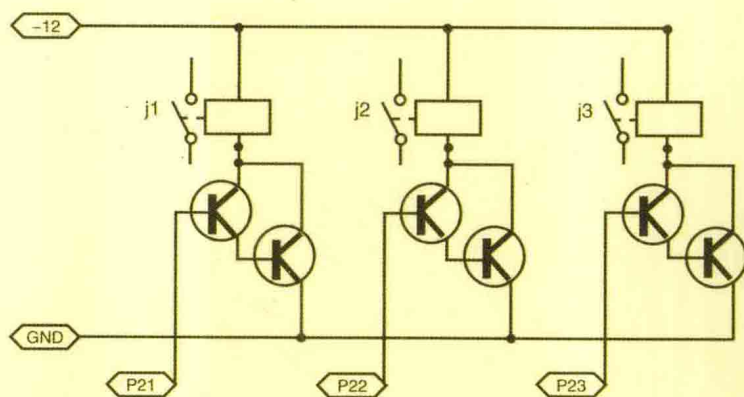


普通高等院校“十一五”规划教材

电气工程基础

DIANQI GONGCHENG JICHU

杨伟 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press



本书配有电子课件

电气工程基础

杨伟 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要内容包括电力系统负荷分析与计算、电力系统稳态分析与计算基础、电力系统暂态分析与计算基础、电气主系统与设备、电力系统继电保护基础及电力系统过电压与防护技术。

本书可以作为高等院校电气工程及其自动化专业本科生教材,也可供电力系统企事业单位和其他相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础/杨伟主编. —北京:国防工业出版社,2009.12

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06816-0

I. ①电... II. ①杨... III. ①电气工程—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 054651 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 字数 542 千字

2009年12月第1版第1次印刷 印数1—4000册 定价36.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制定了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。

为了培养宽口径的复合型人才，保证和提高教学质量，国内许多高校电气工程及其自动化专业进行了电力系统课程模块教学内容与课程体系改革的研究与实践，整合传统专业课程，在对原电气工程及其自动化专业主干课程电力系统分析、高电压技术、发电厂电气部分、电力系统继电保护等课程进行整合的基础上，编写了电气工程基础教材，有创意地设置了电气工程基础学科平台课程，将教学研究成果成功地运用于电气工程及其自动化专业的教学实践。但已出版的《电气工程基础》教材内容多，需要学时量大，因而仅适用于电气工程及其自动化专业的电力系统及其自动化方向；而对电气工程及其自动化专业其他方向（如电力电子、电气检测等）来说，需要一本内容精简，需要学时量少的电气工程基础教材。

依据上述考虑，我们组织编写了本教材。本书充分整合电力系统分析、高电压技术、发电厂电气部分、电力系统继电保护等课程基本概念，精简教学内容，注重电力工程技术的基础性及应用性，注意与后续课程的衔接，浅显易懂，学时量为 60 学时 ~ 70 学时。

本书主要作为普通高等学校电气工程及其自动化等相关专业的教材，也可作为电力工程技术人员的参考用书。教师可根据不同专业方向的需要及课时的多少选择授课内容。

本书由南京理工大学杨伟主持编写。杨伟编写了本书的第 2 章 ~ 第 9 章；郭新红编写了第 1 章及附录。在本书的编写过程中，南京理工大学硕士研究生顾明星、张小莲和赵虎同学付出了辛勤的劳动；本书的编写与出版，得到了南京理工大学教材科的指导和支持，借鉴了相关的书籍和资料；南京理工大学吴军基教授、王宝华副教授及张俊芳副教授审阅了全书并提出了宝贵的修改意见和建议；南京理工大学电气工程及其自动化专业 07 级学生试用了本教材，提出了宝贵的意见和建议。在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者的能力和水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请专家和读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电力系统的基本概念	1
1.1.1 电力系统的组成	1
1.1.2 建立大型联合电力系统的优点	2
1.1.3 电力系统运行的特点	3
1.1.4 对电力系统的基本要求	4
1.2 电能的生产过程	5
1.2.1 火力发电厂	5
1.2.2 水力发电厂	6
1.2.3 核电厂	8
1.2.4 新能源电厂	10
1.3 电力系统电压等级	11
1.4 我国电力工业发展状况和前景	13
思考题与习题	15
第 2 章 电力负荷计算	17
2.1 电力负荷与负荷曲线	17
2.1.1 负荷分级及供电要求	17
2.1.2 用电设备的工作制	18
2.1.3 负荷曲线	18
2.1.4 与负荷曲线相关的重要物理量	20
2.2 计算负荷的意义	21
2.3 确定计算负荷的方法	22
2.3.1 按需要系数法确定计算负荷	22
2.3.2 按二项式系数法确定计算负荷	26
2.4 尖峰电流的计算	28
2.4.1 单台用电设备尖峰电流的计算	29
2.4.2 多台用电设备尖峰电流的计算	29
2.4.3 用电设备同时自启动尖峰电流的计算	29
2.5 无功功率补偿	30
2.5.1 基本概念	30

