

电力工业学校教材

单元机组运行

广东省电力工业学校 楼波 编

China Electric Power Press

中国电力出版社

电力工业学校教材

单元机组运行

广东省电力学校 楼波 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是按照中国电力企业联合教育培训部1996年11月颁发的教学计划(试行)和动力类专业教研会组织审定过的教学大纲而编写的。全书内容有五章:第一章绪论,讲述了单元机组及单元机组集控运行的概念;第二章单元机组自动控制系统,从操作角度描述了单元机组热控系统;第三章单元机组正常运行,讲述了单元机组正常运行生产的内容;第四章单元机组启动和停运,主要介绍了自然循环锅炉和直流锅炉单元机组的冷态启动;第五章单元机组典型事故及处理,在叙述单元机组事故特点和处理原则的基础上,主要讨论了MFT、RB、FCB、厂用电中断几种主要事故。

本书可作为电力工业学校电厂热力设备运行与检修专业的教材,也可作为电厂生产人员的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

单元机组运行/楼波编. -北京:中国电力出版社, 1999

电力工业学校教材

ISBN 7-5083-0100-5

I. 单… II. 楼… III. 单元机组-电力系统运行-专业学校-教材 IV. TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第38290号

中国电力出版社出版、发行

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

北京梨园印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1999年9月第一版 1999年9月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 6.75印张 146千字
印数0001—4000册 定价9.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

近年来，电力职业技术教育在结构改革过程中，创建了中专和技校融为一体的新型办学模式，形成统一的电力工业学校。与此同时，进行了专业设置、教学计划、课程体系等一系列教学改革。教材作为教与学双边活动过程中不可缺少的信息载体，其改革和建设必然是教学改革的重要组成部分。为了巩固教育、教学改革已经取得的成果，推动改革持续深入发展，满足电力工业学校教学工作的急需，并促进教学质量不断提高，从1996年底开始，着手组织力量进行教材改革的研究探索和教材建设的安排部署。中国电力企业联合会教育培训部先后成立了电力工业学校教材建设研究课题组，组建了电力工业学校教材编审委员会，颁布了《关于电力工业学校教材建设的若干意见》和《电力工业学校教材出版、推荐、评优暂行办法》等。

我会遵照上级有关教材建设的文件精神，积极组织全国电力工业学校（含中专、技工学校）的广大教师，按部颁电厂热力设备运行与检修专业教学计划（试行）设置的课程，申报并被确定了8门课为重点教材，由部统一组织出版发行。其余20余门一般教材，由教研会组织出版发行。这批教材力求根据职业技术教育的特点和培养应用型人才的教育目标，突出教材的定向性或针对性，以电力行业工作岗位需要的综合职业能力和素质要求，作为界定教材内容的依据，不片面追求学科体系的完整性，而强调贴近生产实际和工作实际，使理论同实践紧密结合，传授知识同培训技能紧密结合，精选教材内容，删繁就简，返璞归真，充实技术性、工艺性、使用性的内容，而且体现先进性和科学性的原则；注重定性分析，阐明物理意义和应用方法，简化某些论证，减少不必要的数学推导；在内容的编排、组合上，一是最大限度地做到模块化，增强教材使用的灵活性，便于不同教学阶段、不同专业采用；二是使理论阐述同实践指导有机结合，便于在教学过程中贯穿能力培养这一主线，采用以实际训练为轴心的把讲授、实验、实习融于一体的教学方式；适应各校功能延伸的新要求，兼顾各种职业培训对教材的需要。

这批教材的出版只是整个教材改革和建设的阶段性成果，仍需再接再厉，继续深化教材改革，推进教材建设。预期经过几年的努力，将会形成一套具有电力职业技术教育特色、以职业能力培养为主线、门类比较齐全、形式比较多样，并能与其它教育相衔接、兼顾职工培训需要的教材体系。

全国电力职业技术教育委员会
动力类专业教学研究会

1998年10月

HA736/01

前 言

《单元机组运行》是电力工业学校电厂热力设备运行与检修专业（四年制）的教材，是按照中国电力企业联合会教育培训部 1996 年 11 月颁发的教学计划（试行）和动力类专业教研会组织审定过的教学大纲进行编写的。

