



普通高等教育“十一五”规划教材

# 供配电系统

杨 岳 编著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

普通高等教育“十一五”规划教材

# 供 配 电 系 统

杨 岳 编著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了供电系统的构成、分析计算和基本的工程设计方法,对运行管理也有所涉及。

根据近年来供配电技术的发展和教学现状,本书精简了中、高压部分的内容,加强了对低压系统和电气安全问题的介绍,引入了供配电领域近年来出现的一些新技术,并专门对本书所涉及的基础理论和知识作了回顾与拓展。全书共分11章,第1、2章是对供配电系统总体的形象认识,第3章对先修课程中与本书相关的部分作了复习与提高,第4~11章对供配电系统分析与设计所涉及的主要问题专门介绍,包括负荷计算、短路电流计算、故障保护、设备选择、电击防护、过电压与雷电防护等内容。本书附录中收录了较多的工程数据,可供学生了解实例、完成作业用,也可满足(或部分满足)供配电系统课程设计与毕业设计的需要。

本书较好地平衡了工程应用与基础理论之间的关系,既可用作本科电类专业学生的专业课教材,也可用作工程技术人员的参考用书,还可供注册电气工程师(供配电专业)考试复习与培训使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

供配电系统/杨岳编著. —北京:科学出版社,2007  
(普通高等教育“十一五”规划教材)  
ISBN 978-7-03-020054-9

I. 供… II. 杨… III. ①供电-电力系统-高等学校-教材②配电系统-高等学校-教材 IV. TM72

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第167978号

责任编辑:巴建芬 潘继敏 / 责任校对:钟 洋  
责任印制:张克忠 / 封面设计:黄华斌

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

信浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007年12月第一次印刷 印张:24

印数:1—3 000 字数:469 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

## 前 言

本书是为电类专业本科学生编写的教材。

现在已经有不少同类教材，为什么还要编写本书？

笔者在从事“供配电系统”（曾用名“工厂供电”、“工业与民用供电”等）课程的教学工作中，先后使用过近十本教材，除满足了工作要求以外，自己也从这些教材中吸取了丰富的营养，受益匪浅。同时，笔者深感近几年来高校在培养模式、教学计划等方面发生了较大的变化，学生情况与过去有很大的不同，供配电工程技术也发展很快，业界对学生的要求有所提高……这些现状对课程教学不断提出新的要求，教材理应动态地适应外部条件的改变。因此，笔者编写本书，是希望通过以下几个方面的努力，应对新的应用环境提出的挑战。

第一，在编写方式上便于学生阅读。不论是课内还是课外，能分配给本课程的时间比过去大为减少，学生更需要高效率的阅读来掌握本课程知识。学生学习本课程的最大困难在于严重缺乏有关供配电技术的工程背景。工程背景是在对一个又一个具体技术问题的理解中逐步建立起来的，而要清晰地理解某一个具体的技术问题，又需要有工程背景的支撑，这是一个需要多次反复的过程，笔者希望本教材能帮助学生在这种反复中提高效率。具体的做法，一是尽量对问题的由来交代清楚；二是尽量减少因术语、符号等造成的阅读障碍；三是在内容上力求简洁清晰，避免因枝节问题而模糊本课程知识结构的主干；四是注意介绍某一具体问题在整个工程体系中的位置，使学生在把握整体的情况下钻研细节；最后，以设计一个供配电系统为主线，贯穿所有内容。

第二，在内容安排上仔细考校本课程与基础理论和工程应用之间的关系。工科专业的专业课教材既不能像设计手册或规范那样仅作为工具书使用，也不能像基础课教材那样只侧重于概念与理论，缺乏对象、方法、数据和解决问题的过程，专业课教材应该是理论与实际相结合的范本。因工作关系，笔者在从事教学工作的同时，还长期从事着供配电工程设计、咨询等工作，经常查阅与供配电工程相关的各种标准、规范，还认真地研究过注册电气工程师（供配电专业）考试大纲。笔者认为，工程规范与注册电气工程师考试大纲比较全面地反映了工程界对供配电工程师知识结构与技术能力的要求，作为教师，我们的任务之一就是提炼出支撑这些要求的知识点，分析这些知识点的主次轻重、理论基础和内在联系，并按教学规律将其体系化，以便系统地传授给学生。本书专列第3章讲解基础理论，将继电保护安排在电气设备选择之前介绍，将配电设备选择与线缆和变

