

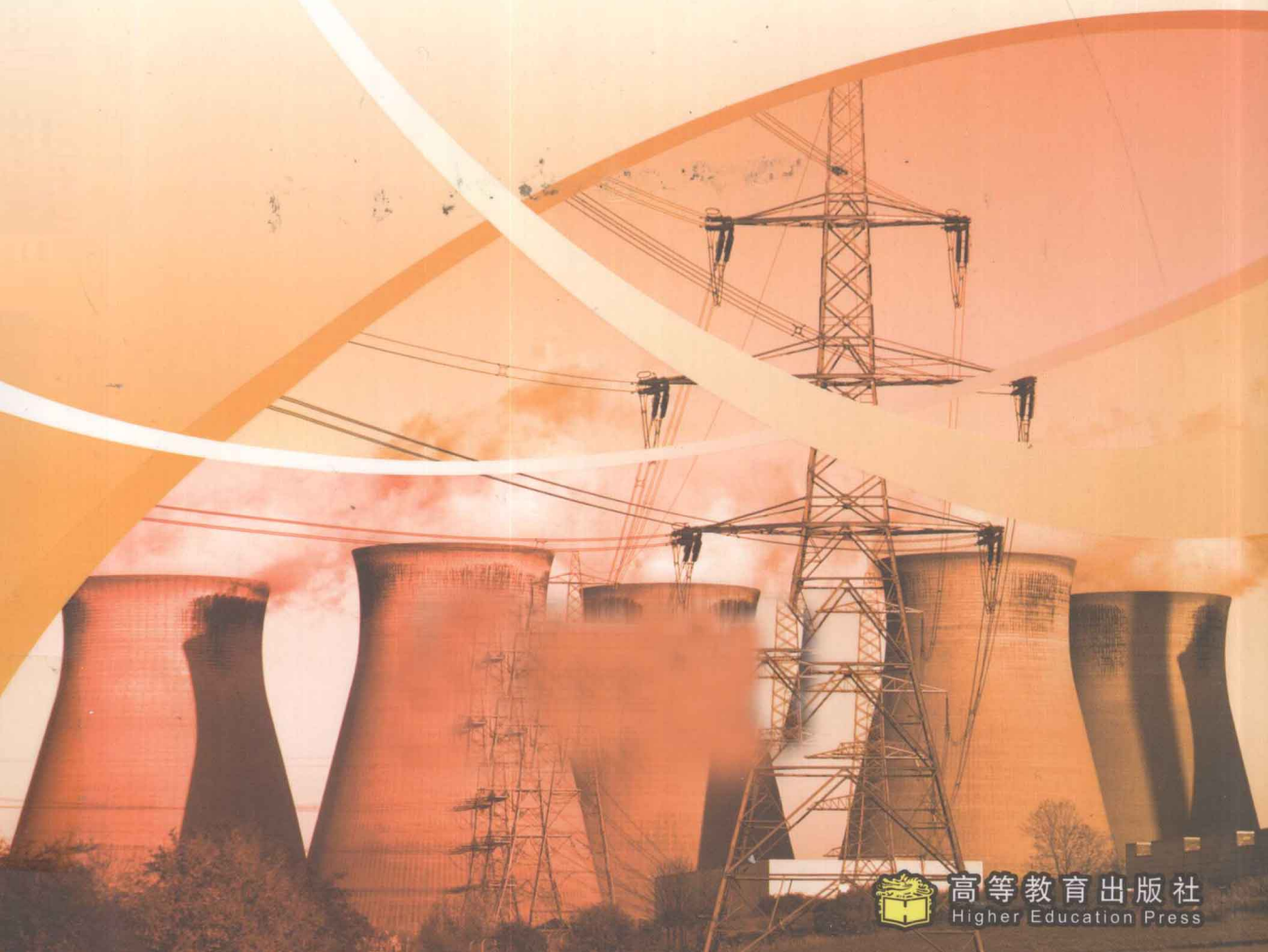


普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

工厂供电技术

(第3版)

陈小虎 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
(高职高专教育)

工厂供电技术

Gongchang Gongdian Jishu

(第3版)

陈小虎 主 编
陈 跃 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材(高职高专教育)。全书共9章。首先简要介绍电力系统、工厂供电系统的基本概念和知识,接着系统论述工厂电力负荷计算、工业企业供电网络的结构与接线方式,详细介绍工业企业中广泛使用的电气设备及其选择和校验方法,深入讲述短路电流计算的方法、供电系统的继电保护装置及触电保护的内容。另外,本书还介绍代表工厂供电技术发展新趋势的变电所综合自动化技术。最后讨论供电系统的电压质量和电气照明。每章后还附有习题,以便于学生复习巩固。

本书适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校以及民办高校的电气自动化技术、机电一体化技术等专业,并可作为其他层次院校师生及相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工厂供电技术/陈小虎主编. —3版. —北京:高等教育出版社, 2010.5

ISBN 978-7-04-029087-5

I. ①工… II. ①陈… III. ①工厂-供电-高等学校: 技术学校-教材 IV. ①TM727.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第048637号

策划编辑 孙 薇 责任编辑 唐笑慧 封面设计 张志奇 责任绘图 尹文军
版式设计 王艳红 责任校对 杨凤玲 责任印制 光 静

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 18.75

字 数 450 000

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landraco.com>

<http://www.landraco.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2001年12月第1版