遵照电力职业技术教育课程改革的原则和基本思路，力求贯彻以能力为本位的思想。本书力求突破同类型教材偏理论轻实践的特点，让学习者能感受到大机组运行的“气氛”，缩短走向运行工作岗位后的不适应期。本书共分五章：绪论、单元机组自动控制系统、单元机组正常运行、单元机组启动和停运、单元机组典型事故及处理。书中内容以 300MW 自然循环锅炉为典型机组，尽量引入新知识，以反映我国电力系统单元机组运行的先进水平。

本书由广东省电力工业学校楼波编写，由大连电力工业学校张正芝主审。

在编写过程中，得到中电联动力类专业教研会及许多电力工业学校的领导和老师的支持和帮助，谨表谢意。

对于书中存在的缺点和不足之处，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1999 年 7 月

主要符号

- ADS—auto dispatching system 自动调度系统
AS—auto synchronism 自动同期
ATC—auto turbine control 自启动方式
BFPT—boiler—feed pump turbine 给水泵汽轮机
BMS—burner manage system 燃烧器管理系统
BOP—Bearing oil pump 轴承润滑油泵
BTG—boiler turbine generator 锅炉汽轮发电机
CCBF—coordinate control boiler follow 协调控制锅炉跟随方式
CCS—coordinate control system 机组协调控制系统
CCTF—coordinate control turbine follow 协调控制汽轮机跟随方式
CRT—cathode-ray tube 阴极射线管
DAS—data acquisition system 数据采集系统
DCS—distributed control system 分散控制系统
DEH—digital eletro—hydraulic control system 数字电液控制系统
EOP—emergency oil pump 紧急事故油泵
FCB—fast cut back 甩负荷事故
FSSS—furnace safeguard supervisory system 炉膛安全监控系统
GC—governor control 高压调节阀门控制
GV—governor valve 高压调节阀
IC—intermediate control 中压调节阀门控制
IV—intermediate valve 中压调节阀
LDC—load demand computer 负荷指令计算机
MCR—maximan continuous rating 机组最大负荷
MFT—main fuel trip 主燃料跳闸事故
OA—operator auto 操作员自动控制
OPC—overspeed protect control 超速保护控制
PCV—pressure control vavle 压力控制阀门
RB—runback 快速减负荷事故
RD—rundown 快速降负荷
RSV—reheat steam valve 中压主汽阀
SCS—sequence control system 顺序控制系统
TC—throttle control 高压主汽阀控制

TV—throttle vavle 主汽阀门

TSI—turbine supervise instrume 汽轮机监控仪表

TPC—turbine pressure control 汽轮机压力控制

UPS—uninterruptible power supply 单元动力系统（不间断电源）

目 录

序	
前言	
主要符号	
第一章 绪论	1
第一节 单元机组的构成和特点	1
第二节 单元机组集控运行的概念和内容	2
第三节 单元机组运行管理	3
小结	5
复习思考题	5
实训题	5
第二章 单元机组自动控制系统	6
第一节 单元机组分散控制系统 (DCS)	7
第二节 单元机组负荷控制系统	18
第三节 汽轮机数字电液控制系统 (DEH)	24
第四节 锅炉燃烧器管理系统 (BMS)	37
第五节 机组旁路系统的操作	44
小结	45
复习思考题	45
实训题	46
第三章 单元机组正常运行	47
第一节 单元机组运行监视	47
第二节 单元机组参数调节	52
第三节 单元机组运行维护	55
第四节 单元机组变压运行	59
小结	62
复习思考题	63
实训题	63
第四章 单元机组启动和停运	64
第一节 单元机组启动和停运方式	64
第二节 汽包炉单元机组启动	68
第三节 直流锅炉单元机组启动	75
第四节 单元机组的停运	80
小结	85
复习思考题	85

