



电力成人中专教材

热工测量及自动装置

朱用湖 主编

中国电力出版社

TK3
Z892

电力成人中专教材

热工测量及自动装置

朱用湖 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国电力出版社

内 容 提 要

全书系统地阐述了自动控制原理,热工测量仪表、自动控制设备、自动控制系统和热工保护装置的组成结构、作用原理,深入解剖了电厂典型生产过程控制系统实例,力图从整个生产过程的特点出发,对控制系统进行综合分析和优选,在此基础上还介绍了两种比较成熟的程序控制方案,并力求反映近年来过程控制的新发展。

本书内容翔实,由浅入深,循序渐进,可作为成人中专热动安装检修类专业和有关专业的教材,对有关专业科技人员和开发人员也有较好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

热工测量及自动装置/朱用湖主编. -北京:中国电力出版社,
2000

电力成人中专教材

ISBN 7-5083-0409-8

I. 热… II. 朱… III. ①热工测量-成人教育:专业教育-教材②热力工程-自动控制-控制系统-成人教育:专业教育-教材
IV. TK31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 42473 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>)

梨园印刷厂印刷

*

2000 年 10 月第一版 2000 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 312 千字 1 插图

印数 0001—3000 册 定价 24.00 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)

前 言

为适应电力系统函授中等专业教育的发展，我们在修订电力成人中等专业学校函授教学计划和教学大纲的基础上，组织编写了中专函授教材，以适应教学的需要。

新编的函授教材，吸收了近几年来教学改革成果和经验，立足于调整课程结构，更新教学内容，提高教育质量。因此，在内容的深度和广度上，努力贯彻“少而精”和“理论联系实际”的原则，既注重了基础知识和基本技能，更重视知识的综合运用及知识与能力的转化，使教材更加贴近实际，贴近应用；在文字的叙述上，力求简明、精当、通俗，便于自学，易于理解；在编排形式上，将课程内容与学习指导融为一体，使之具有函授教材的鲜明特色。

针对函授学习的特点，教材在结构上力求做到突出重点，讲清概念，着重培养科学的思维方法和分析解决问题的能力。同时，教材注重于对学习思路和自学方法的指导。全书的开始增加了本课程函授学习的说明、学时分配和教学进程的建议；在每个学习阶段前后，编写了内容提要和学习指导，旨在对所学内容提出要求，对学习思路加以点拨，对重点难点进行解析和指津，使学生不再被动地在茫茫的教材中苦苦追求，而是引导学生看清知识的经纬，有目的地去探求，去思考、分析、比较、归纳和总结。此外，结合函授学习的间歇性，按学习阶段配置了测验作业，以达到边学边练的目的。从而帮助学生理清头绪，加深理解，开拓思路，巩固概念，真正将自学的钥匙送到学生手中。

函授中等专业教育起步较晚，教学改革有待深入，对函授教材应该怎样编写，教与学两方面有哪些要求，我们虽然作了一些调查研究，但是由于缺乏足够的感性认识，加上时间短促，书中难免有缺点或错误，恳请使用本书的读者提出宝贵意见。

中国电力企业联合会教育培训部

一九九七年十月

46E 02/01

电力成人中专教材编审委员会

顾 问 李宝祺

主 任 徐玉华

副主任 冯良芳 李小白 刘 新 徐建华 潘劲松

委 员 王大平 石 玲 田金玉 冯良芳 曲福根

李小白 李宝祺 李启涛 柏吉宽 李保朝

李泽榕 吴 忠 林 东 张 鹏 杜丽川

金忠贤 熊维荣 徐 林 徐玉华 徐建华

贺相巍 高广勤 贾长坤 晏成新 陶 明

程葆忠 黄杭生 潘劲松

秘书长 金忠贤（兼）

编 者 的 话

本书是根据中国电力企业联合会办[1999]25号文《1999~2000年电力成人中专教材建设规划》和新颁电力成人中等学校《热工测量及自动装置》课程教学大纲的要求编写的。

