

城市供电技术

靖大为 编著
张淑珍 主审



提供习题答案、授课课件、模拟软件及实验教材

 中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

城市供电技术

靖大为 编著

张淑珍 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书定位于城市供电系统范畴,反映了企事业单位所属专用系统的封闭电网结构与电力部门所属公用系统的开放电网结构,兼顾了系统设计与系统运行两大领域。全书共10章,主要内容包括供电系统的概念、系统的负荷分析、系统的短路分析、变电站一次设备、变电站及主接线、供电线路及线缆、供电系统的保护、变电站二次回路、供电系统及网络,以及供电系统的运行。

本书注重建立基本的专业概念与完整的理论体系,旨在使读者全面与系统地掌握供电技术。本书可作为大专院校电气专业学生的专用教材,也可作为相关专业技术人员的自学教材,还可作为职业教育及在职培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市供电技术 / 靖大为编著. —北京: 中国电力出版社,
2011.7

ISBN 978-7-5123-1849-6

I. ①城… II. ①靖… III. ①城市配电 IV. ①
TM727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 151306 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011年8月第一版 2011年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19.25印张 409千字

印数 0001—3000册 定价 39.80元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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



电力系统可分为低压配电、中压供电及高压输电三个部分。本书内容以中压供电系统设计为核心, 主要涉及 10~110kV 电压等级系统的设计与运行的相关内容。

自改革开放以来, 随着我国城市化进程的加速, 城市供电系统中呈现的问题越发突出, 其中主要包括负荷密度高、电压水平高、电压等级少、电站封闭化、电站间距短、电站无人化、线路电缆化、接地电流大、开关组合化、电器无油化、远动水平高、电网智能化等特征。

本书定位于城市供电系统范畴, 反映了企事业单位所属专用系统的封闭电网结构与电力部门所属公用系统的开放电网结构, 兼顾了系统设计与系统运行两大领域, 从根本上区别于传统意义上工厂供电的概念。

尽管供电系统的开关设备已经开始进入组合电器时代, 继电保护装置也已多为微机形式, 本书仍主要针对传统的开关电器与继电器形式, 旨在帮助读者建立基本的专业概念与完整的理论体系, 以适应工程领域的不断发展变化。

此外, 本书就以下内容进行了较为详尽的表述, 以作为本书的主要特点:

- (1) 电网电压与电流中各高次谐波的相序。(第 1 章)
- (2) 多数物质的导电率与导磁率的离散性差异, 导致电呈路而磁呈场的特征。(第 1 章)
- (3) 破坏各类绝缘体绝缘性能的电击穿与热疲劳两类原因。(第 1 章)
- (4) 线路中对地电容电流、相间电容电流、负荷电流及短路电流等各水平电流。(第 1 章)
- (5) 随着电缆化水平的提高, 系统中性点从不接地至小电阻接地方式的演化。(第 1 章)
- (6) 单相短路电流的电磁干扰与系统中性点经小电阻接地方式的关系。(第 1 章)
- (7) 线路充电电流、线路空载电流及线路自然功率等概念。(第 2 章)
- (8) 高压无功补偿电容器根据组数等因素决定补偿容量。(第 2 章)

- (9) 单相短路电流与相间短路电流的量值差异。(第3章)
- (10) 最大相间短路电流与最小相间短路电流的定义。(第3章)
- (11) 高低压短路回路的时间常数与短路电流直流分量的衰减周期。(第3章)
- (12) 三相短路电流各相的周期分量与非周期分量分析。(第3章)
- (13) 接地变压器的工作原理及零序网络结构。(第4章)
- (14) 互感器的测量精度、铁心结构、铁心饱和及接线方式。(第4章)
- (15) 系统设计的 $N-1$ 安全标准, 多台变压器设计容量与事故过负荷系数的关系。
(第4章)
- (16) 供电系统的主要网络结构形式与变电站高低压主接线的主要结构形式。(第5章)
- (17) 变电站中避雷器、站用变压器、电流互感器及电压互感器的配置位置。(第5章)
- (18) 供电网络的闭环结构与开环运行, 以提高系统可靠性并防止形成电磁环网。
(第5章)
- (19) 主保护与远近后备保护的概念, 防止保护误动与拒动的概念与措施。(第7章)
- (20) 线路保护中相间短路保护与接地短路保护的联系与区别。(第7章)
- (21) 线路保护中接地短路保护与接地事故保护的联系与区别。(第7章)
- (22) 三段电流保护对于线路相间短路的主备保护分析。(第7章)
- (23) 大小接地电流系统中如何判别单相接地的线段位置。(第7章)
- (24) 高压电容器的各类电压及电流保护的内容与联系。(第7章)
- (25) 进线与出线断路器控制回路与其他控制及保护回路的联系。(第8章)
- (26) 直流电源、控制回路及保护回路等各类二次回路的相互联系。(第8章)
- (27) 运行信号的故障、事故及状态三大类别, 以及声、光、牌三种信号形式。
(第8章)
- (28) 备用容量及自为备用与互为备用的概念。(第9章)
- (29) 理想蜂窝结构与独立及互联供电系统的概念。(第9章)
- (30) 重合器与分段器构成的供电线路就地分段控制。(第9章)
- (31) 供电系统中各电压等级网络的中性点接地方式。(第9章)
- (32) 空载线路中电压倒置现象的数学解释。(第9章)
- (33) 线路首末端电压的幅值及相角与线路中有功及无功的功率流向关系。(第9章)
- (34) 电站、线路及电杆命名的规律, 以及站内设备的编号规则。(第10章)
- (35) 变电站中运行操作的典型顺序。(第10章)

