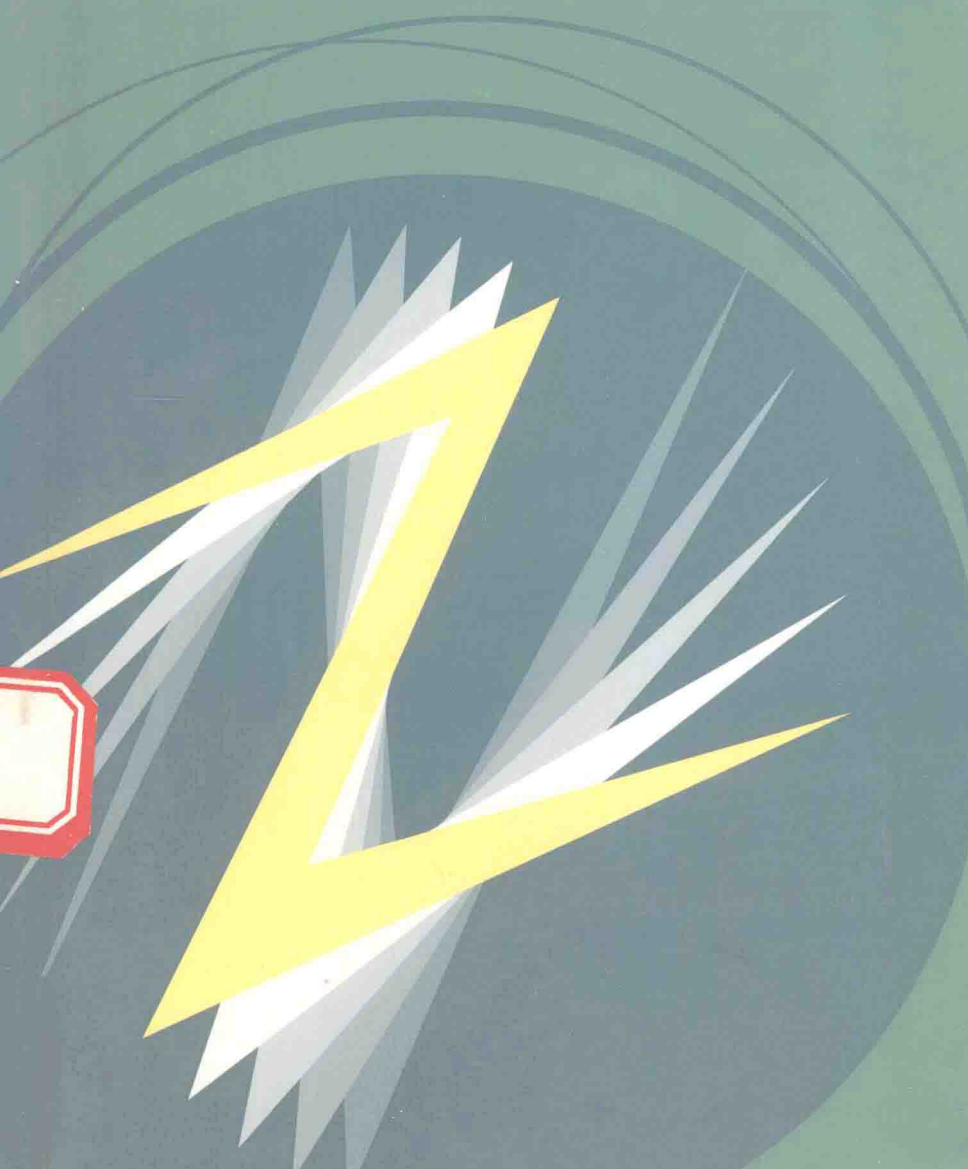


主 编 吴志良 王 伟  
副主编 王俊忠 潘渝伯  
主 审 樊印海

 大连海事大学出版社

# 港口供电及自动化系统



# 港口供电及自动化系统

Gangkou Gongdian Ji Zidonghua Xitong

主 编 吴志良 王 伟

副主编 王俊忠 潘渝伯

主 审 樊印海

大连海事大学出版社

© 吴志良 王 伟 2003

### 图书在版编目 (CIP) 数据

港口供电及自动化系统 / 吴志良, 王伟主编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2003.6

ISBN 7-5632-1621-9

I. 港… II. ①吴… ②王… III. 港口—供电—电力系统  
IV. U653.95

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 002345 号

### 内 容 提 要

《港口供电及自动化系统》一书全面、系统地阐述了港口供电系统的基本理论、工程设计与计算、安装调试、运行维护等方面的基本知识。主要内容包括港口电力负荷计算、短路电流计算、港口变配电站、港口供电系统的继电保护、港口电网、港口供电系统无功功率补偿、港口供电系统可靠性分析以及港口供电网监控系统等。

本书可作为港电专业大学本科专用教材, 亦适用于电力类本、专科及相关学科学生的教学用书, 也可以作为港口、船厂及工业企业从事供电工作的技术人员的参考教材。

### 大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌水桥 邮编: 116026 电话: 4728394 传真: 4727996

<http://dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连海事大学印刷厂印装

大连海事大学出版社发行

幅面尺寸: 185 mm×260 mm

印张: 15.25

字数: 371 千字

印数: 1~1 500 册

2003 年 6 月第 1 版

2003 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 姜建军

版式设计: 海 玲

封面设计: 王 艳

责任校对: 思 涵

定价: 23.00 元

# 前 言

《港口供电及自动化系统》一书主要包括港口电力负荷计算、短路电流计算、港口变配电站、港口供电系统的继电保护、港口电网、港口供电系统无功功率补偿、港口供电系统可靠性分析以及港口供电网监控系统等内容。

