时的负荷计算

单相设备接于相电压时，其等效三相设备容量  $P_e$  应按最大负荷相所接单相设备容量  $P_{e.m\varphi}$  的3倍计算，即

$$P_e = 3P_{e.m\varphi} \quad (3-23)$$

其等效三相计算负荷则按前述需要系数法计算。

##### (二) 单相设备接于线电压时的负荷计算

###### 1. 单相设备接于同一线电压时

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

$$P_e = \sqrt{3} P_{e.\varphi} \quad (3-24)$$

###### 2. 单相设备接于不同线电压时

如图3-7所示，设单相设备容量  $P_1 > P_2 > P_3$ ，且  $\cos\varphi_1 \neq \cos\varphi_2 \neq \cos\varphi_3$ ， $P_1$  接于  $U_{AB}$ ， $P_2$  接于  $U_{BC}$ ， $P_3$  接于  $U_{CA}$ 。按等效发热原理，可等效为图示的三种接线的叠加：①  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CA}$  间各接  $P_3$ ，其等效三相容量为  $3P_3$ ；②  $U_{AB}$  和  $U_{BC}$  间各接  $P_2 - P_3$ ，其等效三相容量为

$3(P_2-P_3)$ ; ③ $U_{AB}$ 间接  $P_1-P_2$ , 其等效三相容量为 $\sqrt{3}(P_1-P_2)$ 。

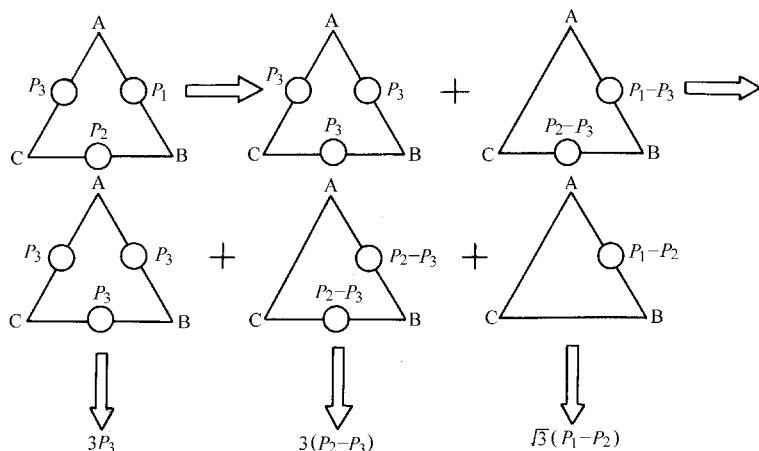


图 3-7 接于各线电压的单相负荷等效变换程序

因此  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  接于不同线电压时的等效三相设备容量为:

$$P_e = \sqrt{3}P_1 + (3 - \sqrt{3})P_2 \quad (3-25)$$

$$Q_e = \sqrt{3}P_1 \tan \varphi_1 + (3 - \sqrt{3})P_2 \tan \varphi_2 \quad (3-26)$$

其等效三相计算负荷同样按需要系数法计算。

### (三) 单相设备分别接于线电压和相电压时的负荷计算

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, 并按需要系数法计算其各相的计算负荷, 而总的等效三相有功计算负荷则为其最大有功负荷相的有功计算负荷  $P_{30.m\varphi}$  的 3 倍, 即

$$P_{30} = 3P_{30.m\varphi} \quad (3-27)$$

总的等效三相无功计算负荷则为其最大有功负荷相的无功计算负荷  $Q_{30.m\varphi}$  的 3 倍, 即

$$Q_{30} = 3Q_{30.m\varphi} \quad (3-28)$$

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:

$$\text{A 相} \quad P_A = p_{AB-A}P_{AB} + p_{CA-A}P_{CA} \quad (3-29)$$

$$Q_A = q_{AB-A}P_{AB} + q_{CA-A}P_{CA} \quad (3-30)$$

$$\text{B 相} \quad P_B = p_{BC-B}P_{BC} + p_{AB-B}P_{AB} \quad (3-31)$$

$$Q_B = q_{BC-B}P_{BC} + q_{AB-B}P_{AB} \quad (3-32)$$

$$\text{C 相} \quad P_C = p_{CA-C}P_{CA} + p_{BC-C}P_{BC} \quad (3-33)$$

$$Q_C = q_{CA-C}P_{CA} + q_{BC-C}P_{BC} \quad (3-34)$$

式中,  $P_{AB}$ 、 $P_{BC}$ 、 $P_{CA}$  分别为接于  $U_{AB}$ 、 $U_{BC}$ 、 $U_{CA}$  的有功设备容量;  $P_A$ 、 $P_B$ 、 $P_C$  分别为换算成接于  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  的有功设备容量;  $Q_A$ 、 $Q_B$ 、 $Q_C$  分别为换算成接于  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  的无功设备容量;  $p_{AB-A}$ 、 $q_{AB-A}$ ... 分别为接于  $U_{AB}$ ... 的相间负荷换算成接于  $U_A$ ... 的单相负荷的有功和无功换算系数, 如表 3-3 所列。

