



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 电力系统

## (第二版)

电厂及变电站电气运行专业

主编 黄 静



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 电力系统

(第二版)

电厂及变电站电气运行专业

主 编 黄 静  
编 写 张家安 刘光明  
主 审 胡亚东  
责任主审 孙保民  
审 稿 郭家骥 骆 平



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本教材是根据教育部《关于全面推进素质教育深化中等职业教育教学改革的意见》中对教材的编写要求和电厂及变电站电气运行专业“电力系统”课程教材大纲的要求编写的。

本书在介绍电力系统整体概念的基础上,重点介绍保证电能质量的基本方法、措施,电力系统经济运行和稳定运行的重要性。全书共分六个单元:电力系统的基本知识、电力网潮流计算、电力系统平衡和电能质量、电力系统经济运行、电力系统稳定运行和远距离输电技术。

本教材各环节要求、目的明确,条理清晰,论述严谨,便于教学和自学。

## 图书在版编目(CIP)数据

电力系统/黄静主编. —2版. —北京:中国电力出版社, 2006. 9

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5083-4588-6

I. 电... II. 黄... III. ①电力系统—专业学校—教材 IV. TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第084884号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2002年1月第一版

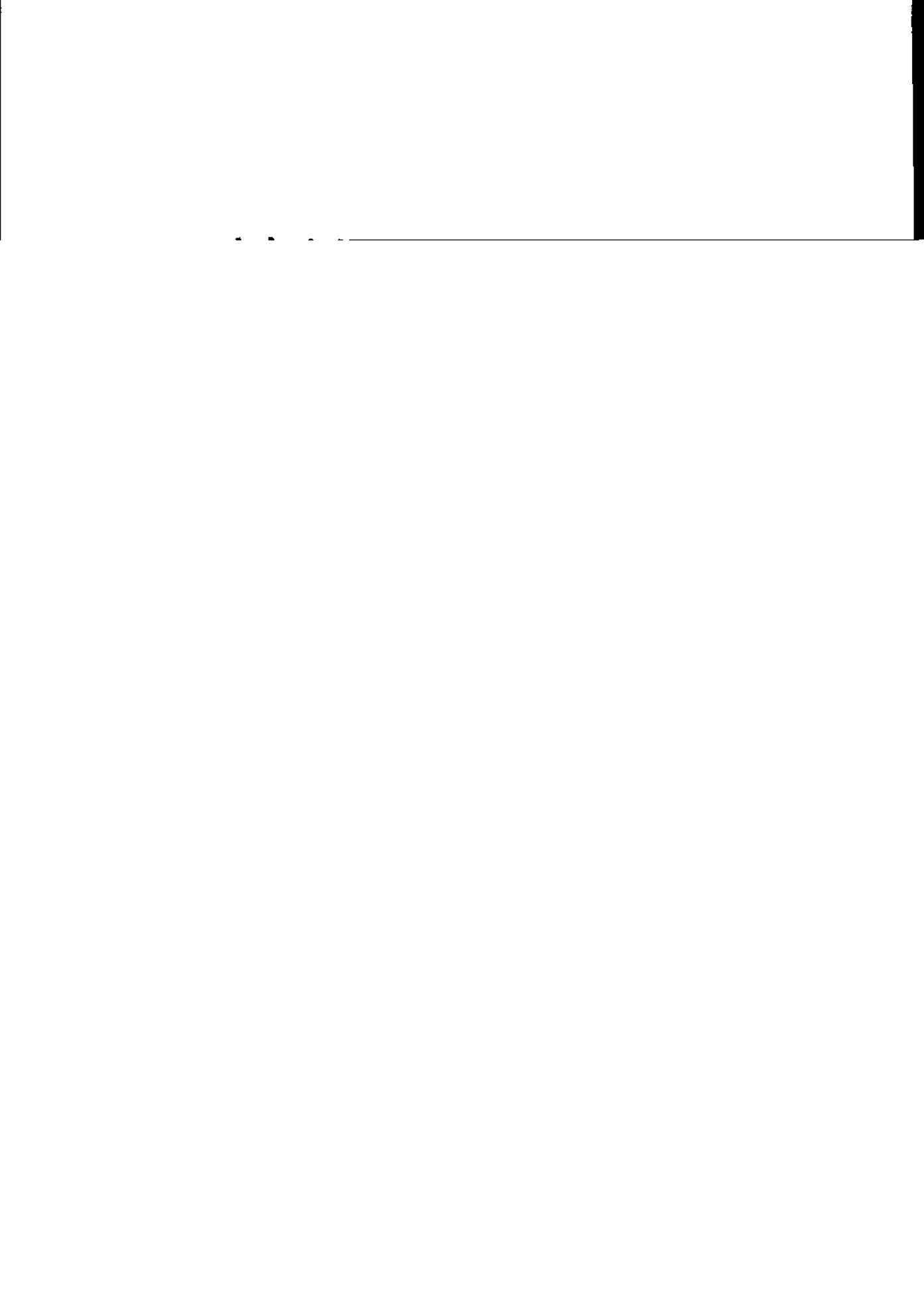
2006年8月第二版 2006年8月北京第七次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11.25印张 270千字