本书尽量注意到各部分的独立性与完整性，做到由浅入深地说明问题。

本书可作为大学本科港电专业的专用教材，亦适用于电力类本、专科及相关学科学生的教学用书，也可以作为港口、船厂及工业企业从事供电工作的技术人员的参考教材。

本书第一章、第二章由潘渝伯编写，第三章由潘渝伯、孟凡强编写，第四章由潘渝伯、王伟编写，第五章由吴志良、王俊忠编写，第六章由吴志良、白玉娟和郭宏林编写，第七章、第八章由吴志良编写，第九章由王伟、孟凡强编写，第十章由王俊忠、白玉娟编写。

全书由吴志良和王伟修改统稿，由樊印海主审。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，望广大读者指正。

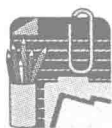
编 者

2002 年 10 月

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 概论.....                  | 1   |
| 第一节 供电的意义.....               | 1   |
| 第二节 港口供电系统.....              | 1   |
| 第三节 电力系统的电压与供电质量.....        | 3   |
| 第四节 电力系统中性点的运行方式.....        | 6   |
| 第五节 港口供电设计及其方案比较.....        | 9   |
| 第二章 港口电力负荷计算.....            | 14  |
| 第一节 电力负荷和负荷曲线.....           | 14  |
| 第二节 三相用电设备组的计算负荷.....        | 17  |
| 第三节 单相用电设备组的计算负荷.....        | 23  |
| 第四节 港口供电系统的功率损耗和电能损耗.....    | 25  |
| 第五节 港口供电系统计算负荷的确定.....       | 30  |
| 第六节 尖峰电流的计算.....             | 32  |
| 第三章 短路电流计算.....              | 33  |
| 第一节 概述.....                  | 33  |
| 第二节 三相交流电网短路的过渡过程.....       | 35  |
| 第三节 无限大容量电源供电系统三相短路电流计算..... | 41  |
| 第四节 短路计算对电力系统阻抗的考虑.....      | 53  |
| 第五节 异步电动机对短路电流的影响.....       | 54  |
| 第六节 1 000 V 以下电网短路电流的计算..... | 55  |
| 第七节 电气设备的选择与校验.....          | 56  |
| 第四章 港口变电站及其一次系统.....         | 61  |
| 第一节 港口变电站.....               | 61  |
| 第二节 电器开关中的电弧及触头.....         | 68  |
| 第三节 高压断路器.....               | 72  |
| 第四节 其他高压开关电器.....            | 84  |
| 第五节 互感器.....                 | 94  |
| 第六节 低压配电装置.....              | 101 |
| 第七节 电力变压器.....               | 106 |
| 第五章 港口供电系统的继电保护.....         | 111 |
| 第一节 继电保护的基本原理.....           | 111 |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 第二节 继电保护装置的任务和要求.....             | 112        |
| 第三节 港口供电系统的保护装置.....              | 114        |
| 第四节 港口供电网络的继电保护.....              | 119        |
| 第五节 港口电力变压器的继电保护.....             | 135        |
| 第六节 变、配电站的自动装置.....               | 114        |
| <b>第六章 港口电网.....</b>              | <b>152</b> |
| 第一节 港口电网的接线方式.....                | 152        |
| 第二节 港口电网的结构和敷设.....               | 154        |
| 第三节 导线和电缆截面的选择计算.....             | 157        |
| 第四节 环网的计算.....                    | 165        |
| <b>第七章 港口供电系统无功功率补偿.....</b>      | <b>168</b> |
| 第一节 提高港口供电系统功率因数的意义及功率因数计算方法..... | 168        |
| 第二节 提高港口供电系统功率因数的方法.....          | 169        |
| <b>第八章 港口供电系统可靠性分析.....</b>       | <b>182</b> |
| 第一节 可靠性的基本概念及主要指标.....            | 182        |
| 第二节 可靠性模型及计算.....                 | 186        |
| 第三节 港口供电网络可靠性分析.....              | 190        |
| <b>第九章 港口供电网监控系统.....</b>         | <b>194</b> |
| 第一节 概述.....                       | 194        |
| 第二节 主站监控系统.....                   | 196        |
| 第三节 厂站自动化系统.....                  | 213        |
| <b>第十章 典型港口供电网监控系统介绍.....</b>     | <b>227</b> |
| 第一节 港口供电网监控系统总体结构.....            | 227        |
| 第二节 调度中心系统.....                   | 228        |
| 第三节 集控站监控系统.....                  | 229        |
| 第四节 变电站自动化系统.....                 | 230        |
| <b>附录 表 1~附录 表 10.....</b>        | <b>233</b> |
| <b>参考文献.....</b>                  | <b>238</b> |



# 第一章 概 论

## 第一节 供电的意义

国民经济的发展必须有足够的能源供给作保证。石油、煤炭、水力和天然气等为一次能源，电能属于二次能源。

电能是现代工业生产的主要能源和动力。电能易于由其他形式的能量转换而来，又易于转换为其他形式的能量以供应用；它的输送和分配简单经济，又便于控制、调节和测量。利用电能易于满足生产工艺要求，保证产品质量，提高劳动生产率，减少能量损失，节约原料和材料，有效地提高工农业生产的机械化和自动化水平。因此，电能在现代工业生产及整个国民经济生活中应用极为广泛，给人类社会带来日新月异的进步。在现代社会，按人口平均的年用电量，是反映一个国家现代化程度的主要指标之一。

