

单元机组集控运行技术

(试用本)

山西省电力工业局编



水利电力出版社

内 容 提 要

本书是根据水利电力部的要求，在编写火电生产类学徒工初级工培训教材的基础上，根据原颁《工人技术等级标准》中4—6级工人“应知”的要求而编写的。全书共分六章，由浅入深地讲述了大容量单元机组值班工和值长所需要的综合性技术与理论，介绍了有关电力系统的基本知识、单元机组集控技术、启停操作与维护事故处理，并以一定的篇幅介绍了大容量单元机组及其辅机的结构特点及运用中的主要问题。

本书供培训具有初中毕业以上文化程度的大容量单元机组值班工、单元长使用，也可供中专、技工学校师生及发电厂技术人员参考。

火电生产类中级工培训教材 单元机组集控运行技术 (试用本)

山西省电力工业局编

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

北京市大郊亭印刷厂印刷

787·1092毫米 32开本 8.76印张 193千字
1985年7月第一版 1985年7月北京第一次印刷
印数00001—35000册 定价1.80元
书号 16143·5774

前 言

为了提高火力发电厂中级工的技术水平,使技术培训工作逐步走上正规,继《火电生产类学徒工初级工培训教材》编写出版之后,1984年10月22日水利电力部又以(84)水电教字第76号文向我局下达编写《火电生产类中级工培训教材》的任务。

根据国家有关加强职工培训通知的精神,在完成“双补”任务的基础上,各单位应适时地转入大力开展中级工人(4~6级工)的技术业务培训工作,要求到1990年工人中实际水平达到中级技术等级的比例逐步提高到50%左右。火电生产类中级工培训教材就是根据这一精神而编写的。

本教材按照水利电力部1979年颁发的《工人技术等级标准》中4~6级工人“应知”的要求,分工种编写的。教材的内容以20万kW以上的机组为重点,努力反映新技术、新设备、新工艺、新材料和新经验,以适应火电生产发展的需要。整个教材的编写力求体现工人技术培训的特点,本着理论联系实际的原则,努力做到内容准确、文字精练、插图简明、通俗易懂,并注意同学徒工初级工教材相衔接。

《火电生产类中级工培训教材》共十四本,适用于二十二个工种。为了保证这套教材的质量和使之适应在全国范围使用,我局除承担了部分教材编写任务外,还邀请了清河、陡河、大港、望亭、马头、闵行等发电厂,水利电力部西安热工研究所、华东电业管理局、华北电业管理局和山东省电力试验研究所等单位及有关同志参加编写和审稿工作。在此,特

向上述单位和有关同志表示衷心感谢。

本书的第一章第一、二、三、四、五节，第三章，第四章以及第五章第四节由山西省电力试验研究所杨笑石同志编写；第一章第六节，第六章由山西省电力工业局王明仁同志编写；第二章第一、二节，第五章第一、二、三、五节由山西省电力工业局郭友民同志编写；第二章第四节由太原第二热电厂吴爱兰同志编写；第二章第三节由山西省电力试验研究所冯玉明同志编写；第二章第五节由山西省电力试验研究所孙昭华同志编写。全书由杨笑石同志主编、由山西省电力工业局于世侃同志主审。

由于编写时间仓促，又缺乏经验，培训教材中难免存在错误和不妥之处，恳请使用单位和广大读者提出宝贵意见。本培训教材现以试用本出版，准备根据各方面意见在再版时进行修改，以进一步提高质量。

山西省电力工业局

一九八四年十二月

目 录

前 言

第一章 电力系统概述	(1)
第一节 火力发电厂生产过程简述.....	(1)
第二节 动力系统、电力系统和联合电力系统.....	(8)
第三节 对电力系统运行的基本要求.....	(14)
第四节 电力系统调度管理基本知识.....	(16)
第五节 单元机组的构成.....	(21)
第六节 单元机组集中控制概述.....	(27)
复习思考题.....	(29)
第二章 大容量单元机组的结构特点	(30)
第一节 大容量发电机与变压器的结构.....	(30)
第二节 单元制发电机-变压器组的保护 与大机组的励磁系统.....	(52)
第三节 高参数汽轮机组.....	(64)
第四节 高参数锅炉机组.....	(81)
第五节 大容量单元机组的辅机.....	(96)
复习思考题.....	(106)
第三章 单元机组的启停操作和组织	(107)
第一节 单元机组启停方式的特点.....	(107)
第二节 冷态滑参数启动.....	(112)
第三节 热态滑参数启动.....	(132)
第四节 停机.....	(136)
第五节 单元机组启停操作组织.....	(144)
复习思考题.....	(152)
第四章 单元机组的运行	(154)