印数 23001—28000册 定价 15.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)





# 前 言

《电力系统》是教育部 80 个重点建设专业主干课程之一，是根据教育部最新颁布的中等职业学校电厂及变电站电气运行专业“电力系统”课程教学大纲编写的。

本书以培养学生的创新精神和实践能力为重点，以培养在生产、服务、技术和管理第一线工作的高素质劳动者和中初级专门人才为目标。教材的内容适应劳动就业、教育发展和构建人才成长“立交桥”的需要，使学生通过学习具有综合职业能力、继续学习的能力和适应职业变化的能力。

本教材在介绍电力系统整体概念的基础上，重点介绍保证电能质量的基本方法、措施，电力系统经济运行和稳定运行的重要性。

本教材的编写体系体现少而精和理论联系实际的原则，做到对传统内容加以创新处理，使之更加精练；电力系统新技术、新成果得到体现；结合电力系统运行管理的导则和条例，使理论分析和实际工程尽可能相结合。教材以单元、课题排序。单元开始有内容提要，单元末尾有小结和习题。

本教材第一、三单元由浙江电力调度通信中心黄静编写；第二、五单元由江西电力学校刘光明编写，第四、六单元由武汉电力学校张家安编写。全书由黄静高级讲师主编，武汉电力学校校长胡亚东高级讲师主审。

本书可作为中等职业学校（普通中专、成人中专、技工学校、职业高中）教材，也可作为职工培训用书或供电厂及变电站电气运行人员参考。

编 者

2005 年 12 月



## 中等职业教育国家规划教材出版说明

### 前言

<b>单元一 电力系统的基本知识</b> .....	1
课题一 电力系统概述 .....	1
课题二 电力系统的额定电压 .....	4
课题三 电力线路的基本结构 .....	6
小结 .....	12
习题 .....	12
<b>单元二 电力网的潮流计算</b> .....	13
课题一 电力网的等值电路和参数计算 .....	13
课题二 电力网的潮流计算 .....	26
小结 .....	53
习题 .....	54
<b>单元三 电力系统功率平衡与电能质量</b> .....	56
课题一 电力系统电能质量标准 .....	56
课题二 电力系统有功功率平衡及频率调整 .....	59
课题三 电力系统无功功率平衡及电压调整 .....	63
小结 .....	82
习题 .....	83
<b>单元四 电力系统稳定运行</b> .....	84
课题一 概述 .....	84
课题二 同步发电机的功角特性 .....	84
课题三 电力系统运行的静态稳定性 .....	89
课题四 电力系统运行的暂态稳定性 .....	94
课题五 电力系统的振荡 .....	101
课题六 提高电力系统稳定性的措施 .....	103
小结 .....	109
习题 .....	110
<b>单元五 电力系统经济运行</b> .....	112
课题一 概述 .....	112

课题二 负荷曲线 .....	112
课题三 电力网的电能损耗计算 .....	115
课题四 降低电力网电能损耗的技术措施 .....	125
课题五 发电厂的经济运行 .....	131
课题六 电力线路导线截面的选择 .....	134
小结 .....	141
习题 .....	142
<b>单元六 远距离输电技术</b> .....	<b>145</b>
课题一 远距离超高压交流输电线路的特性 .....	145
课题二 高压直流输电的基本概念 .....	150
小结 .....	155
习题 .....	155
附录 I 电力网的常用参数 .....	156
附录 II 电力电容器的参数 .....	168
附录 III 导线的允许载流量 .....	169
参考文献 .....	170



# 电力系统的基本知识

## 内容提要

本单元主要讲述电力系统及电力网的基本概念；对电力系统的基本要求；各级电压电力网的供电范围；电气设备的额定电压确定；电力线路的基本结构及主要设备的作用。

## 课题一 电力系统概述

### 一、电力网及电力系统

随着经济的不断发展，人们与电能的关系越来越密切，无论是工业、农业、交通运输还是日常生活都离不开电能。当今社会如果没有电能，一切都会变得不可想象。电能是经过人们加工而取得的二次能源。将自然能（一次能源）转变为电能的过程称为发电。

