



“十二五”普通高等教育
本科国家级规划教材

国家精品课程教材

普通高等教育电气工程与
自动化类“十二五”规划教材

ELECTRIC POWER ENGINEERING

电力工程

第2版

鞠平 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

国家精品课程教材

普通高等教育电气工程与自动化类“十二五”规划教材

电 力 工 程

第 2 版

鞠 平 主编

马宏忠 卫志农 袁 越 参编
张利民 丁晓群

机械工业出版社

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,普通高等教育电气工程与自动化类“十二五”规划教材,着重介绍电力工程的基本知识、基本原理和基本方法。全书内容分为4篇16章,其中:电力设备篇主要包括输电设备、电力负荷、同步发电机、开关类设备以及高压绝缘与保护控制;电力系统稳态分析篇主要包括电力系统的潮流、电力系统的频率、电力系统的电压;电力系统暂态分析篇主要包括电力系统对称故障、电力系统不对称故障以及电力系统的稳定;电力工程的设计与管理篇主要包括电气主接线、电力网络接线的设计、电气设备的选择以及电力工程的管理。本书在内容上注重反映新技术,注重精练易懂,注重启发互动。

本书在体系上采用模块式结构,以便不同专业的灵活选用,既可以作为电气工程及其自动化专业的“电力工程”、“电气工程”或“电力系统”课程的教材,也可以作为其他弱电专业有关电力工程类背景课程的教材。对于电气工程及其自动化专业,还可以根据学分数不同而选用不同的内容。

本书的读者对象主要为电气工程类本科生、研究生,也可供高职高专及成人高校相关专业学生使用,还可供电力行业广大工程技术人员自学参考。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 下载或发邮件到 yu57sh@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程/鞠平主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2014.7

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 普通高等教育电气工程与自动化类“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-46729-8

I. ①电… II. ①鞠… III. ①电力工程-高等学校-教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第099474号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于苏华 责任编辑:于苏华 王琪 版式设计:赵颖喆

责任校对:纪敬 封面设计:张静 责任印制:乔宇

唐山丰电印务有限公司印刷

2014年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·27印张·649千字

标准书号:ISBN 978-7-111-46729-8

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

全国高等学校电气工程与自动化系列教材 编 审 委 员 会

主任委员 汪樾生 浙江大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学

王孝武 合肥工业大学

田作华 上海交通大学

刘 丁 西安理工大学

陈伯时 上海大学

郑大钟 清华大学

赵光宙 浙江大学

赵 曜 四川大学

韩雪清 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军 哈尔滨理工大学

方 敏 合肥工业大学

王钦若 广东工业大学

白保东 沈阳工业大学

吴 刚 中国科技大学

张化光 东北大学

张纯江 燕山大学

张 波 华南理工大学

张晓华 哈尔滨工业大学

杨 耕 清华大学

邹积岩 大连理工大学

陈 冲 福州大学

陈庆伟 南京理工大学

范 瑜 北京交通大学

夏长亮 天津大学

章 兢 湖南大学

萧蕴诗 同济大学

程 明 东南大学

韩 力 重庆大学

雷银照 北京航空航天大学

熊 蕊 华中科技大学

序

随着科学技术的不断进步，电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度，改变着我国工业的整体面貌。同时，对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响，并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合，它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础，高等学校作为国家培养人才的主要基地，肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中，根据社会需求，构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人，教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材，有些教材十几年、几十年长盛不衰，有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要，配合各高等学校的教学改革进程，满足不同层次、不同类型的学校在课程设置上的需求，由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教学委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”，组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这套教材基于“**加强基础，削枝强干，循序渐进，力求创新**”的原则，通过对传统课程内容的整合、交融和改革，以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要，并力求做到：

1. 适用性：结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位，按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节，进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接，在满足系统性的前提下，尽量减少内容上的重复。

2. 示范性：力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性，代表并引导教学发展的趋势和方向。

3. 创新性：在教材编写中强调与时俱进，对原有的知识体系进行实质性的改革和发展，鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术，注重教学理论创新和实践创新，以适应新形势下的教学规律。

4. 权威性：本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博，经验丰富，组稿过程严谨细致，对书目确定、主编征集、资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有