电能的另一个特点是发电、供电和用电的全过程是同一瞬间完成的。因此，电能生产过程中如果任何一个环节出现问题或某个电能用户使用不当，都会给整个系统造成影响。电能的应用范围极广，一旦中断供电，其后果可能是非常严重的，如其会引起重大设备的损坏，或造成大量产品的报废，甚至发生重大人身事故，给国家和人民带来经济上和政治上的重大损失。

要保证生产和生活的需要，供电工作必须满足以下要求：

安全：在发电、供电和用电过程中，不应发生人身事故和设备事故。

可靠：满足电能用户对供电可靠性的要求。

优质：保证供电质量。电能质量的主要指标是电压、频率要准确和稳定，波形为正弦波。

经济：供电系统应投资少，运行费用低，节约电能，有色金属消耗量小。

## 第二节 港口供电系统

### 一、电力系统的基本组成

由发电厂、变电站、电力网和用户组成的系统称为电力系统，如图 1-1 所示。

发电厂——生产电能的工厂，它把一次能源通过发电设备转换为电能。

变电站——变换电压和变换电能的场所，主要由电力变压器、母线、开关控制设备等组成。根据变电站的性质和作用，主要分为升压变电站和降压变电站。升压变电站多建在发电厂内，而降压变电站又可分为地区降压变电站、企业降压变电站和车间变电站。

只有受电及配电开关控制设备而没有变压器的站所，则称为配电站。交流电和直流电进行转换的站所称为变流站。

电力网——输送和分配电能的通道，由不同电压等级和不同结构类型的线路组成。电

力网把发电厂、变电站和用户联系起来，将电能输送和分配给电能用户。

电能用户——所有用电单位。在我国，工业企业用电占全国总发电量的 60% 以上，是最大电能用户。

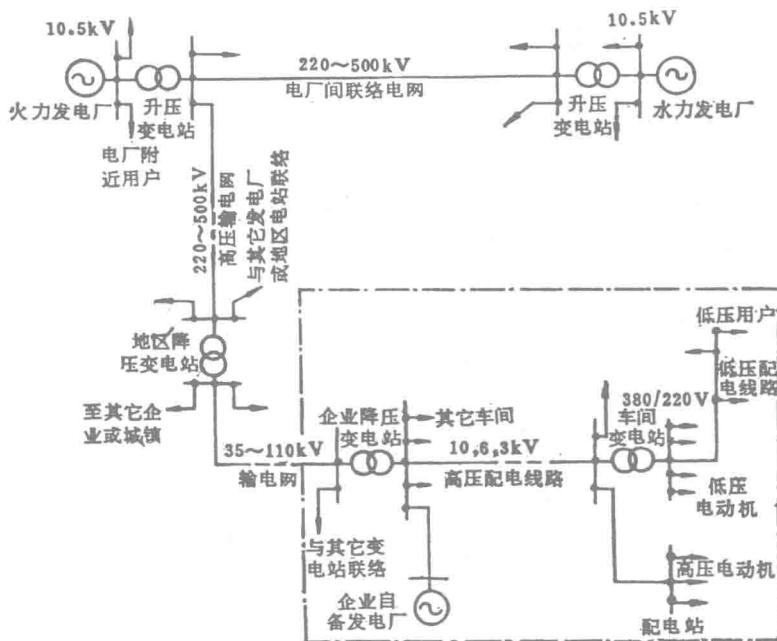


图 1-1 电力系统示意图

我国发电机的额定电压多为 6.3 kV、10.5 kV、13.8 kV 或 15.75 kV，少数大容量发电机为 18 kV 或 20 kV。这种低压电能，除了满足电厂自用电和直接分配给附近电能用户外，一般都是通过升压变电站转换成高压电能，将电能输送出去。在电力网的导线截面和线路电压损失一定的条件下，输电电压越高，则输送距离越远，输送的功率也越大。若输送功率、送电距离和允许电压损失一定，则输电电压越高，导线截面越小，可以节省导线所用的有色金属（铝或铜）。再换一种说法，当输送功率为一定值时，提高输电电压就可减少输电线路上的电流，因而减少线路上的电能损耗和电压损失，提高网络输送电能的效率，使用户得到品质好的电能。

电力网可分为输电网和配电网两大部分。由 35 kV~750 kV 输电线路和区域变电站组成输电网，将电能送到各个地方的供电网络，或直接送给大型用户。由 10 kV~220/380 V 配电线路和降压变电站组成配电网，将电能分配到各类用户。

## 二、港口供电系统

港口供电系统由企业总降压变电站、高压配电线路、车间或码头变电站、低压配电线路及用电设备组成。图 1-1 中虚线部分即为工业企业内部供电系统示意图。

大型工业企业都要设置总降压变电站，把从电力系统接受的 35 kV~110 kV 电压降为 6 kV~10 kV 的高压配电电压，向车间或码头变电站配电。为保证供电的可靠性，总降压

变电站多为两台降压变压器。中、小型企业的变电站进线电压只有 10 kV，由市内二次变电站提供。

对于某些工业企业，由于其生产对国民经济的重要性，需要建立自备发电厂作为备用电源时，可建立企业自备热电厂，同时为生产提供蒸汽或热水。一般说来，当工业企业要求供电可靠性较高时，可从电力系统引两个独立电源对其供电，以保证供电的不间断。