2010年5月第3版

印 次 2010年12月第2次印刷

定 价 29.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29087-00

前 言

本书力求紧跟工厂供电技术发展水平及对人才培养的要求，在介绍工厂供电的设计、运行和维护方法中，较好地解决理论的系统性与工程的应用性之间的关系，根据高职高专教育的要求及教学的特点，本书在内容的选材上，通过精简和理顺理论分析和推导，以“必需、够用”为原则，使理论和实际工程有机结合，突出工程应用，培养学生分析问题和解决工程实际问题的能力。另外在每章后附有习题，书中的表收集新设备及技术参数，以供设计练习选用。

本书还介绍工厂供电技术中应用的新设备、新技术和新的设计理念，介绍变电所综合自动化、微机保护、智能电表和触电保护装置等内容。本书内容层次清晰，易于理解和掌握。

全书由南京工程学院陈小虎主编，南京工程学院陈跃参与编写工作并担任副主编，南京师范大学居荣参与部分章节的编写工作。

本书在编修过程中，力求契合高职高专的教育特点和当代工厂供电技术的发展，但由于工厂供电技术涉及面广，编者能力有限，错漏之处难免，敬请使用本书的教师、学生和读者批评指正。

编 者

2010年3月

目 录

第 1 章 绪论	1	4.5 高压负荷开关	126
1.1 电力系统的基本概念	1	4.6 隔离开关	128
1.2 衡量供电质量的主要指标	6	4.7 绝缘子、母线及电缆	130
1.3 电力系统的中性点运行方式	7	4.8 低压电器	133
1.4 供电设计的主要内容	10	4.9 成套配电装置	138
习题	11	习题	148
第 2 章 负荷计算	12	第 5 章 短路电流计算及电气	
2.1 计算及计算目的	12	设备的选择与校验	149
2.2 确定计算负荷的系数	15	5.1 概述	149
2.3 求计算负荷的方法	22	5.2 无限大容量电源系统供电时短路	
2.4 工厂供电系统功率因数的确定	34	过程的分析	151
2.5 供电系统功率因数的改善及电能节约	36	5.3 无限大容量电源条件下短路电流的	
习题	41	计算方法	154
第 3 章 供电系统	42	5.4 有限容量电源系统的三相短路电流	
3.1 概述	42	计算方法	160
3.2 电压的选择	43	5.5 低压电网中短路电流的计算	169
3.3 变电所的设置和变压器的选择	45	5.6 不对称短路电流的计算方法	173
3.4 变电所的电气主结线	48	5.7 电动机对短路电流的影响	182
3.5 变电所的二次接线	51	5.8 短路电流的热效应与力效应	183
3.6 高压配电网的接线方式	58	5.9 供电系统中电气设备的选择与校验	186
3.7 低压配电系统	63	习题	211
3.8 高低压配电网的结构和导线截面的		第 6 章 供电系统的保护	212
选择	66	6.1 继电保护装置的概念	212
3.9 环网供电单元	77	6.2 操作电源	214
3.10 供电系统的方案比较	82	6.3 供电系统单端供电网络的保护	217
习题	84	6.4 变压器的保护	225
第 4 章 变配电实用技术	86	6.5 高压电动机的过电流保护	230
4.1 电力变压器	86	6.6 低压配电系统的保护	233
4.2 电流互感器和电压互感器	105	6.7 供电系统备用电源自动投入与	
4.3 高压断路器	116	自动重合闸装置	236
4.4 高压熔断器	123	6.8 供电系统的防雷与接地	240
		6.9 漏电保护	248

习题	251	8.4 供电系统的三相不平衡	271
第7章 供电系统变电所的综合		习题	272
自动化	253	第9章 电气照明	273
7.1 概述	253	9.1 概述	273
7.2 变电所综合自动化系统的基本功能	254	9.2 合理选择电光源	276
7.3 供电系统的微机保护	256	9.3 灯具的选择与布置	279
7.4 全电子式电度表	259	9.4 照度计算	281
习题	260	9.5 室外照明	287
第8章 供电系统的电压质量	261	9.6 照明配电	287
8.1 电压偏差及调节	261	习题	289
8.2 电压波动和闪变及其抑制	265	参考文献	290
8.3 高次谐波及其抑制	269		

第1章 绪 论

1.1 电力系统的基本概念

现代人类工作和生活的各个方面，都广泛使用着电能。因为电能易于转换成其他形式的能量，在使用、输送和分配上，清洁而方便，且便于控制。

我国电力工业是伴随着新中国的成长而逐步发展壮大的，特别是改革开放以来，供电质量不断提升，电力结构不断优化，电力工业装备和技术水平已跻身世界大国行列。2008年，我国装机容量已达7.93亿千瓦，发电量达到3.43万亿度，居世界第2位。电力的大发展，缓解了持续多年的电力供应紧张的状况，但是，与发达国家相比，我们在设备制造、运行管理和检修维护等方面还存在较大的差距。如何使企业用电既安全又经济，是我们面临的一项长期任务。