第2版前言

本书第1版出版至今只有5年,已经有上百所高校选用或参考。编者在衷心感谢之余,也深感责任重大,只有精益求精、不断完善,才能够不辜负大家的厚爱。恰逢本书被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,所以通过广泛征求授课教师和学生的意见,结合国内外电力工业和电力系统的发展情况,进行了本次修订。第2版主要修订内容如下:

1) 增加或更新了电力工程发展的内容。例如,由鞠平重写了6.3节,由马宏忠增加了1.2.6节并对第14、15章进行了修订,其余章节也由其他编者进行了不同程度的修改。

2) 删除了部分相对次要或者易变的内容。例如,删除了原16.2节和16.3节关于电力市场的内容。

3) 调整了部分章节的顺序。例如,将原“第7章 电气主接线”移至后面作为新的第13章,这是因为这部分内容与电力工程设计关系更加密切,而且在电力系统分析之后再学习,一些地方比较容易理解。

4) 增加部分例题和通俗易懂的解释,有利于读者的理解。

5) 增加了思考题和习题,尤其是增加了需要读者通过自行查找数据资料进行分析的题目,以锻炼读者这方面的能力。

第2版涵盖了电力工程的主要内容,结构更加合理,各高校可以结合自己的专业特色和课程安排来选择。本书适用于下列课程:电气工程及其自动化专业的“电力工程”、“电气工程”或分开设置的“电力系统稳态分析”(第1~3、7~9章)、“电力系统暂态分析”(第4、10~12章)、“电气设备”(第1~6章、13~16章),非电气工程专业的“电气工程概论”(第1~3、5~6、13、16章)、“电力系统概论”(第1~3、7~12章)。

但挂一漏万,第2版教材仍难尽善尽美,不妥之处恳请广大读者不吝赐教。鞠平邮箱:pju@hhu.edu.cn,马宏忠邮箱:hhumhz@163.com。

编者

2014年3月于南京

第 1 版前言

1952 年，我国大学进行院系调整时形成了一批以工科为主的大学。工科大学几乎都把电气工程专业作为本校的重要专业。在计划经济时代，专业分得很细，以适应经济建设的需要。原来的电气类专业共 5 个：电机电器及其控制、电力系统及其自动化、高电压与绝缘技术、工业自动化、电气技术。20 世纪 90 年代开始，为了适应市场需要，提高学生的适应性，开始进行专业合并。目前的电气工程及其自动化专业，正是在上述 5 个专业的基础上合并而成的，专业内容主要是电能的产生、传输和利用。

电力工程与许多学科专业是密切相关的，现代电力工程的发展也要求不断地拓展同学们的知识面。电力专业所需的知识结构如图 1 所示。电力工程的内容非常丰富，可以从两个角度进行概括：①电力技术，主要是从设备角度概括，包括电源、输电、配电等；②电力科学，主要是从系统角度概括，电力科学的结构(内容及相应的课程)如图 2 所示。电力工程课程涵盖了电力技术和电力科学的基本内容，作为电力专业的学生，自然要学好这门课。



图 1 电力专业所需的知识结构

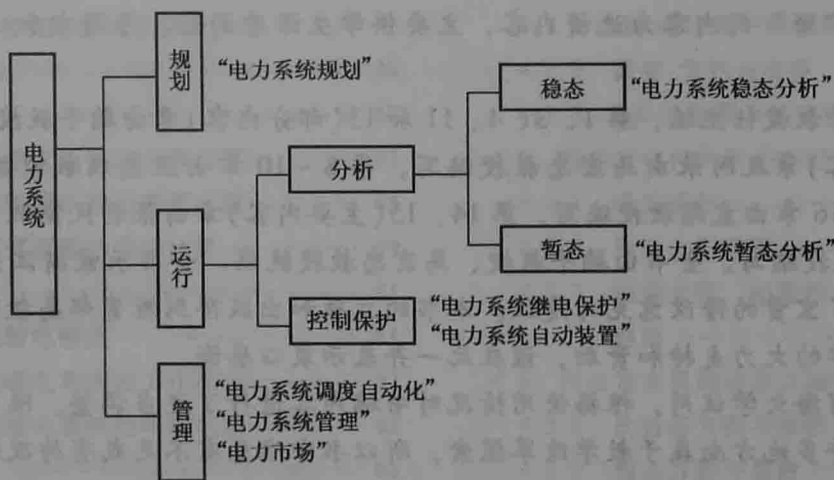


图 2 电力科学的结构

专业合并前，电力系统分析国内较多采用的教材是《电力系统稳态分析》和《电力系统暂态分析》，这些教材内容丰富、介绍详细、叙述严谨、循序渐进。在专业细分时期，电力系统分析有 8 学分，这些教材尤其合适。但是，专业合并后，尤其是各高校压缩专业课程的学分后，电气工程或者电力系统方面的学分只有 5 学分左右。在这种背景下，最近几年出版了几本教材，如《电力系统分析》、《电能系统基础》等，大都简化了原有内容，各有千秋。西

