



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

热工过程控制系统 实验教程

蔡培力 主编



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“·

热工过程控制系统 实验教程

主 编 蔡培力

副主编 周丽雯 刘 坤 冯亮花

北 京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书系为“热工过程控制系统”课程使用的实验教材,内容共分9章,包括高级过程控制实验系统的概述、被控对象特性测试、单回路控制系统实验、温度位式控制系统实验、串级控制系统的实验、比值控制系统实验、滞后控制系统实验、前馈-反馈控制系统实验、解耦控制系统实验等,并附有实验报告格式要求。本书既可满足热工过程控制的基本实验要求,同时也能满足开展综合实验、创新实验、课程设计、毕业设计以及进行科技创新活动等诸多方面的需要。

读者可通过对照实验系统装置进行课程实验,从而加深对热工过程控制系统专业知识的理解,为从事工程设计打下坚实的基础。

图书在版编目(CIP)数据

热工过程控制系统实验教程/蔡培力主编. —北京:
冶金工业出版社, 2016. 4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7190-3

I. ①热… II. ①蔡… III. ①热力工程—过程控制—
实验—高等学校—教材 IV. ①TK32-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 047052 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 王雪涛 美术编辑 吕欣童 版式设计 彭子赫

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7190-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016 年 4 月第 1 版, 2016 年 4 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 4.5 印张; 130 千字; 128 页

18.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

热工过程控制系统通常是指石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等工业生产中连续的或按一定周期程序进行的生产过程自动控制，是自动化技术的重要组成部分。在现代化工业生产过程中，过程控制技术正在为实现各种最优的技术经济指标、提高经济效益和劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境等方面发挥着越来越大的作用。

“热工过程自动控制系统”是热工过程自动化专业的核心课程，通过课程学习，可以掌握基本过程控制、复杂控制及DCS的原理、技术和方法等知识，较全面地丰富知识结构，培养科学思维和科技创新能力，具备更高的工程素质，以期在科技创新中跟上时代发展的步伐，开拓创新，与时俱进，为科技发展和国家现代化建设做出贡献。

当前，高校正在加大力度强化实验教学环节，建设综合、开放型实验室，提高专业培养水平，推进专业建设，利用现代化的教育信息手段，培养高素质人才，本书正是基于这一要求而编写的。

参加本书编写工作的有辽宁科技大学刘坤（第1章），辽宁科技大学冯亮花（第2章），辽宁科技大学蔡培力（第3~6章、第8章），辽宁科技大学周丽雯（第7章、第9

章)，全书由蔡培力任主编。感谢辽宁科技大学教务处对本书编写和出版工作的支持，感谢浙江天煌科学仪器有限公司对本书编写工作的支持。

由于编写时间较为仓促，书中的缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2016年1月

目 录

1 实验装置说明	1
1.1 系统概述	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 系统特点	2
1.1.3 实验装置的安全保护体系	2
1.2 THJ-3 型高级过程控制对象系统实验装置	2
1.2.1 实验对象总图	2
1.2.2 对象系统组成	3
1.2.3 电控接口箱	5
1.3 THJ-2 型 DCS 分布式过程控制系统实验平台	6
1.3.1 控制屏组件	7
1.3.2 DCS 分布式控制组件	7
1.4 实验要求及安全操作规程	22
1.4.1 实验前的准备	22
1.4.2 实验过程的基本程序	22
1.4.3 实验安全操作规程	22
2 被控对象特性测试	24
2.1 单容水箱特性的测试	24
2.1.1 实验目的	24
2.1.2 实验设备	24
2.1.3 实验原理	24
2.1.4 实验内容与步骤	26
2.1.5 实验报告	28

思考题	28
2.2 双容水箱特性的测试	28
2.2.1 实验目的	28
2.2.2 实验设备	28
2.2.3 原理说明	29
2.2.4 实验内容与步骤	30
2.2.5 实验报告	31
思考题	31
2.3 锅炉内胆特性的测试	31
2.3.1 实验目的	31
2.3.2 实验设备	32
2.3.3 实验原理	32
2.3.4 实验内容与步骤	32
2.3.5 实验报告	33
2.4 电动调节阀流量特性的测试	33
2.4.1 实验目的	33
2.4.2 实验设备	33
2.4.3 实验原理	34
2.4.4 实验内容与步骤	34
2.4.5 实验报告	34
3 单回路控制系统实验	36
3.1 单回路控制系统的概述	36
3.1.1 单回路控制系统的概述	36
3.1.2 干扰对系统性能的影响	36
3.1.3 控制规律的确定	37
3.1.4 调节器参数的整定方法	38
3.2 上水箱(中水箱或下水箱)液位定值控制系统	41
3.2.1 实验目的	41
3.2.2 实验设备	41
3.2.3 实验原理	42