在一个或几个码头之间，根据生产规模、用电设备的布局及用电量大小等情况，可设立一个或几个码头变电站。几个相邻的用电量不大的码头，可设立一个变电站，其位置为几个码头的负荷中心，也可选在用电量最大的码头内。

车间或码头变电站一般设置 1~2 台变压器。单台变压器容量通常在 1 000 kVA 及以下，将 6 kV~10 kV 电压降为 220/380 V，为低压用电设备供电。若有高压用电设备，则直接通过车间或码头变电站的 6 kV~10 kV 母线供电。

车间变电站的主要电气设备是电力变压器和受、配电设备及装置。所谓受、配电设备及装置就是用来接受和分配电能的电气装置，包括开关设备、保护电器、测量仪表、母线及其他辅助设备（仪用互感器）等。对 10 kV 以下的系统，为了安装和维护简便起见，制造厂均将受、配电设备及装置组装成套式开关柜。

港口高压配电线路主要作为港区内输送、分配电能之用，把电能送到车间或码头。高压配电线路目前多采用架空线路，因为架空线路建设投资少，便于维护和检修。但在某些企业（如钢厂、化工厂、海港、造船厂等）的厂区内，由于厂房和其他构筑物较密集，架空敷设的管道纵横交错占据着空间，或由于厂区个别区域腐蚀性气体较严重等因素的限制，在厂区内部分地段不宜敷设架空线路，此时可在这些地段敷设地下电缆网络。最近几年来，由于电缆制造技术的发展，电缆质量不断提高，成本也有所下降，同时为了美化厂区环境，现代企业的厂区高压配电线路已逐渐向电缆化方向发展。

工业企业低压配电线路作为向低压电气设备供电之用。在户外敷设的低压配电线路目前多采用架空线路，且尽可能与高压线路同杆架设以节省建设费。在厂房和车间内部则应根据具体情况确定，或采用明线配电线路，或采用电缆配电线路。在厂房车间内，由动力配电箱到电动机的配电线路一律采用绝缘导线穿管敷设或采用电缆线。

在企业内，为了减轻大型电动机起动引起的电压波动对照明负荷的影响，照明线路和动力线路以分别架设为好。如果没有频繁起动的电动机时，则两种线路可用同一台配电变压器供电。当然，照明系统最好用专门的变压器供电，这样虽增加一些设备投资，却能防止或减轻灯光的闪烁现象。对于事故照明，必须有可靠的独立电源，以保证在发生事故时能及时地向事故照明系统继续供电。

### 第三节 电力系统的电压与供电质量

#### 一、电力系统的电压

电力系统额定电压的等级是根据国民经济发展的需要，考虑技术经济上的合理性，以及电机、电器制造工业的水平和发展趋势等一系列因素，并参考其他国家的规定，由全国

电压电流等级和频率标准化技术委员会制定并经国家标准总局批准颁布的。

所谓电气设备的额定电压，就是能使发电机、变压器和一切用电设备在正常运行时获得最经济效果的电压。

### 1. 电力网的额定电压

电力网的额定电压等级是确定各类电力设备额定电压的基本依据。我国规定有如下电压等级：

220/380 V, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 35 kV, 110 kV, 220 kV, 330 kV, 500 kV, 750 kV。

### 2. 发电机的额定电压

发电机额定电压高于用电设备和电力网额定电压 5% 左右。因为线路在输送电流时会产生电压损失，以此来补偿这种电压损失。

### 3. 电力变压器的额定电压

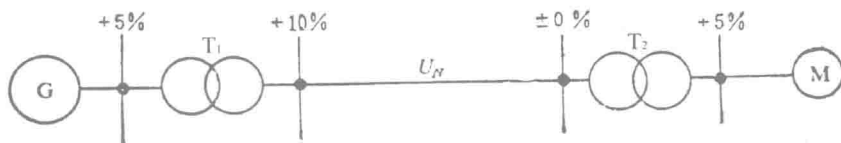


图 1-2 电力变压器的额定电压

#### (1) 一次线圈的额定电压

当变压器直接与发电机相连时，如图 1-2 中的变压器  $T_1$ ，其一次线圈额定电压应与发电机额定电压相同，即高于同级电网电压 5%。当变压器不与发电机相连，而是连接在电路上时，如图 1-2 中的变压器  $T_2$ ，其一次线圈额定电压应与电网额定电压相同。

#### (2) 二次线圈的额定电压

变压器二次线圈的额定电压，是指二次线圈的开路电压，即空载电压。当变压器满载时，二次线圈内有约 5% 的阻抗电压降。如果变压器二次侧供电线路较长（如为较大的高压电网）时，变压器二次侧额定电压既要考虑补偿变压器满载时内部 5% 的电压降，另一方面要考虑变压器满载输出的二次电压还要高于电网额定电压 5%，以补偿线路上的电压降，因此它要比电网额定电压高 10%，如图 1-2 中变压器  $T_1$ 。如果变压器二次侧供电线路不太长（如为低压电网，或直接供电给高低压用电设备）时，则变压器二次线圈的额定电压只需高于电网额定电压 5%，以补偿变压器内部 5% 的电压降，如图 1-2 中的变压器  $T_2$ 。

### 4. 用电设备的额定电压

电器设备运行时，供电线路上会产生电压降，所以线路上各点的电压都略有不同。然而，电器设备只能按其使用处的网络额定电压制造，因此，用电设备的额定电压应与同级电网的额定电压相同。