(36) 安全调度与经济调度的概念, 有功经济调度与无功经济调度的概念。(第 10 章)

笔者基于在电力行业工作的实践经验及在教育行业工作的教学体会, 于本书编写过程中注重了各相关内容的解释、衔接与联系, 避免了概念的无序堆砌与内容的简单罗列, 旨在强化读者对于供电技术的深刻理解与系统掌握, 以满足系统设计、设备选择、安装调试及运行操作等工作的专业需求。附录中关于课程设计与毕业设计内容的描述, 系统地分析了此两类设计过程的基本步骤与注意事项, 为该本科教学环节提供了一种典型参考。

由于供电系统的固有特征, 难于开设相关实验课程。笔者为此开发了与本书配套的实验用“供电系统运行模拟软件”, 其中包括网络结构、负荷分布、短路电流、继电保护、二次回流、安全调度、经济调度等众多功能分支, 并配有相关的实验指导教材。笔者可以网售方式向相关教学机构或培训机构提供系统模拟软件、实验指导教材、教学辅助课件及思考习题答案等配套资料, 联系的博客地址为 <http://blog.sina.com.cn/jingdawei0>, 邮箱地址为 jingdawei0@sina.com。

本书及其配套资料不仅可供本专科教学之用, 也可以为相关专业技术人员的自学提供帮助, 甚至可以成为职业教育及在职培训的有力工具。

本书编写过程中得到了天津大学电力系统及其自动化专业 77 级本科班张淑珍、张丽娟、王耀宗等诸多同学的大力帮助, 这里谨将本书献给我班全体同学以作退休纪念。

由于笔者的专业水平及写作水平有限, 敬请读者指正书中的错误及遗漏之处。

编 著 者

2011 年 6 月

于天津城市建设学院

相 关 术 语 索 引

术语名称	首现章节	术语名称	首现章节	术语名称	首现章节
电力系统	1.1.1	接地短路	3.1.1	三相式接线	4.4.1
闭环结构开环运行	1.1.1	接地短路	3.1.1	线式零序接线	4.4.1
供电系统	1.1.2	短路阻抗	3.1.3	缆式零序接线	4.4.1
一次设备	1.1.2	基准值	3.2.2	额定负荷容量	4.4.1
二次设备	1.1.2	正序阻抗	3.3.1	电压误差	4.4.2
一次系统	1.1.2	负序阻抗	3.3.1	开口三角形接线	4.4.2
二次系统	1.1.2	零序阻抗	3.3.1	塑壳式断路器	4.8.1
系统元件	1.1.2	大地电阻	3.3.1	框架式断路器	4.8.1
正常状态	1.1.2	接触电阻	3.3.1	脱扣器	4.8.1
事故状态	1.1.2	各序网络	3.3.1	封闭式变电站	5.2.1
故障状态	1.1.2	大运行方式	3.3.5	半封闭式变电站	5.2.1
可靠指标	1.3.3	小运行方式	3.3.5	开放式变电站	5.2.1
对地电容	1.5.3	最大三相短路电流	3.3.5	负荷中心	5.2.2
大接地电流系统	1.5.4	最小两相短路电流	3.3.5	放射式网络	5.3.1
小接地电流系统	1.5.4	周期分量	3.4	环联式网络	5.3.1
单相接地	1.5.4	非周期分量	3.4	枝干式网络	5.3.1
接地短路电流	1.5.4	短路冲击电流	3.4.3	环网站	5.3.1
接地电容电流	1.5.4	冲击电流有效值	3.4.3	支线站	5.3.1
$N-1$ 标准	1.5.7	短路假想时间	3.5.2	线变结构主接线	5.3.3
计算负荷	2.1.4	开关设备	4.1	桥式结构主接线	5.3.3
计算电流	2.1.4	补偿设备	4.1	母线结构主接线	5.3.3
设备功率	2.2	检测设备	4.1	母线	5.3.3
自然功率	2.4.3	变压器正常过负荷	4.2.3	桥联断路器	5.3.3
并联电容	2.7.3	变压器事故过负荷	4.2.3	分段断路器	5.3.3
串联电容	2.7.7	Z 形变压器	4.2.9	母联断路器	5.3.3
串联电抗	2.8	限流熔断器	4.3.5	单母线分段	5.3.3
并联电抗	2.8	杆上变电站	4.3.6	系统远动	5.4
系统事故	3.1	复合误差等级	4.4.1	遥测/遥信	5.4
系统故障	3.1	电流误差	4.4.1	遥控/遥调	5.4
对称短路	3.1.1	相位误差	4.4.1	绝缘间距	5.5
非对称短路	3.1.1	一相式接线	4.4.1	箱式变电站	5.7
相间短路	3.1.1	两相式接线	4.4.1	环联变电站	5.7