1.1.1 发电厂与电力系统简介

发电一般在发电厂中进行。电能是经过人们加工而取得的二次能源。用于发电的一次能源主要有：石油、煤炭、天然气、水力、风力和核能等。应用这些能源发电的电厂分别称为火电厂、水电厂、风力发电场、核电站。此外，还有太阳能电站、潮汐发电站和地热发电厂等。

为了节省燃料运输费用，许多火电厂建在煤炭、石油和天然气的产地，水电厂则坐落于水流落差大的河段，而用电的负荷集中在城市和工业中心等地。因此，发电厂和用电负荷中心往往相距几十、几百甚至数千千米，这就需要用电力线路作为输送电能的通道。将发电厂的电能送到负荷中心的线路称为输电线路，将负荷中心的电能送到各用户的线路称为配电线路。负荷中心一般设有变电所或配电所，用于升高电压的称为升压变电所，用于降低电压的称为降压变电所。电压的升高或降低可通过变压器来完成。

由发电厂中的电气部分和各类变电所及输电、配电线路及各种类型的用电设备组成的统一体称为电力系统，它完成电能的生产、输送、分配和使用(如图1.1.1所示)。现在，电力系统在我国分为地区级、省级、省际级系统几类，在不久的将来，我国将形成一个联合的电力系统。

电力系统加上各种类型电厂中的动力部分，包括热力部分、水力部分、核堆部分等，合称为动力系统。

电力系统中各种电压等级的变电所及其连接的电力线路，称为电力网，简称电网。电网的任务是输送与分配电能，并根据运行的需要调整电压。图1.1.1所示为电力系统和电网的示意图。电网按电压高低和供电范围大小可分为区域电网和地方电网。一般来讲，电压为110 kV以下的电网，电压较低，输送功率小，传输距离短，主要供电给地方负荷，称为地方网；电压在110 kV及以上的电力网，电压较高，输送功率大，传输距离长，主要供电给大型区域性变

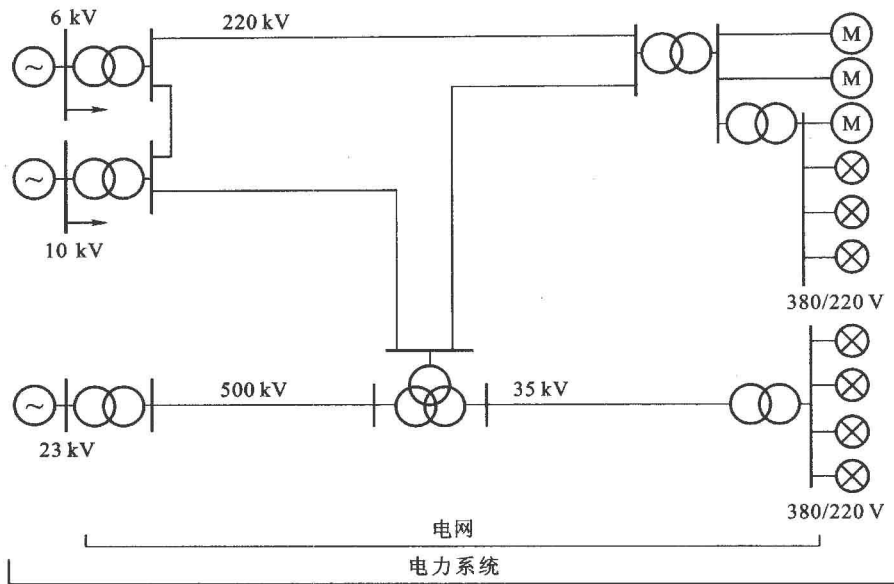


图 1.1.1 电力系统和电网示意图

电所，称为区域网。

随着国民经济的不断发展，人们对供电的需求不断提高，甚至电压为 220 kV 的电网将变成地方网。根据供电地区的不同，地方电网也可分为城市电网（简称“城网”）和农电网（简称“农网”）。电网按接线方式分为一端电源供电的电网（又称为开式网）；两端电源供电的电网及多端电源供电的电网三类（后两类又称为闭式网）。

世界各国都在不断扩大电力系统，逐步将小系统联合成大系统，这是因为联合电力系统在技术和经济上有下述几方面明显的优越性：

- ① 提高了供电的可靠性。
- ② 提高了电能的质量。
- ③ 可以减少系统备用容量，提高了设备利用率。
- ④ 便于采用大容量机组，一般机组容量越大技术经济性能越好。
- ⑤ 可以合理利用动力资源，提高系统运行的经济性。

1.1.2 电力系统运行的特点

电力系统运行的特点主要有以下几个方面：

1. 电能生产、输送和使用的连续性

电能不能大量、廉价地储存，发、变、输、配及用电是在同一瞬间进行的，其中某一环节出现故障，都会影响电力系统的运行。因此，应该努力提高系统各环节元件的可靠性，使其能够安全、经济、连续地运行，以保证对用户不间断地供电。

