



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU

火电机组集控运行

HUODIAN JIZU JIKONG YUN XING

付小平 李 庆 主 编 ●
石 平 章水秀 黄志明 副主编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

职业教育电力技术类专业教学用书

火电机组集控运行

HUODIAN JIZU JIKONG YUN XING

主 编	付小平	李 庆	
副主编	石 平	章水秀	黄志明
编 写	朱小军	刘 聪	
主 审	蔡军林	吴永厚	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）。本书以大型火电机组集控运行要求为主线，从火电机组集控运行的角度出发，对火电机组的启动、停运及运行监视等几个方面进行了全面系统的阐述，主要内容包括：火电机组的发展、组成、特点以及火电机组集控运行的概念和相关内容，机组的启动与停运，机组的正常运行与监视，机组的控制与保护，辅助系统的运行，机组常见事故、原因及处理，机组的试验等。为了加深学生对所学知识的理解，各章均配有复习思考题。

本书可作为高职高专电力技术类相关专业教学用书，也可作为从事大型火力发电机组运行、管理工程方面的工程技术人员参考书，还可作为火电机组运行相关的职业资格培训、岗位技能培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

火电机组集控运行 / 付小平，李庆主编. —北京：中国电力出版社，2012.6

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978-7-5123-3164-8

I. ①火… II. ①付… ②李… III. ①火力发电—发电机组—电力系统运行—高等职业教育—教材 IV. ①TM621.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 128848 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 8 月第一版 2012 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 435 千字

定价 34.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

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

编 委 会

主任委员 章国顺 付小平

副主任委员 杜中庆

编写顾问 胡念苏

委 员 （以姓氏笔画为序）

王赛闽 石 平 孙大耿 付爱彬 冯家强

江文贱 余素珍 李 庆 李如秀 杨 虹

杨小君 汪卫东 沈 龢 陈家瑁 苗 军

柯选玉 胡青春 赵玉莲 饶金华 徐艳萍

徐智华 崔艳华 黄建荣 程延武 谢亚清

谢利玲 蔡铎如 樊友平 魏蓄芳

前 言

本书是根据高职高专热能动力设备与应用专业课程标准的要求，为热能动力设备与应用专业、火电厂集控运行专业编写而成的。

随着我国电力工业的快速发展，大容量、高参数的火电机组已成为主力机组，大型机组集控运行水平、要求也在不断提高，这对火电机组运行也提出了更高的要求。本书紧密结合专业教学要求，突出知识的全面性与前沿性，针对高职高专教育实践性强的特点，以大型火电机组运行为主，全面系统地讲述火电机组的启动、停运、运行维护、事故处理和试验的过程和操作方法，其目的是让学生在有限的学习期间，最大限度地掌握机组系统和构成，学会运行操作及主要的事事故分析和处理，以提高其专业技能和素质。

本书由江西电力职业技术学院付小平、李庆主编，石平、章水秀、黄志明副主编，参与编写的还有朱小军、刘聪。本书由李庆负责统稿工作。

全书由华中电网培训中心蔡军林、吴永厚主审，主审老师提出了许多宝贵的意见与建议，在此深表感谢。本书在编写过程中，得到了江西电力职业技术学院教务处、高教研究所有关领导、老师和电力行业朋友们的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

编 者

2012年6月

目 录

前言

绪论	1
复习思考题	14
第一章 单元机组的启动和停运	15
第一节 单元机组启停变工况时锅炉、汽轮机的热状态	15
第二节 单元机组启动和停运方式	23
第三节 配汽包锅炉的单元机组启动	27
第四节 单元机组热态启动	37
第五节 配直流锅炉的单元机组启动	39
第六节 单元机组的停运	47
复习思考题	54
第二章 机组的运行与监视	56
第一节 汽包锅炉的运行监视	56
第二节 直流锅炉的运行监视	69
第三节 汽轮机的运行监视	74
第四节 发电机—变压器组与厂用电设备的运行监视	82
第五节 单元机组调峰运行	88
第六节 单元机组经济运行	95
复习思考题	97
第三章 机组的控制及保护	99
第一节 计算机分散控制系统	99
第二节 单元机组负荷调节方式	102
第三节 单元机组协调控制系统	105
第四节 锅炉炉膛安全保护监控系统	131
第五节 汽轮机数字电液控制系统	140
第六节 机组辅机顺序控制系统	148
第七节 单元机组连锁保护逻辑系统	153
第八节 机组数据采集系统与汽轮机监测系统	158
第九节 电气系统的自动控制与保护	161
复习思考题	167
第四章 辅助系统运行	168
第一节 锅炉辅助系统运行	168
第二节 汽轮机辅助系统运行	179
第三节 厂用电系统的运行与维护	209