第一节	单元机组的运行维护	(154)
第二节	单元机组的经济运行问题	(178)
第三节	单元机组的特殊运行方式	(189)
	复习思考题	(195)
第五章	单元机组的事故处理	(197)
第一节	单元机组的事故特点	(197)
第二节	电力系统事故对单元机组运行的 影响及处理方法	(198)
第三节	单元机组内部故障的事故处理	(202)
第四节	厂用电中断	(211)
第五节	大容量单元机组的事故案例	(212)
	复习思考题	(220)
第六章	单元机组集控技术	(221)
第一节	单元机组的控制系统	(221)
第二节	单元机组的测量系统	(245)
第三节	单元机组的安全监控	(247)
第四节	电子计算机在单元机组监控中的应用	(265)
	复习思考题	(273)

第一章 电力系统概述

第一节 火力发电厂生产过程简述

火力发电厂是特殊的能源加工厂。它可将一次能源，如煤、天然气、石油等，转换为二次能源——电能，供我们使用。目前在世界上，火力发电厂的发电量约占全部发电量的百分之七十五以上，在我国则占百分之八十三左右，在我国北方，火电比重更大。

一、火力发电厂生产过程

火力发电厂的生产过程概括起来是：先将燃料加工成适于现代动力锅炉燃用的形式（如把煤磨成很细的煤粉），再借助热风送入锅炉内充分燃烧，使储存于燃料中的化学能转变为热能；锅炉内的水吸热后在一定压力下变为饱和蒸汽，饱和蒸汽在过热器内继续加热成过热蒸汽，沿新汽管道进入汽轮机，在汽轮机内膨胀做功，驱动汽轮发电机组旋转，将蒸汽的内能转换成汽轮发电机组转子系统旋转的机械能；发电机转子旋转时，在发电机转子内由励磁电流形成的磁场也随之旋转，使定子线圈所交链的磁通发生周期性的变化，在定子线圈中产生感应电势，发出电能，再沿电力网将电能输送到工矿企业等用户；完成了机械能向电能的转换。图 1-1 就是火力发电厂能量转换过程框图。

单位时间内发电机发出的电能称为电功率。电功率又分视在功率、有功功率和无功功率。视在功率等于发电机输出的线电压 U (V) 和线电流 I (A) 有效值乘积的 $\sqrt{3}$ 倍，如以 kVA 为单位，则有



图 1-1 火力发电厂能量转换过程框图

$$S = \sqrt{3}UI \times 10^{-3} \text{ (kVA)} \quad (1-1)$$

其中可以做功的分量叫有功功率P，并且

$$P = S \cos \varphi \text{ (kW)} \quad (1-2)$$

φ 为功率因数角。视在功率中，表示与外界电路进行能量交换的速度的分量叫无功功率Q。无功功率绝对不是“无用”功率；一般来说，电源发出充足的无功功率是电感性负荷（如变压器、电动机等）正常工作所必不可少的条件。无功功率和视在功率的关系为

$$Q = S \sin \varphi \text{ (kvar)} \quad (1-3)$$

汽轮机中膨胀终了的蒸汽在凝汽器中凝结成水。此凝结水被凝结水泵抽出，经加热器、除氧器加热、除氧。除氧器水箱中的水用给水泵输送到锅炉中重新吸热汽化，重复利用。

为了使汽轮机的排汽在凝汽器中凝结，用循环水泵自河流、湖泊或地下水源等处取水送入凝汽器的水侧，把汽轮机排汽凝结时放出的热量带出。

从以上的叙述可以看出，火力发电厂的主要生产系统包括汽水系统、燃烧系统和电气系统。汽水系统由锅炉、汽轮机、凝汽器和给水泵等组成，它包括汽水循环、化学水处理和冷却水系统等。燃烧系统由锅炉的燃烧部分、燃料加工部分和除灰部分组成。电气系统则由发电机、升压变压器、高压配电装置、厂用变压器、厂用配电装置组成。

