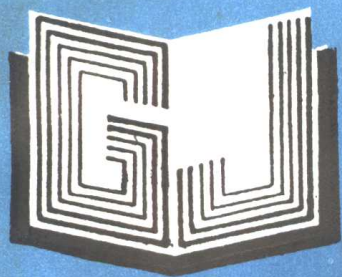


9832.03



高等学校教材



协调控制与给水全程控制

华北电力学院 刘吉臻 主编



高等学校教材

协调控制与给水全程控制

华北电力学院 刘吉臻 主编

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

本书介绍大型火力发电单元机组协调控制与给水全程控制系统的基本理论与工程应用技术。书中首先讨论了单元机组动态特性数学模型；对国内外主要采用的多种单元机组协调控制系统进行了原理性的归纳与分析；介绍了协调控制系统的解耦设计与多变量频域INA设计方法；较系统地对应用普遍的单元机组给水全程控制系统进行了介绍；结合具体工程实例，讨论了这两类系统的工程实现问题。书中也介绍了汽温及机炉负荷全程控制系统。

本书是为电厂热能动力类自动化专业本科生和研究生编写的一本选修课教材。亦适用于从事火电厂热工自动化专业的工程技术人员、以及其他生产过程自动化专业的技术人员参考。

高等学校教材 协调控制与给水全程控制

华北电力学院 刘吉臻 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地质矿产局印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 9.125印张 200千字

1995年11月第一版 1995年11月北京第一次印刷

印数 0001—2060册

ISBN7-120-02363-2/TK·344

定价7.30元

前 言

随着我国电力工业的迅速发展,大容量火力发电单元机组已成为电网中的骨干机组。为了保证单元机组的正常运行以及高度的安全性、经济性,对单元机组的自动化水平提出了更高的要求。在常规局部控制系统的基础上,大型单元机组协调控制系统与全程控制系统的应用已越来越普遍。同时,协调控制与全程控制理论和技术的研究也得到了不断的发展与完善,成为现代过程控制领域的重要内容。

“协调控制与给水全程控制”是为生产过程自动化专业和电厂集控运行专业大学高年级学生开设的一门选修课程。本书是按照“高等学校热能动力类专业教学委员会”审定的大纲,结合作者多年来教学与研究实践,并吸收了国内外本领域研究和应用的部分成果,进行提炼加工编写而成的。

全书共八章,分为协调控制和全程控制两个部分。第一章绪论,介绍有关基本概念;第二章讨论单元机组的动态特性。在简化机理分析的基础上,综合了国内部分研究的成果,给出了五种类型单元机组的数学模型。第三章按照直接和间接能量平衡的观点,分析了不同协调控制系统的构成原理;第四章介绍协调控制系统的工程实现问题;第五章论述协调控制系统的设计与综合;第六章讨论给水全程控制的特殊问题;第七章分析给水全程控制系统的构成原理与工程实现;第八章讨论过热汽温与机炉负荷全程控制系统。为配合教学,每章附有少量的思考题与习题。

全书由刘吉臻担任主编,并编写第一、二、三、五章;李遵基编写第四、六、七、八章;上海电力学院翁思义教授担任主审。

由于协调控制与全程控制系统是在实践的基础上逐步发展起来的,理论方面较系统地归纳总结的工作还不多,这正是本书编写的困难所在。在编写过程中,作者注重基本概念的提炼,基本方法、基本理论的归纳,并力求反映近年来新的进展。希望帮助读者能由浅入深,理论联系实际地掌握系统分析、设计、综合以及工程整定的基本方法。

本书在编写过程中张贻琛、唐明辉等同志提出了许多宝贵意见;还有许多同志给予了不少帮助,在此表示衷心的感谢。

由于篇幅所限,有些问题的叙述还不够全面和深入。限于作者水平,书中也会有不妥与错误之处,敬请读者提出批评指正。

编者

1993.6

24005/10

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 单元机组自动控制的特点与发展	1
第二节 单元机组协调控制的基本概念	2
一、协调控制的基本概念	2
二、单元机组协调控制系统概述	3
三、单元机组协调控制系统的特点	5
第三节 单元机组全程控制系统	6
一、全程控制的基本概念	6
二、单元机组全程控制系统的组成与特点	7
思考题与习题	8
第二章 单元机组动态特性	9
第一节 单元机组的运行方式	9
一、滑压运行方式	9
二、定压运行方式	10
三、联合运行方式	11
四、调频运行方式	11
第二节 单元机组动态特性数学模型分析	12
一、炉内燃烧与传热过程	14
二、管道传递过程	15
三、汽轮机作功过程	16
第三节 几种典型机组的动态特性数学模型	18
一、国产200MW中间再热燃油机组动态数学模型	18
二、国产200MW中间再热燃煤机组动态数学模型	18
三、国产125MW中间再热燃煤机组动态数学模型	19
四、国产300MW直流锅炉燃煤机组动态数学模型	19
五、国产300MW直流锅炉燃油机组动态数学模型	19
第四节 单元机组动态特性的特点	20
一、机炉动态特性的基本特征	20
二、汽包锅炉与直流锅炉机组动态特性的差异	21
三、控制系统对模型精度的要求	21
思考题与习题	22
第三章 单元机组协调控制系统的构成原理	23
第一节 概述	23
第二节 间接能量平衡(IEB)协调控制系统	24
一、补偿锅炉侧扰动的机跟炉协调系统	25
二、补偿汽机侧扰动的机跟炉协调系统	25
三、补偿锅炉侧扰动的炉跟机协调系统	26
四、补偿汽机侧扰动的炉跟机协调系统	27
五、实现双向补偿的炉跟机协调系统	28