2.5.2	功率因数的计算	30
2.5.3	提高功率因数的方法	31
2.5.4	电容器并联补偿的原理	32
2.5.5	电容器补偿方式	33
2.5.6	补偿容量的计算	34
	思考题与习题	35
第3章	电力系统的一次接线	37
3.1	电力网的接线方式	37
3.1.1	对电力网接线的基本要求	37
3.1.2	无备用接线方式	37
3.1.3	有备用接线方式	38
3.2	发电厂、变电所的电气主接线	39
3.2.1	对电气主接线的基本要求	40
3.2.2	主接线的基本形式	41
3.2.3	发电厂、变电所典型的主接线形式	48
3.3	中性点接地方式	53
3.3.1	中性点不接地	53
3.3.2	中性点经消弧线圈接地	55
3.3.3	中性点直接接地	57
	思考题与习题	58
第4章	电力系统稳态计算基础	60
4.1	电力系统元件参数及等值电路	60
4.1.1	电力线路的结构及等值电路	60
4.1.2	变压器的参数和等值电路	73
4.1.3	发电机和负荷的参数及等值电路	81
4.2	简单电力网的潮流计算	82
4.2.1	电压降落、电压损耗和电压偏移	83
4.2.2	功率损耗	88
4.2.3	开式电力网潮流计算	90
4.2.4	两端供电网潮流计算	97
4.2.5	多级电压闭式网潮流计算	103
4.3	输电线路导线截面的选择	105
4.3.1	导线截面选择的基本原则	105
4.3.2	按发热条件选择导线截面	106
4.3.3	按允许电压损耗选择导线截面	107
4.3.4	按经济电流密度选择导线截面	109

4.4	电力网的电能损耗	110
4.4.1	电力网的电能损耗和损耗率	110
4.4.2	电力网的降损措施	115
	思考题与习题	118
第5章	电力系统暂态分析基础	120
5.1	短路的基本概念	120
5.1.1	短路原因和后果	120
5.1.2	短路种类	121
5.1.3	短路计算的意义	121
5.1.4	短路计算的假设	122
5.2	标幺值	122
5.2.1	标幺值的概念	122
5.2.2	不同基准标幺值之间的换算	123
5.2.3	电力系统元件电抗标幺值的计算	124
5.2.4	不同电压等级电抗标幺值的计算	124
5.2.5	短路回路总电抗标幺值的计算	125
5.3	电力网络的变换与化简	125
5.3.1	网络变换	125
5.3.2	利用网络的对称性化简	127
5.3.3	转移阻抗	128
5.4	无限大容量电源系统三相短路电流计算	129
5.4.1	无限大容量系统三相短路的物理过程	130
5.4.2	三相短路的冲击电流的计算	131
5.4.3	三相短路冲击电流有效值的计算	132
5.4.4	三相短路稳态短路电流的计算	133
5.4.5	三相短路的短路容量计算	133
5.5	有限容量系统三相短路电流的实用计算	135
5.5.1	有限容量系统三相短路的物理过程	135
5.5.2	起始次暂态电流和冲击电流的计算	136
5.5.3	应用运算曲线法求不同时刻的短路电流	142
5.6	不对称故障的分析计算基础	148
5.6.1	对称分量法	148
5.6.2	元件的序电抗	153
5.6.3	简单不对称故障的分析计算	159
5.7	低压电网短路电流计算	165
5.7.1	低压电网短路特点	165
5.7.2	低压电网元件阻抗	165

