

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

发电厂 变电站电气部分

(第3版)

牟道槐 李玉盛 马良玉 林 莉 主编

重庆大学出版社



内 容 提 要

本书讲述发电厂、变电站电气一次部分设计与运行的基本理论和计算方法。主要内容为:配电设备的运行原理与基本参数;电气一次接线及配电装置的结构与运行特点;配电设备的选择计算;测量、信号与控制系统;同步发电机的运行操作与调节;变压器的负载能力以及配电设备的运行与维护。

本书为电力专业教材,也可供从事电力工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

发电厂 变电站电气部分/牟道槐等主编.—3版.—重庆:
重庆大学出版社,2009.8

(专科电气专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-1121-5

I. 发… II. 牟… III. ①发电厂—电气设备—高等学校;
技术学校—教材②变电所—电气设备—高等学校;技术
学校—教材 IV. TM62 TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 100167 号

发电厂 变电站电气部分 (第 3 版)

牟道槐 李玉盛 马良玉 林 莉 主编
责任编辑:谭 敏 版式设计:谭 敏
责任校对:邹 忌 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023)65102378 65105781

传真:(023)65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆川渝印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:449 千

1996 年 4 月第 1 版 2009 年 8 月第 3 版 2009 年 8 月第 15 次印刷

印数:60 001—63 000

ISBN 978-7-5624-1121-5 定价:29.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究



第 1 版前言

本课程是电力专业学生首先学习的专业课之一,内容十分广泛,理论与实践联系紧密,涉及许多工程概念,因此易于使缺乏工程实践的学生感觉困难。

为避免繁琐,作者按实用原则选材,着重讲述基本理论与概念,并按下述顺序编排内容:1)发电厂、变电站电气设备、接线的基本概念与定义;2)配电设备的工作原理与参数;3)电气一次接线及其工程实施(配电装置);4)配电设备的选择计算;5)测量、信号与控制系统;6)发电机、变压器及配电设备的运行操作与调节。作者的愿望是使学生能循序渐进,在众多的内容中掌握分析问题的基本思想并形成清晰的概念。

参加本书编写的有:重庆大学牟道槐(1,2,14,15章),陕西工学院李玉盛(3,6,16章),兰州工业高等专科学校马良玉(9,10,11,12章),贵州工学院李昌宁(7,8章)、云南工学院张丽(4,5,13章)。

本书由牟道槐、李玉盛、马良玉主编,重庆大学阎超主审。

作者诚挚地希望读者对本书的编写提出意见。来信请按邮编 400044 寄重庆大学电气工程系牟道槐。

最后,对支持本教材编写、出版工作的个人及单位表示衷心的感谢。

作者
1995年6月



第 2 版前言

本书出版已逾十年。使用表明,作者当初所确定的“简明实用,着重讲基本理论与概念”的原则是正确的。

鉴于一些技术与设备的进步,本版在内容上做了部分增删。本版还对第一版文字与图表中存在的笔误做了更正,以便使读者阅读更为流畅。

重庆大学电气工程学院的林莉与胡宗军等老师参与了本书的修订工作,编者在此表示衷心感谢。

读者的意见是最为宝贵的。特别希望读者在阅读本书后提出意见,以便使本书的质量得到不断的提高。

作 者

2006 年 2 月



第3版前言

本课程是电力专业学生首先学习的专业课之一,内容十分广泛,理论与实践联系紧密,涉及许多工程概念,因此易于使缺乏工程实践的学生感觉困难。

为避免繁琐,作者按实用原则选材,着重讲述基本理论与概念,并按下述顺序编排内容:1)发电厂、变电站电气设备、接线的基本概念与定义;2)配电设备的工作原理与参数;3)电气一次接线及其工程实施(配电装置);4)输配电设备的选择计算;5)测量、信号与控制系统;6)发电机、变压器及输配电设备的运行操作与调节。作者的愿望是使学生能循序渐进,在众多的内容中掌握分析问题的基本思想并形成清晰的概念。

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据教育部颁布的高职高专教学大纲编写。同时也是对1996年出版的原《发电厂 变电站电气部分》进行了重新修订、编写而成。参加原书编写的有:重庆大学牟道槐(1,2,14,15章),陕西理工学院李玉盛(3,6,16章),兰州工业高等专科学校马良玉(9,10,11,12章),贵州大学李昌宁(7,8章)、昆明理工大学张丽(4,5,13章),主审为重庆大学阎超教授。该书对2006年2月第2版部分内容做了增删、修订,重庆大学电气工程学院的林莉与胡宗军等老师做了许多修订工作。鉴于我国电力系统的高速发展与技术的进步,考虑到建设大型和特大型风力发电场已列入我国能源发展的近期规划,本书增加了风力发电场(1.4节)、我国电力系统的现状与发展方向(1.7节)、交流输电补偿器(第7章)及异步发电机的运行与控制(第16章)等方面的内容,并对一些章节的内容做了增删。

参加本书编写的有:重庆大学林莉(1,2,7,16章),陕西理工学院李玉盛(3,6,18章),兰州工业高等专科学校马良玉(10,11,12,13章),贵州大学李昌宁(8,9章)、昆明理工大学张丽(4,5,14章),重庆大学牟道槐(15,17章),牟道槐负责全书的统稿工作。主审为重庆大学卢继平教授。

作者诚挚希望读者对本书的编写提出意见。来信请按邮编400044寄重庆大学电气工程学院牟道槐。

最后,对支持本教材编写、出版工作的个人及单位表示衷心的感谢。

作者

2009年3月

目 录

第 1 篇 基本概念与定义

第 1 章 发电厂 变电站的基本形式电能质量与供电可靠性	1
1.1 火电站	1
1.2 核电站	4
1.3 水电站与抽水蓄能电站	5
1.4 风力发电场	7
1.5 变电站的基本形式	8
1.6 电能质量与供电可靠性	9
1.7 我国电力系统的现状与发展方向	13
思考题	14
第 2 章 发电厂 变电站电气接线、设备的基本概念与定义	15
2.1 一次接线与二次接线	15
2.2 发电机、变压器的基本形式与参数	16
2.3 输配电设备的功能及分类	24
思考题	27

第 2 篇 输配电设备的工作原理与基本参数

第 3 章 开关电器	28
3.1 开关电器的电弧及灭弧原理	28
3.2 开关电器的分类	36
3.3 开关电器的参数	40
思考题	42
第 4 章 限流电器	43
4.1 限制短路电流的措施	43
4.2 普通限流电抗器与分裂电抗器	45
4.3 分裂变压器的工作原理与参数	49
思考题	51
第 5 章 互感器	52
5.1 互感器的作用与工作特性	52
5.2 互感器的误差分析	54
5.3 电压互感器的分类与参数	61

5.4	电压互感器的配置原则与接线形式	64
5.5	电流互感器的分类与参数	66
5.6	电流互感器的配置原则与接线形式	70
	思考题	71
第6章	导体与绝缘子	72
6.1	长期发热与短时发热的定义及对电气设备的危害	72
6.2	导体发热功率与散热功率的计算	73
6.3	导体的长期发热与容许电流	77
6.4	短路时导体发热最高温度的计算	80
6.5	$\int_0^d i_a^2 dt$ 的等效计算	81
6.6	通过短路电流时导体热稳固性的工程条件	83
6.7	载流导体间的电动力	85
6.8	短路时硬导体的动稳固性计算	89
6.9	导体的分类与参数	93
6.10	绝缘子的分类与参数	101
	思考题	103
第7章	交流输电补偿器	105
7.1	并联补偿电容器与电抗器	105
7.2	静止无功补偿器	107
7.3	可控串联电容器	110
	思考题	113
第3篇 电气一次接线、配电装置的结构形式与运行特点		
第8章	电气主接线的结构形式、运行与操作	114
8.1	概述	114
8.2	电气主接线形式的分类	116
8.3	有母线系统的接线	117
8.4	简易接线	124
8.5	单元接线	125
8.6	主变压器的台数、容量及型式的选择	127
8.7	电气主接线形式选择的技术经济比较	130
8.8	典型主接线分析	134
8.9	电气主接线设计举例	139
	思考题	141
第9章	自用电接线	142
9.1	发电厂自用电系统的工作机械及其运行特性	142
9.2	热电厂的自用电接线	146
9.3	核电站的自用电接线	152

9.4 水电厂的自用电接线	154
9.5 变电站的自用电接线	157
思考题	158
第 10 章 配电装置的结构形式	159
10.1 概述	159
10.2 配电装置的最小安全净距	159
10.3 屋内配电装置的结构形式	162
10.4 屋外配电装置的结构形式	166
10.5 成套配电装置	168
思考题	172

第 4 篇 配电设备的选择计算

第 11 章 配电设备的选择计算	173
11.1 选择配电设备的通用计算条件	173
11.2 开关电器的其他选择条件	176
11.3 限流电抗器的其他选择条件	178
11.4 互感器的其他选择条件	180
11.5 导体与绝缘子的其他选择条件	184
思考题	189