目前主要用于发电的一次能源有：煤炭、石油、水力、原子能、风力等。利用这些能源发电的电厂分别称为火力发电厂、水力发电厂、原子能发电厂、风力发电厂等。为了节约燃料运输费用大型火电厂往往在煤炭、石油等能源产地或交通运输比较方便的港口附近，水电厂和风力发电厂又需要有一定的自然条件，核电厂也需远离大城市。而使用电能的用户，一般集中在大城市、工业中心等。为了架起发电厂和用户之间的桥梁，就必须建立一个系统，用于传送电能。为了减少电流在导线中产生的功率损耗、电压损耗，在线路输送功率不变的情况下，只能提高电压输送电能。电能输送至负荷中心后又必须降压，用户才能使用。这个把发电、变电、输电、配电和用电等的各种电气设备连接在一起的整体称为电力系统。它包括发电厂的电气部分，升、降压变压器，输、配电线路及各类用电设备。

电力系统中加上各种类型发电厂中的动力部分，如热力部分、水力部分、原子能反应堆部分等称为动力系统。

电力系统中去掉发电厂的电气部分和用电设备，剩余部分称为电力网。图 1-1 是用单线图表示的动力系统，电力系统及电力网的示意图。

电力网可按不同的需要进行分类。为分析计算的需要可分为地方电力网、区域电力网和远距离输电网。地方电力网电压较低（110kV 以下），输送功率较小，线路较短，计算时可作较多简化。区域网则一般电压较高，输送功率较大，线路较长，计算时只能作一定简化。远距离输电网电压在 330kV 及以上，输电线路长度超过 300km，计算时一般不能简化。

为区别电压高低的需要，电力网又可分为低压网（1kV 以下）、中压网（1~10kV）、高压网（35~220kV）、超高压网（330~750kV）、特高压网（1000kV 及以上）。

为区别接线方式不同的需要，电力网还可分为一端电源供电网（又称为开式网）、两端电源供电网（包括环网）、多端电源供电网（又称复杂网），如图 1-2 所示。一端电源供电网是指用户只能从一个方向得到电能的电力网。它有接线简单、经济、运行方便，但供电可靠性较差的特点。两端电源供电网是指用户可以从两个方向得到电能的电力网。它有接线较