表 3-3 相间负荷换算为单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  |

**例 3-6** 图 3-8 所示 220/380V 三相四线制线路上, 接有 220V 单相电热干燥箱 4 台, 其中 2 台 10kW 接于 A 相, 1 台 30kW 接于 B 相, 另 1 台 20kW 接于 C 相。此外该线路上还接有 380V 单相对焊机 4 台, 其中 2 台 14kW( $\varepsilon=100\%$ )接于 AB 相, 1 台 20kW( $\varepsilon=100\%$ )接于 BC 相, 另 1 台 30kW( $\varepsilon=60\%$ )接于 CA 相。试求此线路的计算负荷。

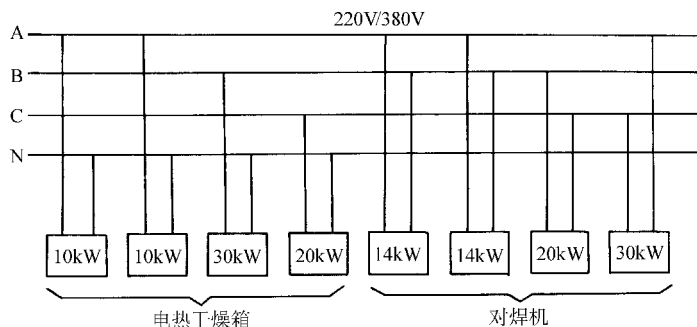


图 3-8 例 3-6 的电路

**解** (1) 电热干燥箱的各相计算负荷 查附表 9 得  $K_d=0.7$ ,  $\cos\varphi=1$ ,  $\tan\varphi=0$ , 因此只需计算其有功计算负荷:

$$\text{A 相} \quad P_{30.A(1)} = K_d P_{e.A} = 0.7 \times 2 \times 10 \text{ kW} = 14 \text{ kW}$$

$$\text{B 相} \quad P_{30.B(1)} = K_d P_{e.B} = 0.7 \times 1 \times 30 \text{ kW} = 21 \text{ kW}$$

$$\text{C 相} \quad P_{30.C(1)} = K_d P_{e.C} = 0.7 \times 1 \times 20 \text{ kW} = 14 \text{ kW}$$

(2) 对焊机的各相计算负荷 先将接于 CA 相间的 30kW( $\varepsilon=60\%$ )换算至  $\varepsilon=100\%$  时的容量, 按式(3-11)可得:

$$P_{CA} = 30 \text{ kW} \times \sqrt{0.6} = 23 \text{ kW}$$

查附表 9 得  $K_d=0.35$ ,  $\cos\varphi=0.7$ ,  $\tan\varphi=1.02$ ; 再由表 3-3 查得  $\cos\varphi=0.7$  时的功率换算系数  $p_{AB-A}=p_{BC-B}=p_{CA-C}=0.8$ ,  $p_{AB-B}=p_{BC-C}=p_{CA-A}=0.2$ ,  $q_{AB-A}=q_{BC-B}=q_{CA-C}=0.22$ ,  $q_{AB-B}=q_{BC-C}=q_{CA-A}=0.8$ 。因此换算至各相的有功和无功设备容量为:

$$\text{A 相} \quad P_A = 0.8 \times 2 \times 14 \text{ kW} + 0.2 \times 23 \text{ kW} = 27 \text{ kW}$$

$$Q_A = 0.22 \times 2 \times 14 \text{ kvar} + 0.8 \times 23 \text{ kvar} = 24.6 \text{ kvar}$$

$$\text{B 相} \quad P_B = 0.8 \times 20 \text{ kW} + 0.2 \times 2 \times 14 \text{ kW} = 21.6 \text{ kW}$$

$$Q_B = 0.22 \times 20 \text{ kvar} + 0.8 \times 2 \times 14 \text{ kvar} = 26.8 \text{ kvar}$$

$$\text{C 相} \quad P_C = 0.8 \times 23 \text{ kW} + 0.2 \times 20 \text{ kW} = 22.4 \text{ kW}$$

$$Q_C = 0.22 \times 23 \text{ kvar} + 0.8 \times 20 \text{ kvar} = 21.1 \text{ kvar}$$

各相的有功和无功计算负荷为:

$$\begin{aligned}
 \text{A 相} \quad P_{30, A(2)} &= 0.35 \times 27 \text{ kW} = 9.45 \text{ kW} \\
 Q_{30, A(2)} &= 0.35 \times 24.6 \text{ kvar} = 8.61 \text{ kvar} \\
 \text{B 相} \quad P_{30, B(2)} &= 0.35 \times 21.6 \text{ kW} = 7.56 \text{ kW} \\
 Q_{30, B(2)} &= 0.35 \times 26.8 \text{ kvar} = 9.38 \text{ kvar} \\
 \text{C 相} \quad P_{30, C(2)} &= 0.35 \times 22.4 \text{ kW} = 7.84 \text{ kW} \\
 Q_{30, C(2)} &= 0.35 \times 21.1 \text{ kvar} = 7.39 \text{ kvar}
 \end{aligned}$$