方国家也有几本相关教材, 比如《Electric Power Systems》(John Wiley & Sons Ltd.), 覆盖内容相当宽, 但不具体详细展开, 只给出问题描述和基本方法。

本书内容分为4篇: 电力设备、电力系统稳态分析、电力系统暂态分析、电力工程的设计与管理。这4个方面互相关联, 从学习的角度, 合适的次序应该是先了解元件, 再了解系统, 最后再设计。

本书的主要特色有:

1) 注重体系上的模块式结构, 以便不同专业的灵活选用。既可以作为电气工程及其自动化专业的“电力工程”或者“电力系统”课程的教材, 同时也可以作为其他弱电专业有关电力工程类背景课程的教材。即使是电气工程及其自动化专业, 根据各个高校的学分数情况, 也可以选用不同内容。既可以选择不同篇, 同一篇中也可以选择章。例如, 如果有6学分, 则可以讲解全部内容; 如果只有4学分, 可以选择第1篇中第2~4章, 第2篇中第8、9章, 第3篇中第11~13章(不讲13.4、13.5节)。另外, 本书比较注重与其他课程(包括研究生课程)的衔接。

2) 注重理论与实际的结合, 尤其强调工程中定量分析与定性分析结合的重要性。

3) 注重内容的综合性, 实际上本书内容可以包括以前的“电力系统分析”、“电气设备”等互相关联的几门课程的内容。

4) 注重新知识、新技术、新方法的纳入, 比如直流输电技术、电能质量、电压稳定、电力市场等。

5) 对一些内容的讲解方法进行了创新, 比如同步发电机三相短路电流的推导、电压稳定的直观讲解等。另外, 也纠正了以往教材中一些不妥之处。

6) 注重基本点、要点和难点的讲解, 注重教学的启发互动, 为此设置了讨论课, 思考练习题分为课堂、课后题目两种。

本书中加“※”的内容为选讲内容, 主要供学生课外阅读。习题中加“*”的为研究型题目。

本书由鞠平教授任主编, 第1、3、4、11和13(部分内容)章由鞠平教授编写, 第2、6、7、15(部分内容)章及附录由马宏忠教授编写, 第8~10章由卫志农教授编写, 第12、13(部分内容)和16章由袁越教授编写, 第14、15(主要内容)章由张利民高级工程师编写, 第5章由丁晓群教授编写。全书由鞠平教授、马宏忠教授统稿。全书承蒙浙江大学邱家驹教授审阅, 并提出了宝贵的修改意见与建议。本书的立项和出版得到教育部高教司、机械工业出版社和河海大学的大力支持和资助, 谨在此一并表示衷心感谢。

本书已在河海大学试用, 根据使用情况对书稿内容进行了适当调整。限于笔者水平和实践经验, 而且许多地方尚属于教学改革探索, 所以书中难免有不足或有待改进之处, 尚希读者不吝指正。联系方式: 鞠平 pju@hhu.edu.cn, 马宏忠 hhumhz@163.com。

作者

2008年12月于南京

目 录

序

第2版前言

第1版前言

第1章 绪论	1
1.1 电力工程的发展	1
1.2 电力系统概述	2
1.2.1 电力系统的构成	2
1.2.2 电力系统的基本参量	3
1.2.3 发电厂简介	6
1.2.4 变电所简介	8

1.2.5 电力系统的特点和要求	9
1.2.6 电力系统中性点接地方式	9
1.3 电力系统计算的标幺制	11
1.3.1 标幺值的计算与选择	12
1.3.2 标幺值之间的换算	14
1.3.3 复杂网络中标幺值的计算	14
1.3.4 频率、角速度和时间的基准值	18
思考题与习题	18
参考文献	19