3.2.4	实验内容与步骤	43
3.2.5	实验报告	44
3.3	双容水箱液位定值控制系统	44
3.3.1	实验目的	44
3.3.2	实验设备	44
3.3.3	实验原理	44
3.3.4	实验内容与步骤	44
3.3.5	实验报告	46
	思考题	46
3.4	三容水箱液位定值控制系统	47
3.4.1	实验目的	47
3.4.2	实验设备	47
3.4.3	实验原理	47
3.4.4	实验内容与步骤	47
3.4.5	实验报告	49
	思考题	49
3.5	锅炉内胆静态水温定值控制系统	49
3.5.1	实验目的	49
3.5.2	实验设备	50
3.5.3	实验原理	50
3.5.4	实验内容与步骤	51
3.5.5	实验报告	52
	思考题	52
3.6	锅炉内胆动态水温定值控制系统	52
3.6.1	实验目的	52
3.6.2	实验设备	53
3.6.3	实验原理	53
3.6.4	实验内容与步骤	53
3.6.5	实验报告	54
	思考题	54
3.7	锅炉夹套水温定值控制系统	55

3.7.1	实验目的	55
3.7.2	实验设备	55
3.7.3	实验原理	55
3.7.4	实验内容与步骤	55
3.7.5	实验报告	57
	思考题	57
3.8	电动阀支路流量的定值控制系统	58
3.8.1	实验目的	58
3.8.2	实验设备	58
3.8.3	实验原理	58
3.8.4	实验内容与步骤	58
3.8.5	实验报告	59
	思考题	60
3.9	变频调速磁力泵支路流量的定值控制系统	60
3.9.1	实验目的	60
3.9.2	实验设备	60
3.9.3	实验原理	60
3.9.4	实验内容与步骤	61
3.9.5	实验报告	62
	思考题	62
4	锅炉内胆水温位式控制系统	63
4.1	实验目的	63
4.2	实验设备	63
4.3	实验原理	63
4.4	实验内容与步骤	65
4.5	实验报告	66
	思考题	66
5	串级控制系统实验	67
5.1	串级控制系统的连接实践	67

5.1.1	串级控制系统的组成	67
5.1.2	串级控制系统的特點	67
5.1.3	串级控制系统的设计原则	68
5.1.4	主、副调节器正、反作用方式的选择	69
5.1.5	串级控制系统的整定方法	69
5.2	水箱液位串级控制系统	70
5.2.1	实验目的	70
5.2.2	实验设备	71
5.2.3	实验原理	71
5.2.4	实验内容与步骤	71
5.2.5	实验报告	73
	思考题	73
5.3	三闭环液位串级控制系统	74
5.3.1	实验目的	74
5.3.2	实验设备	74
5.3.3	实验原理	74
5.3.4	实验内容与步骤	76
5.3.5	实验报告	77
5.4	下水箱液位与电动阀磁力泵支路流量的串级控制系统	77
5.4.1	实验目的	77
5.4.2	实验设备	77
5.4.3	实验原理	77
5.4.4	实验内容与步骤	78
5.4.5	实验报告	79
	思考题	79
5.5	下水箱液位与变频调速磁力泵支路流量的串级控制系统	80
5.5.1	实验目的	80
5.5.2	实验设备	80
5.5.3	实验原理	80
5.5.4	实验内容与步骤	80

5.5.5 实验报告	82
思考题	82
5.6 锅炉夹套水温与锅炉内胆水温的串级控制系统	83
5.6.1 实验目的	83
5.6.2 实验设备	83
5.6.3 实验原理	83
5.6.4 实验内容与步骤	83
5.6.5 实验报告	85
思考题	85
5.7 锅炉内胆水温与内胆循环水流量的串级控制系统	85
5.7.1 实验目的	85
5.7.2 实验设备	86
5.7.3 实验原理	86
5.7.4 实验内容与步骤	87
5.7.5 实验报告	87
思考题	88
5.8 盘管出水口水温与热水流量的串级控制系统	88
5.8.1 实验目的	88
5.8.2 实验设备	88
5.8.3 实验原理	88
5.8.4 实验内容与步骤	90
5.8.5 实验报告	90
5.9 盘管出水口水温与锅炉内胆水温的串级控制系统	91
5.9.1 实验目的	91
5.9.2 实验设备	91
5.9.3 实验原理	91
5.9.4 实验内容与步骤	92
5.9.5 实验报告	93
思考题	94