本教材的内容包含了“热工测量及仪表”、“自动控制原理”、“自动控制设备”、“自动控制系统”和“开关量控制”等。为满足热动安装与检修类专业学生对相关知识的需求,我们遵循电力成人中等专业学校教材编写的原则意见,使本教材高度浓缩,力求做到叙述正确、简练、通俗易懂。选材注重实用性。在理论叙述的同时,注重实践指导。文中既有合理的知识结构,又突出学生基本技能的培养,是一部理论与实践并重,二者有机结合,具有较好的科学性和先进性的教材。

为适应成人教育的特点,每章前介绍了该章的内容提要 and 教学要求每章后均有自学指导,每篇内容的后面还附有单元测验题,便于学生自学和高效率地掌握该课程的内容。另外,教材的每一篇构成模块结构,便于热力设备安装与检修及运行工作者,中等专业学校相关专业的师生灵活选用阅读。

全书共分三篇16章。由江西省电力职工中专学校谷冰冰编写第1章至第7章,热工测量仪表单元实验(动圈式温度指示仪表的检验与调整),热工测量仪表单元测验题;江西省电力职工中专学校朱用湖编写本课程的目的、任务和函授教学方法的一般指导,绪论,第8章至第16章,自动装置单元实验(单回路控制系统),自动装置单元测验题,热工保护与程控单元测验题。全书由朱用湖高级讲师主编,山东省电力职工中专学校侯林军高级讲师主审。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2000年6月

本课程的目的、任务和函授教学方法的一般指导

一、本课程的目的和任务

“热工测量及自动装置”是成人中等专业学校热动安装检修类专业的一门技术专业课，它在电厂自动化技术教育中占有极其重要的地位。

学习本课程的目的和任务：在了解动力设备的基础上，使读者掌握热工测量仪表、自动化装置的基本知识和基本概念，掌握热工测量知识和自动控制、程序控制、联动控制、热工保护知识；了解这些知识、理论和技能在工程上的应用，对自动化技术中一些共同性控制现象和控制过程，能应用“测”和“控”的观点进行初步分析，对一些较简单的问题能进行计算，并着重培养分析和解决实际问题的能力，为走上工作岗位打下坚实、良好的基础。

二、本教材内容和课程体系

《热工测量及自动装置》教材的内容分五大部分，即热工测量仪表；自动控制原理；自动控制设备；自动控制系统；开关量控制系统。其中热工测量仪表、自动控制系统、开关量控制系统是本教材的主要内容，包括了“测”（测量和显示）的部分和“控”（系统与保护）的部分，而自动控制系统和开关量控制系统是本部分的重点。在这两部分重点中，机炉的热工控制和保护又是本课程中的重点内容。

从课程内容的特点看，“热工测量及自动装置”是一门理论性、实践性较强，概念较多，与动力设备联系较紧密的课程。从内容结构上看，“测”（测量与显示）的内容和“控”（系统与保护）的内容是热工仪表及自动化不可缺少的基本知识，而且“测”和“控”可以看作是研究热工对象和热工工艺参数的两种不同的路径。前者对热工参数进行检测，从中获得热力系统是否正常运行的信息；后者则是从控制的基本规律出发，研究热工参数在干扰信号作用下偏离规定值后，如何能稳、准、快地自动达到规定值的方法。

本教材贯穿了以热工测量仪表、自动控制原理为基础，以自动控制系统、自动保护系统和连锁控制系统为核心的教学体系，检测、控制的基本概念、基本原理和基本分析计算方法是通过对现场实际系统进行阐述的。热工测量仪表、自动控制原理的基本概念，基本定理、定律是最基础的内容，必须深刻理解，并通过复习思考题熟练地掌握，达到运用自如的程度。在此基础上，用拉普拉斯（laplace）变换法，分析、计算控制器的控制规律（PID规律），论述自动控制、自动保护、连锁控制和程序控制系统的组成、工作原理及特点，这部分内容丰富广泛，具有一定的深度，并涉及动力设备、热力过程，学起来显得有些繁杂，但其工作原理、方案的设计却有内在的联系，所以并不难掌握。如果说，热工测量仪表是自动控制的基础内容，这不仅是因为电厂广泛地使用热工测量仪表测量热工参数，更重要