第 5 篇 电气二次接线

第 12 章 测量、信号与控制系统	191
12.1 二次接线图	191
12.2 测量系统	196
12.3 信号系统	198
12.4 断路器的操动系统与控制电路	201
12.5 应用计算机的自动化监控系统	204
思考题	206
第 13 章 操作电源	207
13.1 交流操作电源	207
13.2 硅整流型直流操作电源	209
13.3 蓄电池直流操作电源	212
13.4 电气接线的绝缘监视	215
思考题	218

第 6 篇 电气设备的运行与操作

第 14 章 同步发电机的正常运行与操作	219
14.1 同步发电机的同期系统与并列操作	219
14.2 同步发电机的励磁系统与无功——电压调节,电力系统电压变化的影响	224

14.3	同步发电机的调速系统与有功——频率调节,电力系统频率变化的影响	230
14.4	同步发电机的解列与停机操作	233
	思考题	234
第 15 章	同步发电机的异常运行状态与事故处理	235
15.1	不对称运行特性及其限制	235
15.2	失磁异步运行特性及其限制	236
	思考题	239
第 16 章	异步发电机的运行	240
16.1	异步发电机的工作原理	240
16.2	异步发电机的有功输出特性	242
16.3	异步发电机的无功输入特性	244
16.4	异步发电机组的运行稳定性	246
	思考题	248
第 17 章	变压器的负载能力	249
17.1	变压器的热状态与绝缘寿命	249
17.2	变压器的额定容量与过载能力	251
17.3	三绕组自耦变压器的功率传输	253
	思考题	256
第 18 章	配电设备的运行与维护	257
18.1	开关电器的运行与维护	257
18.2	电抗器的运行与维护	258
18.3	互感器的运行与维护	258
18.4	导体与绝缘子的运行与维护	259
	思考题	260
附录	电气设备参数	261
	参考文献	276



第 1 篇 基本概念与定义

第 1 章 发电厂 变电站的基本形式电能质量与供电可靠性

在高速度发展的现代社会中,电力工业在国民经济中的作用已为人所共知;它不仅全面地影响国民经济其他部门的发展,同时也极大地影响人民的物质与文化生活水平的提高,影响整个社会的进步。

人类社会中所使用的能量的来源分为一次能源与二次能源;一次能源指的是由自然界直接提供的能源,例如煤、石油、天然气所含的化学能, U_{235} 的同位素所含的核能,流动的风的动能及高处的水的势能等;二次能源指的是将一次能源转换后生成的能源,例如上述一次能源可在发电厂中转换为电能,电能就是二次能源中的一种。

按利用一次能源的形式与转换过程的不同,可将发电厂的形式分为下列四类:

(1) 热电站。其下又分为凝汽式电站和热力化电站。后者除发电外还兼带供热。此类电站是将燃料燃烧后使其化学能经热能、机械能等中间变换形式最终转换为电能。

(2) 核电站。其使用的燃料为核燃料,因此称为核电站。其能量转换过程的最后部分仍包括热能→机械能→电能的转换,因此可以视核电站是一种极为特殊的热电站。

(3) 水电站与抽水蓄能电站。其一次能源为水的势能。普通水电站仅实施由水的势能向电能的单向转换,即只能发电。抽水蓄能电站还可在电力系统负荷低谷区将下库尾水抽至上库,即实现电能向水的势能的逆变换,起到了蓄积能量的作用,实质上是一个特大容量的“蓄电池”。

(4) 其他形式电站。风力发电场,太阳能电站,地热电站和潮汐电站。它们都属于清洁能源发电,随着环境保护要求的提高,作为清洁能源电站在电力系统中的比例将迅速增大。

1.1 火电站

火电站是将煤、天然气和重油等燃料的化学能转换为电能的电站,因为有燃烧的锅炉而得名。目前,在我国电力系统中,火电站的装机容量约占总装机的 80%,其中以燃煤为主,燃煤电站的最大单机容量已达 1 GW。随着单机容量的提高,汽轮机进汽参数(压力与温度)的提高,其热效率也随之提高,因此在电力系统中主要承担基荷,其设备利用时间(全年发电量/机组装机容量)一般在 5 000 小时/年及以上。

火电站使用的燃料有 3 种:1) 固体燃料(例如煤);2) 液体燃料(例如重油);3) 气体燃料(例如天然气)。不对外供热的火电站称为凝汽式电站,对外供热的火电站称为热力化电站,