6 比值控制系统实验	95
6.1 单闭环流量比值控制系统	95
6.1.1 实验目的	95
6.1.2 实验设备	95
6.1.3 系统结构图	95
6.1.4 实验原理	95
6.1.5 比值系数的计算	96
6.1.6 实验内容与步骤	97
6.1.7 实验报告	98
思考题	98
6.2 双闭环流量比值控制系统	99
6.2.1 实验目的	99
6.2.2 实验设备	99
6.2.3 系统结构图	99
6.2.4 双闭环比值控制系统的原理	100
6.2.5 比值器的比例系数计算	100
6.2.6 实验内容与步骤	100
6.2.7 实验报告	101
思考题	101
7 滞后控制系统实验	102
7.1 盘管出水口温度纯滞后控制系统	102
7.1.1 实验目的	102
7.1.2 实验设备	102
7.1.3 实验原理	102
7.1.4 实验内容与步骤	103
7.1.5 实验报告	104
思考题	104
7.2 盘管出水口温度滞后控制系统	105
7.2.1 实验目的	105

7.2.2	实验设备	105
7.2.3	实验原理	105
7.2.4	实验内容与步骤	105
7.2.5	实验报告	106
	思考题	106
7.3	流量纯滞后控制系统	106
7.3.1	实验目的	106
7.3.2	实验设备	106
7.3.3	实验原理	106
7.3.4	实验内容与步骤	107
7.3.5	实验报告	108
	思考题	108
8	前馈-反馈控制系统实验	109
8.1	锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统	109
8.1.1	实验目的	109
8.1.2	实验设备	109
8.1.3	实验原理	109
8.1.4	实验内容与步骤	111
8.1.5	实验报告	113
	思考题	114
8.2	下水箱液位的前馈-反馈控制系统	114
8.2.1	实验目的	114
8.2.2	实验设备	114
8.2.3	实验原理	114
8.2.4	前馈补偿器的设计	115
8.2.5	实验内容与步骤	116
8.2.6	实验报告	117
	思考题	117

9 解耦控制系统实验	118
9.1 上水箱水温与液位的解耦控制系统	118
9.1.1 实验目的	118
9.1.2 实验原理	118
9.1.3 解耦装置的设计	119
9.1.4 实验内容与步骤	121
9.1.5 实验报告	122
思考题	122
9.2 锅炉内胆水温与锅炉夹套水温解耦控制系统	122
9.2.1 实验目的	122
9.2.2 实验原理	123
9.2.3 前馈补偿解耦装置的设计	124
9.2.4 实验内容与步骤	126
9.2.5 实验报告	127
思考题	127
参考文献	128

1.1 系统概述

1.1.1 概述

“THJ-2 型 DCS 分布式过程控制系统”由实验控制对象、实验控制台及上位监控 PC 机三部分组成。它是根据工业自动化及其他相关专业的教学特点,吸收国内外同类实验装置的特点和长处,经过精心设计、多次实验和反复论证而推出的一套全新的综合性实验装置,是一套集自动化仪表技术、计算机技术、通信技术、自动控制技术及现场总线技术为一体的多功能实验设备。系统包括流量、温度、液位、压力等热工参数,可实现系统参数辨识、单回路控制、串级控制、前馈-反馈控制、滞后控制、比值控制、解耦控制等多种控制形式,既可作为本科、专科、高职过程控制课程的实验装置,也可作为教师、研究生及科研人员对复杂控制系统、先进控制系统的研究提供一个物理模拟对象和实验平台。学生通过实验装置进行综合实验后,可掌握以下内容:

- (1) 传感器特性的认识和零点迁移;
- (2) 自动化仪表的初步使用;
- (3) 变频器的基本原理和初步使用;
- (4) 电动调节阀的调节特性和原理;
- (5) 测定被控对象特性的方法;
- (6) 单回路控制系统的参数整定;
- (7) 串级控制系统的参数整定;
- (8) 复杂控制回路系统的参数整定;
- (9) 控制参数对控制系统的品质指标的要求;
- (10) 控制系统的设计、计算、分析、接线、投运等综合能力