续表

术语名称	首现章节	术语名称	首现章节	术语名称	首现章节
内过电压	5.8.1	主保护	7.1.5	合闸小母线	8.2.2
外过电压	5.8.1	后备保护	7.1.5	控制小母线	8.2.2
电压损失	6.4.2	近后备保护	7.1.5	闪光小母线	8.2.2
线路压降	6.4.2	远后备保护	7.1.5	不对应关系	8.2.3
保护选择性	7.1.3	保护整定	7.1.5	运行操作五防	8.7
保护可靠性	7.1.3	施密特特性	7.2.1	简单递推算法	9.5
保护速动性	7.1.3	主保护区	7.4.1	简单迭代算法	9.5
保护灵敏性	7.1.3	后备保护区	7.4.1	节点等值负荷	9.5.1
保护误动	7.1.3	保护原理图	7.4.1	迭代计算	9.5.1
保护拒动	7.1.3	保护展开图	7.4.1	电容充电功率	9.6
设备可靠性	7.1.3	保护死区	7.4.3	电压倒置	9.6
参数可靠性	7.1.3	被保护区	7.4.3	逆向调压	10.4.2
设备灵敏性	7.1.3	线路末端无保护	7.4.4	系统安全调度	10.5
参数灵敏性	7.1.3	差流回路	7.4.5	实时过负荷	10.5
保护对象	7.1.4	差动不平衡电流	7.4.5	潜在过负荷	10.5
保护范围	7.1.4	电源进线无保护	7.6	系统经济调度	10.6



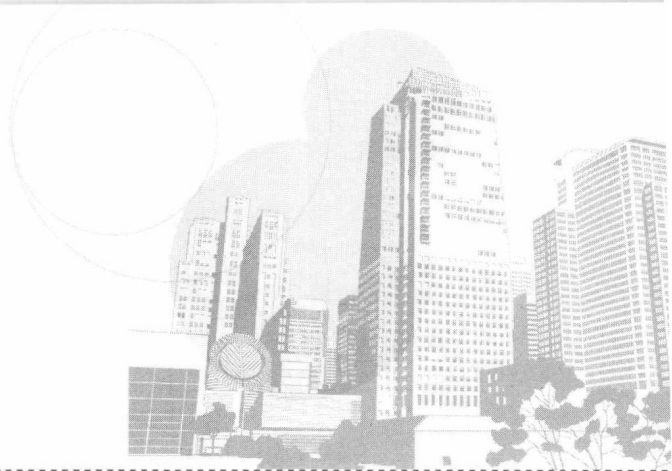
前言	
相关术语索引	
第1章 供电系统的概念	1
1.1 电力系统与供电系统	1
1.1.1 电力系统	1
1.1.2 供电系统	5
1.2 电力系统的额定电压	6
1.3 电力供应的质量指标	8
1.3.1 频率质量指标	8
1.3.2 电压质量指标	9
1.3.3 供电可靠性指标	11
1.4 电力负荷的等级分类	11
1.4.1 供电负荷等级	11
1.4.2 配电负荷等级	12
1.5 系统分析的基础知识	12
1.5.1 对称分量法分析	12
1.5.2 变压器等值参数	15
1.5.3 线缆的等值参数	17
1.5.4 中性点运行方式	19
1.5.5 系统的高次谐波	23
1.5.6 绝缘损坏的概念	24
1.5.7 可靠性数学基础	25
1.5.8 国内的电价体系	25
思考题与练习题	27
第2章 系统的负荷分析	30
2.1 电力负荷曲线	30
2.1.1 负荷的分析	30
2.1.2 日负荷曲线	31
2.1.3 年负荷曲线	32
2.1.4 负荷的指标	33
2.2 用电设备功率	35
2.3 供电负荷计算	36
2.3.1 单位产品法	36
2.3.2 负荷密度法	37
2.3.3 需要系数法	37
2.4 系统功率损耗	39
2.4.1 变压器功率损耗	39
2.4.2 线路的功率损耗	40
2.4.3 线路的自然功率	41
2.5 逐级负荷计算	42
2.6 系统尖峰电流	44
2.7 无功功率补偿	45
2.7.1 各形式功率因数	45
2.7.2 功率因数的影响	45
2.7.3 功率因数的提高	46
2.7.4 电容器无功补偿	48
2.7.5 电容器综合功用	49
2.7.6 电容器相关问题	50
2.7.7 线路串联电容器	52
2.8 串并联电抗器	53
思考题与练习题	53

