

电力系统运行

湖北省电力公司生产技能培训中心

周立红 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

电力系统运行

湖北省电力公司生产技能培训中心

周立红 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书依照国家职业技能鉴定规范要求,结合当前实际情况,紧密联系现代化变电设备新技术,详细讲解了电力系统运行方面的基础理论和专业知识。全书共分为9章,包括:电力系统基本知识、电压与无功功率控制、频率与有功功率控制、稳定性及控制、过电压及防雷保护、电力系统的操作、综合自动化、变电所常见故障及事故处理、变电所安全和运行管理等。

本书可作为电力运行岗位技术人员及职工培训、自学用教材或参考资料使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统运行/周立红著. —北京:中国水利水电出版社, 2004.4

ISBN 7-5084-1976-6

I. 电... II. 周... III. 电力系统运行—技术培训—教材 IV. TM732

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第026091号

书 名	电力系统运行
作 者	湖北省电力公司生产技能培训中心 周立红 著
出版 发行	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: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 11.25印张 267千字
版 次	2004年5月第1版 2004年5月第1次印刷
印 数	0001—3100册
定 价	22.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

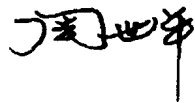
版权所有·侵权必究

序 言

《电力系统运行》符合国家职业技能鉴定规范的要求,内容编写紧密结合实际,可作为电力运行岗位人员的培训或在岗人员自学的教材。该书从基础理论到专业知识,由浅入深,环环相扣,贯穿主线,全面系统地阐述了电力系统运行方面的有关知识。同时还立足于现场,注重理论联系实际,并紧密联系了现代化变电设备的新技术,如变电站综合自动化和事故处理等内容,具有较强的针对性。

本书的作者周立红具有多年相关学科的教学经验,特别是对电力系统的运行方面有一定教学体会,并多次深入现场,参加了不少火电厂、水电站及变电所的扩建和大修实习,1986年参加了《湖北省凤凰山变无功补偿运行方式与葛洲坝功率外送稳定性》的调试工作,对于220kV变电站仿真系统比较了解。周立红女士长期从事专业教学及多媒体计算机仿真培训,积累了丰富的教学经验并具有一定的教学特色,为电力系统培养了大批熟练掌握变电所运行技术的人才。

本书是作者多年教学实践和现场学习的结晶,该书的出版旨在能为电力系统运行岗位人员的培训和自学者提供有益的帮助。



2003年10月8日

前 言

随着我国建设事业的发展,电力工业在完善体制改革的同时,加速了电力建设的进程。三峡水电站,大型的现代化的火电厂和水电站的不断兴建,500kV超高压线路架设,使全国的各个电网的互联速度加快,国家电力公司的两大网络构架已完善,华中和华东已经实现联网,其他电网的互联也指日可待。

在电力技术向高新化、复杂化迅速发展的过程中,电力系统在从发电到供电的所有领域中,通过新技术的应用,不断地提高供电的安全性和稳定性,以保障社会活动和经济发展的需求。对于电力系统的操作人员和技术人员,只有逐步提高适应时代发展的专业技术水平,才能适应上述发展的需要。

本书以电力系统运行岗位的人员为对象,根据国家职业技能鉴定规范的要求,系统介绍电力系统运行方面的内容。既是一部满足生产第一线工作者需要的培训教材和参考书,也是一本能在较短时间内帮助学习者掌握知识要领的速成教材。适合作为培训教材或自学者使用。本书的内容组成如下:

第1章 电力系统的基本知识——了解电力系统有关知识。

第2章 电力系统的电压与无功功率控制——学习电力系统无功功率平衡与电压调压方式。

第3章 电力系统的频率与有功功率控制——介绍有功功率与频率调整知识。

第4章 电力系统的稳定性及控制——学习静态和暂态稳定的知识。

第5章 电力系统的过电压与防雷保护——学习过电压有关知识和了解防雷设备。

第6章 电力系统的操作——学习同期并列的有关知识和系统操作。

第7章 变电所的综合自动化与无人值班——学习变电站综合自动化的有关知识。

第8章 变电所设备常见故障及事故处理——学习各种电气设备常见故障、系统事故判断和处理方法。

第9章 变电所的安全运行管理和设备管理——熟习电力系统的安全生产和运行管理方面的知识。

学习本书要边学习边思考，特别是事故处理方面通过联系实际情况和书中的典型案例来分析，学习者可以针对自己工作中发生的一些事故作出理论和专业上的分析和判断。

本书以专业基础知识分析为起点，力求达到通俗易懂，若能对电力岗位人员或与电力相关的技术人员有所帮助，本人将感到十分荣幸。

本书在编写的过程中，得到了湖北省电力公司周世平总工程师、胡友道总工程师以及我校郑承胜校长的指导。对湖北省电力中试所周达山教授和武汉供电分局的叶胜峰局长、宋景全副校长的审校以及武汉供电局和变电所有关人员的大力支持和帮助，在此本人表示诚挚的谢意。

由于本人水平有限，难免存在错误和不足，欢迎广大读者提出宝贵意见，本人不胜感谢。

周立红

二〇〇三年十月

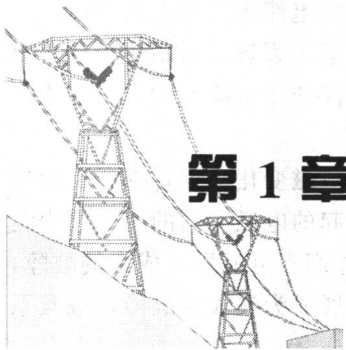
目 录

序言

前言

第 1 章 电力系统的基本知识	1
1.1 电力系统运行的基本要求	1
1.2 电力系统运行的经济性	2
1.3 电力系统的组成	6
1.4 供电质量	13
1.5 电力系统联网安全稳定问题	16
本章复习题	17
第 2 章 电力系统的电压与无功功率控制	20
2.1 电力系统电压调整的意义	20
2.2 电力系统的电压及无功功率控制	21
2.3 电力系统电压的控制措施	26
2.4 电力系统电压的无功功率控制方式	36
本章复习题	38
第 3 章 电力系统的频率与有功功率控制	41
3.1 电力系统频率和有功功率控制的意义	41
3.2 负荷频率的静态特性	42
3.3 发电机组频率的静态特性	43
3.4 电力系统频率的调整	44
本章复习题	50
第 4 章 电力系统的稳定性及控制	52
4.1 电力系统稳定及控制的重要性	52
4.2 稳定性的分类	52
4.3 静态稳定性	53
4.4 暂态稳定性	55
4.5 提高和改善电力系统静态和暂态稳定性的措施	58
本章复习题	63
第 5 章 电力系统的过电压与防雷保护	65
5.1 过电压的种类	65
5.2 内部过电压	66
5.3 雷电过电压	73
5.4 变电所的过电压保护设备	75

5.5 变电所的过电压保护	79
本章复习题	84
第6章 电力系统的操作	87
6.1 同期操作	87
6.2 同期装置的操作	89
6.3 电力系统的系统操作	91
本章复习题	94
第7章 变电所的综合自动化与无人值班	96
7.1 变电所综合自动化的基本概念	96
7.2 变电所综合自动化系统的基本功能	97
7.3 变电所自动化信息量的采集	105
7.4 变电所无人值班的基本条件	106
7.5 变电所自动化系统的技术和指标	107
7.6 变电所控制系统基本结构与组态模式	109
本章复习题	112
第8章 变电所设备常见故障及事故处理	115
8.1 事故处理的一般原则	115
8.2 变压器的常见故障及事故处理	116
8.3 变压器并列运行的条件	120
8.4 高压断路器的常见故障及事故处理	123
8.5 电压互感器的常见故障及事故处理	132
8.6 电流互感器的常见故障及事故处理	135
8.7 隔离开关的常见故障及事故处理	137
8.8 电力电容器的常见故障及事故处理	139
8.9 变电所用电及直流系统的常见故障	141
8.10 母线失压和全所失压的事故处理	145
8.11 电力线路的事故处理	149
8.12 系统频率降低的事故处理	150
8.13 电力系统振荡的事故处理	152
本章复习题	155
第9章 变电所的安全运行管理和设备管理	158
9.1 变电所的生产和安全管理	158
9.2 变电所的技术管理	164
9.3 变电所的设备管理	165
9.4 变电所工作流程	167
9.5 变电所违章操作事故实例	167
本章复习题	171



第 1 章 电力系统的基本知识

现代社会离不开电，随着国民经济的发展，工业及社会的用电量年年增加，电力网络也随着用电量的增加而扩大。面对年年增加的需求，为确保供电可靠性和经济性，要考虑日益增长用电需求搞好电源计划，同时必须从电力系统的全局来考虑全系统构成和控制。系统的基本构成应能确保各种运行设备所需要的服务水平，而且，在运行中还必须针对时时刻刻变化的用户，最大限度地发挥各种设备的能力，使整个系统稳定、优质、经济地运行。

1.1 电力系统运行的基本要求

1. 电力系统

电力系统包括水力、火力发电厂，输送功率用的输电线，转换电压及进行线路投切、保护的变电所，以网络的形式把发电厂和电力用户连成一个整体，将电能输送到每一个用户。也就是说电力系统是由发电机、变压器、自动装置、断路器等电力设备和架空线、电缆等输电线及附属的各种电压电流功率表等测量仪器、保护设备和整个控制、监视、通信设施等构成。

电力系统必须提高控制系统的可靠性，提供高质量的电能。在发生事故和异常时，能有效地进行保护切换和控制，迅速恢复系统正常运行和向用户的正常供电，也是电力系统的重要职责。

2. 电力系统组成的特点

电力系统是指，电能生产、变换、输送、分配、消费的各种设备，按照一定技术和经济要求所组成的系统。

电能的生产、输送、分配具有以下特点：

- (1) 电能不能大量存储。
- (2) 电能生产与国民经济各部门的关系密切。
- (3) 过渡过程十分短暂。

电是特殊的商品，电能的生产、变换、输送、分配、使用过程是一个瞬时的、快速动态平衡的过程。即发电厂每时每刻生产的电能取决于同一时刻的用电设备消费的能量与输送、分配中损耗的电能之和。电能以电磁波的形式传播，传播速度为 30 万 km/s。发电机、变压器、线路、用电设备的投入或停运，都在一瞬间完成，故障的发生和发展时间都十分短促，电力系统的暂态过程非常迅速。由于电能的瞬时性，所以必须采用高度自动控制技

术和自动装置控制才能迅速而准确地完成电能的生产任务，这是电能生产的最大特点。

由于电能与其他能量之间转换方便，适宜进行大量生产、集中管理、远距离输送、自动控制。现代工业、农业、交通、通信及生活的各个方面都广泛使用电能。因此电能生产直接影响国民经济各部门和社会生活各领域。

电力系统中电和磁是互相联系在一起的，任何一处发生的电磁变化过程，都会迅速传播影响整个电力系统，所以电力系统运行中发生突然变化所引起的电磁方面的变化过程是极其迅速的。电力系统中出现的电力设备故障、自然灾害等故障都有可能发展成大的故障，引起系统振荡，而且由于电能的瞬时性，在很短时间内可能发展成为较大的故障，危及系统安全稳定运行。

3. 电力系统的基本要求

电力系统的上述特点以及电力工业在国民经济中的地位和作用，对电力系统提出了下列基本要求：

- (1) 保证供电的可靠性。
- (2) 保证良好的电能质量。
- (3) 保证电力系统运行的经济性。
- (4) 最大限度地满足用户的用电需要。

电力系统对用户供电的中断将使生产停顿，生活发生混乱，甚至会危及人身、设备的安全，造成严重的后果和无法估量的经济损失。

保证供电的可靠性，首先要求系统元件的运行具有足够的可靠性，系统元件发生事故不仅直接造成供电中断，而且可能发展成为全局性的事故。经验表明，电力系统的全局性事故往往是由于局部事故扩展而成。其次，要求提高电力系统运行的稳定性，增强抗干扰能力，保证不发生或不造成大面积停电瓦解事故。为此，除了要不断提高运行人员的技术水平和责任心外，应该采用现代的电网运行监视和控制设备。

电压和频率是两个主要的电能指标，是供电设备以及用电设备设计和制造的主要技术参数。用电设备是按额定电压设计的，实际供电电压过高或过低都会使用电设备的运行指标、经济指标下降，甚至不能正常工作。电力系统的运行电压和频率超过允许的偏移值会影响设备的安全运行，用电设备生产的产品不合格，并可能造成供电设备和用电设备的损坏。我国规定，供电电压允许的偏移值是额定值的 $+5\% \sim -7\%$ 、额定频率超过允许的偏移是 $\pm(0.2 \sim 0.5)$ Hz。

在保证电力系统安全可靠发电、供电以及电能质量达到一定指标的前提下，应当合理安排各类发电厂的负荷，力求降低能源消耗，发电厂自身用电的消耗（厂用电率）以及电网的配电功率损耗，以获得最大的经济效益。



1.2 电力系统运行的经济性

1. 降低损耗

提高电力系统运行的经济性，就是使系统运行中做到多供、少损、降低煤耗（火电厂）、水库优化调度（水电站）。主要有以下3个考核指标：

- (1) 减少燃料消耗（火电厂、燃气、天然气，水电站发电用水）。
- (2) 减少厂用电量。
- (3) 减少线损率。

目前我国发电设备在生产过程中所消耗的厂用电率在 6%~10% 之间，截至 2001 年，我厂用电率为 6.24%，与世界发达国家比还相差较大。

我国各级电网的线损率在 3%~10%，截至 2001 年线路损失率已降到 7.55%，但还不够，与发达国家比还有很大的差距，应力争降低。

我国 5 年来发电设备平均利用小时数、发电厂厂用电率（%）和线路损失率（%）的统计情况见表 1.1。

表 1.1 发电设备、发电厂厂用电和线损率情况

年份	发电设备平均 利用小时数 (h)	发电厂厂 用电率 (%)	线路损失率 (%)	年份	发电设备平均 利用小时数 (h)	发电厂厂 用电率 (%)	线路损失率 (%)
1997	4765	6.8	8.2	2000	4517	6.28	7.7
1998	4501	6.66	8.13	2001	4588	6.24	7.55
1999	4393	6.5	8.1				

从表 1.1 中可看出，我国发电厂厂用电率和线损率正在逐年递减，从而提高了系统的供电能力和系统运行的经济性。

2. 电力系统的电能质量

衡量电力系统电能质量的 3 个重要参数是：电压、频率和波形。

(1) 频率标准。我国电力系统的额定频率是 50Hz，规定的容许偏差为：电网容量在 300 万 kW 及以上的，为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；电网容量在 300 万 kW 及以下的，为 $\pm 0.5\text{Hz}$ 。

频率下降使系统中的有功负荷不足，要求系统频率偏差值较小，就需要随时保持发电厂的有功功率和用户的有功功率平衡。

由于电力系统的负荷随时都在变化，因此系统的频率也随之变化，要使系统的频率变化不超过允许的范围，就必须对频率进行调整。

电力系统在正常运行方式下，应严格要求频率偏差不大于规定值，如因重大事故而造成频率下降时，必须采取措施，以迅速恢复电力系统的正常频率。

(2) 电压质量。我国的额定电压有：低压单相为 220V，三相为 380V；高压为 10、35、110、220、330、500kV；除发电厂直配电压可采用 3、6kV 外，其他等级的电压应逐步过渡到上述电压。

供电部门供给用户的受端电压变化幅值不应超过下列数值，见表 1.2。

表 1.2 各类用户的允许电压偏移（%）

110kV 及以下电压供电的负荷	+7	-7	农村电网（正常）	+7.5	-10
35kV 及以上电压供电的负荷	+10	-10	农村电网（事故）	+10	-15
低压照明负荷	+5	-7			

在事故运行状态下，由于电力系统部分设备退出运行，电压损耗比正常时大，考虑故障时间较短，电压偏移比正常值高 5%，但电压的正偏移不应超过 10%。

提高电力系统的质量可采取以下措施：

1) 当系统的无功不足时，要增加电力系统的无功电源。

2) 若系统中的无功不缺，则可通过改变变压器的分接头等措施，调整系统某个局部的电压水平。电压中枢点调压有三种方式：

a. 逆调压。逆调压是指最大负荷时，逆调压要求电压中枢点的电压较该点所连线路的额定电压高 5%，在最小负荷时，要求电压中枢点的电压等于该线路的额定电压。这种调压方式，适用于线路较长、负荷变动大的电网。

b. 恒调压。恒调压是指任何负荷时控制点的电压基本保持不变的调压方式，把中枢点的电压调整到比线路额定电压高 5% 左右的数值，保持不变。

c. 顺调压。顺调压是指控制点的电压调整为比高峰负荷时中枢点的电压略低。一般高峰时，中枢点电压不低于线路额定电压的 102.5%；低谷时中枢点的电压略高，一般低谷时中枢点的电压不高于线路额定电压的 107.5%，即要求电压中枢点的电压偏移在 2.5%~7.5% 的范围内。

各种调压方式中，逆调压对电力系统要求最高，用户使用电压质量最好。恒调压其次，顺调压最差。

3) 根据输入容量调整输电距离或调整电压，其关系如下：根据电网运行经验，为了满足中枢点供电的电力用户的电压要求，一定等级的线路的供电距离和供电容量是有一定范围的。供电半径太大必然造成一些用户电压不能满足要求，这就需要采取其他措施，可采用高一电压等级的电网供电或从其他供电点供电等。

对于各中枢点的电压应该根据实际情况调整。而且送电量及距离与导线的截面有关。见表 1.3。

表 1.3 各级电压合理输送容量及输电距离范围

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)
0.38	<0.1	<0.6	35	2.0~10	20~50
3	0.1~1.0	1~3	110	10~50	50~150
6	0.1~1.2	4~15	220	100~150	200~300
10	0.2~2.0	6~20	500	1000~1500	250~1000

由此可见，220kV 电压级最适合作为省级电网的主要输电线路的电压。

(3) 波形质量。电力系统的电压应是正弦波。为保证电能质量，保证电网和用户用电设备的安全经济运行，必须对各种非线性用电设备流入电网的谐波电流加以限制。

根据部颁 SD127—84《电力系统谐波管理暂行规定》要求，电网中任何一点的电压正弦波形畸变值不得超过表 1.4 的规定。

如用户使用的供电电压为 380V 时，电压的正弦波形畸变极限值不能超过 5，奇次电压畸变率不能超过 4，偶次不能超过 2，电压等级越高，要求的奇变极限值越小。

表 1.4

电网电压正弦波形畸变极限值

用户供电电压 (kV)	总电压正弦波 形畸变极限值	各奇、偶次谐波电压正弦畸变率 (%)	
		奇次	偶次
0.38	5	4	2
6 或 10	4	3	1.75
35 或 63	3	2	1
110	1.5	1	0.5

3. 供电指标

供电指标包括年供电量 (kW·h)、最大电力 (kW) 和负荷曲线等。最大电力指标,是指全系统的总供电能力,有时最大供电能力指一年间的连续供电能力,但常用的是每月的最大供电能力。这是因为发电设备定期保养维修占去很长时间,有必要按月考虑供电平衡的缘故。

(1) 日负荷率。发电量指标,是在电力规划中使用的指标,是发电形式最优组合时计算燃料费的依据。但要计算燃料费只有发电量是不够的,同时需要负荷曲线。表示一天内负荷变化的叫日负荷曲线。

1) 日平均负荷:把一天内各小时的负荷加起来,再除以 24,可以得到日负荷率。

$$P_f(\text{日平均负荷}) = \frac{\sum_{i=1}^{24} P_i}{24}$$

2) 日负荷率:日平均负荷除以日最大负荷,可以得到日负荷率。

$$\delta(\text{日负荷率}) = \frac{P_f(\text{日平均负荷})}{P_{\max}(\text{日最大负荷})}$$

负荷率愈高,电能成本愈低,应努力提高负荷率。我国日负荷率约为 85%~90%。

(2) 年负荷率。把 365 天的日负荷曲线汇集起来,按峰值大小排列描绘出如图 1-1 所示的年负荷曲线。 P_m 为负荷峰值,年平均负荷 (P_f),面积 A 为总电量。

$$\text{年平均负荷}(P_f) = \frac{\text{总电量}(\text{kW} \cdot \text{h})}{\text{总时间}(\text{h})}$$

(1-1)

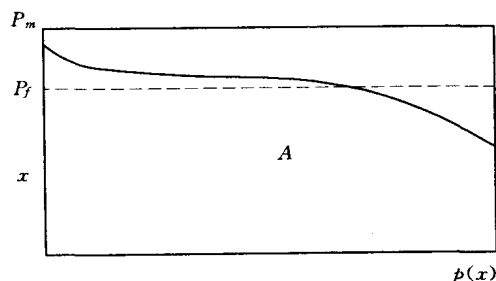


图 1-1 负荷曲线

把年平均负荷 (P_f) 除以年最大负荷 (P_m),得年负荷率。

$$\begin{aligned} \text{年负荷率} &= \frac{\text{总电量}(\text{kW} \cdot \text{h})}{\text{最大负荷}(\text{kW}) \times \text{总时间}(\text{h})} \times 100\% \\ &= \frac{\text{年平均负荷}(\text{kW})}{\text{年最大负荷}(\text{kW})} \times 100\% \end{aligned} \quad (1-2)$$

4. 电力开发量

(1) 装机容量。我国电力能源的开发逐年递增,2001 年我国装机容量已达到 33823.34 万 kW。从表 1.5 可看出截至 2001 年,我国 5 年间的装机容量逐年递增,1997~2001 年 5 年间其增长量为 8410.52 万 kW。

表 1.5

全电力公司的电源构成发展 (装机容量)

单位: 万 kW

年度	1997	1998	1999	2000	2001
水力	5973.02	6506.50	7297.08	7935.22	8300.64
火力	19240.80	20988.35	22343.40	23754.02	25313.70
原子能	210.00	210.00	210.00	210.00	210.00

(2) 发电量。全国电力系统供电量由表 1.6 可看出截至 2001 年, 1997~2001 年 5 年间我国的发电量已增长 3537.86 亿 kW·h。

表 1.6

全电力公司的电源构成发展 (发电量)

单位: 亿 kW·h

年度	1997	1998	1999	2000	2001
水力	1945.71	2042.95	2129.27	2431.34	2611.08
火力	9252.15	9388.12	10047.37	11079.36	12044.78
原子能	144.18	141.01	148.33	167.37	174.12

(3) 供电备用率。在用户的负荷方, 如果负荷预测准确, 就可稳定经济地使发、供电基本保持平衡。但实际上因天气、气温的突变会引起负荷增加, 而供电一方若发生故障也会使供电能力降低, 所以要具备一定的运行备用容量。

用式 (1-3) 计算供电备用率, 取合适值决定电力开发及开始运转的最佳时间。

$$\text{供电备用率} = \frac{\text{供电能力} - \text{需求电力}}{\text{需求电力}} \times 100\% \quad (1-3)$$

供电备用率是在事故、缺水、负荷增加时, 也能确保稳定供电, 是具有超过计划的供电能力。供电备用率指标, 是由供电可靠性指标所决定的。通常系统的最大发电机组中, 即便停机 1~2 台也应具备连续供电的能力。

1.3 电力系统的组成

1. 跨国电网

目前, 发达国家已形成全国电网, 甚至互联形成跨国电网, 北美电网就是一个大型互联的跨国大电网。西欧、北欧、东欧和俄罗斯就是跨国电网, 相互之间还实现了互联。地中海沿岸发展中的国家之间也在寻求相互之间的互联以及同欧洲国家的互联。

2. 我国电网现状

我国的电网结构, 20 世纪 80 年代已由省网之间的互联发展成 500kV 和 330kV 线路为主干网架的跨省电网。20 世纪 90 年代开始形成跨大区域互联电网。我国已有 7 个具有一定规模的跨省电网和 5 个省电网。其中, 华东、华中电网已通过超高压直流输电实现跨大区域互联。截至 2001 年底, 我国的装机容量已达到 33823.34 万 kW, 发电量居世界第二位。我国已进入了大电网、大机组、高电压、高自动化的现代电力系统的发展时期。

发展我国的大电网, 可以把我国西部地区丰富的一次能源, 西北的天然气和西南的水

力资源转换成电能，源源不断地送到用电密集的东部和南部地区。可以实现错峰效益、时差效益、互为备用效益，实现全国范围内的资源优化配置。可以有效地利用水利资源和煤炭资源就地转换，减轻环保压力。可以尽可能地提高抗干扰和抵御事故的能力，提高供电的可靠性和经济性，为我国的经济建设和人民生活提供连续、稳定、优质和低价的能源。

3. 联合经营方式

我国电力企业的联合经营，是由 9 个电力公司和电能开发公司应用新技术并考虑经济性相互协作，进行能源开发、系统联结、设备运用、电力联网（互补）及供电营运等。联合电力系统在技术上和经济上都有很大的优越性。主要具有以下几大优点：

- (1) 提高供电可靠性和电能质量。
- (2) 可减少系统的装机容量，提高设备利用率便于安装大机组，降低造价。
- (3) 充分利用各种资源，提高运行的经济性。
- (4) 通过电力系统的综合运行，可减少运行费用和降低电力损耗。

4. 电力联网

全国已成功地进行网络结构的调整。电力联网的目的是缓和各电力公司之间的供电不平衡，经济、合理运用电力设备。各电网中 500kV（包括 330kV）主网架为骨干逐步形成壮大，以 220kV 网架为主体的网络正在不断地完善和扩充。

我国电力网大致分为两大电网“国家电力公司电网”和“南方电力公司电网”，其中“国家电力公司电网”结构如图 1-2 所示。两大电网的关系如图 1-3 所示。

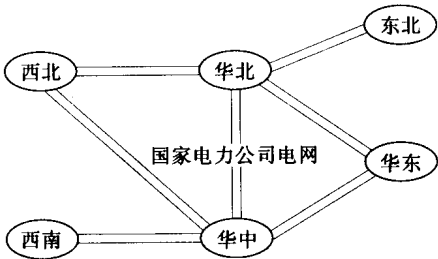


图 1-2 国家电力公司电网结构图

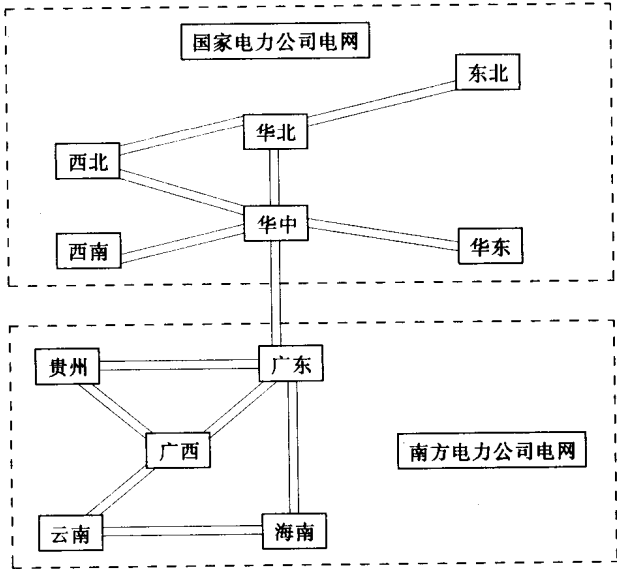


图 1-3 全国电力网络结构图

其中虚线即将联网；实线已经实现联网。

5. 电网结构

电力系统的电网结构采用的是环状系统及放射状系统构成。

为了可靠性，主干网采用环形连接，其与放射形相比较的特征见表 1.7。环形连接在输送大电能的同时应使潮流分布的无功损失最小，这样可做到高效的设备组合。否则，可导致故障范围蔓延弄得复杂化。

表 1.7 电网的结构类型

性 质	循 环 形	放 射 形
设备的可利用限度	并列线路数——相当于 1 线路送电能力（4 线路情况 75%）	2 线路中，1 线路的送电能力（50%）
少发性故障的影响	过负荷、破坏稳定性、电压下降等紊乱及事故的蔓延	波及紊乱的形态简单且局部的
短路	随需要的增大而短路增加	容易抑制短路
适应性	大功率远距离电网、需求和电厂供电的范围大的分散系统	比较狭小的地区用电集中电厂的选址可分散的系统

6. 中性点的接地方式

电力系统的中性点方式可分为 3 大类：电力系统中性点直接接地。电力系统中性点不接地。经消弧线圈接地或经高阻抗接地。

(1) 中性点直接接地。中性点直接接地系统（包括经小阻抗接地的系统）发生单相接地故障时，接地短路电流很大，所以这种系统称为大电流接地系统。

正常运行时，由于三相系统对称，中性点对地电压为零。中性点无电流流过。在发生单相接地故障时，由于接地相直接经过地对电源构成单相短路，故称此为单相短路。单相短路电流很大，继电保护装置应立即动作，使断路器断开，迅速切除故障分路，见图 1-4。