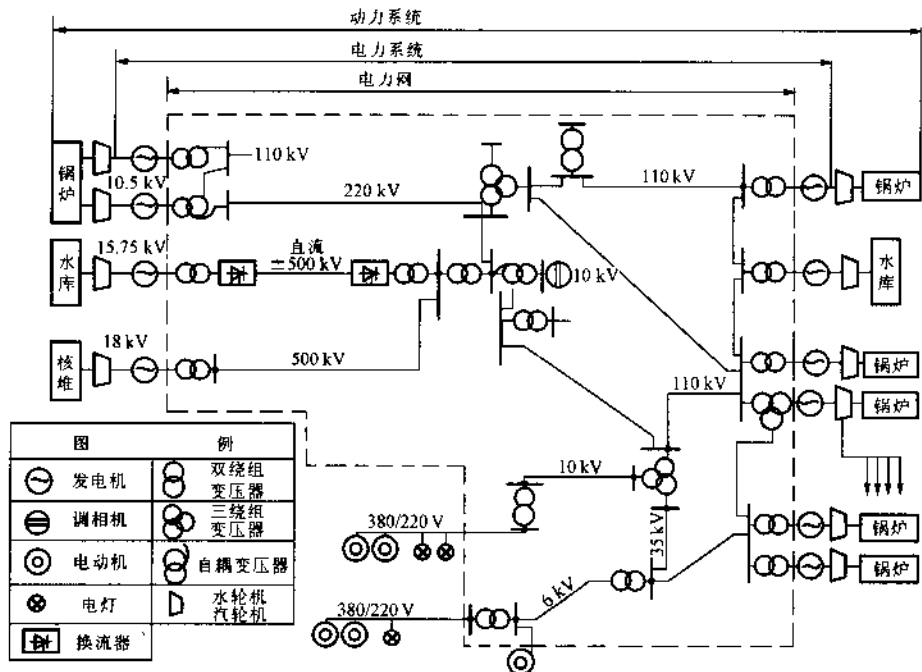


图 1-1 动力系统、电力系统、电力网示意图

简单、运行灵活、供电可靠性较高的特点。多端电源供电网是指电网中有从三个或三个以上

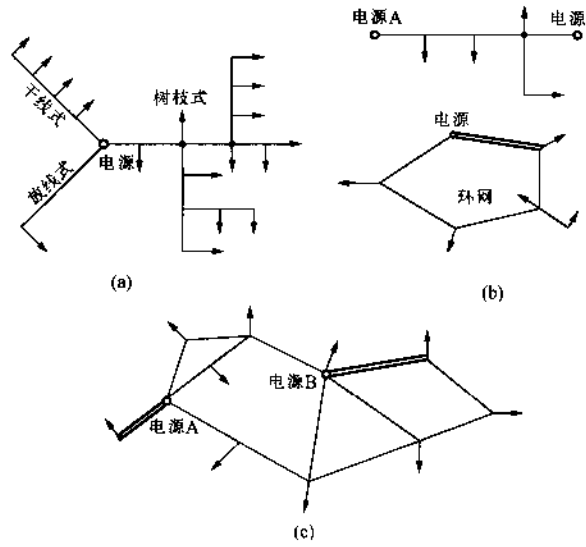


图 1-2 电力网的接线图

(a) 开式网; (b) 两端供电网及环网; (c) 复杂网

方向得到电能的用户。它有接线复杂、投资大、继电保护复杂，但供电可靠性高、运行灵活的特点。

### 二、电力系统发展概况

自 1831 年法拉第发现电磁感应定律后，人们就开始利用电能对人类服务，起初发电、输电和用电都是直流，但发展受到了许多限制。直至 1891 年生产出了三相异步电动机、三相变压器，建立了三相交流输电系统才奠定了近代输电技术的基础。随后电力系统的输电电压越来越高，输送功率也越来越大。目前，世界上最高线路电压已达 1150kV，最大电力系统容量已超过 100GW。随着输电距离及容量的不断增大，电力系统运行的稳定性问题也日益

突出，虽然研究出了很多提高电力系统稳定性的措施，但要更进一步发展交流输电系统，存在着许多困难和局限，所以本世纪 50 年代开始直流输电又重新被人们所认识，但它不是简单的重复，是超高压直流输电，直流也仅用于输电，发电和用电仍是交流。目前，世界上出现了许多超高压交、直流输电的大型电力系统。

我国目前的电力系统最高电压等级为 500kV，武汉高压试验研究所已进行了 1000kV 的输电试验，有 7 个跨省电力系统（华东、华北、华中、东北、华南、西北、西南），其中 4 个电力系统容量已经接近或超过 30GW。随着三峡水电站的建设，西南大容量水电的开发，以及山西、陕西、内蒙西部，“三西”煤炭基地大容量矿口电厂的建设，全国联网的格局将逐步形成。华东、华中、西南电网将先期互联形成一个容量超过 100GW 的巨型电网。可以预计，远距离大容量实现西电东送将是我国未来全国电网的主要特征之一。

联合电力系统在技术和经济上有许多明显的优越性。如：可以更合理地利用能源提高经济效益；可以采用大机组以降低造价和燃料消耗，加快建设速度；可以互相调剂，互相支援，减少系统总备用容量；可以利用地区时差及水火电之间的调节，取得错峰和调峰效益等。

### 三、对电力系统的基本要求

电力工业生产的产品是电能，它与其他生产有许多不同之处。

#### 1. 电能的生产、输送、分配和使用同时进行

目前尚不能大量地、廉价地贮存电能，即发电厂发出的电能恰好要等于用户所需要的电能和输送分配过程中的电能损耗。电力系统运行过程中这个等式必须始终成立。

#### 2. 电能的生产与国民经济及人民生活关系密切

当今社会电能的使用越来越广泛，各类用户无处不在。如果电能供应不足或中断将直接影响工农业生产，给人民生活带来诸多不便。

#### 3. 电力系统运行的过渡过程非常短促

电力系统中各元件的投、切和电能输送过程几乎都在一瞬间进行，即电力系统从一种运行方式过渡到另一种运行方式的过渡过程非常短促。因此电力系统运行的自动化程度相当高。

由于电力工业有上述三方面的特点，所以对电力系统有以下几个基本要求：

(1) 安全可靠地供电：安全可靠地供电是电力系统首先要满足的要求，因为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。当然安全性要求越高，对电力系统本身的投入一般就越多，影响了经济性。所以并非所有的负荷都绝对不能停电。电力系统中重要负荷除正常供电电源外，应有保安或备用电源。保安或备用电源原则上应与正常供电电源来自两个独立的电源。如来自不同变电所（发电厂）的电源，或虽来自同一变电所而相互不影响的不同母线段供电的电源。根据用户用电设备对供电可靠性的要求，中断供电后造成的后果有下列情况之一者为重要负荷：

- 1) 将造成人身伤亡者；
- 2) 将造成环境严重污染者；
- 3) 将造成重要设备损坏，连续生产过程长期不能恢复或大量产品的报废者；
- 4) 将在政治上或军事上造成重大影响者；
- 5) 将造成重要公共场所秩序混乱者。

(2) 合格的电能质量：电能质量主要由交流电的频率、电压、波形、电压波动和闪变、三相电压不平衡度等五个指标来衡量，合格的电能质量是指这五个指标必须在一定的允许变化范围内。如果超过这个范围，无论对用户，还是对电力系统本身都会产生不良后果。

(3) 系统运行的经济性：任何产品的生产都讲究经济性，都要最大限度地降低生产成

本。特别在当前电力改革的新形势下，各电力公司相继成立，不久发电厂又将独立核算，只有降低成本才有竞争力。电力系统的经济性可从合理分配各发电厂间的负荷；降低发电厂燃料消耗率和厂用电率；降低电力网的电能损耗等几个方面考虑。