六、实现双向补偿的机跟炉协调系统	28
七、实现双向串联补偿的协调系统	30
八、实现单向串联补偿的炉跟机协调系统	31
九、采用非线性补偿的协调控制系统	32
十、联合变压运行的协调控制系统	32
第三节 直接能量平衡(DEB)协调控制系统	34
一、以 $(P_i/P_r) \times P_{sp}$ 为能量平衡信号的协调系统	35
二、以 $P_i[1 + k(P_{sp} - P_r)]$ 为前馈信号的协调系统	37
三、取消主压力调节器的DEB协调控制系统	39
第四节 单元机组主控系统	40
一、负荷指令管理中心	40
二、机组局部故障处理逻辑	42
思考题与习题	45
第四章 单元机组协调控制系统的工程实现	46
第一节 概述	46
一、主设备概况	46
二、协调控制系统总体结构	47
第二节 实际负荷指令的形成	47
一、负荷指令处理	47
二、机组最大可能出力计算回路	48
三、负荷限制处理回路	48
第三节 机炉协调控制回路	49
一、锅炉主控制器回路	49
二、汽机主控制器回路	50
三、汽机同步器控制回路	52
第四节 控制方式切换逻辑	52
一、控制方式	52
二、方式切换逻辑	53
三、实际负荷指令形成逻辑	53
思考题与习题	56
第五章 单元机组协调控制系统设计与综合	57
第一节 概述	57
第二节 多变量系统的解耦设计	58
一、解耦网络的基本结构	58
二、解耦网络的简化	61
第三节 单元机组协调控制系统解耦设计	62
一、简化解耦设计方案分析	62
二、协调控制系统解耦设计举例	65
第四节 多变量系统的逆奈氏阵列法(INA)设计	68
一、对角优势的基本概念	68
二、对角优势系统的奈氏稳定判据	70
三、多变量系统的INA设计	72
四、INA设计示例	74
思考题与习题	78
第六章 给水全程控制的特殊问题	80
第一节 锅炉给水设备及管路连接	81

第二节 测量信号的自动校正	83
一、水位信号的压力校正	83
二、过热蒸汽流量信号的压力、温度校正	85
三、给水流量信号的温度校正	86
第三节 给水流量测量装置切换系统	87
第四节 大小给水调节阀门的切换	91
第五节 系统的无扰切换	92
第六节 给水泵安全特性要求	94
一、给水泵安全工作特性要求	94
二、给水泵安全特性计算	94
思考题与习题	98
第七章 给水全程控制系统分析	99
第一节 母管制给水全程控制系统	99
一、单冲量和三冲量系统切换原理	99
二、调节阀切换原理	101
三、单、三冲量系统无扰切换的跟踪技术	102
四、手动/自动无扰切换的跟踪技术	102
第二节 单元制给水全程控制系统方案分析	103
一、单元制给水全程控制的特点	103
二、单元制给水全程控制方案分析	104
第三节 两段调节给水全程控制系统	107
一、系统构成原理	108
二、调节系统的整定	112
第四节 一段调节给水全程控制系统	115
一、信号的测量	117
二、控制系统的跟踪与切换	118
三、调节阀与调速泵的运行方式	118
四、CP、CR操作器	120
五、多台执行机构自动切换问题	120
六、三冲量调节器比例带的变换	121
七、执行机构	121
八、保证调速泵工作在安全区的措施	121
第五节 给水全程控制系统的工程实现	122
一、系统及设备概况	122
二、系统原理说明	124
思考题与习题	126
第八章 过热汽温及机炉负荷全程控制系统	127
第一节 过热蒸汽温度全程控制系统	127
第二节 机炉负荷全程协调控制系统	128
一、汽机负荷控制系统的组成	128
二、锅炉负荷控制系统的组成	130
三、系统的运行方式	131
四、系统的运行操作	131
思考题与习题	136
参考文献	137