第3章 系统的短路分析	56	4.2.8 变压器的并联运行	99
3.1 系统中各类短路故障	56	4.2.9 中性点接地变压器	99
3.1.1 各系统短路形式	56	4.3 高压开关设备	100
3.1.2 短路原因与影响	57	4.3.1 开关灭弧技术	100
3.1.3 无限大容量系统	58	4.3.2 高电压断路器	101
3.1.4 正常与短路状态	60	4.3.3 高压隔离开关	105
3.2 对称短路的稳态分析	61	4.3.4 高压负荷开关	106
3.2.1 有名制对称短路分析	62	4.3.5 高电压熔断器	107
3.2.2 标幺制对称短路分析	65	4.3.6 高压开关配合	109
3.3 非对称短路稳态分析	68	4.4 两类型互感器	111
3.3.1 供电系统的各序阻抗	68	4.4.1 电流互感器	111
3.3.2 非对称短路电流分析	71	4.4.2 电压互感器	116
3.3.3 正序等效定则及分析	72	4.5 母线与绝缘子	120
3.3.4 变压器穿越电流分析	73	4.5.1 站用汇流母线	120
3.3.5 最大与最小短路电流	75	4.5.2 支柱式绝缘子	121
3.4 对称短路的暂态过程	76	4.5.3 套管式绝缘子	122
3.4.1 短路电流的暂态过程	76	4.5.4 各类型避雷器	124
3.4.2 最严重三相短路电流	77	4.6 各类型电抗器	124
3.4.3 短路电流的相关参数	79	4.6.1 线路限流电抗器	124
3.4.4 电动机反送短路电流	81	4.6.2 电容串联电抗器	125
3.5 短路电流的热效应	81	4.6.3 中性点消弧线圈	126
3.5.1 短路电流的电动力效应	81	4.7 高压组合电器	126
3.5.2 短路电流的热效应	84	4.7.1 六氟化硫组合电器	126
思考题与练习题	87	4.7.2 六氟化硫绝缘开关	127
第4章 变电站一次设备	89	4.8 低压开关设备	127
4.1 设备选择依据	89	4.8.1 低压断路器原理与种类	127
4.2 电力主变压器	91	4.8.2 低压断路器选择与整定	130
4.2.1 变压器的不同类别	91	4.8.3 双路电源自动转换开关	131
4.2.2 变压器的相关参数	92	思考题与练习题	132
4.2.3 变压器各类过负荷	94	第5章 变电站及主接线	134
4.2.4 变压器台数与容量	95	5.1 供电电压的选择	134
4.2.5 变压器的经济负荷	96	5.2 变配电站的设置	135
4.2.6 变压器的接线组别	98	5.2.1 变配电站的类型	135
4.2.7 变压器的调压方式	98	5.2.2 变配电站的位置	136