5.7.3	低压电网三相短路电流计算	166
5.7.4	低压电网两相短路电流计算	167
5.7.5	低压电网单相短路电流计算	167
5.8	短路电流的效应	168
5.8.1	短路电流的力效应	168
5.8.2	短路电流的热效应	170
	思考题与习题	175
第6章	电力系统稳定性概论	178
6.1	电力系统稳定性的基本概念	178
6.1.1	稳定性定义	178
6.1.2	稳定性分类	179
6.2	电力系统的机电特性	180
6.2.1	同步发电机的转子运动方程	180
6.2.2	电力系统的功率特性	182
6.3	电力系统的静态稳定性	184
6.3.1	静态稳定分析基础	184
6.3.2	提高系统静态稳定性的措施	185
6.4	电力系统的暂态稳定性	187
6.4.1	暂态稳定性分析的基本假设	187
6.4.2	简单电力系统暂态稳定性分析	188
6.4.3	等面积定则	190
6.4.4	提高系统暂态稳定性的措施	192
	思考题与习题	195
第7章	发电厂及变电所一次设备	196
7.1	电气设备选择的一般条件	196
7.1.1	按正常工作条件选择	196
7.1.2	按短路情况校验	197
7.1.3	主要电气设备的选择和校验项目	198
7.2	开关电器的灭弧原理	199
7.2.1	交流电弧的产生与熄灭	199
7.2.2	开关电器的灭弧方法	201
7.3	高低压开关电器	203
7.3.1	高压断路器	203
7.3.2	高压隔离开关	205
7.3.3	高压负荷开关	206
7.3.4	低压开关电器	207

7.4	高低压保护电器和限流电器	212
7.4.1	高压熔断器	212
7.4.2	低压熔断器	214
7.4.3	限流电抗器	216
7.5	互感器	218
7.5.1	互感器的作用	218
7.5.2	电流互感器	218
7.5.3	电压互感器	223
7.6	电力变压器	227
7.6.1	电力变压器的常用类型	227
7.6.2	电力变压器的过负荷能力	228
7.6.3	发电厂、变电所主变压器台数和容量的选择	229
7.7	配电装置简介	231
7.7.1	对配电装置的基本要求	231
7.7.2	配电装置的类型、特点及应用	231
7.7.3	配电装置的设计原则	232
	思考题与习题	233
第8章	电力系统继电保护基础	234
8.1	继电保护的基本知识	234
8.1.1	继电保护的作用	234
8.1.2	继电保护的基本原理	234
8.1.3	对继电保护的基本要求	235
8.1.4	常用保护继电器及操作电源	236
8.2	单侧电源线路相间短路的电流电压保护	238
8.2.1	电流速断保护	238
8.2.2	电流电压连锁速断保护	240
8.2.3	限时电流速断保护	241
8.2.4	定时限过电流保护	242
8.2.5	低电压闭锁的过电流保护	244
8.2.6	三段式电流保护	245
8.3	电网的方向电流保护简介	248
8.3.1	方向电流保护的基本原理	248
8.3.2	功率方向保护原理接线图	249
8.4	距离保护简介	250
8.4.1	距离保护的基本原理	250
8.4.2	距离保护的时限特性	250
8.4.3	距离保护的主要组成元件	251

8.5	输电线路的接地保护	251
8.5.1	接地故障概述	251
8.5.2	大接地电流系统中的接地保护	252
8.5.3	小接地电流系统的接地保护	256
8.6	电力变压器保护	257
8.6.1	电力变压器的故障及不正常工作状态	257
8.6.2	瓦斯保护	258
8.6.3	变压器的纵差动保护	259
8.6.4	电流速断保护	262
8.6.5	变压器相间短路的后备保护	263
8.6.6	过负荷保护	265
8.6.7	变压器的接地保护	265
8.6.8	变压器保护的配置	267
8.7	高压电动机保护	269
8.7.1	高压电动机的故障类型和保护配置	269
8.7.2	高压电动机的相间短路保护	269
8.7.3	高压电动机的单相接地保护	270
8.7.4	高压电动机的过负荷保护	270
8.7.5	电动机的低电压保护	271
8.8	备用电源自投装置和自动重合闸装置	272
8.8.1	三相自动重合闸装置	272
8.8.2	备用电源自投装置	275
8.9	数字式继电保护技术简介	277
8.9.1	引言	277
8.9.2	数字式保护装置硬件基本构成	277
8.9.3	数字式保护装置软件基本构成	280
	思考题与习题	282
第9章	电力系统过电压及防护	284
9.1	电力系统过电压及分类	284
9.2	雷电过电压及防雷保护	284
9.2.1	雷电的形成和危害	284
9.2.2	雷电参数	285
9.2.3	防雷装置	288
9.2.4	架空输电线路和变电所防雷	293
9.3	操作过电压及防护	295
9.3.1	概述	295
9.3.2	空载线路合闸过电压	296

