

高等院校信息技术实验教程丛书

GUOCHENG KONGZHI

SHIYAN JIAOCHENG

过程控制实验教程

姚铭 刘萍 林少君 编著



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

过程控制实验教程

姚铭 刘萍 林少君 编著

厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

过程控制实验教程/姚铭,刘萍,林少君编著. —厦门:厦门大学出版社,2008.9
(高等院校信息技术实验教程丛书)

ISBN 978-7-5615-3066-5

I. 过… II. ①姚…②刘…③林… III. 过程控制-高等学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121911 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

南平市武夷美彩印中心印刷

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.25

字数:251 千字 印数:1~2000 册

定价:16.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换

高等院校信息技术实验教程丛书编委会

主任委员:王 琳

副主任委员:隋榕生 李名世

委 员:程曙艳 胡晓毅 黄联芬 李名世 林聪仁 刘舜奎
彭侠夫 隋榕生 王 琳 王晓雪 姚 铭 游佰强

序

21 世纪,科学技术的发展日新月异,信息化时代的来临使信息科学与技术深入社会生活的各个领域。其发展水平已成为衡量一个国家科技实力的重要标志之一。各国都把培养大量高水平的信息科学人才作为科技发展的重要战略目标。

培养高水平的信息科学人才,应重视学生的工程素质和实践能力的培养,提高学生分析实际问题解决实际问题的能力,这也是当前社会对毕业生专业技能的要求。各高校通过实验课程、课程设计、毕业设计、毕业实习以及组织各种竞赛来提高学生的实践能力、设计与制作能力。

实验是自然科学的基础,是一切科学创造的源泉。学生在本科阶段存在课程多,学时少,实验、实践锻炼的机会更少的问题。一方面由于扩招引起的指导教师、实验资源不足;另一方面也缺少一批实用、高效的实验教材。在厦门大学出版社的大力支持下,我们组织完成了这套“高等院校信息技术实验教程丛书”的编写工作。参与编写该丛书的作者都是担任相关课程的老师或实验指导老师,该丛书是在相关课程经过多年使用的实验讲义的基础上编写而成,收集了较多不同难度的实验项目,供实验课选择。

“高等院校信息技术实验教程丛书”包括《电子技术实验教程》、《电机与电力拖动实验教程》、《可编程控制器(PLC)实验教程》、《自控原理及计算机控制实验教程》、《过程控制实验教程》、《单片机原理与接口技术实验教程》、《电磁场与微波技术实验教程》、《数据库技术实验教程》、《汇编程序设计实验教程》、《数字信号处理(DSP)实验教程》十本实验指导书。

在此,我们向所有支持和参与该丛书出版的单位和同志表示感谢,特别要向李茂青教授、许茹教授在该丛书的编写、出版中做出的指导性工作表示感谢。同时,感谢该丛书中使用的实验设备的生产厂家提供的支持。

由于作者的水平与能力有限,丛书中的不足与问题难免,恳请广大师生批评指正。

高等院校信息技术实验教程丛书编委会

2008 年 1 月于厦门大学海韵园

前 言

过程控制通常是指在石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等工业生产中,以温度、流量、液位、压力和成分为主要被控变量的被控系统,是自动化技术的重要组成部分。浙江求是科教设备有限公司生产的 PCT 系列过程控制实验系统装置,可以非常好地满足过程控制课程实验的要求。这套设备由被控对象、控制屏、计算机组成,通过调节器或计算机控制,可以将被控对象转变成具有不同特性的过控对象,因此,在此基础上不仅可以进行简单的温度、压力、流量、液位的单回路控制,也可以进行一系列的复杂控制系统实验,如:变比值控制、Simth 预估控制、解耦控制、三溶液位控制、换热器温度控制,还可以自行设计实验方案,进行创造性实验。

一、PCT 系列过程控制实验装置特点

1. 装置由控制对象、控制屏、计算机三部分组成:控制对象布局合理,外观美观大方,同时控制屏还可以换成分散控制系统(DCS)。

2. 真实性、直观性、综合性强:装置中的各仪表及组态软件均为工业产品,且控制屏正面有完整的系统结构图案,便于学生系统接线。

3. 参数全面:涵盖了液位、流量、压力、温度等典型的热工量参数。

4. 控制参数和控制方案的多样化:通过对其管路上的阀门(电磁阀、手动阀)切换和对模拟信号接线板上信号的连接组合,可构成多种过程控制实验。

该实验装置充分考虑了生产过程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;也可为学校教师和研究生进行复杂控制系统的计算机控制算法的研究工作提供一个实实在在的物理模型。

