



全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Experiments on Process Control Systems

# 过程控制实验教程

李国勇 主编

Li Guoyong

何小刚 阎高伟 副主编

He Xiaogang Yan Gaowei

谢克明 主审

Xie Keming

清华大学出版社



全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Experiments on Process Control Systems

# 过程控制实验教程

李国勇 主编

Li Guoyong

太原理工大学

何小刚 阎高伟 副主编

He Xiaogang Yan Gaowei

谢克明 主审

Xie Keming



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本教材内容紧密结合“过程控制系统”课程,同时作为一门独立实验课程在知识体系上也具备独立性和完整性。本书在实验环节设计上,分为基础型、验证型、综合型和设计型4种类型;在实验方法上,对每一类型实验均提出了3种实验方案,以便不同学校根据自身实验条件进行选择;在内容安排上,由简到难、循序渐进,兼顾各类学校的实验条件,以提高学生的动手能力以及分析问题和解决问题的能力为目的;在结构编排上,以实验为单元,各单元具有一定的连续性,同时又保持相对的独立性,以便不同的学校根据课时与实验设备选用。

本书可作为高等学校自动化专业本科生、非自动化专业研究生的实验教材,也可供从事相关专业的科技人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

过程控制实验教程/李国勇主编. —北京:清华大学出版社,2011.1

(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-302-23243-8

I. ①过… II. ①李… III. ①过程控制—实验—高等学校—教材

IV. ①TP273-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第144360号

责任编辑:王一玲 刘佩伟

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:19.25 字 数:404千字

附光盘1张

版 次:2011年1月第1版

印 次:2011年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.50元

## 《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

---

顾问 (按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员 (按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)  
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)  
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)  
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

---

# 出版说明

《全国高等学校自动化专业系列教材》



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”、“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”、“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——《全国高等学校自动化专业系列教材》。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层次、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会

2005年10月于北京



自动化学科有着光荣的历史和重要的地位,20世纪50年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在众多领域发挥了重要作用,如航空、航天等,“两弹一星”的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分汲取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实

践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师,致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

吴恪迪 教授

2005年10月于教育部



《全国高等学校自动化专业系列教材》编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教育,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括《自动控制原理实验教程》、《运动控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《检测技术实验教程》和《计算机控制系统实验教程》等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了《自动化专业课程体系结构研究》专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设基础知识与最新知识有机融合的教材?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元



形态、开放性的“广义教材”？等等，这些都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版，对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境，一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限，本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处，还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴澄 院士

2005年10月于清华大学



本书是按照“全国高等学校自动化专业系列教材”编审委员会建设计划,由“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”牵头招标、评审后中标的,为“加强实践教育,培养创新人才”教学改革思想的需要而编写的一部实验课程教材,是高等学校自动化专业(本科生)和非自动化专业(研究生)创新型系列课程实验教材之一。

全书共7章,按照由简到繁,由书本到实际,由认识到综合的思路来设计章节。第1章简述过程控制实验的相关基础知识;第2章是认识各种工业设备、仪器仪表和不同的控制系统,以及组态软件设计的基础实验;第3章是被控对象数学模型的测试实验;第4章是简单控制系统实验;第5章是复杂控制系统实验;第6章引入了应用广泛的实际工程问题,作为难度和复杂性增加的综合实验,加入了工程实际的背景和概念,以期对学生进行过程控制领域全面综合的训练;第7章是设计性实验,要求学生根据实验内容和要求自行设计实验方法和步骤。本教材每章后配有与分析、综合、实践相关的思考题,对锻炼学生全面认识和解决问题的能力具有一定的帮助。另外,为了兼顾各类学校实验条件,对于每一类型实验均提出了3种实验方案,以便不同学校根据自身实验条件进行选择。在3种实验方案中,物理对象仿真试验环境接近工业现场,实验操作和现场的操作有极大的相似性,不仅可以完成课程的实验,还可以加深学生对过程控制系统全面的了解和认识,培养学生实际操作能力。基于MATLAB的数字仿真实验具有简单明了的特点,可以锻炼学生通过数学工具分析解决实际问题的能力,提高学生的科学素养,为今后学习工作奠定良好的基础。而基于OPC接口技术和工业组态软件实验方案兼顾了形象直观、现场感强、设备简单、训练全面等各个方面,不仅可以用于过程控制系统的实验,也可用于DCS课程,甚至图形组态的现场调试。