实训题	85
第五章 单元机组典型事故及处理	86
第一节 单元机组事故特点及处理原则	86
第二节 锅炉主燃料跳闸事故 (MFT)	88
第三节 机组快速减负荷事故 (RB)	89
第四节 机组甩负荷事故 (FCB)	90
第五节 厂用电中断事故	92
小结	95
复习思考题	95
实训题	96
参考文献	97

第一章 绪 论

【内容提要】 本章讲述了单元机组和单元机组集控运行概念，并在此基础上介绍了单元机组集控运行组织和管理制度。

电力系统容量的不断扩大，使得单元机组及其集控运行已应用得越来越普遍。何为单元机组？怎样才是单元机组集控运行？单元机组集控运行包含哪些内容？在系统学习单元机组集控运行之前，我们有必要了解这些概念。

第一节 单元机组的构成和特点

随着国民经济的不断发展，电能的需求不断增长，电力系统不断扩大，在这种形势下，单机容量的提高、大机组的优先采用已成为电力发展的必然。

一、单元机组的构成

现代大型火力发电厂，因机组容量增大，蒸汽所采用的参数越来越高，主蒸汽管道在很高的压力、温度下工作，必须使用昂贵的合金钢管，这使得成本投资明显增加。机组容量增大以后，发电机电压母管截面增大，发电机回路的开关电流增大，也导致了投资的增加。加之对可靠性提出了更高的要求，于是出现了单元机组。每台锅炉直接向所配合的一台汽轮机供汽，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见图 1-1。

二、单元机组的特点

单元机组系统简单（管道短，发电机电压母线短，管道附件少），发电机电压回路的开关电器较少，投资省，系统本身的事故可能性减少，操作方便，便于滑参数启、停，适合炉、机、电集中控制。

单元制系统与非单元制系统（母管制系统）相比，其不足之处在于：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、电之间不能切换运行，运行的灵活性较差；当系统频率发生变化时，汽轮机调节阀开度随之改变，单元机组没有母管的蒸汽容积可以利用，而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

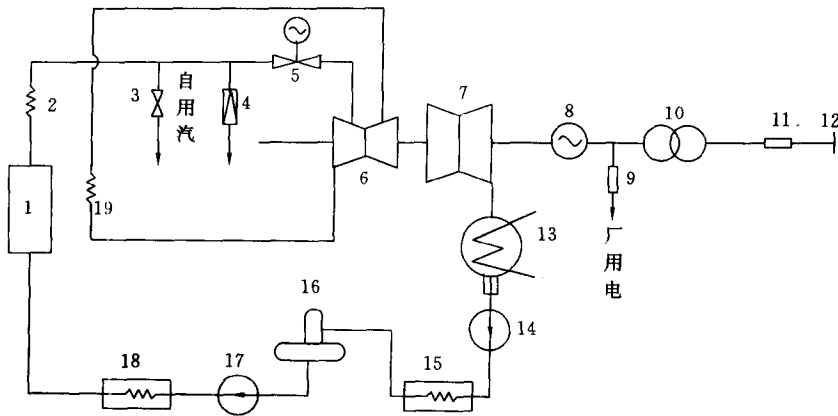


图 1-1 单元机组系统图

1—锅炉；2—过热器；3—阀门；4—减压阀；5—电动主汽阀；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

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。新建发电厂装设单机容量为 200MW 以上机组时，一般采用炉、机、电单元制系统，并采用集中控制方式。对于采用再热式机组的发电厂，主蒸汽管道和再热蒸汽管道往返于汽轮机与锅炉之间，各再热式机组的再热蒸汽参数因受负荷影响又不可能一致，无法并列运行，因而再热式机组必须采用单元制系统。

电力系统一般规定：对装有高压凝汽式机组的发电厂，可采用单元制系统或母管制系统；对装有中间再热凝汽式机组或中间再热供热式机组的发电厂，应采用单元制系统。

第二节 单元机组集控运行的概念和内容

一、单元机组集控运行

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。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。集控运行是在集中控制室集中控制炉、机、电的运行。

炉、机、电集中控制的控制对象一般包括：锅炉及其燃料供应系统、给水除氧系统、汽轮机及其相应的冷却系统、发电机、变压器组、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、燃料等仍采用就地控制或车间集中控制。