二、本实验装置有助于学生掌握的内容

1. 自动化仪表的初步使用,其中包括检测仪表、变送单元、执行单元和控制仪表。
2. 测定控制对象特性的方法。
3. 变频器的基本工作原理和初步使用。
4. 单回路控制系统的参数整定。
5. 复杂控制系统的参数整定。
6. 控制参数对控制系统品质指标的影响。
7. 控制系统的设计、计算、分析、接线、投运等综合能力。
8. 了解计算机控制系统的组成。
9. 了解牛顿模块的分类、使用以及 RS-485 通讯原理。
10. 学习组态王控制软件的功能、使用和编程。

三、实验的基本程序

1. 明确实验任务。
2. 提出实验方案。

3. 画实验接线图。
4. 进行实验操作,作好观测和记录,调整控制参数。
5. 整理实验数据,得出结论,撰写实验报告。

在进行本书中的综合实验时,上述程序应让学生独立完成,教师给予必要的指导,以培养学生的动手能力。要做好各主要实验,就应做到:实验前要做准备,实验中要有条理,实验后要勤分析。

实验室操作规章

1. 爱护实验设备,遵守操作规章。
2. 不能擅自开启机器电源。
3. 不能带电插拔导线,确认电源全部关闭,方可接线。
4. 经过指导老师检查,确认无误,方可开动机器。
5. 在设置调节器参数时,不能用指甲尖挤压按钮。
6. 完成实验后,将水放回水箱。
7. 实验结束时,将导线归类整理,放置整齐。

目 录

序 前言

第一篇 对象特性测试实验

实验一(1)	基于调节器控制的上水箱特性测试	(5)
实验一(2)	基于计算机控制的上水箱特性测试	(8)
实验二(1)	基于调节器控制的中水箱特性测试	(11)
实验二(2)	基于计算机控制的中水箱特性测试	(14)
实验三(1)	基于调节器控制的二阶液位特性测试	(17)
实验三(2)	基于计算机控制的二阶液位特性测试	(20)
实验四(1)	基于调节器控制的温度加热器特性测试	(23)
实验四(2)	基于计算机控制的温度加热器特性测试	(25)
实验四(补充)	温度变送器的调校与使用	(27)
实验五(1)	基于调节器控制的调节阀流量特性测试	(29)
实验五(2)	基于计算机控制的调节阀流量特性测试	(31)

第二篇 单回路控制系统实验

实验一(1)	基于调节器的压力单闭环控制系统	(37)
实验一(2)	基于计算机的压力单闭环控制系统	(40)
实验二(1)	基于调节器的液位单闭环控制系统	(43)
实验二(2)	基于计算机的液位单闭环控制系统	(47)
实验三(1)	基于调节器的流量单闭环控制系统	(50)
实验三(2)	基于计算机的流量单闭环控制系统	(54)
实验四(1)	基于调节器的温度单闭环控制系统	(57)
实验四(2)	基于计算机的温度单闭环控制系统	(61)
实验五(1)	基于调节器的双溶液位控制系统	(64)
实验五(2)	基于计算机的双溶液位控制系统	(67)

第三篇 复杂控制

实验一(1)	基于调节器的上水箱液位和流量串级系统	(80)
实验一(2)	基于计算机的上水箱液位和流量串级系统	(84)
实验二	基于调节器的上、中水箱液位的串级系统	(87)
实验三(1)	基于调节器的流量比值控制系统	(91)

实验三(2) 基于计算机的流量比值控制系统	(94)
实验四 基于计算机的变比值控制系统	(97)
实验五(1) 基于调节器的前馈反馈控制系统	(100)
实验五(2) 基于计算机控制的前馈反馈控制	(103)
实验六 基于计算机的施密斯预估控制系统	(106)
实验七 基于计算机的解耦控制系统	(108)

第四篇 基于组态王的开发及应用

实验一 基于 BP 神经网络 PID 的水箱液位控制实验	(111)
实验二 BP 神经网络 PID 算法	(112)
附录 A 实验装置的认识及使用	(124)
一、调节器	(124)
二、变频器、水泵	(127)
三、电动调节阀	(130)
四、电磁流量计、流量转换器	(135)
五、压力变送器、液位变送器	(137)
六、热电阻、可控硅	(138)
七、牛顿模块	(140)
附录 B 组态王的初级使用教程	(142)
附录 C 牛顿模块端口定义(厦门大学)	(149)
附录 D 实验设备接线参考	(150)