5.3 变配电站主接线·····	137	6.4.1 按照允许载流量选截面·····	174
5.3.1 供电系统的网络结构·····	137	6.4.2 按允许电压损失选截面·····	176
5.3.2 变电站系统接入方式·····	139	6.4.3 按经济电流密度选截面·····	179
5.3.3 变电站高压侧主接线·····	139	6.4.4 机械强度与热稳定要求·····	180
5.3.4 变电站低压侧主接线·····	144	6.5 线缆过载能力·····	181
5.3.5 配电站的主接线结构·····	147	思考题与练习题·····	181
5.3.6 变配电站的站用电源·····	147	第7章 供电系统的保护 ·····	183
5.3.7 供配电系统结构实例·····	148	7.1 继电保护基础·····	183
5.4 互感器设备配置·····	149	7.1.1 继电保护任务·····	183
5.5 高低电压开关柜·····	151	7.1.2 继电保护装置·····	184
5.5.1 高压开关柜·····	151	7.1.3 系统保护性能·····	184
5.5.2 低压开关柜·····	154	7.1.4 保护系统特点·····	185
5.5.3 补偿电容柜·····	155	7.2 保护用继电器·····	186
5.6 变电站结构布置·····	156	7.2.1 电磁式交流继电器·····	186
5.6.1 变电站布置特征·····	156	7.2.2 电磁式直流继电器·····	187
5.6.2 各功能室的结构·····	157	7.3 保护接线方式·····	188
5.6.3 变电站立体布置·····	159	7.4 供电线路保护·····	188
5.7 环网站与环联网·····	159	7.4.1 定时限的过电流保护·····	189
5.7.1 箱式变电站·····	159	7.4.2 无时限电流速断保护·····	193
5.7.2 环联网结构·····	161	7.4.3 短时限电流速断保护·····	195
5.8 防雷接地与照明·····	162	7.4.4 三段式电流保护装置·····	196
5.8.1 变电站防过电压·····	162	7.4.5 线路的纵联差动保护·····	197
5.8.2 变电站接地装置·····	163	7.4.6 单相接地故障的保护·····	199
5.8.3 变电站室内照明·····	164	7.4.7 单相接地事故的保护·····	201
思考题与练习题·····	164	7.5 变压器的保护·····	204
第6章 供电线路及线缆 ·····	166	7.5.1 变压器保护接线·····	204
6.1 线路走廊环境·····	166	7.5.2 变压器电流保护·····	204
6.1.1 供电线路走廊·····	166	7.5.3 变压器气体保护·····	205
6.1.2 线路环境影响·····	166	7.5.4 变压器差动保护·····	206
6.2 供电架空线路·····	167	7.6 母线差动保护·····	208
6.3 供电电缆线路·····	171	7.7 电容器的保护·····	209
6.3.1 电缆的分类·····	171	7.8 配电系统保护·····	210
6.3.2 电缆的敷设·····	172	7.9 微机保护概念·····	210
6.4 线缆截面选择·····	174	思考题与练习题·····	211

第 8 章 变电站二次回路	214	9.2.4 重合器与电压型分段器	248
8.1 二次回路的概念	214	9.2.5 重合器与电流型分段器	251
8.2 二次回路的电源	215	9.3 电缆线路的远程控制	252
8.2.1 交流操作电源	215	9.4 系统中性点接地结构	252
8.2.2 直流操作电源	215	9.5 开环网络的潮流计算	253
8.2.3 闪光信号母线	216	9.5.1 相同电压网络潮流	254
8.3 断路器控制回路	217	9.5.2 不同电压网络潮流	256
8.3.1 断路器的手动控制开关	217	9.5.3 电力负荷电压特性	256
8.3.2 断路器的电磁操动控制	218	9.6 供电线路的电压特征	256
8.3.3 断路器的弹簧操动控制	220	思考题与练习题	257
8.3.4 断路器控制与其他回路	221	第 10 章 供电系统的运行	259
8.4 自动控制及装置	222	10.1 系统设备编号	259
8.4.1 自动重合装置	222	10.1.1 站内设备编号	259
8.4.2 备用电源自投	224	10.1.2 变电站的编号	259
8.4.3 低频自动减载	227	10.1.3 供电线路编号	262
8.5 计量与绝缘监视	228	10.1.4 线路电杆编号	262
8.5.1 测量与计量回路	228	10.2 系统故障处理	263
8.5.2 直流绝缘的监视	229	10.3 设备检修操作	263
8.6 中央信号及回路	231	10.4 供电质量控制	264
8.6.1 中央故障信号回路	231	10.4.1 低频自动负荷减载	265
8.6.2 中央事故信号回路	233	10.4.2 供电电压偏差调整	265
8.7 变电站的自动化	235	10.4.3 电压波动及其抑制	268
思考题与练习题	236	10.4.4 电压谐波及其抑制	269
第 9 章 供电系统及网络	238	10.5 系统安全调度	269
9.1 系统结构与备用容量	238	10.5.1 实时性安全调度	270
9.1.1 系统的备用方式	238	10.5.2 预防性安全调度	271
9.1.2 理想化蜂窝结构	239	10.5.3 系统电压的调整	271
9.1.3 独立的供电系统	239	10.6 系统经济调度	271
9.1.4 互联的供电系统	240	10.6.1 有功经济调度	272
9.1.5 低压网备用容量	242	10.6.2 无功经济调度	274
9.2 架空线路的就地控制	242	思考题与练习题	274
9.2.1 重合器与分段器的功能	242	附录 课程设计与毕业设计	276
9.2.2 重合器与重合器的配合	244		
9.2.3 重合器与熔断器的配合	246		

