



普通高等教育“十二五”规划教材

电气工程及其自动化专业

电力系统分析

纪建伟 黄丽华 葛丽娟 孙国凯 主 编
刘伟娜 倪 静 房俊龙 梁春英 王 俊 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

电力系统分析

主 编 纪建伟 黄丽华 葛丽娟 孙国凯
副主编 刘伟娜 倪 静 房俊龙 梁春英 王 俊
编 写 于建东 谢云芳 郭海霞 罗继东 杨 晨 李征明
主 审 栗 然



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。

全书共分十五章，主要包括电力系统的基本概念、电网各元件的参数和等值电路、简单电网的分析与计算、复杂电力系统的潮流计算、电力系统的无功功率平衡和电压调整、电力系统的有功功率平衡和频率调整、电力系统的经济运行、同步发电机的基本方程、电力系统三相短路的暂态过程、电力系统三相短路电流的实用计算、电力系统各元件的序阻抗和等值电路、电力系统简单不对称故障的分析和计算、电力系统稳定性问题概述和发电机的机电特性、电力系统静态稳定性、电力系统暂态稳定性等。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业电力系统分析课程教材，也可供从事电力系统工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统分析/纪建伟等主编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 2
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5123-2705-4

I. ①电… II. ①纪… III. ①电力系统—系统分析—高等学校—教材 IV. ①TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 024225 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 485 千字

定价 36.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书依据全国高等农业院校电学科电力系统分析教材编审小组审定的“电力系统稳态分析”与“电力系统暂态分析”两门课程的教学大纲要求编写而成的。

本教材具有如下主要特点。

(1) 本书包括了电力系统稳态分析、电力系统暂态分析两大内容，并且稳态内容位于前七章，暂态内容位于后八章。该两大内容既相互联系又相互独立，可以分开来学习。这样的教材结构安排使得学生能循序渐进地掌握全部内容，学习起来方便、高效。

(2) 作者在编写教材的过程中，总结吸收了各院校的教学改革经验，着重掌握基本概念及基本计算方法，同时尽可能结合电力系统的实际需要，力求理论与实践相结合。本教材根据专业特点和培养目标，在内容取舍上尽量做到简明、实用及通俗易懂。

(3) 本书每章设有练习题，可加深对知识的进一步理解和掌握。

参加本书编写的单位有沈阳农业大学，河北农业大学，东北农业大学，黑龙江八一农垦大学，内蒙古农业大学，山西农业大学，青岛农业大学，新疆塔里木大学等。各章分工如下：梁春英编写第一章，房俊龙编写第二章，纪建伟编写第三章，王俊编写第四章，葛丽娟编写第五、六章，倪静编写第七章，孙国凯编写第八章，杨晨编写第九章，李征明编写第十章，黄丽华编写第十一章，刘伟娜编写第十二章，谢云芳编写第十三章，于建东编写第十四章，郭海霞编写第十五章，罗继东编写习题部分。

本书由华北电力大学栗然教授主审，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。在本书编写的过程中参考和引用了许多专家学者的有关著作，在此致以谢意。

由于编写者经验和水平有限，书中不妥、疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年2月



目 录

前言

第一章 电力系统的基本概念	1
第一节 电力系统的组成	1
第二节 电力系统运行应满足的基本要求	2
第三节 电力系统的接线方式、电压等级以及中性点运行方式	3
第四节 电力系统的负荷	7
第五节 电力系统分析课程的主要内容	10
小结	10
习题	11
第二章 电网各元件的参数和等值电路	13
第一节 电力线路的参数及等值电路	13
第二节 变压器的等值电路和参数	19
第三节 电网的等值电路	26
小结	34
习题	35
第三章 简单电网的分析与计算	37
第一节 网络元件的电压降落和功率损耗	37
第二节 开式电网的潮流分布计算	41
第三节 闭式电网的潮流分布计算	47
第四节 电网的简化	52
小结	55
习题	56
第四章 复杂电力系统的潮流计算	59
第一节 电网的数学模型	59
第二节 功率方程和变量节点的分类	63
第三节 高斯—塞德尔法及其潮流计算	66
第四节 牛顿—拉夫逊法及其潮流计算	69
第五节 P-Q 分解法潮流计算	80
小结	84
习题	84
第五章 电力系统的无功功率平衡和电压调整	87
第一节 电力系统的无功功率平衡	87