第一篇

对象特性测试实验

对象特性的研究对设计过程控制系统有着重要的意义,而研究对象特性,需要建立一个好的数学模型,这就需要掌握好三类主要的信息来源:

(1)要确定明确的输入量和输出量

影响研究对象的输出量发生变化的输入信号可能有多个,通常选一个可控性良好、对输出量影响最大的一个输入信号作为输入量,而其余的输入信号则为干扰量。

(2)要有先验知识

在建模中,所研究的对象是工业生产中的各种装置和设备,而被控对象内部所进行的物理、化学过程可以是各式各样的,但必须符合已经发现的许多定理、原理及模型。

(3)实验数据

在进行建模时,关于过程的信息也能通过对对象的实验和测量获得。合适的定量观测和实验时验证模型和建模的重要依据。

对被控对象数学模型的要求,首先是要求它准确可靠,但这并不意味着越准确越好,应根据实际应用情况提出适当的要求。对于实际生产过程中复杂的动态性能,建模时,往往只要抓住主要因素,而忽略次要因素,并做一些近似处理,如:线性化、分布参数系统集总化和模型降阶处理等。诸如一系列的处理,建立的数学模型,仍能满足控制的要求,不仅因为用于控制的数学模型不要求非常准确,还是因为控制本身具有一定的鲁棒性。

建立被控对象的数学模型,可采用多种方法,大致可分为机理法和测试法。

用机理法建模就是根据生产过程中实际发生的变化机理,写出各种有关的平衡方程,从中获得所需要的数学模型。但用这种方法建模的首要条件时生产过程的机理必须已经被人们充分掌握,并且可以比较确切地加以数学描述。其次,除非简单的被控对象,否则难以得到阶次降低、适用的数学形式表达模型。因此,用机理法建立模型相对较繁琐。本实验系统,可采用测试法建模。

测试法一般只用于建立输入输出模型。它的特点是把被研究的工业过程视为一个黑匣子,完全从外部特性上测试和描述它的动态性质,因此不需要深入掌握其内部机理,但这并不意味着可以对内部机理毫无所知。由于过程的动态性,只有当处于变动状态下才会表现出来,在稳定状态下时表现不出来的。为了获得动态特性,必须使研究的过程处于被激励的状态,根据加入的激励信号和结果的分析方法,测试对象特性的实验方法也不同,主要有以下几种:

(1)测定动态特性的时域方法

该方法是对被控对象施加阶跃输入,测绘出对象输出量随时间变化的响应曲线,或施加脉冲输入测绘出输出的脉冲响应曲线。由响应曲线的结果分析,确定出被控对象的传递函数。

这种方法测试简单,测试工作量小,因此,广泛使用;缺点是测试精度不高。

(2)测试动态特性的频域方法

该方法是对被控对象施加不同频率的正弦波,测出输入量与输出量的幅值比和相位差,从而获得对象的频率特性,来确定被控对象的传递函数。这种方法在原理和数据处理上都比较简单,测试精度比时域法高,但此法需要专门的超低频测试设备,测试工作量较大。

(3)测定动态特性的统计方法

该方法是对被控对象施加某种随机信号或直接利用对象输入端本身存在的随机噪音进行观察和记录,由于他们引起对象各参数变化,可采用统计相关法研究对象的动态特性。这种方法可以在生产过程正常状态下进行,可以在线辨识,精度也角高。但统计相关法要求积累大量数据,并要用相关仪表和计算机对这些数据进行计算和处理。

本装置建议使用由时域法测定对象的动态特性。

该方法是为人为地加非周期信号后,测定被控对象的响应曲线,然后根据响应曲线,求出被控对象的传递函数

(1)输入信号选择及实验注意事项

对象的阶跃响应曲线比较直观地反映对象的动态特性,而且从响应曲线中也易于直接求出其对应的传递函数,因此,阶跃输入信号是时域法首选的输入信号。但有时生产现场运行条件受到限制,不允许被控对象的被控参数有较大幅度的变化,或无法测出一条完整的阶跃响应曲线,则可改用矩形脉冲作为输入信号,得到脉冲响应后,再将其换成一条阶跃响应曲线。

在实验过程中要注意以下问题:

①为防止其他干扰影响,同一阶跃响应曲线应重复测试两三次,以便进行比较,从中剔除某些明显的偶然误差,并求出其中合理部分的平均值。

②在对象的同一平衡工况下,加一个反向的阶跃信号,测出对象的响应特性,与正反向的响应特性进行比较,以检验对象的非线性特性。试验时,扰动作用的取值范围为其额定值的5%~20%,一般取8%~10%。