第1篇 电力设备

第2章 输电设备	20
2.1 输电线路	20
2.1.1 输电线路的结构特点	20
2.1.2 电缆线路及附件	28
2.1.3 架空线路模型	29
2.1.4 电力线路的等效电路	37
*2.1.5 输电线路覆冰危害及除冰 防冰	39
2.2 变压器	42
2.2.1 双绕组变压器的参数计算	42
2.2.2 三绕组变压器的参数计算	45
2.2.3 自耦变压器的参数计算	49
2.3 直流输电	51
2.3.1 直流输电概述	51
2.3.2 直流输电系统的工作原理	57
2.3.3 直流输电系统的等效电路	62
思考题与习题	63
参考文献	64

第3章 电力负荷	65
3.1 负荷曲线	65
3.2 负荷分类	67
3.3 负荷模型	67
3.3.1 负荷模型概述	67
3.3.2 静态负荷模型	68

3.3.3 电动机负荷模型	70
3.3.4 综合负荷模型	72
思考题与习题	72
参考文献	72

第4章 同步发电机

4.1 同步发电机的基本方程与参数	73
4.1.1 abc 坐标系下的方程	73
4.1.2 派克-戈列夫变换	75
4.1.3 dq0 坐标系下的方程	78
4.2 同步发电机的稳态方程与参数	81
4.2.1 稳态条件	81
4.2.2 稳态电压方程	81
4.2.3 相量方程、相量图、等效电 路图	82
4.3 同步发电机的动态方程与参数	84
4.3.1 次暂态方程与参数	84
4.3.2 暂态方程与参数	86
*4.4 励磁系统及调压器	90
*4.5 原动机及调速器	92
思考题与习题	94
参考文献	94

第5章 开关类设备

*5.1 电弧与灭弧	95
5.1.1 电弧产生和熄灭的物理过程	95

5.1.2 灭弧的物理过程	97	6.1.1 高电压与绝缘的成因	120
5.1.3 熄灭交流电弧的基本方法	97	6.1.2 过电压保护	120
5.2 高压断路器	100	6.1.3 接地	122
5.2.1 电力系统对高压断路器的要求	100	6.2 继电保护	123
5.2.2 高压断路器的型号、分类和特点	100	6.2.1 继电保护概述	123
5.2.3 SF ₆ 高压断路器	103	6.2.2 线路的继电保护	124
5.3 高压隔离开关、负荷开关、熔断器	106	6.2.3 电力变压器保护	139
5.3.1 高压隔离开关	106	*6.2.4 发电机保护	140
5.3.2 高压负荷开关	108	6.3 电力系统控制	142
5.3.3 高压熔断器	110	6.3.1 电力系统控制体系	142
5.4 低压电器	113	6.3.2 电力系统控制组成	143
5.4.1 低压熔断器	113	6.3.3 电力系统自动安全稳定控制	144
5.4.2 低压刀开关	115	6.3.4 电力系统自动发电控制	145
5.4.3 低压断路器	117	6.3.5 电力系统自动电压控制	146
5.4.4 接触器	117	6.4 互感器	147
思考题与习题	118	6.4.1 互感器概述	148
参考文献	119	6.4.2 电流互感器	148
第6章 高压绝缘与保护控制	120	6.4.3 电压互感器	154
6.1 高压绝缘与接地	120	思考题与习题	158
		参考文献	159

第2篇 电力系统稳态分析

第7章 电力系统的潮流	161	第8章 电力系统的频率	203
7.1 电力系统潮流概述	161	8.1 电力系统频率概述	203
7.2 输电线路运行特性及简单电力系统潮流计算	162	8.1.1 电力系统频率的概念	203
7.2.1 电力线路上的电压降落、功率损耗和电能损耗	162	8.1.2 电力系统频率的测量	204
7.2.2 变压器上的电压降落、功率损耗和电能损耗	167	8.2 电力系统的频率特性	205
7.2.3 简单辐射型网络的潮流计算	168	8.2.1 发电机组的频率特性	205
7.3 复杂电力系统的潮流计算	172	8.2.2 电力负荷的频率特性	208
7.3.1 潮流计算方法概述	172	8.2.3 电力系统的有功功率-频率特性	209
7.3.2 电力网络方程	172	8.3 电力系统的频率调整	209
7.3.3 节点功率方程与节点的分类	179	8.3.1 电力系统频率的一次调整	209
7.3.4 牛顿-拉夫逊法	181	8.3.2 电力系统频率的二次调整	212
7.3.5 PQ分解法	194	8.3.3 互联系统的频率调整	213
7.4 电力系统优化潮流简介	198	思考题与习题	216
7.4.1 优化潮流的数学模型	198	参考文献	217
7.4.2 优化潮流的算法	199	第9章 电力系统的电压	219
思考题与习题	199	9.1 电力系统电压概述	219
参考文献	202	9.1.1 无功功率负荷与电压的关系	219
		9.1.2 电压偏移的危害	222
		9.1.3 电压偏移的标准	223