9.3.3	切除空载线路过电压	298
9.3.4	切除空载变压器过电压	299
9.3.5	间歇电弧接地过电压	300
9.3.6	操作过电压的防护	303
9.4	电力系统接地	304
9.4.1	接地的概念	304
9.4.2	接地的类型	306
9.4.3	接地装置	309
9.4.4	接地电阻的计算	310
9.4.5	降低接地电阻的措施	311
	思考题与习题	311
附录 相关数据表格		313
参考文献		339

第1章 绪论

1.1 电力系统的基本概念

1.1.1 电力系统的组成

电能是现代人类社会中最重要、最方便的能源,它具有许多优点,例如:可以方便地转化为别种形式的能,如机械能、热能、光能、化学能等;输送和分配易于实现;应用规模也很灵活等。因此,电能被日益广泛地应用于工农业、交通运输业以及人们的日常生活中。以电作为动力,可以促进工农业生产的机械化和自动化,保证产品质量,大幅度提高劳动生产率。还要指出,提高电气化程度,以电能代替其他形式的能量,是节约总能源消耗的一个重要途径。

发电厂把别种形式的能量转换成电能,电能经过变压器和不同电压的输电线路输送并分配给用户,再通过各种用电设备转换成适合用户需要的别种能量。这些生产、输送、分配和消费电能的各种电气设备连接在一起而组成的整体称为电力系统。如果把火电厂的汽轮机、锅炉、供热管道和热用户,水电厂的水轮机和水库等动力部分也包括进来,就称为动力系统。采用火电的动力系统和电力系统的简单示意图如图 1.1 所示。

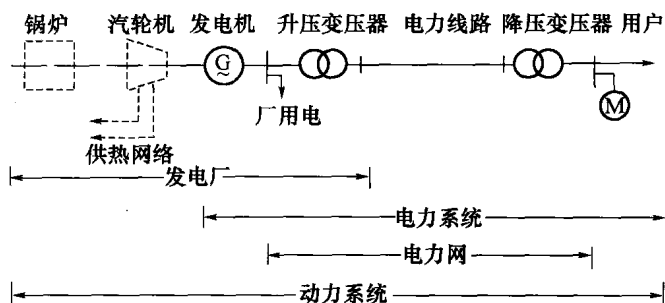


图 1.1 动力系统、电力系统和电力网示意图

在电力系统中,通常将输送、交换和分配电能的设备称为电力网,它由变电所和各种不同电压等级的电力线路组成(图 1.1)。电力网按电压等级的高低和供电范围的大小可分为地方电力网、区域电力网及超高压远距离输电网三种类型。电压等级在 35kV 及以下、供电半径在 20km ~ 50km 以内的电力网,称为地方电力网,一般企业、工矿和农村乡镇配电网属于这种类型。电压等级在 35kV 以上、供电半径超过 50km 的电力网,称为区域电力网,目前我国,电压为 110kV ~ 220kV 的电力网就属于这种类型。电压等级为 330kV ~ 750kV 的电力网,一般由远距离输电线路连接而成,通常称为超高压远距离输电网,它的主要任务是把远处发电厂生产的电能输送到负荷中心,同时还联系若干区域电力网形成跨省、跨地区的大电力系统,如我国的东北、华北、华中、华东、西北和南方等电力网就属于这种类型。在国外,像北欧、西欧等一