本教材总学时数32学时,其中课堂教学8学时,实验24学时。建议将实验分为3个阶段。其中,基础实验部分配合“控制仪表与装置”课程教学进行,每个实验大约2学时。对象建模实验、简单控制系统实验和复杂控制系统实验部分配合“过程控制系统”课程教学进行,每个实验大约2学时。根据学生的能力和设备的情况,物理实验可适当延长。综合型和设计型实验部分可放在学生相关知识学习完成后,在课程设计或毕业设计阶段进行,每个实验大约4学时。基础实验建议选做4~6个;对象建模实验、

简单控制系统实验和复杂控制系统实验建议选做 6~8 个；综合设计性试验建议选做 1~2 个。

本书由李国勇主编,何小刚和阎高伟副主编。全书共包含 7 章和 1 个附录,其中第 1 章由杨丽娟编写;第 2 章由谢刚编写;第 3 章由李国勇编写;第 4 章由何小刚编写;第 5 章由阎高伟编写;第 6 章由牛昱光编写;第 7 章由魏峰编写;其余部分由林放编写。全书由李国勇整理定稿。谢克明教授主审了全书,提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表谢意。还要感谢清华大学出版社责任编辑王一玲和刘佩伟,感谢她们为本书的编辑和出版所做的辛勤工作。

本书所用实验软件(除 MATLAB 系统)以及与各实验单元配套的 MATLAB 程序和组态工程文件均在随书光盘中。与本书配套的电子课件可登录清华大学出版社网站(<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>)免费下载。

由于作者水平有限,书中难免有遗漏与不当之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

TYGDLY@163.com

2009 年 12 月



<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 过程控制实验装置 .....	1
1.1.1 被控对象 .....	2
1.1.2 操作台 .....	3
1.1.3 上位机 .....	9
1.2 DCS 控制系统 .....	11
1.2.1 DCS 系统硬件 .....	11
1.2.2 DCS 系统软件 .....	16
1.3 仿真软件 .....	18
1.3.1 MATLAB 简介 .....	18
1.3.2 Simulink 简介 .....	22
1.4 基于组态软件和 OPC 技术的数字仿真 .....	24
1.4.1 组态软件简介 .....	25
1.4.2 OPC 技术简介 .....	28
1.4.3 仿真实验原理 .....	31
1.4.4 仿真实验步骤 .....	32
练习题 .....	48
<b>第 2 章 基础实验</b> .....	49
2.1 实验一：控制仪表调试 .....	49
2.2 实验二：电动调节阀特性测试 .....	51
2.3 实验三：交流变频调速装置的调试 .....	53
2.4 实验四：锅炉进水流量定值调节仪表系统调试 .....	55
2.5 实验五：并联管路压力定值调节仪表系统调试 .....	58
2.6 实验六：锅炉液位定值调节仪表系统调试 .....	61
2.7 实验七：DCS 系统组态设计 .....	63
2.8 实验八：基于 OPC 接口技术的组态设计 .....	66
2.9 实验九：基于组态软件和 OPC 技术的调节阀特性测试 .....	68
练习题 .....	69

<b>第 3 章 被控对象数学模型的测试</b> .....	70
3.1 基本知识 .....	70
3.1.1 被控过程传递函数的一般形式 .....	70
3.1.2 建立过程数学模型的基本方法 .....	71
3.2 物理仿真实验 .....	77
3.2.1 实验一：自衡单容对象的数学模型测试 .....	77
3.2.2 实验二：自衡双容对象的数学模型测试 .....	83
3.2.3 实验三：非自衡单容对象的数学模型测试 .....	89
3.2.4 实验四：非线性对象的数学模型测试 .....	93
3.3 基于 MATLAB 的数字仿真实验 .....	95
3.3.1 实验一：利用 MATLAB 根据作图法建立一阶系统数学模型 .....	95
3.3.2 实验二：利用 MATLAB 根据算法建立一阶系统数学模型 .....	97
3.3.3 实验三：利用 MATLAB 根据算法建立二阶系统数学模型 .....	99
3.4 基于组态软件和 OPC 技术的数字仿真实验 .....	101
3.4.1 实验一：双容对象的数学建模和模型测试 .....	101
3.4.2 实验二：电加热水箱对象的数学建模和模型测试 .....	104
练习题 .....	108
<b>第 4 章 简单控制系统实验</b> .....	110
4.1 基本知识 .....	110
4.1.1 简单控制系统的设计 .....	110
4.1.2 简单控制系统的参数整定 .....	116
4.1.3 简单控制系统的投运 .....	120
4.2 物理仿真实验 .....	121
4.2.1 实验一：单回路液位控制系统的实验 .....	121
4.2.2 实验二：单回路流量控制系统的实验 .....	126
4.2.3 实验三：单回路压力控制系统的实验 .....	130
4.2.4 实验四：单回路温度控制系统的实验 .....	134
4.3 基于 MATLAB 的数字仿真实验 .....	137
4.3.1 实验一：利用 MATLAB 根据动态特性参数法对控制器参数整定 .....	137
4.3.2 实验二：利用 MATLAB 根据稳定边界法对控制器参数整定 .....	140