## 二、供电质量

由电压瞬时值的表达式

$$u = \sqrt{2}U \sin(\omega t + \alpha) \quad (1-1)$$

可知，供电质量包括三个因素：电压、频率和波形。

## 1. 电压

我国水电部《全国供用电规则》规定电压的变动幅度，在用户受电端应不超过：

35 kV 及 35 kV 以上供电的，和对电压质量有特殊要求的用户为 $\pm 5\%U_e$ ；

10 kV 及 10 kV 以下供电的，和低压电力用户为 $\pm 7\%U_e$ ；

低压照明用户为 $+5\% \sim -10\% U_e$ 。

电压质量的好坏，表现为电压的偏移和电压的波动。

### (1) 电压偏移

用电设备的电压偏离网络的额定电压，偏离的幅度称为电压偏移。电压偏移会造成不良影响。

#### ①对感应电动机的影响

感应电动机的转矩与电压的平方成正比。当电压下降 10% 时，转矩则减少约 20%，负荷电流将增大，温升升高，加速绝缘老化，缩短电机的寿命。而且，转矩减小，转速下降，将降低生产效率，减少产量，增加废品和次品。当然，电压偏高时，负荷电流和温升一般也要增加，绝缘也会受损，但不如电压偏低时的影响大。

#### ②对同步电动机的影响

同步电动机的端电压偏高或偏低时，转矩也按电压平方成正比变化。除了不会影响其转速外，其他如对转矩、电流和温升等的影响，与感应电动机相同。

#### ③对电光源的影响

电压偏移对白炽灯的影响最为显著。当白炽灯的端电压降低 10% 时，灯泡的使用寿命将延长 2~3 倍，但发光效率下降 30% 以上，灯光明显变暗，严重影响人的视力健康，降低工作效率，并可能导致发生事故。若电压升高 10%，发光效率将提高 1/3，但其使用寿命会极大缩短，为原来的 1/3。电压偏移对荧光灯等气体放电灯也有影响，电压偏低时，灯管不易起燃，若多次反复起燃，则灯管寿命明显缩短，照度下降；电压偏高，寿命也会缩短。

### (2) 电压波动

电压波动是电网电压短时快速的变动。电压波动是由于负荷急剧变动引起的。负荷急剧变动，引起网络电压损耗相应变动，因而造成电气设备端电压波动。例如电动机起动，特别是满载起动，电焊机工作，大型电弧炉和大型轧钢机等冲击性负荷的工作，都会引起电网电压波动。

电压波动会影响电动机的正常起动，甚至使电动机无法起动；对同步电动机还可能引起转子振动；可使某些电子设备特别是电子计算机无法正常工作；可使照明灯产生明显的闪烁，如果闪烁过快和过强，将使人们无法正常生活和工作。

## 2. 频率

水电部《全国供用电规则》规定电力网供电频率的允许偏差应不超过：对于容量在  $3 \times 10^6$  kW 以上的电力网为 $\pm 0.2$  Hz；对容量不足  $3 \times 10^6$  kW 的各级电力网为 $\pm 0.5$  Hz。

我国工业用电的频率标准为 50 Hz。而在工厂的某些方面采用较高的频率，以减轻工具重量、提高生产效率和加热零件。如某些大型流水作业的装配车间采用 175~180 Hz 的

高频工具,某些机床采用 400 Hz 的电机以提高切削速度,锻压、热处理及熔炼利用高频加热等。

电网频率降低,所有用户的交流电动机转速都将下降,因而许多工厂的产量和质量都将受到影响。例如频率降至 48 Hz 时,电动机转速降低 4%,冶金、化工、机械、纺织和造纸等工业的产量将相应降低,质量也受到影响,如纺织品断线、纸张厚薄不均、印刷品色泽深浅不规律,计算机产生误计算、误打印和信号误表示等。

### 3. 波形

电网电压的波形应该为正弦波。发电机产生的电压为正弦波。由于电力系统中存在着许多谐波源,高次谐波造成正弦波形畸变,严重影响电能质量。

水电部《电力系统谐波管理暂行规定》规定了电网电压正弦波形畸变率的极限值,用户注入电网的谐波电流允许值以及单台变流设备和交流调压装置接入电网的允许容量等,并提出了谐波管理的措施。

非线性元件即是谐波源。例如荧光灯、高压汞灯等气体放电灯、交流电动机、电焊机、变压器和感应电炉等,特别是大型晶闸管变流设备和大型电弧炉所产生的谐波电流,是电力系统最主要的谐波干扰因素。

高次谐波电流通过变压器,可明显地增加其铁心损耗,使变压器过热,缩短使用寿命。高次谐波电流通过交流电动机,也会显著增加铁心损耗,还会引起转子振动,严重影响机械加工的产品质量。高次谐波对电容器的影响更大。由于电容器对高次谐波的阻抗很小,所以高次谐波电压易使电容器因过负荷而损坏。高次谐波电流使电力线路的电能损耗增加,使电力系统发生电压谐振,从而在线路上引起过电压,有可能击穿线路设备的绝缘。高次谐波还可能使系统的继电保护和自动装置发生误动作,并可对附近的通信设备和线路产生信号干扰。

## 第四节 电力系统中性点的运行方式

在三相交流电力系统中,作为供电电源的发电机和变压器,其中性点有 3 种运行方式:中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点直接接地。前两种方式称为小接地电流系统,后一种方式又称为大接地电流系统。