综上所述对电力系统的基本要求可概括为：安全、优质、经济。这些要求是互相联系的，而且往往是互相矛盾、互相制约的，所以考虑时应全面。

## 课题二 电力系统的额定电压

### 一、电力系统各元件的额定电压

额定电压是国家有关部门根据技术经济比较确定的标准电压。电力系统中的发电机、变压器、线路、用电设备等都规定有额定电压。它们在额定电压下运行时，其技术与经济性能为最佳。为了标准化、系列化制造电力设备，且便于设备的运行、维护、管理，额定电压等级不宜过多，电压级差不宜过小。一般认为，在一个电力系统中，相邻两级电压之比取 1.7~3.0 是比较合适的。我国国家标准 GB156—1980《额定电压》中规定的电力系统电压有 220V、380V、3kV、6kV、10kV、35kV、63kV、110kV、220kV、330kV、500kV 等。其中 220V 为单相交流电，其余均为三相交流值。63kV 电压等级只在东北电力系统采用，并不再使用 110kV 和 35kV 电压等级。330kV 电压等级只在西北电力系统采用。

表 1-1 第一类额定电压

(单位: V)

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

目前，国家根据电压的高低，把多种电力设备的额定电压分为三类。

第一类额定电压是指 100V 以下的额定电压，见表 1-1。它们主要用于安全、照明、蓄电池及开关设备的直流操作电源。三相交流 36V 电压，只用于潮湿环境的局部照明及其他特殊的电力负荷。

第二类额定电压是指 100~1000V 之间的额定电压，见表 1-2。它们主要用于低压电动机及照明设备，表中括号内的电压，只用于矿井下或其他安全条件要求较高的地方。

第三类额定电压是指 1000V 以上的额定电压，见表 1-3。它们主要用于发电机、变压器、电力线路及高压电动机等。

表 1-2

第二类额定电压 (单位: 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	一 次 绕 组	二 次 绕 组
110	(127)		115	(133)	(127)	(133)	(127)	(133)
220	220	127	230	230	220	230	220	230
400	380	220	400	400	380	400	380	

表 1-3

第三类额定电压 (单位: 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	20	35	38.5
(60)	(63)		(60)	(66)
110	115		110	121
220	230		220	242
(330)	(345)		(330)	(363)
500	525		500	550

注 1. 表中所列均为线电压。

2. 括号内的电压仅用在个别地区。

3. 水轮发电机允许采用非标准额定电压。

由表 1-3 可见同一电压等级的受电设备、发电机、变压器的额定电压并不完全相等。这是因为功率传输过程中线路中要产生电压损耗, 沿线路各点的电压是不同的, 一般是首端电压高于末端电压。线路的额定电压规定与受电设备的额定电压相同, 这样所有接在线路上的受电设备都可在额定电压附近运行。

一般受电设备的允许电压偏移为 $\pm 5\%$ , 沿线路的电压损耗为 $10\%$ , 这样如果线路首端的电压为额定电压的 $1.05$ 倍, 末端电压就不会低于额定电压的 $0.95$ 倍, 各受电设备就能在允许电压范围内运行。

发电机一般接在线路的首端, 因此, 发电机的额定电压应比线路额定电压高 $5\%$ , 即

$$U_{GN} = 1.05U_N$$

式中  $U_{GN}$ ——发电机的额定电压;

$U_N$ ——线路的额定电压。

对于没有直配负荷的大容量发电机, 其额定电压按技术经济条件来确定, 不受线路额定电压的限制, 例如国产 $125\text{MW}$ 、 $200\text{MW}$ 、 $300\text{MW}$ 、 $600\text{MW}$ 的汽轮发电机, 其额定电压基本为 $13.8\text{kV}$ 、 $15.75\text{kV}$ 、 $18\text{kV}$ 、 $20\text{kV}$ 。

变压器每个绕组都有其额定电压。一次绕组相当于受电设备, 其额定电压等于所连线路的额定电压 (直接和发电机相连时, 等于发电机额定电压)。二次绕组输出电能, 相当于发电机。因变压器二次侧额定电压规定为空载变压器一次侧加额定电压时的二次侧电压, 而带负荷时变压器内部有一定的电压降, 为使正常运行时变压器二次绕组的实际输出电压比线路额定电压高 $5\%$ 左右, 变压器二次侧额定电压应比线路额定电压高 $5\% \sim 10\%$ 。一般变压器二次侧额定电压较线路额定电压高 $10\%$ , 只有漏抗较小的变压器 (高压侧电压小于等于 $35\text{kV}$ 且短路电压百分值小于等于 $7.5\%$ ) 或二次绕组所连线路较短时二次侧额定电压才比线路额定电压高 $5\%$ 。现在新建的工程有时不论漏抗大小二次侧额定电压都比线路额定电压高 $5\%$ 。