4.3.3	实验三：利用 Simulink 对 PID 控制器参数自整定 .....	142
4.4	基于组态软件和 OPC 技术的数字仿真实验 .....	146
4.4.1	实验一：单回路液位控制系统实验 .....	146
4.4.2	实验二：单回路电加热水箱温度控制系统实验 .....	149
4.4.3	实验三：单回路双容水箱液位控制系统实验 .....	151
	练习题 .....	153
<b>第 5 章</b>	<b>复杂控制系统实验 .....</b>	<b>155</b>
5.1	基本知识 .....	155
5.1.1	串级控制系统 .....	155
5.1.2	前馈控制系统 .....	160
5.1.3	大延迟控制系统 .....	166
5.1.4	比值控制系统 .....	168
5.1.5	选择性控制系统 .....	174
5.1.6	解耦控制系统 .....	176
5.2	物理仿真实验 .....	180
5.2.1	实验一：串级控制系统的实验 .....	180
5.2.2	实验二：前馈-反馈控制系统的实验 .....	184
5.2.3	实验三：比值控制系统的实验 .....	188
5.2.4	实验四：解耦控制系统的设计 .....	191
5.3	基于 MATLAB 的数字仿真实验 .....	193
5.3.1	实验一：利用 MATLAB/Simulink 对串级控制系统进行 仿真 .....	193
5.3.2	实验二：利用 MATLAB 对前馈-反馈控制系统进行仿真 .....	200
5.3.3	实验三：利用 MATLAB 对大时延补偿控制系统进行仿真 .....	202
5.3.4	实验四：利用 MATLAB 对单闭环比值控制系统进行仿真 .....	204
5.3.5	实验五：利用 MATLAB 对双闭环比值控制系统进行仿真 .....	206
5.3.6	实验六：利用 MATLAB 对选择性控制系统进行仿真 .....	208
5.3.7	实验七：利用 MATLAB 对多变量系统进行前馈解耦的 仿真 .....	210
5.3.8	实验八：利用 MATLAB 对多变量系统进行对角阵解耦的 仿真 .....	212
5.4	基于组态软件和 OPC 技术的数字仿真实验 .....	215
5.4.1	实验一：电加热水箱温度与流量前馈-反馈控制实验 .....	215
5.4.2	实验二：双容水箱液位串级控制系统实验 .....	218
5.4.3	实验三：双闭环流量比值控制系统实验 .....	220
	练习题 .....	222

<b>第 6 章 综合型实验</b>	224
6.1 锅炉给水对象的特点和分析	224
6.2 锅炉给水控制系统的设计	225
6.2.1 确定控制目标	225
6.2.2 确定控制方案	226
6.2.3 主副调节器的选型	227
6.2.4 实验模型的构造	227
6.2.5 给水控制系统的整定和投运	230
6.3 锅炉汽包给水系统的仿真实验研究	231
6.3.1 物理仿真实验	231
6.3.2 基于 MATLAB 的数字仿真实验	238
6.3.3 基于 OPC 接口技术和组态软件的仿真实验	241
练习题	244
<b>第 7 章 设计型实验</b>	246
7.1 广义被控对象的测试	246
7.1.1 调节阀流量特性测试实验	246
7.1.2 单容(一阶)对象的数学模型的测试实验	248
7.1.3 双容及三容对象的数学模型的测试实验	252
7.2 简单控制系统的设计	254
7.2.1 流量控制系统	254
7.2.2 压力控制系统	256
7.2.3 液位控制系统	261
7.2.4 温度控制系统	270
7.3 复杂控制系统的设计	271
7.3.1 串级控制系统	271
7.3.2 前馈控制系统	274
7.3.3 比值控制系统	280
7.3.4 均匀控制系统	282
7.3.5 解耦控制系统	284
练习题	288
<b>参考文献</b>	290