电源中性点的运行方式,对电力系统的运行,特别是发生单相接地时有明显的影响,而且影响电力系统二次侧保护装置及监察测量系统的选择和运行。

### 一、电源中性点不接地的电力系统

图 1-3 是电源中性点不接地的电力系统在正常运行时的电路图和相量图。

两个导体隔以绝缘介质,就形成电容。在电力系统中,输电导线是很长的导体,大地也是导体,两者之间以空气绝缘形成电容,三相线路相与相之间也存在着电容。可以把分布电容用集中参数电容  $C$  来表示(相间电容对所讨论的问题无影响故略去)。

系统正常运行时,三相相电压  $U_A$ 、 $U_B$ 、 $U_C$  对称,三相对地电容电流  $I_{CO}$  也对称。因此,三相电容电流的相量和为零,没有电流在地中流动。每相对地电压就等于相电压。

$$I_C = I_{C0} \cdot A = I_{C0} \cdot B = I_{C0} \cdot C = U_A / X_C = U_B / X_C = U_C / X_C \quad (1-2)$$

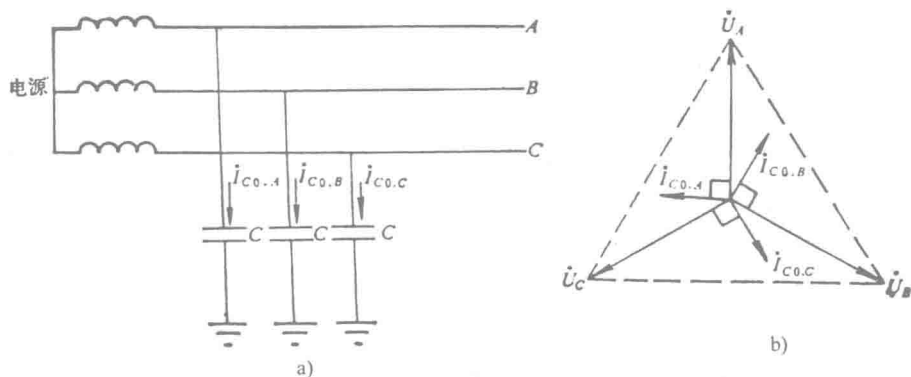


图 1-3 正常运行时的电源中性点不接地的电力系统

系统发生一相接地时，例如 C 相接地，如图 1-4 所示。

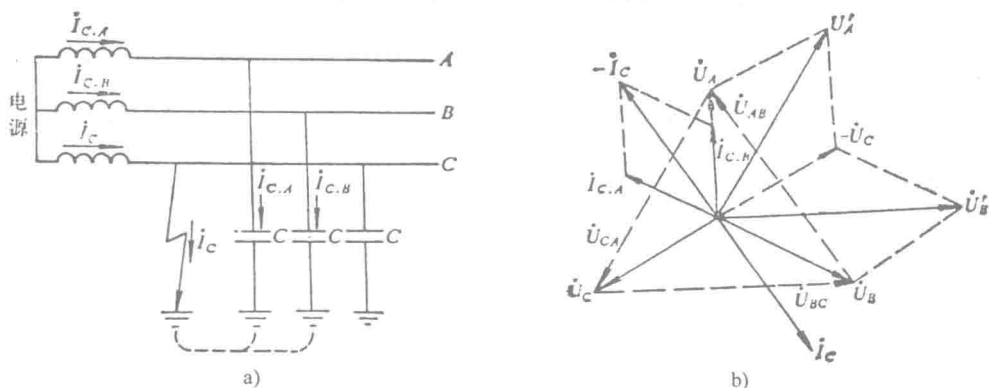


图 1-4 一相接地时的电源中性点不接地的电力系统

这时 C 相对地电压为零，A 相对地电压为  $\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_C = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$ ，B 相对地电压  $\dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_C = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$ ，如图 1-4 b) 的相量图所示。即 A、B 两相对地电压都由相电压升高为线电压。

C 相接地时，系统的接地电流  $I_C$  应为 A、B 两相对地电容电流之和：

$$I_C = -(I_{C.A} + I_{C.B})$$

由相量图图 1-4 b) 可见， $I_C$  超前  $\dot{U}_C$   $90^\circ$ ， $I_C = \sqrt{3} I_{C.A}$ ，而  $I_{C.A} = U'_A / X_C = \sqrt{3} U_A / X_C$ ，因此

$$I_C = 3 I_{C0} \quad (1-3)$$

即一相接地时的电容电流为正常运行时每相对地电容电流的 3 倍。

线路对地电容 C 一般不容易确定，因此  $I_{C0}$ 、 $I_C$  也不便计算，可采用经验公式计算单

相接地电容电流 (A):

$$I_C = U_N (l_k + 35 l_L) / 350 \quad (1-4)$$

式中:  $l_k$ ——同一电压  $U_N$  的具有电的联系的架空线路总长度 (km);

$l_L$ ——同一电压  $U_N$  的具有电的联系的电缆线路总长度 (km);

$U_N$ ——系统的额定电压 (kV)。

当发生一相接地时, 对于电源中性点不接地的电力系统, 其线电压均未变化, 因此, 三相用电设备仍可正常运行。但不允许长期这样运行, 因为, 如果另一相也发生接地故障, 就形成两相接地短路, 这将损坏线路和设备。因此, 在电源中性点不接地的系统中, 应装设专门的单相接地保护或绝缘监察装置, 在发生一相接地时, 给予报警信号, 以提醒值班人员注意, 及时处理。

我国规程规定: 电源中性点不接地的电力系统发生一相接地故障时, 允许暂时继续运行 2 h, 若在 2 h 内未予修复, 就应将负荷转移到备用线路上或切除此故障线路。

