

# 《工业自动化仪表与过程控制》 实验指导书

授课学时：8 课时

授课班级：芙蓉自动化 0901、0902

授课学期：2012 年上学期

授课教师：敖章洪

# 工业自动化仪表与过程控制实验项目一览表

序号	实验项目	实验学时	实验类型	实验要求
1	实验装置的基本操作与仪表调试	2	验证	必做
2	单容/双容水箱对象特性的测试	2	验证	必做
3	单容/双容水箱液位 PID 控制系统	2	验证	必做
4	液位串级控制系统的设计与研究	2	综合	限选
5	PLC 单容/双容水箱液位PID 控制系统	2	综合	(2 选 1)

实验参考书:

1. TKGK-1 型操作说明书. 实验指导书

# 实验一 实验装置的基本操作与仪表调试

实验学时：2 学时

实验类型：验证

实验要求：必做

## 一、实验目的

- 1)、了解本实验装置的结构与组成。
- 2)、掌握液位、压力传感器的使用方法。
- 3)、掌握实验装置的基本操作与变送器仪表的调整方法。

## 二、实验设备

1) TKGK-1 型过程控制实验装置：

交流变频器 GK-07-2

直流调速器 GK-06

PID 调节器 GK-04

2) 万用表

## 三、实验装置的结构框图

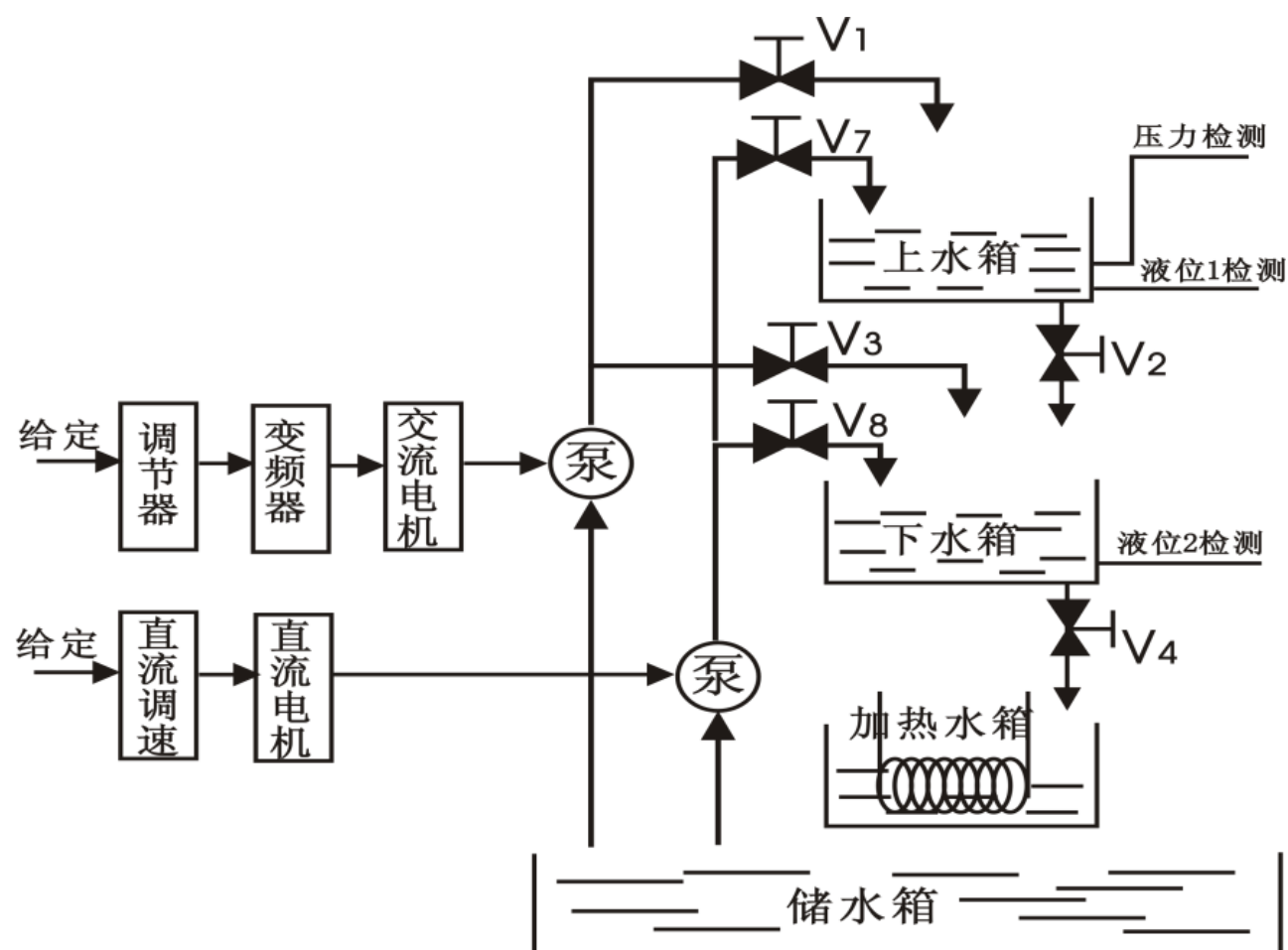


图 1-1、液位、压力、流量控制系统的结构框图

## 四、实验内容

1、设备组装与检查：

- 1)、将 GK-07-2、GK-06、GK-04 挂件由左至右依次挂于实验屏上。并将挂件的三芯蓝插头插于相应的插座中。

- 2)、检查挂件的电源开关是否关闭。
- 3)、用万用表检查挂件的电源保险丝是否完好。

## 2、系统接线

1)、直流部分：将一台 GK04 的 PID 调节器的自动/手动切换开关拨到“手动”位置，并将其“输出”接 GK06 的控制电压“输入”；GK06 的“电枢电压”和“励磁电压”输出端分别接 GK01 的直流他励电动机的“电枢电压”和“励磁电压”输入端。

2)、交流部分：将另一台 GK04 的 PID 调节器的自动/手动切换开关拨到“手动”位置，并将其“输出”端接 GK-07-2 变频器的“2”与“5”接线端；将 GK-07-2 变频器的输出“A、B、C”接 GK-01 上三相异步电机的“A、B、C”输入端；将三相异步电机接成三角形，即“A”接“Z”、“B”接“X”、“C”接“Y”；GK-07-2 的“SD”接“STR”使电机正转打水，（若此时电机为反转则“SD”接“STF”）。

## 3、启动实验装置：

- 1)、将实验装置电源插头接到 $\sim 220V$ 市电电源。
- 2)、打开电源空气开关与电源总钥匙开关。