③测试应进行到被控参数接近它的稳态值或至少也要测试到被控参数的变化速度达到最大值之后。

④一般应在被控对象最小、最大及平均负荷下重复测试,得到 n 条响应曲线进行对比。

⑤要注意被测量起始状态测量的精度和加阶跃信号的计时点,这对计算对象延迟的大小和传递函数的准确性有关。

(2)实验结果的数据处理

用测试法建立被控对象的数学模型,首先要选定模型的结构。典型的工业过程的传递函数可以取为各种形式。例如:常见的形式如下:

①一阶惯性环节加纯延迟

一阶惯性环节的传递函数:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

延迟环节的传递函数为:

$$G(s) = e^{-\tau s}$$

一阶加纯滞后对象的传递函数

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{Ts + 1}$$

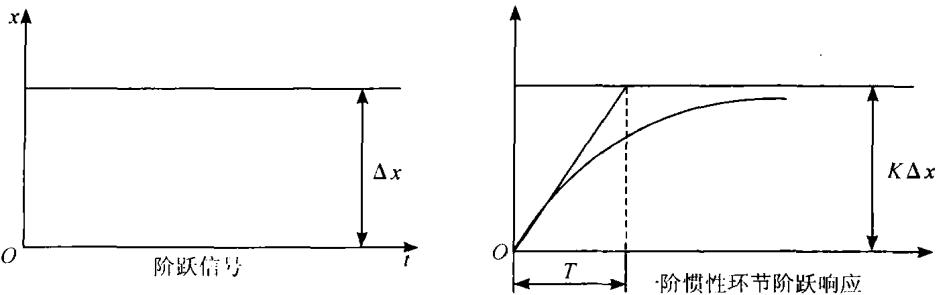


图 0-1

②二阶或高阶惯性环节加纯延迟

$$G(s)=\frac{Ke^{-\tau}}{(Ts+1)^n}$$

根据阶跃响应曲线,如何选择传递函数,这与测试者对被控对象的先验知识掌握的多少和本人的经验有关。一般来说,可将测试的阶跃响应曲线与标准的一阶、二阶阶跃响应曲线比较,来确定其相近曲线对应的传递函数形式作为其数据处理的模型。对同一条响应曲线,用低阶传递函数拟合,数据处理简单,计算量小,但准确度低。用高阶传递函数来拟合,则数据处理麻烦,计算量大,但拟合精度也较高。但闭环控制尤其是最常用的 PID 控制并不要求非常准确的被控对象,因此,在满足精度要求的情况下,尽量使用低阶传递函数来拟合。所以,简单一些的工业过程对象采用一二阶传递函数拟合的多。

下面举一个例子说明传递函数的求解过程。

如果阶跃响应是如图 0-2 所示的 S 形单调曲线,就可以用一阶惯性加纯延迟对象的传递函数去拟合。

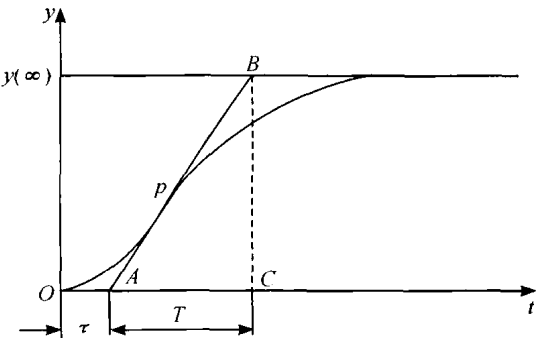


图 0-2

$$G(s)=\frac{Ke^{-\tau}}{Ts+1}$$

τ 和 T 则可以用作图法确定,即在曲线的拐点 p 作切线,它与时间轴交于 A 点,与曲线的稳态渐进线交于 B 点。 OA 段的值即为纯滞后时间 τ , AC 段的值即为时间常数 T ,这样就确定了 τ 和 T 的数值。

设阶跃输入幅值为 u ,则增益 K 可按下式求取:

$$K=\overset{\text{def}}{\frac{\text{输出量稳态值}}{\text{输入量}}}$$

即

$$K = \frac{\Delta Y / (Y_{\text{MAX}} - Y_{\text{MIN}})}{\Delta X / (\Delta X_{\text{MAX}} - \Delta X_{\text{MIN}})}$$