压器选择作为两种不同类别的选择分别介绍，增加低压系统的分量，引入电击防护和电涌保护等新内容。这些有别于其他供配电教材的地方，正是以上思考的结果。

第三，特别注重对学生工程意识的培养。工程师是以解决问题为最终目标的，这是工程意识的根本，因为工程意识最终要体现在工程能力上。在现行教育体制下，能讲道理、会考试的学生多，能发现并解决问题的学生少，因此工程意识的培养显得尤为重要。本书从引导学生了解用户需求与可用资源入手，通过对工程现象的分析和对工程方法的掌握与体会，逐步明了工程意识的一些基本要素，如对不可控因素的处理、对精确与近似关系的认识、对量值的重视、对等效方法的使用、对关联性的理解、对多因素相关问题的拆分（解耦）……工程意识的培养是一个艰难的过程，不可能靠一门课程达到目标，但如果每一门课程都不能有意识地加以引导，则恐怕连百步之遥也永不能及。因此，如果说本书是侧重于让学生阅读的话，则笔者希望这段话能引起使用本书的教师的高度重视。引导学生建立工程意识，教师最关键！

按以上的考虑，书稿既成，还想对使用本书的学生说几句话。按认识事物的一般规律，普遍性总是寓于特殊性之中，因此理应重视对一个又一个供配电技术问题的学习；同时，要特别注意思考供配电技术的各种问题在供配电工程中的位置与作用，将所学的知识归纳起来，构成结构明晰的知识体系，只有这样，所学知识才能成为帮助我们的工具，而不是一大堆需要记忆的包袱。另外，要有探索精神，对书中提到但未展开讨论的一些问题，鼓励大家利用图书馆或网络等资源收集资料，作进一步研究，本书在练习题中布置了一部分这样的题目，可供参考。

本书由雍静老师主审，她不仅对本书提出了许多宝贵意见，还提供了大部分附录数据，在此深表谢意。

本书在编写过程中参阅了很多资料，其中一部分列在参考文献中，还有一些未能一一列出，在此一并对原作者表示感谢。另外，本书吸取了笔者所在课程组近30年来在本课程教学工作中所积累的经验，在此对前辈和同仁们表示感谢。

由于作者水平有限，书中不妥甚至谬误之处在所难免，恳请读者指正。

作者

2007年4月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 电能与电力系统 .....	1
1.1.1 电气工程 .....	1
1.1.2 电力系统 .....	1
1.1.3 电能的商品属性 .....	5
1.2 电力系统的表达 .....	5
1.2.1 结构描述 .....	6
1.2.2 运行状态描述 .....	7
1.2.3 术语与符号 .....	8
1.3 电力系统的标准电压 .....	9
1.3.1 为什么要规定不同的电压等级 .....	10
1.3.2 标准电压 .....	10
1.3.3 对标准电压的解读 .....	11
1.4 电力负荷及其对供电可靠性要求 .....	13
1.4.1 电力负荷的含义 .....	13
1.4.2 负荷分级与供电可靠性 .....	15
1.5 城市电网与供配电系统 .....	16
1.5.1 城市电网简介 .....	16
1.5.2 供配电系统的概念 .....	19
1.5.3 本课程特点 .....	19
思考与练习题 .....	20
<b>第 2 章 供配电系统的构成</b> .....	21
2.1 供配电系统的电压层次 .....	21
2.1.1 供配电系统的负荷与电源 .....	21
2.1.2 供配电系统按电压层次的分类 .....	21
2.2 变配电所的电气主结线 .....	22
2.2.1 主结线的含义 .....	22
2.2.2 一次系统常用设备及功能 .....	23
2.2.3 构成电气主结线的基本要素 .....	24
2.2.4 几种典型的电气主结线 .....	25