(3) 各相总的有功和无功计算负荷

$$\begin{aligned}
 \text{A 相} \quad P_{30, A} &= P_{30, A(1)} + P_{30, A(2)} = 14 \text{ kW} + 9.45 \text{ kW} = 23.5 \text{ kW} \\
 Q_{30, A} &= Q_{30, A(1)} + Q_{30, A(2)} = 0 + 8.61 \text{ kvar} = 8.61 \text{ kvar} \\
 \text{B 相} \quad P_{30, B} &= P_{30, B(1)} + P_{30, B(2)} = 21 \text{ kW} + 7.56 \text{ kW} = 28.6 \text{ kW} \\
 Q_{30, B} &= Q_{30, B(1)} + Q_{30, B(2)} = 0 + 9.38 \text{ kvar} = 9.38 \text{ kvar} \\
 \text{C 相} \quad P_{30, C} &= P_{30, C(1)} + P_{30, C(2)} = 14 \text{ kW} + 7.84 \text{ kW} = 21.8 \text{ kW} \\
 Q_{30, C} &= Q_{30, C(1)} + Q_{30, C(2)} = 0 + 7.39 \text{ kvar} = 7.39 \text{ kvar}
 \end{aligned}$$

(4) 总的等效三相计算负荷 由以上计算结果看出, B 相的有功计算负荷最大, 因此取 B 相计算等效三相计算负荷:

$$\begin{aligned}
 P_{30} &= 3P_{30, B} = 3 \times 28.6 \text{ kW} = 85.8 \text{ kW} \\
 Q_{30} &= 3Q_{30, B} = 3 \times 9.38 \text{ kvar} = 28.1 \text{ kvar} \\
 S_{30} &= \sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2} = \sqrt{85.8^2 + 28.1^2} \text{ kVA} = 90.3 \text{ kVA} \\
 I_{30} &= \frac{90.3 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 0.38 \text{ kV}} = 137 \text{ A}
 \end{aligned}$$

以上计算也可列成计算表格, 限于篇幅, 从略。

## 第四节 用户计算负荷及年耗电量的计算

### 一、供配电系统的功率损耗计算

在确定各用电设备组的计算负荷后, 如果要确定整个用户如一个企业或一个车间的计算负荷, 就需要逐级计入有关线路和变压器的功率损耗, 如图 3-9 所示。例如要确定低压配电线 WL2 首端的有功计算负荷  $P_{30, 4}$ , 就应将其末端有功计算负荷  $P_{30, 5}$  加上该线路的有功损耗  $\Delta P_{WL2}$ 。如果要确定高压配电线 WL1 首端的有功计算负荷  $P_{30, 2}$ , 就应将车间变电所低压侧的有功计算负荷  $P_{30, 3}$  加上变压器 T 的有功损耗  $\Delta P_T$ , 再加上高压配电线 WL1 的有功损耗  $\Delta P_{WL1}$ 。为此, 下面先分别讲述线路和变压器功率损耗的计算。

#### (一) 线路的功率损耗计算

线路的功率损耗包括有功和无功两部分。

##### 1. 线路的有功功率损耗计算

有功功率损耗是电流通过线路电阻所产生的, 按下式计算:

$$\Delta P_{WL} = 3I_{30}^2 R_{WL} \quad (3-35)$$

式中,  $I_{30}$  为线路的计算电流;  $R_{WL}$  为线路每相的电阻。

电阻  $R_{WL}=R_0l$ , 其中  $l$  为线路长度,  $R_0$  为线路单位长度的电阻值, 可查有关手册或产品样本。附表 12 列出部分裸导线的  $R_0$  值, 附表 13 列出电力电缆的  $R_0$  值和室内明敷和穿管敷设的绝缘导线  $R_0$  值, 供参考。

## 2. 线路的无功功率损耗计算

无功功率损耗是电流通过线路电抗所产生的, 按下式计算:

$$\Delta Q_{WL}=3I_{30}^2X_{WL} \quad (3-36)$$

式中,  $I_{30}$  为线路的计算电流;  $X_{WL}$  为线路每相的电抗。

电抗  $X_{WL}=X_0l$ , 其中  $l$  为线路长度,  $X_0$  为线路单位长度的电抗值, 也可查有关手册或产品样本。附表 12~13 分别列出部分裸导线、电力电缆和绝缘导线的  $X_0$  值。但是查架空线路的  $X_0$  值, 不仅要根据导线截面积, 而且要根据导线之间的几何均距。所谓几何均距, 是指三相线路各相导线之间距离的几何平均值。如图 3-10a 所示 A、B、C 三相线路, 其线间几何均距为

$$a_{av} \stackrel{\text{def}}{=} \sqrt[3]{a_1a_2a_3} \quad (3-37)$$

如果导线为等边三角形排列(见图 3-10b), 则  $a_{av}=a$ ; 如果导线为水平等距排列(见图 3-10c), 则  $a_{av}=\sqrt[3]{2}a=1.26a$ 。

## (二) 变压器的功率损耗计算

变压器的功率损耗也包括有功和无功两部分。

### 1. 变压器的有功功率损耗计算

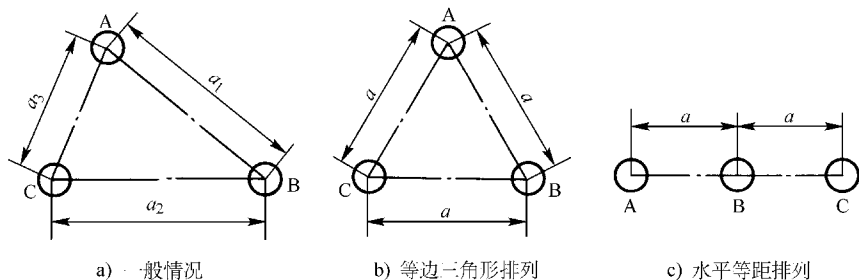


图 3-10 三相架空线路的线间距离

变压器的有功功率损耗由两部分组成:

(1) 铁心中的有功功率损耗 简称“铁损”。它在变压器一次绕组的外施电压和频率不变的条件下是固定不变的, 与负荷无关。铁损可由变压器空载试验测定。变压器的空载损耗  $\Delta P_0$  可认为就是铁损  $\Delta P_{Fe}$ , 因为变压器的空载电流  $I_0$  很小, 在一次绕组中产生的有功功率损耗很小, 可略去不计。

(2) 绕组中的功率损耗 通称“铜损”。它与负荷电流(或功率)的平方成正比。铜损可由变压器短路试验测定。变压器的短路损耗(亦称负荷损耗)  $\Delta P_k$  可认为就是铜损  $\Delta P_{Cu}$ ,

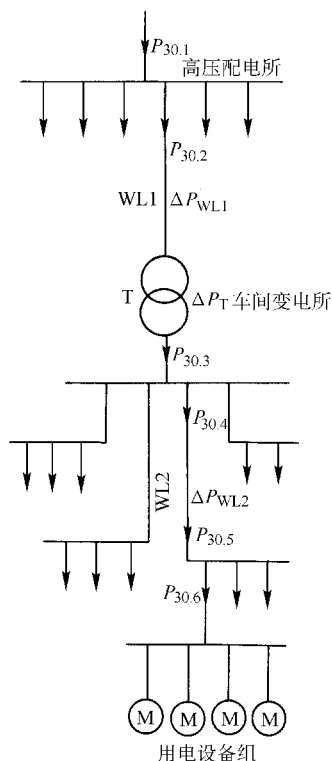


图 3-9 企业供电系统中各部分的计算负荷和功率损耗  
(只示出其有功部分)

因为变压器二次侧绕组短路时,一次绕组的短路电压(亦称阻抗电压) $U_k$ 很小,其在铁心中引起的有功功率损耗很小,可略去不计。

因此,变压器的有功功率损耗为:

$$\Delta P_T = \Delta P_{Fe} + \Delta P_{Cu} \left( \frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \approx \Delta P_0 + \Delta P_k \left( \frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \quad (3-38)$$

式中,  $S_{N.T}$  为变压器的额定容量;  $S_{30}$  为变压器的计算负荷。

## 2. 变压器的无功功率损耗计算

变压器的无功功率损耗也由两部分组成:

(1) 用来在铁心中产生磁通的无功功率 它只与一次绕组电压有关,与负荷无关。其值与励磁电流或近似地与空载电流成正比,即

$$\Delta Q_0 \approx \frac{I_0 \%}{100} S_{N.T} \quad (3-39)$$

式中,  $I_0 \%$  为变压器空载电流占额定一次电流的百分值。

(2) 消耗在变压器绕组电抗上的无功功率 额定负荷下的这部分无功损耗用  $\Delta Q_N$  表示。由于变压器的电抗远大于电阻,因此  $\Delta Q_N$  近似地与阻抗电压(即短路电压)成正比,即

$$\Delta Q_N \approx \frac{U_z \%}{100} S_{N.T} \quad (3-40)$$

式中,  $U_z \%$  为变压器阻抗电压占额定一次电压的百分值。

这部分无功损耗与负荷电流(或功率)的平方成正比。

因此,变压器的无功功率损耗为:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_N \left( \frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \approx S_{N.T} \left[ \frac{I_0 \%}{100} + \frac{U_z \%}{100} \left( \frac{S_{30}}{S_{N.T}} \right)^2 \right] \quad (3-41)$$

以上式(3-38)~式(3-41)中的  $\Delta P_0$ 、 $\Delta P_k$ 、 $I_0 \%$  和  $U_z \%$  (即  $U_k \%$ ) 等均可从有关手册或产品样本中查得。S9 系列和 SC9 系列变压器的主要技术数据见附表 1。

在供电设计中,可采用下列简化公式来计算现在应用的各种低损耗电力变压器的功率损耗:

$$\text{有功功率损耗} \quad \Delta P_T \approx 0.01 S_{30} \quad (3-42)$$

$$\text{无功功率损耗} \quad \Delta Q_T \approx 0.05 S_{30} \quad (3-43)$$

式中,  $S_{30}$  为变压器的计算负荷。

## 二、用户计算负荷的确定

用户计算负荷是选择用户电源进线及其中一、二次设备的基本依据,也是计算用户功率因数和用户用电容量的基本依据。确定用户计算负荷的方法很多,可按具体情况选用。

### (一) 按逐级计算法确定用户的计算负荷

如前面图 3-9 所示,用户的计算负荷(这里举有功负荷为例) $P_{30.1}$ ,应该是高压配电所母线上所有高压配电线计算负荷之和,再乘上一个综合系数(同时系数) $K_\Sigma$ 。而高压配电线的计算负荷  $P_{30.2}$ ,则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  $\Delta P_T$  和高压配电线的功率损耗  $\Delta P_{WL1}$ 。其余依此类推。但是对一般中小用户的供配电系统来说,由于其高低压配电线路一般不长,因此在确定用户计算负荷时往往略去不计。