第二节	电压调整的基本概念	94
第三节	发电机调压	97
第四节	改变变压器变比调压	98
第五节	利用无功功率补偿调压	102
第六节	几种调压措施的比较	105
小结	.....	106
习题	.....	106
第六章	电力系统的有功功率平衡和频率调整	108
第一节	电力系统的有功功率平衡和各类发电厂的合理组合	108
第二节	电力系统的频率特性	110
第三节	电力系统的频率调整	114
小结	.....	120
习题	.....	121
第七章	电力系统的经济运行	122
第一节	电网中的能量损耗	122
第二节	火电厂有功功率负荷的经济分配	128
第三节	水、火电厂间有功功率负荷的经济分配	132
第四节	无功功率负荷的经济分配	136
小结	.....	138
习题	.....	138
第八章	同步发电机的基本方程	140
第一节	同步发电机的原始方程	140
第二节	d、q、0 坐标系统的同步电机方程	145
第三节	同步电机的对称稳态运行	150
小结	.....	152
习题	.....	153
第九章	电力系统三相短路的暂态过程	154
第一节	短路的一般概念	154
第二节	无限大功率电源供电系统的三相短路	155
第三节	同步发电机突然三相短路的物理分析	160
第四节	暂态参数和次暂态参数	164
第五节	短路全电流表达式	170
第六节	强行励磁对短路暂态过程的影响	174
小结	.....	176
习题	.....	176
第十章	电力系统三相短路电流的实用计算	178
第一节	短路计算的基本假设	178

第二节	三相短路计算的原理和方法	179
第三节	起始次暂态电流和冲击电流的实用计算	182
第四节	短路电流运算曲线及其应用	186
第五节	短路电流周期分量的近似计算	191
小结		195
习题		195
第十一章	电力系统各元件的序阻抗和等值电路	197
第一节	对称分量法在不对称短路计算中的应用	197
第二节	同步发电机的负序电抗和零序电抗	201
第三节	变压器的零序等值电路及其参数	203
第四节	架空输电线路的零序阻抗及其等值电路	209
第五节	综合负荷的序阻抗	216
第六节	电力系统各序网络的制订	217
小结		219
习题		219
第十二章	电力系统简单不对称故障的分析和计算	222
第一节	简单不对称短路的分析	222
第二节	不对称短路时网络中电流和电压的分布计算	229
第三节	电压和电流对称分量经变压器后的相位变换	232
第四节	非全相断线的分析计算	235
小结		239
习题		239
第十三章	电力系统稳定性问题概述和发电机的机电特性	241
第一节	概述	241
第二节	发电机转子运动方程	247
第三节	简单电力系统的功率特性	249
第四节	自动励磁调节器对功率特性的影响	251
第五节	多机系统中发电机的功率	256
小结		260
习题		260
第十四章	电力系统静态稳定性	262
第一节	小扰动法分析简单电力系统的静态稳定	262
第二节	自动励磁调节器对静态稳定的影响	265
第三节	电力系统静态稳定的实用计算	276
第四节	提高系统静态稳定性的措施	278
小结		280
习题		280

第十五章 电力系统暂态稳定性	282
第一节 暂态稳定分析计算的基本假设	282
第二节 简单电力系统暂态稳定的分析计算	284
第三节 发电机转子运动方程的数值解法	287
第四节 复杂电力系统暂态稳定的分析计算	294
第五节 提高电力系统暂态稳定性的措施	297
小结	301
习题	301
附录 A 运算曲线	303
附录 B 运算曲线表	305
参考文献	310

第一章 电力系统的基本概念

第一节 电力系统的组成

“科技要发展，电力要先行”，可见电能国民经济和人民日常生活中的作用。实际电力系统是一个非常复杂的大系统，但其核心无非为以下几部分：首先发电机将一次能源转化为电能，电能经变压器和电力线路输送、分配给用户，最终电能经用电设备（主要为电动机）转化为用户需要的其他形式的能量。这些生产、输送、分配和消费电能的发电机、变压器、电力线路和用电设备（负荷）联系在一起组成的统一整体就是电力系统。为了保证电力系统主体的正常、安全、可靠、经济地运行，还需要各种信号监测、调度控制、保护操作等辅助系统，它们也是电力系统中不可缺少的部分。水电厂的水轮机和水库，火电厂的汽轮机、锅炉、供热管道和热用户等部分与电力系统共同组成动力系统。电力系统中输送和分配电能的变压器和电力线路构成电网。