第四节 发电机励磁系统运行与维护	222
复习思考题	226
第五章 机组常见事故及处理	228
第一节 单元机组事故的特点和处理原则	228
第二节 锅炉常见事故及处理	229
第三节 汽轮机常见事故及处理	240
第四节 发电机—变压器组常见事故及处理	250
第五节 厂用电源中断事故	258
复习思考题	260
第六章 单元机组试验	262
第一节 机组启动调整试验	262
第二节 机组运行典型试验	266
复习思考题	271
 附录 主要名词英汉对照	 272
 参考文献	 277

绪 论

电力工业是国民经济发展中最重要的基础能源产业。随着我国经济实力的不断增强,电力工业也在飞速发展。利用煤、石油和天然气等化石燃料所含能量发电的方式称为火力发电,中国煤炭资源丰富,故火力发电在中国电源结构中始终占主导地位。高参数、大容量、高效率的火电机组标志着一个国家的技术装备水平。随着电力系统火电单机容量的不断增加,火电单元机组及其集控运行已得到越来越普遍的应用。我国的电力工业发展的历程是怎样的?我国的火电机组的发展历程又是怎样的?什么是单元机组?怎样才是火电机组集控运行?火电机组集控运行包含哪些内容?在系统学习火电机组集控运行之前,我们有必要了解这些基本知识。

绪论讲述了我国电力工业的发展与前景、单元机组和火电机组集控运行基本概念,并在此基础上介绍了火电机组集控运行的组织和管理制度。

一、我国电力工业的发展

(一) 我国电力工业发展历程

我国电力工业发展的历程可以分为中华人民共和国成立前的 70 年和成立后的 60 年两个阶段。

1. 中华人民共和国成立前的 70 年

这个阶段又分为四个时期。

一是初创时期(1882~1911 年): 1882 年英国商人在上海建成约 12kW 火力发电机组,创办了第一家公用电灯公司(被称为我国第一个火力发电厂)。随后,在中国的沿海、沿江的城市、口岸和租界陆续开办了以照明为主的电灯公司。至 1911 年,全国发电设备装机容量为 27MW。

二是伴随民族资本工业发展时期(1912~1936 年): 1911 年到抗战前的 25 年间,伴随着民族资本工业的发展,中国电力工业也得到了相应的发展。1936 年底,中国发电装机总容量达到 1365.9MW(不含台湾和港、澳地区)。

三是抗日战争时期(1937~1945 年): 抗日战争期间,在国民党政府统治的大后方(四川、云南、贵州、陕西和甘肃等省),共筹建 27 个小电厂,总装机容量约 28.4MW。同时,日本侵略者为了掠夺中国的煤炭资源和其他战略物资的需要,先后在河北、山东、山西、安徽等地修建了一些发电厂。至 1945 年日本投降前,东北三省已投产的发电容量为 1782MW。1945 年日本投降后,东北电力设备中的主要部分被进驻的前苏联军队拆卸送往前苏联,据不完全统计,被拆走的发电设备约有 1398.4MW。前苏联军队撤走后,中国的发电设备总容量只剩下 1455.1MW。

四是抗日战争胜利后(1945~1949 年): 国民党政府致力于打内战,中国电力工业恢复和发展极为缓慢。截至 1949 年底,全国发电设备总容量只有 1848.6MW,年发电量为 43.1 亿 kW·h,分别居世界的第 21 位和第 25 位。

2. 中华人民共和国成立后的 60 年

这个阶段分三个时期。

一是解放初期（1950~1977 年）：1949 年 10 月 1 日，中华人民共和国成立，为我国电力工业的发展创造了有利条件。中国的年发电量 1950 年为 46 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，仅为美国的十分之一，1955 年为 155 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，1960 年为 594 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ；截至 1965 年，发电装机容量达到 15 080 MW，年发电量 676 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，均居世界第九位。

二是改革开放时期（1978~2000 年）：随着国民经济的整顿和调整，电力工业逐步进入正常发展的轨道。至 1978 年末，全国发电装机容量达到 5712 万 kW ，年发电量 2565 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。自 1978 年以来，我国电力工业的技术装备水平得到了较大的提高，大型发电机组有了较快的增长。从 1983 年起，我国开始利用外资建设电厂，从而加快了我国电力发展的速度，全国发电装机容量分别于 1987 年和 1995 年先后突破 1 亿 kW 和 2 亿 kW ；1995 年，中国年发电量首次突破 1 万亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 大关，达到 10 023 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，仅次于美国，居世界第二。

三是飞速发展时期（2000~2010 年）：在“十五”和“十一五”期间，中国电力工业进入飞速发展时期。这一阶段成为我国电力建设速度增长最快的时期，电力为国民经济发展提供了可靠保障。首先全国发电装机容量于 2000 年、2004 年、2006 年、2009 年先后突破 3、4、6、8 亿 kW ，其次是一直保持世界电力生产大国的地位。截至 2010 年底全国发电装机容量 9.621 9 亿 kW ，2010 年年发电量达 42 280.15 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，首次超过美国，成为世界第一。