2.3	供配电系统的网络结线	32
2.3.1	放射式配电	32
2.3.2	树干式配电	33
2.3.3	环式配电	33
2.3.4	各种配电方式的综合应用	34
2.4	供配电设施之变配电所	35
2.4.1	变配电所电气装置	35
2.4.2	变配电所平面布置与土建要求	39
2.5	供配电设施之电力线路	42
2.5.1	架空线路	42
2.5.2	电缆线路	46
	思考与练习题	48
<b>第3章</b>	<b>供配电系统计算基础</b>	<b>49</b>
3.1	单相交流电路计算	49
3.1.1	单相交流电路中的功率	49
3.1.2	功率三角形与功率因数	50
3.1.3	功率值正负与功率流的方向	51
3.1.4	功率的叠加	51
3.2	三相交流电路计算	51
3.2.1	交流三相平衡电路中的电压和电流	52
3.2.2	交流三相平衡电路中的功率	54
3.2.3	交流三相电路的求解	54
3.3	标幺制及基值选取	56
3.3.1	标幺制	56
3.3.2	基值的选取	56
3.4	变压器主要电气参数	59
3.4.1	额定参数	60
3.4.2	开路试验所得出的参数	61
3.4.3	短路试验所得出的参数	62
3.5	交流异步电动机主要电气参数	64
3.5.1	电动机的工作制与定额	64
3.5.2	电动机的额定功率和额定电流	65
3.5.3	电动机的启动电流和启动时间	66
3.6	电力线路阻抗与导纳	67
3.6.1	电阻	67
3.6.2	电抗	68
3.6.3	电导	69

3.6.4 电纳 .....	69
3.6.5 电力线路的等效电路 .....	69
思考与练习题 .....	69
<b>第4章 负荷计算</b> .....	<b>71</b>
4.1 负荷调查与分析 .....	71
4.1.1 负荷调查 .....	71
4.1.2 负荷曲线的指标体系 .....	72
4.2 负荷热效应与计算负荷概念 .....	74
4.2.1 负荷的热效应 .....	74
4.2.2 计算负荷 .....	75
4.3 负荷计算 .....	77
4.3.1 需要系数法 .....	77
4.3.2 二项式法 .....	80
4.3.3 单位指标法 .....	81
4.3.4 负荷计算方法的讨论 .....	81
4.3.5 三相负荷不平衡情况的处理 .....	82
4.4 功率与电能损耗计算 .....	84
4.4.1 电网的功率损耗 .....	84
4.4.2 电网的电能损耗 .....	85
4.5 无功功率补偿 .....	86
4.5.1 功率因数的工程计算 .....	86
4.5.2 无功功率补偿原理与计算 .....	87
4.5.3 补偿电容器的接线方式 .....	89
4.5.4 无功补偿的控制方式 .....	89
4.5.5 补偿装置的装设地点 .....	90
4.6 负荷计算示例 .....	90
思考与练习题 .....	92
<b>第5章 短路电流计算</b> .....	<b>94</b>
5.1 短路概述 .....	94
5.1.1 供配电系统中性点运行方式 .....	94
5.1.2 短路发生的原因与危害 .....	95
5.1.3 中、高压系统的短路类型 .....	96
5.2 供配电系统三相短路暂态过程 .....	97
5.2.1 远端短路与无限大容量电源系统 .....	97
5.2.2 磁链守恒定律 .....	97
5.2.3 三相短路过程分析 .....	98
5.3 供配电系统三相短路全电流特征分析 .....	101