附表 供电技术常用数据	280	附表 10 矩形硬母线技术参数	286
附表 1 负荷计算用需要系数	280	附表 11 框架低压断路器参数	287
附表 2 电力变压器技术参数	281	附表 12 架空导线的技术参数	287
附表 3 电力电容器技术参数	283	附表 13 电力电缆的技术参数	288
附表 4 高压断路器技术参数	283	附表 14 各类电抗器技术参数	290
附表 5 隔离开关的技术参数	284	附表 15 国内城市的平均气温	292
附表 6 负荷开关的技术参数	284	附表 16 国内城市的其他数据	293
附表 7 高压熔断器技术参数	284		
附表 8 电流互感器技术参数	285	参考文献	294
附表 9 电压互感器技术参数	286		



第 1 章

供电系统的概念

本章内容

本章讨论了电力系统中发电、输电、供电、配电及用电等各主要环节及其整体结构的基本概念，界定了供电系统的专业范畴，分析了供电系统设计与运行的目标、内涵及相关设备，介绍了电压等级、电能质量及负荷等级的定义。本章还给出了非对称三相电路的对称分量分析方法、线缆及变压器电气参数、系统中性点运行方式、电气绝缘损坏概念、可靠性数学基础及系统电价体系等预备知识内容。

1.1 电力系统与供电系统

作为洁净的二次能源，电能具有易于输送、分配、转化、控制及管理其特征，因而广泛地应用于工农业生产及城乡人民生活的各个领域。以电力的生产、输送与供配为核心的电力工业成为国民经济的重要分支，并与其他行业存在密切的联系。从表 1-1 给出的 2005 年全国总用电量及国民经济各领域用电量的比例可知，国内的工业与生活用电量占据了总用电量的 85% 以上。

表 1-1 2005 年全国用电总量及其构成

参 数	全国总量	农牧渔业	工业	建筑业	储运业	商业	生活	其他
电量 (亿 kWh)	24940	876.4	18481.7	233.9	430.4	752.3	2824.8	1340.9
比例 (%)	100	3.51	74.10	0.94	1.73	3.02	11.33	5.38

1.1.1 电力系统

电力系统是由发电、输电、供电、配电及用电等分系统构成的一个完整体系，形成了电能从生产到使用的瞬时平衡。图 1-1 给出了电力系统的示意性结构，图 1-2 示出了电力系统中各分系统的范畴划分及其电压水平。