另外还有输煤系统、供水系统和二次测量、信号、保护及控制等辅助系统和设施。

在火力发电厂的生产过程中，除输出电能和热能外，还要排出大量废气、灰渣、污水，发出噪音，散发出废热，造成环境污染。目前国内外都在积极采取一系列环境保护措施，以降低污染程度，并开展了综合利用工作。

二、火力发电厂的分类

(一) 按产品性质分类

(1) 凝汽式发电厂。利用蒸汽动力循环原理，只生产电能的火力发电厂。

(2) 热电厂。除生产电能外，还生产供用户使用的热能的火力发电厂。

(二) 按供电范围分类

(1) 区域性发电厂。这类电厂容量较大，它们所生产的电能主要通过高压电网送到远方的负荷中心。煤炭能源基地的坑口电站就属于区域性发电厂。

(2) 地方性发电厂。这类电厂多建在负荷中心，除供本地用户电能外，还可以提供热能。地方性发电厂的容量一般较区域性发电厂小，主要包括城市供热电厂和工业企业自备电厂。

(3) 列车电站和船舶电站。这是一种把成套发电设备安装在火车车厢内或船舶内的活动电站，可以灵活地通过铁路或水上航道转移工作地点，以满足基本建设对临时电源的需要或某些特殊情况下的需要。

(三) 按蒸汽初参数分类

根据热工基础理论可知，朗肯循环是火力发电厂的基本循环，而提高蒸汽初参数可以显著提高朗肯循环的热效率。

所以提高蒸汽初参数可以提高火力发电厂的热效率，从而降低煤耗率。因此蒸汽初参数的逐步提高标志着火力发电厂的技术进步和发展。大容量的火力发电厂都是高参数的。本书的重点就是针对高参数（高参数的含意在本书中是指高温高压及以上参数）、大容量区域火力发电厂进行讨论的。

我国火力发电厂按蒸汽初参数分类见表 1-1。

表 1-1 火力发电厂按蒸汽初参数分类

电厂类型	汽压 (MPa)		汽温 (°C)		电厂和单机容量的大致范围
	锅炉	汽轮机	锅炉	汽轮机	
低温低压	1.4	1.3	350	340	电厂10MW以下 单机1.5~3MW
中温中压	4.0	3.5	450	435	电厂10~200MW 单机6~50MW
高温高压	10.0	9.0	540	535	电厂100~600MW 单机25~100MW
超高压	14.0	13.5	540	535	电厂250MW 以上 单机125~200MW
亚临界	17.0	16.5	555	550	电厂600MW 以上 单机300MW

注：10kg/cm²≈1MPa；10MW=10⁴kW。

三、火力发电厂的布置

(一) 总平面布置及建筑物的分类

发电厂厂区内各建筑物和构筑物座落的相对关系，以及厂址本身和附近构筑物的相对位置等的布局，称为总平面布置。

发电厂厂区内的建筑物和构筑物可以分为以下几类：

(1) 主要生产用厂房及建筑物，包括：主厂房、烟囱、化学水处理车间、配电装置、燃料系统建筑物、生产供水系统建筑物、外部水力除灰系统建筑物、厂内铁路运输的建筑物和设备以及公路、铁路等。

(2) 辅助性生产用厂房和建筑物，包括：机修车间，变压器修理间、油处理间和油库，空气压缩机及其它附属设备的建筑物、车库和自来水、消防水、下水道系统等。

(3) 辅助性建筑物，包括：生产办公楼、行政办公楼、食堂、宿舍等。

(二) 主厂房的布置形式

容纳锅炉、汽轮机、发电机及其附属设备的车间构成主厂房。这些主要车间和辅助车间的配置、车间内各种设备之间以及设备与主厂房建筑物之间的相对关系称为主厂房的布置。了解主厂房的布置，对电厂运行人员进行日常维护和操作工作十分重要，对单元机组运行人员以及值班等，则显得更为重要。