（二）我电力工业的现状与发展规划

1. 电力工业的现状

20 世纪 80 年代初，我国从美国引进了亚临界参数的 300 MW 和 600 MW 火力发电机组的设计和制造设备的成套技术，第一台引进型 300 MW 火电机组于 1987 年在山东石横电厂投入运行；第一台引进型 600 MW 火电机组于 1989 年在安徽平圩电厂投入运行。随后，我国还从国外直接引进了多台 300、500、600、800、900 MW 超临界参数的火力发电机组。国产化 600 MW 超临界参数的火力发电机组 2004 年在河南华能沁北电厂投入运行。这标志着我国的火电机组向超临界参数方向发展，缩小了同国际先进水平的差距，大大提高了火电厂的热效率。全国第一台国产化的 1000 MW 超超临界机组于 2006 年 11 月在华能玉环电厂投入运行。30 年来，全国供电标准煤耗也从 1980 年的 448 g/（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ），下降到 2010 年的 335 g/（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ），30 年间共下降了 113 g/（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ）。

目前全国电力系统中 600、1000 MW 火电发电机组已成为主力机组。截至 2010 年底，我国已经发电的电厂中，单机容量最大的火电机组是浙江玉环电厂、山东邹县电厂、外高桥三厂和泰州电厂等的 1000 MW 超超临界参数机组。

2010 年，电力行业企业继续加大结构调整力度，电源结构继续优化，水电装机容量突破 2 亿 kW ，非化石能源发电装机容量所占比重持续提高；电力技术应用继续实现突破，电力行业节能减排成效显著。

2010 年，全国基建新增发电生产能力 9127 万 kW 。“十一五”期间我国累计新增装机 48 610 万 kW ，超过 2010 年底全国发电装机总容量的一半；水电、核电、风电等非火电发电装机发展迅速，累计新增装机 12 030 万 kW ，是 2010 年底同类型能源发电装机容量的 47.07%，火电新增装机所占比重从 2005 年的 81.00% 下降到 2010 年的 64.34%。

2010 年, 全国全口径发电量 42 280 亿 kW·h。水电发电量全年总体保持较好形势; 火电发电量增速自二季度起呈持续下降趋势, 全年所占比重比上年下降 1.05 个百分点; 核能发电保持稳定; 风力发电持续保持高速增长。“十一五”期间, 风电发电量所占比重从 2005 年的 0.07% 上升到 2010 年的 1.18%, 水电、核电和风电等清洁能源发电量比重明显提升。

电力工业发展特点为电源结构持续优化, 清洁能源发电比例持续提高。一是火电机组继续向大容量、高参数、环保型方向发展。2009 年底, 全国火电装机容量 6.51 亿 kW (其中煤电 5.99 亿 kW), 占全部装机容量的 74.49%, 比重比上年下降了 1.56 个百分点, 火电装机比重自 2002 年持续 8 年提高后, 已经实现连续两年下降。截止 2009 年底, 全国已投运百万千瓦超超临界机组 21 台, 是世界上拥有百万千瓦超超临界压力机组最多的国家; 300MW 及以上火电机组占全部火电机组的比重已经从 2000 年的 42.67% 提高到 2009 年的 69.43%。二是水电装机比例有所提高, 2009 年底, 全国水电装机容量 1.96 亿 kW, 占总装机容量的 22.46%, 比重比上年提高 0.68 个百分点, 我国已成为世界上水电装机规模最大的国家。三是核电在建施工规模居世界首位。2009 年底, 全国核电装机容量 908 万 kW, 位列世界第九位; 在建施工规模 2192 万 kW, 居世界首位。四是并网风电装机和发电量连续四年翻倍增长。并网风电装机和发电量连续四年翻倍增长。2009 年底, 全国并网风电装机容量 1760 万 kW, 比上年增长 109.82%; 2009 年, 全国风电发电量增长 111.1%, 高于其装机容量增长速度。非化石能源发电装机容量所占比重加大。全国 6000kW 及以上电厂非化石能源 (水电、核电、风电、太阳能、地热、潮汐能等清洁能源以及生物质能、垃圾能、余热余压能等资源循环利用) 发电装机容量合计为 2.22 亿 kW。