第一章 绪 论

随着科学技术的进步和电力工业的飞速发展，在燃用矿物燃料的大型发电厂中，普遍采用大容量、高参数、单元制机组。单元制机组是指由一台锅炉和一台汽轮发电机组构成的电力生产设备整体。在电网中作为相对独立的单元，具有运行调度灵活，热效率高，又便于电站设计和扩建等优点。

一台大容量单元机组的主辅机设备是十分复杂的。机组运行过程中需要监视和控制的项目和参数很多。特别是在机组启停以及故障处理中，需要监视和控制的项目，需要进行的操作步骤就更为繁多。稍有不慎，就可能造成严重的事故，带来巨大的损失。在正常运行过程中，对运行参数控制的好坏，也直接影响到机组的经济指标以及设备寿命。因而，现代大容量单元机组的安全经济运行，必须要有与之相适应的自动控制系统来保证。目前，单元机组的自动化系统与设备已成为与机、炉、电气主设备不可分割、同等重要的组成部分。

第一节 单元机组自动控制的 特点与发展

与其他工业生产过程相比，电力生产过程更加要求保持生产的连续性，高度的安全性和经济性。因此，保证机组安全经济运行是单元机组自动控制系统的首要任务。单元机组自动控制系统主要包括自动检测与监视系统、自动调节系统、程序控制系统、自动保护系统等等。自动检测与监视系统把反映运行工况的物理参数，比如温度、压力、流量、液位、转速、位移、成分等，以及反映设备运行状态的物理参数，比如设备运行/停止、刀闸接通/断开、阀门开启/关闭等进行检测，提供给运行操作人员，以便及时掌握机组的运行状况，作为操作控制的依据。同时，也作为自动控制系统进行自动操作的依据。自动调节系统也称为闭环控制系统。在机组运行过程中，持续不断地对主要运行参数进行调节，克服内部和外部各种扰动，维持各项运行参数在规定的范围内。程序控制系统也叫做顺序控制系统。某些生产设备需要依照既定的操作步骤和顺序进行一系列的操作，例如主辅机设备的顺序启停、燃料输送系统的程序控制、化学剂给水的制备与处理、炉膛与烟道的吹扫等，都可由顺序控制系统自动实现。为了确保设备的安全，在发生故障时能够自动地完成必要的操作，使故障及时消除或防止事故扩大，这就需要相应的自动保护系统。例如汽轮机保护系统、锅炉保护系统、继电保护系统等。

总之，单元机组自动控制的内容十分丰富。随着机组容量的增加，这些系统功能越来越完备，性能以及可靠性不断提高，为机组的安全经济运行提供了可靠的保证。

在现代大型单元机组自动控制领域，新理论、新技术、新设备不断被采用。特别是近

十几年以来,取得了突飞猛进的发展。其主要因素首先是微处理机技术的广泛应用。以微处理机为基础的新一代自动控制系统具有高性能、高可靠性的特征,为实现先进的单元机组自动控制系统提供了物质保证。其次,控制理论和技术的发展,为设计更先进、更合理的新一代单元机组自动控制系统提供了一系列理论和方法。比如多变量控制理论、最优化理论、大系统理论以及系统辨识、自适应与自整定控制、系统仿真等技术,在电力生产过程自动控制中已获得了许多应用。另外,大型单元机组从设计、制造、安装,就充分考虑到机组自动控制方面的需要,使机组可控性得到了不断改善和提高,为机组自动化水平的提高奠定了基础。

第二节 单元机组协调控制的 基 本 概 念

一、协调控制的基本概念

什么是协调控制呢?从大系统理论出发,协调控制是一种解决大系统控制问题的基本策略。所谓大系统可理解为由若干相互关联子系统组成的复杂系统。应用大系统理论处理这类庞大而复杂系统控制问题的基本方法就是分解-协调的方法。所谓分解是把大系统化为若干子系统,以便进行分块的处理与控制,求得各子系统的局部最优解;而协调则是从系统的全局出发,合理地调整各子系统之间的关系,求得各子系统之间的和谐与统一,进而得到整个大系统的最优解。

大系统中包含的各子系统之间,相互关联的结构有多种多样的形式。其中最为普遍的形式是一种递阶的结构。在这种递阶的结构中,各子系统处于不同级别的层次中,并具有不同的职能。电力、冶金、化工等复杂的工业生产过程都属于这种递阶结构系统。很多社会系统、经济系统、管理系统,也是这种递阶控制系统结构,也称之为多级控制系统。

一种典型的递阶控制系统结构框图如图1-1所示。图中给出的是一个三级递阶系统(也可以分为二级或多级)。处于不同级别上的子系统分别为局部控制级、协调级和上位协调级。如果把整个系统看作一个从事生产和经营活动的总公司,那么处于上位协调级的协调控制器职能,就如同总公司董事会的董事长;在其之下协调级的协调控制器就相当于各子公司的总裁;处于局部控制级的局部控制器则相当于各部门的经理。由此就不难理解各控制级相应的职能以及协调控制的含意。

协调控制级上的协调控制器要对下一级中的若干个控制器进行协调。协调的过程是一个多目标决策的过程,也是一个全局优化的过程。但是协调并不等同于最优化,而是比最优化更为复杂的一个理论问题。迄今为止还没有形成一种完善的协调理论。其主要困难在于人们对很多复杂受控系统相互关联还认识不足,也缺乏行之有效的协调方法和技术,甚至还很难衡量一个系统“协调”的程度。然而,协调控制的基本思想已广为人们所接受,许多合理的协调控制策略已成功地用于工程实际,并且在解决复杂大系统控制问题方面取得显著成效。针对具体受控系统特点和控制指标要求,选择相应的协调方式,往往是最为

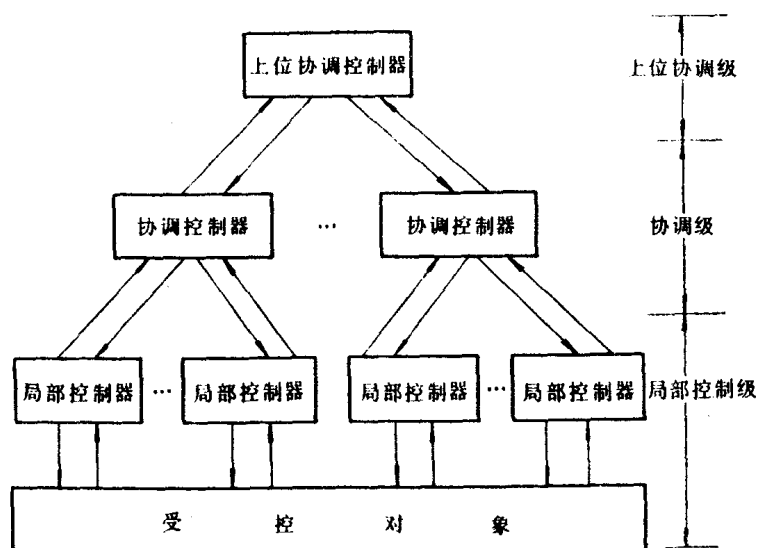


图 1-1 递阶控制系统结构框图

行之有效的方法。

二、单元机组协调控制系统概述

单元机组协调控制系统是在常规机炉局部控制系统基础上发展起来的新型控制系统。常规的机炉控制系统由一系列相对独立的局部控制回路组成，结构比较简单，功能比较单一，适应机组不同运行方式和工况的能力也比较差。单元机组协调控制系统把锅炉和汽轮发电机组作为一个整体进行控制，采用了递阶控制系统结构，把自动调节、逻辑控制、联锁保护等功能有机地结合在一起，构成一种具有多种控制功能，满足不同运行方式和不同工况下控制要求的综合控制系统。单元机组协调控制系统的设计充分利用了机炉对象特性方面的特点，采用了前馈、补偿、多变量解耦等控制策略，使控制系统具有合理、可靠、易于维护调整等优点。建立在现代控制理论和方法基础上的单元机组协调控制系统也处于研究和发展之中。

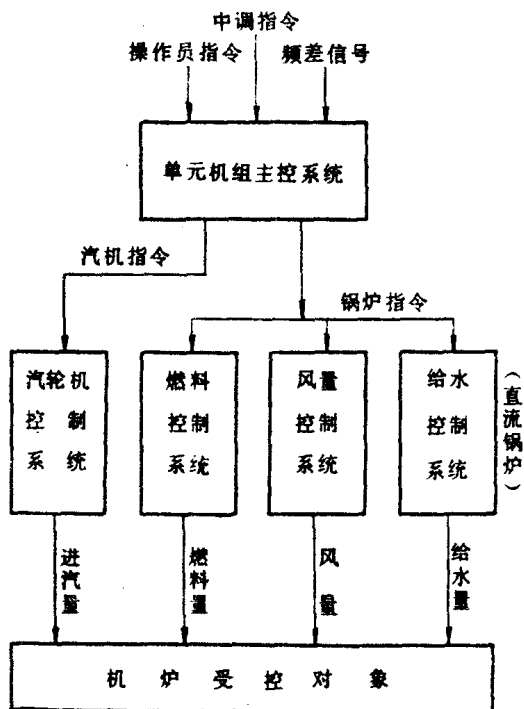


图 1-2 单元机组协调控制系统框图

温控制系统、汽包锅炉的给水控制系统以及许多辅机控制系统,本书将不作更多讨论。

单元机组协调控制系统可认为是一种二级递阶控制系统。处于上位级的机炉协调级,也叫作单元机组主控系统,是整个系统的核心部分。处于局部控制级的子系统包括锅炉燃料控制系统、风量控制系统,汽轮机功率/频率调节系统,以及直流锅炉的给水控制系统。单元机组主控系统产生指挥机炉控制器动作的锅炉指令和汽机指令。局部控制级的控制器执行主控系统发出的指令,完成指定的控制任务。

随着电网运行自动化水平的提高,实现整个电网自动调度与管理已势在必行。以单元机组协调控制系统为基础,构成整个电网级的协调控制和优化管理系统,已成为电力生产自动化的发展趋势。

对单元机组协调控制系统的基本要求有以下几个方面。

(1) 机组并网运行时,应使机组满足电网对机组负荷的需求,并具有较高的负荷适应能力。同时,机组本身的运行参数必须保持在允许的范围内。系统应具有足够的稳定裕量和克服内部扰动的能力。在调节过程中,各调节机构的动作不应过分频繁,不致出现过调。

(2) 保证机组运行安全。当主机或主要辅助设备故障时,应自动采取相应的措施,把故障限制在最小的范围之内,保证设备安全的前提下,不致使机组全停。负荷变更时,变更幅度和速度必须限制在安全允许的范围内。

(3) 对于允许滑压运行的单元机组,其协调控制系统应能满足定压和滑压不同运行方式的需要。

(4) 系统要方便于运行人员的干预,如进行运行方式的切换,进行手动操作等。

以上要求主要由单元机组主控系统的功能来实现。单元机组协调控制主控系统可分为两大部分,如图1-3所示。其中,负荷指令管理中心的结构如图1-4所示。

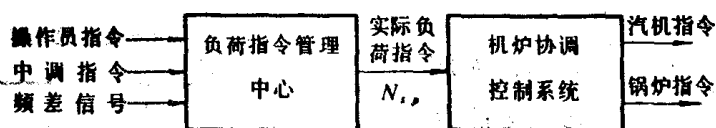


图 1-3 单元机组主控系统结构框图

在不同的协调控制系统中,负荷指令管理中心的结构和具体处理方式有一定的差异。然而其基本出发点是考虑对机组输出功率要求和机组实际可能出力两方面的因素,而且二者只能取小值。同时又要考虑到负荷变化速率的限制。还可能存在一些原因不明确的因素影响到机组的功率输出,这些因素可以间接地通过燃烧率偏差等参数反映出来。最后还要限定其最小和最大负荷的范围,形成实际负荷指令 N_{sp} (实际输出功率给定值)。

机炉协调控制系统接收负荷指令管理中心给出的实际负荷指令 N_{sp} , 按规定的控制规律进行运算,发出锅炉负荷指令 B (燃烧率指令)和汽机负荷指令 μ (主蒸汽阀门开度),送给锅炉和汽机局部控制回路执行。

单元机组主控系统中的负荷指令管理中心和机炉协调控制器有多种实现形式,也不一

定明确分为两个部分。为了讨论问题方便，将这两个部分分别进行讨论。至于执行锅炉指令和汽机指令的局部控制回路，可归入广义的受控对象之中。由此，单元机组协调控制系统的原理框图可简化为图1-5所示的形式。

图1-5所示的机炉协调控制系统为一个双输入、双输出的反馈控制系统。其中，机组输出功率 N 和汽轮机机前压力 P_T 作为两个被调参数，控制量分别为锅炉负荷指令 B 和汽机负荷指令 μ 。对机炉协调控制器的设计与综合将是本书讨论的重点内容。

三、单元机组协调控制系统的特点

单元机组协调控制系统是在常规机炉控制系统基础上发展起来的。特别是随着新型自动化仪表系统和设备的应用，使协调控制系统得到不断的改进与完善。其主要特点包括以下几个方面。

(1) 系统结构先进。采用了递阶控制结构，在局部控制级的基础上引入了机炉协调级，把锅炉、汽轮发电机组作为一个整体进行控制。机炉协调控制器是一个多变量控制器。控制器设计主要采用了前馈、反馈、补偿以及变结构控制等技术，并充分地利用了机炉动态特性方面的特点，克服系统内部耦合和非线性特性，获得优良的控制品质。同时，又保留了控制器结构简单，易于工程实现和参数整定，便于操作、维护等优点。并能直接接收电网自动调度系统指令，为实现电网级自动调度和协调控制奠定了基础。

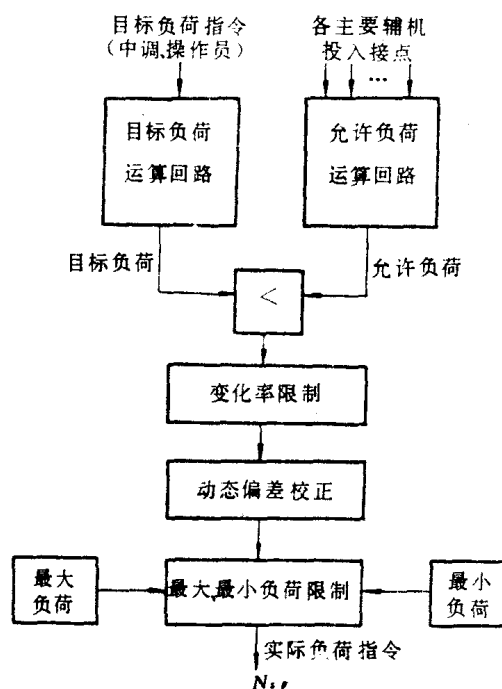


图 1-4 负荷指令管理中心结构框图

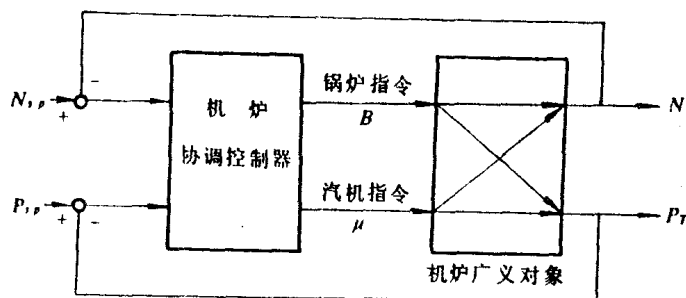


图 1-5 单元机组协调控制系统简化框图

(2) 系统功能完善。除了在正常工况下的连续调节功能之外，系统还设计有一整套逻辑控制系统。包括实际功率给定逻辑，局部故障处理逻辑，运行方式切换逻辑，以及显示报警、监督管理等功能。系统可根据实际需要和设备状况，选择不同的运行方式，比如机跟炉、炉跟机、机炉协调方式；定压运行或滑压运行方式；固定功率输出或可调功率方

式：调频或非调频方式等。适应不同运行工况对控制功能的要求。

(3) 系统可靠性高。通过设置安全保护系统和采取一系列可靠性措施,可获得很高的系统可靠性。比如,当主机或辅机设备故障时,可自动改变控制方式,对实际功率指令的幅值和变化速率进行改变,并通过相应的联锁保护,报警显示等措施,保证机组在安全范围内运行,并维持最佳的工况。

综上所述,单元机组协调控制系统已成为大型单元机组普遍采用的一种控制系统。该系统把自动调节、逻辑控制、安全保护、监督管理融为一体,具有功能完善,技术先进,可靠性高等优点,满足大型单元机组控制的需要。

需要指出,目前广泛应用的单元机组协调控制系统中,控制规律仍属于经典控制规律的范畴。系统分析设计与综合的方法多采用多变量频域法和常规的工程方法。近年来,现代时域的和频域的控制理论方法在单元机组协调控制系统的设计综合方面,已有不少研究成果,并越来越多地应用于解决工程实际问题。

第三节 单元机组全程控制系统

一、全程控制的基本概念

什么是全程控制呢?全程控制是指对受控过程和系统从启动、运行到停止的全过程实现自动控制。因而,全程控制包括启停控制和正常运行工况下的控制两方面的内容。一般地,常规系统的设计与综合是依据额定工况下受控对象特性进行的。在设备启动、停止以及不同的运行工况下,受控对象特性有着很大的差异,因而是本质非线性和时变的。常规控制系统针对额定工况,近似地作为线性系统进行设计综合。当系统工况严重偏离额定点时,这样的控制系统就难以运行。另外,许多系统在启停过程或不同运行方式下,对控制指标要求也有很大差异。通常意义下的自动控制系统只能在一定条件下和特定工况下才能投入运行。

随着人们对自动化水平要求的不断提高,要求实现更为先进,适用范围更宽、功能更为完备的自动控制系统。这种系统应能够在不同运行工况和运行方式下,维持受控过程自动运行,有效地克服受控对象特性的非线性和时变性,使各被控参数保持在允许的范围内。这就需要实现系统的全程自动控制。

实现全程控制的策略有许多种,其中常被采用的包括:

(1) 变结构控制。控制系统结构能够根据生产工艺流程或运行工况的改变而改变,以适应不同工况条件下对控制的要求,构成全程自动控制。例如,锅炉给水全程控制系统中,随负荷的变化可由单冲量控制方式切换为三冲量控制方式。与此同时,给水泵的运行方式以及控制作用方式也进行相应的逻辑切换,保证给水全程自动控制的实现。控制器结构的改变也常常通过非线性环节加以实现,还可以按照特定的条件,通过逻辑控制回路进行切换。

(2) 变参数控制。为了在受控对象特性改变的情况下保持良好的控制品质,就应当对控制器参数进行再整定。一种能够自动修正控制器参数的技术是自整定技术(auto-tuning)。