些国家的电力网互相连接起来,形成跨国的联合电力系统。

变电所是联系发电厂和用户的中间环节,由电力变压器和配电装置组成,起着变换电压、交换和分配电能的作用。根据变电所在电力系统中的地位不同,可分为枢纽变电所、地区变电所和终端变电所等(图 1.2)。枢纽变电所在电力系统中的地位非常重要,处于联系电力系统各部分的中枢位置,因此又叫区域变电所,其特点是:电压等级高,变压器容量大,进出线回路数多。区域变电所由大电网供电,其高压侧电压为 330kV ~ 750kV,全所一旦停电后,将引起整个系统解列,甚至使部分系统瘫痪。地区变电所多由发电厂或区域变电所供电,其高压侧电压为 110kV ~ 220kV,全所一旦停电后,将使该地区中断供电。终端变电所是电网的末端变电所,包括工业企业变电所、城市居民小区和商业网点的变电所、农村的乡镇变电所以及可移动的箱式变电所等。终端变电所主要由地区变电所供电,其高压侧为 10kV ~ 110kV,全所一旦停电后,将使用户中断供电。

只用来接受和分配电能而不承担变换电压任务的场所,称为配电所,多建于工业企业内部。

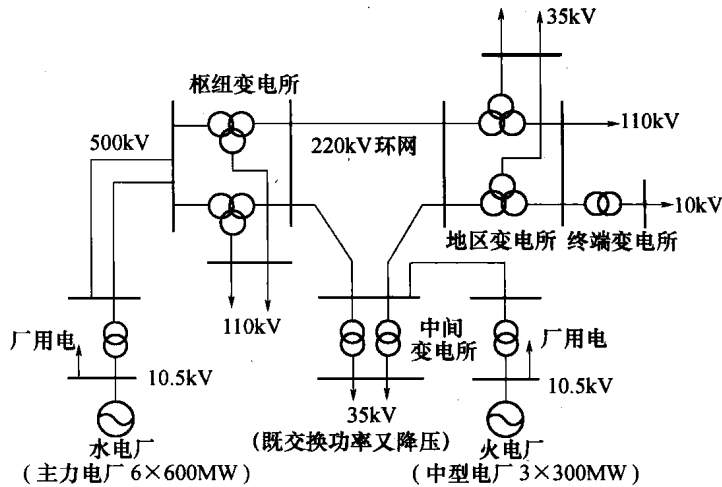


图 1.2 电力系统的网络接线

1.1.2 建立大型联合电力系统的优点

1) 减少总备用容量的比重

电力系统在运行中难免有些发电机要出故障,有些发电机要停机检修。如果电力系统中总装机容量正好等于该系统的最大负荷,则当某一机组发生故障时,势必引起对一部分用户停电,给用户造成损失。为避免这种情况发生,一般都要使装机容量稍大于最大负荷,这部分容量称为备用容量。由于备用容量在电力系统中是可以相互通用的,所以电力系统容量越大,它在总装机容量中占的百分比就越小,电力系统的经济性越好。

2) 可以采用高效率的大容量机组

大容量机组效率高,节省原材料,占地少,运行费用也少。但是,孤立运行的电厂或者总容量较小的电力系统,因为没有足够的备用容量,不允许采用大机组;否则,一旦机组因事故或检修退出工作,将造成大面积停电,给国民经济带来极大损失。大电力系统,特别是大型联合电力系统,拥有足够的备用容量,非常有利于采用高效率的大容量机组。

3) 可充分利用水电厂的水能资源

水电厂发电受到季节的影响,在夏、秋丰水期水量过剩,在冬、春枯水期水量短缺,水电厂单独运行或在地区性电力系统中水电厂容量占的比重较大时,将造成枯水期缺电、丰水期弃水的后果。组成大电力系统后,水电厂联合运行。丰水期水电厂多发电,火电厂少发电,并适当安排检修;枯水期火电厂多发电,水电厂少发电并安排检修。这样可扬长避短,充分利用水能资源,减少煤炭消耗。不仅如此,水电厂进行增减负荷的调节比较简单且速度快,因而有水电厂的电力系统调频问题往往比较容易解决。

4) 减少总负荷的峰值

由于不同地区的生产、生活及时差、季节等各种条件的差异,它们的最大负荷出现的时刻不同,如一个区域最大负荷出现在 17 点,另一个区域出现在 17 点半,两个区域连成电力系统后,最大负荷小于两个区域电力系统最大负荷之和,因而减少了需要装机的容量。