本章将简单介绍实验中所用到的物理仿真实验装置、控制仪表和 DCS 控制系统,以及数字仿真中所用到的仿真软件和组态软件等。

## 1.1 过程控制实验装置

本书中物理仿真实验采用的设备为 EFAT/P IIB 型过程控制系统实验装置,它由被控对象和仪表操作台两大部分组成。控制系统的构成有两种方式:一种是以实验装置中的水力模拟对象作为被控对象,以传感器、变送器及执行机构作为一次仪表,以仪表操作台上的调节仪表作为二次仪表,并通过二次调节仪表的串行接口与上位 PC 构成实验监控系统;另一种是以实验装置中的水力模拟对象作为被控对象,以传感器、变送器及执行机构作为一次仪表,以 DCS 控制设备作为现场控制站,通过 DCS 监控层网络与上位 PC 操作站构成 DCS 实验监控系统。系统结构如图 1-1 所示。

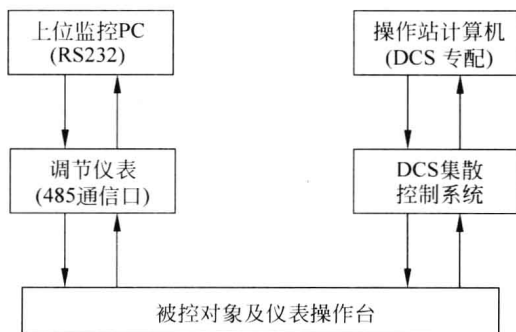


图 1-1 实验装置系统结构图

本装置结合了当今工业现场过程控制的实际过程,是一套集自动化仪表技术、计算机、通信技术、自动化控制技术及现场总线技术为一体的多功能实训设备。该系统包括流量、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、均



匀控制和解耦控制等多种控制形式,为先进控制系统的研究提供了一个物理模拟对象和实训平台。

### 1.1.1 被控对象

物理仿真实验装置中的被控对象由工艺设备和现场仪表两部分组成。

#### 1. 主要工艺设备

工艺设备主要由水力模拟系统的水箱、加热锅炉等作为物理仿真实验系统被控对象组成。

- (1) 19L 的热水夹套锅炉,内部 4.5kW 三相星形连接电热丝。
- (2) 38L 的高位溢流水箱(产生稳定压力的工艺介质-水)。
- (3) 105L 的大水槽和 35L 的计量水槽。
- (4) 配三相电机的循环水泵。
- (5) 2 只电动调节阀、2 只电磁阀(用于扰动)和 39 只手动球阀。

#### 2. 现场仪表

现场仪表主要由温度传感器、液位变送器、流量变送器和调节阀等构成,如表 1-1 所示。

表 1-1 现场仪表

序号	图位号	型 号	规 格	名 称	用 途
1	P1-1 (PL-1)	Y-100	0~0.25MPa	弹簧管压力表	进水压力指示
2	P2-T (PT-2)	DBYG	0~100kPa (4~20mA)	扩散硅压力变送器	出水压力变送器
3	F1-E (FE-1)	LDG-10S	0~300L/h	电磁流量传感器	进水流量检测
4	F1-1T (FIT-1)	LD2-4B	4~20mA	电磁流量转换器	进水流量变送和显示
5	F2-E (FE-2)	LDG-10S	0~300L/h	电磁流量传感器	出水流量检测
6	F2-1T (FIT-2)	LD2-4B	4~20mA	电磁流量转换器	出水流量变送和显示
7	L1-T (LT-1)	DBYG	0~4kPa (0~400mm) (4~20mA)	扩散硅压力变送器	水箱液位变送
8	L2-T (LT-2)	DBYG	0~4kPa (0~400mm) (4~20mA)	扩散硅压力变送器	锅炉液位变送