9.2 电力系统中无功功率的平衡与补偿	223	9.3.2 电压调整的方法	229
9.2.1 电力系统中无功功率负荷与无功功率损耗	223	*9.4 电力系统中的谐波	238
9.2.2 电力系统中的无功电源	224	9.4.1 谐波及其产生	238
9.2.3 电力系统的无功功率平衡与补偿	227	9.4.2 谐波的危害	239
9.3 电力系统中的电压管理与调压方法	228	9.4.3 谐波的抑制	239
9.3.1 中枢点电压管理	228	思考题与习题	241
		参考文献	243

第3篇 电力系统暂态分析

第10章 电力系统的对称故障	246	简介	290
10.1 电力系统故障概述	246	思考题与习题	292
10.2 无穷大电源供电系统的三相短路	248	参考文献	294
10.2.1 定性分析	248	第12章 电力系统的稳定	295
10.2.2 冲击电流和最大有效值电流	249	12.1 电力系统稳定概述	295
10.3 同步发电机的突然三相短路	252	12.1.1 电力系统稳定的定义与分类	295
10.3.1 定性分析	252	12.1.2 电力系统稳定分析的模型	296
10.3.2 各分量的初瞬值	252	12.2 简单电力系统的静态稳定	300
10.3.3 各分量的终值	253	12.3 简单电力系统的暂态稳定	305
10.3.4 各分量的时间常数	253	12.3.1 概述	305
10.3.5 合成转换	254	12.3.2 定性分析	305
思考题与习题	257	12.3.3 稳定判据——等面积定则	308
参考文献	258	*12.4 简单电力系统的电压稳定	310
第11章 电力系统的不对称故障	259	12.4.1 概述	310
11.1 对称分量法	259	12.4.2 定性分析	311
11.1.1 对称分量法的基本原理	259	12.4.3 稳定判据	313
11.1.2 对称分量法在不对称故障分析中的应用	260	*12.5 简单电力系统的动态稳定	314
11.2 电力系统各序网络的形成及序网方程	263	12.6 多机电力系统的稳定分析方法	314
11.2.1 序阻抗	263	12.6.1 直接法	314
11.2.2 正序和负序网络	267	12.6.2 小干扰法	315
11.2.3 零序网络	268	12.6.3 数值算法	316
11.3 不对称故障的分析计算	270	12.7 提高电力系统稳定性的措施	318
11.3.1 不对称故障时故障点的电流和电压计算	270	12.7.1 提高静态稳定性的措施	318
11.3.2 非故障点的电流和电压计算	281	12.7.2 提高暂态稳定性的措施	319
11.3.3 非全相运行的分析和计算	286	12.7.3 提高电压稳定性的措施	320
11.4 电力系统不对称故障的计算机算法		12.7.4 抑制低频振荡的措施	321
		思考题与习题	322
		参考文献	324