1. 对主厂房布置的要求

(1) 在满足安全可靠条件下，尽量节省主厂房的建造费用；

(2) 管理和检修设备方便，满足安全和工业卫生的要求；

(3) 充分利用天然采光；

(4) 电缆和管道敷设长度最短；

(5) 可以用最少的运行人员管理设备，运行费用最小；

(6) 便于实现自动化和检修工作机械化；

(7) 运行人员的工作条件良好；

(8) 便于扩建。

2. 布置方式

主厂房中，除了汽轮机房和锅炉房外，安装除氧器和部分燃料设备的地方也单独占据一个跨距，构成除氧器间和煤仓间。考虑了这些因素后，主厂房布置有以下方式。

(1) 分立式布置。汽轮机房与除氧器间、锅炉房与煤仓间各成一体，它们之间用天桥联络。由于这种布置方式使主蒸汽管道、给水管道和厂用电电缆长度增加，厂房造价高，因而高参数电厂已都不采用。

(2) 外煤仓布置。外煤仓布置就是把煤仓间放在锅炉房与除尘器之间的布置方式，如图1-2所示。

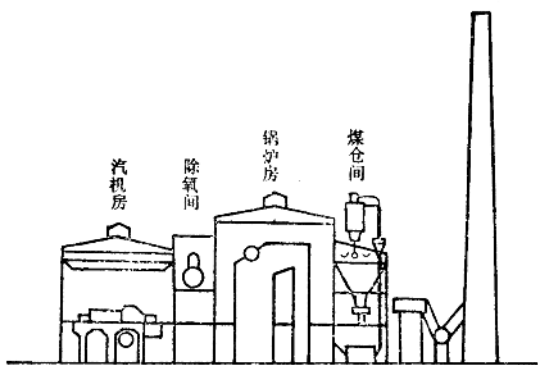


图1-2 外煤仓布置断面示意图

(3) 内煤仓布置。即煤仓间布置在锅炉房与除氧器之间的方式，如图1-3所示。

内煤仓布置的优点是：主厂房与卸煤设备之间距离可缩小，因而可减小厂区占地面积；烟道与制粉系统管道交叉少、布置清晰、烟道短；便于厂房扩建等。

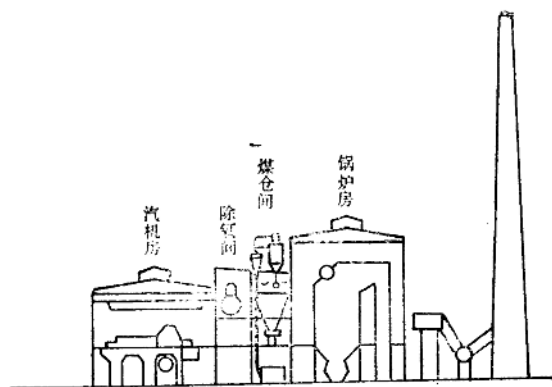


图 1-3 内煤仓布置断面示意图

内煤仓布置的缺点是：主蒸汽管道较长；磨煤机防爆门引出厂房外较困难；煤仓间天然采光和自然通风的条件很差；锅炉房外侧墙柱子断面尺寸需要较大等。

内煤仓布置还可以采用煤仓间与除氧器间合并的方案。这样做可以缩短主蒸汽管道长度简化主厂房结构、降低造价，但装设钢球磨煤机制粉系统时，设备布置较困难。

(4) 露天和半露天布置。为了简化主厂房结构，降低投资，露天和半露天布置的方式得到了发展。例如锅炉车间厂房的屋盖可以用锅炉钢架的柱子伸长一段来支持，用锅炉后墙代替锅炉房的外侧墙。这种布置方式称为半露天布置。而锅炉运转层以上完全暴露在外的布置方式称为露天布置。露天布置需要考虑设备的防风、防雨、防砂、防腐蚀和防冻问题。例如需要加强绝热保护和防护罩等。我国广大地区气候温和，可以发展各种程度的露天布置。

以上介绍了火力发电厂的生产过程及有关的一些问题。

除了火力发电厂外，还有水力发电厂、原子能发电厂、太阳能发电厂、地热发电厂、潮汐发电厂、风力发电厂等许多类型的发电厂，这些种类繁多、容量各异的发电厂互相联系在一起，共同向用户送电，就形成规模巨大的电力系统。下面简要介绍有关电力系统方面的基本知识。