在交流电力系统中，各组成部分都是三相的，一般用单线图来表示三相交流电力系统各元件间的电的联系。图 1-1 为简单动力系统、电力系统和电网的接线图。

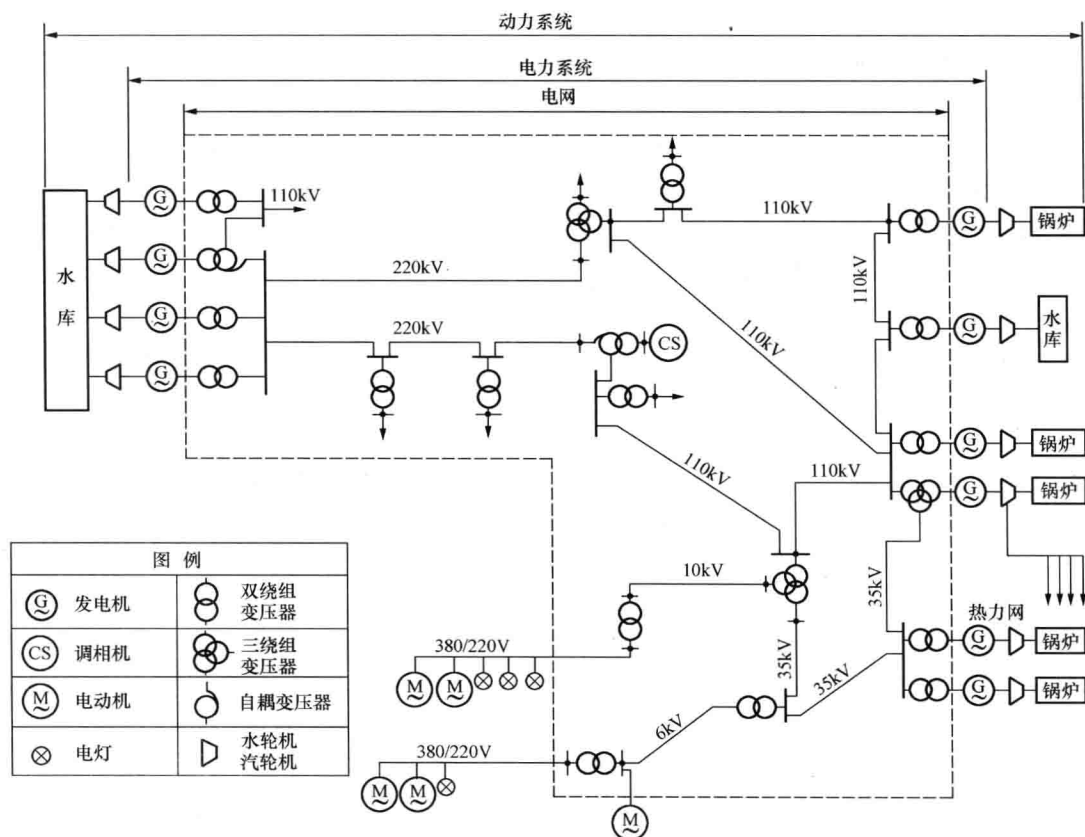


图 1-1 简单动力系统、电力系统和电网示意图

随着电力技术的发展,直流输电作为一种补充的输电方式得到了实际应用。在交流电力系统内或者两个交流电力系统之间嵌入直流输电系统,便构成了现代交、直流联合系统。图 1-2 为直流输电系统示意图。

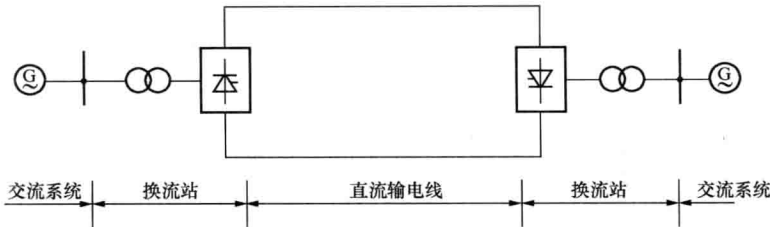


图 1-2 直流输电系统示意图

第二节 电力系统运行应满足的基本要求

电力系统与其他工业系统相比较,有以下特点。

(1) 与国民经济、人民生活联系紧密。

(2) 各种暂态过程非常短暂。当电力系统受到扰动后,由一种运行状态过渡到另一种运行状态的时间非常短。

(3) 电能不能大量储存。电能的生产、输送、分配及消费几乎是同时进行的,在任一时刻,发电机发出的电能等于负荷消耗的电能(在发电机容量允许范围内)。

因此,对电力系统运行的基本要求主要有以下三点。

(1) 保证供电的可靠性。对用户供电的中断将会使生产停止,人民的生活秩序、生活质量受到影响,甚至会危及人身、设备的安全,造成严重后果。但是在某些特殊情况下,当电力系统无法满足全部负荷的需要时,应有选择性地保证重要用户的供电。根据负荷允许停电程度的不同,将负荷分为三级。

一级负荷:若停电将造成人身伤亡和设备损坏、产生废品,使生产秩序长期不能恢复或产生严重政治影响,使人民生活发生混乱等。对于一级负荷,要保证不间断供电。

二级负荷:停电将造成大量减产,使人民生活受到影响。

三级负荷:不属于一、二级的负荷,如工厂的附属车间、小城镇负荷等。

对二、三级负荷,在电能不足时,应优先保证二级负荷的供电。

从电力系统角度来看,目前保证可靠供电的措施主要有提高系统运行的稳定性及可靠性指标,采用微机监视和控制,应用微机保护等。

(2) 保证良好的电能质量。电压和频率是衡量电能质量的两个主要指标。我国采用的额定频率是 50Hz,正常运行时允许的偏移量为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5$ Hz。用户供电电压的允许偏移对于 35kV 及以上电压级为额定值的 $\pm 5\%$, 10kV 及以下电压级为额定值的 $\pm 7\%$ 。