- 3)、按下电源控制屏上的启动按钮，即可开启电源，交流电压表指示 220V。

## 4、仪表调整：（仪表的零位与增益调节）

在 GK-02 装置结构展示屏的左侧，有五组传感器检测信号输出：LT1、PT、LT2、FT、TT（输出标准信号 DC0~5V），它们旁边分别设有数字显示器，以显示相应的输出值。在 LT1、PT、LT2 数字显示器的右边各有二个电位器，可通过这些电位器调整相应传感器的零位和增益，在每次实验进行之前，必须作好这些准备工作。

调试步骤如下：

1)、将三根  $\phi 6$  的橡皮导气管（约 0.6m 长）的一端分别竖直地插入上、下水箱底部（上水箱两根，下水箱一根），再将它们的另一端接到三个差压传感器（MPX2010DP）的正压室。

2)、打开阀 1、阀 3，关闭阀 7、阀 8，（或者打开阀 7、阀 8，关闭阀 1、阀 3）关闭阀 2、阀 4、阀 5、阀 6，然后开启变频器（或直流调速器），启动一个齿轮泵，给上、下水箱供水，使其液面均上升至 10cm 高度，关闭变频器（或直流调速器）。

3)、将各增益调节电位器置于中间位置，然后调节零位调节电位器，使 LT1 两端的输出电压为 3.33V（显示器显示 10.00），LT2 两端的输出电压为 3.33V（显示器显示 10.00），PT 两端的输出电压为 3.33V（显示器显示 980）。

## 4)、零位调节

- a、打开阀 2、阀 4，排空上、下水箱中的水，关闭阀 2、阀 4。
- b、调节“零位调节”电位器，使 LT1、LT2 和 PT 输出为零伏，显示器显示为 00.00cm。注：稳定几分钟后进入下一步。

## 5)、开始增益调节：

- a、启动齿轮泵，使上、下水箱水位上升至于 10cm 高度，然后再关闭齿轮泵。
- b、调节“增益调节”电位器，使 LT1、LT2 显示器显示 10.00cm，Pa 显示器显示 980Pa。

6)、重复实验步骤 4、5，反复调整零位和增益，使上、下水箱水位为零时，LT1、LT2、PT 输出都为 0V（显示器显示 00.00）；上、下水箱水位上升至于 10cm 高度时，LT1 两端的输出电压为 3.33V（显示器显示 10.00），LT2 两端的输出电压为 3.33V（显示器显示 10.00），PT 两端的输出电压为 3.33V（显示器显示 980）。

## 实验二 单容/双容水箱对象特性的测试

实验学时：2 学时

实验类型：验证

实验要求：必做

### 一、实验目的

- 1)、了解单/双容水箱的自衡特性。
- 2)、掌握单容/双容水箱的数学模型及其阶跃响应曲线。
- 3)、由实测单容/双容水箱液位的阶跃响应曲线，用相关的方法分别确定它们的参数。

### 二、实验设备

- 1)、TKGK-1 型过程控制实验装置：  
PID 调节器：GK-04  
变频器：GK-07-2
- 2)、万用表一只
- 3)、计算机一台

### 三、实验原理

阶跃响应测试法是系统在开环运行状况下，待工况稳定后，通过调节器手动改变对象的输入信号（阶跃信号）。同时，记录对象的输出数据和阶跃响应曲线，然后根据给定对象模型的结构形式，对实验数据进行合理的处理，确定模型中的相关参数。

图解法是确定模型参数的一种实用方法，不同的模型结构，有不同的图解方法。

#### （一）、单容水箱

其数学模型可用一阶惯性环节来近似描述，且用下述方法求取对象的特征参数。

单容水箱液位开环控制结构图如图3-1所示：

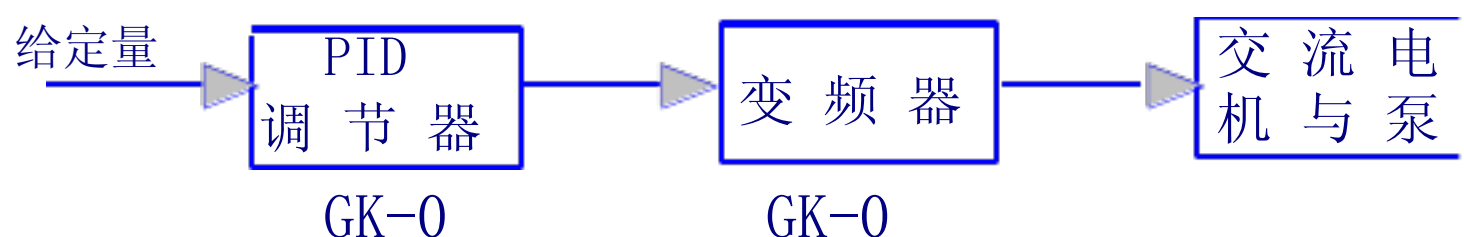


图 3-1、单容水箱液位开环控制结构图

设水箱的进水量为  $Q_1$ ，出水量为  $Q_2$ ，水箱的液面高度为  $h$ ，出水阀  $V_2$  固定于某一开度值。根据物料动态平衡的关系，求得：

$$R_2 * C * \frac{d h}{dt} = R_2 * Q$$

在零初始条件下，对上式求拉氏变换，得：

式中， $T=R_2 * C$  为水箱的时间常数（注意：阀  $V_2$  的开度大小会影响到水箱的时间常数）， $K=R_2$  为过程的放大倍数，也是阀  $V_2$  的液阻， $C$  为水箱的底面积。令输入流量  $Q_1 (S) = R_0 / S$ ， $R_0$  为常量，则输出液位的高度为：

$$G(s) = \frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{R_2}{R_2 * C * S + 1} = \frac{K}{T * S + 1} \quad 3-1$$

$$H(S) = \frac{KR_0}{S(TS + 1)} = \frac{KR_0}{S} - \frac{KR_0}{S + 1/T} \quad 3-2$$

$$\text{即} \quad h(t) = KR_0 (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad 3-3$$

当  $t \rightarrow \infty$  时， $h(\infty) = KR_0$  因而有

$$K = \frac{h(\infty)}{R_0} = \frac{\text{输出稳态值}}{\text{阶跃输入}}$$

当  $t = T$  时，则有：

$$h(T) = KR_0 (1 - e^{-1}) = 0.632KR_0 = 0.632h(\infty) \quad 3-4$$

式 (3-3) 表示一阶惯性环节的响应曲线是一单调上升的指数函数，如图 3-2 所示。由式 (3-4) 可知该曲线上升到稳态值的 63.2% 所对应的时间，就是水箱的时间常数  $T$ 。该时间常数  $T$  也可以通过坐标原点对响应曲线作切线，此切线与稳态值的交点所对应的时间就是时间常数  $T$ ，

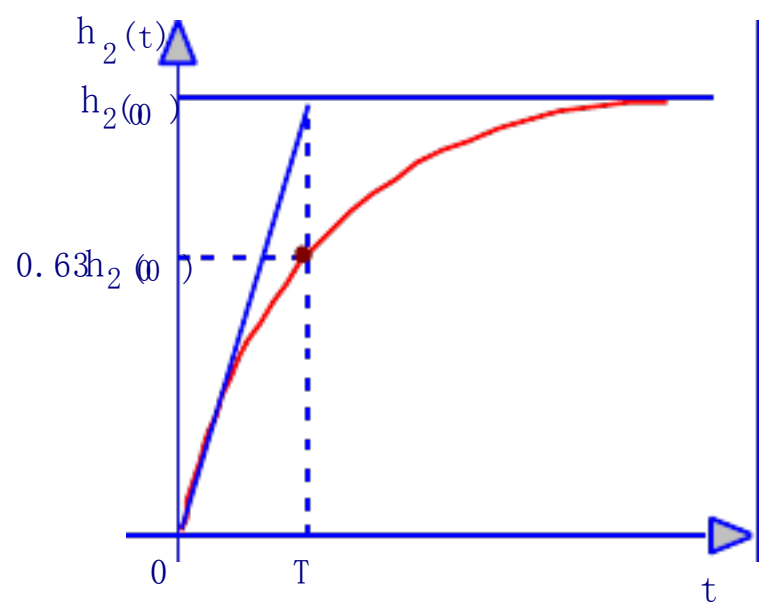


图 3-2 阶跃响应曲线

其理论依据是：

$$\left. \frac{dh(t)}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{KR_0}{T} e^{-\frac{t}{T}} \right|_{t=0} = \frac{KR_0}{T} = \frac{h(\infty)}{T} \quad (3-4)$$

上式表示  $h(t)$  若以在 origin 时的速度  $h(\infty) / T$  恒速变化，即只要花  $T$  秒时间就可达到稳态值  $h(\infty)$ 。

式 (3-2) 中的  $K$  值由下式求取：

$$K = h(\infty) / R_0 = \text{输入稳态值} / \text{阶跃输入}$$

(二)、双容水箱

双容水箱液位控制结构图如图 3-3 所示：

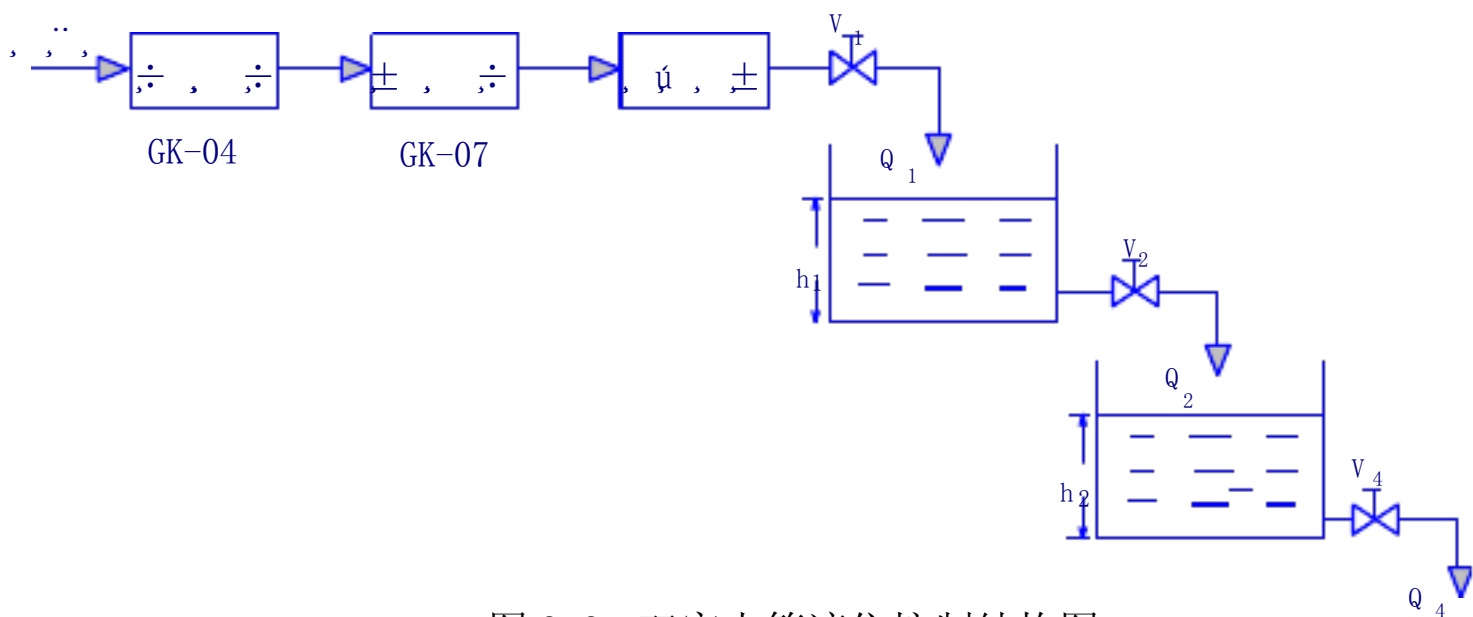


图 3-3、双容水箱液位控制结构图

设流量  $Q_1$  为双容水箱的输入量，下水箱的液位高度  $H_2$  为输出量，根据物料动态平衡关系，并考虑到液体传输过程中的时延，其传递函数为

$$\frac{H_2(S)}{Q_1(S)} = G(S) = \frac{K}{(T_1 * S + 1)(T_2 * S + 1)} * e^{-s} \quad (3-5)$$

式中  $K=R_4$ ， $T_1=R_2C_1$ ， $T_2=R_4C_2$ ， $R_2$ 、 $R_4$  分别为阀  $V_2$  和  $V_4$  的液阻， $C_1$  和  $C_2$  分别为上水箱和下水箱的容量系数。式中的  $K$ 、 $T_1$  和  $T_2$  可由实验求得的阶跃响应曲线求出。具体的做法是在图 3-4 所示的阶跃响应曲线上取：

- 1)、 $h_2(t)$  稳态值的渐近线  $h_2(\infty)$ ;
- 2)、 $h_2(t) |_{t=t_1} = 0.4 h_2(\infty)$  时曲线上的点 A 和对应的时间  $t_1$ ;
- 3)、 $h_2(t) |_{t=t_2} = 0.8 h_2(\infty)$  时曲线上的点 B 和对应的时间  $t_2$ 。

然后，利用下面的近似公式计算式 3-5 中的参数  $K$ 、 $T_1$  和  $T_2$ 。其中：

$$K = \frac{h_2(\infty)}{R_0} \quad \text{输入稳态值} / \text{阶跃输入量}$$

$$4)、 \quad T_1 \quad T_2 = \frac{t_1 \quad t_2}{2.16}$$

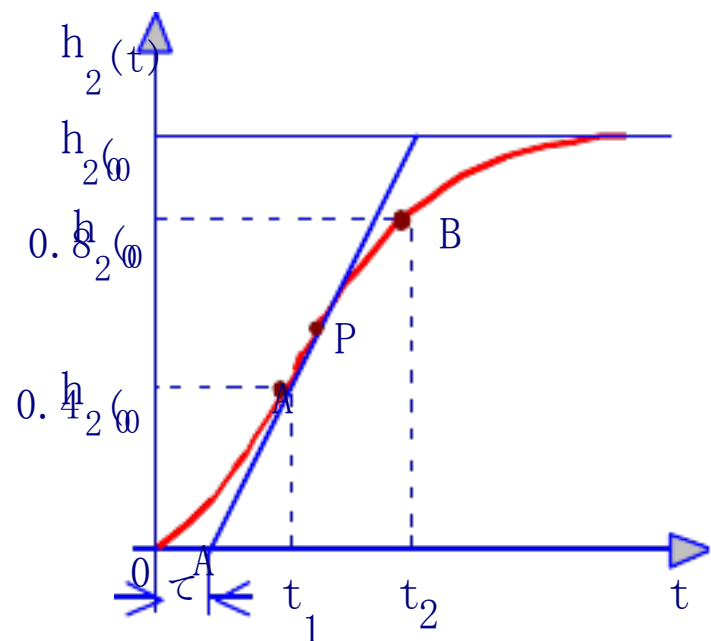


图 3-4、阶跃响应曲线

对于式 (3-5) 所示的二阶过程， $0.32 < t_1/t_2 < 0.46$ 。当  $t_1/t_2 = 0.32$  时，为一阶环节；当  $t_1/t_2 = 0.46$  时，过程的传递函数  $G(S) = K/(TS+1)^2$  (此时  $T_1 = T_2 = T = (t_1 + t_2)/2 * 2.18$ ) 过曲线的拐点做一条切线，它与横轴交于 A 点，OA 即为滞后时间常数  $\tau$ 。

$$5)、 \quad \frac{T_1 T_2}{(T_1 + T_2)^2} = (1.74 \frac{t_1}{t_2} - 0.55)$$

#### 四、实验内容与步骤

- 1)、对上、下水箱液位传感器进行零点与增益的调整。
- 2)、按照图 3-1 的结构框图，完成系统的接线（接线参照实验 1），并把 PID

调节器的“手动/自动”开关置于“手动”位置，此时系统处于开环状态。

3)、将单片机控制屏 GK-03 的输入信号端“LT1、LT2”分别接 GK-02 的传感器输出端“LT1、LT2”；用配套通讯线将 GK-03 的“串行通信口”与计算机的 COM1 连接；启动单片机控制屏 GK-03，用单片机控制屏 GK-03 的键盘设置回路 1 和回路 3 的采样时间  $S_t=2$ ，标尺上限  $CH=150$ （详见本书第一部分单片机控制屏 GK-03《使用说明》第 10 页）；然后用上位机控制监控软件对液位进行监视并记录过程曲线。

4)、利用 PID 调节器的手动旋钮调节输出，将被控参数液位控制在 4cm 左右。

5)、观察系统的被调量——水箱的水位是否趋于平衡状态。若已平衡，记录此时调节器手动输出值  $V_0$  以及水箱水位的高度  $h_1$  和显示仪表 LT1 的读数并填入下表。

变频器输出频率 $f$	手动输出 $V_0$	水箱水位高度 $h_1$	LT1 显示值
$H_z$	v	cm	cm

6)、迅速增调“手动调节”电位器，使 PID 的输出突加 10%，利用上位机监控软件记下由此引起的阶跃响应的过程曲线，并根据所得曲线填写下表。

t (s)																			
水箱水位 $h_1$ (cm)																			
LT1 读数 (cm)																			

等到进入新的平衡状态后，再记录测量数据，并填入下表：

变频器输出频率 $f$	PID 输出 $V_0$	水箱水位高度 $h_1$	LT1 显示值
$H_z$	v	cm	cm

7)、将“手动调节”电位器回调到步骤 5) 前的位置，再用秒表和数字表记录由此引起的阶跃响应过程参数与曲线。填入下表：

t (s)																			
水箱水位 $h_1$ (cm)																			
LT1 读数 (cm)																			

8)、重复上述实验步骤。

9)、上述实验步骤同样适用于双容水箱的下水箱液位  $h_2$  的控制，系统的结构框图如图 3-3 所示，实验步骤自拟。

## 五、注意事项

1)、做本实验过程中，阀  $V_1$  和  $V_2$  不得任意改变开度大小；且阀 2 开度必须大于阀 4 的开度，以保证实验效果。

2)、阶跃信号不能取得太大，以免影响系统正常运行；但也不能过小，以防止对象特性的不真实性。一般阶跃信号取正常输入信号的 5%~15%。



- 3)、在输入阶跃信号前，过程必须处于平衡状态。
- 4)、在老师的帮助下，启动计算机系统和单片机控制屏。

## 六、实验报告要求

- 1)、作出一阶和二阶环节的阶跃响应曲线。
- 2)、根据实验原理中所述的方法，求出一阶和二阶环节的相关参数。

## 七、思考题

- 1)、在做本实验时，为什么不能任意变化阀  $V_1$  或  $V_2$  的开度大小？
- 2)、用两点法和用切线对同一对象进行参数测试，它们各有什么特点？

## 实验三 单容/双容水箱液位 PID 控制系统

实验学时：2 学时

实验类型：验证

实验要求：必做

### 一、实验目的

- 1)、通过实验熟悉单回路反馈控制系统的组成和工作原理。
- 2)、研究系统分别用 P、PI 和 PID 调节器时的阶跃响应。
- 3)、研究系统分别用 P、PI 和 PID 调节器时的抗扰动作用。
- 4)、定性分析 P、PI 和 PID 调节器的参数变化对系统性能的影响。
- 5)、掌握临界比例度法整定调节器的参数。
- 6)、掌握 4:1 衰减曲线法整定调节器的参数。

### 二、实验设备

- 1)、THGK-1 型过程控制实验装置：  
GK-03、GK-04 GK-06 GK-07-2
- 2)、万用表一只
- 3)、秒表一只
- 4)、计算机系统

### 三、实验原理

#### 1、单容水箱液位控制系统

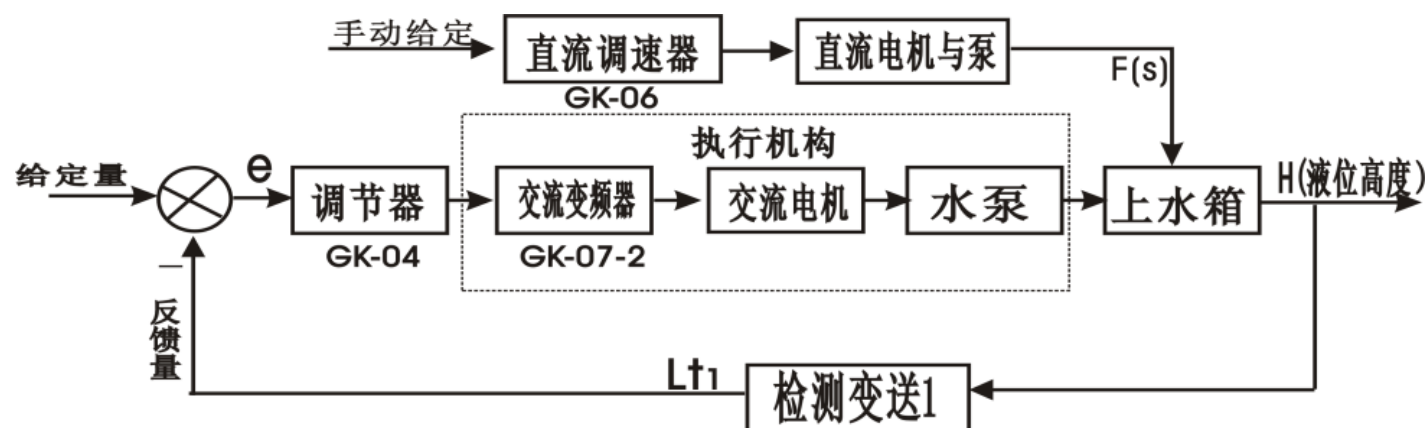


图 6-1、单容水箱液位控制系统的方块图

图 6-1 为单容水箱液位控制系统。这是一个单回路反馈控制系统，它的控制任务是使水箱液位等于给定值所要求的高度；减小或消除来自系统内部或外部扰动的影响。单回路控制系统由于结构简单、投资省、操作方便、且能满足一般生产过程的要求，故它在过程控制中得到广泛地应用。

当一个单回路系统设计安装就绪之后，控制质量的好坏与控制器参数的选择有着很大的关系。合适的控制参数，可以带来满意的控制效果。反之，控制器参数选择不合适，则会导致控制质量变坏，甚至使系统不能正常工作。因此，当一个单回路系统组成以后，如何整定好控制器的参数是一个很重要的实际问题。一个控制系统设计好

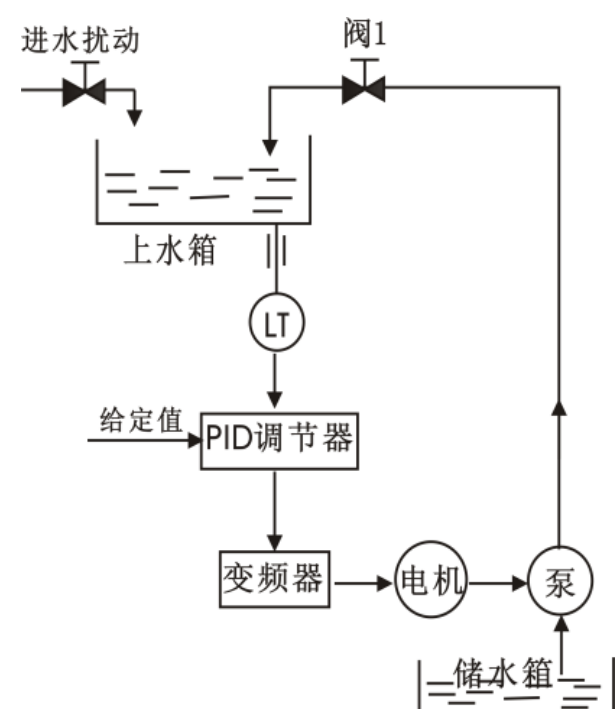


图 6-2 单容液位控制系统结构图

以后，系统的投运和参数整定是十分重要的工作。系统由原来的手动操作切换到自动操作时，必须为无扰动，这就要求调节器的输出量能及时地跟踪手动的输出值，并且在切换时应使测量值与给定值无偏差存在。

一般言之，用比例（P）调节器的系统是一个有差系统，比例度  $\delta$  的大小不仅会影响到余差的大小，而且也与系统的动态性能密切相关。比例积分（PI）调节器，由于积分的作用，不仅能实现系统无余差，而且只要参数  $\delta$ ， $T_i$  选择合理，也能使系统具有良好的动态性能。比例积分微分（PID）调节器是在 PI 调节器的基础上再引入微分 D 的作用，从而使系统既无余差存在，又能改善系统的动态性能（快速性、稳定性等）。在单位阶跃作用下，P、PI、PID 调节系统的阶跃响应分别如图 6-3 中的曲线①、②、③所示。

