

工厂供电学习指导

—习题解答及设计举例

王明阳 主编

武汉工业大学出版社

工厂供电学习指导 ——习题解答及设计举例

号 81 半 登 刊

主 编 王明阳

副主编 严绍寅

参 编 韩 芸 谢素联 韩庆科

武汉工业大学出版社

鄂新登字13号

工厂供电学习指导
——习题解答及设计举例
主 编 王明阳
副主编 严绍寅
责任编辑 朱家万

武汉工业大学出版社出版发行
湖北省石首市第二印刷厂印刷

开本：787×1092mm 1/16 印张：11.5 字数：241千
1993年5月第1版 1993年5月第1次印刷
印数：1—2500
ISBN 7-5629-0732-3/TM·11
定价：5.35

前 言

工厂供电是自动化、电气技术等有关专业的主要专业课之一，也是从事工厂供电系统设计、研究、运行维护的工程技术人员的主要工作。

掌握好工厂供电的基本理论、基本实践和基本技能，对设计出高质量的工厂供电系统、安全、经济运行及合理的利用国家的电力资源具有十分重要的意义。

用较短的时间掌握好工厂供电的理论和实践，这恐怕是撰写各种版本的“工厂供电”教科书的专家、教授们的主要目的。当然这不是一件轻而易举的事，因为工厂供电涉及的内容既多又广。

纵观工厂供电各种教科书，其内容大都是按照扩大初步设计的内容和步骤来安排的，这种安排是比较好的一种方法。可见，要在较短的时间掌握好工厂供电的理论并能实际应用，必须针对工厂供电设计的主要环节进行总结反复练习才能达到目的。

“工厂供电学习指导——习题解答及设计举例”一书，就是为了达到这一目的而作的一种尝试。

为适应工厂供电教科书的内容安排，本书就是以工厂供电扩大初步设计内容为主线，按五个方面的内容进行概括和引导的：

一、内容提要

每章开始部分，将该章重点内容和计算公式进行概括的总结，使读者能迅速掌握所学的重点内容和主要的计算公式。

二、综合思考题

这部分内容，既可作为自学工厂供电教材的指导提纲，又是复习工厂供电的复习大纲。

三、例题

针对各章节的内容，安排了具有代表性的例题，这是本书的重点，通过对各类例题的求解，使读者能很好地掌握解题技巧和方法，为设计和作习题打下坚实的基础。

四、习题

为巩固所学知识和提高设计技能，本书拟定了部分习题，供读者独立演算，书后附有部分章节习题的参考答案。限于篇幅，习题中所需少量的系数、表格，在各种教科书中颇为齐全，需用时自行查阅，费时不多，故本书不再重复拟定相同数据表格。

五、设计举例

读者通过典型的设计举例，能融汇贯通各章节的知识内容，从而能独立完成工厂供电扩大初步设计，达到本书的编写目的。

本书可作为大专院校、专科学校、职大、电大、函大等学校自动化、电气技术及其它有关专业的工厂供电教学参考用书，也可供从事工厂供电系统的设计、研究、运行调试及维护管理的工程技术人员参考。

全书共十一章，由王明阳主编，参编人员有严绍寅、韩芸、谢素联、韩庆科。

本书由湖北工学院张文灿教授和武汉工业大学娄桂泉教授担任主审，在编写过程中，听取了不少专家教授的意见，很多同志，为本书提供了大量的资料和有益的帮助，在此深表

谢意。

时间较紧、水平所限，书中难免有缺点、错误，诚望读者批评指正，作者不胜感谢。

言 前

编者

1992年7月于武汉工业大学

为纪念中国工人阶级的革命斗争，在党的十三届七中全会决定今后五年内，出版《中国工人阶级斗争史》。本书是《中国工人阶级斗争史》的重要组成部分，也是《中国工人阶级斗争史》的续编。本书共分五卷，第一卷为《中国工人阶级的产生和发展》，第二卷为《中国工人阶级的斗争》，第三卷为《中国工人阶级的组织》，第四卷为《中国工人阶级的思想》，第五卷为《中国工人阶级的历史地位》。本书的出版，对于研究中国工人阶级的历史，了解中国工人阶级的斗争，具有重要的意义。本书的编写，得到了许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书共分五卷，第一卷为《中国工人阶级的产生和发展》，第二卷为《中国工人阶级的斗争》，第三卷为《中国工人阶级的组织》，第四卷为《中国工人阶级的思想》，第五卷为《中国工人阶级的历史地位》。

本书的出版，对于研究中国工人阶级的历史，了解中国工人阶级的斗争，具有重要的意义。本书的编写，得到了许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书共分五卷，第一卷为《中国工人阶级的产生和发展》，第二卷为《中国工人阶级的斗争》，第三卷为《中国工人阶级的组织》，第四卷为《中国工人阶级的思想》，第五卷为《中国工人阶级的历史地位》。

