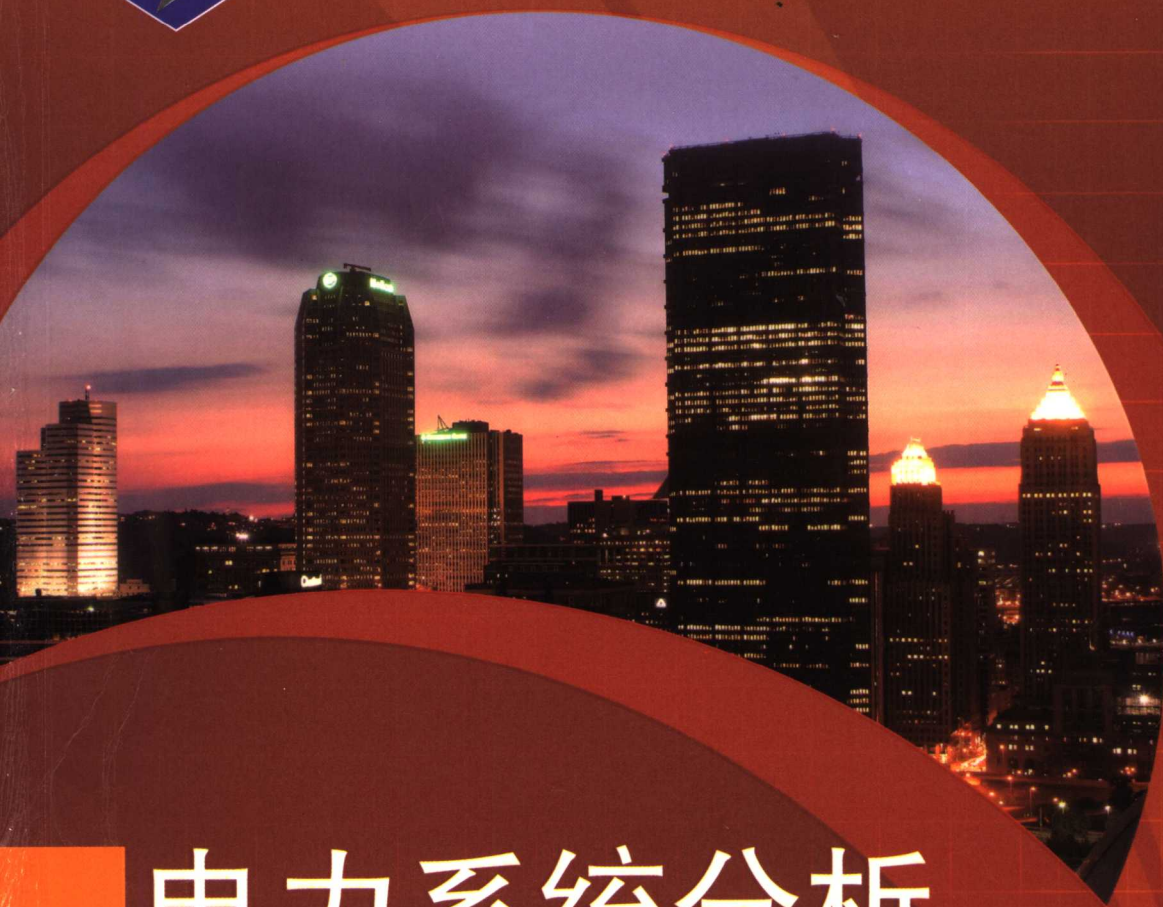




银领工程系列



电力系统分析

■ 陈立新 吴志宏 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

银领工程系列

电力系统分析

陈立新 吴志宏 主编



高等教育出版社

内容提要

本书介绍了电力系统的基本概念、基本理论和基本计算方法,电力系统的短路电流的计算、潮流计算、调频调压计算和经济运行的计算等内容。每章前提出本章的知识点、重点和难点,每章后对该章进行总结。

本书本着“减少理论推导,强化实际应用”的原则,对电力系统分析中复杂的计算进行了必要的简化,而在文中适当的地方介绍相关背景资料,提出一些课堂活动和拓展提高等内容。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电力系统继电保护与自动化、发电厂及电力系统以及相关专业的教材,也可作为工程技术人员参考和培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析 / 陈立新, 吴志宏主编. —北京: 高等教育出版社, 2006. 7

ISBN 7-04-019508-9

I. 电... II. ①陈... ②吴... III. 电力系统 - 分析
- 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 061754 号

策划编辑	刘 洋	责任编辑	欧阳舟	封面设计	王凌波	责任绘图	吴文信
版式设计	陆瑞红	责任校对	胡晓琪	责任印制	毛斯璐		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	国防工业出版社印刷厂		http://www.landraco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2006 年 7 月第 1 版
印 张	10.25	印 次	2006 年 7 月第 1 次印刷
字 数	240 000	定 价	13.40 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 19508-00

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实《2003—2007 年教育振兴行动计划》，缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状，为我国走新型工业化道路服务，自 2001 年 10 月以来，教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会，明确了高等职业教育要“以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”，同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才，既要能动脑，更要能动手，他们既不是白领，也不是蓝领，而是应用型白领，是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。与之相应，也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此，我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨，并从中遴选出一些较为成熟的成果，组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨，结合最新的教改成果，反映了最新的职业教育工作思路和发展方向，有益于固化并更好地推广这些经验和成果，很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定，教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型紧缺人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适合于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校开办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2006 年 5 月

前 言

本书围绕高职高专类院校教育办学的指导思想,以培养应用型、技能型人才为目标,按照发电厂及电力系统专业的教学大纲,结合编者多年的电力系统从业经验和教学实践经验进行编写。

全书紧扣应用型、技能型人才的培养目标,在讲清概念的前提下,简化理论推导;并通过“实例分析”、“拓展提高”等环节与应用相联系,以提高学生的学习兴趣,使学生做到学以致用。

全书共分10章,主要讲述了电力系统的潮流计算、短路电流计算、系统稳定、频率调整、电压调整和经济运行,可分为以下7个部分:

第1部分为全书的基础,由第1~2章组成,主要介绍了电力系统的基础知识。内容包括:电力系统的基本概念、电力系统的中性点运行方式、电力系统各元件的等效电路等。

第2部分由第3~5章组成,主要介绍电力系统短路电流的计算。内容包括:电力系统对称短路的计算、电力系统不对称短路的计算。

第3部分为第6章,主要介绍了电力系统的稳定性。内容包括:电力系统的静态稳定性、电力系统的暂态稳定性以及提高电力系统稳定性的技术措施。

第4部分为第7章,主要介绍电力系统的潮流计算。内容包括:电力系统开式网络的潮流计算、电力系统闭式网络的潮流计算,对潮流计算的计算机算法也做了简要的介绍。

第5部分为第8章,主要介绍电力系统的频率调整。内容包括:电力系统有功平衡、电力系统的一次调频、电力系统的二次调频和连网计算。

第6部分为第9章,主要介绍电力系统的电压调整。内容包括:电力系统的无功平衡、调压的基本原理以及调压的技术措施。

第7部分为第10章,主要介绍电力系统的经济运行。内容包括:电力系统有功负荷的经济分配、电力系统无功负荷的经济分配以及降低电力系统有功损耗的技术措施。

本书第3、4、5、6章由山东电力高等专科学校陈立新编写,第1、2、7章由沈阳工程学院吴志宏编写,第8、9、10章由太原电力高等专科学校王琨编写。本书由陈立新、吴志宏主编,由陈立新统稿。

本书由北京交通大学电气工程学院陈力老师主审,陈老师对全书进行了认真、仔细的审阅,并提出了许多宝贵的意见,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2006年3月

目 录

第 1 章 电力系统的基本概念	1	第 5 章 电力系统的不对称	
1.1 电力系统的基本概念	1	短路	50
1.2 电力系统负荷	6	5.1 对称分量法	50
1.3 电力系统额定电压	8	5.2 电力系统元件的序参数	54
1.4 电力系统的中性点运行		5.3 变压器的接线方式与零序	
方式	9	电流的关系	56
本章小结	11	5.4 电力系统各序网络的制订	59
第 2 章 电力系统元件的参数		5.5 简单不对称短路的分析与	
和等值电路	13	计算	61
2.1 同步发电机的参数和等值		5.6 非全相断线的分析与计算	67
电路	13	本章小结	70
2.2 电力线路的参数和等值		第 6 章 电力系统的稳定性	72
电路	14	6.1 电力系统稳定性的一般概念	72
2.3 变压器、电抗器的参数和		6.2 发电机转子之间的空间相对	
等值电路	19	位置	73
2.4 电力网络的等值电路	25	6.3 电力系统的静态稳定性	74
本章小结	28	6.4 电力系统的暂态稳定性	77
第 3 章 电力系统短路的		6.5 提高电力系统稳定性的技术	
基本知识	29	措施	80
3.1 短路的一般概念	29	本章小结	82
3.2 网络的变换和化简	31	第 7 章 电力系统的潮流计算	83
本章小结	33	7.1 电力网中功率损耗的计算	83
第 4 章 电力系统的对称短路	34	7.2 电力网中电压降落及电压	
4.1 无穷大电源供电电路的		损耗的计算	86
三相短路	34	7.3 开式网络的潮流计算	88
4.2 三相短路电流的实用计算	40	7.4 简单闭式网络的潮流计算	89
4.3 应用计算曲线计算在任意时刻		7.5 电力网络的数学模型	92
短路点的短路电流	46	7.6 功率方程	95
本章小结	48	本章小结	97

第 8 章 电力系统的频率调整	99	9.6 并联无功补偿设备调压	129
8.1 电力系统中有功功率的平衡	99	9.7 串联电容器调压	133
8.2 电力系统的有功功率-频率特性	102	9.8 各种调压措施的综合比较	135
8.3 电力系统的频率调整	107	本章小结	136
8.4 互连电力系统的频率调整	109	第 10 章 电力系统的经济	
8.5 主调频电厂的选择	114	运行	137
本章小结	115	10.1 电力网的电能损耗计算	137
第 9 章 电力系统的电压调整	117	10.2 降低网损的技术措施	140
9.1 电力系统中无功功率的平衡	117	10.3 电力系统有功功率负荷的经济分配	145
9.2 电力系统的电压管理	121	10.4 电力系统无功功率的最优分布	152
9.3 电力系统调整电压的基本原理	124	本章小结	155
9.4 利用发电机调压	125	参考文献	156
9.5 改变变压器的分接头调压	126		

第 1 章 电力系统的基本概念



要求

- 熟悉电力系统的基本知识



知识点

- 电力系统的基本知识
- 电力系统负荷及负荷曲线
- 电力系统的额定电压等级
- 电力系统中性点运行方式



难点和重点

- 电力系统负荷及负荷曲线的应用
- 中性点运行方式

1.1 电力系统的基本概念

1.1.1 电力系统的组成

电力系统是一个生产、输送、分配电能的统一整体,将发电厂、变电所、电能用户用电力线路连接起来,就组成了电力系统。电力系统加上电能生产的动力部分(如火电厂的锅炉、汽轮机;水电厂的水库、水轮机;原子能电厂的反应堆、汽轮机)就组成了动力系统,而电力系统去掉发电机和电能用户的部分则称为电力网络或电力网,如图 1-1 所示。

电力网按其职能可分为输电网络和配电网络。输电网络的主要任务是将大容量发电厂的电能可靠而经济地输送到负荷中心地区,通常由电压等级最高的一级或两级电力线路组成(如图 1-1 中的 500 kV、220 kV);配电网络的任务是分配电能,一般电压等级在 0.4 ~ 35 kV。

1.1.2 电力系统的发展

一、电力系统的发展

1. 直流电力系统

1831 年法拉第发现了电磁感应定律,在此基础上出现了发电机,实现了把其他形式的能转变为电能而加以利用。原始的电力线路是 100 V 至 400 V 的低压直流线路。由于输电电压低,输电功率不可能大,因而输电距离也不远。直到 1882 年才产生世界上第一个最高电压 20 000 V

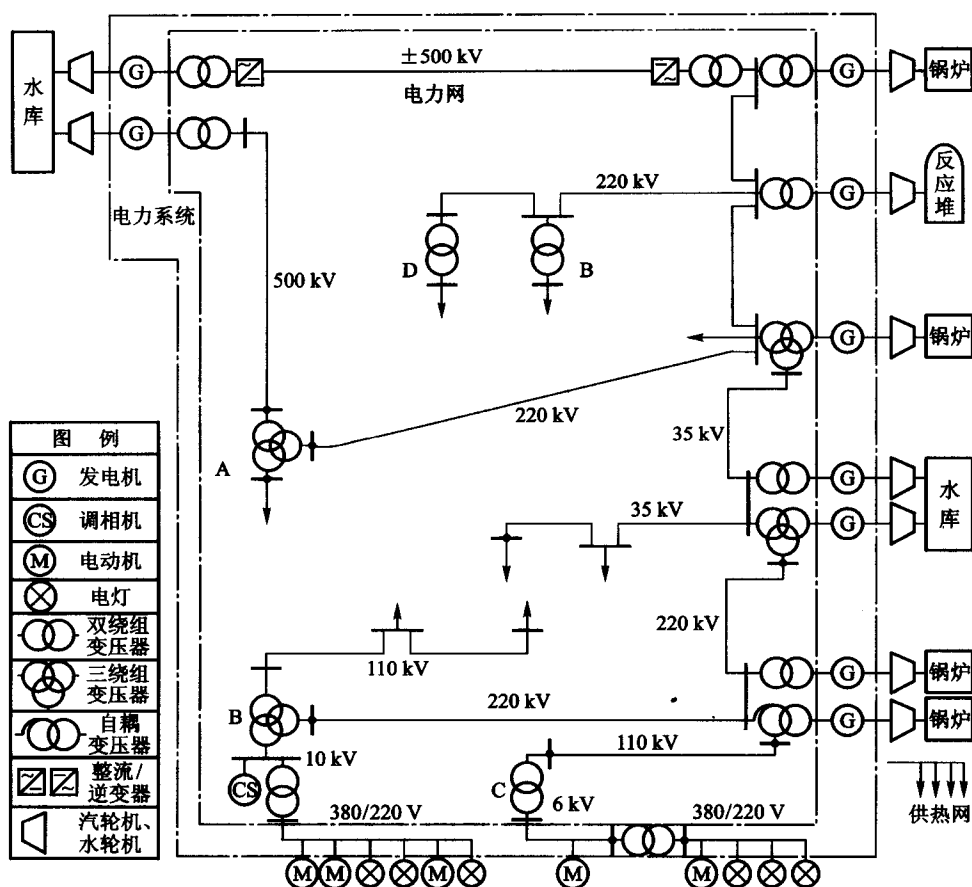


图 1-1 动力系统、电力系统及电力网示意图

的直流电力系统。

2. 交流电力系统

生产的发展对输电功率和距离提出了进一步的要求,直流输电已经不能满足需求。1885 年实现了单相交流输电,1891 年实现了三相交流输电。由于三相交流制的广泛应用,使输电功率、输电电压、输电距离日益增大,大电力系统不断涌现,在一些国家中甚至出现了全国性和国际性的电力系统,直流输电曾一度被淘汰。目前世界上已建设成 1 000 kV 的交流输电线路,并在研究 1 500 ~ 2 500 kV 交流输电。最远输送距离已超过 1 000 km,最大电力系统容量已超过了 10 000 万千瓦。

3. 超高压直流输电电力系统

由于电力系统日益增大,随之又带来了电力系统的稳定性问题,因此又出现了超高压直流输电电力系统,目前直流输电电压已达 ± 750 kV,输电距离超过 1 000 km,输电功率超过 100 万千瓦。

二、我国电力系统概况

近年来,我国电力工业迅速发展,已经进入了大电网、大电厂、大机组、高电压输电、高度自动

控制的现代化电力系统阶段。并已经建成6个跨省电力系统,分别是:东北、华东、华北、华中、西北和南方电力系统;还有4个省级电力系统,即山东、福建、海南、四川省电力系统。其中,东北、华东、华北、华中电网的装机容量甚至超过40 000 MW,西北电网的装机容量也达20 000 MW,其他几个省网也接近或超过10 000 MW。

各电网中500 kV主网架逐步形成和壮大,220 kV电网也已得到不断完善和扩充。葛洲坝水电站至上海南桥的500 kV直流输电线路使华东和华中两大电网实现非同期联网;华北电网和东北电网通过绥中电厂实现交流连接;南方电力联营系统连接广东、广西、贵州、云南四省电网,实现西电东送。其他几个电网也将实现互连,从而组成全国电力系统。

到2001年底输电线路总长达781 854 km,其中,500 kV线路31 486 km,330 kV线路9 177 km,220 kV线路135 935 km,110 kV线路220 051 km,总变电容量达1 117 710 MV·A,其中500 kV变电容量117 310 MV·A,330 kV变电容量15 270 MV·A,220 kV变电容量340 260 MV·A,110 kV变电容量402 380 MV·A。到2003年底,全国总装机容量达38 450万千瓦,其中水电装机容量9 217万千瓦,火电装机容量28 564万千瓦,核电装机容量619万千瓦。

我国电网中最大单机容量是上海外高桥发电厂二期工程于2004年投产的2台900 MW超临界机组。电网最高输电电压已达500 kV。

三、目前电力系统的特点

从上述电力网及电力系统发展简况中可以看到,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对提高电力系统运行的安全性与经济性及保证电能质量有明显的优越性。电力系统规模的扩大也会面临一些新的技术问题,如:主干线路和主力电厂的故障可能扩大波及范围,处理不及时或不恰当可能造成大面积停电,因此提高互连系统运行安全性尤为重要;同时经济运行问题也显得更为复杂;对电力系统的调度能力要求更高。

1.1.3 电力系统运行的基本要求

一、电能生产的特点

1. 发、输、配和用电的连续性

目前,电能尚不能大量的廉价的储存,发、输、配和用电几乎是在同一瞬间进行的。为了保证对用户不间断地供电,电力系统各组成部分必须要恰当联系,互相协调,能可靠地工作。

2. 与工农业生产及人民生活的密切相关性

电力工业与国民经济、人民生活的关系极其密切。电能供应不足或中断,将直接影响国民经济计划的完成和人民的正常生活。对某些用户甚至会引起产品报废,设备损坏以及危及人身安全等严重后果。

3. 暂态过程的非常短暂性

电力系统由于运行情况的改变而引起的电磁、机电暂态过程是非常短暂的。因而,正常和故障情况所进行的调整和切换操作也要非常迅速,仅依靠手动操作达不到满意效果,甚至不能完成任务。所以,电力系统运行必须采取自动化程度高、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。

二、电力系统运行的基本要求

1. 保证供电的可靠性

电力系统供电的中断将使生产停顿,生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,造成十分严重的后果,给国民经济带来严重的损失,因此,对电力系统的运行首先要保证供电的可靠性。根据用户本身的重要程度可将负荷分为三类。

第一类负荷:将中断供电会造成人身事故、设备损坏、产品报废、生产秩序长期不能恢复、人民生活混乱、政治影响大的用户以及军工系统划为第一类负荷,这是重要负荷。

第二类负荷:将中断供电会造成大量减产,人民生活会受到影响的用户划为第二类负荷,这是比较重要负荷。

第三类负荷:除一、二类负荷以外的一般用户属于第三类负荷。

电力系统供电的可靠性,首先是保证第一类负荷,然后才保证第二类负荷,最后才是第三类负荷。

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基本指标。

用户供电电压的允许偏移对于 35 kV 及以上电压等级为额定电压的 $\pm 5\%$, 10 kV 及以下电压等级为额定电压的 $\pm 7\%$ 。为保证电压质量,对电压正弦波形畸变率也有限制,波形畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值对基波有效值的百分比,对于 6 ~ 10 kV 供电电压不超过 4%,对于 0.38 kV 供电电压不超过 5%。

我国规定电力系统的额定频率为 50 Hz,也就是工业用电的标准频率,简称工频。正常运行时频率偏移不超过 $\pm (0.2 \sim 0.5)$ Hz。

电压和频率偏移过大,会引起大量减产、产品报废,严重时会造成人身事故、设备损坏,甚至会危及整个系统的安全运行。

3. 提高系统运行的经济性

电能生产的规模很大,消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重很大,且电能在生产、输送、分配时损耗的绝对值是相当可观的。因此,提高电力系统运行的经济性具有重要意义。

电力系统的经济指标一般是指火电厂的煤耗及电厂的厂用电率和网损率等。

1.1.4 电力系统接线图

电力网的接线方式按供电可靠性分为无备用和有备用两类。

无备用接线:每一个负荷只能靠一条线路取得电能,如图 1-2 所示。这样的网络也称为开式网络。其特点是简单、设备费用少、运行方便;缺点是供电可靠性较低。在干线式和树状网络中,当线路较长时,线路末端的电压往往偏低。

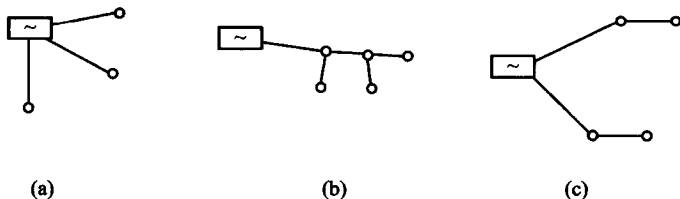


图 1-2 无备用网络

(a) 放射式 (b) 干线式 (c) 树状

有备用接线:每个负荷点至少通过两条线路从不同的方向取得电能,如图 1-3 所示。图

1-3(c)、(d)中的网络也称为闭式网络。其特点是供电可靠性和电压质量有明显提高;缺点是设备费用增加,运行调度复杂。

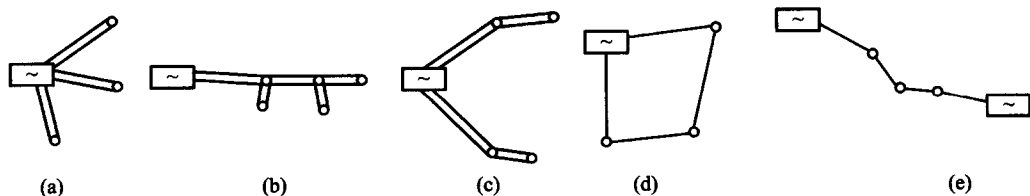


图 1-3 有备用网络

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

【背景资料】

1. 三峡工程

举世瞩目的长江三峡工程分为三大部分:枢纽工程、移民工程和输变电工程。

三峡水电站将有 26 台 70 万千瓦的水轮发电机组,总装机容量达到 1 820 万千瓦,到 2009 年全部机组建成投产后,三峡电站的年均发电量将达 847 万千瓦时。这一发电能力,相当于整个湖北省 2001 年发电量的 1.5 倍。按照设计方案,三峡电站分为左岸和右岸电站,左、右岸电站又各分为两个电厂。其中,左一电厂装机 8 台,出线 5 回;左二电厂装机 6 台,出线 3 回;右一、右二电厂装机均为 6 台,出线分别为 4 回和 3 回。这 15 回出线将分别把 26 台机组发出的电能送至坐落在湖北境内的一批 500 kV 变电站和换流站,再向各地辐射。三峡电力外送将形成三大主要通道。

中通道:在华中四省建 500 kV 交流输电线路 4 970 km,鄂豫间两回,鄂湘间两回,鄂赣间一回,变电容量 1 350 万千伏安(其中,湖北境内的 500 kV 线路 2 630 km,变电容量 525 万千伏安);设计输电能力 900 万千瓦。

东通道:除利用现有的葛洲坝至上海直流线路输电 120 万千瓦外,2002 年前建成第二回东送 500 kV 直流输电线路和湖北宜昌、江苏常州换流站,额定容量 300 万千瓦;2008 年再建成第三回送上海的直流线路,增加容量 300 万千瓦。同时,在华东地区配套建设 500 kV 交流输电线路 850 km,变电容量 850 千伏安。

南通道:2004 年前建成一条 973 km 的 500 kV 直流输电线路和湖北荆州、广东惠州两个换流站,送电能力为 300 万千瓦。500 kV 荆州换流站是全国西电东送和三峡电力外送标志性工程之一,也是当今世界上规模最大的换流站。

到 2008 年,上述三个通道全部建成后,一个纵横九千公里、贯穿八省一市的三峡输变电系统将腾空而起。届时,三峡电力将畅通无阻地奔向东西 1 500 km、南北 1 000 km 范围内的广大用户。

2. 美国西部大停电事故

2003 年 8 月 14 日,美国东北部、中西部和加拿大东部联合电网发生大停电,震惊全世界。随后,英国、澳大利亚、马来西亚、芬兰、丹麦、瑞典和意大利等国又相继发生了较大面积停电事故。这些大停电事故给社会和经济带来了巨大的损失。以美、加大停电为例,停电波及了美国的

8个州和加拿大的2个省,受影响居民达5 000万,损失负荷量61 800 MW,经济损失约300亿美元。正是因为电力系统在现代社会生活中的关键地位,促进了人们对电网发生的大连锁停电事故的分析 and 研究。而现代电网的复杂性,使得这项研究工作变得异常艰难,具有挑战性。

1.2 电力系统负荷

1.2.1 负荷分类

电力系统的负荷是指电力系统中各种用电设备消耗功率的总和,大致又分为动力负荷;异步电动机、同步电动机、电热电炉、整流设备;照明负荷等。

电力系统的综合用电负荷:指工业、农业、交通运输、市政生活等各方面消耗的功率之和。

电力系统供电负荷:电力系统的综合用电负荷加上网损就是发电厂应供出的负荷,称为电力系统的供电负荷。

电力系统的发电负荷:供电负荷再加上发电厂厂用电就是发电机应发出的功率,称为电力系统的发电负荷。

1.2.2 负荷曲线

负荷曲线是指某一段时间内负荷随时间变化的曲线。

负荷曲线分类有以下几种:按负荷种类分为有功负荷曲线和无功负荷曲线;按时间段分为日负荷曲线和年负荷曲线;按计量地点分为个别用户、电力线路、变电所、发电机及整个电力系统的负荷曲线。以下介绍几种常用的负荷曲线。

1. 有功日负荷曲线(阶梯形)

有功日负荷曲线描述了一天24小时内负荷的变化情况。它是制定各发电负荷计划及系统调度运行的依据,根据日负荷曲线还能计算一天的总耗电量。曲线的最大值称为日最大负荷,又称峰荷,最小值称为最小负荷,又称谷荷。一般不同行业的有功日负荷曲线变化较大,但系统总的有功日负荷曲线却相当平坦。这就存在一个同时率问题,即它们的最大、最小负荷不同时出现。那么将各行业最大负荷相加后再乘以小于1的同时率即为系统最大负荷,如图1-4(a)所示。

2. 无功功率日负荷曲线(阶梯形)

无功功率日负荷曲线的用途较小。但应注意无功功率与有功功率最大负荷不一定同时出现,这一点在做系统的无功功率平衡时很重要。一般是白天出现无功功率最大负荷,晚上出现有功功率最大负荷,如图1-4(b)所示。

3. 有功功率年最大负荷曲线

表示一年内每月最大有功功率负荷的变化曲线,即年最大有功负荷曲线。一般为余弦曲线,年初与年末大而年中小,据此制定发电设备的检修计划,如图1-5(a)所示。

4. 年持续负荷曲线及最大负荷利用小时数 $T_{\max}$

在电力系统的运行分析中,还经常用到年持续负荷曲线,它由一年中的系统负荷按数值大小及其持续小时数按顺序排列作成。在全年8 760 h中,有 t_1 小时的负荷值为 P_1 (即最大负荷

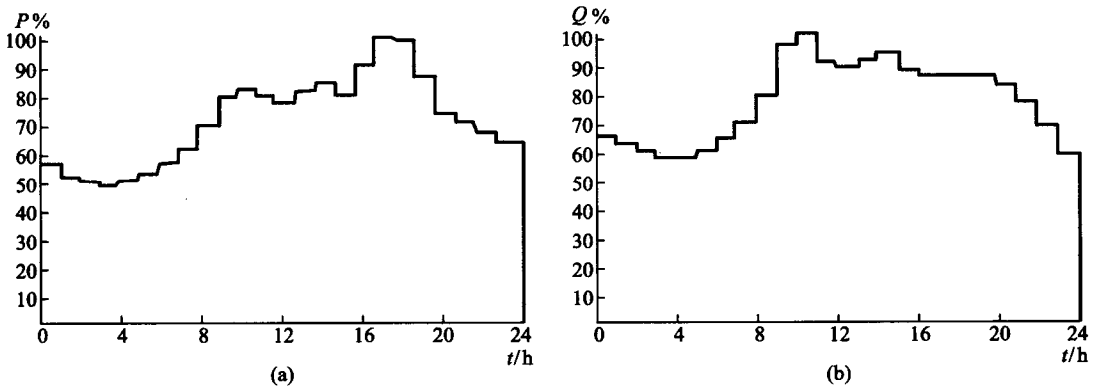


图 1-4 日负荷曲线

(a) 有功功率负荷; (b) 无功功率负荷

$P_{\max}$), t_2 小时的负荷值为 P_2 , t_3 小时的负荷值为 P_3 , 则可绘出如图 1-5(b) 所示的年持续负荷曲线。

在安排发电计划和进行可靠性估算以及电网能量损耗计算等方面常用到这种曲线。

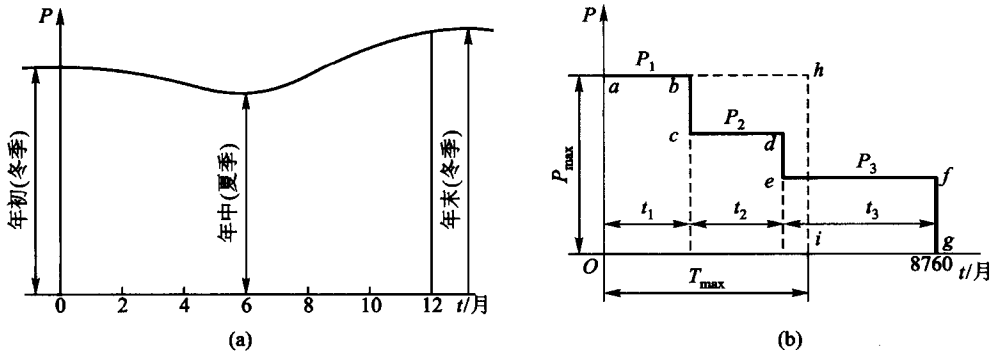


图 1-5 年负荷曲线

(a) 有功功率年最大负荷曲线 (b) 年持续负荷曲线

根据年持续负荷曲线, 可以确定系统负荷的全年耗电值为

$$W = \int_0^{8760} P dt$$

如果负荷始终等于最大负荷 $P_{\max}$, 则经过 $T_{\max}$ 小时所消耗的电能恰好等于全年耗电量 W , 故称 $T_{\max}$ 为最大负荷利用小时数, 即

$$T_{\max} = \frac{W}{P} = \frac{\int_0^{8760} P dt}{P_{\max}}$$

其中, $T_{\max}$ 可以从相关手册中查得。

1.3 电力系统额定电压

1.3.1 电力系统额定电压

电力系统额定电压等级的确定,首先是从输送电能的经济性上考虑。对应一定的输电功率和输电距离(受电压质量的限制),就有一个最合理的线路电压。其次,从设备制造的角度考虑,为保证生产的系列性,又不可能任意确定更多的电压等级。鉴于上述原因,根据我国的实际情况,确定了我国三相交流 3 kV 以上设备和系统的额定电压等级如表 1-1 所示。

