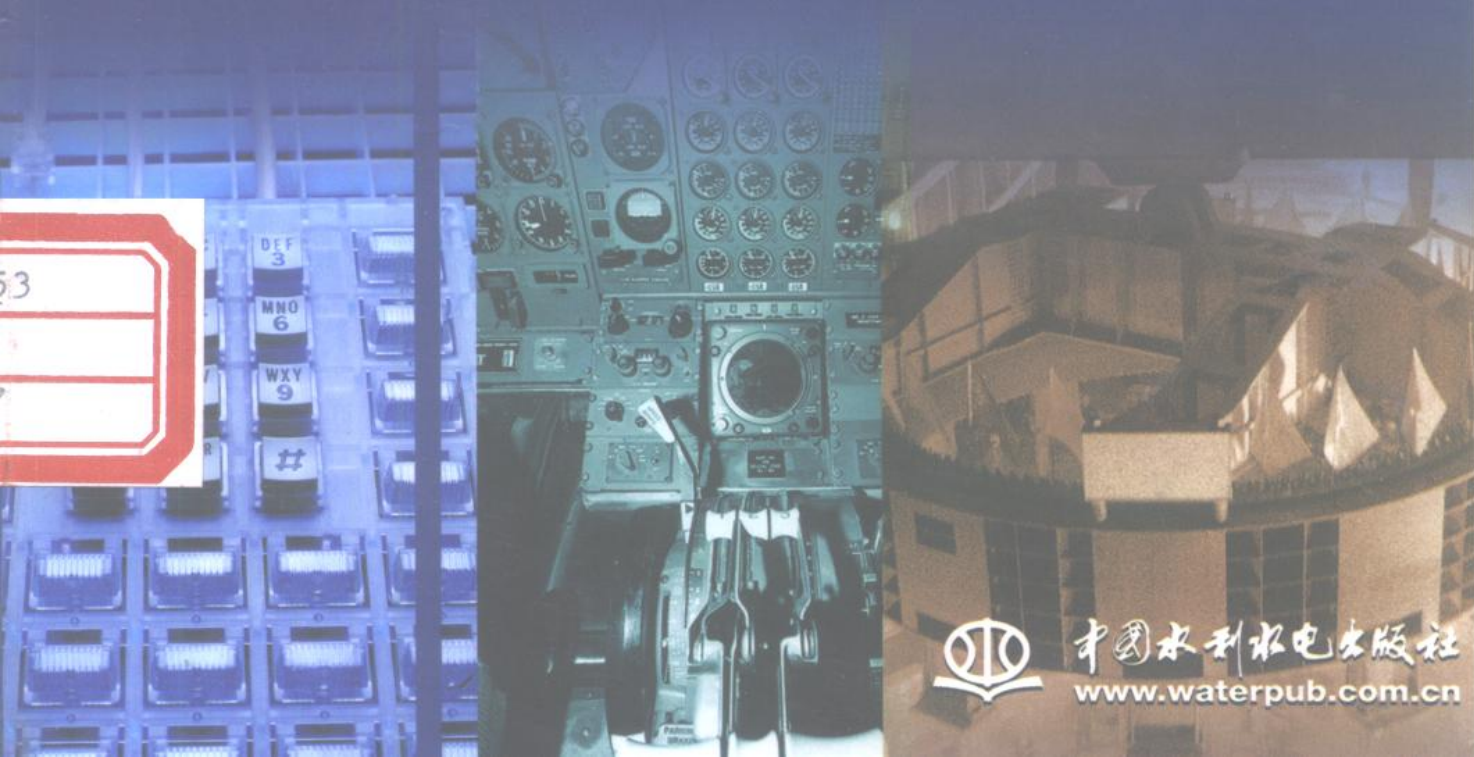


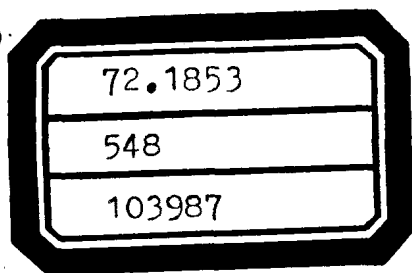
高等 学校 教材

电力 系统分析

张 炜 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校教材

电力系统分析

张炜 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

2F57/A+ 115

内 容 提 要

本书共九章,主要内容有:电力系统的基本概念(第一章),电力系统的潮流计算(第二章、第三章),电力系统运行的优化和调整(第四章、第五章),电力系统故障分析和计算(第六章、第七章、第八章),电力系统的稳定性(第九章)等。

第一章介绍了电力系统的基本知识、电力系统各元件的特性和数学模型。第二章介绍电力系统的分析计算方法。第三章介绍用计算机进行电力系统潮流计算的方法。第四章介绍电力系统有功功率和频率调整问题。第五章介绍无功功率和电压调整问题。第六章介绍电力系统对称短路的分析和计算方法。第七章介绍电力系统不对称故障的分析和计算方法。第八章介绍用计算机计算电力系统中各种简单故障的方法。第九章介绍电力系统的静态稳定和暂态稳定问题。

本书是电力系统及其自动化专业的专业课程教材,既可供电力类有关专业使用,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/张炜主编. —北京:中国水利水电出版社,1999. 12
高等学校教材
ISBN 7-5084-0208-1

I. 电… II. 张… III. 电力系统-分析-高等学校-教材 N. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 54548 号

书 名	电力系统分析
作 者	张 炜 主编
出 版	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址:www. waterpub. com. cn E-mail:sale@waterpub. com. cn 电话:(010)63202266-2110、2111(瑞兴)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	人民大学印刷厂
印 刷	北京市通州燕山印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 496 千字
版 次	1999 年 12 月第一版 1999 年 12 月北京第一次印刷
印 数	0001—2500 册
定 价	32.50 元

凡购买本图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社瑞兴文化艺术中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

本书是参照原电力部电力高等专科学校教导委员会制订的发电厂及电力系统专业《电力系统分析》课程教学大纲，并结合高等专科学校专业教育教学改革的要求，按照专科教育的特点而制订的编写大纲编写的。

本书对电力系统中各种问题进行分析计算时，以说明物理概念为重点，对较复杂的公式推导尽量简化，以结合物理概念实际应用为度。在编写内容上，除尽可能讲清楚基本概念、基本理论外，也注意介绍电力系统中已应用的新技术。

本教材的重点是电力系统的潮流计算、各种故障的分析计算和电力系统稳定的分析计算，现在这些分析计算一般是采用计算机进行，但为了便于学生掌握、巩固所学知识，除介绍计算机分析计算的原理外也介绍了手算的方法。

本书由太原电力高等专科学校武成香编写第一、二、四、五章，其余由张炜编写，并由张炜主编。由山西省电力调度局阎有朋高级工程师主审。

在编写过程中，清华大学周荣光教授、山西省电力科学研究院娄鸿祥、山西电力设计院王九蕴、山西省电力局生产处翟启明等高级工程师都提出了宝贵的意见，特此致谢。

由于编者的水平有限，书中难免有缺点错误，欢迎读者给予批评指正。

编 者

1999年10月

目 录

前 言

第一章 电力系统的基本概念	1
第一节 电力系统概述.....	1
第二节 电力系统的负荷和负荷曲线.....	5
第三节 电力系统的接线和额定电压等级.....	8
第四节 电力线路的结构	11
第五节 电力系统元件的参数和等值电路	15
第六节 标幺制	29
小结	35
第二章 简单电力系统的分析和计算	37
第一节 网络元件中的电压降落和功率损耗	37
第二节 电能损耗	45
第三节 电力网络的潮流分布计算	47
第四节 网络变换	63
第五节 电力线路导线截面积的选择	68
小结	70
第三章 电力系统潮流的计算机算法	71
第一节 电力网络的数学模型	71
第二节 功率方程	88
第三节 潮流分布计算的计算机算法	92
小结.....	109
第四章 电力系统有功功率和频率调整	110
第一节 电力系统有功功率的平衡.....	110
第二节 电力系统有功功率的最优分配.....	114
第三节 电力系统的频率调整.....	126
小结.....	136
第五章 电力系统无功功率和电压调整	137
第一节 电力系统无功功率的平衡.....	137
第二节 电力系统无功功率的最优分布.....	144
第三节 电力系统的电压管理.....	148
第四节 电力系统电压调整的措施.....	151
小结.....	162
第六章 电力系统对称故障的分析和计算	164
第一节 概述.....	164

第二节	同步发电机的基本方程和等值电路	169
第三节	同步发电机突然三相短路的物理过程	184
第四节	同步发电机突然三相短路电流分析	189
第五节	三相短路电流的实用计算	198
小结		209
第七章	电力系统不对称故障的分析和计算	210
第一节	对称分量法及其在不对称短路计算中的应用	210
第二节	电力系统各元件的序参数及等值电路	215
第三节	电力系统各序网络的制订	223
第四节	故障处短路电流和电压的计算	227
第五节	不对称故障时电网中电流、电压的分布	238
第六节	非全相运行的分析和计算	243
小结		247
第八章	电力系统故障的计算机算法	249
第一节	概述	249
第二节	对称短路计算	249
第三节	简单不对称故障计算	254
第四节	电力系统故障计算程序原理框图	254
小结		257
第九章	电力系统的稳定性	258
第一节	概述	258
第二节	同步发电机组的转子运动方程	260
第三节	电力系统中的电磁功率特性	262
第四节	电力系统静态稳定	269
第五节	电力系统暂态稳定	288
小结		316
附录		318
附录 I	架空线路的电气参数	318
附录 II	电力变压器技术数据	321
附录 III	短路电流运算曲线	323
附录 IV	国产发电机主要电气技术数据	325
参考文献		326

第一章 电力系统的基本概念

第一节 电力系统概述

一、电力系统的组成

电力系统是由生产、输送、分配和消费电能的发电机、变压器、电力线路和电力用户组成的整体,是将一次能源转换成电能并输送和分配到用户的一个统一系统。电力系统还包括保证其安全可靠运行的继电保护装置、安全自动装置、调度自动化系统和电力通信等相应的辅助系统(一般称为二次系统),以及通过电或机械的方式联入电力系统中的设备(如发电机的励磁调节器、调速器等)。与电力系统相关联的还有“电力网络”和“动力系统”。电力系统示意图见图 1-1。

电力网络是电力系统中输送、变换和分配电能的一部分,如图 1-1 中虚线框内的部分,包含输电网络和配电网络。其中输电网络一般是电力系统中最高电压等级的电网,是电力系统的主要网络。同时,输电线路还有联络相邻电力系统和联系相邻枢纽变电所的作用。在现代电力系统中既有超高压三相交流输电,又有超高压直流输电(这种电力系统又称交、直流混合输电系统)。而配电网是将电能从枢纽变电所分配到配电变电所后,再向用户供电的电力网络。

动力系统是电力系统和“动力部分”的总和。动力部分包括热力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备,水力发电厂的水库、水轮机,原子能发电厂的反应堆等。

二、电力系统的发展概况

电力技术的发明、电力工业的发展至今已有 100 余年的历史。1831 年法拉第发现了电磁感应定理,奠定了发电机的理论基础;1882 年爱迪生建成了世界上第一座正规发电厂,有 6 台直流发电机,共 661.5kW,通过 110V 电缆供照明使用,送电距离为 1.6km;1886 年美国的乔治·威斯汀豪斯建成了第一个单相交流输电系统;1891 年德国建成了第一条三相交流送电线路。

三相交流制很快显示了优越性,直流制很快被淘汰。电力的广泛应用,电力需求的大大增加,促使电力技术和电力工业进一步向高电压、大机组、大电网的方向发展。截至 1995 年底,世界上输电线路电压最高已达到 1150kV、输送距离最长已达到 1900km,一个电力系统的总装机容量已达到 22340 万 kW,最大的火电机组容量已达到 130 万 kW。

由于大电网的出现,为了解决同步发电机之间并列运行的稳定性问题,又重新采用了直流输电,而目前的直流输电采用的是超高压(超过 500kV)、远距离(超过 1000km)、大容量(超过 100 万 kW)。

我国电力工业从 1882 年上海建立第一个 12kW 发电厂起至 1949 年全国解放时,全国发电的总装机容量仅为 185 万 kW,年发电量为 43 亿 kW·h,分别名列世界第 25、21 位。而

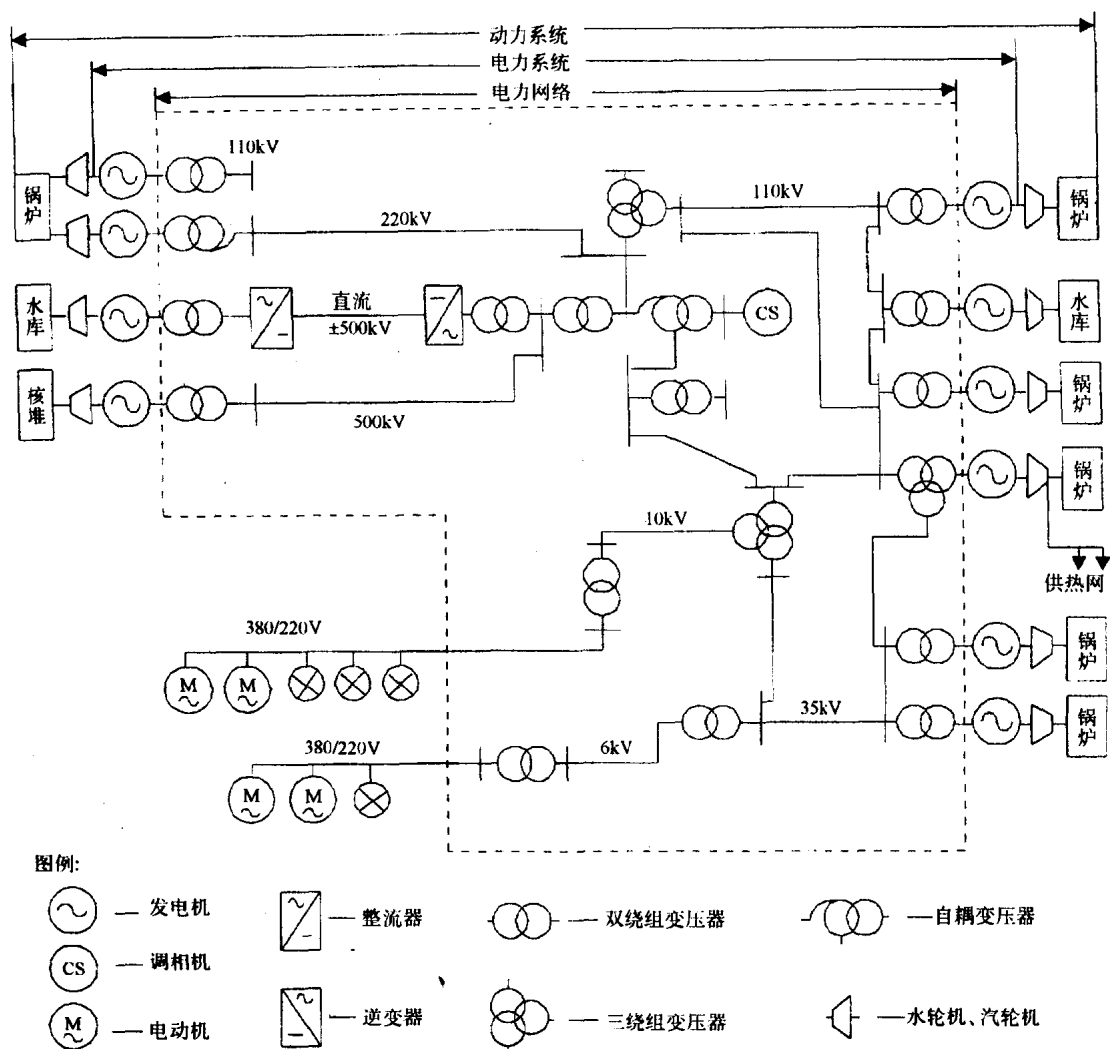


图 1-1 电力系统单线示意图

到 1990 年,全国发电装机容量已达到 13789 万 kW,年发电量达到 6213 亿 kW·h,均名列世界第 4 位。1994 年全国发电装机容量为 19990 万 kW,年发电量为 9279 亿 kW·h。国内目前已经建成 500kV 交流输电线路和 ±500kV 直流输电线路,汽轮发电机组的单机容量已经达到 60 万 kW,核电机组已达到 90 万 kW。全国已形成东北、华北、华东、华中、西北和南方联营等跨省(区)的容量达到 2000 万 kW 的联合电力系统。正在建设的三峡水电站,可促进全国电力系统的形成。

三、联合电力系统

随着电力工业的发展需要和科学技术的进步,世界各国都在致力于将跨越省(区)甚至国界的几个电力系统联接起来联合运行,形成所谓“联合电力系统”。联接各个电力系统的输电线路称为“联络线”。

由于联合电力系统的逐步形成与发展,电力系统中的输送功率、输送距离与输电线路的电压等级之间的关系日趋重要,使远距离、超高压输电线路逐步建立。电力线路上传输的功

率越大,输送距离越远,从技术经济角度考虑,选择较高的电压等级越有利。表 1-1 列出了电力线路的电压与输送容量、距离的关系。

表 1-1 电力线路的电压与输送容量、距离的关系

线路电压(kV)	输送容量(MVA)	输送距离(km)
35	2~10	20~50
60	3.5~30	30~100
110	10~50	50~150
220	100~500	100~300
330	200~800	200~600
500	1000~1500	150~850
750	2000~2500	500 以上

电力系统互联后可以获得显著的技术经济效益,具有一系列优点:

(1)合理开发一次能源,实现水电、火电资源的优势互补。可以在煤炭资源丰富的矿口建设大型火电厂向负荷中心送电;可以建设有调节能力的大型水电厂,充分利用水力资源,在丰水季节多发水电,节省火电厂的燃料。这样既可解决能源、负荷分布的不平衡,又可充分发挥水电、火电的运行特点。实行互联系统经济调度后还可获得补充的经济效益。

(2)减少电力系统的总装机容量。由于联合电力系统跨越的地域广大,各地区最大负荷发生的时间不尽相同,因此全系统总的最大负荷必然小于各地区最大负荷之和。

(3)减少备用容量。由于电力系统中的各种设备会发生故障或需要检修,系统中必须设置一定的备用容量。互联系统中各地区设备的检修时间可以错开安排,轮流检修,这样可以减少检修备用容量。而在各系统发生故障或事故时,也可以通过联络线互相支援,这样可以减少事故备用容量。

(4)便于采用效率高的大容量发电机组。在系统容量较小的电力系统中,如果安装了占系统容量比重较大的机组,一旦该机组因事故等原因退出工作,将对系统产生很大的影响,甚至造成系统不能正常运行。而在大型的联合电力系统中,虽然单机容量数值较大,但所占系统容量的比重很小,对电力系统的影响也较小,因此非常有利于采用高效率的大容量机组。

(5)提高供电可靠性及电能质量。联合电力系统的容量很大,其中一部分发生故障或负荷波动时,对整个电力系统的影响较小,因此能提高供电的可靠性和保证一定的电能质量。

但系统联系的增强也产生了一些新问题。如系统的构成复杂、运行难度大;发生局部故障会波及相邻系统,如果处理不当使事故扩大时,会危及整个系统的安全稳定运行,从而带来严重的大面积停电后果;电力系统中故障电流会相应增大,而且增加了对通信线路等的干扰;需要进行联络线的功率控制等。随着电力系统运行技术水平的提高、自动化设备性能的提高以及电力电子新技术的应用,特别是电子计算机的应用,这些缺点正在被逐步克服。

例如为了解决联合电力系统运行的稳定性等问题,世界各国都在广泛采用超高压、远距离直流输电技术。直流输电的原理及运行方式如图 1-2 所示。在直流输电系统中还包括了各

种交、直流转换的换流设备和控制设备。高压直流输电的基本方式通常有单极、双极和同极直流输电系统,分别示于图 1-2 中的(a)、(b)、(c)。

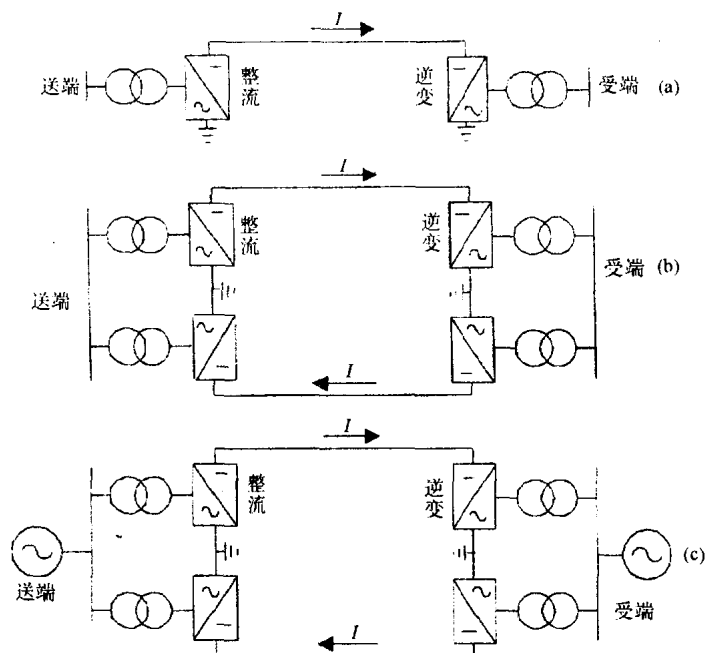


图 1-2 直流输电的原理及运行方式

(a) 单极直流输电系统; (b) 双极直流输电系统; (c) 同极直流输电系统

四、电力系统运行的特点与要求

(一)电力系统运行的特点

电力系统的运行与其它工业系统相比较,有非常明显的特点:

- (1) 与国民经济、人民生活联系非常紧密。
- (2) 过渡过程非常短促。
- (3) 电能不能大量储存,电能的生产、输送、分配、使用是同时进行的。

(二)对电力系统的要求

根据以上特点,对电力系统运行的基本要求是:

1. 保证供电的可靠性

如果供电中断将会使生产停顿、人民生活发生混乱,甚至危及人身、设备安全,造成十分严重的后果。应尽可能采取措施,保证向用户持续、可靠地供电。

不是所有负荷都绝对不能停电,根据负荷允许停电程度的不同,可将负荷分为三级:

- (1) 第Ⅰ级负荷:如果停电将造成人身、设备事故,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。
- (2) 第Ⅱ级负荷:如果停电将造成大量减产,使人民生活受到影响。
- (3) 第Ⅲ级负荷:不属于第Ⅰ、Ⅱ级的负荷,如工厂的附属车间、小城镇等。

对第Ⅰ级负荷要保证不间断供电;对Ⅱ、Ⅲ级负荷,在必须有部分负荷停电的情况下,应优先考虑保证第Ⅱ级负荷的连续供电。

2. 保证良好的电能质量

电压和频率是两个主要的电能质量指标,也是电气设备设计和制造的主要技术参数。当电力系统的运行电压和频率超过允许的偏移值时,将影响设备的安全运行,并可能造成减产、产生废品等。我国规定额定频率为 50Hz,允许的频率偏移是 $\pm 0.2 \sim \pm 0.5\text{Hz}$;用户供电电压允许的偏移是额定电压的 $+5\% \sim -7\%$ 。

电力系统供电的波形要求是正弦波,但现代电力系统的用电设备中出现了换流设备、变频—调速设备、电气机车等非线性负荷,对电力系统的波形会产生较大的影响,使波形畸变,影响电气设备的安全、经济运行,同时也干扰通信等行业,因此必须对此有足够的重视。

3. 保证系统运行的经济性

电能的生产规模大,其消耗的一次能源占国民经济能源总消耗的比重很大。应在电力系统中开展经济运行工作,在保证安全、可靠地发供电及电能质量达到一定指标的前提下,合理地安排各类发电厂所承担的负荷,力求降低能源消耗、厂用电率和电力网的输配电损耗等,以求得最大的经济效益。

五、电力系统分析课程的主要内容

电力系统研究的问题有电力系统运行和电力系统规划两方面。本课程的重点在前者,适当兼顾电力系统规划方面的某些问题。

本课程可分两部分,即电力系统稳态分析和电力系统暂态分析。

电力系统稳态运行指电力系统正常的、相对静止的运行状态。电力系统稳态分析包括三个方面,即电力系统的基本知识和等值网络;电力系统正常运行状况的分析和计算;电力系统有功功率—频率、无功功率—电压的控制和调整。

电力系统暂态过程指电力系统急剧地从一种运行状态向另一种运行状态过渡的过程。电力系统的暂态过程可划分为三类——波过程、电磁暂态过程和机电暂态过程。

波过程主要与运行操作或雷击时的过电压有关,涉及电流、电压波的传播。这类过程最短暂,属于高电压技术课程的范畴。

电磁暂态过程主要与电力系统中发生短路故障和自励磁有关,涉及电流、电压,有时也涉及功率角 δ 随时间的变化。机电暂态过程主要与电力系统受到各种扰动下系统的振荡、稳定性破坏、异步运行等有关,涉及功率、功率角、旋转电机的转速等随着时间的变化。这两类过程是电力系统暂态分析课程讨论的内容。

电力系统中三类暂态过程是相互关联的,对其中一类过程进行讨论时,可对其他过程作某些合理的简化处理,以突出研究的重点。

第二节 电力系统的负荷和负荷曲线

一、电力系统的负荷

电力系统中所有用电设备消耗的功率总和称为电力系统的负荷,也称为电力系统的综合用电负荷,它包括工农业、交通运输和人民生活等各方面的用电设备所消耗的功率。主要有异步电动机、同步电动机、电热电炉、整流设备、照明设备等若干类别,在不同的用电部门

与工业企业中,上述各类负荷所占比重各不相同,其中最大量的是异步电动机。

将综合用电负荷再加上网络中损耗的功率就是系统中各发电厂应供给的功率,称为电力系统的供电负荷。供电负荷再加上发电厂本身所消耗的功率就是电力系统中所有发电机应发的功率,称为电力系统的发电负荷。

二、负荷曲线

电力系统中负荷随时间而不断变化,具有随机性,其变化情况可用负荷曲线表示。按负荷的种类可分为有功功率负荷曲线和无功功率负荷曲线,常用的是有功功率负荷曲线,因此一般所称的负荷曲线指有功功率负荷曲线。按时间的长短可分为日负荷曲线、月负荷曲线和年负荷曲线等。按计量的地点可分为个别用户、电力线路、变电所、发电厂等局部系统曲线。

常用的负荷曲线有下述几种。

(一) 日负荷曲线

日负荷曲线描述系统负荷一天 24 小时内所需功率的变化情况,是供调度部门制定各个发电厂发电负荷计划的依据。某系统的日负荷曲线见图 1-3,图中实线为有功负荷曲线,虚线为无功负荷曲线。

负荷曲线中最大负荷称日最大负荷 $P_{\max}$ (又称高峰负荷)、日最小负荷为 $P_{\min}$ (又称低谷负荷),最小负荷以下的部分称为基本负荷(基荷)。高峰负荷与低谷负荷之差称为峰谷差,反映了一天内负荷变化的极限,对系统运行有很大影响。日平均负荷以上的部分称为峰荷,最小负荷与平均负荷之间的部分称为腰荷。

利用日负荷曲线可估算用户消耗电量 W 的大小

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

它显然是日负荷曲线 P 下所包围的曲边梯形的面积。 P 的单位为 kW , t 的单位为 h (小时),则电量 W 的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

日无功功率负荷曲线和有功功率负荷曲线相似,但两条曲线相应的极值不一定同时出现。

(二) 年最大负荷曲线

年最大负荷曲线是表示一年内每月(或每日)最大有功功率负荷变化的曲线,可供调度、计划部门有计划地安排全年机组检修、扩建或新建发电厂。年最大负荷曲线见图 1-4,其中 A

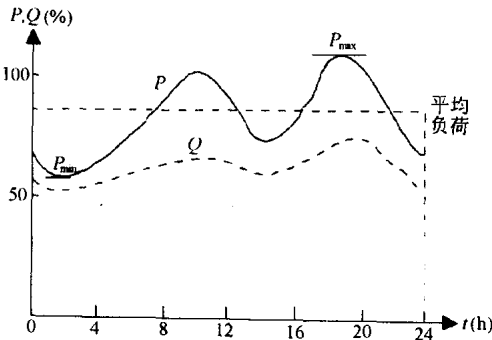


图 1-3 日负荷曲线

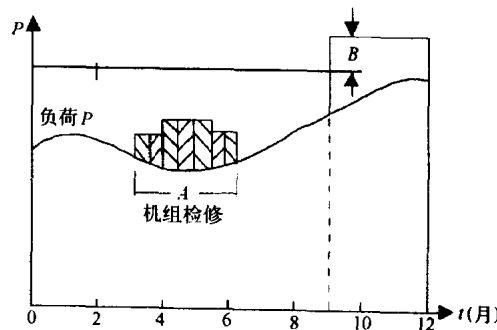


图 1-4 年最大负荷曲线

是系统机组检修计划的时间和容量, B 是系统新建或扩建机组的容量。装机容量与最大负荷的差值为系统的备用容量, 包括负荷备用、事故备用、国民经济备用等。这些备用容量应兼顾可靠性、经济性等统筹安排。

(三) 年持续负荷曲线

将电力系统全年负荷按其大小及累积持续运行时间 $t(\text{h})$ 的顺序排列而制作的曲线, 可供编制电力系统发电计划和进行可靠性计算用, 见图 1-5。图中 A_1 表示一年内负荷值超过 P_1 的累积持续时间共有 t_1 小时。由此曲线可计算出系统中全年负荷消耗的电能

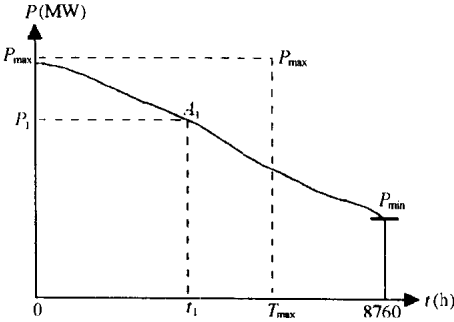


图 1-5 年持续负荷曲线

$$W = \int_0^{8760} P dt \quad (1-2)$$

即曲线下所包围的面积。如果将全年负荷所消耗的电能 W 与全年最大负荷 $P_{\max}$ 相比可得年最大负荷利用小时数 $T_{\max}$

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}} = \frac{\int_0^{8760} P dt}{P_{\max}} \quad (1-3)$$

由年最大负荷利用小时数和最大负荷即可估算系统的全年用电量 W

$$W = P_{\max} T_{\max} \quad (1-4)$$

三、负荷特性

负荷特性是指负荷功率随负荷端电压或系统的频率变化而变化的规律, 因此可分为电压特性和频率特性。进一步可分为静态特性和动态特性两类, 静态特性指电压或频率在稳态时与负荷功率的关系, 动态特性指电压或频率变化过程中与负荷功率的关系。由于负荷的有功功率和无功功率变化规律不同, 还可分为有功功率特性和无功功率特性。将上述三种特征结合即可确定一种特定的负荷特性。如某工业城市的静态电压特性和静态频率特性(包括有功和无功功率)见图 1-6, 图(a)为静态电压特性, 图(b)为静态频率特性。这些特性对研究调压、调频的措施有直接的关系。

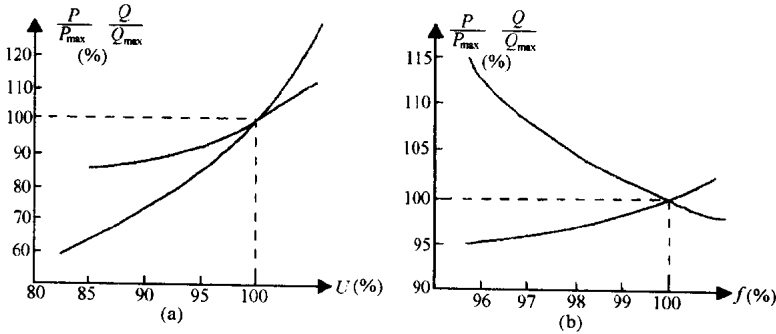


图 1-6 静态电压特性和静态频率特性

第三节 电力系统的接线和额定电压等级

一、电力系统的接线

(一) 接线图

电力系统接线图有电气接线图和地理接线图。电气接线图常用单线图反映系统中各个主要元件(发电机、变压器、负荷等)之间的电气联接关系,图 1-1 就是一种电气接线图,它不能反映各发电厂、变电所的相对地理位置及电力线路的路径。而地理接线图按比例反映了各发电厂、变电所的相对地理位置及电力线路的路径,但不能反映各元件之间的电气联系,见图 1-7。

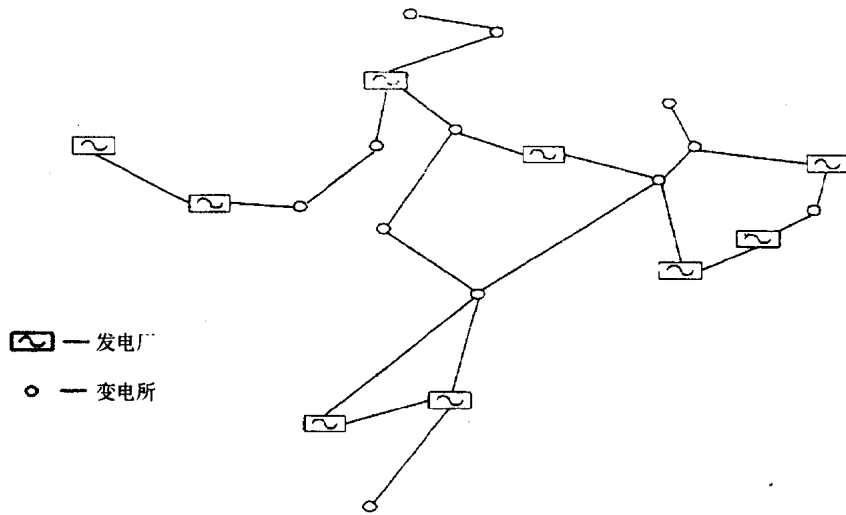


图 1-7 电力系统的地理接线图

(二) 接线方式及特点

电力系统的接线方式基本上可分为无备用接线和有备用接线两大类。无备用接线包括单回路的放射式、干线式和链式,见图 1-8。有备用接线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,见图 1-9。

无备用接线方式的结构简单、经济且运行方便,但供电可靠性差,常与自动重合闸装置配合运行。

有备用接线中,双回路的放射式、干线式和链式的供电可靠性高、电能质量高,但不够经济。而环式、两端供电网络的供电可靠性高、经济、运行方式灵活,但运行调度较复杂,发生故障

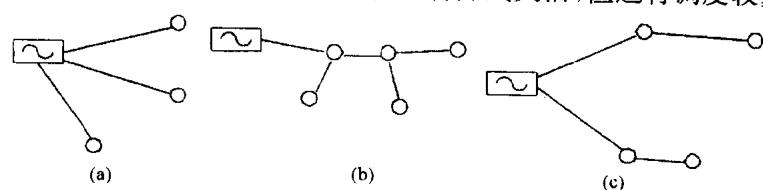


图 1-8 无备用接线

(a) 放射式; (b) 干线式; (c) 链式

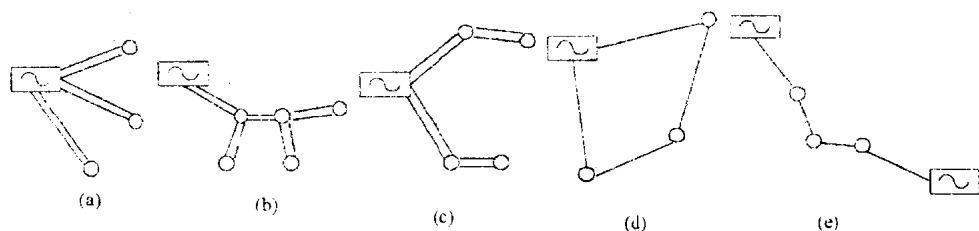


图 1-9 有备用接线

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

时某些点的电压质量差。

实际电力系统的接线方式需要对多种方案进行技术经济比较后才能确定,所选的接线方式应满足运行的可靠性、灵活性、经济性和操作的安全性。

二、电力系统的额定电压

电力系统的额定电压及合理的电压系列的选择是一个涉及面很广的综合性问题,除考虑送电容量、距离、运行方式等因素外,还应根据动力资源分布、电源及工业布局等进行技术经济比较。为便于电气设备的设计制造及使用,国家规定了电气设备的额定电压系列标准。各种用电设备只有在额定电压(包括额定频率)下运行才能取得最佳技术性能和经济效果。而在一个电力系统中,电压系列的电压等级差,按国内外的一般经验应为 2~3 倍。我国现行的电力系统额定电压标准如表 1-2 所示。

表 1-2 额定电压等级(单位:kV)

电力设备额定电压	发电机电压	变压器线电压	
		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	525
750		750	

注 列入()内的电压为将要淘汰的电压级。

电力线路的额定电压依照与电力设备的额定电压相等来选定。而表 1-2 中发电机、变压器的额定电压是按如下原则确定:

发电机一般位于电力线路的始端,由于沿电力线路的电压降落,因此要求发电机额定电压高于线路的额定电压。但发电机的机端通常接有负荷,其额定电压偏移不应超过额定值的5%,因此发电机的额定电压比线路的额定值高+5%。

变压器的一次侧相当于用电设备,其额定电压应等于用电设备的额定电压。如果变压器的一次侧直接与发电机相联,则应等于发电机的额定电压。而变压器的二次侧相当于电源,所联接的电力线路末端的电压一般要降低约10%,为使线路末端所带负荷的电压偏移不超过-5%,则变压器二次侧电压应该比线路额定值高+5%,在额定负荷下变压器内部还有约5%的电压降落,因此变压器二次侧额定电压应比线路的额定电压高+10%。只有漏抗较小(百分值为7.5%以下)、二次侧直接与用电设备相联的变压器,其二次侧额定电压才比线路额定电压高+5%。

变压器二次侧接380V低压配电网时,其二次侧额定电压为400V。

三、电力系统的中性点接地方式

电力系统中性点接地方式有直接接地(有效接地)、不接地(中性点绝缘)和从属于不接地方式的经消弧线圈接地(非有效接地)。中性点接地方式涉及到供电可靠性、短路电流大小、绝缘水平、接地保护方式、电压等级、系统接线、通讯干扰、系统稳定性等许多方面的一个综合性技术问题,本节中仅作简单介绍。

中性点直接接地系统,当发生单相短路接地故障时,中性点的电位保持为0,非故障相对地电压基本不变,但短路点与中性点都接地,从而构成了短路回路,接地相的电流很大,必须迅速切除接地相甚至三相,从而影响了供电的可靠性。

中性点不接地系统,当发生单相短路接地故障时,不能构成短路回路,接地相电流不大,不必迅速切除故障相,而非故障相的对地电压却升高为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍。这种系统的供电可靠性高,但对绝缘的要求也高,示意图见图1-10。

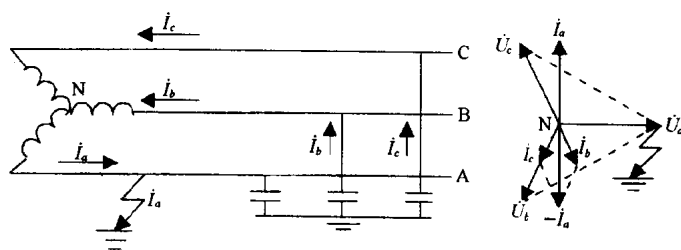


图 1-10 中性点不接地系统的单相接地示意图

中性点经消弧线圈接地系统,是在中性点装设接地的电抗线圈。在中性点不接地系统中,当发生单相短路接地故障时,由于导线对地电容的影响使接地相电流呈容性,有可能使故障点电弧不能自行熄灭并引起弧光接地过电压,甚至发展成严重的系统性事故。在中性点装设接地消弧线圈则构成了另一个回路,可以形成一个与容性接地电流的大小接近的感性电流,减小了接地点电流,可消除故障处电弧,提高供电的可靠性。其示意图见图1-11。中性点经消弧线圈接地时,有过补偿和欠补偿之分。当感性电流大于容性电流时称为过补偿,反之称为欠补偿。

中性点接地方式一般可按电压等级进行选择。我国110kV及以上的电力系统,考虑降

低绝缘水平和费用而采用中性点直接接地方式;60kV 及以下电力系统为提高供电可靠性,一般采用中性点不接地方式,但单相接地故障的容性电流大于下列数值时应装设消弧线圈:3~6kV 网络,容性电流 30A;10kV 网络,容性电流 20A;35~60kV 网络,容性电流 10A。

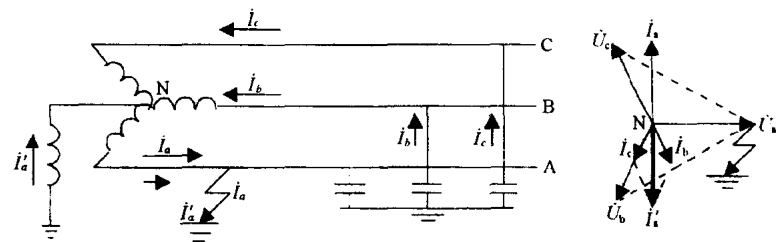


图 1-11 中性点经消弧线圈接地系统的单相接地示意图

第四节 电力线路的结构

电力线路按结构可分为架空线路和电缆线路两大类。架空线路将导线架设在室外的杆塔上,见图 1-12;电缆线路一般埋于地下的电缆沟或管道中。由于架空线路的建设费用比电缆线路低得多,便于架设、维护和修理,因此大部分电力线路都采用架空线路,只在不适宜用架空线路的地方(如大城市配电系统,过江、跨海、严重污秽区等)采用电缆线路。由一组三相导线组成的电力线路称为一回线路,也称单回线路。根据需要也有采用双回或多回线路。

- 架空线路由导线、避雷线(架空地线)、杆塔、绝缘子和金具等元件组成。其用途为:
- (1) 导线传导电流,输送电能。
 - (2) 避雷线将雷电流引入大地,以保护线路免受雷击。
 - (3) 杆塔起支持导线和避雷线的作用,并使导线之间、导线和杆塔以及大地之间保持一定的距离。
 - (4) 绝缘子使带电体与接地杆塔之间保持良好的绝缘。
 - (5) 金具可用于导线、导线和绝缘子、绝缘子和杆塔之间的联接,有的金具对导线起保护作用。

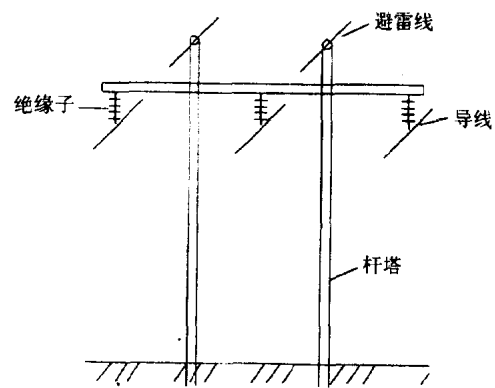


图 1-12 架空线路结构示意图

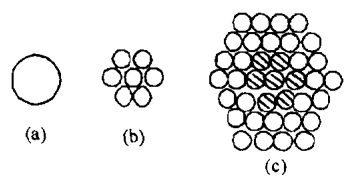


图 1-13 裸导线的结构
(a) 单股线; (b) 多股绞线; (c) 钢芯铝绞线