2. 与生产及人们的生活密切相关

电力工业与国民经济、人们生活的关系极其密切，电能供应不足或中断，将直接影响经济

发展和人们的正常生活，对某些用户甚至会造成产品报废、设备损坏以及危及人身安全等严重后果。这就要求电力的发展要满足国民经济各部门日益增长的需要，并不断提高供电的可靠性与电能质量，将事故及不正常运行降低到最低限度。

3. 暂态过程非常短暂

电力系统由于运行方式的改变而引起的电磁、机电暂态过程是非常短暂的。所以，电力系统运行必须采取自动化程度高、又能迅速而准确动作的继电保护及自动装置和监测控制设备。

电网结构的合理与否对安全、可靠供电的影响是很大的。供电部门对电源接入、受端系统、输电线路等均应有全面的考虑与规划。工厂如何从电力系统取得电源(接入地点、接线方式、运行方式、自动装置装设等)均应与供电部门协商，统筹考虑，合理解决。

1.1.3 电力系统的额定电压

1. 额定电压的意义

为了使电力设备的生产实现标准化、系列化，为了各元件合理配套，电力系统中发电机、变压器、电力线路及各种设备等，都是按规定的额定电压进行设计并制造的，电力设备在额定电压下运行，其技术与经济性能最佳。

额定电压等级的确定，与电源分布、负荷中心的位置、国家经济及科学技术的发展水平以及电力设备的制造水平等因素有关，应该经过充分的分析论证，由国家主管部门确定。

2. 电网和电力设备的额定电压

我国现阶段各种电力设备的额定电压分为三类。

第一类额定电压为 100 V 以下(见表 1.1.1)，这类电压主要用于安全照明、蓄电池及开关设备的操作电源。交流 36 V 电压，只作为潮湿环境的局部照明及其他特殊电力负荷之用。

表 1.1.1 第一类额定电压(V)

直 流	交 流		直 流	交 流	
	三 相	单 相		三 相	单 相
6	—	—	—	36	36
12	—	12	48	—	—
24	—	—			

第二类额定电压高于 100 V，低于 1 000 V(见表 1.1.2)，这类电压主要用于低压三相电动机及照明设备。

表 1.1.2 第二类额定电压(V)

受 电 设 备			发 电 机		变 压 器			
直 流	三 相 交 流		直 流	三 相 交 流	三 相		单 相	
	线电压	相电压			一 次 绕 组		二 次 绕 组	
110	—	—	115	—	—	—	—	—
220	220	127	230	230	220	230	220	230
—	380	220	400	400	380	400	380	—

第三类额定电压高于 1 000 V(见表 1.1.3)，这类电压主要用于发电机、变压器、输配电线路及受电设备。

表 1.1.3 第三类额定电压(kV)

受电设备	线路平均额定电压	交流发电机	变 压 器	
			一次绕组	二次绕组
3	3.15	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
—	—	13.8	13.8	—
—	—	15.75	15.75	—
—	—	18	18	—
35	37	—	35	38.5
110	115	—	110	121

注：表中所列均为线电压。

(1) 电网(线路)的额定电压

在电力系统内，应尽可能地简化电压等级，减少变电层次，以节约投资与降低运行费用。各级额定电压间的级差不宜太小，根据国内外经验，额定电压在 110 kV 以下的配电网，电压间级差一般应在三倍以上；额定电压在 110 kV 以上的输电网，电压间级差一般应在两倍以上。

输配电线路的额定电压与受电设备的额定电压规定得相同，因为受电设备需要接在线路上，而线路运行时又有电压降落，一般线路首端电压高而末端电压低，如图 1.1.2 所示。负荷变化时，线路中电压降落也随着变化，因而电压分布随线路长度各不相同。要使接于线路各处的受电设备都保持在额定电压下运行是不可能的，只能使加于受电设备的端电压与额定电压尽可能接近。

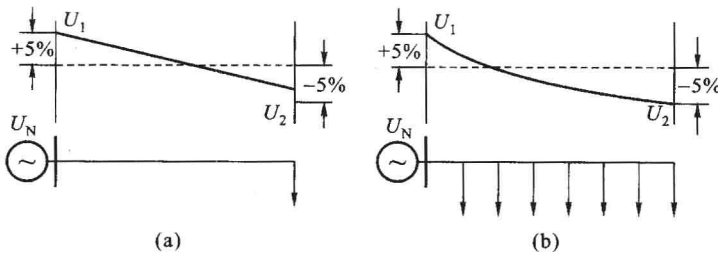


图 1.1.2 电压沿线路长度的分布情况

(a) 集中负荷；(b) 均布负荷

(2) 用电设备的额定电压

用电设备的端电压一般容许在其额定电压 $\pm 5\%$ 以内变化，而线路全长的电压损耗一般应不大于额定电压的 10%，这样，在运行时线路首端电压最好比额定电压高 5%，末端电压才可能不低于额定电压的 5%。所以，一般取线路首末两端电压的平均值等于受电设备的额定电

压, 才能基本满足上述要求。

(3) 发电机的额定电压

发电机是输出电能的设备, 总是接在线路的首端, 所以发电机的额定电压规定比线路额定电压高 5%, 例如, 线路的额定电压为 10 kV 时, 接在线路首端的发电机的额定电压应为 10.5 kV。对于大型发电机, 其额定电压不受线路额定电压等级的限制, 一般按技术经济条件确定。如表 1.1.3 中交流发电机的额定电压有 13.8 kV、15.75 kV、18 kV 等多种。