5) 提高供电可靠性

电力系统中有大量的发电机、变压器和输电线路,这些设备运行中难免发生故障。因为电力系统中所有电厂同时发生事故的的概率远较单一电厂发生事故的的概率小,所以组成电力系统后提高了对用户供电的可靠性,特别是增加了对重要用户供电的可靠性。

正是由于上述这些优点,世界上工业发达国家大多数都建立了全国统一电力系统,甚至相邻国家间的电力系统也用联络线连接起来,组成互联电力系统。

描述一个电力系统的基本参量有总装机容量、年发电量、最大负荷、额定频率、最高电压等级等。

(1) 总装机容量。指该系统中实际安装的发电机组额定有功功率的总和,以 kW(千瓦)、MW(兆瓦)、GW(吉瓦)计。

(2) 年发电量。指该系统中所有发电机组全年实际发出的电能的总和,以 MWh(兆瓦时)、GWh(吉瓦时)、TWh(太瓦时)计。

(3) 最大负荷。一般指规定时间(如一天、一月或一年)内,电力系统总有功功率负荷的最大值,以 kW(千瓦)、MW(兆瓦)、GW(吉瓦)计。

(4) 额定频率。按国家标准规定,我国所有交流电力系统的额定频率均为 50Hz。国外则有额定频率为 60Hz 或 25Hz 的电力系统。

(5) 最高电压等级。指该系统中最高电压等级电力线路的额定电压,以 kV(千伏)计。

1.1.3 电力系统运行的特点

(1) 电能不能大容量储存。电能的生产、输送、分配和使用是在同一时刻完成的。发电厂在任何时刻生产的电能恰好等于该时刻用户消耗的电能,即电力系统中的功率每时每刻都是平衡的。

(2) 暂态过程非常迅速。电能以电磁波的形式传播,传播速度为 300km/ms;发电机、变压器、线路、用电设备的投入或退出运行,都在一瞬间完成;故障的发生和发展时间都十分短促。

(3) 和国民经济各部门间的关系密切。由于电能具有使用灵活、控制方便等优点,国民经济各部门广泛使用电能作为生产的动力,人们生活用电也日益增加,电能供应不足或突然停电将给国民经济造成巨大损失,给人们生活带来不便。

1.1.4 对电力系统的基本要求

1) 保证供电可靠性

中断用户供电,会使生产停顿、生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,给国民经济造成极大损失。停电给国民经济造成的损失远远超过电力系统少售电造成的损失。一般认为,由于停电引起国民经济的损失平均值约为少售电量损失的 30 倍~40 倍。因此,电力系统运行的首要任务是满足用户对供电可靠性的要求。

造成对用户停止供电的原因可能是由于电力系统的元件(如发电机、变压器、线路等)发生了故障,也可能是因为系统运行的全面瓦解(如稳定性破坏)。前者属于局部事故,停电范围和造成的损失比较小;后者是全局性事故,停电范围大,重新恢复供电需要很长时间,引起的损失很大。

保证供电可靠性,首先要求系统元件的运行具有足够的可靠性,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,要求提高系统运行的稳定性,增强抗干扰能力,保证不发生或不轻易发生造成大面积停电的系统瓦解事故。为此,除了要不断提高运行人员的技术水平和责任心外,还要采用现代化的监测、保护和稳定控制设备。

随着技术的进步,供电可靠性正在不断提高,但是保证所有用户的供电绝对可靠是困难的。考虑到不同用户因停电造成的损失相差很大,按其对供电可靠性的要求不同,将负荷分成三类,详细介绍见第 2 章。

2) 保证电能质量

电能质量以电压、频率以及正弦交流电的波形来衡量。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技术指标、经济指标下降,甚至不能正常工作。因此,在电力系统正常运行时,规定供电电压的变化必须在允许范围之内。这也就是电压的质量指标。我国目前所规定的用户的允许电压变化范围见表 1.1。

表 1.1 用户供电电压允许变化范围

用户	电压允许变化范围/%	用户	电压允许变化范围/%
35kV 及以上用户	±5	低压照明	+5 ~ -10
10kV 及以下用户	±7	农业用户	+5 ~ -10

