

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI GONGCHENG

电力工程

袁小华 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI GONGCHENG

电力工程

主编 袁小华
编写 李树华 戴宪滨
主审 张东英 温步瀛



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical
Engineering



内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分12章，主要内容包括电力生产过程、电力系统概述、电力系统元件参数和网络潮流计算、电力系统短路故障及分析、高低压电器、电力系统主接线、配电装置、电气主接线的设计、电力系统的运行、电力系统过电压与接地保护、发电厂和变电所的二次回路、电力系统继电保护等。为了便于读者对各章节内容的理解和应用，在每章节后附有小结和思考与练习。

本书主要作为高等院校电气工程及其自动化专业的本科教材，也可作为高职高专相关专业的教材和函授教材，同时可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程/袁小华主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5083-6014-0

I. 电… II. 袁… III. 电气工程-高等学校-教材
IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 125774 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2007年10月第一版 2007年10月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 17印张 415千字
定价 27.00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

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》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“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。本书为新编教材。

本书是本着强调基本概念、简化理论、紧密结合现场实际、突出实际应用的思想进行编写的。根据现代电力系统对应用型人才的要求，本书着重阐明了电力系统、发电厂和变电所电气部分的基本知识和原理，具有易于理解和讲授、自学方便等特点。

本书为普通高等教育“十一五”规划教材，对于成人高等教育、高职高专教育等也可以根据自己的教学学时，适当减少些内容使用。

本书第一、二、三、四、五、七、十章由沈阳工程学院袁小华副教授编写；第六、八章由湖南金竹山发电厂总工程师李树华编写；第九、十一、十二章由沈阳工程学院戴宪滨副教授编写。全书由袁小华主编，华北电力大学张东英副教授主审。本书在编写过程中福州大学温步瀛教授审阅了大纲，并提出了许多宝贵意见，在此一并致以谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007年6月