(4) 电力变压器的额定电压

变压器的额定电压为各绕组的电压值。一次绕组是接受电能的, 若为降压变压器, 则相当于受电设备。因此, 其额定电压等于受电设备的额定电压; 若为升压变压器, 则直接与发电机相连, 其额定电压等于发电机的额定电压。变压器的二次绕组是输出电能的, 相当于发电机, 其额定电压应比线路额定电压提高 5%, 由于变压器二次绕组的额定电压是指空载时的值, 当变压器带负荷运行时, 电流在绕组中产生电压损耗, 为了使二次绕组在带额定负荷时实际输出电压仍高于线路额定电压 5%, 考虑绕组中的电压损耗, 变压器二次绕组额定电压应比同级线路额定电压提高 10%。只有当高压侧电压小于 35 kV 而阻抗小的变压器 ($U_d\% \leq 7.5$)、二次所供线路较短的变压器或者三绕组变压器连接同步调相机的绕组时, 额定电压可只比所连线路的额定电压提高 5%。

[例 1.1.1] 某一电力系统, 接线如图 1.1.3 所示。各线路的额定电压注明于图中, 试确定图中发电机、调相机、变压器高低压侧的额定电压。

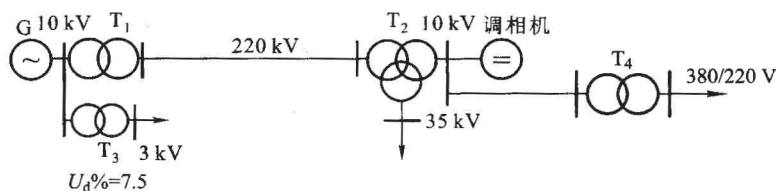


图 1.1.3 例 1.1.1 的图

[解] 发电机 G 的额定电压为 10.5 kV

升压变压器 T_1 : 一次绕组, 直接与发电机连接, 额定电压为 10.5 kV;

二次绕组连接 220 kV 线路, 额定电压为 242 kV。

降压变压器 T_2 : 一次绕组为 220 kV;

二次绕组额定电压为 38.5 kV;

三次绕组接电压等级为 10 kV 的调相机, 额定电压为 10.5 kV。

降压变压器 T_3 : 高压侧电压小于 35 kV, 短路电压 $U_d\% \leq 7.5$, 所以, 二次绕组额定电压为 3.15 kV; 一次绕组接于发电机电压母线, 额定电压为 10.5 kV。

降压变压器 T_4 : 高压侧绕组的额定电压为 10 kV, 低压侧绕组的额定电压为 0.4 kV。

需要指出的是, 额定电压是标明设备或线路技术特性的重要参数, 不是设备运行时外加的实际电压。在近似计算中, 有时要用到线路平均额定电压, 如表 1.1.3 所列。线路平均额定电压为线路两端变压器额定电压的代数平均值。

1.2 衡量供电质量的主要指标

电能同工厂生产的产品一样都是商品，所以都有表征其质量的指标。决定供电质量的主要指标有：电压、频率、波形和供电的连续性。

1.2.1 电压

电压质量对各类用电设备的安全经济运行都有直接的影响。对照明负荷来说，白炽灯对电压的变化是非常敏感的。当电压降低时，白炽灯的发光效率和光通量都急剧下降；当电压上升时，白炽灯的寿命将大为缩短。例如，电压额定值降低 10%，则光通量减少 30%；电压额定值上升 10%，则寿命缩减一半。对电力系统的负荷中大量使用的异步电动机而言，它的运行特性对电压的变化也是较敏感的。当输出功率一定时，异步电动机的定子电流、功率因数和效率随电压而变化。当端电压下降时，定子电流增加很快。这是由于异步电动机的最大转矩是与其端电压的平方成正比的，当电压降低时，电动机转矩将显著减小，以致转差增大，从而使得定子、转子电流都显著增大，导致电动机的温度上升，甚至可能烧毁电动机。反之，当电压过高时，对于电动机、变压器一类具有励磁铁心的电气设备而言，铁心磁密将增大甚至饱和，从而励磁电流与铁损耗都大大增加，以致电动机过热、效率降低、波形变坏，甚至可能产生高频谐振。对电热装置来说，这类设备的功率也与电压的平方成正比，显然过高的电压将损伤设备，过低的电压则达不到所需要的温度。

此外，对电视、广播、电传真、雷达等电子设备来说，它们对电压质量的要求更高。电子设备中的电子管、半导体器件、磁心装置等的特性，对电压都极其敏感，电压过高或过低都将使元器件特性严重改变而影响正常运行。

由于上述各类用户的工作情况均与电压的变化有着极为密切的关系，故在运行中必须规定电压的容许变化范围，即电压的质量标准。

国家标准规定，用户处的容许电压变化范围为：

- ① 35 kV 及以上电压供电电压正负偏差绝对值之和不超过额定电压的 10%。
- ② 10 kV 以下的高压供电的用户和低压电力用户电压允许偏差为 $\pm 7\%$ 。
- ③ 低压照明用户电压允许偏差为 $+7\% \sim -10\%$ 。