电源中性点不接地的电力系统, 有一种情况比较危险。若一相接地时, 接地电流较大, 将出现断续电弧。线路中存在的电阻、电感和电容, 因此可形成串联谐振, 使线路出现过电压 (可达相电压的 2.5~3 倍), 导致线路上绝缘薄弱点的击穿。为防止断续电弧的出现, 在 3~10 kV 电网中接地电流大于 30 A, 20 kV 及以上电网中接地电流大于 10 A 时, 电源中性点必须采取经消弧线圈接地的运行方式。

## 二、电源中性点经消弧线圈接地的电力系统

图 1-5 是电源中性点经消弧线圈接地的电力系统在一相接地时的电路图和相量图。

消弧线圈为一个铁心线圈, 近似为纯电感元件。

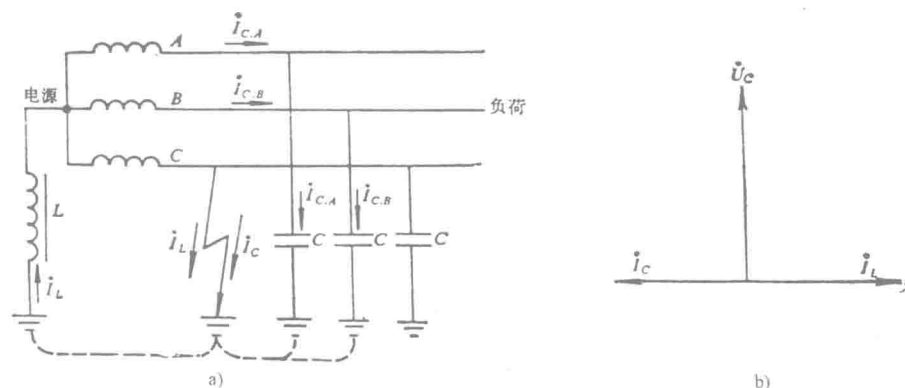


图 1-5 电源中性点经消弧线圈接地的电力系统

当 C 相接地时, 流过接地点的电流是接地电容电流  $I_C$  与流过消弧线圈的电流  $I_L$  之和。 $I_C$  超前  $U_C$  90°,  $I_L$  滞后  $U_C$  90°, 所以  $I_C$  与  $I_L$  互相抵消。当  $I_C$  与  $I_L$  合成电流值小于发生电弧的最小电流——最小生弧电流时, 电弧就不会发生, 也就不会出现谐振过电压。

和中性点不接地的系统一样, 当一相接地时, 线电压未变化, 三相负荷可继续运行, 但应在 2 h 内消除故障, 各相对地电压升高为线电压。

### 三、电源中性点直接接地的电力系统

图 1-6 为电源中性点直接接地的电力系统 C 相接地时的情形。

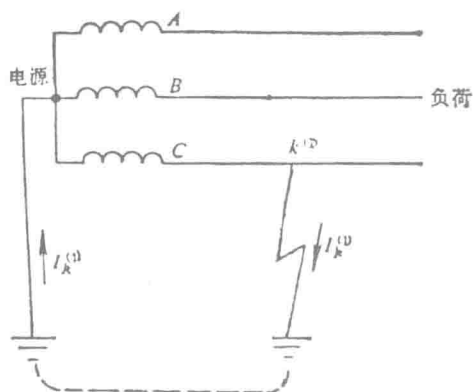


图 1-6 电源中性点直接接地的电力系统

当一相接地时即形成单相短路，短路电流将使线路熔断器熔断或自动开关跳闸，把故障点从网络上切除，因而故障线路的设备停止运行。

电源中性点直接接地的系统在一相接地时，其他两相对地电压不会升高为线电压。这有两方面的意义：一是它的经济性。对于 110 kV 及以上的超高压系统，高压电器特别是超高压电器的绝缘问题是其设计和制造的关键问题。由于线路对地电压始终为相电压，因此也就降低了对电器绝缘的要求，降低了电器的造价，同时也改善了高压电器的性能。

二是它的安全性。对于直接连接设备的 220/380 V 低压配电系统，采用这种中性点运行方式，可减轻对人身安全的威胁。因此，110 kV 及以上超高压系统和 220/380 V 低压配电系统，一般采取电源中性点直接接地的运行方式。而对于 3~63 kV 高压系统，大多采取电源中性点不接地或经消弧线圈接地的运行方式。

## 第五节 港口供电设计及其方案比较

工业企业供电设计是新建企业整体设计的重要组成部分。供电设计的质量直接影响企业的生产及其发展。工业供电设计必须遵循有关国家标准，执行国家的技术经济政策，做到保障人身和设备安全，供电可靠，电能质量合格，技术先进和经济合理。应根据企业特点、规模和发展规划，正确处理近期建设和远期发展的关系，做到远、近期结合，以近期为主，并考虑扩建的可能。应注意执行节约能源、节约有色金属等技术政策。总之，供电设计的指导思想应该是在保证供电可靠的条件下，以最经济而简单的方式进行分配并充分利用电能。

### 一、工业供电设计的程序

工业供电设计通常分为扩大初步设计和施工图设计两个阶段。

#### 1. 扩大初步设计

扩大初步设计是根据设计任务书的要求，进行负荷的统计计算，确定工业企业的需电容量，选择企业供电系统的原则性方案及主要设备，提出主要设备材料清单，并做出工程概算，报上级主管部门审批。因此，扩大初步设计资料应包括设计说明书和工程概算两部分。