目 录

58	.....	.....	..... 章六课
59	.....	.....	..... 章六课
68	.....	.....	..... 章二课
80	.....	.....	..... 章三课
85	.....	.....	..... 章小章本
101	.....	.....	..... 章小章本
102	.....	.....	..... 章小章本
103	.....	.....	..... 章小章本
104	.....	.....	..... 章小章本
105	.....	.....	..... 章小章本
106	.....	.....	..... 章小章本
107	.....	.....	..... 章小章本
108	.....	.....	..... 章小章本
109	.....	.....	..... 章小章本
110	.....	.....	..... 章小章本
111	.....	.....	..... 章小章本
112	.....	.....	..... 章小章本
113	.....	.....	..... 章小章本
114	.....	.....	..... 章小章本
115	.....	.....	..... 章小章本
116	.....	.....	..... 章小章本
117	.....	.....	..... 章小章本
118	.....	.....	..... 章小章本
119	.....	.....	..... 章小章本
120	.....	.....	..... 章小章本
121	.....	.....	..... 章小章本
122	.....	.....	..... 章小章本
123	.....	.....	..... 章小章本
124	.....	.....	..... 章小章本
125	.....	.....	..... 章小章本
126	.....	.....	..... 章小章本
127	.....	.....	..... 章小章本
128	.....	.....	..... 章小章本
129	.....	.....	..... 章小章本
130	.....	.....	..... 章小章本
131	.....	.....	..... 章小章本
132	.....	.....	..... 章小章本
133	.....	.....	..... 章小章本
134	.....	.....	..... 章小章本
135	.....	.....	..... 章小章本
136	.....	.....	..... 章小章本
137	.....	.....	..... 章小章本
138	.....	.....	..... 章小章本
139	.....	.....	..... 章小章本
140	.....	.....	..... 章小章本
141	.....	.....	..... 章小章本
142	.....	.....	..... 章小章本
143	.....	.....	..... 章小章本
144	.....	.....	..... 章小章本
145	.....	.....	..... 章小章本
146	.....	.....	..... 章小章本
147	.....	.....	..... 章小章本
148	.....	.....	..... 章小章本
149	.....	.....	..... 章小章本
150	.....	.....	..... 章小章本
151	.....	.....	..... 章小章本
152	.....	.....	..... 章小章本
153	.....	.....	..... 章小章本
154	.....	.....	..... 章小章本
155	.....	.....	..... 章小章本
156	.....	.....	..... 章小章本
157	.....	.....	..... 章小章本
158	.....	.....	..... 章小章本
159	.....	.....	..... 章小章本
160	.....	.....	..... 章小章本
161	.....	.....	..... 章小章本
162	.....	.....	..... 章小章本
163	.....	.....	..... 章小章本
164	.....	.....	..... 章小章本
165	.....	.....	..... 章小章本
166	.....	.....	..... 章小章本
167	.....	.....	..... 章小章本
168	.....	.....	..... 章小章本
169	.....	.....	..... 章小章本
170	.....	.....	..... 章小章本
171	.....	.....	..... 章小章本
172	.....	.....	..... 章小章本
173	.....	.....	..... 章小章本
174	.....	.....	..... 章小章本
175	.....	.....	..... 章小章本
176	.....	.....	..... 章小章本
177	.....	.....	..... 章小章本
178	.....	.....	..... 章小章本
179	.....	.....	..... 章小章本
180	.....	.....	..... 章小章本
181	.....	.....	..... 章小章本
182	.....	.....	..... 章小章本
183	.....	.....	..... 章小章本
184	.....	.....	..... 章小章本
185	.....	.....	..... 章小章本
186	.....	.....	..... 章小章本
187	.....	.....	..... 章小章本
188	.....	.....	..... 章小章本
189	.....	.....	..... 章小章本
190	.....	.....	..... 章小章本
191	.....	.....	..... 章小章本
192	.....	.....	..... 章小章本
193	.....	.....	..... 章小章本
194	.....	.....	..... 章小章本
195	.....	.....	..... 章小章本
196	.....	.....	..... 章小章本
197	.....	.....	..... 章小章本
198	.....	.....	..... 章小章本
199	.....	.....	..... 章小章本
200	.....	.....	..... 章小章本
201	.....	.....	..... 章小章本
202	.....	.....	..... 章小章本
203	.....	.....	..... 章小章本
204	.....	.....	..... 章小章本
205	.....	.....	..... 章小章本
206	.....	.....	..... 章小章本
207	.....	.....	..... 章小章本
208	.....	.....	..... 章小章本
209	.....	.....	..... 章小章本
210	.....	.....	..... 章小章本
211	.....	.....	..... 章小章本
212	.....	.....	..... 章小章本
213	.....	.....	..... 章小章本
214	.....	.....	..... 章小章本
215	.....	.....	..... 章小章本
216	.....	.....	..... 章小章本
217	.....	.....	..... 章小章本
218	.....	.....	..... 章小章本
219	.....	.....	..... 章小章本
220	.....	.....	..... 章小章本
221	.....	.....	..... 章小章本
222	.....	.....	..... 章小章本
223	.....	.....	..... 章小章本
224	.....	.....	..... 章小章本
225	.....	.....	..... 章小章本
226	.....	.....	..... 章小章本
227	.....	.....	..... 章小章本
228	.....	.....	..... 章小章本
229	.....	.....	..... 章小章本
230	.....	.....	..... 章小章本
231	.....	.....	..... 章小章本
232	.....	.....	..... 章小章本
233	.....	.....	..... 章小章本
234	.....	.....	..... 章小章本
235	.....	.....	..... 章小章本
236	.....	.....	..... 章小章本
237	.....	.....	..... 章小章本
238	.....	.....	..... 章小章本
239	.....	.....	..... 章小章本
240	.....	.....	..... 章小章本
241	.....	.....	..... 章小章本
242	.....	.....	..... 章小章本
243	.....	.....	..... 章小章本
244	.....	.....	..... 章小章本
245	.....	.....	..... 章小章本
246	.....	.....	..... 章小章本
247	.....	.....	..... 章小章本
248	.....	.....	..... 章小章本
249	.....	.....	..... 章小章本
250	.....	.....	..... 章小章本
251	.....	.....	..... 章小章本
252	.....	.....	..... 章小章本
253	.....	.....	..... 章小章本
254	.....	.....	..... 章小章本
255	.....	.....	..... 章小章本
256	.....	.....	..... 章小章本
257	.....	.....	..... 章小章本
258	.....	.....	..... 章小章本
259	.....	.....	..... 章小章本
260	.....	.....	..... 章小章本
261	.....	.....	..... 章小章本
262	.....	.....	..... 章小章本
263	.....	.....	..... 章小章本
264	.....	.....	..... 章小章本
265	.....	.....	..... 章小章本
266	.....	.....	..... 章小章本
267	.....	.....	..... 章小章本
268	.....	.....	..... 章小章本
269	.....	.....	..... 章小章本
270	.....	.....	..... 章小章本
271	.....	.....	..... 章小章本
272	.....	.....	..... 章小章本
273	.....	.....	..... 章小章本
274	.....	.....	..... 章小章本
275	.....	.....	..... 章小章本
276	.....	.....	..... 章小章本
277	.....	.....	..... 章小章本
278	.....	.....	..... 章小章本
279	.....	.....	..... 章小章本
280	.....	.....	..... 章小章本
281	.....	.....	..... 章小章本
282	.....	.....	..... 章小章本
283	.....	.....	..... 章小章本
284	.....	.....	..... 章小章本
285	.....	.....	..... 章小章本
286	.....	.....	..... 章小章本
287	.....	.....	..... 章小章本
288	.....	.....	..... 章小章本
289	.....	.....	..... 章小章本
290	.....	.....	..... 章小章本
291	.....	.....	..... 章小章本
292	.....	.....	..... 章小章本
293	.....	.....	..... 章小章本
294	.....	.....	..... 章小章本
295	.....	.....	..... 章小章本
296	.....	.....	..... 章小章本
297	.....	.....	..... 章小章本
298	.....	.....	..... 章小章本
299	.....	.....	..... 章小章本
300	.....	.....	..... 章小章本
301	.....	.....	..... 章小章本
302	.....	.....	..... 章小章本

第六章 电力系统主接线	87
第一节 发电厂和变电所电气主接线的基本要求	87
第二节 电气主接线的基本形式	89
第三节 电气主接线及限制短路电流的措施	96
本章小结	102
思考与练习	104
第七章 配电装置	105
第一节 概述	105
第二节 配电装置的图形	107
第三节 配电装置布置实例	109
本章小结	112
思考与练习	113
第八章 电气主接线的设计	114
第一节 概述	114
第二节 主变压器和主接线的选择	114
第三节 载流导体的发热和电动力	116
第四节 电气设备的选择	126
本章小结	140
思考与练习	141
第九章 电力系统的运行	142
第一节 电力系统的无功功率平衡和电压调整	142
第二节 电力系统的有功功率平衡和频率调整	151
第三节 电力网的经济运行	154
第四节 电力系统稳定性	159
第五节 电力系统的暂态稳定性	166
本章小结	170
思考与练习	172
第十章 电力系统过电压与接地保护	174
第一节 雷闪过电压	174
第二节 内部过电压	177
第三节 保护接地	178
本章小结	180
思考与练习	180
第十一章 发电厂和变电所的二次回路	181
第一节 二次回路基础知识	181
第二节 断路器的控制和信号回路	186
第三节 隔离开关的控制信号与闭锁回路	194
第四节 中央信号回路	198
本章小结	201
思考与练习	203
第十二章 电力系统继电保护	205
第一节 继电保护的概述	205