具有自整定功能的自整定控制器可以对控制器参数在线自整定。在受控对象特性变化的一定范围内,通过自整定使控制品质在一定意义上保持最佳。一种比较简便的变参数控制方法是通过函数发生器修正某些控制器参数,或者事先设置好若干组控制器参数,根据运行工况的变化,对不同的控制器参数进行切换。

(3) 自适应控制。自适应控制是近年来研究和应用十分活跃的新型控制技术。自适应控制器能够依据受控过程动态特性的变化以及扰动特性的变化,修正控制器本身的特性。因而,对于解决具有时变和非线性特性受控过程的控制问题十分有效。虽然自适应控制器在工业过程控制中的应用目前还不很普遍,然而,基于不同理论和方法的自适应控制器已形成产品并进入市场,其应用前景十分广阔。

除此之外,还有许多新的控制策略和方法,对于解决非线性、时变性控制问题也十分有效。比如智能控制、模糊控制等。这些新型控制方法的研究与应用,对于实现新型的全程控制将具有重要的意义。

二、单元机组全程控制系统的组成与特点

单元机组的运行大致可分为以下六个阶段:①锅炉点火,升温升压;②汽机冲转,开始带负荷;③带小负荷运行;④带大负荷运行;⑤降到小负荷运行;⑥锅炉停火,冷却降温降压。

以上六个阶段包括了启动、停机和不同负荷运行多种工况。常规控制系统一般地只适用于机组带大负荷工况下运行。在启停过程和低负荷工况下,一般要由手动进行控制。单元机组全程控制系统应能使机组在上述不同运行工况下自动运行。

单元机组全程控制系统由机炉全程控制子系统组成。主要包括锅炉给水全程控制系统,主蒸汽温度全程控制系统,机炉全程协调控制系统等。其中,给水全程控制系统的应用最为广泛。汽温全程控制系统的实现也越来越普遍。在某些先进的现代化火力发电厂,机炉协调控制系统的功能已十分完善,可以使整个机组从启动到停机的整个过程实现自动运行。

单元机组全程控制系统多采用变结构控制方式。随着机组运行工况的变化和负荷的水平,采用不同的控制系统结构形式。为使整个控制过程平稳,就必须很好地解决控制系统结构改变时的无扰切换问题。另外,为了保证在参数大范围变动的条件下,测量信号精度满足控制系统要求,对信号检测技术也提出了新的要求。例如,给水流量在大范围内的测量,必须采用不同的流量测量孔板。蒸汽压力和温度的大范围变化,也会对汽包水位、给水流量、蒸汽流量的测量产生严重影响,必须进行必要的补偿、修正,或设置不同的测量装置。可见,全程自动检测是实现全程控制的重要基础。全程控制系统的实现还必须与之相应的系统主设备,例如,给水泵的配置,调节方式和调节余地是否满足给水全程控制的要求。机组所具备的运行方式,比如滑压运行方式等,也直接影响到全程控制的实现。

总之,单元机组全程控制是一种理想的控制方式。全程控制系统的实现不仅仅取决于控制系统设备本身,与过程信号检测,主设备可控性,机组所具备的运行方式等因素密切相关,是一项涉及面很广的综合性工作。本书主要对应用比较成熟的给水全程控制系统进行介绍。

思考题与习题

1. 单元机组协调控制系统主要由哪几部分组成？
2. 为什么说单元机组协调控制系统把机炉作为一个整体进行控制？
3. 对单元机组控制的基本要求是什么？
4. 实现全程控制应具备哪些基本条件？
5. 为什么说全程控制是一种理想的控制方式？

第二章 单元机组动态特性

控制系统设计、分析与综合的基础是建立受控过程动态特性数学模型，建立受控过程动态特性数学模型的过程称之为建模。依据受控过程数学模型，应用控制理论方法，通过分析计算以及计算机仿真等手段，对控制系统进行综合的方法，称之为模型化分析法。模型化分析法是现代控制工程领域普遍采用的最为有效的方法。

单元机组协调控制系统把机炉设备作为一个整体进行控制，受控过程是十分复杂的。影响机组动态特性的因素除了其内在物理结构属性外，还与机组的运行方式、运行工况、外部环境等因素有关。一般说来，单元机组的动态特性是本质非线的，并具有分布参数和时变特性。对单元机组动态特性的精确描述目前还难以做到。只有通过合理的简化与近似处理，采用机理分析（理论建模）或试验的方法（系统辨识），能够建立起满足一定精度要求的动态特性数学模型。在特定运行方式和额定工况下，小扰动范围内可作为线性系统处理。在特定条件下建立的模型，通过合理的修正后，可供其它工况条件下参考和使用。总之，建模的过程是对受控对象内在特性进行了解掌握的过程，是一项十分艰苦而仔细的基础性工作。

单元机组可以按照若干不同的运行方式运行。不同运行方式下，受控过程的动态特性往往差别很大。因而，无论是建模还是进行控制系统分析设计，都不应当忽视特定的运行方式。本章首先介绍单元机组的几种典型运行方式，然后，对机炉动态特性进行简要的分析。