培养;

(11) 各种控制方案的生成过程及控制算法程序的编制方法。

1.1.2 系统特点

真实性、直观性、综合性强,控制对象组件全部来源于工业现场。

被控参数全面,涵盖了连续性工业生产过程中的液位、压力、流量及温度等典型参数。

具有广泛的扩展性和后续开发功能,所有 I/O 信号全部采用国际标准 IEC 信号。

具有控制参数和控制方案的多样化。通过不同被控参数、动力源、控制器、执行器及工艺管路的组合可构成几十种过程控制系统实验项目。

充分考虑了各大高校自动化专业的大纲要求,完全能满足教学实验、课程设计、毕业设计的需要,同时学生可自行设计实验方案,进行综合性、创造性过程控制系统实验的设计、调试、分析,培养学生的独立操作、独立分析问题和解决问题的能力。

1.1.3 实验装置的安全保护体系

(1) 单相三线制总电源输入经带漏电保护装置的 2P 断路器进入系统电源之后通过电压表及指示灯进行电源指示。

(2) 经过漏电保护器的电源又通过钥匙开关控制,钥匙可由老师保管,实验时需老师对接线进行检查后再通过钥匙给系统上电。

(3) 控制屏上装有一套电压型漏电保护和一套电流型漏电保护装置。

(4) 所有实验连线只涉及弱电信号,排除了强电触电的危险。

1.2 THJ-3 型高级过程控制对象系统实验装置

1.2.1 实验对象总图

实验对象总图如图 1-1 所示。

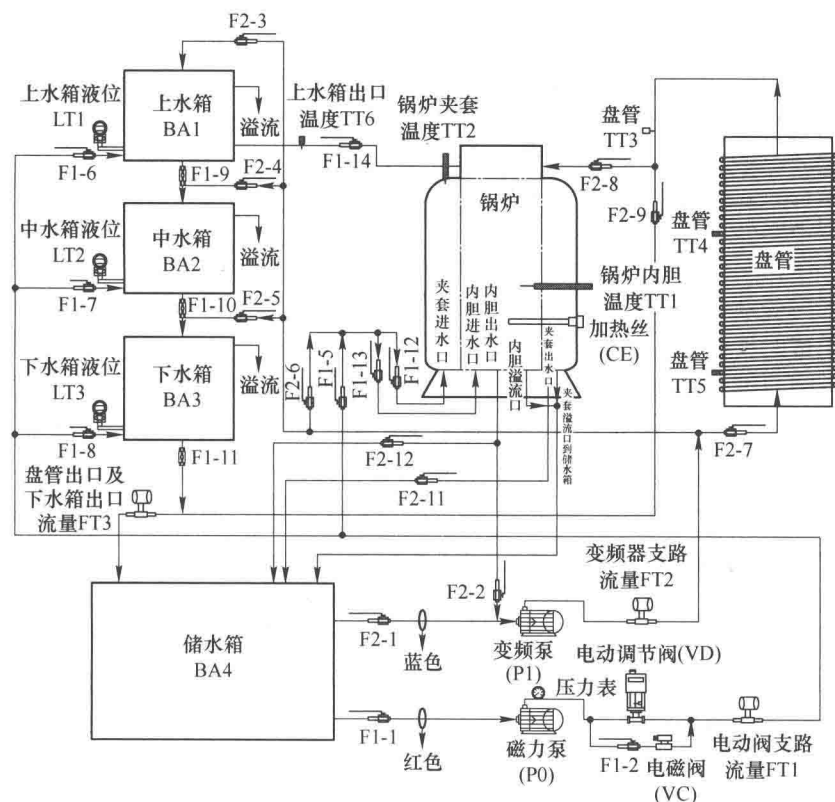


图 1-1 THJ-3 型控制对象实验装置

1.2.2 对象系统组成

控制对象主要由水箱、锅炉和盘管三大部分组成。供水系统一路由三相（380V 恒压供水）磁力驱动泵、电动调节阀、直流电磁阀、涡轮流量计及手动调节阀组成；另一路由变频器、三相磁力驱动泵（220V 变频调速）、涡轮流量计及手动调节阀组成。

1.2.2.1 被控对象

被控对象由不锈钢储水箱、（上、中、下）三个串接有机玻璃水箱、3kW 三相电加热模拟锅炉（由不锈钢锅炉内胆加温筒和封闭式锅炉夹套构成）、盘管和敷塑不锈钢管道等组成。