**【例 1-1】** 如图 1-3 所示电力系统, 线路额定电压已知, 试求发电机、变压器的额定

电压。

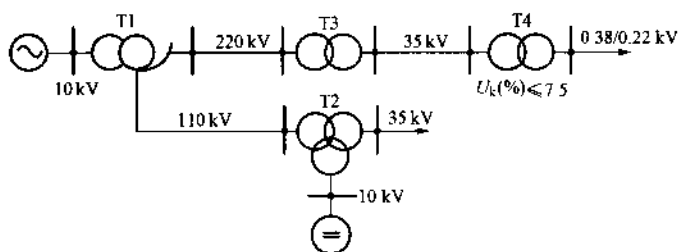


图 1-3 例 1-1 附图

解 (1) 发电机的额定电压为 10.5kV。

(2) 升压变压器一次侧与发电机直接相连，二次侧分别与 110kV、220kV 线路相连，则 T1 的变比为 242/121/10.5kV。

(3) 降压变压器 T2 一次侧与 110kV 线路相连，二次侧分别与

35kV 线路和 10kV 调相机相连，则 T2 的变比为 110/38.5/10.5kV。

(4) 降压变压器 T3 一次侧与 220kV 线路相连，二次侧与 35kV 线路相连，则 T3 的变比为 220/38.5kV。

(5) 降压变压器 T4 一次侧与 35kV 线路相连，二次侧与 0.38kV 线路相连，又因 T4 的  $U_k(\%) \leq 7.5$ ，则它的变比为 35/0.4kV。

## 二、各级电压电力网的适用范围

电力系统中，因三相功率  $S$  和线电压  $U$ 、线电流  $I$  之间的关系为  $S = \sqrt{3}IU$ ，即输送功率一定时，输电电压愈高，电流愈小，可采用较小截面的导线。但电压愈高对绝缘的要求愈高，电气设备的绝缘投资就愈大。因此对应一定的输电距离和输送功率，必然有一个在技术上、经济上均较合理的电压。

备缘电压电力网的经济输送容量、输送距离与适用地区可参照表 1-4。

表 1-4 电力网的经济输送容量、输送距离与适用地区

额定电压 (kV)	输送容量 (MW)	输送距离 (km)	适 用 地 区
0.38	0.1 以下	0.6 以下	低压动力与三相照明
3	0.1~1.0	1~3	高压电动机
6	0.1~1.2	4~15	发电机电压、高压电动机
10	0.2~2.0	6~20	配电线路、高压电动机
35	2.0~10	20~50	县级输电网、用户配电网
110	10~50	30~150	地区级输电网、用户配电网
220	100~200	100~300	省、区级输电网
330	200~500	200~600	省、区级输电网，联合系统输电网
500	400~1000	150~850	省、区级输电网，联合系统输电网

## 课题三 电力线路的基本结构

电力线路是用来传送电能的，按结构不同可分为架空线路和电缆线路两大类。架空线路是由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等元件组成。电缆线路则主要由电缆本体、电缆接头、电缆终端等组成。

架空线路有投资省，施工、维护和检修方便等优点。所以电力网中绝大多数的线路都采用架空线路。但架空线路同时有易受有害气体腐蚀，不能跨越大江海域，影响城市美化等缺

点，所以在一些特殊地区也同时采用电缆线路。

### 一、架空线路

架空线路各元件都有其作用。导线用来传导电流，输送电能；避雷线用来将雷电流引入大地，使电力线路免遭雷电波的侵袭；杆塔用来支持导线和避雷线；绝缘子用来使导线与杆塔之间保持绝缘；金具是用来固定、悬挂、连接和保护架空线路的主要元件。

#### 1. 导线和避雷线

架空线路的导线和避雷线都架设在空气中，要受到自重、风压、覆冰和温度变化等的作用和空气中有害物质的侵蚀。所以导线和避雷线应具有较高的机械强度和抗化学腐蚀的能力。导线还应有良好的导电性能。

导线主要由铝、钢、铜、铝合金等材料制成，避雷线则一般用钢线。这四种材料的物理性能如表 1-5 所示。

表 1-5 导线材料的物理性能

材 料	20℃时的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	比 重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	抗拉强度 ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ )	其 他 特 点
铜	0.0182	8.9	39	抗腐蚀能力强，价格高
铝	0.029	2.7	16	抗一般化学腐蚀性能好，但易受酸、碱、盐的腐蚀，价格低
钢	0.103	7.85	120	易生锈、镀锌后不易生锈
铝合金	0.0339	2.7	30	抗腐蚀性能好，受振动时易损坏