第二节	电网相间短路的电流保护	208
第三节	电网相间短路的方向电流保护	215
第四节	电网的接地保护	219
第五节	电网的距离保护	224
第六节	电网的差动保护和高频保护	228
第七节	电力变压器保护	231
第八节	电动机保护	239
第九节	同步发电机保护	243
本章小结	.....	245
思考与练习	.....	249
附录 A	架空线路导线的电抗和电纳	250
附录 B	常用电气设备数据与系数表	251
附录 C	短路电流周期分量计算曲线数字表	253
附录 D	高压隔离开关技术数据	257
附录 E	高压断路器技术数据	258
附录 F	电流互感器技术数据	261
附录 G	10kV NKSL 系列混凝土柱式普通限流电抗器技术数据	262
参考文献	.....	264

第一章 电力生产过程

在现代社会的生产和人们日常生活中,电能已被广泛应用于各个领域,尽管自然界中有各种形式的能源,但电能已成为最方便、最实用的一种。可以想象,如果没有了电能,现代文明社会将不复存在。

电能由发电厂生产,然后由电力网输送到城市、农村和工矿企业,供用户的用电设备消耗。图 1-1 所示为电能生产与用户消费之间的联系过程。

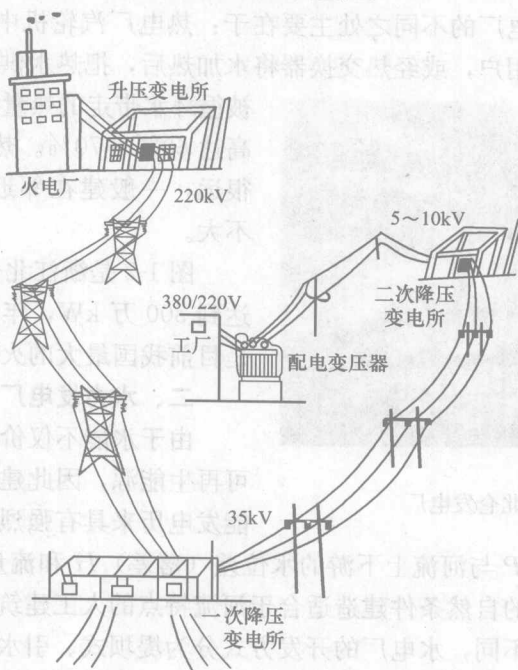


图 1-1 电能生产与用户消费之间的联系过程

第一节 发电厂的类型和特点

发电厂是生产电能的核心,担负着把不同种类的一次能源转换成电能的任务。依据使用的一次能源的不同,发电厂被分成许多类型。例如:燃烧煤、石油、天然气发电的火力发电厂;利用水能发电的水力发电厂;利用核能发电的核动力电厂等。目前全世界的电源构成中,火力发电设备容量占的比重最大,超过 70%,水电设备容量约占 20%,核能发电设备容量则不足 10%。火力发电仍是主要的发电方式。

火力发电资源的煤、石油、天然气是几亿年形成的矿物资源,它们不仅是能量的提供者,还是很珍贵的化工原料,为了节约这些有多种用途的重要资源,除了积极发展水力发电、核动力发电之外,还应努力开发新的发电能源。如潮汐发电、地热发电、太阳能发电、风力发电技术等。

用新能源发电和新的发电方式在技术上还不够成熟，在经济上花费也太昂贵，因此尚不能与传统的发电方式媲美。但是，随着技术的不断进步和能源资源构成的不断改变，它们必将逐步被用于生产。

一、火力发电厂

火力发电厂（以后简称火电厂）分为燃烧煤、燃烧石油和天然气的电厂，欧美国家燃油电厂居多，但受世界石油危机和油价不断波动等的影响，燃煤电厂的数量也日趋增多。我国只有很少几个燃油电厂。从目前我国能源资源实际构成情况以及为了发挥资源的最佳经济效益出发，除今后不再建燃油电厂外，现有燃油电厂也应尽可能改为燃煤电厂。

火电厂又可以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。凝汽式火电厂可建在燃料产地，电厂容量也可以很大。热电厂既生产电能，又向用户提供热能。热电厂与凝汽式火电厂的不同之处主要在于：热电厂汽轮机中有一部分作过功的蒸汽，从中间段抽出供给热力用户，或经热交换器将水加热后，把热水供给用户。这样，便可减少被循环水带走的热量损失。现代热电厂的效率高达 60%~70%。热电厂由于供热距离不能很远，一般建在邻近热负荷的地区，容量也不大。