由于电网中存在电压损失，为了保证电压质量合乎标准，需要采取一定的调压措施。

1.2.2 频率

频率的偏差同样将严重影响电力用户的正常工作。对电动机来说，频率降低将使电动机的转速下降，从而使生产效率降低，并影响电动机寿命；反之，频率增高将使电动机的转速上升，增加功率消耗，使经济性降低。特别是某些对转速要求较严格的工艺流程（如纺织、造纸等），频率的偏差将大大影响产品质量，甚至产生废品。另外，频率偏差对发电厂本身将造成更为严重的影响。例如，对于锅炉的给水泵和风机之类的离心式机械，当频率降低时其出力将急剧下降，从而迫使锅炉的出力大大减小，甚至紧急停炉，这样就势必进一步减少系统电源的出力，导致系统频率进一步下降。另外，在频率降低的情况下运行时，汽轮机叶片将因振动加

大而产生裂纹，以致缩短汽轮机的寿命。因此，如果系统频率急剧下降的趋势不能及时制止，势必造成恶性循环以致整个系统发生崩溃。

我国的技术标准规定电力系统的额定频率为 50 Hz，电力系统正常频率偏差允许值为 ± 0.2 Hz，当系统容量较小时，偏差值可以放宽到 ± 0.5 Hz。

在交流电力系统中，任一瞬间的频率值全系统是一致的。在稳定运行情况下，频率值决定于所有机组的转速，而机组的转速则主要决定于输出功率与输入功率的平衡情况。所以，要保证频率的偏差不超过规定值，首先应当维持电源与负荷间的有功功率平衡，其次还要采取一定的调频措施，即通过调节使有功功率恢复平衡来维持频率的偏差在规定范围之内。

1.2.3 波形

通常，要求电力系统的供电电压(或电流)的波形应为正弦波。为此，要求发电机首先发出符合标准的正弦波形电压。其次，在电能输送和分配过程中不应使波形产生畸变(例如，当变压器的铁心饱和时，或变压器无三角形接法的线圈时，都可能导致波形畸变)。此外，还应注意负荷中出现的谐波源(如整流装置、电弧炼钢炉等)的影响。

当电源波形不是标准的正弦波时，必然包含着谐波成分，这些谐波成分的出现将导致电动机的过热和效率下降，影响其正常运行，还可能使系统产生高次谐波共振而危及设备的安全运行。此外，谐波成分还将影响电子设备的正常工作并造成对通信线的干扰等不良后果。

通常，保证严格波形的问题在发电机、变压器等的设计制造时已考虑并采取了相应的措施。因此，在运行时应严格遵照有关规程，注意出现的一些谐波源并及时采取措施加以消除，只有这样才能保证波形质量。

1.2.4 供电的持续性(可靠性)

毫无疑问，供电的持续性(可靠性)应当是衡量供电质量的一个重要指标，可将其列在质量指标的首位。一般以全年平均供电时间占全年时间的百分数来衡量供电可靠性的高低。例如，某电力用户全年平均停电 48 h，即停电时间占全年时间的 0.55%，则供电的可靠性为 99.45%。

1.3 电力系统的中性点运行方式

在三相交流电力系统中，作为供电电源的发电机和变压器的三相绕组为星形联结时，其中性点可有三种运行方式：中性点接地、中性点经阻抗(消弧线圈或电阻)接地和中性点不接地。中性点直接接地系统称为大电流接地电力系统。中性点经阻抗(消弧线圈或电阻)接地以及中性点不接地系统称为小电流接地系统。中性点运行方式的选择主要取决于单相接地时电气设备绝缘要求及供电的可靠性。图 1.3.1 中列出了常用的中性点运行方式。图中电容 C 为输电线路对地等效电容。