5.3.1	三相短路全电流极大值条件分析	101
5.3.2	三相短路全电流特征值	102
5.3.3	异步电动机对短路冲击电流的影响	104
5.4	标么值法计算三相短路电流	106
5.4.1	不同电压等级电网中基值的选取	106
5.4.2	元件阻抗计算	109
5.4.3	用标么值法计算短路电流	111
5.4.4	计算示例	112
5.5	短路容量及其讨论	114
5.5.1	$S_k$ 与 $S_{k'}$	114
5.5.2	关于短路容量的讨论	114
5.6	不对称短路的短路电流计算	116
5.6.1	不对称短路电流计算的困难所在	116
5.6.2	对称分量法简介	117
5.6.3	不对称短路电流计算	121
5.6.4	变压器穿越电流分析	122
	思考与练习题	124
<b>第6章</b>	<b>中压系统继电保护</b>	126
6.1	故障与保护	126
6.1.1	供配电系统的正常运行与故障	126
6.1.2	保护的、种类与要求	126
6.1.3	故障判别与保护动作依据	128
6.2	保护用继电器的保护特性	129
6.2.1	简介	129
6.2.2	电磁式继电器原理结构与特性	131
6.2.3	感应式继电器原理结构与特性	132
6.3	电流保护装置的接线方式与工作原理	135
6.3.1	互感器与继电器的接线方式	135
6.3.2	保护装置的工作原理	137
6.4	线路相间短路的电流三段保护	139
6.4.1	电流速断保护	140
6.4.2	定(反)时限过电流保护	141
6.4.3	限时电流速断保护	145
6.4.4	电流三段保护的綜合应用	145
6.5	线路不正常运行状态保护	143
6.5.1	过负荷保护	146
6.5.2	小接地系统单相接地保护	147

6.6	配电变压器保护 .....	150
6.6.1	相间短路的电流速断和过电流保护 .....	151
6.6.2	低压侧单相短路的零序电流保护 .....	152
6.6.3	相间短路的差动保护 .....	153
6.6.4	过负荷保护 .....	155
6.6.5	根据故障效应设置的保护 .....	155
6.7	其他设备保护简介及保护整定计算示例 .....	156
6.7.1	高压异步电动机、电力电容器、母线分段断路器保护设置 .....	156
6.7.2	线路继电保护整定计算示例 .....	156
	思考与练习题 .....	158
<b>第7章</b>	<b>中压系统配电设备选择</b> .....	<b>160</b>
7.1	短路电流的效应 .....	160
7.1.1	短路电流通过平行导体产生的电动力效应 .....	160
7.1.2	短路电流的热效应 .....	160
7.2	电气设备选择的一般性问题 .....	166
7.2.1	电气设备选择的基本原则 .....	166
7.2.2	按正常工作条件选择设备参数 .....	167
7.2.3	按短路动、热稳定校验设备参数 .....	167
7.2.4	按环境条件校验参数 .....	169
7.3	配电断路器选择 .....	170
7.3.1	开关电器的电弧与灭弧 .....	170
7.3.2	断路器简介 .....	173
7.3.3	断路器参数选择 .....	174
7.3.4	断路器操动机构 .....	176
7.4	熔断器及其选择 .....	177
7.4.1	熔断器的工作原理 .....	177
7.4.2	熔断器的保护特性 .....	178
7.4.3	熔断器的主要参数及选择 .....	179
7.4.4	熔断器类型简介 .....	180
7.5	负荷开关-熔断器组合及其选择 .....	180
7.5.1	负荷开关简介 .....	180
7.5.2	负荷开关-熔断器电器组合中的转移电流与交接电流 .....	181
7.6	互感器及其选择 .....	183
7.6.1	电流互感器 .....	183
7.6.2	电压互感器 .....	188
7.6.3	互感器的二次负载计算 .....	192
7.6.4	互感器的选择 .....	192