### (二) 按需要系数法确定用户的计算负荷

将用户的用电设备总容量  $P_e$  (不含备用设备容量) 乘上一个需要系数  $K_d$ , 即得到用户的有功计算负荷, 即

$$P_{30} = K_d P_e \quad (3-44)$$

附表 11 列出了部分企业的需要系数、功率因数及年最大有功负荷利用小时值, 供参考。

用户的无功计算负荷  $Q_{30}$ 、视在计算负荷  $S_{30}$  和计算电流  $I_{30}$ , 分别按前式 (3-13)、式 (3-14) 和式 (3-15) 计算。

(三) 按负荷密度法估算用户的计算负荷

将用户的平均负荷密度  $a$  ( $W/m^2$ ) 乘以建筑面积  $A$  ( $m^2$ ), 即得到用户的有功计算负荷 ( $W$ ), 即

$$P_{30} = aA \quad (3-45)$$

各类用户的平均负荷密度可由有关设计手册查得, 或根据同类用户的实测资料分析确定。

按 GB/T 50293—2014《城市电力规划规范》规定: 居住建筑用电指标为  $30 \sim 70 W/m^2$ , 或  $4 \sim 16 kW/户$ ; 公共建筑用电指标为  $40 \sim 150 W/m^2$ ; 工业建筑用电指标为  $40 \sim 120 W/m^2$ ; 仓储物流建筑用电指标为  $15 \sim 50 W/m^2$ ; 市政设施建筑用电指标为  $20 \sim 50 W/m^2$ 。考虑到负荷的发展, 因此有关负荷密度(用电指标)宜适当取大一些。

(四) 按年产量估算用户的计算负荷

将用户年产量  $B$  乘以单位产品的耗电量  $b$ , 即得到用户全年的耗电量:

$$W_a = bB \quad (3-46)$$

各类生产企业的单位产品耗电量指标可由有关设计手册查得, 也可根据类似用户的实测资料分析确定。

在求出年耗电量  $W_a$  后, 除以该用户的年最大负荷利用小时  $T_{max}$ , 即得到用户的有功计算负荷

$$P_{30} = \frac{W_a}{T_{max}} \quad (3-47)$$

其他计算负荷  $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$  的计算, 与上述需要系数法相同。

(五) 用户的无功补偿及补偿后的用户计算负荷

按《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,  $100kVA$  及以上高压供电的用户, 不得低于  $0.90$ ; 其他电力用户, 不得低于  $0.85$ 。因此用户必须在充分发挥设备潜力, 改善设备运行性能, 提高自然功率因数的情况下, 如尚达不到规定的功率因数要求时, 必须考虑进行无功功率的人工补偿。

图 3-11 示出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  $P_{30}$  固定不变的条件下, 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  $I_{30}$  也得以减小, 这将使系统的电能损耗和电压损耗均相应地降低, 从而达到既节约电能又提高电压质量的效果, 同时可使系统选

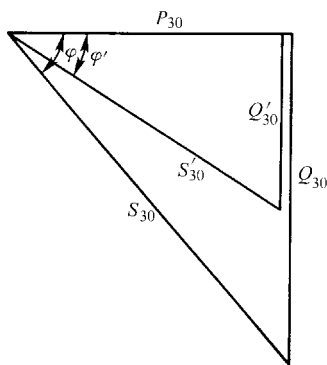


图 3-11 功率因数的提高与无功功率和视在功率的变化

用较小容量的供电设备和导线、电缆。由此可见,提高功率因数对电力系统是大有好处的。

由图 3-11 可以看出,要使功率因数由  $\cos\varphi$  提高到  $\cos\varphi'$ ,必须装设的无功补偿装置容量为:

$$Q_c = Q_{30} - Q'_{30} = P_{30}(\tan\varphi - \tan\varphi') \quad (3-48)$$

或

$$Q_c = \Delta q_c P_{30} \quad (3-49)$$

式中,  $\Delta q_c = \tan\varphi - \tan\varphi'$ ,称为无功补偿率,或比补偿容量。这  $\Delta q_c$  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。

附表 7 列出并联电容器的无功补偿率,可利用补偿前后的功率因数直接查出。

在确定了总的补偿容量  $Q_c$  后,即可根据所选并联电容器的单个容量  $q_c$  来确定电容器的个数  $n$ ,即:

$$n = \frac{Q_c}{q_c} \quad (3-50)$$

由上式计算所得的电容器个数  $n$ ,对于单相电容器,应取为 3 的倍数,以便三相均衡分配。

用户装设了无功补偿装置以后,则在确定补偿装置装设地点以前的总计算负荷时,应扣除无功补偿容量  $Q_c$ ,即总的无功计算负荷

$$Q'_{30} = Q_{30} - Q_c \quad (3-51)$$

无功补偿后总的视在计算负荷

$$S'_{30} = \sqrt{P_{30}^2 + (Q_{30} - Q_c)^2} \quad (3-52)$$

由上式可以看出,在变电所低压侧装设无功补偿装置后,由于低压侧总的视在计算负荷减小,从而可使变电所主变压器的容量选得小一些。这不仅可降低变电所的初投资,而且可减少用户的电费开支。因为我国供电部门对工业用户一般实行“两部电费制”:一部分叫“基本电费”,按所装主变压器的容量来计费。主变压器容量的减小,使基本电费相应减少。另一部分叫“电能电费”,按每月实际耗电量来计费,且根据月平均功率因数的高低调整电费(参看附表 30)。凡月平均功率因数高于规定值的,可按一定比率减少电费。由此可见,提高功率因数不仅对整个电力系统大有好处,对用户本身也是有一定经济实惠的。

**例 3-7** 某用户拟建一降压变电所,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。为了使用户(变电所高压侧)的功率因数不低于 0.90,拟在变电所低压侧装设并联电容器进行无功补偿。问需装设多少补偿容量?并问补偿前后用户变电所所选主变压器容量可有什么变化?