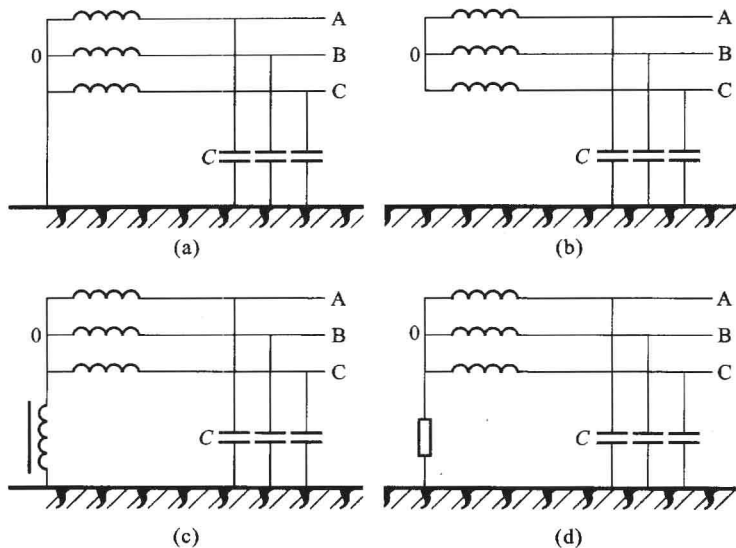


图 1.3.1 电力系统中性点运行方式
 (a) 中性点直接接地；(b) 中性点不接地；
 (c) 中性点经消弧线圈接地；(d) 中性点经电阻接地

1.3.1 中性点直接接地运行方式

图 1.3.2 所示为电源中性点直接接地的电力系统发生单相接地时的电路图。

这种系统的单相接地，当发生一相对地绝缘破坏时，即构成单相短路，用符号 $k^{(1)}$ 表示。由于单相短路电流比正常负荷电流大得多，因此在系统发生单相短路时，保护装置动作，切除短路故障，使得系统其他非故障部分恢复正常运行。该方式运行下，非故障相对地电压不变，电气设备的绝缘水平可按相电压考虑，这对于 110 kV 及以上的超高压系统很有经济技术价值，因为高压电器特别是超高压电器，其绝缘问题是影响电器设计和制造的关键问题，电器绝缘要求的高低，直接影响着电气设备和电网对地绝缘的造价。因此，在我国 110 kV 及以上的电力系统通常采用中性点直接接地的运行方式。在 380/220 V 低压三相四线制供电系统中，由于相线对中性线（零线）的电压为相电压，这样既可用线电压又可用相电压向负荷供电。

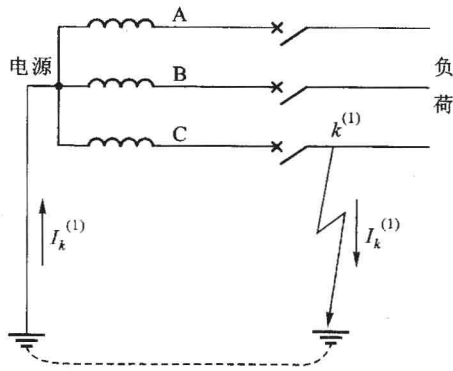


图 1.3.2 中性点直接接地的电力系统
 在发生单相接地时的电路

1.3.2 中性点不接地的电力系统

图 1.3.3 所示是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。

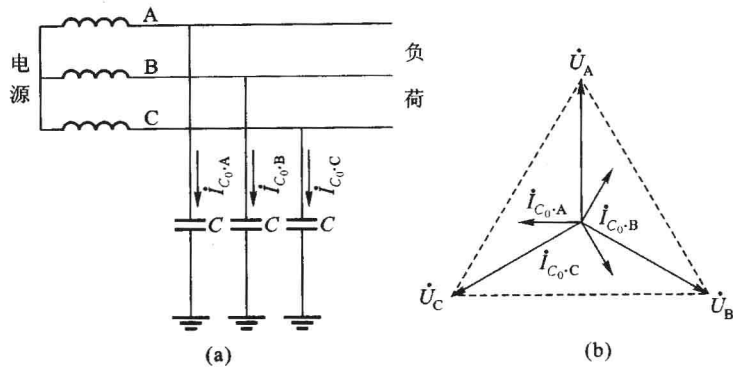


图 1.3.3 正常运行时的中性点不接地的电力系统

(a) 电路图; (b) 相量图

由于各相对地等效电容相同, 三相对地电容电流对称且其和为零, 各相对地电压为相电压。但是当发生单相(如 C 相)接地故障时, 其电路图和相量图如图 1.3.4 所示。

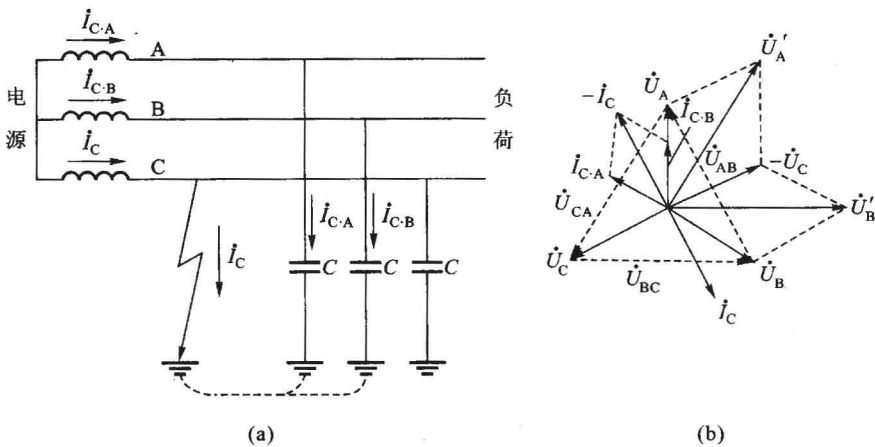


图 1.3.4 单相接地时的中性点不接地的电力系统

(a) 电路图; (b) 相量图

由相量图可知, 这时, C 相对地电压为零, A、B 相对地电压则分别为 $\dot{U}'_A = \dot{U}_A + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{AC}$, $\dot{U}'_B = \dot{U}_B + (-\dot{U}_C) = \dot{U}_{BC}$ 。由相量图可知, C 相接地时, 完好的 A、B 两相对地电压都由原来的相电压上升到线电压, 即上升到原对地电压的 $\sqrt{3}$ 倍。C 相接地时, 系统的接地电流 \dot{I}_C 应为 A、B 两相对地电容电流之和, 即: $\dot{I}_C = -(\dot{I}_{C_0A} + \dot{I}_{C_0B})$ 。因此, $I_C = 3I_{C_0}$ 。由以上分析可知, 当中性点不接地的系统发生单相接地故障时, 线间电压不变, 而非故障相对地电压升高到原来相电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 故障相电容电流增大到原来的 3 倍。