式中: ΔX ——调节器输出电流的变化量,单位 mA。

X_{MAX} ——调节器输出电流的上限值,单位 mA。

X_{MIN} ——调节器输出电流的下限值、mA。

ΔY ——液位的变化量,单位 mm。

Y_{MAX} ——液位的上限值,单位 mm。

Y_{MIN} ——液位的下限值,单位 mm。

例 1 实验中调节器输出电流由 8 mA 增加到 12 mA,液位增高 0.4 mm,求放大系数 K 。

$$\Delta X = 12 - 8 = 4 \text{ mA}$$

$$\Delta X / (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) = 4 / (20 - 4) = 0.25$$

$$\Delta Y / (Y_{\text{MAX}} - Y_{\text{MIN}}) = 0.4$$

则

$$K = 0.4 / 0.25 = 1.6$$

上述公式只适用于自衡过程。对于非自衡过程,其传递函数应含有一个积分环节。对于液位控制系统,液位对象是自衡对象,单独的水箱是一阶对象,上水箱与下中水箱可以组成二阶对象。

实验一(1) 基于调节器控制的上水箱特性测试

一、实验目的

1. 熟悉实验系统。
2. 掌握调节器的功能及操作方法。
3. 掌握一阶对象特性的测量思路及方法。
4. 掌握一阶对象模型参数的求取方法。

二、实验设备

水泵 1、变频器、压力变送器、调节器(708 型用于恒压控制)、主回路调节阀、上水箱、上水箱液位变送器、调节器(818 型)、电流表(图 1-1)。

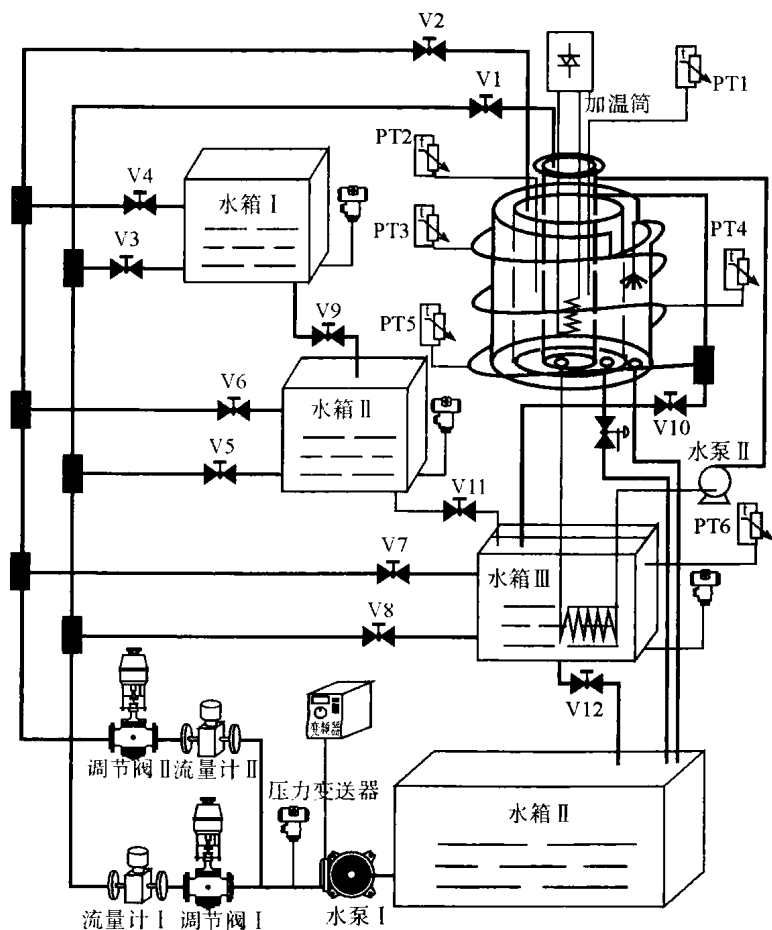


图 1-1 过程控制对象管路图

三、实验说明及操作步骤

1. 认识实验系统,了解本实验系统中各仪表的名称、基本原理以及功能,掌握其正确的接线与使用方法,以便于在实验中正确、熟练地操作仪表读取数据。熟悉实验装置面板图,做到根据面板上仪表的图形、文字符号找到该仪表。熟悉系统构成和管道的结构,认清电磁阀和手动阀的位置及其作用。