**解** (1) 补偿前的主变压器容量和功率因数

变电所在补偿前其低压侧的视在计算负荷为:

$$S_{30(2)} = \sqrt{650^2 + 800^2} \text{ kVA} = 1031 \text{ kVA}$$

主变压器容量选择的条件为  $S_{N.T} \geq S_{30(2)}$ ,因此未无功补偿时,主变压器容量应选 1250kVA(参看附表 1)。

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, 用户高压侧的  $\cos\varphi_{(1)} \geq 0.90$ 。考虑到变压器的无功功率损耗  $\Delta Q_T$  远大于其有功功率损耗  $\Delta P_T$ , 一般  $\Delta Q_T \approx (4 \sim 5) \Delta P_T$ , 因此在变电所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 0.90, 这里取  $\cos\varphi'_{(2)} = 0.92$ 。

要使变电所低压侧的功率因数由 0.63 提高到 0.92, 由式(3-48)可求得低压侧需装设的并联电容器容量为:

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

取

$$Q_C = 530 \text{ kvar}$$

## (3) 无功补偿后的主变压器容量和功率因数

无功补偿后变电所低压侧的视在计算负荷为:

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

因此无功补偿后, 主变压器容量可改选为 800kVA(参看附表 1)。

变电所变压器的功率损耗为:

$$\Delta P_T \approx 0.01 S'_{30(2)} = 0.01 \times 704 \text{ kW} = 7.04 \text{ kW}$$

$$\Delta Q_T \approx 0.05 S'_{30(2)} = 0.05 \times 704 \text{ kvar} = 35.2 \text{ kvar}$$

变电所高压侧的计算负荷为:

$$P'_{30(1)} = 650 \text{ kW} + 7.04 \text{ kW} = 657 \text{ kW}$$

$$Q'_{30(1)} = (800 - 530) \text{ kvar} + 35.2 \text{ kvar} = 305 \text{ kvar}$$

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

由此可知, 无功补偿后, 用户高压侧的功率因数提高为:

$$\cos\varphi'_{(1)} = \frac{P'_{30(1)}}{S'_{30(1)}} = \frac{657}{724} = 0.907$$

这一功率因数满足规定的要求。

## (4) 无功补偿前后主变压器容量的变化

无功补偿后主变压器容量减少  $(1250 - 800) \text{ kVA} = 450 \text{ kVA}$ 。

## 三、用户供配电系统的电能损耗计算

## (一) 线路的电能损耗计算

线路上全年的电能损耗可按下式计算:

$$\Delta W_a = 3 I_{30}^2 R_{WL} \tau \quad (3-53)$$

式中,  $I_{30}$  为线路的计算电流;  $R_{WL}$  为线路每相的电阻;  $\tau$  为年最大负荷损耗小时。

上述年最大负荷损耗小时  $\tau$ , 是假设供配电系统元件(包括线路、变压器)持续通过计算电流  $I_{30}$  时, 在此时间  $\tau$  内所产生的电能损耗, 恰与实际负荷电流全年在此元件上产生的电能损耗相等。由此可见, 年最大负荷损耗小时  $\tau$  与年最大负荷利用小时  $T_{\max}$  一样都是一个假想时间, 而且两者有一定的关系。

由式(3-4)和式(3-6)可得下列关系:

$$W_a = P_{\max} T_{\max} = P_{av} \times 8760$$

在负荷  $\cos\varphi$  和线路电压一定时,  $P_{\max} = P_{30} \propto I_{30}$ ,  $P_{av} \propto I_{av}$ , 因此

$$I_{30} T_{\max} = I_{av} \times 8760$$

故

$$I_{av} = \frac{I_{30} T_{max}}{8760}$$

因此线路全年的电能损耗为:

$$\Delta W_a = 3I_{av}^2 R_{WL} \times 8760 = 3I_{30}^2 T_{max}^2 R_{WL} / 8760 \quad (3-54)$$

由式(3-53)和式(3-54)可得  $\tau$  与  $T_{max}$  的关系

$$\tau = \frac{T_{max}^2}{8760} \quad (3-55)$$

不同  $\cos\varphi$  的  $\tau-T_{max}$  关系曲线如图 3-12 所示。已知  $T_{max}$  和  $\cos\varphi$  时, 即可由图中相应的曲线上查得  $\tau$  值。

(二) 变压器的电能损耗计算

变压器的电能损耗包括铁损和铜损两部分。

(1) 全年铁损  $\Delta P_{Fe}$  产生的电能损耗可近似地按其空载损耗  $\Delta P_0$  计算, 即

$$\Delta W_{a(1)} = \Delta P_{Fe} \times 8760 \approx \Delta P_0 \times 8760 \quad (3-56)$$