本书的出版，对于研究中国工人阶级的历史，了解中国工人阶级的斗争，具有重要的意义。本书的编写，得到了许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书共分五卷，第一卷为《中国工人阶级的产生和发展》，第二卷为《中国工人阶级的斗争》，第三卷为《中国工人阶级的组织》，第四卷为《中国工人阶级的思想》，第五卷为《中国工人阶级的历史地位》。

本书的出版，对于研究中国工人阶级的历史，了解中国工人阶级的斗争，具有重要的意义。本书的编写，得到了许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书共分五卷，第一卷为《中国工人阶级的产生和发展》，第二卷为《中国工人阶级的斗争》，第三卷为《中国工人阶级的组织》，第四卷为《中国工人阶级的思想》，第五卷为《中国工人阶级的历史地位》。

本书的出版，对于研究中国工人阶级的历史，了解中国工人阶级的斗争，具有重要的意义。本书的编写，得到了许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书共分五卷，第一卷为《中国工人阶级的产生和发展》，第二卷为《中国工人阶级的斗争》，第三卷为《中国工人阶级的组织》，第四卷为《中国工人阶级的思想》，第五卷为《中国工人阶级的历史地位》。

本书的出版，对于研究中国工人阶级的历史，了解中国工人阶级的斗争，具有重要的意义。本书的编写，得到了许多同志的帮助，在此表示衷心的感谢。

目 录

| | | |
|------|------------------|-----|
| 第一章 | 工厂供电的基本概念 | 1 |
| 第二章 | 电力负荷的计算 | 4 |
| 第三章 | 工厂供电系统功率因数的改善 | 24 |
| 第四章 | 工厂供电系统和变电所 | 35 |
| 第五章 | 工厂供电系统导线和电缆截面的选择 | 50 |
| 第六章 | 短路电流的计算 | 67 |
| 第七章 | 电气设备的选择与校验 | 91 |
| 第八章 | 工厂供电系统的继电保护 | 111 |
| 第九章 | 工厂供电系统的防雷及接地 | 129 |
| 第十章 | 工厂的电气照明 | 137 |
| 第十一章 | 工厂供电系统的设计举例 | 143 |
| | 习题参考答案 | 174 |

第一章 工厂供电的基本概念

提 要

本章要求掌握的基本内容是关于电力系统的概念、电力系统的额定电压，工厂供电系统的组成等。其要点是：

1. 电能是二次能源

电能是二次能源，它是由煤、石油、水位能等一次能源经多次转换而来。电力工业是国民经济、现代化生产和人民生活现代化的基础。

2. 电力系统的组成及各组成部分的功能

电力系统由发电厂、变电所、电力网和用电设备组成的统一整体。发电厂是将各种形式的能量转换为电能的工厂；变电所是接受电能、变换电压和分配电能的场所，电力网是输送电能的线路；电力负荷是将电能转换为所需要能量的用电设备。

3. 电力系统电压等级的分类

我国确定的电力系统电压等级有三类：

第一类为100V以下的额定电压，主要用于安全照明，蓄电池、断路器及开关设备的操作电源。

第二类为100V以上、1000V以下的额定电压，主要用于照明及动力电源的额定电压值。

第三类为1000V以上的额定电压，主要作为高压用电设备、发电和输电的额定电压值。

4. 用电设备额定电压与同级线路额定电压的关系

用电设备的额定电压与同级线路的额定电压相等，发电机的额定电压高于同级线路额定电压5%；电力变压器的一次线圈的额定电压分两种情况，当变压器直接与发电机相联时，其一次线圈额定电压应高于同线路额定电压的5%，当变压器联接在线路上时，其一次线圈的额定电压与线路额定电压相同。变压器二次线圈的额定电压，比线路额定电压高10%，但如变压器二次侧线路不太长时，变压器二次线圈额定电压，只需高于线路额定电压的5%。

5. 工厂供电系统的组成

工厂供电系统由变、配电所、高低压配电线路和用电设备所组成，以实现工厂内部电能的接受、变换和使用。

6. 工厂供电电压质量指标

决定工厂供电质量指标有电压、频率和可靠性。

(1) 影响电压质量指标的因素有：

电压偏移：由于电力系统负荷变化等原因，使电气设备的实际电压偏移铭牌上额定电压值的数值，一般规定电压偏移值不超过 $\pm 5\%$ 。

电压波动：由于设备的频繁起动等原因，使供电电压时高时低的变化，不同的用电设备，不同的工作情况，所允许的电压波动值不一样，一般允许电压偏移值在 $\pm 5\%$ 左右。

电压畸变：由于大功率可控整流设备的应用、激磁装置的存在等原因，在供电电压中，产生了50Hz基波成整数倍的高次谐波，使波形畸变。

(2) 频率: 对供电电压频率的要求, 比对电压的要求更为严格, 不得超过 $\pm 0.5\%$ 。

(3) 可靠性: 根据用电负荷的性质及重要程度, 用电设备供电不中断的要求, 将用电负荷分为一级负荷、二级负荷和三级负荷。

一级负荷由两个独立电源供电, 二级负荷由两回线路或一回专用线路供电, 三级负荷无特殊要求。

思考题

1-1 何谓电力系统, 为什么绝大多数工厂都由国家电力系统供电?