简称为热电站。

图 1-1 示出了凝汽式火电站的一个独立单元的主体设备：锅炉、汽轮机、发电机和升压变压器。其中汽轮机由高、低压两段组成、采用了中间再热形式。

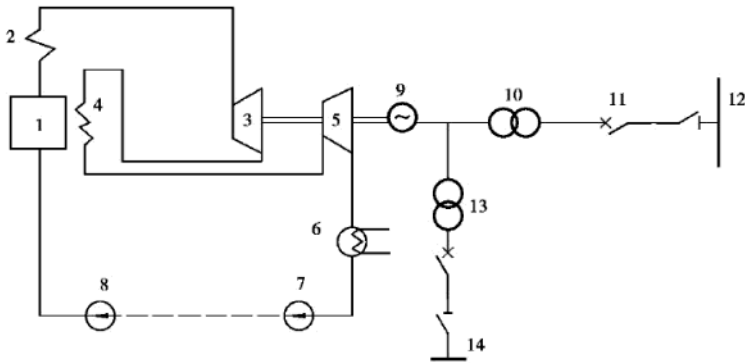


图 1-1 凝汽式电站的生产过程

- 1—锅炉;2—蒸汽过热器;3—汽轮机高压段;4—中间蒸汽过热器;5—汽轮机低压段;
6—凝汽器;7—凝结水泵;8—给水泵;9—发电机;10—主变压器;11—断路器;
12—母线;13—站用变压器;14—厂用电高压母线

燃煤火电站中的能量转换过程为：煤在锅炉中燃烧，将水加热为蒸汽，煤的化学能转换为蒸汽的热能；蒸汽在汽轮机中将热能转换为汽轮机旋转的机械能（动能）；发电机在汽轮机的带动下旋转，将机械能转换为电能。

为了防止锅炉和管道壁结垢，进入锅炉的水需经除盐处理，除盐后的水称为软水。为了提高燃烧效率，原煤需经制粉系统加工成为煤粉。煤粉在锅炉中燃烧将水加热变为饱和蒸汽，饱和蒸汽经过烟道中的过热器再加热后超过该压力下的饱和温度，称为过热蒸汽。蒸汽的过热程度必须保证蒸汽在汽轮机中做功后不会生成水滴，因为水滴会击伤汽轮机的叶片。

汽轮机入口处的蒸汽还没有做功，称为鲜蒸汽；汽轮机出口处的蒸汽已经做功，称为乏汽。从技术与经济两方面考虑，大型汽轮机分为两段，经第一段做功后的乏汽需经中间蒸汽过热器再加热，使之超过第二段入口压力下的饱和温度，重新变为过热蒸汽。

汽轮机第二段流出的乏汽进入凝汽器，循环水泵将数十倍于蒸汽的冷水打入凝汽器中的冷水管，吸收乏汽的热量，将乏汽冷却为凝结水，然后经凝结水泵打入除氧器。除氧器的作用是除去溶解于水中的空气，以免其中的氧在高温下腐蚀金属设备。给水泵将除氧后的水再打入锅炉。以上称为火电厂的蒸汽动力循环。

进入第一段汽轮机的蒸汽流量还受调节阀门的控制，该阀门称为调速汽门（图中未绘出）。汽轮机的自动调速系统按汽轮机的转动频率对调速汽门进行操作，当频率下降时增大汽门开度，当频率上升时减小汽门开度，以保证汽轮机的转动频率的稳定，从而也保证电气系频率的稳定。

提高汽轮机进汽的压力与温度，可以显著提高汽轮机的效率，因此火电厂的发展方向是高温和高压，目前 GW 级大功率汽轮机的主蒸汽温度已达 600℃，压力达 25 MPa。

凝汽式电站中以煤作燃料的电站所占比例最大，为了减少煤的远距离运输，在其他建站条件允许的情况下，应尽可能将电站建在煤矿附近，尽管可能增加输电距离，但在经济上仍然更

为合理。建在采煤矿井旁边的火电站称为坑口电站,建设特大容量的坑口电站,将采煤和发电结合在一起,将输煤转变为输电,这种工业基地称为煤电化基地。

按照热力循环的要求,需要大量的循环水以保证凝汽器正常工作,保证汽轮机排汽压力、温度等参数较低,以提高汽轮机的效率,因此水源是建设火电站最为重要的条件之一。凝汽式电站不可避免的有大量的热能损失于循环水中,加上自身厂用电消耗,凝汽式电站的效率在32%~40%。

凝汽式电站的机动性较差,它从准备启动到机组带满负载需3~6小时。同时,锅炉与汽轮机有最低运行负载限制(由汽轮机的结构及燃料类型决定,一般不低于65%)。因此,一般汽轮发电机组均应在额定负载或其附近运行,其负载曲线较为平坦。

利用煤、石油、天然气等有机燃料的火电站要向大气排放硫和碳的氧化物,这些气体聚集于上层空间产生温室效应使地面变暖,造成世界海洋平面升高,淹没近海大陆,长此下去将造成严重的后果。因此必须限制有机燃料的燃烧并将节约能源的重要意义提高到维护生态环境的高度。