本实验采用调节器手动输出控制调节阀,流程图如图 1-2 所示。

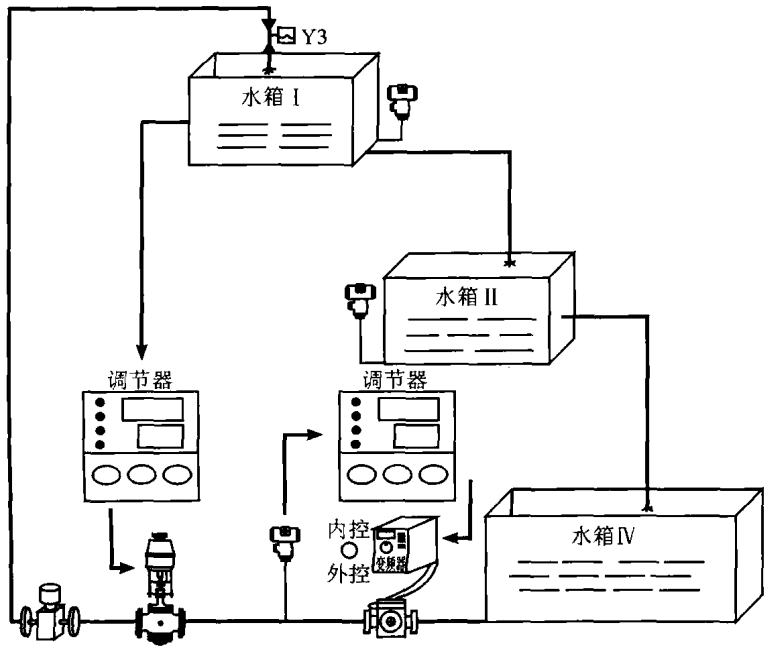


图 1-2 上水箱特性测试(调节器控制)流程



图 1-3-a 上水箱特性测试(调节器控制)系统框图

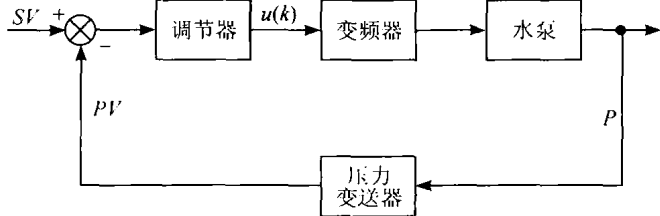


图 1-3-b 恒压供水(调节器控制)系统框图

- 2. 将上水箱特性测试(调节器控制)实验所用的设备,参照流程图(图 1-3-a)和系统框图(图 1-3-b)接线。
- 3. 确认接线无误后,接通电源,打开电磁阀 V3,V9,并将中水箱排水阀打开。
- 4. 设置调节器参数(818 型),使用手动输出功能。(注意:更改调节器参数时,严禁用指甲按调节器面板,为防止损坏面板上的按钮,应用手指均匀用力)按调节器的增/减键改变输出

值,使上水箱的液位处于某一平衡位置,记下此时手动输出值。

- 5. 按调节器的增/减键增加调节器手动输出,给系统输入幅值适宜的阶跃信号(阶跃信号在5%~15%之间),使系统的输出产生变化,在液位较高处达到新的平衡状态。
- 6. 手动记录上水箱液位的阶跃响应曲线,见表 1-1。
- 7. 调节器的手动输出回到原来的输出值,记录液位下降的曲线,见表 1-1。
- 8. 重复步骤 5—7,多次记录数据。
- 9. 曲线的分析处理,对实验的记录曲线分别进行分析和处理,处理结果记录于表格 1-2。

表 1-1 阶跃响应曲线数据记录表

PV \ SV		t / s					
测量情况	正向输入值 1						
	正向输入值 2						
	正向输入平均						
	反向输入值 1						
	反向输入值 2						
	反向输入平均						

表 1-2 阶跃响应曲线数据处理记录表

测量情况	参 数 值	液位		
		K	T	τ
正向输入				
反向输入				
平均值				

四、注意事项

- (1)本实验要求为恒压系统,其连线可参见“第二篇 实验一(1)基于调节器的压力单闭环控制系统”。
- (2)本实验为开环控制系统。

五、实验报告

- 根据试验结果编写实验报告,并计算出 K 、 T 、 τ 的平均值,写出系统的广义传递函数(等效成惯性环节, K 为静态增益, T 为时间常数, τ 为延迟时间)。
- 回答下面问题:
- (1)上述测定的对象特性包括哪几部分?
 - (2)简述测试对象特性思路。