由于电力网络中存在电压损耗,为保证用户的电压质量合乎标准,需要采取一定的电压调整措施。

频率的变化同样影响用电设备的正常工作。以电动机为例,频率降低引起转速下降,频率升高则转速上升,对转速有严格要求的用户,如纺织厂,其产品的质量可能降低。电力系统规定,频率偏移应不超过 $\pm 0.2\text{Hz} \sim \pm 0.5\text{Hz}$ 。

随着自动化及电力电子技术应用的发展,接入系统整流设备的增多,引起谐波比重增大,如不采取严格的滤波措施,将对用户产生不利影响。因此,检测和控制谐波成为维持电能质量的重要一环。

3) 提高电力系统运行的经济性

节约能源是当前各国普遍关注的一个大问题。电能生产的规模很大,消耗大量一次能源,

在电能生产过程中应力求节约,减少能量消耗,最大限度地降低电能成本。为了达到运行经济的目的,要采用高效、节能的发电设备,提高发电运行的经济性,降低发电过程中的能源消耗;要合理发展电力网,降低电能输送、分配过程中的损耗;要大力开展电力系统的经济运行工作,合理分配电厂之间的负荷,让经济性能好的发电厂多发电,差的少发电;要充分利用水电资源,注意水、火电厂之间的合理调配,力求以少的水耗获得更多的电能。

4) 防止环境污染

燃煤火电厂占我国总发电装机容量的 70% 以上,燃烧废气直接排放到大气,对大气造成严重污染。应采取措施降低这种污染,例如,采用除尘器、脱硫塔等。

1.2 电能的生产过程

煤炭、石油、天然气、水能等随自然界演化生成的动力资源,是能量的直接提供者,称为一次能源。电能是由一次能源转换而成,称为二次能源。

火力发电厂消耗的煤、石油、天然气等化石能源是几亿年形成的矿物资源,它们不仅是能源的提供者,而且还是很珍贵的化工原料,这些资源是不可再生的,根据目前能源消耗的趋势,化石能源将在今后 50 年~60 年之内全部耗尽,到那时候,地球将不再有可用的化石能源,这是一个严重的问题。燃烧化石能源会大量排放二氧化碳和其他污染物,严重破坏生态环境,导致大气变暖,海平面上升,是对人类生存的严重挑战。如上所述,由于化石能源不可再生,严重污染环境,破坏生态平衡,人们认识到必须利用可再生能源谋求电力事业的可持续发展。为此,除了继续发展水力发电、核动力发电之外,还应积极发展其他各种能源发电,如风力发电、太阳能发电、潮汐发电、地热发电、秸秆发电、垃圾发电等。

由于目前可再生能源发电规模不大,是正在发展中的技术,在经济上尚不占优势,发电成本一般高于传统的发电方式。随着技术的不断进步,以及伴随着化石能源因日益枯竭而不断涨价,可再生能源发电在经济上也会逐渐从劣势转化为优势。当前国家对可再生能源发电采取积极扶持政策,推动了新能源发电的快速发展。

1.2.1 火力发电厂

火力发电厂简称火电厂,可分为凝汽式火电厂和热电厂。凝汽式火电厂是单一生产电能的火电厂,而热电厂既生产电能,又向用户提供热能。热电厂由于供热距离不能很远,一般建在临近热负荷的地区,容量也不大。凝气式火电厂则可建在燃料产地,电厂容量也可以是很大的。

图 1.3 为一个凝汽式火电厂生产过程示意图。原煤从煤矿运到电厂后,先存入原煤场,随后由输煤皮带运进原煤斗,从原煤斗落入磨煤机中被磨成很细的煤粉,再由排粉机抽出,随同热空气送入锅炉的燃烧室进行燃烧。燃烧放出的热量一部分被燃烧室四周的水冷壁吸收,一部分加热燃烧室顶部和烟道入口处的过热器中的蒸汽,余下的热量则被烟气携带穿过省煤器、空气预热器把部分热量传递给这两个设备内的水和空气。最后烟气经过除尘器净化处理,由引风机导入烟囱,并被排入大气。燃烧时生成的灰渣和由除尘器收集下来的细灰,用水冲进冲灰沟排至厂外灰场。