第一节 单元机组的运行方式

单元机组的运行方式有定压运行和滑压运行两种。定压运行是指无论机组负荷怎样变动，始终维持主蒸汽压力以及主蒸汽温度为额定值，通过改变汽轮机调节汽门的开度，改变机组的输出功率。滑压运行则是始终保持汽轮机调节汽门全开，在维持主蒸汽温度恒定的同时，通过改变主蒸汽压力改变机组的输出功率。

一、滑压运行方式

采用滑压运行方式和滑参数启停是单元机组具有的特点之一。母管制连接的机组只能采用额定蒸汽参数下的定压运行方式。单元机组在滑压运行方式下，保持主汽门和调节汽门全开。外界负荷需求变化时，通过调节锅炉的燃料、风量、给水以及相应的输入量，改变锅炉的蒸发量，进而改变汽轮机的进汽压力，在维持汽温为额定值的前提下，使进入汽轮机蒸汽的能量改变，使汽轮发电机组的输出功率适应外界负荷的需求。

由于锅炉设备内部具有很大的蓄热能力，热惯性也很大。当外界负荷需求变化时，虽然改变了锅炉的能量输入，但直到锅炉输出蒸汽能量的变化，还要经过一段滞后时间和惯性过程。这就会使得滑压运行方式下，机组难以快速地响应外界负荷的需求。另外，如果

使汽轮机调节汽门总是处于全开位置,当电网频率波动时,机组就不可能通过调节进汽量,参与电网的一次调频。为了弥补滑压运行存在的上述缺点,采取的办法是不使汽轮机调节汽门处于全开的位置,而是留出一定的调节余地。当外界负荷需求变更时,首先通过调整汽轮机调节汽门的开度,改变进汽量,利用锅炉内部的蓄热能量,较快地适应外界负荷的需求。与此同时,调整进入锅炉的输入量,使燃烧率改变,与外界负荷需求达到新的平衡。调节汽门的调节余地也为机组参与电网一次调频创造了条件。

需要指出,通过改变汽轮机调节汽门使负荷变更的范围是十分有限的,这主要是受到锅炉蓄热容量的限制。适应外界负荷需求的根本因素要靠锅炉负荷的变化,使整个机组的能量输入与输出相平衡。

滑压运行方式具有以下主要特点:

(1) 汽轮机调节汽门保持近似全开将会使进汽节流损失降低。负荷越低,节流损失的降低越明显。另外,汽轮机的级效率也要比定压运行时高。例如某机组在50%负荷下,滑压运行级效率比定压运行时要高出15%左右。

(2) 在部分负荷下,主蒸汽和再热蒸汽的压力降低,容易保持蒸汽温度不变。可获得较高的循环效率。

(3) 部分负荷下给水泵的功耗比定压运行时减小。因为滑压运行时给水压力与机组负荷成正比,在相同的机组部分负荷条件下,给水泵出口压力比定压运行时要低得多。例如,某机组在50%负荷下,滑压运行时给水泵的功耗仅相当于定压运行时的55%。

(4) 调峰停机后再启动快,降低了启动损耗。这是因为在低负荷下汽轮机的金属温度基本不变。若在机组最低负荷下打闸停机,可以在较高的金属温度下停机热备用。如重新热态启动,将大大缩短再启动时间,使启动损耗相应地降低。例如,一台600MW机组滑压停机8小时以后再启动,从锅炉点火到带额定负荷仅需35分钟。使机组的灵活调度能力大为增强。

(5) 负荷越低,滑压运行的经济性越显著。其主要原因是在低负荷下滑压运行的调节阀节流损失比定压运行低得多。而在额定负荷下滑压运行的经济效益则不明显。因此,大容量单元机组参加电网调峰运行时,采用滑压运行方式是极为有利的。例如,某台亚临界机组在负荷为50%工况下,采用滑压运行时的热效率比定压运行时相对提高10%,净增3%~4%。

二、定压运行方式

定压运行方式的基本特征是机组负荷在任何稳定工况下,均保持主蒸汽压力和温度为额定值。定压运行机组的运行方式有机跟炉、炉跟机和机炉协调方式三种。需要强调指出的是,使汽轮机调节汽门具有一定调节余量的滑压运行方式已不是单纯的滑压运行,也可分为机跟炉、炉跟机和机炉协调方式。

(1) 机跟炉方式。外界负荷需求变化时,首先改变锅炉负荷。当主蒸汽压力产生额定值偏差时,调整汽轮机调节汽门开度,维持汽轮机机前压力恒定。这种方式简单地称为锅炉保持负荷、汽机保持压力的方式,也称为锅炉基本、汽机跟随方式。该运行方式下,机组对外界负荷响应较慢,但主蒸汽压力稳定性好。