表 1-1 3 kV 以上系统和设备的额定电压

受电设备与 系统额定线电压/kV	供电设备额定线电压/kV	变压器额定线电压/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
	13.8 *	13.8	—
	15.75 *	15.75	—
	18 *	18	—
	20 *	20	—
35	—	35	38.5
110	—	110	121
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	

【提示】

现在东北电网中还有 60 kV 电压等级。

电力线路的额定电压和系统的额定电压相同,一般也称为网络额定电压。

同步发电机的额定电压与系统的额定电压为同一等级时,一般比电力线路额定电压高 5%,如 3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV 等。

变压器的额定电压,分一次绕组额定电压和二次绕组额定电压。

变压器的一次绕组相当于受电设备。对于升压变压器,它的额定电压等于发电机的额定电压,即为:3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV、15.75 kV、18 kV、20 kV。对于降压变压器,一次绕组的额定电压等于系统的额定电压,即为:3 kV、6 kV、10 kV、15 kV、35 kV、60 kV、110 kV、154 kV、220 kV、330 kV、500 kV、…但是发电厂厂用降压变压器,一次绕组的额定电压却等于发电机的额定电压。

变压器的二次绕组相当于供电设备。它的额定电压比系统额定电压高 10%。只有漏抗较小 ($U_k\% < 7\%$) 的小容量变压器,或二次侧直接与用电设备相连的变压器(厂用变压器),其二次侧额定电压,才比电力线路额定电压高 5%。变压器二次绕组的额定电压高 5% 的为:3.15 kV、6.3 kV、10.5 kV。高 10% 的为 3.3 kV、6.6 kV、11 kV、38.5 kV、66 kV、121 kV、169 kV、242 kV、363 kV、…。

各种电压等级目前在我国电力系统中的使用情况大致为:

3 kV、6 kV、10 kV 一般为发电厂厂用电和配电网电压。配电网广泛采用 10 kV 电压。

35 kV、60 kV、110 kV 为大城市、大工业企业内部的配电网及农村的输电网电压。目前有些城市进线以 110 kV 电力线路代替 35 kV 电力线路。

220 kV、330 kV 为大电力系统的主网网架电压。

500 kV 为系统之间联络线及远区大型水、火电厂的主要输电线电压。

1.3.2 电力线路的平均额定电压

电力线路的平均额定电压为电力线路首末端所接电气设备额定电压的平均值,其表达式为

$$U_{av} = \frac{U_N + 1.1U_N}{2} = 1.05U_N$$

其中, U_N 为电力线路的额定电压。

1.3.3 变压器的变比

变压器的额定变比:变压器一、二次额定电压之比。

变压器的实际变比:变压器高压侧分接头的额定电压与二次绕组额定电压之比。

变压器平均额定电压变比:变压器所连接的系统平均额定电压之比。

【例 1-1】 一台 $110 \pm 2 \times 2.5\% / 11$ kV 的变压器,其额定变比为 110/11 kV;平均额定电压变比为 115/10.5 kV;如果运行在 $+2.5\%$ 分接头其实际变比为 $110 + 110 \times 2.5\% / 11$ kV。

1.4 电力系统的中性点运行方式

1.4.1 电力系统中性点及其接地方式

电力系统中性点是指接入系统星形联结(又称 Y 联结)的变压器或发电机绕组的中性点。电力系统中性点采用什么接地方式,必须经过合理的技术经济比较才能确定。

为消除 3 次和 3 的整数倍谐波,发电机定子绕组都采用 Y 联结。变压器 Y 联结绕组的中性点,目前我国有三种处理方法。一是不接地,10 ~ 35 kV 系统多属这类情况;二是经过一个线性电抗线圈,即消弧线圈接地,10 ~ 60 kV 系统有这种方式;三是直接接地,110 kV 及以上电压系统和 380/220 V 三相四线低压系统都属这类情况。

中性点直接接地或经小电阻接地方式的系统称为有效接地系统或大接地电流系统;中性点不接地或高阻抗接地,接地电流较小的系统称为非有效接地系统或小接地电流系统。