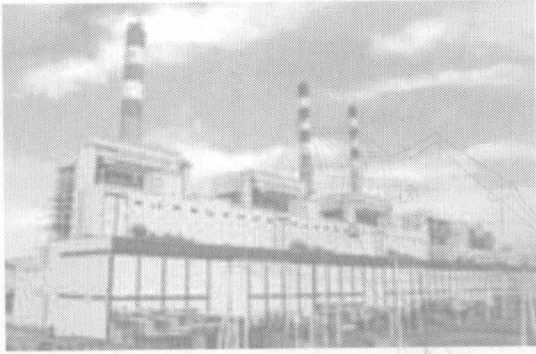


图 1-2 浙江北仑发电厂

图 1-2 是浙江北仑发电厂，其总装机容量达到 300 万 kW，年发电能力为 170 亿 kWh，是目前我国最大的火力发电厂。

二、水力发电厂

由于水能不仅价廉，又是一种用之不竭的可再生能源，因此建设水力发电厂，用水的位能发电历来具有强烈的吸引力。

水电厂的发电容量 P 与河流上下游的水位差（落差） H 和流量 Q 成正比。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人工建筑物，以期得到尽可能大的落差。按集中落差方式不同，水电厂的开发方式分为堤坝式、引水式及混合式 3 类。

有些水电厂在下游增设一个大的储水池，白天电力系统负荷处于高峰时电厂发电，并把发过电的水存入储水池，夜间低负荷时把储水池内的水再抽回水库，这一过程把电能再变成水的位能，以备下一天白天负荷高峰时再发电，这种电厂称为抽水蓄能电厂。

我国水利资源丰富，据调查，全国水利资源蕴藏量达 6.8 亿 kW，可利用量约 3.78 亿 kW。特别是黄河、长江水系集中了我国的主要水利资源，仅就三峡而言，约可装机 2500 万 kW。图 1-3 是位于吉林省吉林市的丰满水力发电厂。

三、核电厂

核能是一种新的能源，也是可望长期使用的能源。所以，自 1985 年世界上第一座核电厂投入运行以来，许多国家纷纷建设核电厂，与其他类型的电厂比较，核电厂建设的速度最快。核电厂把核裂变能转化为热能，再按火电厂的方式发电。只不过它以核蒸汽发生装置代替了蒸汽锅炉，核蒸汽发生装置除蒸汽发生器、泵等外，主要是原子核反应堆。反应堆中除核燃料外，以重水或高压水等作为慢化剂和冷却剂，反应堆又可分为重水堆、压水堆等。图 1-4 表示的是深圳大亚湾核电厂。

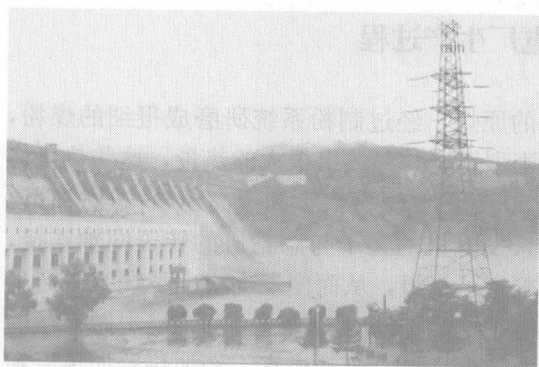


图 1-3 丰满水力发电厂

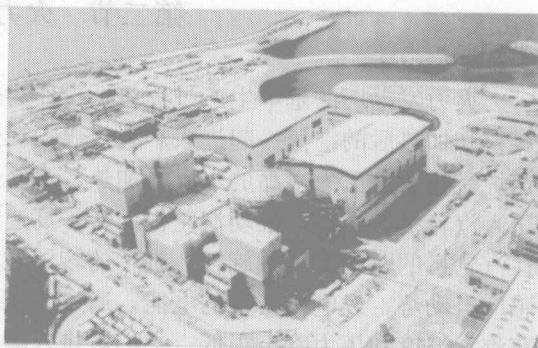


图 1-4 深圳大亚湾核电站

四、地热发电

地下水在地表深处被加热成蒸汽或热水即构成了地热资源。根据地质条件不同，热水温度约在几十度到几度，如我国西藏羊八井地热电厂水温约 150°C 。利用这种低温热能发电有两种方式：通过减压扩容法将地下热水变为低压蒸汽，供汽轮机做功。另一种方式是用地下水加热低沸点的特殊工质，使其变成气体对汽轮机做功。图 1-5 表示的是西藏羊八井地热电厂。

五、潮汐电厂

海水涨潮、落潮包含着巨大的动能和势能。利用这种能量发电的电厂就是所谓的潮汐电厂。潮汐发电需要建设拦潮堤坝，因而要求一定的地形条件，足够的潮汐潮差，较大的容水区。理想的建厂地点是海岸边或河口地区，可以拦蓄较大水量，少花费投资。

六、风能发电厂

国外比较重视风能发电。近年我国也鼓励风力发电，并给予优惠政策。风能取之不尽，但质量差。为了取得稳定的电能一般需与蓄电池并联运行。大型风力发电机的研制方向是提高可靠性和降低成本。图 1-6 表示的是大阪城风力发电厂。