我国的电源结构已开始向多能互补的方向发展。表 0-1 是 2008 年以来中国的电力工业统计数据。

表 0-1 电力统计数据一览表

项 目	单 位	2010	2009	2008
一、发电总装机容量	万 kW	96 219	87 409.72	79 253.13
水电		21 340	19 629.02	17 152.39
火电		70 663	65 107.63	60 132.84
核电		1082	907.82	907.82
风电		3107	1759.94	1055.07
太阳能、地热、潮汐等		27	5.31	5.0
二、发电量	亿 kW·h	42 280.15	36 811.86	34 510.13
水电		6863.07	5716.82	5655.48
火电		34 145.24	30 116.87	28 029.97
核电		768.17	700.50	692.19
风电		500.97	276.15	130.79
太阳能、地热、潮汐等		2.77	1.52	1.75
三、600MW 及以上供电标准煤耗率	g/(kW·h)	335	340	345

2010 年底，我国已建成投产发电的机组总容量为 9.621 9 亿 kW，火电装机总容量为 7.066 3 亿 kW，水电装机总容量为 2.1340 亿 kW，核电装机总容量为 1.082 亿 kW。截至 2010 年底，我国已建成的装机总容量前 10 名的各大电厂见表 0-2。

表 0-2 我国装机容量前 10 名电厂及容量构成（截至 2010 年底） MW

序 号	电 厂 名 称	2010 年底拥有容量	容量构成台数×单机容量
1	三峡水力发电厂	22 500	32×700+2×50
2	上海外高桥发电有限责任公司	5000	4×300+2×900+2×1000
3	国电北仑电厂	5000	5×600+2×1000
4	龙滩水电站	4900	7×700
5	大唐托克托发电有限责任公司	4800	8×600
6	华电国际邹县发电厂	4540	4×335+2×600+2×1000
7	华能沁北发电有限责任公司	4400	4×600+2×1000
8	华能玉环电厂	4000	4×1000
9	大亚湾和岭澳核电站	3800	2×900+3×1000
10	漳州后石发电厂	3600	6×600

表 0-3 列出了我国各容量等级首台国产火电机组投运时间。

表 0-3 国产各容量等级首台火电机组建成投运时间

机组容量（MW）	制 造 厂 名 称	电 厂 名 称	投 运 时 间
6	上海电气集团股份有限公司（简称上海电气）	淮南田家庵发电厂	1956 年 4 月
12	上海电气	重庆发电厂	1958 年 8 月
25	上海电气	闸北发电厂	1958 年 12 月
50	哈尔滨电气集团股份有限公司（简称哈尔滨电气）	辽宁发电厂	1959 年 11 月
100	哈尔滨电气	高井发电厂	1967 年 2 月
125	上海电气	吴泾热电厂	1969 年 9 月
200	哈尔滨电气	朝阳发电厂	1972 年 2 月
300	上海电气	望亭发电厂	1974 年 11 月
300	上海电气（引进技术）	石横发电厂	1987 年 6 月
600	哈尔滨电气（引进技术）	平圩发电厂	1989 年 11 月
600	东方电气集团股份有限公司（简称东方电气）/哈尔滨电气	华能沁北发电有限责任公司	2004 年 12 月
1000	哈尔滨电气/上海电气（引进技术）	华能玉环电厂	2006 年 11 月

2. 电力工业发展规划

随着“十二五”期间我国经济社会快速发展，电力需求将持续增长，预计 2015 年全社会用电量将达到 6.27 万亿 kW·h 左右，“十二五”年均增长 8.5%左右；“十三五”期间年均增长约 5.5%，2020 年全社会用电量可达 8.2 万亿 kW·h。同时，落实我国政府“2020 年我国非化石能源在一次能源消费中比重达到 15%左右和单位 GDP 二氧化碳排放量比 2005 年下降

40%~45%”的两项承诺，需要电力工业加快开发绿色能源，改善能源结构。

根据国外电力技术的发展方向和我国电力行业的状况，今后若干年电力行业将向着高参数、大容量、高效、低污染的方向发展，着力于解决提高效率和降低污染等问题。结合我国国情及国家“十二五”发展规划，我国电力工业今后一段时间的发展方向是：以可持续发展为目标，以市场需求为导向，以结构调整为主线，以安全为基础，依靠科技进步。电源建设要调整结构，合理布局，以大型高效机组为重点优化发展煤电，在保护生态基础上有序开发水电，积极发展核电，加快发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源发电技术。具体内容如下所述。

(1) 火电发展。“十二五”期间一方面将优化煤电布局，对环渤海、长江三角洲、珠江三角洲和东北部分地区将严格控制煤电发展，煤电开发将逐渐向西部地区转移，重点布局开发山西、陕北、宁东、准格尔、鄂尔多斯、锡林郭勒盟、呼伦贝尔盟、霍林河、宝清、哈密、准东、伊犁、淮南、彬长、陇东、贵州等大型煤电基地，全国规划煤电开工规模 3 亿 kW，将在未来形成输煤输电并举的局面。预计“十二五”末，煤电装机将达到 9.3 亿 kW，2020 年达到 11.6 亿 kW。根据我国能源结构的状况，我国电源结构在相当长的时期内，直到 2020 年都将以煤电为主，这种电源结构是由我国的能源结构决定的。由于煤电的比重大，所以在进行电源规划时，特别是进行燃煤电站规划时，必须同时做好煤炭发展和运输的规划，将煤、电、运和环境保护的规划统一起来协调发展。