第二节 动力系统、电力系统和联合电力系统

一、基本概念

电力工业的主要任务就是将各种非电形式的能源转换为电能，并将电能输送、分配给国民经济的其它部门以资利用。

动力系统就是完成电能生产、传输、分配以至消费全过程的系统，它也包括将所生产的热能进行分配的热力网和热力用户。可见动力系统由两类元件组成：一类是转换元件，其任务是将一种形态的能量变换为另一种形态的能量，或只改变电能的参数。属于这类元件的有锅炉、汽轮机、水库、水轮机、原子反应堆、发电机、变压器、换流器、电动机、变频器、照明及家用电器等。第二类是输送和分配元件，其任务是输送和分配电能、热能等能量。属于这类元件的有架空电力线路、电缆线路、配电装置、风道、燃料输送设备、热力网等。

动力系统中输送和分配电能及改变电能参数（电压、频率）的设备称为电力网。其中包括各种输电线路、变电所的配电装置、变压器、换流器、变频器等。

发电机和用电部门的电气部分（电动机等）以及将它们联系起来的电力网统称电力系统。电力系统是动力系统的核

心。习惯上有时将电力系统作为整个动力系统的代名词。

图 1-4 为动力系统示意图。

二、联合电力系统

电力工业发展初期，主要是利用本地能源生产电能，电力网的电压较低，传输和分配的负荷较小。此时形成了以地区或经济区划分的小电力系统或称为地方电力系统。随着国民经济的发展，社会对电能的需求日益增长，生产电能的机组容量也逐渐提高，能源和负荷分布不平衡的矛盾突出起来，于是出现了远距离超高压输电线路，将远方大型水电厂和大型坑口火电厂与负荷中心联系起来，使电力系统的规模不断扩大。为提高安全性和经济性，各地方电力系统逐渐用高压输电网络互相联结在一起，形成了联合电力系统。联合电力系统进一步互相结合形成全国统一电力系统，甚至跨国电力系统。有的电力系统总容量已超过1亿kW。

联合电力系统的出现带来了很高的经济效益。例如能增加负荷的综合程度（使负荷曲线变得平缓），提高设备的利用率，降低系统的备用率。这样，满足同样的负荷就可以少装机。在联合电力系统中，可以使各种类型的电厂充分发挥各自的长处；各地区取长补短，互相支援，更大限度地实现经济调度；允许安装更大型的设备，可以提高装机速度，降低电厂的造价等。

联合电力系统的出现提高了供电的可靠性，一路电源故障，可以由其它电源回路继续供电；一个地区故障，可以由其它地区支援。

但是，联合电力系统除了具有许多优点外，也出现了一些新的矛盾，如电力系统稳定问题显得更为重要；在各地区电力系统之间的联系加强后，互相影响也就大了。特别是一

个地区故障可能波及到其它地区，甚至引起全系统瓦解，带来的损失是巨大的。随着科学技术的发展，这些问题已引起人们的重视，且正在逐步解决之中。

三、电力系统的电压及电网结构

(一) 电力系统的电压

电力系统的电压分成很多等级。一个电网应采用哪些电压等级比较合适是个复杂的技术经济问题。影响因素有送电容量、距离、运行方式、动力资源分布、电源及工业布局以及发展远景等。

我国现行的额定电压标准为：

3、6、10、35、60、110、220、330、500 (kV)。

国外电网已有756kV的电压等级，并正在研究进一步发展1100~1500kV电压的电网。

一般说来，10kV以下称为低压（注意，这里的定义与安全电压等级的定义不同）；35~110kV称为高压；220~750kV称为超高压；1000kV以上称为特高压。

输送功率和输送距离增加，要求的线路电压越高。表1-2列出了根据经验确定的、与各额定电压等级相适应的输送功率和输送距离。

(二) 电网结构

电网按其功能分为输电网和配电网两部分。输电网是由输电线、系统联络线以及大型变电站组成，是电源与配电网之间的中间环节。配电网是起分配电力到各配电变电所再向用户供电的作用。

电网结线方式，即电网结构是否合理，直接影响电力系统的运行。它必须满足以下要求：

(1) 运行的可靠性：电网结构应保证对用户供电的可靠