思考与练习题	193
<b>第 8 章 低压配电系统及设备选择</b>	194
8.1 低压系统接地形式分类	194
8.1.1 名词解释	194
8.1.2 低压系统的三种接地形式	195
8.2 低压系统短路电流计算	200
8.2.1 低压系统短路电流计算的特点	200
8.2.2 三相与两相短路电流计算	201
8.2.3 单相短路电流计算	201
8.2.4 计算示例	203
8.3 低压配电设备	205
8.3.1 低压断路器	205
8.3.2 低压熔断器	207
8.3.3 开关、隔离器及熔断器组合电器	208
8.3.4 剩余电流保护电器	209
8.4 低压配电线路的过电流保护	211
8.4.1 过电流及保护原则	211
8.4.2 低压配电线路的短路保护	212
8.4.3 低压配电线路的过负荷保护	215
8.5 低压配电线路的接地故障保护	216
8.5.1 电击防护概述	216
8.5.2 TN 系统的接地故障保护	218
8.5.3 TT 系统的接地故障保护	220
8.5.4 IT 系统的接地故障保护	221
思考与练习题	226
<b>第 9 章 电力电缆与变压器选择</b>	228
9.1 电能质量概述	228
9.1.1 电压偏差	228
9.1.2 电压波动和闪变	229
9.1.3 三相不平衡度	230
9.1.4 谐波	230
9.2 线路和变压器电压损失计算	232
9.2.1 电力线路电压损失计算	232
9.2.2 变压器电压损失计算	235
9.3 电压偏差及电压调整	235
9.3.1 电压调整的方式	235
9.3.2 变压器电压分接头的调压方法	237

9.4 变压器选择 .....	238
9.4.1 常用配电变压器类型及选择 .....	239
9.4.2 配电变压器参数选择 .....	239
9.4.3 配电变压器连接组选择 .....	241
9.4.4 配电变压器调压方式与电压分接头选择 .....	242
9.4.5 供配电系统设计中变压器选择的考虑 .....	242
9.5 电力电缆选择 .....	244
9.5.1 电缆的允许载流量 .....	244
9.5.2 电缆额定电压选择 .....	247
9.5.3 电缆相导体截面选择 .....	248
9.5.4 中性线与保护线导体截面选择 .....	249
9.5.5 导体材料与电缆芯数的选择 .....	250
9.5.6 其他型式选择 .....	251
思考与练习题 .....	252
<b>第10章 供配电系统过电压防护</b> .....	<b>253</b>
10.1 过电压与设备耐压 .....	253
10.1.1 过电压的分类 .....	253
10.1.2 电气设备的耐压 .....	254
10.2 避雷器 .....	256
10.2.1 避雷器的类别及工作原理 .....	257
10.2.2 阀式避雷器的主要参数 .....	260
10.3 传输线上的波过程 .....	262
10.3.1 传输线 .....	262
10.3.2 传输线上的行波 .....	266
10.4 大气过电压防护 .....	270
10.4.1 雷电参数 .....	270
10.4.2 输电线路的雷电过电压及防护 .....	271
10.4.3 变配电所的雷电过电压及防护 .....	276
10.5 内部过电压简介 .....	282
10.5.1 切除空载变压器引起的过电压 .....	283
10.5.2 间隙电弧接地过电压 .....	285
10.5.3 中性点位移 .....	290
10.5.4 高电位传导 .....	295
10.6 过电压保护应用示例 .....	298
10.6.1 10/0.4kV 变配电所过电压防护 .....	298
10.6.2 高压电动机的过电压防护 .....	301
思考与练习题 .....	302