一点是,热工测量仪表采集的热工信息供专业人员研究和运行人员观察、了解机炉的运行情况。本教材对这些典型热工控制系统和热工保护系统的研究,扩充了热工自动化的应用领域,为我们走进自动化世界打下坚实良好的基础。

三、函授教学形式与本课程教学活动

函授教学有它独特的形式,就是面授、辅导答疑与自学相结合,且以自学为主。

函授教学过程是分散自学和集中面授交叉进行的。在这个过程中,采取阶段教学方式,安排自学、作业、面授、辅导答疑、实验、考试等六个教学环节。按照教学计划,“热工测量及自动装置”课程学习一个学期。在一学期中应完成各教学环节,期末应安排复习和考试。函授生在分散自学和集中面授期间应完成以下所规定的教学活动。

(一) 自学期间

在此期间,函授生应完成阅读教材和作业(包括阶段测验作业)两个教学环节。

1. 阅读教材

阅读教材是自学的基本形式,是函授生获取知识的重要途径,是函授教学的主要环节。阅读教材前应首先了解本章的教学目的、基本要求和学时安排,按照自学计划(自学周历表)依次学习每一节内容。

自学应在教师的指导下进行,做到持之以恒,循序渐进,并注意自学方法,讲究自学效果。

阅读教材的方法一般应先粗读再细读后精读。粗读时,不必过分拘泥于局部的繁复细节和数学推演,而应侧重于对内容有一轮廓性的认识。对难点和不清楚的地方,应作出必要的标记,在学习目标上达到了解的程度。在细读时,要仔细学习教材内容,并注意章末的自学指导,初步搞清基本概念、基本原理和分析计算方法,对教学内容达到“懂”或“理解”的程度。在细读教材的同时,建议作简要的笔记。笔记内容可以是:①本节要解决的问题;②分析和解决问题的思路;③结论;④未弄清楚的概念和问题等。通过养成做阅读笔记的习惯,来提高自学效果和独立钻研的能力。

在细读教材的基础上力求精读。精读教材要由表及里,由浅入深,抓住重点,突破难点,弄清基本概念和基本原理,分析公式中各物理量之间的关系及其物理意义,正确掌握基本定律及其适用范围,能应用定律、原理分析实际问题,达到掌握和应用的程度。

学习的目的是为了应用,对一些重要的基础知识仅仅理解是不够的,因为理解而不记,无法应用,还是等于不知;对知识没有理解而死记硬背,将不知如何应用这些知识。因此对知识的掌握,“记”和“理解”缺一不可。就是说理解后必记,而记必须理解,是在理解的基础上的记。如何理解和记忆“热工测量及自动装置”课程中的一些基本概念、系统的构成和原理呢?可以从问题的本质入手,抓住要领,联系实际。比如:

(1) 理解和记忆基本概念:①概念是从什么物理现象引入的;②为什么要引入这个概念;③确定这个物理量的基本方法。

(2) 理解和记忆定理、性质:①公式中每个符号所代表的物理量及其物理意义;②定理或公式应用条件;③定理应用的基本方法。

2. 作业

作业是巩固所学知识,并将知识转化为能力的教学活动,是函授教学过程中的又一重要环节。为了加深对教材内容的理解,函授生要完成规定的必做习题。在初步掌握了全章内容之后,还要独立解答该章的复习思考题。解题时,函授生可以参考教材中对典型例题的分析和思路,并遵循以下规则:

(1) 搞清题意,分清题中的已知量和待求的未知量。

(2) 根据问题的要求,决定解题的途径,提出所依据的定理、性质,并写出其数学关系式。

(3) 运算时应先采用符号代替各物理量,求出最后关系式,再代入数字,算出结果,并注出单位。如所求的是一个无量纲的量,则应注意符号的书写。

(4) 解题必须简明整洁,既要有简要的叙述分析,又要注意正确的演算。同时解题时不要把注意力仅仅集中在计算答案上,而要把思路重点放在解题方法的理论依据和物理意义方面。