第4篇 电力工程的设计与管理

第13章 电气主接线	325	13.1 电气主接线概述	325
-------------------	-----	--------------	-----

13.1.1 对电气主接线的基本要求	325	15.2.1 架空线路的选择	363
13.1.2 电气主接线的基本类型	326	15.2.2 电力电缆的选择	370
13.1.3 电气主回路中开关的配置 原则	326	15.3 发电厂及变电所主变压器的选择	371
13.2 电气主接线的基本形式	327	15.3.1 主变压器的容量和台数	371
13.2.1 单母线接线	327	15.3.2 主变压器的负载率	373
13.2.2 单母线分段接线	328	15.3.3 主变压器的型式	373
13.2.3 单母线带旁路母线接线	329	15.4 支柱绝缘子及穿墙套管的选择	375
13.2.4 双母线接线	330	15.4.1 支柱绝缘子的选择	375
13.2.5 双母线分段接线	332	15.4.2 穿墙套管的选择	376
13.2.6 双母线带旁路母线接线	332	15.5 高压断路器、隔离开关和高压熔断器 的选择	377
13.2.7 3/2 断路器双母线接线	332	15.5.1 高压断路器的选择	377
13.2.8 单元接线	333	15.5.2 高压隔离开关的选择	378
13.2.9 桥形接线	334	15.5.3 高压熔断器的选择	379
13.2.10 角形接线	335	15.6 电流和电压互感器的选择	381
13.3 电气主接线实例分析	335	15.6.1 电流互感器的选择	381
13.3.1 火力发电厂电气主接线	336	15.6.2 电压互感器的选择	383
13.3.2 水力发电厂电气主接线	338	15.6.3 电流和电压互感器的配置原 则	385
13.3.3 变电所电气主接线	340	15.7 SF ₆ 封闭式组合电器的选择	388
思考题与习题	340	15.7.1 一般规定	388
参考文献	340	15.7.2 性能要求	388
第14章 电力网络接线的设计	342	15.8 硬母线的选择	389
14.1 输电网接线	342	15.8.1 硬母线的材料、类型与布置 方式	389
14.1.1 输电网接线的基本要求	342	15.8.2 硬母线的截面面积的选择及 热稳定、电晕校验	390
14.1.2 输电网的规划设计方法	342	15.8.3 硬母线的动稳定校验	390
14.1.3 输电网的接线方式	343	思考题与习题	393
14.1.4 输电网接线实例	345	参考文献	394
14.2 配电网接线	346	第16章 电力工程管理	395
14.2.1 配电网的结构	346	16.1 电力工程管理概述	395
14.2.2 供电区域划分	346	16.1.1 我国电力工业体制改革历程	395
14.2.3 用户供电要求与电源接入 要求	347	16.1.2 我国电力市场化改革	396
14.2.4 配电网的基本要求	350	*16.2 电源侧管理	397
14.2.5 配电网的接线方式	351	16.2.1 能源的分类	397
思考题与习题	357	16.2.2 常规能源发电	398
参考文献	357	16.2.3 新型能源发电	398
第15章 电气设备的选择	359	16.2.4 不同能源电厂的发展建议	401
15.1 电气设备选择的一般条件	359	*16.3 需求侧管理	401
15.1.1 按正常工作条件选择电气 设备	359	16.3.1 需求侧管理的概念	402
15.1.2 按短路条件校验热稳定和动 稳定	361	16.3.2 需求侧管理的内容和手段	402
15.2 输电线路的选择	363	16.3.3 实施需求侧管理的模式	403

16.3.4 需求侧管理的实施流程	403	附录 A 电力工程常用术语	405
16.3.5 需求侧管理节能技术	404	附录 B 部分常用导线、电缆安全载 流量表	413
思考题与习题	404	附录 C 常用变压器技术数据	414
参考文献	404		
附录	405		

第1章 绪论

1.1 电力工程的发展

20 世纪是电气时代!

电力工程的基石是电磁感应定律。电磁感应定律是法拉第(Faraday)在 1831 年 10 月发现的,即当磁铁和导线有相对运动时,回路中会产生电流。

电机的出现。不久,法拉第就依据电磁感应定律发明了最早的发电机原型——圆盘发电机,如图 1-1 所示。此后,达文波特、西门子、惠斯顿、格拉姆等发明制造出了发电机和电动机。

电厂的出现。1875 年,巴黎北火车站建造了世界上第一座火电厂,是直流的。1879 年,美国旧金山电厂成为最早售电的电厂。1882 年,美国纽约珍珠街电厂,成为第一座较正规的电厂。1881 年,英国戈德尔明电厂成为第一座水电厂。

电力系统的出现。爱迪生在 1882 年创办的美国纽约珍珠街电厂,由发电机-输电线-电灯组成,应该说是电力系统的萌芽。俄国电工科学家多利沃在 1888 年创用三相交流技术,在 1889 年发明三相笼型感应电机,成为三相交流制的鼻祖。1891 年,密勒主持建立了最早三相交流输电系统,如图 1-2 所示。