<b>第 11 章 接地、建筑物防雷及低压系统电涌保护</b> .....	303
11.1 接地与接地装置 .....	303
11.1.1 接地的分类 .....	303
11.1.2 接地装置原理构成及接地电阻 .....	304
11.1.3 工程中的接地装置 .....	305
11.1.4 分别接地与共同接地 .....	307
11.1.5 跨步电压 .....	307
11.2 建筑物防雷措施 .....	307
11.2.1 建筑物防雷类别的确定 .....	307
11.2.2 建筑物外部防雷系统的构成 .....	309
11.2.3 反击及防护 .....	311
11.2.4 感应雷及雷电波侵入的防护 .....	312
11.3 接闪器保护范围的确定 .....	312
11.3.1 避雷针、线的保护范围 .....	313
11.3.2 避雷网的保护范围 .....	320
11.4 建筑物中雷击电磁脉冲防护 .....	320
11.4.1 用于雷击电磁脉冲防护的雷电流参数 .....	320
11.4.2 防雷区 .....	323
11.4.3 在建筑物上实施的防雷击电磁脉冲的措施 .....	325
11.5 电涌与电涌保护器 .....	329
11.5.1 电涌的来源 .....	329
11.5.2 电涌能量的计算 .....	332
11.5.3 电涌保护器 .....	334
11.6 低压配电系统电涌保护简介 .....	337
11.6.1 电涌保护的目及在防雷保护中的地位 .....	338
11.6.2 电涌保护主要对象及耐受水平 .....	338
11.6.3 电涌保护系统的布局 .....	339
11.6.4 电压保护模式 .....	340
11.6.5 电涌保护器主要参数的选择 .....	341
11.6.6 电涌保护的级间配合 .....	344
11.6.7 电涌保护与系统中其他保护的配合 .....	345
思考与练习题 .....	348
参考文献 .....	350
附录 .....	351

# 第 1 章 概 论

## 1.1 电能与电力系统

### 1.1.1 电气工程

从 18 世纪后半叶卡文迪什和库仑的静电研究，到 19 世纪后半叶麦克斯韦电磁波理论的建立与验证，在一个多世纪的时间里，关于宏观电磁现象的物理学研究取得了巨大的成就。在此基础上，电磁现象的工程应用从 19 世纪中前期（大约为我国的鸦片战争时期）开始起步，并向两个主要的方向发展。其一是将电作为消息的载体进行信号传送，称为电信；其二是将电作为能源加以利用，称为电力。前者的典型代表有大家熟知的莫尔斯电报和贝尔电话等，后者则是以电解、电弧灯和电动机开始的。迄今，这两个方向都发展出了各自庞大的工程体系，但“电信”已溶入内涵更为丰富的“信息”领域中，并成为其中重要的组成部分，而“电力”的工程应用，则成就了我们今天所说的“电气工程”领域。

### 1.1.2 电力系统

#### 1. 电力系统的任务

电力系统既是电气工程的基础，又是电气工程的重要组成部分，它产生于人们有控制地使用电能的需求。尽管现代电力系统庞大而复杂，但建立电力系统的目的却非常简单，那就是“给用电设备提供其所需要的电能”。

请牢记电力系统的这一根本任务。可以说，大多数有关电力系统的技术问题，都或多或少、或直接或间接地与这一任务有关。给这句话加上一个形容词或副词，或许就会派生出一个电力系统的专业方向或技术分支。例如，我们要“给用电设备提供其所需要的合格的电能”，就意味着工程上需要一套关于电能质量的技术标准，一系列保证电能质量的技术措施，以及各种各样与电能质量相关的仪器设备，等等。这里给出的是一种理解电力系统的思路，即我们不能只满足于从电力系统的现状去理解电力系统，而应该更进一步探究电力系统为什么会是这种现状，这就要求我们从电力系统的最根本任务出发进行思考。这种思路对于我们理解电力系统各种技术问题的由来是很有帮助的。

## 2. 电力系统的构成

由发电、输变电、变配电和用电等环节构成的系统叫做电力系统，如图 1-1 所示，它们分别完成电能的生产、传输、分配与消费等任务。工程上，又将电力系统中除去发电机的部分称为电力网络，简称电网；将电力系统连同发电机的原动机统称为动力系统。