在大规模的燃煤发电站建设中，一定要高度重视技术装备的科技进步，要积极推广高效、经济、清洁、可靠并具有较好调节性能的装备的应用。要积极推广使用超临界和超超临界的发电设备，要高度重视燃煤电厂的环保问题与清洁燃烧，以降低我国现有火电厂的单位发电量的 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 的排放量，加大脱硫、除氮等电力环保以及煤的清洁燃烧等技术装备的推广应用，逐步推广循环流化床 (CFBC) 和整体煤气化联合循环 (IGCC) 等清洁煤燃烧技术。

(2) 水电发展。到 2015 年，全国水电装机将达 2.84 亿 kW 左右，2020 年预计达 3.3 亿 kW 左右。优先并加快开发水电，是我国电力发展的基本方针。争取在 10 年内将中部水电基本开发完，西部的大型水电也得到较大程度的开发，即到 2020 年东部地区、中部的湘西、长江中游、红水河以及西部的乌江、澜沧江中下游和金沙江下游段、黄河上游基本开发完毕。

另外，为了适应系统调峰要求，还要建设相当规模的抽水蓄能电站。对比世界平均抽水蓄能电站占总容量的测算，抽水蓄能电站发展力度和规模也将加大，2015 年规划装机容量 4000 万 kW 左右，2020 年将达 6000 万 kW。

(3) 核电发展。“十二五”期间核电将在东南沿海地区和东部地区进行布局，形成“东中部核电带”，即在辽宁、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西、海南等沿海省区加快发展；同时稳步推进江西、湖南、湖北、安徽、吉林等中部省份内陆核电项目。到 2020 年，我国核电装机容量占总电力装机容量的比重将由“十一五”末的 1.4% 上升到 5% 左右，使电源结构有所改善。到 2015 年核电装机将达 4300 万 kW，2020 年达 9000 万 kW。

(4) 风电和太阳能等新能源发电的发展。新能源发电主要包括风力发电、潮汐发电和太阳能发电，也包括地热发电和垃圾、生物质能发电等。

风电将按照大、中、小分散和集中开发原则，适当控制发展节奏，重点在“三北”地区规划和建设大型和特大型风电场。按照规划，2015 年和 2020 年，风电规划容量分别为 1 亿

kW 和 1.8 亿 kW。通过产业化和自主化, 2020 年中国风电水平将处于世界领先地位。到 2015 年, 太阳能发电规划容量约 200 万 kW, 2020 年将达到 2000 万 kW 左右。从整个电源结构看, 预计 2030 年, 风电、太阳能发电装机将占总发电装机的 30%~40%。

关于地热发电, 我国已探明地热可用于发电的为 150 万 kW (现已开发 3.2 万 kW), “十二五”规划中, 要建立高温地热发电示范工程以及促进热泵技术的开发及产业化, 以进一步充分用好地热资源。

关于海洋能源我国也有很丰富的资源。据统计为 4.6 亿 kW, 其中潮汐能 1.1 亿 kW (技术可开发量为 3850 万 kW), 温差、波浪和潮能等约 2.4 亿 kW (技术可开发约为 1.6 亿 kW)。“十二五”期间拟开发万千瓦级潮汐电站示范工程, 并完成波浪发电示范装置。

生物质能潜力巨大。据农业部评估, 我国生物质能资源约为 7 亿 t 标准煤。沼气等生物质能气化发电, “十二五”期间拟建立 7~10MW 级的发电示范工程; 生物质液体燃料技术, 也拟在“十二五”期间建立液体燃料示范工程。此外, 还有城市垃圾焚烧发电等。

二、单元机组的构成和特点

在我国火电机组发展历程与规划中我们已看到, 随着国民经济的不断发展, 电力需求随之增长, 电力系统不断扩大, 火电机组的单机容量在不断提高。火电机组容量的增大, 使得采用单元机组早已成为必然。

在火力发电厂中, 锅炉和汽轮机之间的联系是通过两种基本方式实现的: 一种是母管制系统, 另一种是单元制系统。

母管制系统是将电厂中各个锅炉所产生的蒸汽都集中送到蒸汽母管, 由蒸汽母管将蒸汽分配到各台汽轮机。这种系统中各锅炉的蒸汽管道相互连接, 锅炉和汽轮机之间没有直接的一一对应关系。这种系统结构复杂, 主蒸汽管道比较长, 投资费用比例较大, 而且阀门多, 发生事故的可能性增加, 这些问题随着机组容量的增大越来越突出, 母管制系统不适用于大型机组。特别是循环效率较高的中间再热机组的出现, 其主蒸汽参数越来越高, 且各个单元机组运行时再热蒸汽参数难以保证一致, 再热后蒸汽量的分配也很困难, 很难实现切换运行; 所以, 再热机组的主蒸汽系统必须采用单元制。而我国单机容量 125MW 以上的火电机组无一例外地采用了中间再热循环。