热电站与凝汽式电站的差别是它除了对外供电外,还要利用在汽轮机中做功后的蒸汽,对近区工业企业及城市供热,以满足其生产、采暖、通风、热水供应的需要。此种热、电联合供应的方式较之于热、电分别独立供应的方式更为经济。一般热水供应半径在10 km范围内,郊区热电站以较高的初始温度向市内供应热水时其距离可达30 km。供应生产用蒸汽在压力为0.8~1.6 MPa的情况下距离应在2~3 km。

应根据用户的热负荷容量及参数选择热电站的安装容量及形式。一般情况下往往选择具有1级或2级抽汽的汽轮机。见图1-2,由汽轮机低压段抽出的蒸汽(11)进入蒸汽加热器将冷水加热为热水后,由供热泵加压后对用户提热水。抽汽供热方式可以独立地调节供热量与发电量以适应变化的热负荷的要求。

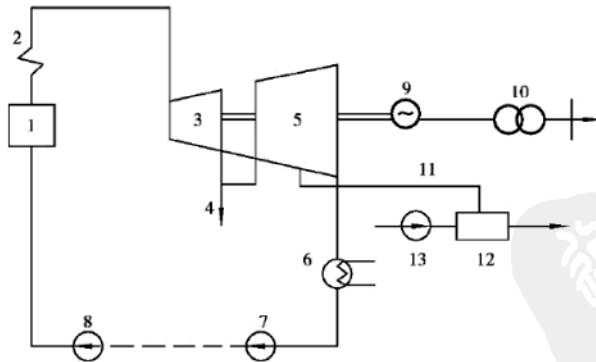


图1-2 热力化电站的生产过程图

- 1—锅炉;2—蒸汽过热器;3—汽轮机高压段;4—生产抽汽;5—汽轮机低压段;6—凝汽器;
7—凝结水泵;8—给水泵;9—发电机;10—主变压器;11—供热抽汽;12—蒸汽加热器;13—供热泵

在热量要求很大或较为恒定的情况下,可以将发电后的全部蒸汽均用于对外供热,这种汽轮机排汽温度较高,称为背压式汽轮机。采用背压式汽轮机的电站中没有凝汽器,其发电量取决于供热量,即以供热为主,发电为辅,称为“以热定电”。

由于减少或完全没有凝汽器中的热损耗,因此热电站有很高的经济效益。

热电站应与凝汽式电站、水电站及其他电站联合运行,以适应冬、夏两季峰、谷热负荷的要求。热电站所占的比例与当地的气候条件及工业企业的热负荷状态有关,寒冷地区热、电能量比可高达各占一半。

1.2 核电站

核电站是利用核燃料经核裂变反应释放出的热能将水加热为蒸汽,然后经汽轮发电机组

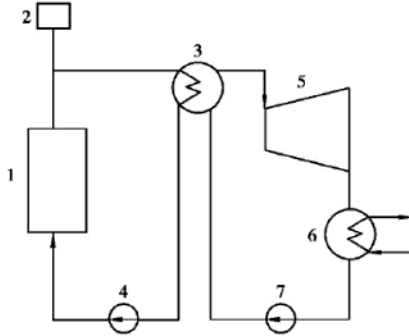


图 1-3 核电厂的生产过程图

1—核反应堆;2—稳压器;3—蒸汽锅;4—冷却剂泵;
5—汽轮机;6—凝汽器;7—给水泵

转换成电能的电站,一般使用的核燃料为 $U-235$ 的同位素,在天然铀中其含量约为 0.714% 参与热量传递的介质称为工质。传递核反应堆热量的工质对核反应堆的冷却至关重要,因此通常将其称为核反应堆的冷却剂。目前的核电站中核反应堆大多采用提高了压力的轻水作冷却剂,同时轻水还作为减速剂将核反应生成的快中子减速为热中子以维持链式反应,这种核反应堆称为热中子压水堆,冷却剂的额定压力为 15.5 MPa,饱和温度为 344.7 °C,在整个回路中冷却剂的温度都低于饱和温度。例如广东的大亚湾和岭奥以及江苏的田湾等核电站均采用此种反应堆。

核电站的生产过程如图 1-3 所示。

由图 1-3 可见,核电厂有两个循环系统:

1) 由 1—2—3—4 组成的一回路系统,即冷却剂循环系统核燃料在核反应堆 1 中裂变释放出热能。在冷却剂泵 4 的驱动下使轻水在一回路系统中流动,流经核反应堆时被加热为 310 ~ 330 °C 高温水,途径蒸汽锅 3 时将热量转交给二回路系统。稳压器 2 用于调节一回路系统冷却剂的压力与温度,将其保持在正常范围内;当发电负荷突然减小,冷却剂的温度与压力升高时,通过喷水降温、减压;当发电负荷突然增大,冷却剂的压力与温度降低时,通过电加热器升温、加压。

2) 由 4—5—6—7 组成的二回路系统。除蒸汽锅 3 与火电厂的锅炉不同而外,二回路系统中的其余部分与火电厂的蒸汽动力循环系统相似。与火电厂不同之处是二回路蒸汽参数较低,一般为 5 ~ 7 MPa 饱和蒸汽,因此汽耗率约比火电厂的汽轮机高一倍,多数级工作在湿汽区,基于这些因素,核电站的汽轮机的结构有特殊的考虑。

为保证安全,一回路系统与二回路系统在蒸汽锅中没有直接的联系。在设备布置上两个循环系统的设备也不在一起,一回路系统设备所在地称为核岛,二回路系统设备所在地称为常规岛。

限制核电站单元容量的主要因素是考虑其核反应堆事故时的安全性。

由于核电站生产工艺上的要求,目前此类电站在电力系统中承担基荷,设备年利用小时数在 6 500 小时以上。由于核电站不燃烧有机燃料,因此不向大气排放硫和氮的氧化物以及碳

酸气,从而降低了可能导致全球气候变化的环境污染。

发展核电站是我国电力工业的前景之一,目前我国正在沿海地区高速发展核电站。一些国家核电站生产的电能已超过总电量的一半,其中法国大约为75%。

极少数核电站的事故教训提醒设计者必须进一步提高核电站的安全性,不应将其建立在人口稠密地区和地震活动地区。尽管如此,从人类生态环境考虑,核电站仍应为电站发展的方向。

1.3 水电站与抽水蓄能电站

水电厂是将水的势能转换为电能的电站。水轮机将水的势能转换为动能,然后带动发电机旋转再转换为电能。

获取天然流水的势能的方式有两种:1)堤坝式。建设一定高度的水坝,由堤坝的阻挡而使水位升高;2)引水式。将上游的水,经很小坡度(1‰~2‰)的渠道或隧洞引至下游,经过一段距离后与下游河道形成落差。堤坝式常用于大容量水电厂,引水式常用于小容量水电厂。

堤坝式水电厂分为两种型式:坝后式和河床式。前者发电厂房在坝后,后者厂房在坝侧的河床上。图1-4示意出坝后式水电厂的结构,箭头示出发电用水的流动通道。上游高压力的水经引水管进入水轮机的固定部分——蜗壳,在蜗壳的引导下压力水从四周进入水轮机的转动部分——转轮,压力水在转轮中释放的能量转换为机组转动的动能,发电后的出水称为尾水。

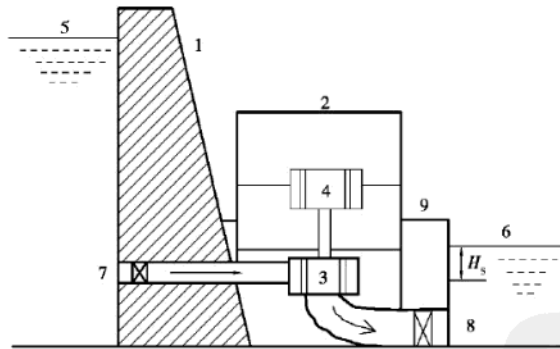


图1-4 坝后式水电厂的结构图

1—大坝;2—厂房;3—水轮机;4—发电机;5—上游水平面;
6—下游水平面;7—进水闸门;8—尾水闸门;9—尾水平台

上游水平面与下游水平面(即尾水平面)的高差称为水头。水在整个流道中释放的能量等于其在上游水平面与下游水平面两处的势能差,因此水轮发电机的发电功率与水头和流量成正比。计及能量转换效率,发电功率的近似算式为

$$P = 8HQ \quad (1-1)$$

式中 P ——发电功率(kW);

H ——水头(m);

Q ——流量(m^3/s)。

水轮机的转轮在水中运动时因流体力学的原因导致转轮损伤,表现为转轮表面金属的斑状脱落,称为气蚀。为减小气蚀,容量的水轮机将转轮埋入尾水中,转轮中心线低于尾水平面的高度称为虹吸高度(H_s)。因此,水轮机的进水与出水通道上均装有闸门(7、8),水轮机检修时需关闭两侧闸门,该闸门动作速度较慢(以分计)。