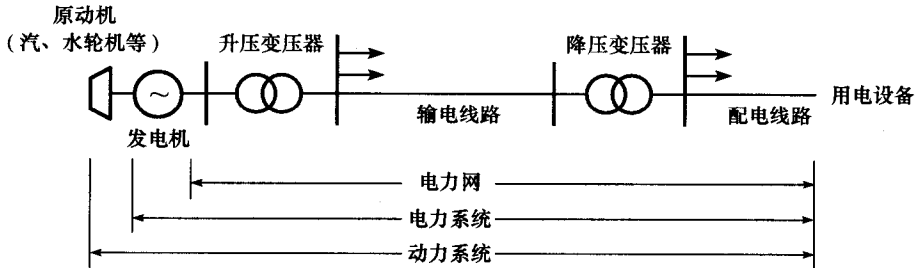


图 1-1 简单电力系统模型

现有的电力系统绝大多数都采用了以上结构，这里除了有历史沿革和相互借鉴等因素以外，主要原因在于这种结构具有充分的技术合理性，这些技术合理性主要源于以下事实：

(1) 电能是一种二次能源，因此发电环节是必不可少的。

(2) 发电厂与用电负荷中心通常相距甚远，输电环节由此产生。

(3) 即使在城市、厂矿等负荷中心，负荷一般也是分布在不同地点的，且类别多样、数量庞大、权属又各有不同，无法将它们集中在一个地点来使用电能，因此必须将电能进行分配。这表明了配电环节的必要性。

因此，不要认为电力系统天生如此——其实自然界原本并不存在电力系统。电力系统以这样的结构存在，是在实现有控制地使用电能这一目标的过程中，科学家和工程师们不断实践的结果。随着科学技术的发展，电力系统的结构是否会发生一些变化，我们既可拭目以待，更可投身其中。

## 3. 电力系统各环节的作用

(1) 发电。其作用是将其他形式的能转换成电能。这些其他形式的能主要有煤、油等矿物的化学能，水、风、潮汐等流体的机械能，地热资源中的热能，以及核能和太阳能等，这些能量均为自然界自身所蕴藏，我们称之为一次能源，相应地将电能称为二次能源。发电厂一般以其所使用的一次能源冠名，如火力发电厂、水力发电厂、核电厂等。

(2) 输变电。其作用是将电能集中地从一处输送到另一处,一般来说传输的功率大、距离长。因长距离大功率输送电能所产生的损耗较大,一般需要使用比较高的电压,但发电机因制造和运行等方面的原因,输出电压不可能很高,因此必须在传输前将电压升高,这就使得升压变电成为输电的一个必不可少的环节,统称输变电。

(3) 变配电。其作用是将集中的电能分配给散布的用户。输变电环节传输来的电能电压一般较高,而用户由于安全等诸多方面的原因不能使用很高的电压,因此需要先将电压降低后再进行分配,统称变配电。

(4) 用电。其作用是将电能转化为其他形式的能,如机械能、光能、声能等。

#### 4. 电力系统的运行特点

电能既是电力系统的产品,又是电力系统的消费品。与一般工业产品相比,它有其自身的特点,这些特点最终反映在对系统运行的要求上。

(1) 可靠性要求非常高。由于电能突出的优点,使其成为大多数生产和生活活动中的首选能源,使用上的广泛性决定了它的基础性和重要性特征。电能供应的中断或不足,不仅会产生比较大的经济损失,还会造成诸多不便、混乱甚至严重事故和灾难。因此,电力系统的运行,需要很高的可靠性。

(2) 生产和消费需要实时平衡。以现有的技术,电能尚不能大量存储,因此需要生产与消费同时完成。但电能的消费是由庞大的用户群共同确定的,用电量的大小有一定的随机性,电力系统必须具有应对这种随机性的技术措施。

(3) 暂态过程非常短暂。所谓暂态,是指电力系统从一种稳定运行状态转变到另一种稳定运行状态之间的过渡过程,这种转变一般是由系统的扰动产生的。电力系统对扰动的响应若不及时,常常会产生比较严重的后果。因此电力系统需要有完善的自动控制手段。