当电源发生不完全接地故障时, 故障相的对地电压值将大于零而小于相电压, 而其他完好相的对地电压值则大于相电压而小于线电压, 接地电容电流也小于 $3I_{C_0}$ 。

必须指出: 当电源中性点不接地的系统发生单相接地时, 三相用电设备的正常工作关系并

未受到影响，因为线电压无论其相位和量值都未发生改变，因此三相设备仍能照常运行。但是，这种线路不允许在单相接地故障情况下长期运行，因为，如果再发生一相接地就形成了两相短路，短路电流很大，因此规定：

单相接地连续运行时间不能超过 2 h(小时)。

若单相接地电容电流超过规定值(6~10 kV 线路为 30 A, 35 kV 线路为 10 A)，会产生稳定电弧致使电网出现暂态过电压，危及电气设备安全，这时应采用中性点经阻抗(消弧线圈或电阻)接地的运行方式。

目前，在我国电力系统中，110 kV 以上高压系统，为降低设备绝缘要求，多采用中性点直接接地运行方式；6~35 kV 中压系统，为提高供电可靠性，首选中性点不接地运行方式，当接地电流不满足要求时，可采用中性点经阻抗(消弧线圈或电阻)接地的运行方式；低于 1 kV 的低压配电系统，考虑到单相负荷的使用，通常均为中性点直接接地的运行方式。

1.4 供电设计的主要内容

工厂供电设计是现代化工厂设计中的重要设计内容之一，因为它要与其他专业设计密切配合，协同完成。

对工厂供电设计的基本要求是：满足国家现行的有关技术经济政策；遵守电力工程设计的各项技术规范；安全可靠、技术先进和经济合理。

新建或扩建工厂的供电设计，一般经过可行性研究报告并附扩大初步设计和施工图设计两大阶段。对于大型工厂，因用电量大，可增加工厂供电采用方案意见书。对于用电量较小的工厂，也可以把两阶段设计并成一个阶段完成。

1.4.1 扩大初步设计阶段

1. 设计目的

根据该厂生产的特点和供电电源情况，通过技术经济比较，确定工厂供配电的最优方案，并列全厂供电设备清单，编制投资预算表报上级审批。

2. 主要设计内容

① 按照工厂运行流程及公用设计所提供的资料，标出主要负荷所在位置，并计算各车间及全厂的计算负荷和年用电量，选择车间变(配)电所的位置及变压器容量和台数。

② 根据全厂负荷的要求和电力系统情况，与供电部门协商确定工厂供电电源的电压及接入方式，并选择总降压变电所(或总配电所)的位置及主变压器的容量和台数。

③ 选择总降压变电所(或总配电所)电气主接线方案。

④ 进行必要的短路电流计算，选择和校验载流导体和主要电气设备。

⑤ 选择主要设备(变压器、线路、高压电动机等)的继电保护及供电系统自动化的方式和接线，并进行整定计算。

⑥ 根据变电所的规模和全厂布局确定变压器和电气设备的布置方案。

⑦ 提出全厂照明系统原则性方案。

⑧ 确定补偿工厂功率因数的方法。

⑨ 确定变电所和工厂建筑物的防雷措施，并进行接地装置设计计算。

⑩ 列出所选设备、材料清单，并编制概算表。

3. 设计成果

扩大初步设计应提交的资料包括：工厂供电设计说明书、投资概算书和必要的附图。

1.4.2 施工设计阶段

1. 设计目的

施工设计是在扩大初步设计经有关部门批准后进行的。施工设计是在扩大初步设计的基础上，完成各单项安装施工图及设备、材料明细表，并编制工程投资预算书和施工说明书。它是安装施工时所必需的技术资料。

2. 设计内容

① 根据新的要求，修正扩大初步设计的基础资料和计算数据。

② 绘制各单项施工图(包括布置、埋件、结构安装三部分)。

③ 编制工程所需设备、材料明细表。

④ 编制工程投资预算书。

3. 设计成果

应包括设计说明书、施工详图和工程投资预算书。

整个设计都应遵守各项电气工程设计规范，符合安全、经济、合理地使用电力的原则。

习 题

1. 动力系统和电力系统指的是什么？试述电力系统的作用。
2. 何谓额定电压？在同一电压等级下各种设备的额定电压并不完全相等，为什么？
3. 为什么变压器二次绕组额定电压比电网额定电压有的高 10%，有的高 5%？
4. 反映供电电能质量的指标是什么？
5. 简述电力系统中性点接地运行方式的类型。
6. 中性点不接地的电力系统在发生单相接地故障时，为什么不允许长期运行？
7. 简述工厂供配电系统设计的主要内容和设计程序。