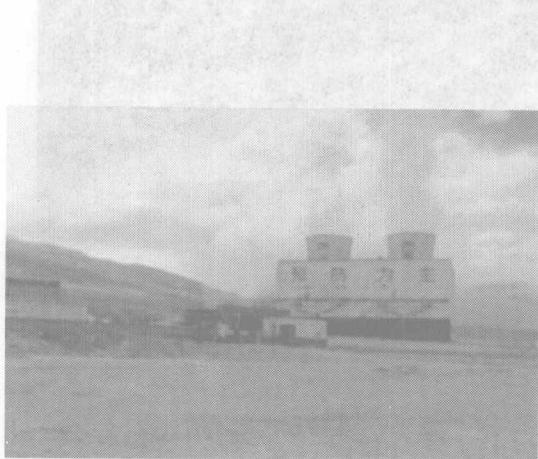


图 1-5 西藏羊八井地热电厂

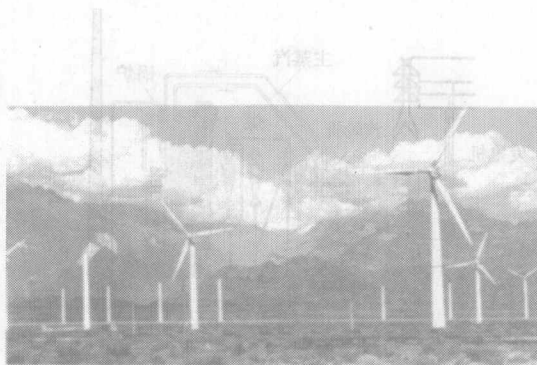


图 1-6 大阪城风力发电厂

第二节 火力发电厂生产过程

火力发电厂的基本生产过程包括：作为燃料的原煤，经过制粉系统研磨成很细的煤粉，煤粉和加热后的空气一起进入炉膛，煤粉在炉膛剧烈燃烧并释放出很大的热量，这些热量将锅炉受热面内压力很高的水反复加热，直至达到 500°C 的高温蒸汽，高温高压蒸汽通过管道送入汽轮机的汽缸，推动汽轮机的转子高速旋转，发电机的转子与汽轮机的转子同轴连接，在汽轮机的驱动下同轴旋转，旋转的转子磁场切割定子绕组，从而使发电机定子绕组中产生感应电动势，发电机产生的电能，通过升压变压器输电线路向电网输送，汽轮机中做完功的蒸汽，温度和压力降至很低，它们被排入凝汽器内放出余热，凝结成水，经加热器加热后和水泵升压后再送入锅炉，汽水如此往复，不断循环。这就是火电厂的生产过程，如图 1-7 及图 1-8 所示。图 1-7 表示的是它的流程示意图；图 1-8 表示的是它的生产过程示意图。

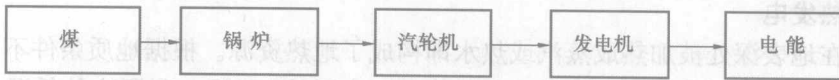


图 1-7 火力发电厂生产过程流程图

一、输煤系统

我们以两台 300MW 机组的火电厂为例，它每天消耗近 5000 多吨煤，需要一个庞大的输煤系统，原煤一般可由火车、汽车、轮船运到现场，其中以火车运煤最为普遍。

卸煤机械有多种形式，其中自动化程度最高的是翻车机，卸煤时，先将载煤列车解列，翻车机将整节煤车翻转 180° ，将煤卸到地下的受煤斗中。卸下的煤再由胶带给煤机送入转运站，转运站可直接将煤送入锅炉房，也可输送到煤场储存。煤场存煤要保证电厂 $5\sim 15$ 天的耗煤量。有的电厂还有混煤罐混合不同的煤种，混煤罐还有储煤的作用。

原煤通过一系列的输煤站桥，被送进锅炉房，输煤站桥内装有皮带输送机，如图 1-9 所示，表示皮带输送原煤的过程。

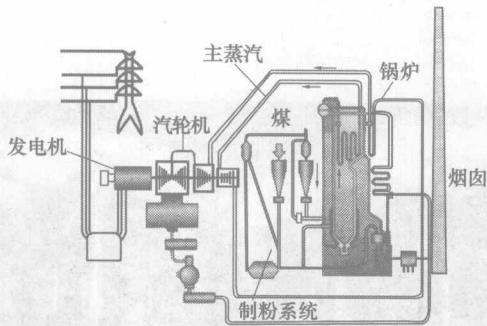


图 1-8 火力发电厂生产过程示意图



图 1-9 皮带输送原煤的过程

原煤首先通过电磁除铁器，除去其中的铁件，再通过碎煤机将较大的煤块破碎，最后将不含杂质的煤送入制粉系统。

二、制粉系统

做为大型锅炉燃料的原煤，都必须研磨成很细的煤粉，才能送入锅炉燃烧，完成这一任务的是制粉系统。图 1-10 所示为中间储仓式干燥剂送煤制粉系统流程图。

由输煤系统将原煤送到原煤仓中，再由给煤机送到磨煤机，在其中研磨成煤粉，同时经空气预热器加热的热风也进入到磨煤机，进入磨煤机的热风，既用来输送煤粉，还对要研磨的煤起到加热干燥的作用，故称为干燥剂磨制好的煤。由热风送入粗粉分离器，在那里将部分不合格的煤粉分离出来，送回磨煤机进行研磨。

合格的煤粉则进入旋风分离器（细粉分离器），它将空气和煤粉分离，分离出来的煤粉进入煤粉仓，分离出来的空气仍含有少量煤粉，这部分空气叫做乏汽，再由排粉机抽出，煤粉仓的煤粉由给煤机根据锅炉负荷的需要供给输出量，排粉机出来的乏汽，将煤粉通过燃烧器喷入炉膛内燃烧。这种将煤粉送入炉膛燃烧的热风叫一次风，有的锅炉一次风不是通过旋风分离器分离出来的乏汽，而是直接通过专门的一次风机，将空气预热器出口的热风与煤粉混合。

三、锅炉本体

锅炉本体包括汽包、省煤器、水冷壁、炉膛、烟道、过热器、再热器、燃烧器、空气预热器，如图 1-11 所示。其中省煤器、水冷壁、过热器、再热器、空气预热器称为锅炉的受热面，它们都是由很多金属管子组成的管束。除空气预热器外，这些受热面组成了锅炉的锅。