由表 1-5 可知，铜虽然导电性能好，抗腐蚀能力也强，但因价格贵，除特殊需要外架空线一般不采用铜导线。钢线的导电率低，集肤效应显著，不宜用作导线。但钢线的机械强度高，可用作避雷线。铝的导电性能虽比铜差一些，但因质轻、价廉，广泛应用于 10kV 及以下的线路上。由于铝线的机械强度较低，所以 35kV 及以上的线路则广泛应用钢芯铝绞线。钢芯铝绞线是充分利用了铝线的导电性能和钢线的机械强度制成的导线。它是将铝线绕在单股或多股铜线外层作主要载流部分，机械荷载则由钢线和铝线共同承担。钢芯铝绞线按不同的需要，铝、钢截面的比可不同。在 GB1174—1979 标准中，分普通型 (LGJ)、轻型 (LGJQ) 和加强型 (LGJJ) 三种。而 GB1179—1983 标准中统称 LGJ 钢芯铝绞线。架空线路的导线和避雷线型号用汉语拼音字母表示：

LJ-70 表示标称截面积为  $70\text{mm}^2$  的铝绞线。

TJ-35 表示标称截面积为  $35\text{mm}^2$  的铜绞线。

LGJ-240/30 表示标称截面积铝线为  $240\text{mm}^2$ ，钢芯为  $30\text{mm}^2$  的钢芯铝绞线。

LGJJ-300/70 表示标称截面积铝线为  $300\text{mm}^2$ ，钢芯为  $70\text{mm}^2$  的加强型钢芯铝绞线

另外，在一些特殊场合还有用防腐型钢芯铝绞线 (LGJF)、钢芯

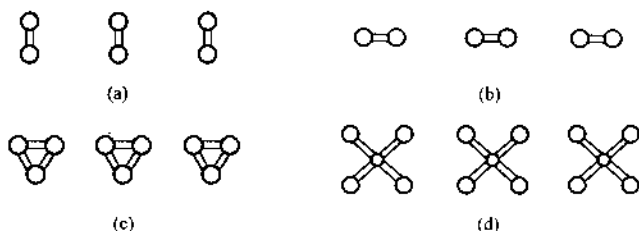


图 1-4 分裂导线排列

(a) 垂直双分裂；(b) 水平双分裂；(c) 三分裂；(d) 四分裂

稀土铝绞线 (LGJX)、铝合金绞线 (HLJ)、钢芯铝合金绞线 (HLGJ) 等。

为了防止电晕及减小线路的感抗, 超高压线路的导线可采用分裂导线、空芯导线、扩径导线等。扩径导线是人为地扩大导线直径, 但又不增大载流部分截面积的导线。分裂导线是将每相导线分成若干根, 相互之间保持一定距离, 如图 1-4 所示。

送电线路的避雷线以前均用钢绞线, 现在也有用良导体避雷线的趋势。它可用作载波通信的通道和减小潜供电流等。

各种型号的导线、避雷线的特性参数见附表 I - 1。

## 2. 杆塔

架空线路的杆塔型式很多, 可按不同的方法分类。如按使用的材料不同可分为木杆、钢筋混凝土杆和铁塔。木杆强度低, 易腐朽, 已逐渐被钢筋混凝土杆替代。为了防止钢筋混凝土杆产生裂缝, 可采用预应力混凝土杆。铁塔主要用于超高压线路及高压线路的耐张、跨越杆塔中。杆塔也可按导线在杆塔上的排列方式进行分类。如一般单回线路采用“上”字形、三角形和水平排列方式。双回线同杆架设时一般按伞形、倒伞形、鼓形等排列, 如图 1-5 所示。

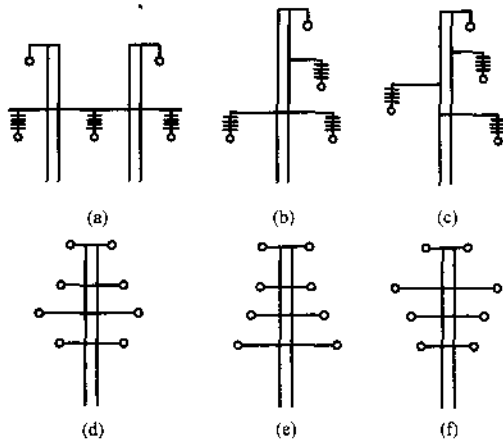


图 1-5 导线排列方式

- (a) 水平排列; (b) 上字形排列; (c) 三角形排列;  
(d) 鼓形排列; (e) 伞形排列; (f) 倒伞形排列

下面我们按不同用途将杆塔进行分类介绍。  
(1) 直线杆塔。直线杆塔设计要求能承受导线的自重、导线上覆冰的重量及导线所承受的风压, 不能承受沿线路方向的水平张力。由于其强度要求低, 造价也较便宜。直线杆塔用于线路的直线走向处, 约占杆塔总数的 80%。直线杆塔上, 绝缘子串和导线相互垂直。