单元机组集中控制便于运行管理和统一指挥，利于协调操作，因此也有利于机组的安全和经济运行。单元机组集中控制不仅要分别考虑锅炉、汽轮机、电气各专业的特殊要求，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。由

于这种特殊要求，单元机组集中控制技术远比母管制小机组的控制技术复杂，这使得越来越先进的控制技术被应用于单元机组的集中控制，同时对单元机组集控运行人员的要求也越来越高。

二、单元机组集控运行内容

单元机组集中控制运行内容有以下几个方面：

- (1) 在就地配合下，对机组实现启动、停运；
- (2) 在机组正常运行情况下，对设备的运行进行监视、控制、维护以及对有关参数进行调整；
- (3) 能进行机组事故时的紧急处理。

为满足集中控制运行的要求，集中控制系统应具有以下功能：

(1) 监视测量

机组启、停过程中和正常运行的工况下，都可以自动检测运行工况，进行显示、记录、报警、打印或制表。

(2) 程序控制

根据值班员的指令，自动完成整个机组或局部子系统程序的启、停。

(3) 自动保护

在机组启、停过程中和事故状态下，自动切换设备或系统，使机组保持在有利的运行状态，保护设备的安全。

(4) 自动调节

自动保持最佳运行参数，使机组安全、经济运行，同时满足电力系统对机组的发电负荷和运行方式的要求。

第三节 单元机组运行管理

一、运行管理制度

为了保证单元机组的安全、经济运行，很好地完成上级调度部门安排的生产任务，电厂对单元机组集控运行制订了许多相关的运行管理制度，以使电厂运行生产有章可循。

1. 安全生产制度

为了确保机组安全发电、供电，保护国家、集体财产不受损失，保护人民生命安全和健康，运行人员必须贯彻执行“电厂生产，安全第一”及“预防为主”的方针，对运行的各项操作做到准确无误，不得有丝毫差错。

2. 岗位责任制

各电厂根据运行工作各岗位特点及现场设备状况及工作量的大小划分为若干个运行岗位，根据不同的工作岗位性质制定相应的岗位制度，使每个岗位运行人员必须认真执行本本职岗的职责，做好本职工作。

3. 交换班制度

运行人员按厂批准的运行值班轮流表的规定进行值班，其交换班制度内容包括：①交

接程序；②交接班的主要项目；③值班长开班前会；④交班后召开生产总结会。

4. 巡回检查制度

巡回检查制度是保证设备安全运行的重要措施之一。运行人员在值班时间必须按规定对自己管辖的设备进行巡回检查工作，检查工作要认真、细致，不漏项，不允许延长检查的间隔时间，更不允许因故不进行巡回检查。

5. 设备定期试验、维护、切换制度

为了确保设备处于完好状态，运行人员必须遵照厂部制定的“定期试验图表”所规定的时间对运行设备的安全保护装置、警报、信号以及处于备用状态下的转动设备进行试验、试运转或切换工作。

6. 工作票及设备验收制度

在生产现场进行设备检修时，为了保证人身和设备的安全，防止人身和设备事故的发生，必须按《电业安全工作规程》中的有关规定严格执行工作票制度。运行设备检修完成，先经检修人员检查合格，后由运行专责人员验收，对质量不合格的应拒绝验收并要求返修直至合格。

7. 操作票联系制度

当运行人员接到操作任务时，应将操作任务、目的及注意事项搞清楚，并认真填写操作票，指定操作人员和监护人，操作时应按操作票中的步骤逐条进行并与有关人员保持联系。

8. 运行分析制度

运行人员必须按规定格式认真、正确、实事求是地填写现场设备的各种运行记录，并根据各种仪表的指示、巡回检查结果和定期试验结果进行分析，了解各设备的运行情况及经济指标，对运行出现的不正常情况进行分析，查明原因并采取相应的有效措施。