1-2 我国目前电网额定电压等级有哪些, 各适用于什么场合, 与国外工业发达国家的电网额定电压相比, 我国所用的额定电压有无改进的必要和可能?

1-3 为什么变压器的一次额定电压有的高于同级电网额定电压的 5% , 有的与同级电网额定电压相等?

1-4 变压器的二次额定电压为什么有的情况高于相应电网额定电压的 10% , 有的则只高于 5% ?

1-5 决定工厂供电质量的指标有哪几项?

1-6 工厂供电系统的组成及特点是什么?

例题

1-1 标出例1-1图中变压器 T_1 、 T_2 的一、二次线圈的额定电压各为多少? 图中GS为发电机, L_1 、 L_2 为输电线路。

解: T_1 的一次绕组的额定电压 U_{1N} 与发电机额定电压相同, 即 U_{1N} 为 10.5kV ; T_1 的二次绕组额定电压 U_{2N} 应高于线路 L_1 额定电压的 10% , 即 U_{2N} 为 121kV 。

T_2 一次绕组额定电压 U_{1N} 为 110kV ; 而 T_2 的二次绕组额定电压 U_{2N} 应高于线路 L_2 额定电压的 10% , 即为 38.5kV 。

1-2 试标明例1-2图中, 变压器 T_1 、 T_2 、 T_3 一、二次绕组的额定电压, 图中, 电动机M直接与变压器 T_2 相联。

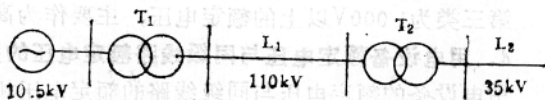
解: 由线路 L_1 额定电压为 35kV , L_2 的额定电压为 10kV 可知:

发电机GS的额定电压为 10.5kV

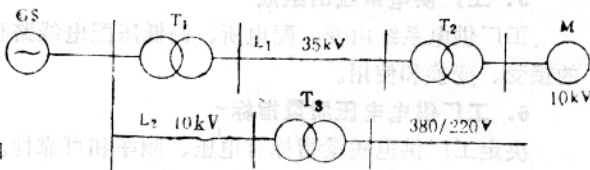
变压器 T_1 一次绕组额定电压与发电机GS相等, 为 10.5kV ; 二次绕组的额定电压高于 L_1 额定电压 10% , 即为 38.5kV ;

变压器 T_2 一次绕组额定电压与 L_1 的额定电压相等为 35kV , 二次绕组因与电动机M直接相连, 其额定电压较电动机M高 5% , 即为 10.5kV 。

变压器 T_3 的一、二次额定电压为 $10/0.4/0.23\text{kV}$ 。



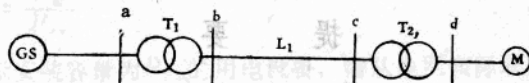
例1-1图



例1-2图

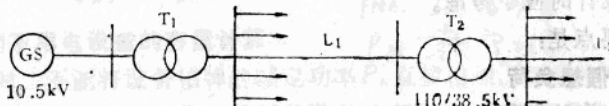
习 题

1-1 试标出题1-1图中a、b、c、d四点各应高于同级线路或设备额定电压的百分数。



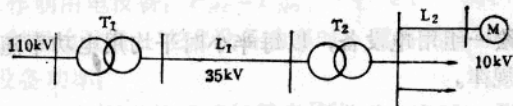
题1-1图

1-2 试标出题1-2图所示供电系统中变压器和线路的额定电压值。



题1-2图

1-3 标出题1-3图所示的供电系统中，变压器的额定电压。



题1-3图

第二章 电力负荷的计算

提 要

电力负荷计算是工厂供电系统设计的基础，本章的主要内容是用电设备、用电设备组、车间干线、车间直至全厂用电负荷的几种计算方法。工厂供电系统的电能损耗将影响到全厂的负荷计算结果，设计时应予考虑。