(3) 保证系统运行的经济性。电能的用途广、耗量大,生产电能耗费的一次能源占国民经济能源总耗费的比重大。电力系统在保证安全、优质供电的前提下,将单一电力系统联合组成联合电力系统,合理安排各类发电厂所承担的负荷,组织电力系统经济运行,力求降低能源消耗,以求得最大的经济效益。

第三节 电力系统的接线方式、电压等级以及中性点运行方式

一、电力系统的接线方式

电力系统的接线方式按供电可靠性可分为有备用接线方式和无备用接线方式两种。无备用接线方式是指负荷只能从一条路径获得电能的接线方式。根据形状，它包括单回路的放射式、干线式和链式网络，如图 1-3 所示。有备用接线方式是指负荷至少可以从两条路径获得电能的接线方式。它包括双回路的放射式、干线式、链式以及环式和两端供电网络，如图 1-4 所示。

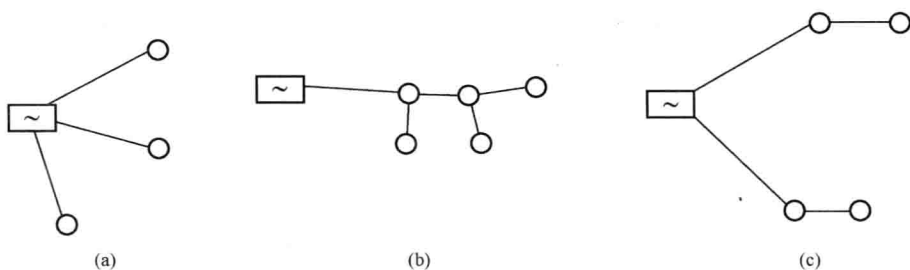


图 1-3 无备用接线方式

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式

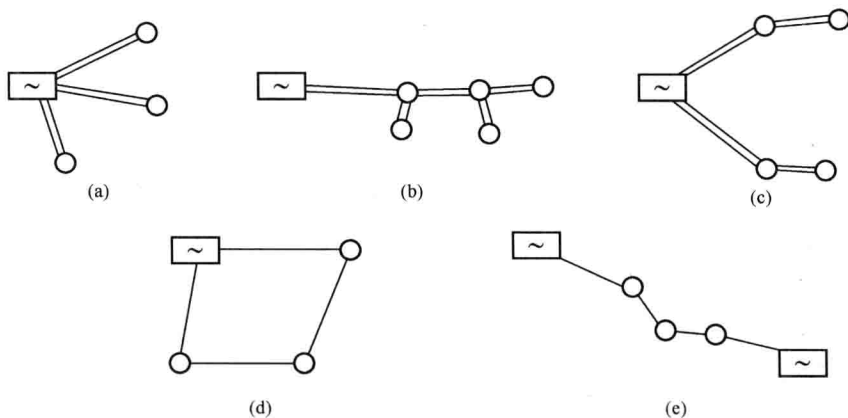


图 1-4 有备用接线方式

(a) 放射式；(b) 干线式；(c) 链式；(d) 环式；(e) 两端供电网络

无备用接线的主要优点在于简单、经济、运行操作方便，主要缺点是供电可靠性差，并且在线路较长时，线路末端电压往往偏低。因此这种接线方式不适用于一级负荷占很大比重的场合。若一级负荷的比重不大，并可为这些负荷单独设置备用电源时，仍可采用这种接线。这种接线方式广泛应用于二级负荷。

有备用接线的主要优点在于供电可靠性高，电压质量好。有备用接线中，双回路的放射式、干线式、链式接线的缺点是不够经济；环形网络的供电可靠性和经济性都不错，但其缺

点是运行调度复杂，并且故障时的电压质量差；两端供电网络很常见，供电可靠性高，但采用这种接线的先决条件是必须有两个或两个以上独立电源，并且各电源与各负荷点的相对位置又决定了这种接线的合理性。

可见，接线方式的选择要经技术经济比较后才能确定。所选的接线方式在满足安全、优质、经济指标外，还应保证运行灵活和操作的方便、安全。

二、电力系统的电压等级

实际电力系统中，各部分的电压等级不同。这是由于电气设备运行时存在一个能使其技术性能和经济效益达到最佳状态的电压。另外，为了保证生产的系列性和电力工业的有序发展，我国国家标准规定的电气设备标准电压（又称额定电压）等级见表 1-1。