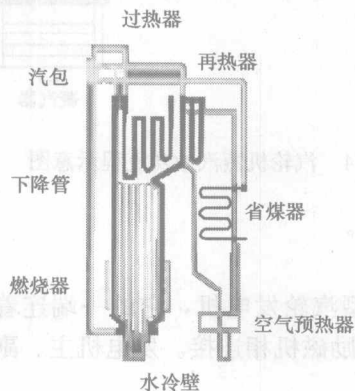


图 1-11 锅炉本体

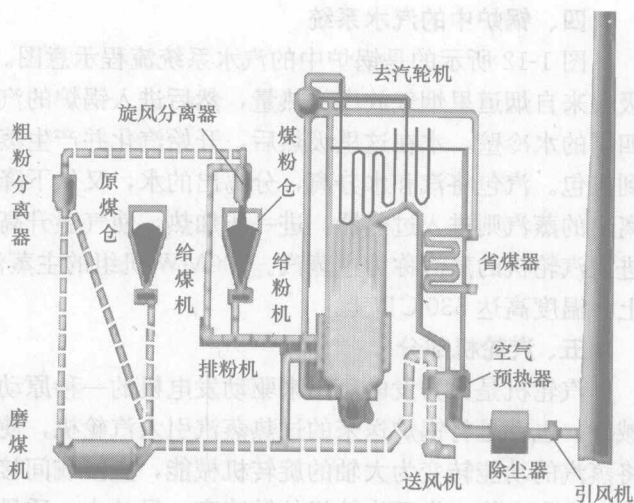


图 1-10 中间储仓式干燥剂送煤制粉系统流程图

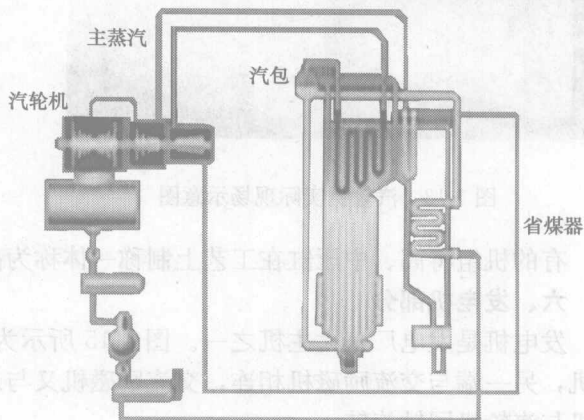


图 1-12 锅炉中的汽水系统流程示意图

四、锅炉中的汽水系统

图 1-12 所示的是锅炉中的汽水系统流程示意图。具有一定压力的水，首先进入省煤器，吸收来自烟道里烟气放出的热量，然后进入锅炉的汽包，再沿着下降管进入布置在锅炉炉膛四周的水冷壁，水在这里吸热后，开始汽化并产生蒸汽，所形成的汽水混合物自然上升又回到汽包。汽包将汽和水分离，分离出的水，又从下降管返回到水冷壁中吸热汽化。汽包中分离出的蒸汽则进入过热器，进一步加热，使气温升高，最后送至汽轮机做功。从过热器出来进入汽轮机的蒸汽称为主蒸汽。300MW 机组的主蒸汽压力高达 16MPa，约 160 个大气压以上，温度高达 530℃ 以上。

五、汽轮机部分

汽轮机是火力发电厂用来驱动发电机的一种原动机。它的任务是把蒸汽的热能转换为机械能。也就是将锅炉送来的过热蒸汽引入汽轮机，使蒸汽势能先转变为蒸汽的动能，然后将蒸汽的动能转变为大轴的旋转机械能，直接或间接地利用转动机构来拖动发电机的转子，使之发出电能。由于汽轮机的转速高、尺寸小、质量轻、能设计和制造出较大的功率，同时具有较高的效率，故已成为火电厂普通采用的一种原动机。图 1-13 所示为汽轮机实际现场示意图。

大型汽轮机按汽流方向、蒸汽大小通常分为高压缸，中压缸、低压缸几部分。

图 1-14 所示为汽轮机蒸汽做功流程示意图。箭头表示蒸汽的流向。来自锅炉的主蒸汽，首先在高压缸中做功，从高压缸排出后，进入锅炉过热器中再加热，加热后的蒸汽进入中压缸做功，排出后进入低压缸，最后排入凝汽器。

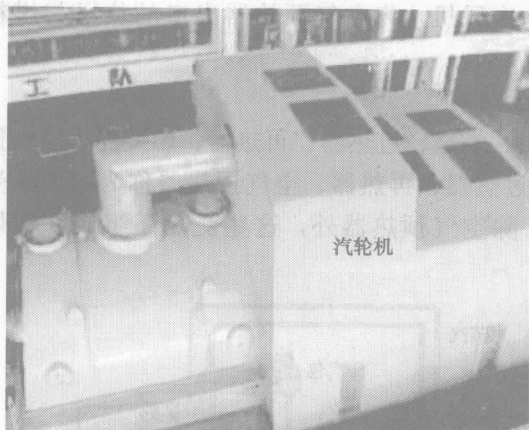


图 1-13 汽轮机实际现场示意图

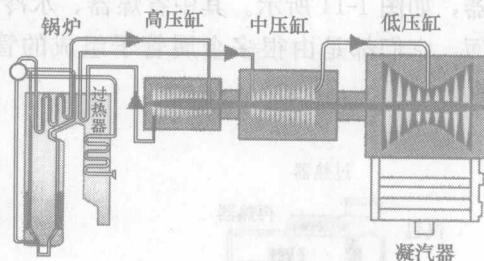


图 1-14 汽轮机蒸汽做功流程示意图

有的机组将高、中压缸在工艺上制称一体称为高中压缸。

六、发电机部分

发电机是发电厂三大主机之一。图 1-15 所示为一台大型汽轮发电机，它的一端连着汽轮机，另一端与交流励磁机相连，交流励磁机又与永磁式副励磁机相连接。发电机主、副励磁机与汽轮机同轴旋转。