燃烧用的助燃空气,经送风机进入空气预热器中加热,加热后,小部分被送往磨煤机作为干燥和运送煤粉的介质,大部分送入燃烧室参与助燃。

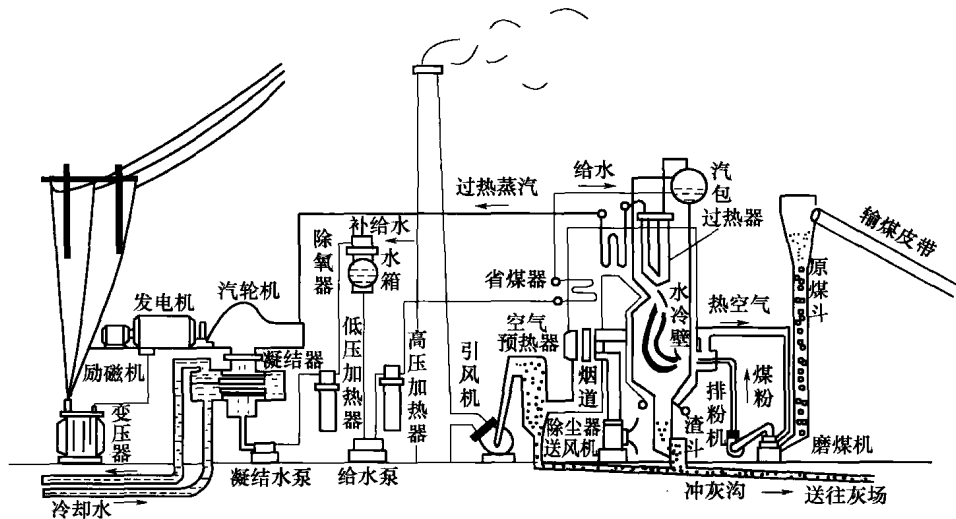


图 1.3 凝汽式火电厂生产过程示意图

水、蒸汽是把热能转化成机械能的重要工质。净化后的给水，先送进省煤器预热，继而进入汽包后再入水冷壁管中吸收燃烧室的热能后蒸发成蒸汽。蒸汽通过过热器时再次被加热，变为高温高压的过热蒸汽以后，经主蒸汽管道进入汽轮机膨胀做功，推动汽轮机转子转动将热能转变为机械能。做完功的蒸汽在凝结器中被冷却凝结成水。凝结水经除氧器除氧、加热器加热后再用给水泵重新送入省煤器预热，以便作为工质继续循环使用。

凝结器需要的冷却水由循环水泵送入，冷却水在凝结器吸热之后，流回冷却塔散热，然后再进入循环水泵。

汽轮机转子转动带动发电机转子旋转，在发电机中把机械能转化为电能。发电机发出的电能经过变压器升高电压后送入高压电力网。

凝汽式火电厂中，由于做过功的蒸汽（称为排汽）中仍含有热量，被凝结成水时，这些热量基本上被循环水带出变成热损失，因而该种类型电厂效率不高，指标先进的也不过 37% ~ 50%。热电厂效率较高，可达 60% ~ 70%，但是受热负荷等条件限制，建热电厂的数量有限。提高凝汽式火电厂效率的有效途径是尽量采用高温度、高压力的蒸汽参数和大容量的汽轮机—发电机组。

1.2.2 水力发电厂

利用水的位能发电的电厂称为水力发电厂，简称水电厂。水能是自然界提供的廉价能源，是一种用之不竭的可再生能源，对环境无污染，建设水电厂历来具有很强的吸引力。目前，化石能源面临日益枯竭的前景，价格不断上涨，环境污染日益严重，因此加强水电厂的建设已刻不容缓。

为了充分利用水能，人们针对河流的自然条件建造适合于河流特点的水工建筑物，以期得到尽可能大的落差。按集中落差方式不同，水电的开发方式分为堤坝式、引水式及混合式三类。

堤坝式水电厂是利用拦河筑坝方式建成水库以维持高水位。堤坝式水电厂又可分为坝后式水电厂和河床式水电厂两种类型。

坝后式水电厂单独筑坝，坝身高，水位也高，厂房建在坝后，不承受水压，如图 1.4 所示。