本章应掌握的要点是：

1. 计算负荷是假想负荷

计算负荷是按允许的发热条件选择导线，变压器及开关电气元件的一种假想负荷。它是根据工厂用电设备的安装容量，在使用时，电网向用电设备实际提供的负荷数量。

2. 负荷曲线

负荷曲线是用来描绘一组用电设备，以每半小时平均用电功率随时间变化的曲线，它反映出用电单位的特点和规律。

负荷曲线可分为有功、无功负荷曲线、日负荷曲线和年负荷曲线等。

从负荷曲线上，可以看出如下几个主要物理量：

年最大负荷 P_M 、 Q_M 、 S_M ，表示全年中最大工作班内半小时平均有功、无功和视在功率的最大值。

平均负荷 P_{av} 、 Q_{av} 、 S_{av} ，表示最大负荷工作班内、平均有功、无功和视在功率。

30分钟最大负荷 P_{30} 、 Q_{30} 、 S_{30} ，表示半小时平均负荷的最大值，它是计算负荷的理论依据。

计算负荷 P_C 、 Q_C 、 S_C ，即为“假想负荷”，可根据负荷曲线确定的系数求得，计算负荷是三十分钟最大负荷的统计值，因而有如下关系：

$$P_C = P_{30} = P_M \alpha$$

年最大负荷利用小时数 T_M ，是一个假想时间，是以最大负荷 P_M 持续运行 T_M 小时所用的电能，恰好等于全年实际消耗的电能 W_N 。因此，

$$T_M = \frac{W_N}{P_M}$$

负荷系数是反映负荷波动规律的参数，分有功、无功负荷系数 α 、 β 。负荷系数也叫负荷率、负荷曲线填充系数等。

α 、 β 的求法：

$$\alpha = \frac{P_{av}}{P_M}, \quad \beta = \frac{Q_{av}}{Q_M}$$

一般工厂负荷系数年平均值为：

$$\alpha = 0.70 \sim 0.75, \quad \beta = 0.76 \sim 0.82$$

利用系数 K_x ，表征最大负荷工作班内设备所用平均负荷，偏离设备额定负荷 P_N 的程度：

$$K_x = \frac{P_{av}}{P_N}$$

最大系数 K_M ，表征最大负荷工作班内，用电设备30分钟最大平均负荷偏离用电设备平均负荷的程度：

$$K_M = \frac{P_M}{P_{av}}$$

需要系数 K ，表示安装容量为 $P_{N\Sigma}$ 的用电设备，需从电网实际取用功率所考虑的一个综合系数：

$$K_d = \frac{P_M}{P_{N\Sigma}} = \frac{P_C}{P_{N\Sigma}}$$

安装容量
设备功率
额定功率

3. 不同工作制下用电设备的容量计算

在求计算负荷时，不能将设备铭牌的额定功率 P_N 直接相加，而是将不同工作制用电设备的额定功率，换算为统一规定工作条件下的设备功率 P_{Ne} 。其换算方法是：

(1) 长期工作制的用电设备： $P_{Ne} = P_N$ 。

(2) 短时但连续工作制用电设备： $P_{Ne} = P_N$ 。

(3) 反复短时工作制用电设备：在求设备功率时，需将铭牌标定暂载率下的功率换算到规定标准暂载率下的设备功率：

①对电焊机和电焊装置，其规定的标准暂载率 $FC_{100} = 100\%$ ，因而换算到 FC_{100} 下的设备功率 P_{Ne} 为：

$$P_{Ne} = \sqrt{\frac{FC_N}{FC_{100}}} \cdot P_N = P_N \sqrt{FC_N} = \sqrt{FC_N} \cdot S_N \cdot \cos\varphi_N (\text{kW})$$

式中： FC_N ——名牌标明的暂载率，计算时用小数； FC_{100} ——规定的电焊设备标准暂载率100%，计算时为1.0； S_N ——电焊设备铭牌额定容量(kVA)； $\cos\varphi_N$ ——电焊设备铭牌额定功率因数。

②吊车电动机将铭牌暂载率换算到规定标准的暂载率 $FC_{25} = 25\%$ ，因而其设备功率为：

$$P_{Ne} = \sqrt{\frac{FC_N}{FC_{25}}} \cdot P_N = 2P_N \sqrt{FC_N} (\text{kW})$$

4. 计算负荷确定的方法

计算负荷的求法有多种，但最常用的有需要系数法和二项式系数法两种。需要系数法求计算负荷方法简便，多用于确定全厂和大型车间变电所的计算负荷，其特点是设备台数多，总容量大。二项式系数法在设备数量不够多、容量相差悬殊的情况下使用，它考虑了大容量设备对计算负荷的影响，一般用于计算车间干线、支干线的计算负荷。

5. 按需要系数法确定计算负荷

(1) 单台用电设备的计算负荷：

设备仅单台电动机：

$$P_C = \frac{P_N}{\eta}$$

式中： η ——效率； P_N ——铭牌标明的额定功率。

如果单台设备为反复短时工作制时，应将 P_N 换算为设备容量 P_{Ne} 。(方法见本章提要第

3条)。则： $P_C = P_{Ne}$

设备为单个电热器、白炽灯、电炉等时，为： $P_C = P_N$ 。

(2) 用电设备组的计算负荷：

工艺性质相同、需用系数相近的若干设备合成一用电设备组。

$$P_C = K_d P_{N\Sigma} (\text{kW})$$

$$Q_C = \overline{P_C} \text{tg}\varphi (\text{kvar})$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} (\text{kVA})$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} U_N} (\text{A})$$

式中： P_C 、 Q_C 、 S_C ——用电设备组的有功、无功和视在计算负荷； I_C ——用电设备组计算电流； $P_{N\Sigma}$ ——用电设备组额定容量的总和，如用电设备组为反复短时工作制时，应将每台设备的额定容量 P_N 换算为设备容量 P_{Ne} ，然后再求设备容量的总和 $P_{N\Sigma}$ 。（以下计算都应如此处理，不另说明）； K_d ——该设备组的需要系数， $\text{tg}\varphi$ ——与设备功率因数相对应的正切值。