9. 经济工作制度

机组运行必须在坚持安全生产的基础上，实行节约的原则，努力节约燃料、蒸汽量和厂用电。积极开展群众性的运行小指标竞赛活动，以促使运行人员在值班中认真监盘，精心调整。

10. 现场培训制度

为了适应电力工业不断发展的需要，也是为了不断培养新生力量，电厂应不断对现有的工作人员及新上岗的工作人员进行有组织和有计划的多种形式的培训，以不断提高工作人员的素质。

11. 文明生产制度

运行人员必须根据厂部划分的卫生专责区和岗位专责区的有关规定，经常保持设备和工作场所的清洁卫生，并经常检查，做到文明生产。

二、火力发电厂的生产组织

火力发电厂是生产电能的工业企业，根据电能生产的特点，组成精干、高效、运转灵活、指挥畅通、决策迅速的生产指挥系统是至关重要的。由于不同发电厂的规模、机组容量和特性、自动化水平等因素不同，生产组织会有差异，现大型发电厂的生产组织一般如图1-2所示。

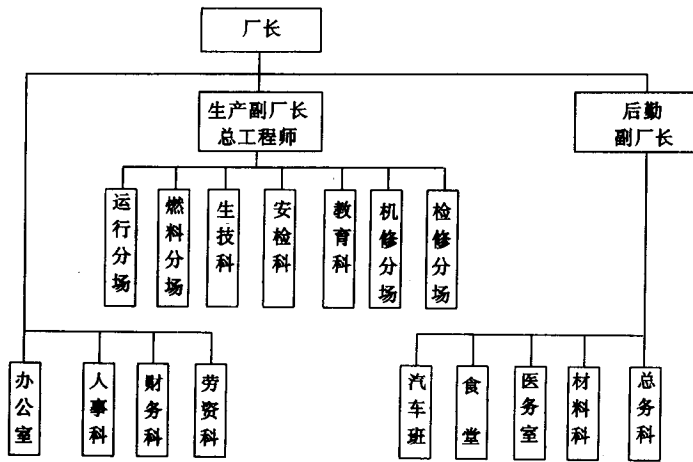


图 1-2 火力发电厂的生产组织

根据生产需要，电厂可能增设减少或合并有关部门。但现代电力企业对电厂精干机构设置的要求是：上设行政事业部、生产部、经营管理部、政治工作部，下设检修部、运行部、燃料部，厂部设厂长一名，厂长助理一名，总经济师、总工程师、总会计师各一名，各部门只设主任一名，不设副主任，设若干专业师。

小 结

单元机组是大容量机组产生的结果，它具有系统简单、投资省、操作方便、事故可能性减少、便于滑参数启停及适合于集控运行等优点。单元机组集控运行便于运行管理和协调操作，有利于机组的安全和经济运行。为了完成单元机组运行的任务，单元机组必须采用先进的计算机控制技术和合理的运行管理制度。

复 习 思 考 题

1. 单元机组有何特点？
2. 单元机组集控运行的内容有哪些？
3. 电厂运行管理制度主要有哪些？

实 训 题

参观单元机组电厂、校内单元机组模型、仿真机。

第二章 单元机组自动控制系统

【内容提要】 本章从操作角度描述了单元机组分散控制系统、汽轮机数字电液控制系统、燃烧器管理系统、机组旁路系统及负荷控制系统，以便让学习者对单元机组热控系统操作有个全面了解。

随着单元机组容量的不断扩大，电力系统对其安全运行的要求越来越高，加之计算机技术的飞速发展，电厂非常迫切要求采用越来越先进的自动控制技术。今日的自动控制技术已经渗透到电厂运行生产的各个环节，已经能够完成监视、操作、控制、保护等运行生产的各个过程。运行人员已经抛弃了半个世纪以前的高强度的运行方式，取而代之的是环境舒适、知识含量高、生产效率突出的集控运行。

我国从60年代开始探索计算机在电厂生产中的应用，那时只局限于在个别电厂实现开环监视。到了80年代，大批小型计算机和微机系统用于数据采集和处理，有少数系统实现了闭环控制，同时积极引进了国外先进的计算机控制系统和技术，使我国计算机在电厂中的应用接近世界先进水平，不但实现了开环监视与闭环控制相结合，而且采用了代表世界先进潮流的分散控制系统。