为了进行扩大初步设计，在设计前必须收集以下资料：

(1) 工业企业的总平面图，各车间（建筑）的土建平、剖面图。

(2) 工艺、给水、排水、通风、取暖及动力等工种的用电设备平面布置图及主要的剖面图,并附有相关的技术数据。

(3) 用电负荷对供电可靠性的要求及工艺允许停电的时间。

(4) 企业的年产量或年产值与年最大负荷利用小时数,用以估算企业的年用电量和最高需电量。

(5) 向当地供电部门收集下列资料:①可供的电源容量和备用电源容量;②供电电源的电压,供电方式(架空线还是电缆,专用线还是公用线),供电电源线路的回路数、导线型号规格、长度以及进入企业的方向及具体位置;③电力系统的短路数据或供电电源线路首端的开关断流容量;④供电电源线路首端的继电保护方式及动作电流和动作时限的整定值,电力系统对企业进线端继电保护方式及动作时限配合的要求;⑤供电部门对企业电能计量方式的要求及电费计收办法;⑥对企业功率因数的要求;⑦电源线路企业外部分设计与施工的分工及企业应负担的投资费用等。

(6) 向当地气象、地质及建筑安装部门收集下列资料:①当地气温数据,如年最高温度、最高年平均温度、最热月平均最高温度、最热月平均温度以及当地最热月地面下约1m处的土壤平均温度等,以供选择电器和导体之用;②当地海拔高度、极端最高温度与最低温度等,这也是电器选择所需的资料;③当地年雷暴日数,供设计防雷装置用;④当地土壤性质或土壤电阻率,供设计接地装置用;⑤当地常年主导风向、地下水位及最高洪水位等,供选择变配电所所址用;⑥当地曾经出现过或可能出现的最高地震烈度,供考虑防震措施用;⑦当地电气工程的技术经济指标及电气设备和材料的生产供应情况等,供编制投资概算用。

当然,在向当地供电部门收集必要的资料时,也应向当地供电部门提供一定的资料,如企业的生产规模、负荷的性质、需电容量及供电要求等,最终与供电部门达成供用电协议。

## 2. 施工设计

施工设计是在扩大初步设计经上级主管部门批准后,为满足安装施工要求而进行的技术设计,重点是绘制安装施工图。施工设计须对初步设计的原则性方案进行全面的经济技术分析,进行必要的计算、修订,以使设计方案更加完善、精确,有助于安装施工图的绘制。安装施工图应尽量采用国家规定的标准图纸。

施工设计资料应包括施工说明书,各项工程的平、剖面图,各种设备的安装图,各种非标准件的安装图,设备与材料明细表以及工程预算等。

## 二、工业供电设计的内容

工业企业供电设计包括变配电站设计、配电线路设计和电气照明设计等。

### 1. 变配电站设计

企业总降压变电站和车间变电站的设计内容是基本相同的。配电站没有变压器,其余部分的设计内容与变电站基本相同。设计内容应包括:变(配)电站负荷计算、无功功率的补偿、站址的选择、变电站主变压器台数、容量和形式的确定、变(配)电站主接线方案的选择、进出线的选择、短路计算和开关设备的选择、二次回路方案的确定及继电保护

的选择与整定、防雷保护与接地装置的设计以及站内电气照明设计等。还要编制设计说明书、设备材料清单及工程概算,绘制主电路图、平剖面图、二次回路图及其他施工图纸。

## 2. 配电线路设计

配电线路设计分为厂区配电线路设计和车间配电线路设计。

厂区配电线路设计,包括厂区高压供配电线路设计及车间外部低压配电线路的设计,其内容有:配电线路路径及线路结构形式(架空线路还是电缆线路)的确定,线路的导线或电缆及其配电设备和保护设备的选择,架空线路杆位的确定,标准电杆、绝缘子和金具的选择,架空线路的防雷保护及接地装置的设计等。

车间配电线路设计的内容有:车间配电线路布线方案的确定,线路导线及其配电设备和保护设备的选择等。

这些设计,都需要编制设计说明书、设备材料清单及工程概算,绘制厂区和车间配电线路系统图和平面图、电杆总装图及其他施工图纸。

## 3. 电气照明设计

电气照明设计包括厂区室外和车间内的照明系统设计,设计内容有:照明光源和灯具的选择,灯具布置方案的确定和照度计算,照明线路导线的选择,保护与控制设备的选择等。同样也要编制设计说明书、设备材料清单及工程概算,绘制照明系统图和平面图及其他施工图纸。

## 三、供电设计方案的技术经济比较

在供电设计中某些重要工程项目可能有几种方案,必要时应进行技术经济比较,选出最合理的方案。

通常需要进行技术经济比较的工程项目有:电源系统方案、变电站位置方案、变压器容量及台数方案、变电站主接线及布置方案、电压等级及厂区供电系统方案、车间供电方案和企业照明系统供电方案等。

供电设计方案的技术经济比较,原则上包括下列3方面内容,对不同的工程项目可依据具体情况参考进行。

### 1. 技术比较的内容

- (1) 供电的可靠性;
- (2) 电能的品质;
- (3) 运行、调度、操作、管理、维护和检修等条件;
- (4) 变电站、线路通道等占地情况;
- (5) 施工条件及建设进度;
- (6) 扩建和发展的有利及不利条件;
- (7) 其他。

### 2. 经济比较的内容

(1) 基建投资。基建投资即开始建设时一次付出的资金 $Z$ (包括电气、土建等主要投资,并应考虑其他部分或其他专业由于方案不同而引起供电设计部分的附加费用等)。

(2) 年运行费。年运行费按下式计算: