

哈尔滨理工大学

实 验 报 告

实验课程名称 过程控制

实验场所名称 过程控制实验室

实验场所代码 155107J

实验室房间号 B401-402

姓名班级学号

指导教师姓名 岳中哲

实验总评成绩

实 验 日 期

实验成绩评定

(1) 出勤情况 (缺勤 1 / 3 次无实验成绩)

实验序号	1	2	3					
出勤情况								

注: √ 出勤, ○ 事假, × 缺勤, ▽ 其它。

(2) 预习情况

实验序号	1	2	3					
预习分值								

(3) 实验过程情况

实验序号	1	2	3					
实验分值								

实验室安全管理个人注意事项

1. 进入实验室工作、实验和研究人员必须进行实验室安全承诺，务必遵守学校及实验室各项规章制度和仪器设备操作规程。

2. 熟悉紧急情况下的逃离路线和紧急应对措施，清楚急救箱、灭火器材、紧急洗眼装置和冲淋器的位置。

3. 进行实验操作时，在做好个人防护的同时，要根据实验风险需要选择合适的实验个体防护用品。使用前应确认其使用范围、有效期及完好性等，熟悉其使用、维护和保养方法。

不得在实验室吸烟、饮食、储存食品、饮料等个人生活物品；不得做与实验、研究无关的事情。

4. 触电事故特点：

4.1 被电击会导致人身伤害，甚至死亡；

4.2 短路有可能导致爆炸和火灾；

4.3 电弧或火花会点燃物品或者引燃具有爆炸性的物料；

4.4 冒失地开启或操作仪器设备可能导致仪器设备的损坏，使身体受伤；

4.5 电器过载会令其损坏、短路或燃烧。

5. 触电事故的预防：

5.1 检查电线、插座和插头，一旦发现损坏要立即更换。

5.2 仪器设备开机前要先熟悉该仪器设备的操作规程，确认状态完好后方可接通电源

5.3 当手、脚或身体沾湿或站在潮湿的地上时，切勿启动电源开关或接触电器用具。

6. 触电事故应急措施：

6.1 使触电者脱离电源：应立即切断电源，可以采用关闭电源开关，用干燥木棍挑开电线或拉下电闸。救护人员注意穿上绝缘靴或站在干燥木板上，尽快使伤员脱离电源。

6.2 检查伤员：触电者脱离电源后，应迅速将其移到通风干燥的地方仰卧，并立即检查伤员情况。

6.3 急救并求医：根据受伤情况确定处理方法，对心跳、呼吸停止的，立即就地采用人工心肺复苏方法抢救，并及时拨打 120 急救电话。应坚持不懈地做心肺复苏，直到医生到达。

上述注意事项请仔细阅读后签字确认！

参加实验人员：_____（签名）

日 期： 年 月 日

实验一 一阶液位对象特性实验

一、实验过程记录

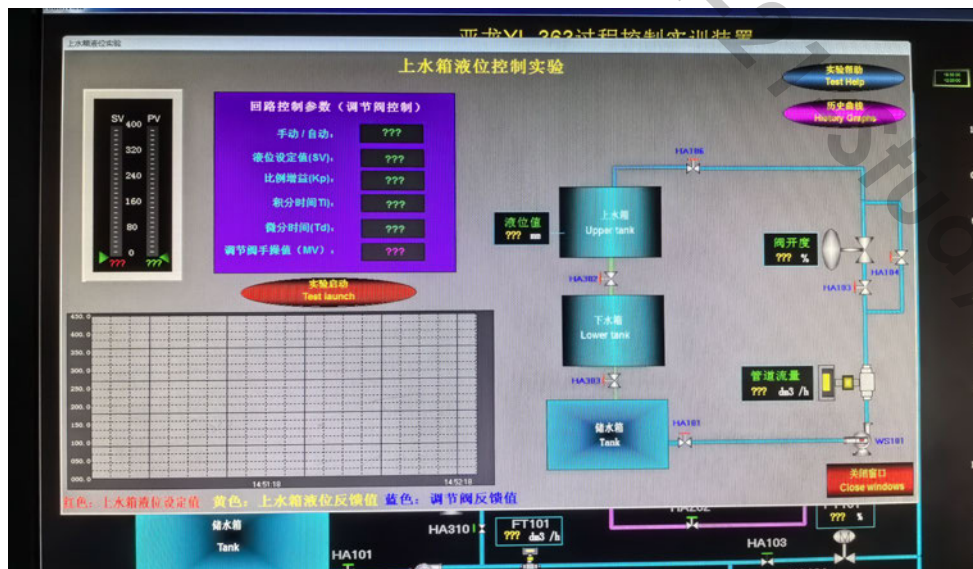
实验名称	实验一 一阶液位对象特性实验				
课程目标	<p>通过水箱液位实验及其计算机辅助设计，使学生巩固并加深理解课堂所学基本理论知识，培养学生分析问题及解决问题的能力。具体安排如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 通过实验教学，使学生进一步了解和掌握过程对象与调节阀特性建模的基本方法及其液位数据采集与输出控制的技术手段； 2. 学习和掌握分析设计过程控制系统的各种仿真方法； 3. 提高应用计算机的能力和水平； 4. 进行实验技能的基本训练，提高学生分析问题和解决问题的能力，培养理论联系实际的学风和实事求是的科学态度，并获得科学研究的初步训练。 				
分值		实验类型	验证	实验项目编号	
实验学时	2	实验时间		实验地点	B401

二、预习内容

1 实验目的：

- 通过实验掌握对象特性的测试方法及注意问题。
- 掌握实验曲线的数据处理方法及系统组成。

2 实验流程图：



一阶液位对象特性测试实验流程图

三、实验内容：

1 实验方法及步骤：

- ①准备工作：确保储水箱中储足够的水量。打开阀门 HA101、HA103、HA104、HA309 和 HA303。调整上水箱出水阀门 HA302 至适当开度（30%~80%）。关闭其余阀门。检查管路、阀门及接线，确保无误。
- ②接通电源：打开总电源开关，接通各仪表的电源。
- ③液位系统设置：将液位控制系统置于自动状态，设置合适的 PID 参数。调整水箱出水阀门 V3 至适当开度，设定液位给定值 $sp=100$ ，使液位系统自动运行，达到平衡状态。
- ④阶跃响应实验：将系统转换到手动状态。通过阶跃改变调节阀的输入信号 U_k ，使调节阀开度增加 5~10%。记录液位的阶跃响应曲线。
- ⑤数据处理：对实验得到的阶跃响应曲线进行分析。按照一定的数据处理方法，求取一阶液位系统的传递函数。
- ⑥传递函数的求取：从阶跃响应曲线中找到系统的初始液位 (L_0) 和最终稳定液位 (L_f)，计算系统的增益 K 。找到响应曲线中液位达到 $L_0 + 0.632 \times (L_f - L_0)$ 所需的时间 (t_τ)。这个时间 (t_τ) 即为系统的时间常数 τ 。根据计算得到的 K 和 τ ，写出系统的传递函数。

2 实验过程记录：

● 实验准备

- ①设备和仪表熟悉：了解并确认实验装置中所有设备的名称、作用及其所在位置。熟悉实验装置面板图，能够准确找到面板上每只仪表的实际位置。熟悉工艺管道结构及各手动阀门的位置及作用。
- ②储水箱准备：向储水箱中加注足够的水量。
- ③阀门状态设置：打开阀门 HA101、HA103、HA104、HA309 和 HA303。将上水箱出水阀门 HA302 开至适当开度（30%~80%）。关闭其余阀门。
- ④检查工作：检查管路、阀门及接线，确保无误后接通总电源开关，打开电源开关。

● 实验操作

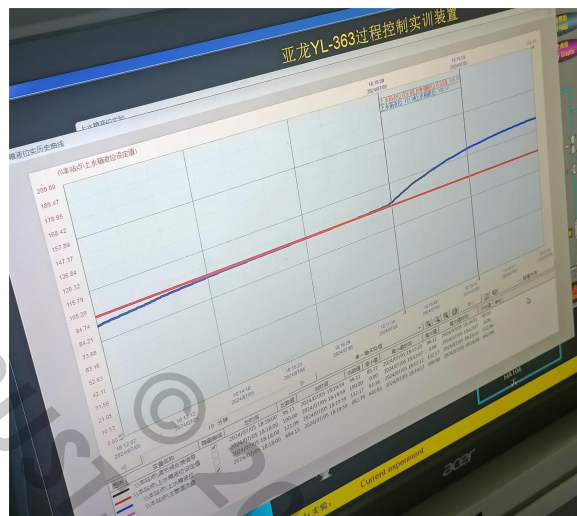
- ①接通电源：接通总电源及各仪表的电源。
- ②系统设置：将液位控制系统置于自动状态，设置合适的 PID 参数。调整水箱出水阀门 V3 至适当开度。将液位给定值设定为 $sp=100$ ，液位系统自动运行，达到平衡状态。
- ③阶跃响应实验：将系统转换到手动状态。阶跃改变调节阀的输入信号 U_k ，使调节阀开度增加 5~10%。记录液位的阶跃响应曲线，确保数据的完整性和准确性。

● 数据处理及分析

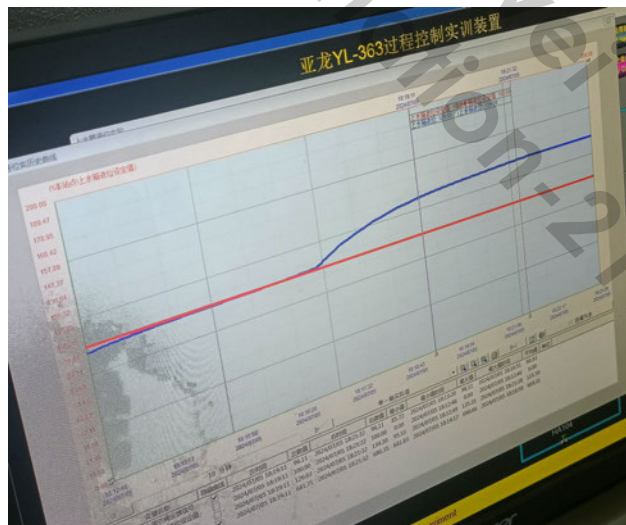
- ①数据记录：实验过程中，记录以下数据：初始液位 (L_0)，最终稳定液位 (L_f)，液位达到 $L_0 + 0.632 \times (L_f - L_0)$ 所需的时间 (t_τ)，保存并整理所有实验数据和响应曲线。
- ②传递函数求取：计算系统的增益 (K)、确定系统的时间常数 (τ)、写出系统的传递函数。