表 1-1 额定电压等级

用电设备额定线电压 (kV)	交流发电机线电压 (kV)	变压器线电压 (kV)	
		一次绕组	二次绕组
3	3.15	3 及 3.15	3.15 及 3.3
6	6.3	6 及 6.3	6.3 及 6.6
10	10.5	10 及 10.5	10.5 及 11
	15.75	15.75	
35		35	38.5
(60)		(60)	(66)
110		110	121
(154)		(154)	(169)
220		220	242
330		330	363
500		500	
750		750	

从表 1-1 可见，同一电压级别下各种电气设备的额定电压并不完全相等，下面分析它们之间的配合原则。

以用电设备的额定电压为参考。由于线路直接与用电设备相连，因此线路额定电压和用电设备的额定电压相等。有时把它们统称为电网的额定电压，如 110、220kV 电网等。

考虑到线路上的电压降落一般为 10%，则线路始端的电压应为其额定值的 105%，以使其末端电压不低于额定值的 95%。发电机往往接在线路始端，因此发电机的额定电压为线路额定电压的 105%。

电气设备额定电压配合关系如图 1-5 所示。变压器一次侧从系统接受电能，相当于用电设备；二次侧向负荷供电，又相当于发电机。因此，变压器一次侧额定电压应等于所接电网的额定电压，但直接与发电机相连的变压器，其一次侧的额定电压等于发电机的额定电压。变压器二次侧接在线路首端，这就要求正常运行时其二次侧电压较线路额定电压高 5%。而变压器二次侧额定电压是空载电压，带额定负荷时，变压器内部的电压降落约为 5%。为了保证正常运行时变压器二次侧电压比线路额定电压高 5%，所以变压器二次侧额

定电压应比线路额定电压高 10%。只有短路电压小于 7% 或直接（包括通过短距离线路）与用户连接的变压器，其二次侧的额定电压才比线路额定电压高 5%。

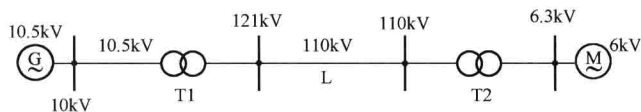


图 1-5 电气设备额定电压配合关系

明确了变压器一、二次侧的额定电压，变压器的变比即可得出。在电力系统中，变压器的变比为一、二次侧额定电压之比。

双绕组变压器的高压侧和三绕组变压器的高、中压侧是有分接头的。例如，一台变压器的额定电压为 $110 \pm 2 \times 2.5\% / 6.3\text{kV}$ ，表明高压侧有 5 个分接头，分别对应的额定电压为 $110 \times (1 + 5\%) \text{ kV}$ 、 $110 \times (1 + 2.5\%) \text{ kV}$ 、 110kV 、 $110 \times (1 - 2.5\%) \text{ kV}$ 、 $110 \times (1 - 5\%) \text{ kV}$ ，其中 110kV 对应的分接头也称为主抽头。上述方法确定的变压器高压侧的额定电压即为主抽头的额定电压。

三、电力系统中性点的运行方式

电力系统的中性点是指星形连接的变压器或发电机的中性点。电力系统的中性点运行方式是一个综合性问题，它与电压等级、单相接地电流、过电压水平、保护配置等有关，直接影响电网的绝缘水平、系统供电的可靠性、主变压器和发电机的运行安全以及对通信线路的干扰等。电力系统中性点的运行方式分为两大类，即中性点直接接地（大接地电流系统）和中性点非直接接地（小接地电流系统）。中性点非直接接地又包括中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经高电阻接地。

中性点直接接地系统供电可靠性低。因为这种系统中发生一相接地时就会构成短路，如图 1-6 所示。这时短路电流很大，为防止损坏设备，必须迅速切除接地相甚至三相；同时，巨大的接地短路电流产生较强的单相磁场干扰邻近通信线路。但这种系统的过电压较低，减少了为提高绝缘水平的投资，降低设备造价，特别适用于高压和超高压电网。在我国 110kV 及以上电压等级的电网，一般均采用中性点直接接地的运行方式，而用其他方法提高供电可靠性。

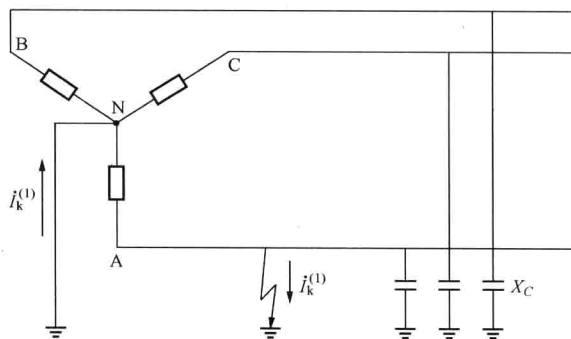


图 1-6 中性点直接接地电力系统的单相接地

中性点不接地系统供电可靠性高，但对绝缘水平的要求也高。因为这种系统中一相接地时不会构成短路，接地电流仅为线路及设备的电容电流，相间电压仍然对称，不影响对负荷供电，因此单相接地时允许继续运行 2h。但是，当发生金属性接地，即接地电阻为零时，非接地相的对地电压升高为线电压，即为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，如图 1-7 所示。因此这种系统对设备绝缘水平要求高，不宜用于 110kV 及以上电网。在 $6 \sim 60\text{kV}$ 电网中常采用中性点不接