单元制系统是指一机一炉相配合的连接系统。汽轮机和供应其蒸汽的锅炉组成一个独立的单元, 与其他单元之间无任何蒸汽管道相连。

1. 单元机组的构成

现代大容量火电厂, 机、炉容量相匹配; 高参数大容量机组的主蒸汽管道均为优质耐热合金钢管, 价格高, 这样, 单元制系统的优点显得更为重要。为节省投资, 便于机、炉、电的高度自动化集中控制, 现代火电机组几乎都采用单元制系统。每台锅炉直接向所配套的一台汽轮机供汽, 汽轮机驱动发电机, 发电机所发的电功率直接经一台升压变压器送往电力系统, 这样组成了炉、机、电纵向联系的独立单元。各独立单元之间无横向联系, 并且各单元本身所需新蒸汽的辅助设备均用支管与各单元的蒸汽总管相连, 各单元本身所需厂用电取自本单元发电机电压母线, 这种系统称为单元系统。锅炉直接向联系的汽轮机组供汽, 发电机与变压器直接联系, 这种独立单元系统的机组称单元机组。典型的单元机组系统如图 0-1 所示。

2. 单元机组的特点

单元制系统主要有以下优点: 系统简单 (管道短, 发电机电压母线短, 管道附件少), 单

元与其他机组之间无任何连接管道，阀门等管道附件少，因此可节省大量的高级合金钢管和阀门，发电机电压回路的开关电器少，其投资最为节省；由于系统管道短，主蒸汽在管内流动时压力损失和散热损失小，运行热经济性好；系统本身事故的可能性小，事故的范围只限于本单元，不影响其他机组的正常运行；便于机电炉的集中控制，运行费用少。

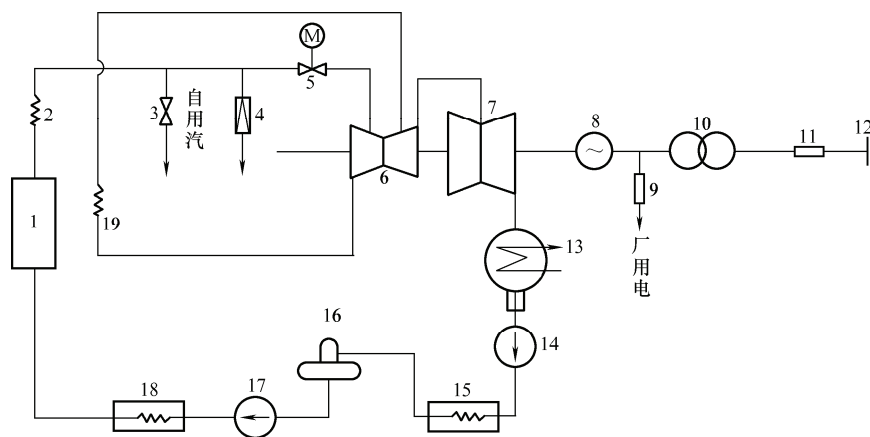


图 0-1 单元机组系统

- 1—锅炉；2—过热器；3—阀门；4—减压阀；5—电动主蒸汽阀；6—汽轮机高、中压缸；7—汽轮机低压缸；
8—发电机；9—厂用电开关设备；10—升压变压器；11—发电机开关设备；12—母线；13—凝汽器；
14—凝结水泵；15—低压加热器；16—除氧器；17—给水泵；18—高压加热器；19—再热器

单元制系统与非单元制系统（母管制系统）相比，其缺点在于：单元制系统中任一主要设备发生故障时，整个单元机组都要被迫停止运行，而相邻单元之间不能互相支援；炉、机之间不能切换运行，运行的灵活性较差；当系统频率发生变化时，汽轮机调节阀门开度随之改变，单元机组没有母管的蒸汽容积可以利用，而单元机组由于锅炉的热惯性大，锅炉的调节反应周期较长，必然引起汽轮机入口汽压的波动，使得单元机组对负荷变化的适应性相对较差。

对于大容量的区域性发电厂，其主要任务是外送电力，附近地区的少量地方负荷一般由地方供电部门解决，故发电机、变压器多以单元方式接线，机组采用单元机组，并采用集中控制方式。