发电机要发出电能，必须要有一套完整的励磁系统，励磁系统有多种，这里介绍的励磁系统是由交流主励磁机、永磁式副励磁机、整流装置和自动调节可控硅整流装置组成。图

1-16 所示为发电机的励磁系统。



图 1-15 一台大型汽轮发电机

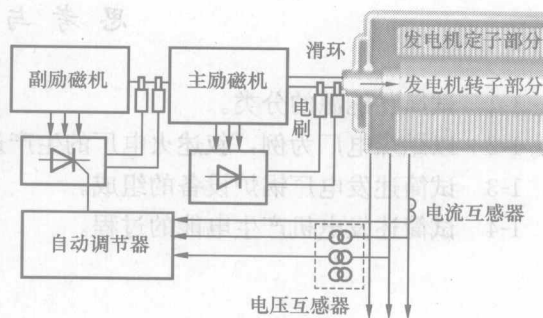


图 1-16 发电机的励磁系统

主励磁机发出的交流电，经硅整流后，通过发电机的电刷、滑环向转子绕组提供励磁电流，而主励磁机的励磁电流又是由副励磁机经晶闸管整流后供给的。副励磁机的磁场由它本身的永磁体建立，当把发电机的输出参数反馈到自动调节器后，整个励磁系统便形成了一个闭环的负反馈系统，它能根据发电机的运行工况自动调节励磁电流。

发电机是根据电磁感应原理工作的，当励磁系统提供的直流电通入转子绕组后，转子就会产生磁场，由于转子是在不停的旋转，因此这个磁场是旋转磁场，它和静止的定子绕组形成相对运动，相当于定子绕组作切割磁力线运动。

由于磁极方向不断变化，和发电机定子三相绕组在空间位置相差 120° ，所以当转子旋转时，三相定子绕组就会感应出三相交流电动势，若外部接上负载，定子绕组就有交流电流通过。发电机发出的三相交流电由其定子引线端经 3 根封闭母线引出，这就是发电机产生交流电的过程。

本章小结

1. 通过介绍不同电厂的类型及特点，说明电能的产生过程

电厂的类型可分为火力发电厂、水力发电厂、核电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、风能发电厂。它们的区别在于利用能源的不同。

2. 火力发电厂的生产过程

火力发电厂的基本生产过程可包括：作为燃料的原煤，经过制粉系统研磨成很细的煤粉，煤粉和加热后的空气一起进入炉膛，煤粉在炉膛剧烈燃烧并释放出很大的热量，这些热量将锅炉受热面内压力很高的水反复加热，直至达到 500°C 的高温蒸汽，高温高压蒸汽通过管道送入汽轮机的汽缸，推动汽轮机的转子高速旋转，发电机的转子与汽轮机的转子同轴连接，在汽轮机的驱动下同轴旋转，旋转的转子磁场切割定子绕组，从而使发电机定子绕组中产生感应电动势，发电机产生的电能，通过升压变压器、输电线路向电网输送，汽轮机中做完功的蒸汽，温度和压力降至很低，它们被排入凝汽器内放出余热、凝结成水，经加热器加热后和水泵生压后再送入锅炉，汽水如此往复，不断循环。这就是火电厂的生产过程。

3. 火力发电厂的设备部分

火力发电厂的设备包括输煤系统、制粉系统、锅炉本体、汽轮机部分、发电机部分等。

思考与练习

- 1-1 试简述能源的分类。
- 1-2 以燃煤电厂为例，叙述火电厂的生产过程，并画出主要生产流程方框图。
- 1-3 试简述发电厂锅炉设备的组成。
- 1-4 试简述发电机产生电能的过程。

图 1-1-1 燃煤电厂的主要设备

图 1-1-2 火电厂的生产过程

燃煤电厂的生产过程，简述火电厂的生产过程，并画出主要生产流程方框图。图 1-1-1 为燃煤电厂的主要设备，图 1-1-2 为火电厂的生产过程。图 1-1-1 中，燃煤电厂的主要设备包括输煤系统、制粉系统、锅炉本体、汽轮机部分、发电机部分等。图 1-1-2 中，火电厂的生产过程包括：燃料的燃烧、蒸汽的产生、汽轮机的转动、发电机的发电等。

本 章 小 结

本章介绍了能源的分类、火电厂的生产过程、锅炉设备的组成以及发电机产生电能的过程。能源分为一次能源和二次能源。火电厂的生产过程包括燃料的燃烧、蒸汽的产生、汽轮机的转动、发电机的发电等。锅炉设备由炉膛、水冷壁、过热器、再热器、省煤器、空气预热器等组成。发电机产生电能的过程是电磁感应过程。

第二章 电力系统概述

第一节 电力系统的组成和特点

由发电厂内的发电机、电力网内的变压器和电力线路以及用户的各种用电设备组成的统一整体，称为电力系统。如果把发电厂的动力部分（如火力发电厂的锅炉、汽轮机、热力网和用热设备，水力发电厂的水库、水轮机以及核电厂的反应堆等）也包含在内，则称之为动力系统。与电力系统相关联的是电力网络。它是指电力系统中除发电机和用电设备以外的一部分。所以电力网络是电力系统的一个组成部分，而电力系统又是动力系统的一个组成部分。这三者的系统组成示于图 2-1。