地方式，但此时单相接地电容电流不能超过允许值，否则接地电弧不易自熄，易产生较高的弧光间歇接地过电压，波及整个电网。

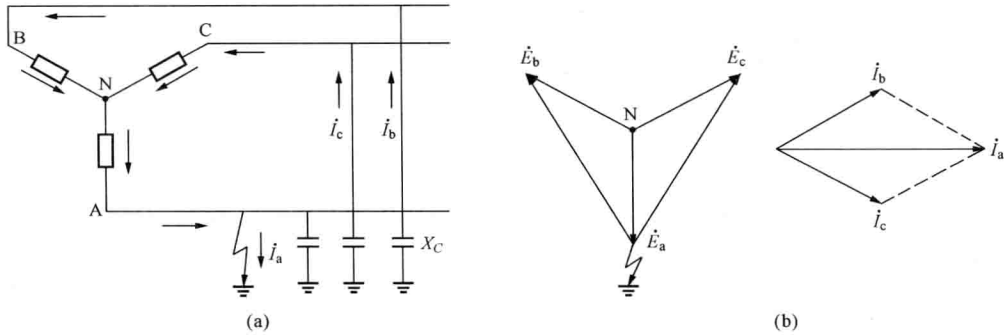


图 1-7 中性点不接地时的一相接地
(a) 电流分布；(b) 电动势、电流相量关系

在中性点不接地系统的单相接地电容电流超过允许值时，可采用中性点经消弧线圈接地的运行方式，采用消弧线圈的感性电流补偿接地相电容电流，以保证电弧瞬间熄灭，消除弧光间歇过电压，如图 1-8 所示。消弧线圈的补偿方式又分为过补偿和欠补偿。过补偿是指图 1-8 中的感性电流 \dot{I}'_a 大于容性电流 \dot{I}_a 时的补偿方式；反之，欠补偿就是指感性电流 \dot{I}'_a 小于容性电流 \dot{I}_a 时的补偿方式。实际系统中一般都采用过补偿的方式。

在 3~60kV 电网中，当单相接地电容电流超过下列数值时，中性点应装设消弧线圈。

- (1) 3~6kV, 30A。
- (2) 10kV, 20A。
- (3) 35~60kV, 10A。

在中性点不接地系统的单相接地电容电流超过允许值时，也可采用中性点经高电阻接地的运行方式。此接地方式和经消弧线圈接地方式相比，改变了接地电流相位，加速泄放回路中的残余电荷，促使接地电弧自熄，从而降低弧光间歇接地过电压，一般用于大型发电机中性点。

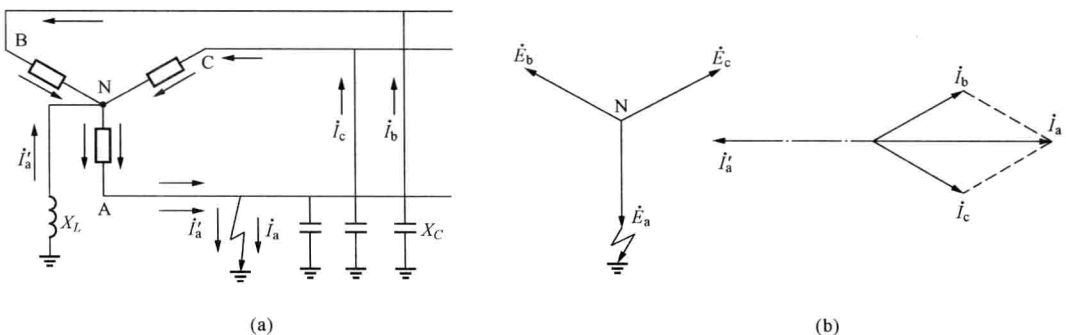


图 1-8 中性点经消弧线圈接地时的一相接地
(a) 电流分布；(b) 电动势、电流相量关系

第四节 电力系统的负荷

一、负荷组成

电力系统中所有电力用户的用电设备所消耗的电功率就是电力系统的负荷，又称为综合用电负荷。综合用电负荷在电网中传输会引起网络损耗，则综合用电负荷加上电网的网络损耗就是各发电厂向外输送的功率，称为系统的供电负荷。发电厂内，为了保证发电机及其辅助设备的正常运行，设置了大量的电动机拖动的机械设备以及运行、操作、试验、照明设备等，它们所消耗的功率总和称为厂用电。供电负荷加上发电厂厂用电消耗的功率就是电力系统的发电负荷。它们之间的关系如图 1-9 所示。