三、火电机组集控运行的发展

在近百年的火力发电厂建设历史中，由于初始阶段的机组容量都很小，其生产过程的控制和操作几乎全部由运行人员手动来实现。后来，火力发电厂开始普遍采用链条炉，同时出现煤粉炉，机组容量逐渐增大到 60MW 左右的时候，用人工控制火力发电厂的生产过程已是极为困难的事。为了减轻运行的劳动强度，提高机组的安全性和运行效率，保证产品质量，火电机组陆续开始采用各种自动调节装置，实现部分生产过程的自动控制。火电机组的自动化水平在不断提高，就其控制方式而言，其生产过程自动化的发展过程，大体经历了以下三个阶段。

1. 就地控制阶段

在 20 世纪 20~30 年代期间，火电机组的容量还不是很大，生产过程对自动控制的要求受当时所具备的技术条件所限，仅能对发电机组实现简单的自动控制，例如，锅炉蒸汽压力、

汽包水位、汽轮机转速等的控制。所有控制系统基本上分散在各个控制对象所在的车间，各控制系统之间相互独立，没有任何联系。运行人员在就地设置的控制表盘上进行监视和操作，所应用的控制设备大都是尺寸较大的基地式仪表。国外 20 世纪 40 年代以前和我国 20 世纪 50 年代建设的火电机组基本上都采用这种模式。

2. 集中控制阶段

20 世纪 40 年代初期，由于中间再热式机组的出现，进一步密切了锅炉与汽轮机之间的关系。为了协调机、炉间的运行，加强机组的操作管理和事故处理，满足负荷变化对热力设备的要求，维持运行参数的稳定等，要求对锅炉和汽轮机实现集中控制，即把锅炉和汽轮机的控制系统表盘相对集中地安装在一起，由运行人员同时监视和控制锅炉、汽轮机的运行。当时所采用的控制设备主要是气动或电动单元组合式仪表，国外 20 世纪 40~50 年代和我国 20 世纪 60~70 年代初期建设的火力发电厂大都采用这种控制方式。进入 20 世纪 50 年代后，随着火电机组容量的增大，机、炉、电三者的关系更为密切，生产迫切需要对机、炉、电三者实现集中控制与管理。同时，由于仪表和控制设备的尺寸缩小、控制精度的提高、新型巡回检测仪表和局部程控装置的出现，使得整个机组的监视、控制表盘集中在一个控制室内的要求成为现实。此时采用的控制设备有电动单元组合仪表、组件组装式仪表，也有以微处理器为核心的数字式仪表。国外 20 世纪 50~60 年代以及我国 20 世纪 70~80 年代建设的火电机组大都采用这种控制方式。

图 0-2 所示为单元机组集中控制方式的集控室。



图 0-2 单元机组集中控制

3. 计算机控制阶段

20 世纪 60 年代至今，随着火电机组向着高参数、大容量的方向发展，生产设备走向大型化，生产系统日趋复杂，生产过程中需要监视的内容越来越多，过程控制的任务越来越重，机组的运行与操作要求更为严格，能源危机和剧烈的市场竞争，对节约能源和减少燃料消耗的要求不断提高，环境保护和文明生产的呼声日益高涨等，已反映出以往的生产自动化方式逐渐不能适应时代的发展，火力发电厂自动化面临着严重的挑战。另外，计算机的发展与普及、现代控制理论的产生与应用以及二者相结合的计算机控制技术的形成与在工业领域的渗透，为进一步提高工业自动化水平创造了有利条件，提供了十分重要的物质、理论基础和技术手段。图 0-3 所示为采用计算机控制方式的单元机组的集控室。

火电机组计算机控制方式又分为三个阶段：集中型计算机控制阶段、分散型计算机控制

阶段和综合自动化阶段。



图 0-3 单元机组计算机控制

火力发电厂计算机控制技术应用的初始阶段，普遍采用的是集中型计算机控制方式，即用一台计算机实现几个甚至几百个控制回路和若干过程变量的控制、显示及操作、管理等。但是，集中型计算机控制也存在着严重的不足，主要反映在以下几个方面：由于当时的计算机硬件可靠性还不够高，而由一台计算机承担所有的控制和监视任务，使得危险高度集中，一旦计算机发生故障，将导致生产过程全面瞬间瘫痪，危及设备安全；软件庞大、复杂，开发的难度大、周期长；计算机所承受的工作负荷过大，影响系统工作的实时性与正确性。历史条件的限制和集中型计算机控制存在的缺陷，促使计算机控制系统向着分散化发展。

20 世纪 70 年代初，大规模集成电路的制造成功和微处理器的问世、计算机技术的发展与日益成熟的分散型计算机控制思想相结合，促使火力发电厂自动化技术进入了分散型计算机控制的新时代。