完成了必做习题以后,函授生应按自学周历表规定的日期交老师批阅。对解题中的疑难问题,应及时向函授教师提出,请求解答。

在完成规定必做题的同时,函授生还应按学习阶段独立完成测验作业。测验作业是函授生阶段学习的自我检查和总结,也是考核平时学习的手段。独立完成测验作业题,有助于函授生检查哪些内容已经掌握,哪些内容还存在问题,及时发现学习中的薄弱环节。同时也有助于教师了解函授生的学习情况,帮助解决学习中存在的问题和困难。

(二) 面授期间

在这一期间,函授生应参加以下四个集中教学活动。

1. 听面授讲课

面授讲课是辅助自学所必需的教学形式,是函授教学的重要环节。根据讲课时间的次序和不同的教学组织模式,可分为指导性面授课和总结性面授课。指导性面授课一般安排在函授生自学教材之前。面授时要结合教材的重点内容进行讲解,对难点内容进行剖析,指出本阶段自学教材的主要章节内容、学习时间的安排等,以引导函授生掌握正确的自学方法,弄清教材的脉络,明确学习的要求。

总结性面授课一般安排在函授生阅读教材之后。这种自学基础上的面授,通常以综合性的讲解方式为主,围绕教材重点,以问题为中心,即提出问题、分析问题和解决问题,从而将教学内容归纳和引深,使函授生所学知识系统化、条理化。

2. 辅导答疑

辅导答疑是对函授生进行解难析疑的教学形式,是函授教学的必要环节。辅导答疑的内容,由教师根据函授生的基础不同或自学中碰到的困难而提出的问题进行讲解;也可以由教师从作业中归纳出来的带有共同性问题和普遍较为困难的问题进行解答。辅导答疑的形式可采用个别、分散或集中相结合的方式,也可采用补充讲课或讨论问题的方式来进行。但无论采取何种形式,辅导答疑应注意针对性、灵活性和时效性。

3. 实验

实验是巩固验证所学知识、训练实验技能的教学活动,是教学过程中的实践性环节。由

于“热工测量及自动装置”是一门实践性很强的课程，因此实验在本课程中占有很重要的地位。它不仅能巩固和深化所学理论，同时能培养严格、严肃、严密的科学工作作风，锻炼分析问题和解决问题的能力。

函授生应按教学大纲的要求完成实验项目，达到本课程在实验技能方面的教学要求。

4. 考试

考试是课程教学效果的总鉴定，是考核函授生本课程学习成绩的必需环节。本课程的考核内容侧重于基本概念和基本分析方法，注重于对理解能力的考核。函授生必须在完成规定必做作业、测验作业和实验以后才能参加考试。

四、本课程学时分配及教学进程

下表所拟定的本课程学时分配及教学进程是根据“热工测量及自动装置”课程函授教学大纲规定在一学期内完成、在学期中面授一次的情况进行安排的。

章 次	内 容	合计学时	自学时数	面授时数	实验时数
	绪论	1	1		
	第一篇热工测量仪表	(26)	(15)	(11)	(2)
1	热工测量仪表的基本知识	2	1	1	
2	温度测量仪表	7	4	3	2
3	压力测量仪表	4	2	2	
4	流量测量仪表	3	2	1	
5	水位测量仪表	3	2	1	
6	其他参数的测量仪表	3	2	1	
7	机械量测量仪表	4	2	2	
	第二篇热工自动装置	(23)	(13)	(10)	(2)
8	自动控制的基础知识	5	3	2	
9	自动控制系统	7	4	3	2
10	火力发电厂单元机组自动控制系统	6	3	3	
11	电厂辅机自动控制系统	5	3	2	
	第三篇热工程控保护	(20)	(11)	(9)	
12	热工控制的基础知识	4	2	2	
13	热工自动报警系统	3	2	1	
14	热工保护系统	6	3	3	
15	执行级的控制与联动控制	4	2	2	
16	程序控制	3	2	1	
	总学时	70	40	30	4