(3) 多个用电设备组的计算负荷：

$$P_C = K_x \sum_{i=1}^n (K_{di} P_{Ni}) (\text{kW})$$

$$Q_C = K_x \sum_{i=1}^n (K_{di} P_{Ni} \text{tg}\varphi_i) (\text{kva})$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} (\text{kVA})$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} U_N} (\text{A})$$

式中： K_x ——同期系数； K_{di} 、 P_{Ni} 、 $\text{tg}\varphi_i$ ——对应于某一用电设备组的需要系数、功率总和和功率因数的正切值。

(4) 确定变压器高压侧的计算负荷 P_{CG} 、 Q_{CG} 、 S_{CG} 和 I_{CG} ：

$$P_{CG} = P_{Cd} + \Delta P_T (\text{kW})$$

$$Q_{CG} = Q_{Cd} + \Delta Q_T (\text{kvar})$$

$$S_{CG} = \sqrt{P_{CG}^2 + Q_{CG}^2} (\text{kVA})$$

$$I_{CG} = \frac{S_{CG}}{\sqrt{3} U_{NG}} (\text{A})$$

式中： P_{Cd} 、 Q_{Cd} 、 S_{Cd} ——变压器低压侧的计算负荷； ΔP_T 、 ΔQ_T ——变压器的有功、无功损耗。 u_{NG} ——变压器高压侧额定电压 (kV)。

一般取， $\Delta P_T = 2\% S_{Cl}$ (kW)

$\Delta Q_T = 10\% S_{Cd}$ (kvar)

6. 按二项式系数法求计算负荷

(1) 用电设备组的计算负荷：

$$P_C = CP_x + bP_{Nx} \text{ (kW)}$$

$$Q_C = P_C \operatorname{tg} \varphi \text{ (kvar)}$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} \text{ (kVA)}$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3}U_N} \text{ (A)}$$

式中: $P_{e\sum}$ ——用电设备组的设备功率总和; 当考虑工作条件不同时将 P_N 换算为 P_{Ne} ; P_x ——该组中 x 台大容量用电设备的功率和, x 为该组计算时所取大容量的台数; b 、 c ——为二项式系数; U_N ——额定电压。

(2) 多个用电设备组的计算负荷:

$$P_C = (CP_x)_{\max} + \sum_{i=1}^n b_i P_{Ni} \text{ (kW)}。$$

$$Q_C = (CP_x)_{\max} \operatorname{tg} \varphi_x + \sum_{i=1}^n b_i P_{Ni} \operatorname{tg} \varphi_i \text{ (kvar)}。$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} \text{ (kVA)}$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3}U_N} \text{ (A)}$$

式中: b_i 、 P_{ei} 、 $\operatorname{tg} \varphi_i$ ——某一用电设备组的系数、功率和功率因数对应的正切值; $(cP_x)_{\max}$ ——各用电设备组中, 取 (CP_x) 项的最大值; $\operatorname{tg} \varphi_x$ ——与 $(CP_x)_{\max}$ 对应的正切值。

4台以下用电设备组: $P_C = K_j P_{Nx}$ (kW)。式中 K_j 为计算系数。

7. 确定全厂的计算负荷

全厂计算负荷确定方法, 一般由低压电设备开始, 逐级相加计算全厂负荷:

(1) 用需要系数法或二项式系数法确定各用电设备组的计算负荷。

(2) 计算车间变压器低压侧计算负荷: 将各用电设备组的计算负荷, 乘以同期系数。

(3) 求车间变压器高压侧计算负荷: 由变压器低压侧计算负荷, 加上变压器有功、无功损耗而得。

(4) 总降压变电所低压侧计算负荷, 由总降压变压器低压侧计算负荷, 再乘以该处同期系数即可。

(5) 全厂计算负荷, 由总变压器低压侧计算负荷加上变压器的功率损耗而得。

(6) 地区变电所供给全厂总负荷, 为全厂计算负荷, 再加上高压送电线路的功率损耗。

(7) 如有厂内配电所, 则配电所进线计算负荷, 将配电所高压用电设备容量, 加上各配电线路的计算负荷总和, 乘以同期系数。

8. 单相负荷计算

对于接有较多单相负荷 (超过三相用电设备总功率的15%以上) 的线路, 应将单相负荷换算为等效三相负荷, 再与已有的三相负荷相加, 然后用需要系数法或二项式系数法确定出三相线路的计算负荷。

三相等效负荷的求法是:

(1) 仅接于相电压的单相用电设备:

$$P_{Ng} = 3P_{Nx} \text{ (kW)}。$$

式中：\$P_{Ng}\$——等效三相设备容量；\$P_{Nx}\$——接于相电压时，最大一相的设备容量。

(2) 接于同一线电压的单相用电设备：

$$P_{Ng} = \sqrt{3} P_{Ne}。$$

式中：\$P_{Ne}\$——接于线电压的单相设备功率。

(3) 接于相、线电压的单相负荷：

单相用电设备，尽可能的均衡分布于三相上。当线路中，既有接于相电压、也有接于线电压的单相用电设备，或三相中所接的单相设备明显的不对称时，应将接于线电压的容量，换算为相电压容量：

$$A \text{相: } P_a = p_{(ab)a} P_{ab} + p_{(ca)a} P_{ca}$$

$$Q_a = q_{(ab)a} P_{ab} + q_{(ca)a} P_{ca}$$

$$B \text{相: } P_b = p_{(ab)b} P_{ab} + p_{(bc)b} P_{bc}$$

$$Q_b = q_{(ab)b} P_{ab} + q_{(bc)b} P_{bc}$$

$$C \text{相: } P_c = p_{(ca)c} P_{ca} + p_{(bc)c} P_{bc}$$

$$Q_c = q_{(ca)c} P_{ca} + q_{(bc)c} P_{bc}$$

式中：\$P_{ab}\$、\$P_{bc}\$、\$P_{ca}\$——接于\$ab\$、\$bc\$、\$ca\$线间电压的单相用电设备功率；\$P_a\$、\$Q_a\$、\$P_b\$、\$Q_b\$、\$P_c\$、\$Q_c\$——换算为\$a\$、\$b\$、\$c\$相的有功及无功功率；\$p_{(ab)a}\$、\$p_{(ab)b}\$、\$p_{(bc)b}\$、\$p_{(bc)a}\$、\$p_{(ca)a}\$、\$p_{(ca)c}\$及\$q_{(ab)a}\$、\$q_{(ab)b}\$、\$q_{(bc)b}\$、\$q_{(bc)a}\$、\$q_{(ca)a}\$、\$q_{(ca)c}\$——换算系数。

换算后将最大一相负荷的三倍作为等效三相负荷。

9. 供电线路的功率损耗

$$\Delta P_l = 3I_o^2 R \times 10^{-3} = 3I_o^2 r_o l \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

$$\Delta Q_l = 3I_o^2 x \times 10^{-3} = 3I_o^2 x_o l \times 10^{-3} \text{ (kvar)}$$

式中：\$R\$——线路每相电阻；\$x\$——每相电抗；\$r_o\$、\$x_o\$——线路单位长度的电阻和电抗 (\$\Omega/\text{km}\$)；\$l\$——线路长度 (km)。

10. 变压器的功率损耗

$$\Delta P_T = \Delta P_{Or} + \Delta P_{cu \cdot N \cdot T} \left(\frac{S_c}{S_{NT}} \right)^2 \text{ (kW)}$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{Or} + \Delta Q_{N \cdot T} \left(\frac{S_c}{S_{NT}} \right)^2 \text{ (kvar)}$$

式中：\$\Delta P_T\$、\$\Delta Q_T\$——变压器的有功功率损耗 (kW)、无功功率损耗 (kvar)；\$\Delta P_{cu \cdot N \cdot T}\$——变压器在额定负荷下的短路有功损耗 (kW)；\$\Delta Q_{N \cdot T}\$——变压器额定短路无功损耗 (kvar)；\$S_{N \cdot T}\$——变压器额定容量 (kVA)；\$S_c\$——计算负荷 (kVA)。

上式无功损耗中，\$\Delta Q_{Or} = \frac{I_{Or} \%}{100} S_{N \cdot T}\$ (kvar)；\$\Delta Q_{NT} = \frac{\Delta U_K \%}{100} S_{NT}\$ (kvar)。

其中，\$I_{Or} \%\$——变压空载电流\$I_{Or}\$占额定电流\$I_{NT}\$的百分数；\$\Delta U_K \%\$——变压器阻抗电压(短路电压)占额定电压\$u_{NT}\$的百分数。

变压器功率损耗的近似计算为：

$$\Delta P_T = 0.02 S_c \text{ (kW)}$$

$$\Delta Q_T = 0.15 S_c \text{ (kvar)}$$

11. 供电系统中电能损耗计算

(1) 供电线路年有功电能损耗 ΔW_{l_0} :

$$\Delta W_{l_0} = 3I_c^2 R \tau \times 10^{-3} \text{ (kWh)}$$

式中: I_c ——计算电流 (A); R ——导线电阻 (Ω); τ ——最大负荷损耗小时数 (h), τ 与年最大负荷利用小时数 T_M 有关。

(2) 变压器年有功电能损耗 ΔW_{T_0} :

$$\Delta W_{T_0} = \Delta P_{OT} T_{OT} + \Delta P_{CU \cdot N \cdot T} \left(\frac{S_c}{S_{N \cdot T}} \right)^2 \tau_0$$