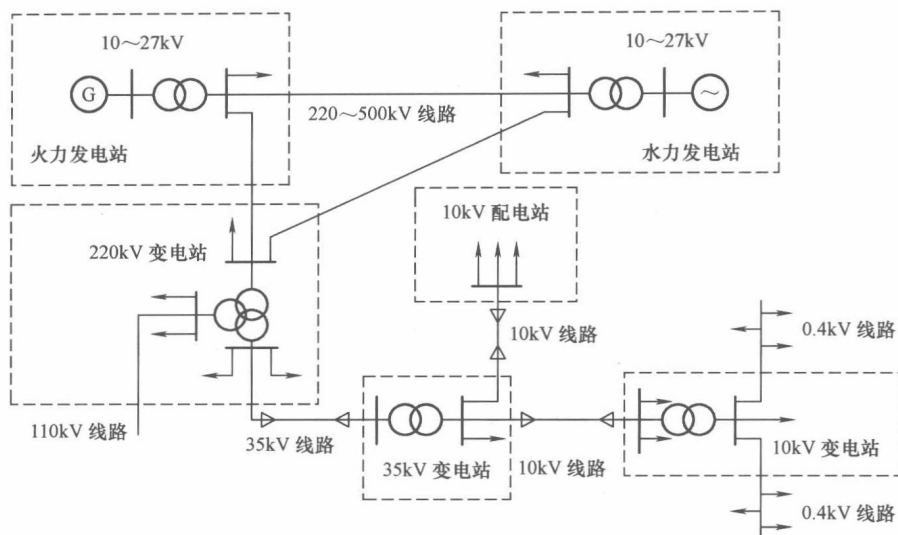


图 1-1 电力系统结构示意图

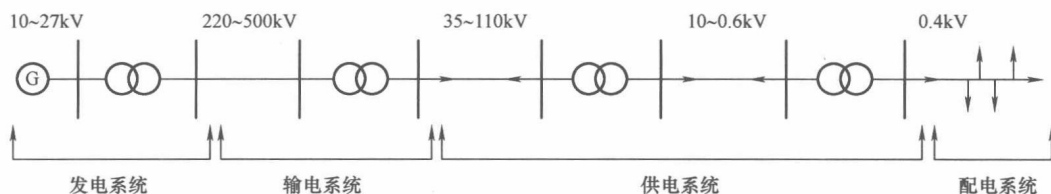


图 1-2 电力系统中发电、输电、供电及配电分系统划分示意图

1. 发电系统

发电系统由火电（燃煤、燃油、燃气）、水电（坝后、引水、混合、抽水蓄能）、核电等传统能源形式电站，以及风力与太阳能等新型能源形式电站构成。发电是将化学能、水力能、核能、风能、太阳能等一次能源转换为二次电能的过程。由于我国可开发的水力资源量居世界第一位，煤炭储量居世界第三位，而石油及天然气储量较少，我国的电源发展政策是优先发展水电、大力发展火电、适度发展核电，并大力开发新型能源发电。

火力发电过程是用燃料在锅炉中燃烧所产生的热量，将锅炉给水加热成高温高压蒸汽，由蒸汽推动汽轮机旋转，再由汽轮机带动发电机发出电能。由于我国具有丰富的煤炭资源，火电站主要是燃煤电站。燃煤机组因具有一定的输出功率调节能力，在系统中的主要作用是担负系统的“腰荷”。少数燃烧石油或天然气的机组主要是用于降低中心城市的大气污染，或是为了满足负荷中心的调峰要求。

水力发电过程是将高速下落水流推动水轮机旋转，再由水轮机带动发电机发出电能。水电站可按照水库径流调节能力分为多年调节、季调节、日调节及无调节等形式，可按照获得水位差的方式分为坝后式、引水式及混合式等类型，也可按照流域控制范围分为本级调节、梯级调节、流域内调节及跨流域调节等类别。水电站在丰水期内，为充

分利用水利资源,主要承担电力系统中的“基荷”;在枯水期内,为充分发挥水轮机组灵活的输出功率调节能力,主要作用是担负系统“峰荷”。

核动力发电过程是利用核反应堆中可控核裂变过程所释放出的巨大热量,将水加热成蒸汽并推动汽轮机,进而带动发电机发电。由于核电的发电成本较低,核动力发电站在电力系统中的主要作用是在系统负荷中心担负系统“基荷”。

目前国内主力大型火电机组的容量已达到 1000MW,而 100MW 容量以下的火电机组已开始强行退役。水电站及其机组的容量依具体水力条件而定,世界上规模最大的三峡水电站由 26 台 700MW 机组构成,总装机容量共计 18200MW。目前国产的主力核电机组容量也已经达到 1000MW。

近年来国内的风力及太阳能发电技术得到了迅速的发展与推广,形成了一个新型能源发电领域。尽管各类新型能源形式的单机容量较小、地理分布较散且实际输出功率受环境因素影响较大,因其节煤环保效果明显,已成为增长速度最快的电力生产形式。

2. 输电系统

受发电机绝缘材料及电动机结构的限制,发电机出口电压一般低于 27kV。因水力及煤炭等能源中心与大中城市等负荷中心往往相距较远,为降低输电损耗,需要更高的输电电压。目前国内输电主网的超高电压水平为 220~500kV,并开始向 1000kV 特高电压发展。为了更有效地进行大功率电力输送,500kV 甚至 800kV 直流的超高压输电线路在国内也已经形成一定规模。为保证发电出力波动、供电负荷变化及输电线路故障等工况条件下电力系统的安全运行,以及各电站发电功率间的安全调度与经济分配,输电线路需要闭环的网状结构,即为“闭环结构、闭环运行”模式,且各条线路多为双回线路形式。

输电网络的规模越大,系统的抗故障能力越强,经济运行的效果越明显,同时也要求更高的装备制造水平、系统设计水平与运行管理水平。目前国内各省际电网已经基本联成了一个全国性的整体电网。全国地市级城网近 300 个,其中近 40 个城市已形成了 220kV 环网。