几点说明：

- (1) 各章自学时数包括平时作业、实验预习和完成实验报告的时间；
- (2) 各章讲课时数包括辅导答疑的时间；
- (3) 本课程按三个教学阶段的划分均是建议性的，仅供制订函授自学周历表或个人自学安排时参考，集中次数，不同的函授站可根据具体情况制定教学进程，但教学时数和教学顺序不应任意变更。

目 录

前 言	
编者的话	
本课程的目的、任务和函授教学方法的一般指导	
绪论	1

第一篇 热工测量仪表

第1章 热工测量仪表的基本知识	4
§ 1.1 热工测量仪表概述	4
一、热工测量仪表的组成 二、热工测量仪表的分类	
§ 1.2 热工测量仪表的测量误差及品质指标	5
一、测量误差的表示方法 二、仪表的质量指标	
学习指导	7
复习思考题	8
第2章 温度测量仪表	9
§ 2.1 温度测量的基本知识	9
一、温度和温标 二、常用温度测量仪表的原理及分类	
§ 2.2 热电偶	11
一、热电偶测温原理 二、热电偶的基本定律 三、热电偶的种类 四、热电偶的结构	
五、热电偶的安装要求 六、热电偶冷端温度的修正和处理方法	
§ 2.3 热电阻	18
一、热电阻的测温原理及特性 二、热电阻的种类及结构 三、热电阻感温元件的安装要求	
§ 2.4 温度测量显示仪表	19
一、动圈式温度指示仪表 二、电子自动平衡式仪表 三、小型温度巡测仪	
§ 2.5 温度变送器	24
一、ITE 热电偶和热电阻温度变送器的性能及特点 二、ITE 热电偶温度变送器的电路组成及工作原理	
三、ITE 热电阻温度变送器的电路组成及工作原理	
学习指导	26
复习思考题	26

第3章 压力测量仪表	28
§ 3.1 压力的概念及压力测量仪表的分类	28
一、压力的概念及单位 二、常用压力测量仪表的分类	
§ 3.2 弹性压力计	29
一、弹性元件 二、弹簧管压力表 三、电接点压力表 四、膜盒式微压计	
§ 3.3 压力(差压)变送器	32
一、差动变压器式压力(差压)变送器 二、电位器式压力变送器 三、力平衡式压力(差压)变送器 四、电容式压力(差压)变送器	
学习指导	36
复习思考题	36
第4章 流量测量仪表	37
§ 4.1 流量测量概述	37
一、流量的定义和单位 二、常用的流量测量方法及流量表的分类	
§ 4.2 差压式流量计	39
一、节流变压降流量计的工作原理 二、标准节流装置 三、节流装置的安装要求	
§ 4.3 差压测量仪表	41
一、膜片式差压计 二、双波纹管差压计	
§ 4.4 积算式显示仪表	43
一、电子开方器 二、比例积算器	
学习指导	45
复习思考题	45
第5章 水位测量仪表	46
§ 5.1 差压式水位计	46
一、水位-差压转换原理 二、双室平衡容器实际使用中存在的问题 三、平衡容器的改进	
§ 5.2 电接点水位计	49
一、工作原理 二、水位发送器(电接点与测量筒) 三、显示仪表	
学习指导	52
复习思考题	52
第6章 其他参数的测量仪表	53
§ 6.1 烟气含氧量测量仪表	53
一、热磁式氧量计 二、氧化锆氧量计	
§ 6.2 电子皮带秤	58
一、概述 二、电子皮带秤的传感装置 三、电子皮带秤的结构及工作原理	