(2) 耐张杆塔。耐张杆塔设计要求能承受两侧导线较大的拉力差作用。耐张杆塔又称承力杆塔。由于其强度要求高, 结构也较复杂, 造价也较贵。一般若干公里内需立一基耐张杆塔, 相邻两基耐张杆塔之间的距离称为耐张段。耐张段内有若干基直线杆塔, 相邻两基直线杆塔之间的水平距离称为档距, 如图 1-6 所示。有了耐张杆塔便可把断线故障的影响范围限制在耐张段内。耐张杆塔上的绝缘子串和导线在同一曲线上, 两侧导线用跳线相连接。

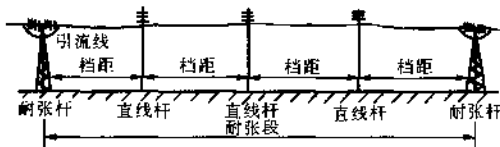


图 1-6 一个耐张段示意图

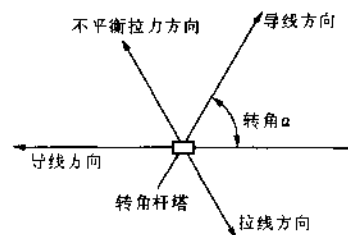


图 1-7 转角杆塔受力分布图

(3) 转角杆塔。转角杆塔设置在线路转角处。由于两侧导线的张力不在一条直线上, 所以就产生了不平衡拉力, 如图 1-7 所示。根据转角的大小不同可用耐张型转角杆塔或直线



型转角杆塔。

(4) 终端杆塔。终端杆塔设置在线路的首、末端，承受单侧张力的作用。

(5) 跨越杆塔。跨越杆塔设置在线路跨越河流、山谷、铁路、公路等地方。跨越杆塔的高度一般比普通杆塔高。根据跨越档距的大小也可用耐张型跨越杆塔或直线型跨越杆塔。

(6) 换位杆塔。由导线在杆塔上的排列方式可知除等边三角形外，均不能保证三相导线间的线间距离相等。为了减少三相参数的不平衡，架空线路的三相导线应进行换位。根据《架空线路设计技术规程》规定：“在中性点直接接地的电力网中，长度超过 100km 的线路均应换位，换位循环长度不宜大于 200km”。

经过换位的线跨，三相导线在空间每一位置的长度和相等时称为完全换位。进行一次完全换位则称为一个换位循环，如图 1-8 所示。根据需要可用直线换位杆塔和耐张换位杆塔，如图 1-9 所示。

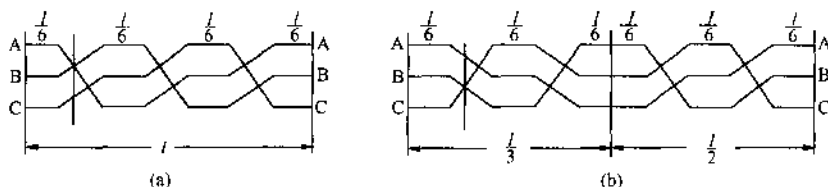


图 1-8 换位循环示意图  
(a) 单换位循环；(b) 双换位循环

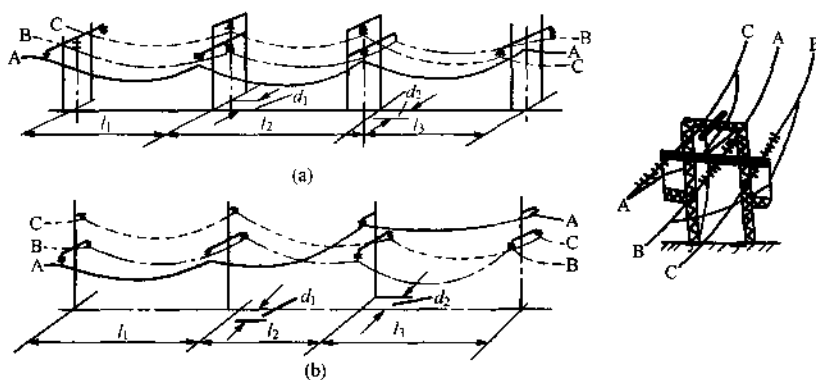


图 1-9 换位杆塔  
(a) 门型直线换位杆；(b) 单杆直线换位杆；(c) 耐张换位杆

### 3. 绝缘子

绝缘子按形状不同可分为针式绝缘子、悬式绝缘子、瓷横担绝缘子及棒型绝缘子，如图 1-10 所示。按材料不同可分为瓷质绝缘子、钢化玻璃绝缘子和硅橡胶合成绝缘子等。

针式绝缘子有价廉，但耐雷水平不高容易闪络等特点。所以主要用于 35kV 以下、张力不大、档距不大的直线杆塔或小转角杆塔上。悬式绝缘子广泛应用于 35kV 及以上的线路中，通常把它们组合成绝缘子串使用。绝缘子串绝缘子的个数与电压有关，如表 1-6 所示。耐张杆塔上绝缘子串的个数比同级电压直线杆塔上绝缘子串个数多 1~2 个。