(2) 全年铜损  $\Delta P_{Cu}$  产生的电能损耗与负荷电流的二次方成正比, 即与变压器负荷率  $\beta$  (即  $S_{30}/S_{N,T}$ ) 的二次方成正比, 而铜损  $\Delta P_{Cu}$  可近似地按其短路损耗  $\Delta P_k$  计算, 即

$$\Delta W_{a(2)} = \Delta P_{Cu} \beta^2 \tau \approx \Delta P_k \beta^2 \tau \quad (3-57)$$

由此可得变压器全年的电能损耗为:

$$\Delta W_a = \Delta W_{a(1)} + \Delta W_{a(2)} \approx \Delta P_0 \times 8760 + \Delta P_k \beta^2 \tau \quad (3-58)$$

式中,  $\tau$  为变压器的年损耗小时, 亦可查图 3-12 的  $\tau-T_{max}$  曲线。

#### 四、用户年耗电量的计算

用户的年耗电量可用其年产量和单位产品耗电量进行估算, 如前式(3-46)所示。

用户年耗电量的较精确的计算, 可用用户的有功和无功计算负荷  $P_{30}$  和  $Q_{30}$  分别按下列公式计算:

$$\text{年有功电能消耗量} \quad W_{p.a} = \alpha P_{30} T_a \quad (3-59)$$

$$\text{年无功电能消耗量} \quad W_{q.a} = \beta Q_{30} T_a \quad (3-60)$$

式中,  $\alpha$  为年平均有功负荷系数, 一般取 0.7~0.75;  $\beta$  为年平均无功负荷系数, 一般取 0.76~0.82;  $T_a$  为年实际工作小时数, 按每周 5 个工作日计, 一班制可取 2000h, 两班制可取 4000h, 三班制可取 6000h。

**例 3-8** 假设例 3-7 所示用户为两班制生产, 试计算其年耗电量。

**解** 按式(3-59)和式(3-60)计算。取  $\alpha=0.7$ ,  $\beta=0.8$ ,  $T_a=4000h$ , 因此可得:  
年有功电能消耗量

$$W_{p.a} = 0.7 \times 661kW \times 4000h = 1.85 \times 10^6 kW \cdot h$$

年无功电能消耗量

$$W_{q.a} = 0.8 \times 312kvar \times 4000h = 0.998 \times 10^6 kvar \cdot h$$

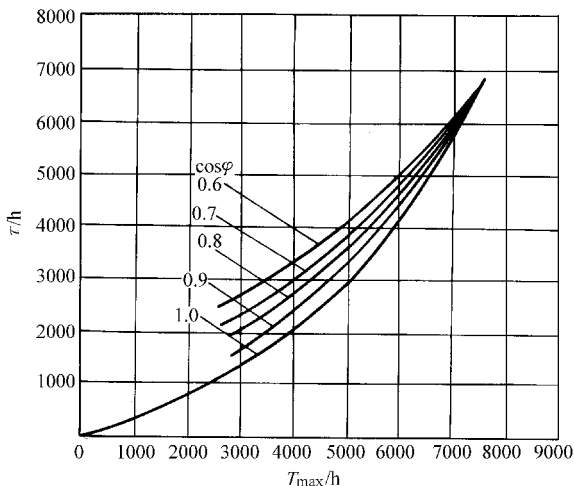


图 3-12  $\tau-T_{max}$  关系曲线

## 第五节 尖峰电流及其计算

### 一、尖峰电流的有关概念

尖峰电流(peak current)是指持续时间1~2s的短时最大负荷电流,例如电动机的起动电流等。

尖峰电流主要用来选择熔断器和低压断路器、整定继电器保护和检验电动机自起动条件等。

### 二、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起动电流,因此尖峰电流为:

$$I_{pk} = I_{st} = K_{st} I_N \quad (3-61)$$

式中,  $I_N$  为用电设备的额定电流;  $I_{st}$  为用电设备的起动电流;  $K_{st}$  为用电设备的起动电流倍数,对笼型电动机  $K_{st} = 5 \sim 7$ , 绕线转子电动机  $K_{st} = 2 \sim 3$ , 直流电动机  $K_{st} \approx 1.7$ , 电焊变压器  $K_{st} \approx 3$  或稍大。

### 三、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:

$$I_{pk} = K_{\Sigma} \sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i} + I_{st,max} \quad (3-62)$$

或

$$I_{pk} = I_{30} + (I_{st} - I_N)_{max} \quad (3-63)$$

式中,  $I_{st,max}$  和  $(I_{st} - I_N)_{max}$  分别为用电设备中起动电流与额定电流之差为最大的那台设备的起动电流和它的起动电流与额定电流之差;  $\sum_{i=1}^{n-1} I_{N,i}$  为将  $I_{st} - I_N$  为最大的那台设备除外的其他  $n-1$  台设备的额定电流之和;  $K_{\Sigma}$  为上述  $n-1$  台设备的综合系数(又称同时系数),按台数多少选取,一般为  $0.7 \sim 1$ ;  $I_{30}$  为全部设备投入运行时线路的计算电流。

**例 3-9** 有一条 380V 三相线路,供电给表 3-4 所示 5 台电动机。该线路的计算电流为 50A。试求该线路的尖峰电流。

**解** 由表 3-4 可知, M4 的  $I_{st} - I_N = 58A - 10A = 48A$  在所有电动机中为最大,因此按式(3-63)可得线路的尖峰电流为:

$$I_{pk} = 50A + (58 - 10)A = 98A$$

表 3-4 例 3-9 的负荷资料

| 参 数             | 电 动 机 |    |    |    |    |
|-----------------|-------|----|----|----|----|
|                 | M1    | M2 | M3 | M4 | M5 |
| 额定电流 $I_N/A$    | 8     | 18 | 25 | 10 | 15 |
| 起动电流 $I_{st}/A$ | 40    | 65 | 46 | 58 | 36 |

## 复习思考题

- 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何要求?
- 3-2 用电设备按工作制分哪几类? 各有何工作特点?
- 3-3 什么叫负荷持续率? 它表征哪类用电设备的工作特性? 它与设备容量有何换算关系?