对单元机组集中控制系统来说，用一台集中式计算机来控制多个设备及系统，不但增加了信息的传输距离，使信息电缆投资过大，而且信号易受干扰，事故率增加，可靠性降低，另外机组各控制系统中，只有少数必要信息送至上位机。以大规模集成电路为基础的微处理机出现后，计算机的外形、体积类似于一台普通控制仪表，且功能强大，以微机为核心的分散控制系统，大大减少了发生事故时的影响范围，克服了集中式计算机控制中因局部故障而影响全局的弱点，而且微机系统部件标准化，使用维护方便，投资降低，系统的可靠性提高。电力工业中，随着机组容量的增大，电厂自动化水平和可靠性必然要相应地提高。因此世界各国都朝着以微处理机为主要控制手段的分散控制系统发展。

分散控制系统(distribution control system, DCS)也称分布式计算机控制系统，它是微处理机为核心，采用了数据通信技术和CRT显示技术的新型计算机控制系统。分散控制系统以多台微处理机分散在生产现场的形式，对生产过程进行调节与控制，避免了计算机控制高度集中的危险性和常规仪表控制功能单一的局限性。数据通信技术和CRT显示技术及其它外部设备的应用，能够方便地集中操作、显示和报警，克服了常规仪表控制过于分散和人机联系困难的难点。分散控制系统具有比常规控制系统更先进的人机联系手段，其中最重要的一点，就是采用了CRT显示和键盘操作。人机联系按照信息的流向分为“人→过程”联系和“过程→人”联系。在常规控制系统中，“人→过程”联系是通过各种操作器、定值器、开关和按钮等设备实现的，运行人员通过这些设备调整和控制生产过程；“过程→人”联系是通过各种显示仪表、记录仪表、报警装置、信号灯等设备实现的，运行人

员通过它们了解生产过程的运行情况。所有这些传统的人机联系设备都是安装在控制盘或者控制台上的。当生产过程的规模比较大、复杂程度比较高时，这些设备的数量会迅速增加，甚至达到令人无法应付的程度。例如，一个 300MW 的发电机组如果采用常规控制系统，其控制盘的长度将达 10m 左右。在如此庞大的监视和操作面中要找到需要监视和操作的对象是比较困难的，也容易出错。这种情况反映了常规控制系统的人机联系手段的双向分散这一弱点。

在分散控制系统中，由于采用了 CRT 显示和键盘操作技术，人机联系手段得到了根本的改善。“过程→人”的信息直接显示在 CRT 屏幕上，运行人员可以随时调用他所关心的显示画面来了解生产过程中的情况，同时，运行人员还可以通过键盘输入各种操作命令，对生产过程进行干预。由此可见，在分散控制系统中，所有的过程信息都被“浓缩”在 CRT 屏幕上，所有的操作过程也都“集中”在键盘上。因此，分散控制系统的人机联系手段是双向集中的。

对集控运行人员来说，首先得熟悉计算机的这种人机界面，然后才能做到正确操作。本章介绍的电厂控制系统主要侧重于运行操作。

第一节 单元机组分散控制系统 (DCS)

一、分散控制系统的功能

分散控制系统是以功能组合微机群为基础，通过通信网络和相互信息交换技术建立的能满足单元机组整体控制要求的计算机系统。从理论上讲，它包含的系统和功能主要有：

- (1) 数据采集系统 (DAS)。
- (2) 机组协调控制系统 (CCS) (包括负荷控制、机炉各子系统控制)。
- (3) 自动顺序控制系统 (SCS)。
- (4) 燃烧器管理系统 (BMS) 或炉膛安全监视保护系统 (FSSS)。
- (5) 汽轮机数字式电液控制系统 (DEH)。
- (6) 机组自动启动和停运。

二、WDPF 系统的操作

分散控制系统在我国电力系统应用的类型有很多，如 WDPF、INFI-90、TDC2000 等等。这里以我国应用较多的 WDPF 为例，说明分散控制系统的大致操作。