进入转轮的水流量还受调节阀门的控制,该阀门称为导水叶(图中未绘出)。导水叶的开度连续可调且动作速度较快(以秒计)。导水叶的作用类似于调速汽门在汽轮机中的作用;水轮机的调速系统按水轮机的转动频率对导水叶进行操作,以保证水轮机的转动频率的稳定,从而也保证水轮机电气频率的稳定。

依靠高坝来获取水的势能的水电厂,在上游形成水库,造成淹没损失,其中包括将大面积的植被变成了水面,对环境有一定的影响,需要很好地考虑。

图 1-5 为引水式电厂的水流系统示意图。该系统中水坝的主要作用是便于引水渠道取水,而不是获取水头,因此高度较低。

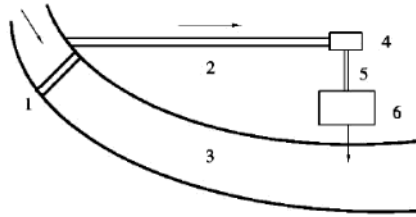


图 1-5 引水式电厂的水流系统图

1—水坝;2—引水渠道;3—天然河道;4—压力前池;5—压力水管;6—发电厂房

压力前池的作用是保证压力水管中的水中不混合空气,以免造成水流冲击。相对于河道岸边的发电厂房,压力前池的水具有较大的势能,经压力管道引入水轮机发电。

与火电厂比较,水电厂的水工建筑工程大,建站时间长,单位 kW 投资大,但发电成本低。

在一条河上,往往建设多个水电站,称为梯级开发。梯级电站从上到下排序,上级电站的尾水是下级电站最主要的来水,如何从航行、发电的综合效益考虑,使梯级电站运行最佳是一个十分重要的技术、经济问题,称为梯级电站的运行调度优化。

与火电厂相反,水电厂的运行特点是:1)起停迅速(水电机组从启动到带满负荷仅需几分钟)。2)无最低负荷限制。因此常用于平衡负荷的变动部分,甚至在负荷低谷时停运,高峰时投运,称为调峰。3)由于来水受季节性的影响,因此发电功率受季节性的限制,有丰水期和枯水期之分。枯期发电功率约为丰期的 30%,全年最大负荷运行小时数低,一般为 1 500 ~ 3 000 小时,少数大江上的径流电站(设计装机容量较小)可达 5 000 小时。

电力系统运行的主体是用电负荷,发电功率必须随时跟踪用电负荷功率的变化,以保持系统频率与电压的稳定性。显然水、火并举的发电系统具有很好的跟踪能力,因此便于运行调度,一般情况下水电装机容量占全系统容量的 30% 左右为宜。

水电站的容量取决于落差和水量两个因素的乘积。水量取决于气候条件与积雨面积,确定于站址区域的天然水文条件,落差则依赖于坝的高度。为减少淹没损失,水电站宜建于山区或半山区,同时还应考虑对渔业资源的影响。大型水电站还应考虑对生态环境等多方面的影响。

为了利用水电机组快速起停及大幅度改变负荷的调峰能力,改善热发电机组及核电站的运行状态,电力系统应建设一定比例的水电站。但是,由于水文地理条件的限制,一些地区不具备建设一般水电站的条件,因此需要建设抽水蓄能电站以补充水电装机容量。

抽水蓄能电站的结构特点是:1)水工建筑具有上库与下库;2)既有水轮发电机组,也有电动水泵机组。两者可能合为一体,即电机既是发电机也是电动机,水机既是水轮机也是水泵,正转发电,反转提水。这种电站在系统高峰负荷时发电,低谷负荷时提水,因此不受水文条件的限制,仅需要天然来水补充蒸发损失及漏水损失等消耗。因此,它可以尽可能地靠近负荷中心建设以减少传输线路投资及损耗。抽水蓄能电站可以保证大型热发电机组和核发电机组有较为平整的负荷曲线而取得显著的技术经济效益。特别是大容量核电站的投入,为了保证核发电机组的安全平稳的运行往往需要配套建设抽水蓄能电站。抽水蓄能电站的实质相当于一个极大容量的交流蓄电装置,用以改善电力系统的运行调度。

抽水蓄能电站的总效率取决于发电效率与提水效率的乘积,为 65% ~ 75%。当发电机组与电动机组合为一体时,为了提高水机效率,往往需要发电与提水有不同的转速。如为同步机,则需改变磁极对数,这时电机结构及其控制系统将大为复杂化,同时大容量同步电动机启动也较为困难。如能将同步电机异步化(可小范围改变转速)或在容量不大的情况下使用传统异步电机作为发电电动机组,将使上述两个问题都得以简化。