式中: T_{OT} ——变压器年投入运行时数 (h); ΔP_{OT} ——变压器空载有功损耗 (kW); S_c ——变压器计算负荷 (kVA); $S_{N \cdot T}$ ——变压器额定容量 (kVA); $\Delta P_{CU \cdot N \cdot T}$ ——变压器额定负荷时的短路有功损耗 (kW)。

思考题

- 2-1 什么是计算负荷? 确定计算负荷的目的是什么?
- 2-2 按工作制区分用电设备有几类; 各有什么特征?
- 2-3 电力负荷曲线有哪几种, 如何绘制, 它对供电设计和运行有何意义?
- 2-4 从负荷曲线上可以观察到哪些物理量? 其意义何在?
- 2-5 什么叫需要系数、二项式系数、同期系数? 其物理意义是什么?
- 2-6 何为暂载率? 对计算负荷有何影响? 反复短时工作制的设备容量如何换算?
- 2-7 目前确定计算负荷的方法有几种? 它们的理论基础是什么? 各有何优缺点? 举例说明用电设备组、多组用电设备和全厂计算负荷的求法。
- 2-8 单相负荷如何换算为等效的三相负荷?
- 2-9 何谓最大负荷利用小时数和最大负荷损耗小时数? 各有什么物理意义? 它们之间有何关系?
- 2-10 如何计算供电系统的功率损耗? 年电能损耗是如何计算的?

例题

2-1 一工厂最大工作班负荷曲线见例2-1图, 已知全厂设备装接容量 $P_{N \cdot X} = 88 \text{ kW}$, 试求该厂计算负荷、负荷系数、需要系数和利用系数。

解: 由图中所示,

$$P_M = 78 \text{ kW}$$

$$P_{av} = 52 \text{ kW}$$

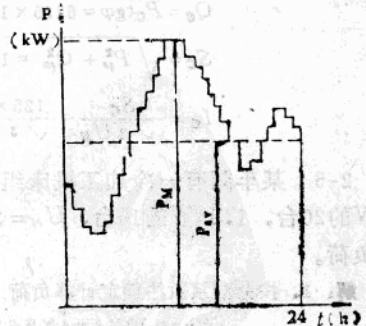
$$P_e = P_M = 78 \text{ kW}$$

负荷系数:

$$\alpha = \frac{P_{av}}{P_M} = \frac{52}{78} = 0.66$$

需要系数:

$$K_d = \frac{P_M}{P_{N \cdot X}} = \frac{78}{88} = 0.886$$



例2-1 某厂负荷曲线

利用系数:

$$K_x = \frac{P_{av}}{P_N} = \frac{52}{88} = 0.59$$

2-2 某轴承厂, 年产轴承200万套, 估算该厂最大有功功率。

解: 单套轴承耗电1~4kWh, 取 $w = 2\text{kWh/套}$; 设该厂, $T_M = 5300\text{h}$; 年产量 $m = 2,000,000$ 套, 所以:

$$P_M = \frac{w \cdot m}{T_M} = \frac{2 \times 2000000}{5300} = 754.7\text{kW}$$

2-3 某汽车制造厂, 全厂 $P_C = 9000\text{kW}$, $Q_C = 7000\text{kvar}$ 求该厂全年有功及无功电能需要量各为多少?

解: 汽车制造厂年最大有功负荷利用小时数 $T_{MP} = 4960\text{h}$, 无功 $T_{MQ} = 5240\text{h}$, 所以全年所需的有功及无功电能为:

$$\begin{aligned} W_P &= T_{MP} \cdot P_M = T_{MP} \cdot P_C \\ &= 4960 \times 9000 = 44.6 \times 10^6 \text{kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_Q &= T_{MQ} Q_C = 5240 \times 7000 \\ &= 36.7 \times 10^6 \text{kWh} \end{aligned}$$

2-4 某机修车间有机加工设备一台, 其电动机 $P_N = 450\text{kW}$, $\cos\varphi = 0.89$, $\eta = 0.98$, $u_N = 380\text{V}$, 求向该电动机供电线路上的计算负荷。

解: 此情况属单台电动机设备, 所以:

$$P_C = \frac{P_N}{\eta} = \frac{450}{0.98} = 459\text{kW}$$

$$Q_C = P_C \tan\varphi = 459 \times 0.51 = 234\text{kvar}$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} = 516\text{kVA}$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} U_N} = \frac{516 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 785\text{A}$$

2-5 某车间有10吨吊车一台, 铭牌数据为: $P_N = 39.6\text{kW}$, $FC_N = 40\%$, $\eta = 0.8$, $\cos\varphi = 0.5$, 求向吊车电动机供电线路的计算负荷。

解: 吊车电动机的设备容量需换算到 $FC = 25\%$ 的设备功率:

$$\begin{aligned} P_{N0} &= P_N \sqrt{\frac{FC_N}{FC_{25\%}}} = 2P_N \sqrt{FC_N} \\ &= 2 \times 39.6 \sqrt{0.4} = 50\text{kW} \end{aligned}$$

$$P_C = \frac{P_{N0}}{\eta} = \frac{50}{0.8} = 62.5\text{kW}$$

$$Q_C = P_C \tan\varphi = 62.5 \times 1.732 = 108\text{kvar}$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} = 125\text{kVA}$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} U_N} = \frac{125 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 190\text{A}$$