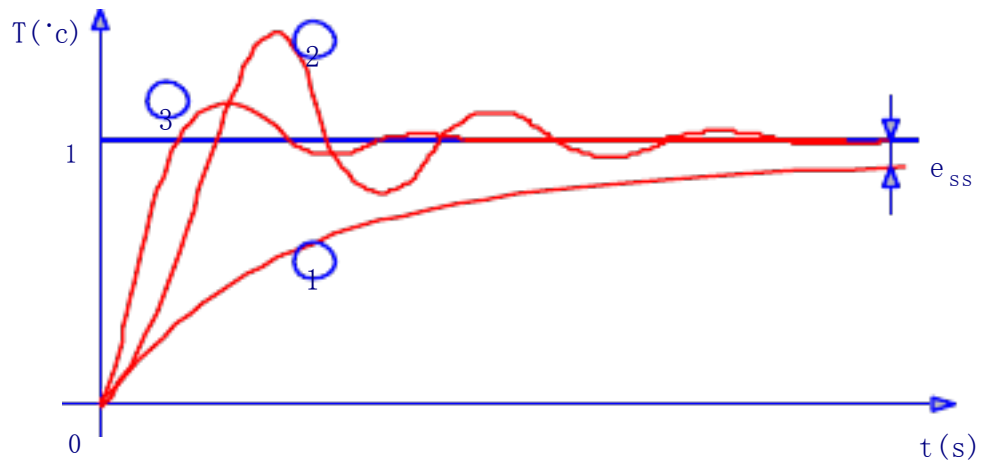


图 6-3、P、PI 和 PID 调节的阶跃响应曲线

## 2、双容水箱液位控制系统

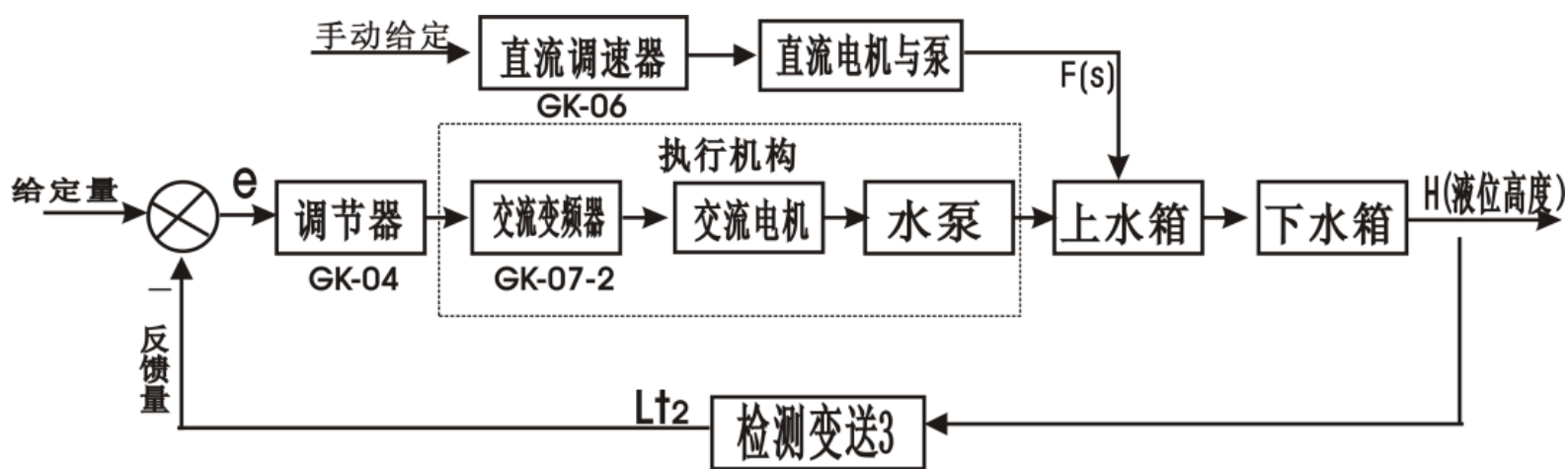


图 7-1、双容水箱液位控制系统的方框图

图 7-1 为双容水箱液位控制系统。这是一个单回路控制系统，有两个水箱相串联，控制的目的是既要使下水箱的液位高度等于给定值所期望的值，又要具有减少或消除来自系统内部或外部扰动的影响。显然，这种反馈控制系统的性能主要取决于调节器 GK-04 的结构和参数的合理选择。由于双容水箱的数学模型是二阶的，故它的稳定性不如单容液位控制系统。

对于阶跃输入(包括阶跃扰动)，这种系统用比例(P)调节器去控制，系统有余差，且与比例度近似成正比，若用比例积分（PI）调节器去控制，不仅可实现无余差，而且只要调节器的参数  $\delta$  和  $T_i$  选择的合理，也能使系统具有良好的动态性能。比例积分微分（PID）调节器是在 PI 调节器的基础上再引入微分 D 的控制作用，从而使系统既无余差存在，又使其动态性能得到进一步改善。

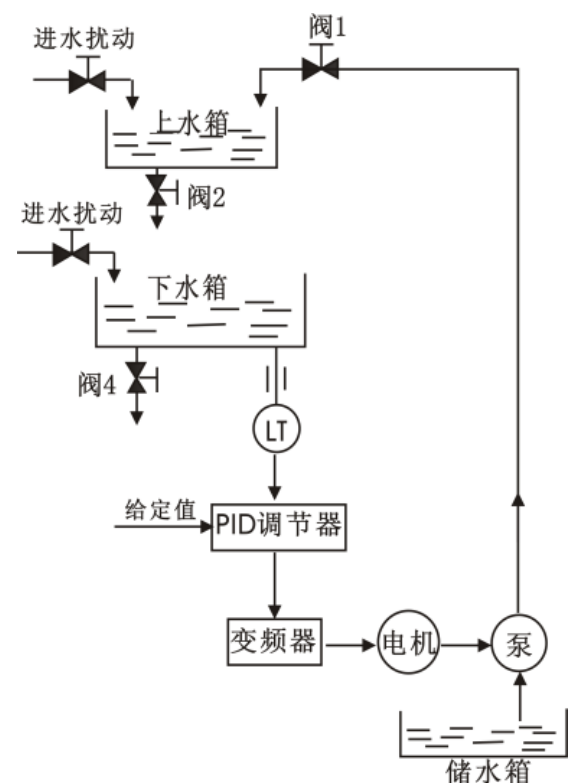


图 7-2 双容水箱液位控制系统结构图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/475213324133012011>