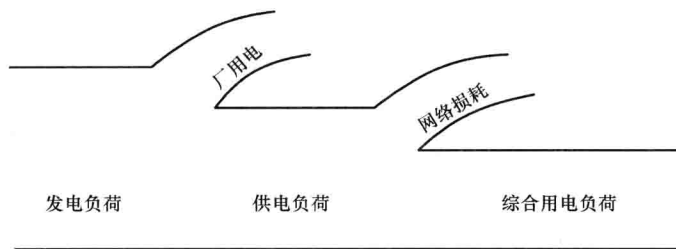


图 1-9 电力系统负荷间的关系

电力用户的用电设备主要为异步电动机、同步电动机、电热装置和照明设备等。根据用户的性质，用电负荷又可分为工业负荷、农业负荷、交通运输业负荷和人民生活用电负荷等。用户性质不同，各种用电设备消耗功率所占比重也不同。表 1-2 列出了几个工业部门各类用电设备消耗功率的分配比例。

表 1-2 几个工业部门用电设备比重的统计 (%)

用电设备	综合性 中小工业	纺织工业	化学工业 (化肥厂、焦化厂)	化学工业 (电化厂)	大型机械 加工工业	钢铁工业
异步电动机	79.1	99.8	56.0	13.0	82.5	20.0
同步电动机	3.2		44.0		1.3	10.0
电热装置	17.7	0.2			15.0	70.0
整流装置				87.0	1.2	
合计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

二、负荷曲线

电力系统各用户的用电情况不同，并且经常发生变化，因此，实际系统的负荷是随时间变化的。描述负荷随时间变化规律的曲线就称为负荷曲线。负荷曲线按负荷种类可分为有功负荷曲线和无功负荷曲线，按时间的长短可分为日负荷曲线和年负荷曲线，也可按计量地点分为个别用户、电力线路、变电站、发电厂、电力系统的负荷曲线。将上述三种特征相结合，就确定了某一种特定的负荷曲线，如电力系统的有功日负荷曲线。

常用的负荷曲线有如下几种。

1. 日负荷曲线

日负荷曲线是描述系统负荷在一天 24h 内所需功率的变化情况，分为有功日负荷曲线和无功日负荷曲线。它是调度部门制定各发电厂发电负荷计划的依据。图 1-10 (a) 为某系统的日负荷曲线，实线为有功日负荷曲线，虚线为无功日负荷曲线。为了方便计算，常把负荷曲线绘成阶梯形，如图 1-10 (b) 所示。负荷曲线中的最大值称为日最大负荷 P_{\max} (峰荷)，最小值称为日最小负荷 P_{\min} (谷荷)。从图 1-10 (a) 可见，有功功率和无功功率最大负荷不一定同时出现。谷荷时功率因数较低，峰荷时功率因数较高。

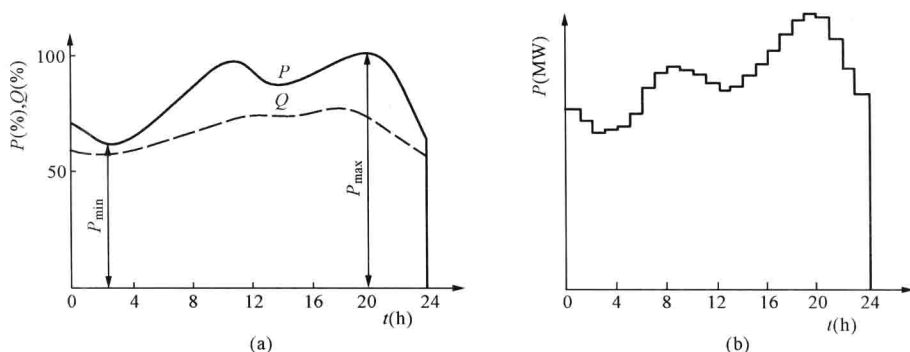


图 1-10 日负荷曲线

根据日负荷曲线可估算负荷的日耗电量，即

$$W_d = \int_0^{24} P dt \quad (1-1)$$

在数值上 W_d 就是有功日负荷曲线 P 包含的曲边梯形的面积。

不同行业、不同季节的日负荷曲线差别很大。几种行业在冬季的有功日负荷曲线，如图 1-11 所示。钢铁工业属三班制生产，其负荷曲线 [图 1-11 (a)] 很平坦，最小负荷达最大负荷的 85%；食品工业属一班制生产，其负荷曲线 [图 1-11 (b)] 变化幅度较大，最小负荷仅达最大负荷的 13%；农村加工负荷每天仅用电 12h [图 1-11 (c)]；市政生活用电有明显的用电高峰 [图 1-11 (d)]。由图 1-11 可见，各行业的最大负荷不可能同时出现，因此系统负荷曲线上的最大值恒小于各行业负荷曲线上最大值之和。