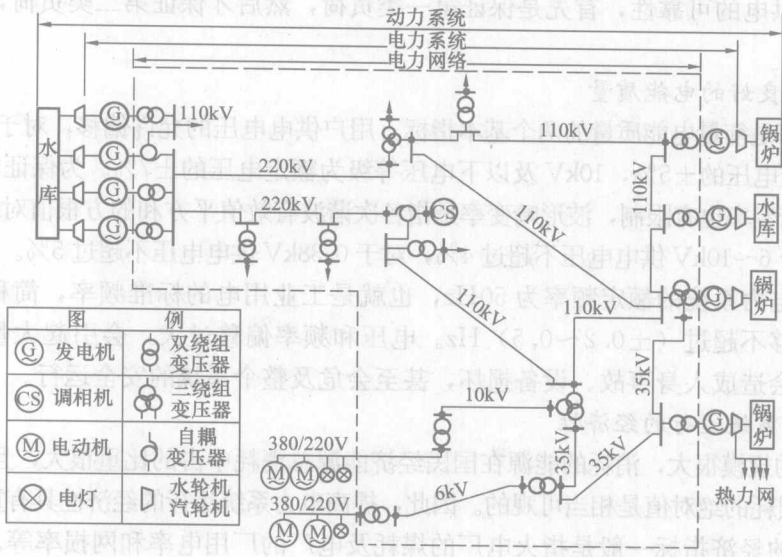


图 2-1 系统组成

一、电力系统的特点

1. 发、输、配和用电的连续性

目前，电能尚不能大量的廉价的储存，发、输、配和用电几乎是在同一瞬间进行的。为了保证对用户不间断地供电，电力系统各组成部分必须要恰当联系、互相协调、能可靠地工作。

2. 与工农业生产及人民生活的密切相关性

电力工业与国民经济、人民生活的关系极其密切。电能供应不足或中断，将直接影响国民经济计划的完成和人民的正常生活。对某些用户甚至会引起产品报废、设备损坏以及危及人身安全等严重后果。

3. 暂态过程的非常短暂性

电力系统由于运行情况的改变而引起的电磁、机电暂态过程是非常短暂的，因而，正常

和故障情况所进行的调整和切换操作也要非常迅速,仅依靠手动操作是达不到满意效果的,甚至是完成不了任务的。所以,电力系统运行必须采取自动化程度高、又能迅速而准确动作的继电保护及自动装置和监测控制设备。

二、对电力系统运行的基本要求

(一) 保证供电的可靠性

电力系统供电的中断将使生产停顿,生活混乱,甚至危及人身和设备的安全,造成十分严重的后果,给国民经济带来严重的损失,因此,对电力系统的运行首先要保证供电的可靠性。根据用户本身的重要程度可将负荷分为3类。

第一类负荷:将中断供电会造成人身事故、设备损坏、产品报废,生产秩序长期不能恢复,人民生活混乱,政治影响大等的用户以及军工系统划属为第一类负荷,这是重要负荷。

第二类负荷:将中断供电会造成大量减产、人民生活会受到影响的用户划属为第二类负荷,这是比较重要负荷。

第三类负荷:除一、二类负荷以外的一般用户属于第三类负荷。

电力系统供电的可靠性,首先是保证第一类负荷,然后才保证第二类负荷,最后才是第三类负荷。

(二) 保证良好的电能质量

电压和频率是衡量电能质量的两个基本指标。用户供电电压的允许偏移,对于35kV及以上电压等级为额定电压的 $\pm 5\%$,10kV及以下电压等级为额定电压的 $\pm 7\%$ 。为保证电压质量,对电压正弦波形畸变率也有限制,波形畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值对基波的有效值的百分比,对于6~10kV供电电压不超过4%,对于0.38kV供电电压不超过5%。

我国规定电力系统的额定频率为50Hz,也就是工业用电的标准频率,简称工频。正常运行时频率偏移不超过 $(\pm 0.2 \sim 0.5)$ Hz。电压和频率偏移过大,会引起大量减产、产品报废,严重时会造成人身事故、设备损坏,甚至会危及整个系统的安全运行。

(三) 提高系统运行的经济性

电能生产的规模很大,消耗的能源在国民经济能源总消耗中占的比重很大,且电能在生产、输送、分配时损耗的绝对值是相当可观的。因此,提高电力系统运行的经济性具有重要意义。

电力系统的经济指标一般是指火电厂的煤耗及电厂的厂用电率和网损率等。

三、目前电力系统的特点

目前从世界各国电力网及电力系统的发展状况可以看出,世界各国都在不断扩大电力系统,逐步将小系统联合成大系统,联合电力系统实行统一调度。这些措施具有下列优点。

(一) 减少系统中的总装机容量

由于负荷特性、地理位置等的不同,电力系统中各发电厂孤立运行的最大负荷并不是同时出现的,因此系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时的最大负荷的总和,从而,相应地可减少系统中的总装机容量。

(二) 合理利用动力资源、充分发挥水力发电厂的作用

水力发电厂的出力取决于河流的来水情况,由于水流情况的多变,很难与电力负荷相适应,往往在枯水季节出力不足,而丰水季节却要弃水。当水力发电厂联入电力系统后,它的运行情况就可与火力发电厂相互配合调剂。在丰水季节,水力发电厂尽量多发以减少火力发电厂的出力,节省燃料;而在枯水季节由水力发电厂担负尖峰负荷,火力发电厂担负固定的