随着我国城市化进程的加速,城市占地规模不断扩大,城市负荷水平不断提高,负荷密度水平不断增长,现代化城市输电网络呈现出的重要特点之一是高压输电电缆深入市区,并在市中心区建设高压变电站。

3. 供电系统

出于设备成本限制及人身安全要求等多重目的,多数用电设备采用 0.4kV 的较低等级工作电压,故从输电网的某个超高压变电站到特定低压设备之间需要一个降压的供电系统。由于每个超高压枢纽变电站担负着较大半径地域的电力负荷供应,从 220kV 或 500kV 超高电压一次性直接降压到 0.4kV 电压水平,仍将造成低压长距离配电的大量电能损耗和大量线材消耗。较为合理的供电方式应为逐级降低电压,各电压等级线路对应特定的线路长度,各电压等级网络对应特定的供电区域半径。目前国内的城市供电电压



一般分为 110/10/6kV 或 35/10/6kV 等不同电压等级系列。

在多电压等级的供电网络中，闭合的网状结构虽可保持较高的系统安全性与供电可靠性，但由变压器与线路构成的电磁环网将造成附加的电磁环流，即附加的功率损耗，且环网结构将使系统保护复杂化。因此，在系统可靠性要求相对较低的供电网络中，一般采用开环的网络结构。即使是为提高可靠性而实行双电源或环形网的系统结构，也采取“闭环结构、开环运行”模式，使系统实际运行在开环网络结构之下。图 1-3 所示为典型供电系统中变电站及线缆线路的开环网络结构。

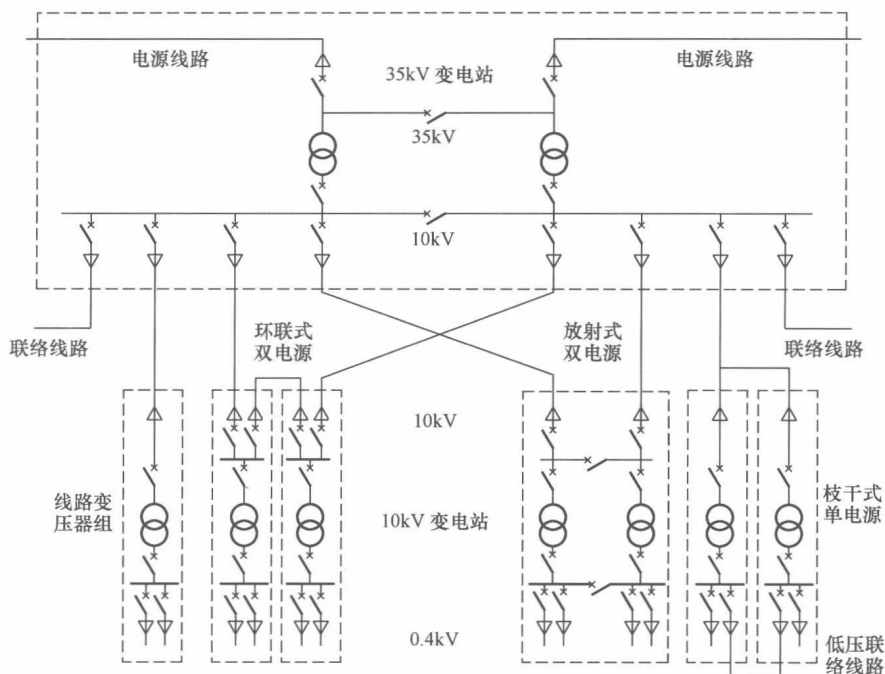


图 1-3 典型供电系统中变电站及线缆线路的开环网络结构图

目前城市供电系统主要呈现出供电面积大、负荷密度高、电压水平高、电压等级少、线路电缆化、接地电流大、电站间距短、电站封闭化、电器无油化、开关组合化、短路容量大、保护微机化、监控远动化及电网智能化等特点。而且，城市供电系统中的负荷占据了整个电力系统负荷的约 80%。

4. 配电系统

配电网络是指直接与动力、照明、电热等用电设备连接的线路及开关设备构成的网络。配电系统的电压水平为 6kV 与 0.4kV 两个电压等级。电压为 6kV 的称为“高压配电网”，电压为 0.4kV 的称为“低压配电网”。配电系统较供电网络系统的电压更低，结构更加独立与分散，且为“开环结构、开环运行”模式。

0.6kV 电压网络是供电系统与配电系统的交叉部分。6kV 高压配电网为三相三线制，0.4kV 低压配电网为三相四线制，配电系统中多为三相的 380V 或单相的 220V 低压小型负荷，也有少数的 0.6kV 高压大型负荷。