#### 5. 电力系统的联网运行

实际的电力系统,一般不会只有一个电源,而是将分布在不同地点的多个电源组成网络,共同服务于所有用户,这就叫电力系统的联网运行。图 1-2 就是一个联网运行的电力系统,图中除了有由电源向负荷供电的单向功率传输通道外,各电源之间还有功率可双向传输的电气通道。联网运行的理论依据可以用两个数学定理来表述,这两个定理分别是大数定理和比例尺定理,它们主要表述的是资源使用效率与服务对象数量之间的关系,在此不作详述。从工程的角度看,联网运行主要有以下好处:



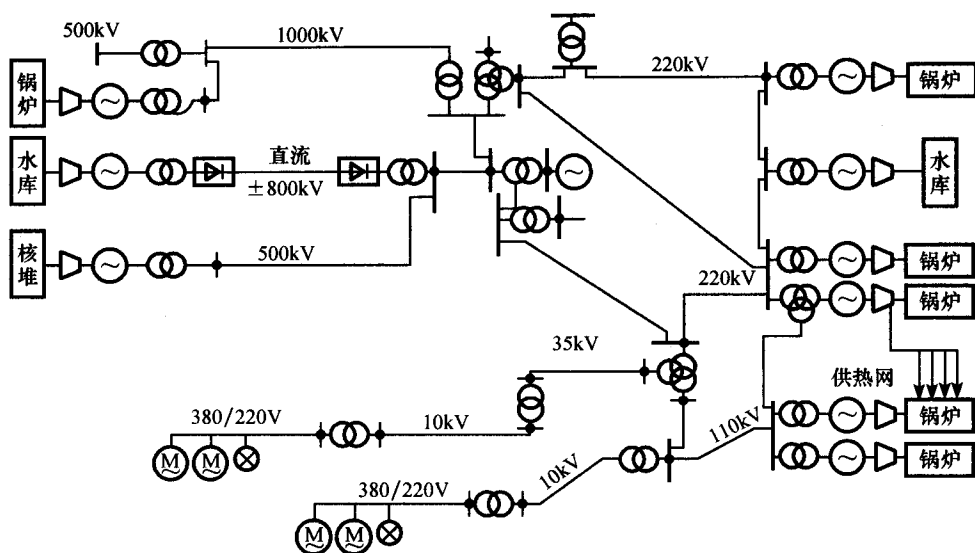


图 1-2 联网运行的电力系统

(1) 提高发电设备利用率。用电负荷并不会一直维持在一个恒定量值，而是随时间变化的，其最大值（峰值）和最小值（谷值）之间有一定的落差，称为峰谷差。为了在峰值时满足供电需求，发电设备必须具有不小于峰值负荷的发电能力，但这些发电能力在负荷非峰值期间就会有部分处于闲置状态，使得设备利用率降低。联网运行，相当于扩大了用户样本数量和分布区域，由于不同类别负荷（如生活照明负荷与生产动力负荷）峰、谷值出现时间不一致，不同地区间负荷峰、谷值出现的时间也可能有差异，使得总的负荷峰谷差趋于减小，有利于提高设备的利用率。

(2) 优化一次能源的利用。这一点主要体现在两个方面。一方面，联网会使总的负荷量值增大，使得采用大容量发电机组成为可能，而大容量发电机组的效率一般要高于小容量机组；另一方面，联网可合理调配可再生与不可再生能源，如可充分利用季节优势，在丰水期多发廉价的水电，来减少煤、石油等资源的消耗。

(3) 提高供电可靠性。联网不仅使发电机的数量增加，而且使可供选择的供电路径增多，系统对发电机或供电回路故障的代偿能力因此提高，供电可靠性更有保障。

(4) 提高电能质量。由于联网使负荷波动相对减小，以及系统对局部故障的代偿能力增强，电压波动、频率稳定性等电能质量指标得到提高。

当然，联网运行也并非百利无弊。大电网一旦发生稳定性故障导致系统崩