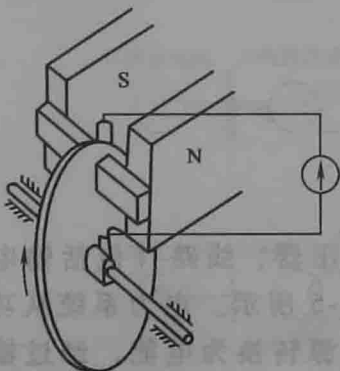


图 1-1 法拉第的圆盘发电机

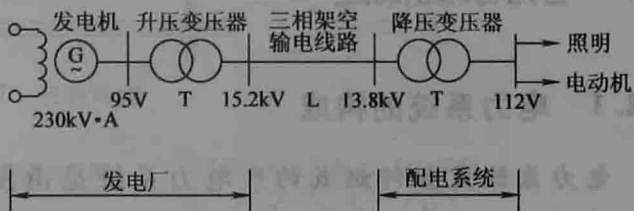


图 1-2 密勒制三相交流输电系统

交流与直流。在电力系统发展史上,一个有趣的问题是交流与直流之争。在 19 世纪电力发展初期,人们采用的是直流;到了 20 世纪初至 50 年代,开始采用交流;到了 1954 年,瑞典本土和歌德兰岛之间建成第一条 100kV 高压直流输电线路,此后交直流并存。直流输电系统的基本结构如图 1-3 所示。

我国电力工业。我国于 1882 年在上海第一次装机发电。时至今日,我国电力工业取得了巨大的成就,成为世界上最大的电力

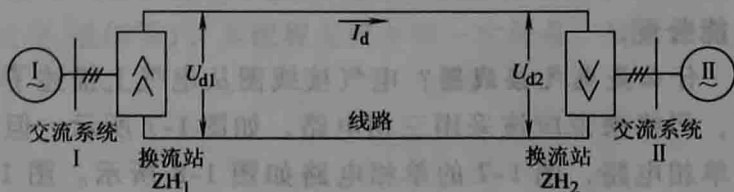


图 1-3 直流输电系统的基本结构

系统。我国电力工业近期有几项战略性的任务：

1) 全国联网。各省级电网实现交直流互联，形成了华北-华中、华东、东北、西北、南方 5 个大规模同步电网。同步电网之间通过直流或者背靠背直流实现互联，如图 1-4 所示。同时，我国相继建成 1000kV 特高压交流输电线路和 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路的示范工程。

2) 可再生能源发电。资源和环境的双重压力，使开发可再生能源发电成为世界各国的共识。我国近期和中期将在可再生能源集中的“三北”（西北、华北、东北）及东部沿海等地，建设大型风力发电、太阳能发电基地，并入大电网。同时，因地制宜开发建设小型风力发电、太阳能发电、生物质能发电等，进行分布式、微电网供电。

3) 智能电网。国际上对于智能电网还没有统一的定义，各国发展智能电网的侧重点也不尽相同。信息化、自动化、互动化是智能电网的基本特征，满足用户多样化需求、促进清洁能源发展、实现高效可靠优质供电是智能电网的基本目标，推进电网主要环节智能化、推进信息支撑平台建设、促进智能公共服务平台建设是智能电网的发展重点。

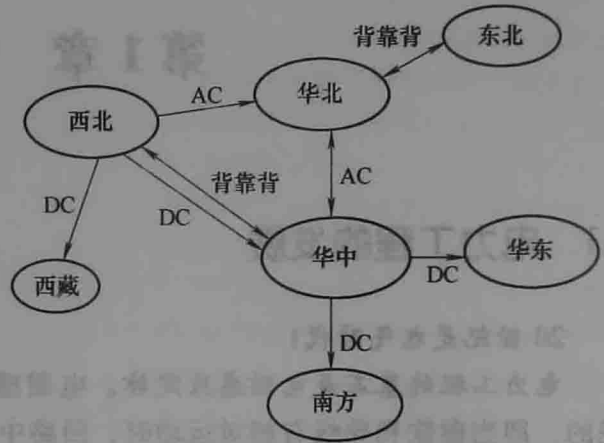


图 1-4 我国大区电网互联基本框架

1.2 电力系统概述

1.2.1 电力系统的构成

电力系统是如何组成的？电力系统是由发电厂、变压器、线路（包括输电线路和配电线路）、用户等电力设备联成一体的系统，如图 1-5 所示。电力系统从功能上通常分为发电、输配电、用电 3 部分，发电厂将一次能源转换为电能，经过输配电网网络输送到用户，然后由用电设备转换为用户所需的其他形式的能量，如图 1-6 所示。根据电能的流向，将送出电能这一侧称为送端，接受电能这一侧称为受端。由变压器和线路等设备构成的网络，也称为电网，实现输配电功能。电网通常划分为输电网和配电网：输电网主要指大区域电网和省级电网，通过特高压或者高压网络实现大范围电能传输；配电网主要指地区电网，通过高压或者中压网络实现小范围电能分配。