- 3-4 什么叫年最大负荷和年最大负荷利用小时？什么叫平均负荷和负荷曲线填充系数？
- 3-5 什么叫计算负荷？为什么计算负荷采用半小时最大负荷？
- 3-6 确定用电设备组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？
- 3-7 在确定多组用电设备的视在计算负荷和计算电流时，可否将各组的视在计算负荷和计算电流分别直接相加？为什么？应如何正确计算？
- 3-8 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确定计算负荷？而在什么情况下应进行单相负荷的等效换算计算？
- 3-9 线路的电阻和电抗各如何计算？什么叫线间几何均距？如何计算？
- 3-10 电力变压器的有功和无功功率损耗各如何计算？按简化公式如何计算？
- 3-11 电力变压器的有功和无功电能损耗(全年)如何计算？什么叫年最大负荷损耗小时？
- 3-12 变电所低压侧集中装设并联电容器对变电所负荷和主变压器容量有什么影响？如何确定并联电容器的容量？
- 3-13 什么叫尖峰电流？单台和多台设备的尖峰电流各如何计算？

习 题

- 3-1 有一大批量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  $I_{30}$ 。
- 3-2 有一机修车间，拥有冷加工机床 52 台，共 200kW；行车 1 台，共 5.1kW( $\varepsilon=15\%$ )；通风机 4 台，共 5kW；点焊机 3 台，共 10.5kW( $\varepsilon=65\%$ )。车间采用 220/380V 三相四线制供电。试确定该车间的计算负荷  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$ 。
- 3-3 某 220/380V 的 TN-C 线路，供电给大批生产的冷加工机床电动机，总容量共 105kW，其中大容量电动机有 7.5kW 2 台，5.5kW 1 台，4kW 5 台。试分别用需要系数法和二项式法计算该线路的计算负荷  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$ 。
- 3-4 现有 9 台 220V 单相电阻炉，其中 4 台 1kW，3 台 1.5kW，2 台 2kW。试合理分配上列各电阻炉于 220/380V 的 TN-C 线路上，并计算其计算负荷  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$ 。
- 3-5 某 220/380V 的 TN-C 线路上，装有如表 3-5 所列的用电设备。试计算该线路的计算负荷  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  和  $I_{30}$ 。

表 3-5 习题 3-5 的负荷资料

| 设备名称   | 380V 单头手动弧焊机                    |                                  |                                   | 220V 电热箱 |     |       |
|--------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------|-----|-------|
| 接入相序   | AB                              | BC                               | CA                                | A        | B   | C     |
| 设备台数   | 1                               | 1                                | 2                                 | 2        | 1   | 1     |
| 单台设备容量 | 21kVA<br>( $\varepsilon=65\%$ ) | 17kVA<br>( $\varepsilon=100\%$ ) | 10.3kVA<br>( $\varepsilon=50\%$ ) | 3kW      | 6kW | 4.5kW |

- 3-6 有一条长 2km 的 10kV 高压线路，供电给两台并列运行的电力变压器。高压线路采用 LJ-70 铝绞线，等距水平架设，线距 1m。两台变压器均为 S9-800/10 型，Dyn11 联结。总的计算负荷为 900kW， $\cos\varphi=0.86$ ， $T_{\max}=4500\text{h}$ 。试分别计算此高压线路和电力变压器的功率损耗和年电能损耗。
- 3-7 某降压变电所装有一台 Yyn0 联结的 S9-630/10 型电力变压器，其 380V 二次侧的有功计算负荷为 420kW，无功计算负荷为 350kvar。试求此变电所一次侧的计算负荷及其功率因数。如果功率因数未达到 0.90，问此变电所低压母线上需装设多少并联电容器容量才能达到要求？
- 3-8 某电器开关厂(一班制生产)共有用电设备 5840kW。试估算该厂的计算负荷  $P_{30}$ 、 $Q_{30}$ 、 $S_{30}$  及其年

有功电能消耗量  $W_{p.a.}$ 。

3-9 某用户的有功计算负荷为 2400kW，功率因数为 0.65。现拟在用户变电所 10kV 母线上装设 BWF10.5—30—1 型并联电容器，使用户功率因数提高到 0.90。问需装设多少个电容器？装设电容器以后，该用户的视在计算负荷为多少？比未装设电容器时的视在计算负荷减少了多少？

3-10 某 380V 线路供电给表 3-6 所示的 4 台电动机。试计算该线路的尖峰电流(建议  $K_{\Sigma}=0.9$ )。

表 3-6 习题 3-10 的负荷资料

| 电动机参数           | M1  | M2 | M3  | M4  |
|-----------------|-----|----|-----|-----|
| 额定电流 $I_N/A$    | 35  | 14 | 56  | 20  |
| 起动电流 $I_{st}/A$ | 148 | 85 | 160 | 135 |