中性点直接接地系统中一相接地时主要有下述特点：

- 1) 故障相电流及流入故障点的电流很大，因故障相经很小的线路阻抗形成短路。
- 2) 故障相及中性点对地电压为零。
- 3) 非故障相对地电压仍为相电压。
- 4) 与故障相相关的线电压的大小降低为相电压。

它的优点是：安全性好，因为系统单相接地时即为单相短路，保护装置可以立即切除故障；其次是经济性好，中性点直接接地系统在任何情况下，中性点电压不会升高，且不会出现单相接地电弧过电压问题，可以提高电力系统的绝缘水平，其经济性好。

缺点是：供电可靠性差，因为系统发生单相接地时，接地电流很大，由于继电保护作

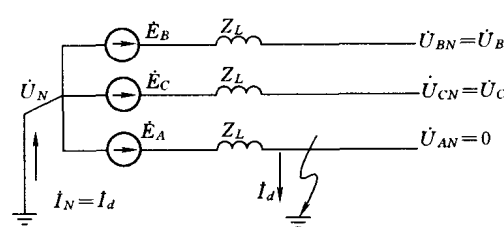


图 1-4 中性点直接接地系统中发生单相接地电流分布

用使线路主断路器跳闸，降低了供电可靠性。

对于 500、330、220kV 及大部分 110kV 均采用此运行方式。

(2) 中性点不接地系统。在这种系统中，发生单相接地短路电流很小，当某一相发生故障时，由于不能构成短路，回路接地故障电流往往比负荷电流小得多，所以这种系统称为小电流接地系统。

当单相（如 A 相）接地时，接地相对地电容 C_0 被短路，此时电流分布图及相量图如图 1-5 所示。 I_{dA} 为故障点的电流。

图中

$$\dot{I}_d = \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

$$\frac{1}{2} I_d = I_{dC} \cos 30^\circ$$

$$I_d = \sqrt{3} I_{dC}$$

又因为

$$I_L = \sqrt{3} I_\varphi$$

即

$$I_{dC} = \sqrt{3} I_{C\varphi}$$

$$I_{dA} = 3 I_{C\varphi}$$

(1-4)

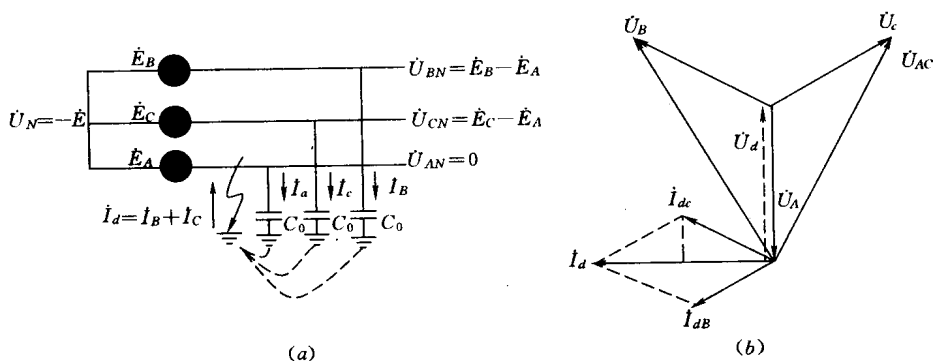


图 1-5 中性点不接地系统一相接地电压、电流分布

(a) 电压、电流分布图；(b) 电压、电流相量图

中性点不接地系统中一相接地时主要有下述特点：

1) 故障点电流等于正常时本电压等级对地总电流的 3 倍（与本电压等级所联的多少及长短有关）。

2) 中性点对地电压升高为相电压。

3) 非故障相对地电压升高为相电压的 $\sqrt{3}$ 倍，即为线电压。

4) 三相之间线电压保持与正常时相同。

中性点不接地系统供电可靠性高，因为电力系统单相接地时不是单相短路，线路可不跳闸，只给出接地信号，按规程中规定电力系统单相接地后仍可运行 2h，以排除故障，可以不停电，这样就提高了电力系统供电可靠性。但经济性较差，因为电力系统发生单相接地时，当系统地总电容较大时，若中性点不接地故障相电流是非故障相电流的 3 倍，另外不接地相对地电压提高到 $\sqrt{3}$ 倍，因此，对电压等级高的系统就不宜采用。

中性点不接地系统在发生单相接地时，容易出现间歇电弧引起谐振过电压。