2-6 某车间有一冷加工机床组, 共有电动机43台, 其中10kW的4台, 4kW的9台, 3kW的20台, 1.5kW的10台, $U_N = 380\text{V}$, 试用需要系数法和二项式系数法求该设备组的计算负荷。

解: 1. 按需要系数法确定计算负荷

$$\begin{aligned} P_{N2} &= 10 \times 4 + 4 \times 9 + 3 \times 20 + 1.5 \times 10 \\ &= 151\text{kW} \end{aligned}$$

查其需要系数为: $K_d = 0.2$, $\cos\varphi = 0.5$, $\operatorname{tg}\varphi = 1.73$

$$P_C = K_d P_{N\Sigma} = 0.2 \times 151 = 30.2 \text{ kW}$$

$$Q_C = P_C \operatorname{tg}\varphi = 30.2 \times 1.73 = 52.2 \text{ kvar}$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} = \sqrt{30.2^2 + 52.2^2} = 60.4 \text{ kVA}$$

$$I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} U_N} = \frac{60.4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 91.8 \text{ A}$$

2. 按二项式系数法确定计算负荷

其二项式系数为: $b = 0.14$, $c = 0.4$, $x = 5$, $\cos\varphi = 0.5$, $\operatorname{tg}\varphi = 1.73$

| | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|
| | $P_{N\Sigma} = 151 \text{ kW}$ | | | | |
| | $P_s = P_5 = 10 \times 4 + 4 \times 1 = 44 \text{ kW}$ | | | | |
| | $P_C = CP_s + bP_{N\Sigma} = 0.4 \times 44 + 0.14 \times 151 = 38.74 \text{ kW}$ | | | | |
| | $Q_C = P_C \operatorname{tg}\varphi = 38.74 \times 1.73 = 67 \text{ kvar}$ | | | | |
| | $S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} = \sqrt{38.74^2 + 67^2} = 77.5 \text{ kVA}$ | | | | |
| | $I_C = \frac{S_C}{\sqrt{3} U_N} = \frac{77.5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380} = 117.8 \text{ A}$ | | | | |

可以看出, 采用二项式系数法计算的结果比采用需要系数法计算的结果为大, 其主要原因是选择系数的差异性。在选择分支线或干线时, 用需要系数法确定的计算负荷值偏小, 而采用二项式系数法考虑了大型设备的影响, 较为接近实际情况。

2-7 某厂的机修车间干线上, 接有单独传动的冷加工机床组, 有电动机34台, 其功率为7.5kW的3台、4kW的6台、3kW的25台; 通风机5台, 每台3kW, 吊车6台, 其中10kW的3台, 5.5kW的3台, 且 $FC_N = 25\%$, 试用需要系数法和二项式系数法求该车间干线的计算负荷。

解: 1. 按需要系数法求解

(1) 冷加工机床组:

$$K_{d1} = 0.2, \cos\varphi_1 = 0.5, \operatorname{tg}\varphi_1 = 1.73$$

$$P_{C1} = K_{d1} P_{N\Sigma 1} = 0.2 \times (7.5 \times 3 + 4 \times 6 + 3 \times 25) = 24.3 \text{ kW}$$

$$Q_{C1} = P_{C1} \operatorname{tg}\varphi_1 = 24.3 \times 1.73 = 42 \text{ kvar}$$

(2) 通风机组:

$$K_{d2} = 0.8, \cos\varphi_2 = 0.8, \operatorname{tg}\varphi_2 = 0.75$$

$$P_{C2} = K_{d2} P_{N\Sigma 2} = 0.8 \times (3 \times 5) = 12 \text{ kW}$$

$$Q_{C2} = P_{C2} \operatorname{tg}\varphi_2 = 12 \times 0.75 = 9 \text{ kvar}$$

(3) 吊机组:

$$K_{d3} = 0.15, \cos\varphi = 0.5, \operatorname{tg}\varphi = 1.73$$

吊车 FC 已为标准的 $FC = 25\%$, 所以可以直接取 P_N 为 P_{N0} 。

$$P_{C3} = K_{d3} P_{N\Sigma 3} = 0.15 \times (10 \times 3 + 5.5 \times 3)$$

$$= 0.15 \times 46.5 = 7 \text{ kW}$$

$$Q_{C3} = P_{C3} \operatorname{tg}\varphi = 7 \times 1.73 = 12 \text{ kvar}$$

(4) 干线总计算负荷 P_C :

$$\text{取: } K_\Sigma = 0.9$$

$$P_C = K_\Sigma \cdot \Sigma P_{C_i} = 0.9 \times (P_{C1} + P_{C2} + P_{C3})$$

$$= 0.9 \times (24.3 + 12 + 7) = 39 \text{ kW}$$