分散型计算机控制是指控制过程所采用的系统是一种控制功能分散、操作管理集中、兼顾复杂生产过程的局部自治与整体协调的新型分布式计算机控制系统（又称分散控制系统）。分散控制系统以其功能强、可靠性高、灵活性好、维护和使用方便、良好的性能价格比等优点，深受工业界的青睐。20 世纪 80 年代以来，火电机组基本上都采用分散控制系统。

分散控制系统的应用及其自身的不断完善与发展，加速了火力发电厂自动化的进程。在此基础上，火力发电厂正向着更加完善、更高层次的综合自动化方向发展。

综合自动化是一种集控制、管理、决策为一体的全局自动化模式。它是在对各局部生产过程实现自动控制的基础上，从全局最优的观点出发，把火力发电厂的运作体系视为一个整体，在新的管理模式和工艺指导下，综合运用现代科学技术与手段，将各自独立的局部自动化子系统有机地综合成一个较完整的大系统，对生产过程的物质流、管理过程的信息流、决策过程的决策流等进行有效地控制和协调，实现生产系统的全局自动化，以适应生产和管理过程在社会发展的新形势下提出的高质量、高速度、高效率、高性能、高灵活性和低成本的综合要求。

目前，开放型分散控制系统的应用，为综合自动化的实现奠定了良好的基础，火电机组控制正朝着综合自动化方向发展。

四、火电机组集控运行的概念和内容

随着我国电力工业的发展和技术水平的提高，高参数、大容量的火电机组已成为主力机组。大容量的火电机组几乎全部采用集中控制。以“4C”技术为基础的现代火电机组集中控制技术也相应得到了迅速发展。“4C”技术是指计算机（computer）技术、控制（control）技术、通信（communication）技术、阴极射线管（cathode-Ray tube, CRT）显示技术。

（一）火电机组集控运行

集中控制是相对于单独控制而言的。采用中、小容量机组的老式电厂一般采用单独控制。火电厂的主要设备锅炉、汽轮机和发电机都有自己单独的控制室，各控制室之间通过热工信号、联络信号和电话进行联系。有些电厂虽然把控制室放在一起，但从控制方式上讲，各设备之间仍然是相对独立的。这种旧的控制方式是与当时的设备水平相适应的。

单元机组的炉、机、电纵向联系相当密切，相互构成了一个不可分割的整体。如在启停过程中，炉、机、电的操作是交替进行的。如果仍采用单独控制，各控制室只能通过信号彼此联络，不可能及时、准确地掌握情况，心中无数，势必产生操作上的被动盲目和不协调，因此在单元机组的运行中，必须把炉、机、电看成一个独立的整体来进行监视和控制，这就是所谓的单元机组集控运行。采用集中控制，炉、机、电可以密切配合，协调操作，便于运行管理的统一指挥，有利于机组的安全经济运行。

集控运行的控制对象一般包括：锅炉及燃料供应系统、给水除氧系统、汽轮机及其冷却系统、抽汽回热加热系统、凝结水系统、润滑油系统、发电机—变压器组系统、高低压厂用电及直流电源系统等。升压母线及送出线电气系统视具体情况可在集控室内控制或另设网控室控制。

单元机组采用集控后，全厂公用系统如水处理系统、燃料运输系统等仍采用就地控制或车间集中控制。

单元机组集中控制不仅要分别考虑锅炉、汽轮机、电气等各专业的特殊要求，同时也需综合、全面地考虑它们之间的联系，以便完成对单元机组总体的监视与控制。为了满足这种需求，使得单元机组集中控制技术远比母管制机组复杂。为了适应这种情况，要求集控运行人员在炉、机、电、化学、热控等各个专业方面有更高的技术水平。

（二）火电机组集控运行的内容

火电厂的生产过程是将燃料的化学能变为电能的过程，中间的能量转换一环紧扣一环。对采用集中控制的火电机组来说，由于机组相对独立，纵向联系十分紧密，因此炉、机、电乃至辅助设备任一环节的故障都将影响整个机组的运行。同时，单元机组的容量较大，结构复杂，一旦发生事故，造成设备损坏，检修的难度大、时间长，将造成巨大的损失。因此，保证机组运行的安全是首要任务。对运行人员来说，集中控制与独立控制的要求已大不相同。集中控制机组的运行人员应能够纵览全局，掌握所有主要设备和辅助设备的工作原理和运行特点，熟悉燃料、烟风、汽水、电气、控制等主要系统，并要有丰富的运行经验。只有这样，才能保证机组安全、经济的运行。

有人曾给集中控制下了这样一个定义，即把有关的主、辅设备集中到一个控制中心进行集中监视和控制。但这远远不是集中控制的全部内容。这样做仅仅可以算作集中办公或控制的集中，真正的集中控制有着更深刻的内涵。由于机组容量的增大和实行集中控制，机组的