1.4 风力发电场

此种电站是将风的动能转换为电能的电站。由于单台风力发电机的容量约为 1 000 kW,大容量的风力发电站可能有上百、甚至上千台风力发电机安装在一个长数公里、甚至数十公里的场地上,因此通常将其称为风力发电场。

随着各国对环境保护的日益重视和能源短缺问题的日益严重,风能作为一种清洁的可再生能源受到了广泛的重视。目前,在除水电以外的各种可再生能源的开发中,风电的开发最具潜力,由于在技术上日趋成熟,风能成为最具有大规模开发利用前景的可再生能源。

我国是世界上温室气体排放量位居前列的国家,以燃煤为主的能源结构所造成的环境污染,已成为我国政府极其关注的重大问题。根据国情和环境状况,我国提出将 21 世纪作为能源资源利用走向太阳能和风能的时代,将开发利用可再生能源作为我国推行可持续发展战略的重要组成部分。

我国可开发和利用的风能储量约为 10 亿 kW,其中,陆地上风能储量约 2.53 亿 kW(依据陆地上离地 10 m 高度资料计算),海上可开发和利用的风能储量约 7.5 亿 kW。“三北”地区包括东北 3 省、河北、内蒙古、甘肃、青海、西藏和新疆等省和自治区近 200 km 宽的地带,



图 1-6 风力发电机组的结构示意图
1—桨叶;2—增速箱;3—发电机

风功率密度在 $200 \sim 300 \text{ W/m}^2$ 以上,有的可达 500 W/m^2 以上,可开发利用的风能储量约为 2 亿 kW,占全国陆地可利用储量的 79% 左右。这些规划建风电场的地区地形平坦,交通方便,没有破坏性风速,是我国连成一片的最大风能资源区,有利于大规模的开发风电场。

图 1-6 示出一台风力发电机组的结构。

风力发电机利用其桨叶吸收风能,经加速箱带动发电机旋转发电。理想风机在正常风速 ($12 \sim 24 \text{ m/s}$) 范围内保持输出功率恒定。由于异步发电机转子无外施励系统,因此结构简单,运行可靠,目前已在风力发电中普遍采用。异步发电机需要电容器提供无功,异步风力发电场并入电网的结构如图 1-7 所示。

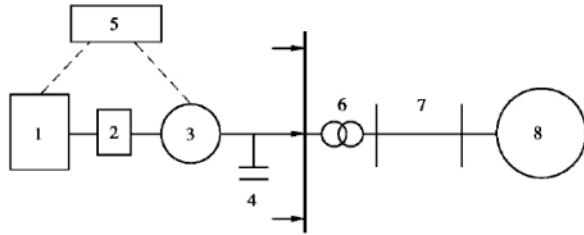


图 1-7 异步风力发电场并入电网的结构意图

- 1—风力机;2—传动箱;3—发电机;4—补偿电容器;
5—控制器;6—升压变电站;7—输电线;8—电力网

风力发电机组的计算机控制系统对整个风力发电机组实施正常操作,调节、和保护控制,是一个较为复杂的自动化控制系统。

1.5 变电站的基本形式

电力系统的变电站可分为两大类:1)发电厂的变电站,称为发电厂的升压变电站,其作用是将发电厂发出的有功及无功功率送入电网,因此其使用的变压器选升压型;低压为发电机额定电压,高、中压主分接头电压为电网额定电压的 110%。2)电网的变电站,一般选用降压型变压器,即作为功率受端的高压主分接头电压为电网额定电压,功率送端中、低压主分接头电压为电网额定电压的 110%。具体选择应根据电网电压调节计算来确定。

电网的变电站可分为 3 种:1)枢纽变电站。其主要作用是联络本电力系统中的各大电厂与大区域或大容量的重要用户,并实施与远方其他电力系统的联络,是实现联合发、输、配电的枢纽,因此其电压最高,容量最大。枢纽变电站是电力系统最上层的变电站,目前我国大多数地区的枢纽变电站的电压为 500 kV,西北地区为 750 kV。2)区域变电站。其主要作用是对一个大区域供电。因此其高压进线来自枢纽变电站或附近的大型发电厂,其中、低压对多个小区域负荷供电,并可能接入一些中、小型电厂。区域变电站是电力系统的中层变电站,目前我国大多数地区的输区域变电站的电压为 220 kV,西北地区为 330 kV。3)配电变电站的主要作用是对一个小区域或较大容量的工厂供电,其低压出线分布于该小区,沿途接入小容量变压器,降压供给小容量的生产和生活用电。工厂内则下设车间变电所对各车间供电。配电变电站是电力系统最下层的变电站,目前我国大多数地区配电变电站的电压为 110 kV。