(一) WDPF 键盘介绍

WDPF 是美国西屋公司 (Westing-house Electric Company) 的产品，这种分散控制系统在中国应用得较多，其操作键盘见图 2-1。

1. WDPF 键盘的组成

操作员站键盘是一个由九组功能键组成的薄膜，这些不同组的功能键由操作员用来存取数据检索和控制画面。键盘上的九组功能键定义如下：

- (1) CUSTOM——用户自定义键，显示用户定义的画面。

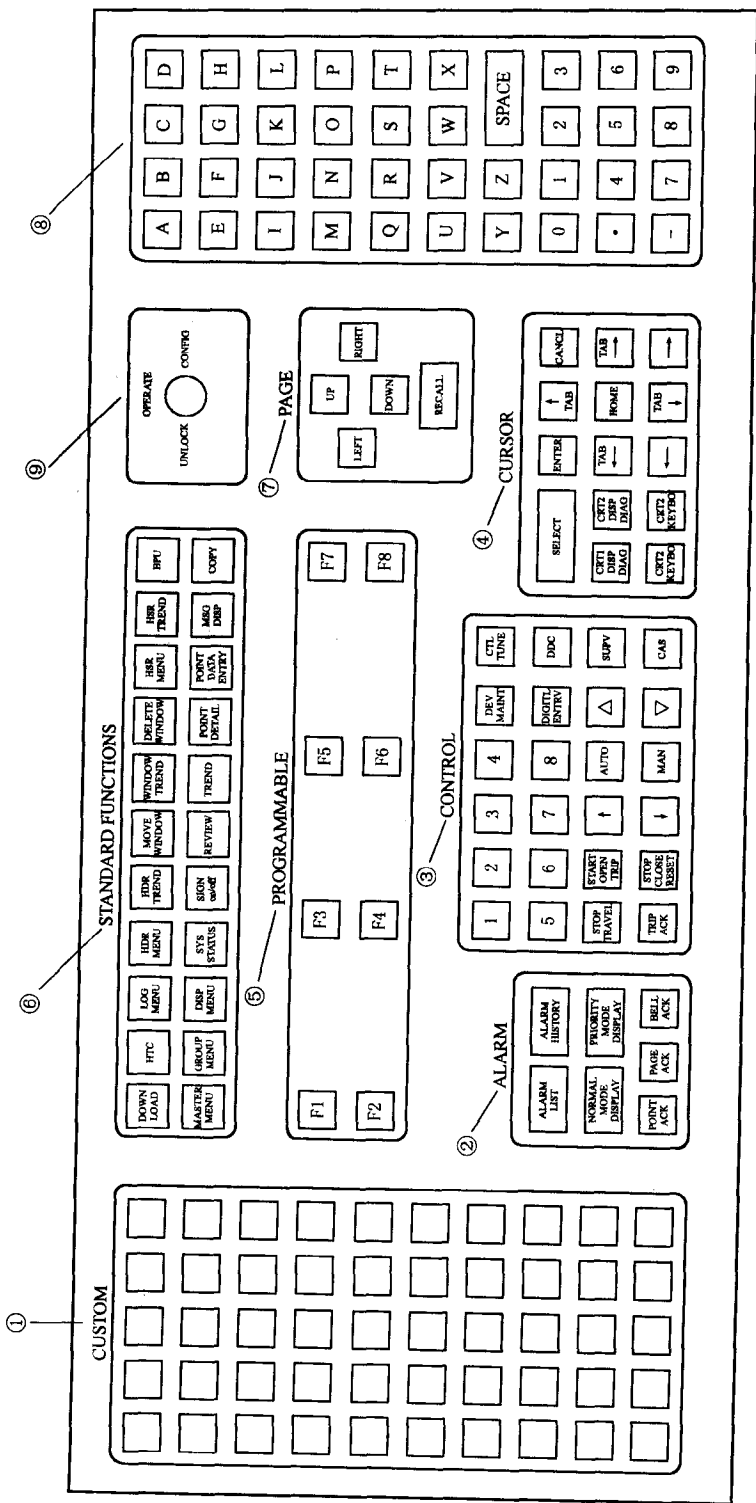


图 2-1 WDFP 键盘图