学习指导	60
复习思考题	60
第7章 机械量测量仪表	61
§ 7.1 机械量位移测量仪表	61
一、机械量位移测量仪表的用途 二、测量原理	
§ 7.2 偏心度(大轴挠度)测量仪表	64
一、偏心度测量仪表的功能 二、偏心度的测量方法	
§ 7.3 转速测量仪表	65
一、转速传感器 二、常用的数字显示式转速表	
§ 7.4 振动测量仪表	66
一、拾振器 二、积分放大器	
学习指导	69
复习思考题	69
热工测量仪表单元测验题	70
热工测量仪表单元实验:动圈式温度指示仪表的校验及调整	72
附表1 铂铑10-铂热电偶分度表	74
附表2 镍铬-镍硅(镍铝)热电偶分度表	74
附表3 镍铬-康铜热电偶分度表	75
附表4 Pt100铂热电阻分度表	75
附表5 Cu50铜热电阻分度表	76
附表6 Cu100铜热电阻分度表	76
附表7 热电偶的补偿导线	76
附表8 几种冷端补偿器的技术特性	76

第二篇 热工自动控制

第8章 自动控制的基础知识	77
§ 8.1 自动控制的基本概念	79
一、自动控制的基本概念及常用术语 二、自动控制的组成及其分类 三、控制系统的性能指标	
§ 8.2 自动控制系统典型环节的特性	84
一、环节特性的表示法 二、环节的基本连接方式 三、几种典型环节的特性	
§ 8.3 被控对象的动态特性	93
一、简单的控制对象 二、热工被控对象的动态特性 三、对象特性参数对控制过程的影响	
§ 8.4 控制器的控制规律	96

一、基本概念 二、比例控制 (P 控制) 三、积分控制 (I 控制) 四、比例积分控制 (PI 控制) 五、比例积分微分控制 (PID 控制)	
学习指导	99
复习思考题	100
第 9 章 自动控制系统	101
§ 9.1 概述	102
一、自动控制设备的概念 二、热工过程控制仪表分类与发展过程	
§ 9.2 单回路数字控制器	104
一、电动调节器 二、数字式单回路控制器	
§ 9.3 执行机构	107
一、DKJ 型电动执行机构 二、气动执行机构 三、电信号气动长行程执行机构 四、给粉、给煤调速装置	
§ 9.4 操作器	111
一、DFD 型操作器 二、Q 型操作器	
§ 9.5 气动基地式控制仪表	113
一、气动基地式控制仪表概况 二、B 系列气动基地式控制仪表 三、KF 系列气动基地式控制仪表	
§ 9.6 控制机构	116
一、控制阀的种类、结构及工作原理 二、控制阀的流量特性	
学习指导	118
复习思考题	119
第 10 章 火力发电厂单元机组自动控制系统	120
§ 10.1 汽包锅炉的给水控制系统	121
一、给水控制系统的控制任务 二、给水控制系统的控制方式 三、被控对象的动态特性 四、给水自动控制系统的基本控制方案	
§ 10.2 主蒸汽温度控制系统	123
一、过热汽温调节对象的动态特性 二、过热蒸汽温度控制系统 三、再热蒸汽温度控制系统	
§ 10.3 燃烧过程控制系统	127
一、燃烧过程控制的任務 二、燃烧过程子控制系统 三、燃烧过程控制系统的基本方案 四、典型的燃烧过程控制系统	
§ 10.4 制粉控制系统	132
一、钢球磨中间储仓式制粉系统的控制系统 二、中速磨直吹式制粉系统的控制系统	
§ 10.5 直流锅炉控制系统	133
一、直流锅炉控制的特点和任务 二、直流锅炉的动态特性 三、直流锅炉基本控制方案	
§ 10.6 单元机组协调 (出力) 控制系统	138
一、协调控制系统的组成 二、协调控制系统的运行方式	