什么是电气接线图？电气接线图从电气上描述了电力系统各个部分和设备的连接关系，严格来说应该采用三相电路，如图 1-7 所示，但在三相对称的情况下，一般都简化为单相电路，图 1-7 的单相电路如图 1-8 所示。图 1-9 则描述了典型电力系统的单相电路。

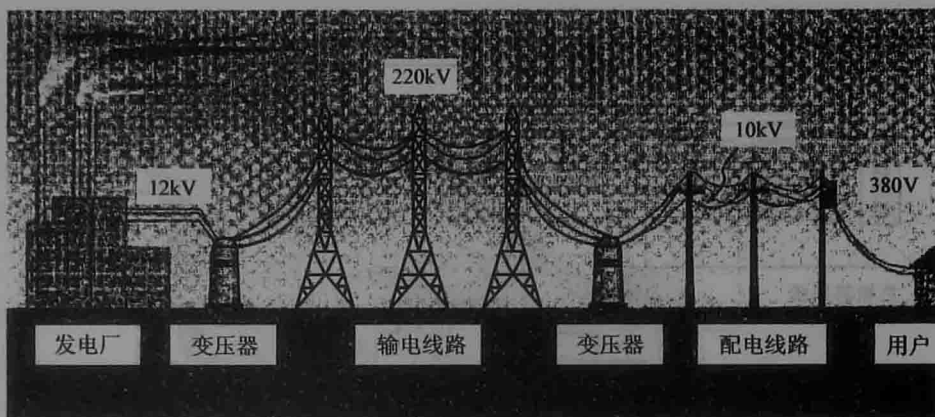


图 1-5 电力系统基本组成

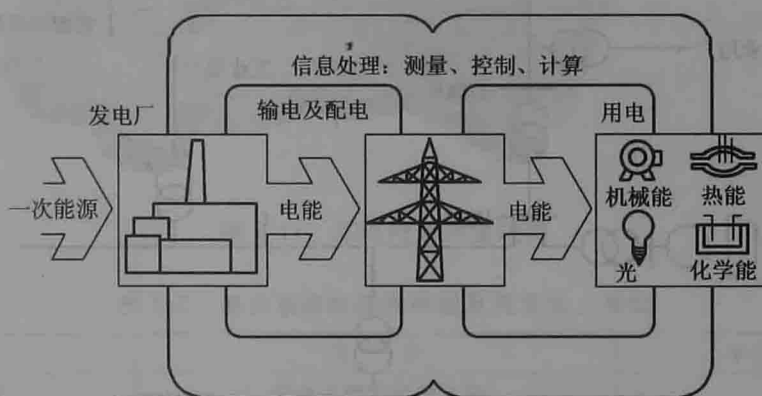


图 1-6 电力系统示意

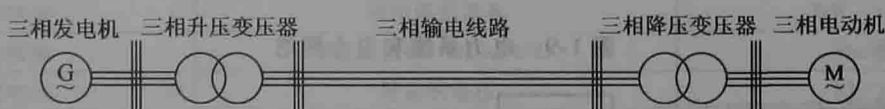


图 1-7 三相电路

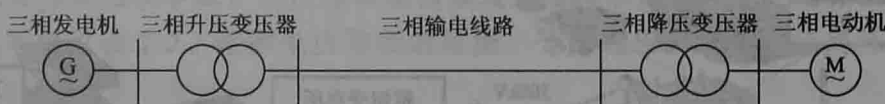


图 1-8 电气接线图

什么是地理接线图？地理接线图从地理上描述了电力系统各个部分和设备的连接关系。严格来说应该采用如图 1-10 所示的地理接线图，但对于大规模电力系统一般都进行简化，如某电网的地理接线图如图 1-11 所示。

电力设备如何分类呢？电力设备分为一次设备（发电、输电、变电、配电、用电等）和二次设备（测量、监视、控制、继电保护、自动化、通信等），本课程主要介绍一次设备，后续课程介绍二次设备。

1.2.2 电力系统的基本参量

电力系统有哪些基本参量？电力系统的基本参量及其含义、单位见表 1-1。