2. 年最大负荷曲线

描述一年内每月电力系统综合用电负荷变化规律的曲线，为调度、计划部门有计划地安排发电设备的检修、扩建或新建发电厂提供依据。图 1-12 所示为某系统的年最大负荷曲线，其中阴影面积 A 为检修机组的容量与检修时间的乘积， B 为系统扩建或新建的机组容量。

3. 年持续负荷曲线

年持续负荷曲线是按照一年中系统负荷的数值大小及其持续小时数顺序排列而绘制的，如图 1-13 所示。

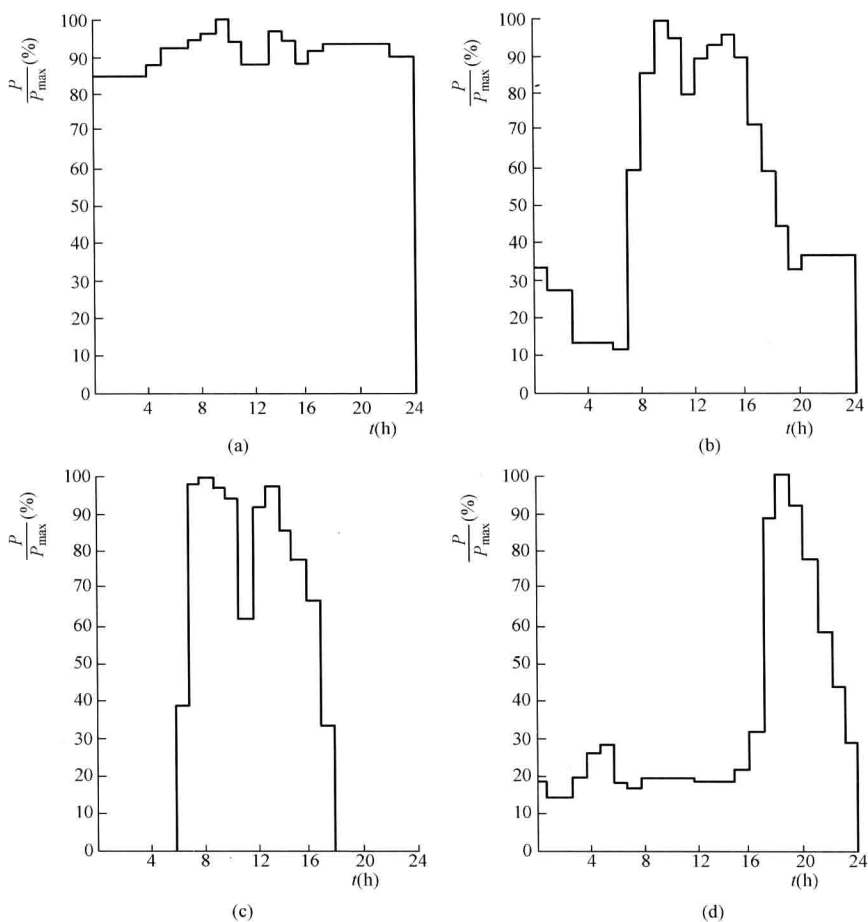


图 1-11 几种行业的有功功率日负荷曲线 (冬季)
 (a) 钢铁工业负荷; (b) 食品工业负荷; (c) 农村加工负荷; (d) 市政生活负荷

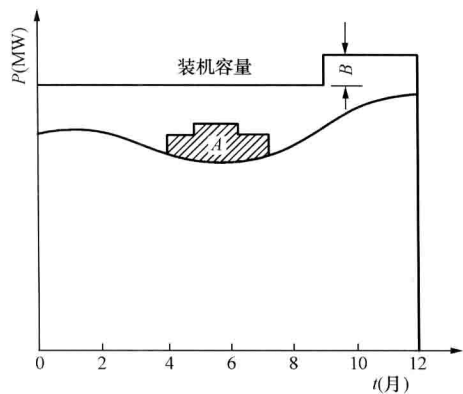


图 1-12 年最大负荷曲线

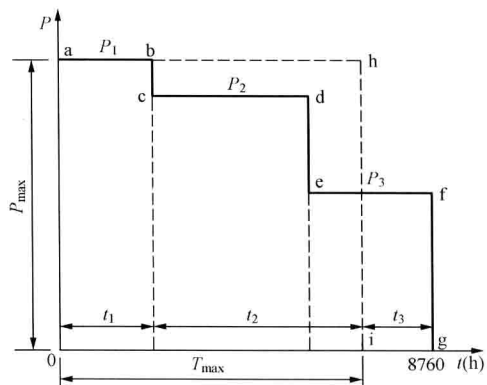


图 1-13 年持续负荷曲线