学习指导	140
复习思考题	140
第 11 章 电厂辅机自动控制系统	141
§ 11.1 除氧器压力控制系统	141
一、除氧器压力控制的作用 二、除氧器压力对象的动态特性 三、除氧器压力控制系统	
§ 11.2 除氧器水位控制系统	142
一、除氧器水位自动控制的作用 二、补充水直接送入除氧器的水位控制系统 三、补充水送入凝汽器真空除氧的除氧器水位控制系统	
§ 11.3 凝汽器水位控制系统	144
一、凝汽器水位控制系统的任务 二、补充水不进入凝汽器的水位控制系统 三、补充水进入凝汽器真空除氧的水位控制系统	
§ 11.4 给水加热除氧系统控制系统	145
一、加热器水位控制的目的 二、加热器水位控制系统	
§ 11.5 汽轮机的轴封控制系统	146
一、汽轮机的轴封系统 二、汽轮机轴封蒸汽的压力控制 三、汽轮机低压缸轴封蒸汽的温度控制	
§ 11.6 减温减压器的温度压力控制	147
一、汽轮机低压旁路的运行特性 二、减温减压器的压力控制 三、减温减压器的温度控制	
学习指导	149
复习思考题	150
自动装置单元测验题	151
自动装置单元实验：单回路控制系统	152

第三编 热工控制保护

第 12 章 热工控制的基础知识	154
§ 12.1 热工控制的常用电器	154
一、低压配电电器 二、低压控制电器	
§ 12.2 热工控制线路的基本知识	157
一、热工检测控制系统中图形符号的意义 二、锅炉燃烧热工检测控制系统	
§ 12.3 热工过程开关量控制的基础设备	159
一、开关量变送器 二、电磁阀	
学习指导	162
复习思考题	162
第 13 章 热工自动报警系统	164
§ 13.1 自动报警概述	164

一、热工信号的作用 二、热工信号的分类	
§ 13.2 热工自动报警系统	166
一、自动报警系统的功能 二、自动报警装置的结构特性 三、报警信息的基本内容	
四、报警信息的处理	
学习指导	168
复习思考题	168
第 14 章 热工保护系统	169
§ 14.1 热工保护的基本概念	169
一、热工保护的概念及作用 二、热工保护的特点	
§ 14.2 汽轮机的热工自动保护	171
一、保护装置的作用 二、汽轮机设置的保护项目 三、保护系统举例	
§ 14.3 锅炉的热工自动保护	174
一、锅炉主汽压力高保护 二、汽包水位异常保护 三、炉膛灭火保护	
§ 14.4 单元机组的热工保护	177
一、单元机组热工自动保护 二、单元机组旁路系统热工保护	
学习指导	180
复习思考题	180
第 15 章 执行级的控制与联动控制	182
§ 15.1 联动控制的基本概念	182
一、联动控制的基本概念 二、联动控制的实现方法 三、联动控制系统的组成及特点	
§ 15.2 两台水泵的联动控制	183
一、两台水泵的典型热力系统 二、两台水泵的联动控制	
§ 15.3 电动给水泵的联动控制	184
一、电动给水泵的热力系统 二、电动给水泵的联动控制	
§ 15.4 锅炉送引风机的联动控制	186
一、送引风机联动控制系统的控制对象 二、送、引风机启动、停止的联动框图	
§ 15.5 制粉系统的联动控制	188
一、中速球磨机直吹式制粉系统的组成及原理 二、制粉系统的联动控制对象及联动控制框图	
§ 15.6 锅炉燃烧系统的联动控制	191
一、锅炉辅机之间设置联动控制的目的 二、各辅机之间的联动控制	
§ 15.7 射水抽气系统的联动控制	192
一、射水抽气热力系统 二、射水抽气系统联动控制的对象及联动控制	
§ 15.8 汽轮机润滑油系统的联动控制	193
一、汽轮机润滑油系统 二、汽轮机润滑油系统的联动控制对象及联动控制	

学习指导	195
复习思考题	195
第16章 程序控制	196
§ 16.1 程序控制概述	196
一、程序控制的基本概念 二、程序控制器的种类 三、程序控制在火电厂中的应用	
§ 16.2 锅炉吹灰过程的程序控制	198
一、典型吹灰工艺过程 二、吹灰程控的硬件系统 三、吹灰程控的软件系统	
§ 16.3 输煤系统的程序控制	200
一、典型工艺过程 二、输煤程控系统方框图 三、输煤程控系统的组态 四、控制软件功能	
学习指导	205
复习思考题	206
热工保护与程控单元测验题	207
参考文献	209