3 实验数据处理（数据、曲线、图表）：

- 确定增益 (K)、纯滞后时间(τ)、时间常数 T



实验1 阶跃响应曲线测量 τ



实验1 阶跃响应曲线测量 T

四、实验结果分析（实验误差、现象、分析）

● 实验现象

①液位响应变化：当调节阀的输入信号 U_k 发生阶跃变化时，水箱液位开始随之变化。液位逐渐上升，最终达到一个新的稳定状态。

②系统稳定性：液位系统在设定的 PID 参数下运行，表现出较好的稳定性。在自动状态下，液位保持在设定值附近波动，波动幅度较小。

③滞后现象：在阶跃变化发生后，液位没有立即响应，而是经过一段时间的延迟后才开始变化，表现出明显的滞后现象。

④时间常数和响应时间：液位达到新的稳定值前的响应时间和上升时间都较为明显，符合一阶系统的特性。

● 实验误差

①仪器误差：由于测量仪器的精度有限，测量液位和时间的读数可能存在一定的误差。

②操作误差：实验操作过程中，阀门开度的调整和数据记录的时间点可能存在人为误差。

③环境因素：实验环境中的温度、压力等外界因素的变化可能会影响实验结果。

④系统非线性：虽然假设系统为一阶线性系统，但实际系统可能存在一定的非线性特性，从而导致误差。

● 现象分析

①滞后现象：系统存在明显的滞后现象，表明在控制系统设计中需要考虑滞后时间对系统响应的影响。滞后时间越长，系统的响应速度越慢，调整时间也相应延长。

在实际控制系统中，可以通过增加前馈控制或增大 PID 控制器中的微分作用来减小滞后对系统的影响。

②时间常数和响应时间：时间常数 τ 表示系统达到最终稳定状态所需时间的 63.2%。实验中观测到的响应时间符合一阶系统的特性。

时间常数越大，系统的响应速度越慢，反应越迟缓。可以通过调整系统参数（如 PID 参数）来优化系统的响应时间。

③增益：系统的增益 K 反映了输入与输出之间的比例关系。实验结果表明系统的增益为 1.3684，表明输入变化对输出的影响较为明显。

增益过高或过低都会影响系统的稳定性和响应特性。通过调整系统参数，可以优化系统的增益，使其满足控制要求。

实验二 调节阀流量特性测试实验

一、实验过程记录

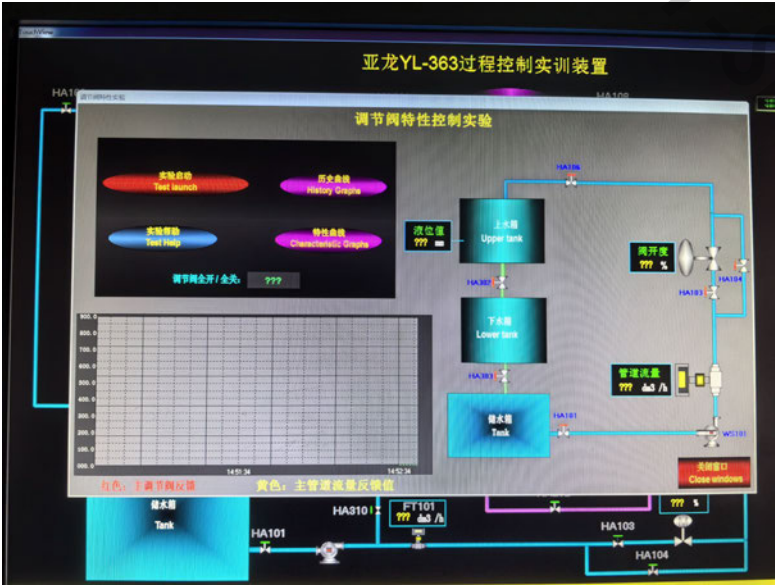
实验名称	实验二 调节阀流量特性测试实验				
课程目标	<p>通过水箱液位实验及其计算机辅助设计，使学生巩固并加深理解课堂所学基本理论知识，培养学生分析问题及解决问题的能力。具体安排如下：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 通过实验教学，使学生进一步了解和掌握过程对象与调节阀特性建模的基本方法及其液位数据采集与输出控制的技术手段；2. 学习和掌握分析设计过程控制系统的各种仿真方法；3. 提高应用计算机的能力和水平；4. 进行实验技能的基本训练，提高学生分析问题和解决问题的能力，培养理论联系实际的学风和实事求是的科学态度，并获得科学研究的初步训练。				
分值		实验类型	验证	实验项目编号	
实验学时	2	实验时间		实验地点	B401

二、预习内容（无预习内容不允许做本次实验）

1 实验目的：

- 掌握过程对象与调节阀特性建模的基本方法。
- 学习分析设计过程控制系统的仿真方法。
- 提高应用计算机的能力和水平。
- 掌握液位数据采集与输出控制的技术手段。

2 实验流程图：



调节阀流量特性测试实验流程图

三、实验内容：

1 实验方法及步骤：

● 实验方法

①恒定水压控制：使用调节装置，确保水压恒定在 0.5 kg/cm^2 (50 kPa)。确认水压稳定后，开始实验。

②输入信号控制与记录：通过信号调节器，逐步增加调节阀的输入信号 U_k 从 4 mA 到 20 mA 。

使用流量计和数据采集系统，自动记录每个输入信号值对应的流量。记录数据并绘制正向流量特性曲线。

③反向信号控制与记录：逐步减小调节阀的输入信号 U_k 从 20 mA 到 4 mA 。使用流量计和数据采集系统，自动记录每个输入信号值对应的流量。记录数据并绘制反向流量特性曲线。

④重复实验：改变阀前压力，重复正反向信号控制与记录步骤。确保每次实验的水压控制准确。

● 实验步骤

①水压控制：使用调压阀调节水压至 0.5 kg/cm^2 (50 kPa)，确保稳定。检查水压稳定性，确保实验过程中水压恒定。

②输入信号调节与记录：接通实验装置电源，确保所有仪表正常工作。使用信号调节器将调节阀的输入信号 U_k 从 4 mA (0) 逐步增加到 20 mA (1000)。自动记录每个输入信号 U_k 对应的流量值，绘制正向流量特性曲线。

③输入信号调节与记录（反向）：将调节阀的输入信号 U_k 从 20 mA (1000) 逐步减小到 4 mA (0)。自动记录每个输入信号 U_k 对应的流量值，绘制反向流量特性曲线。

④重复实验：在不同的阀前压力下（如 0.4 kg/cm^2 、 0.6 kg/cm^2 等），重复上述正反向输入信号调节与记录步骤。确保每次实验的水压控制准确，记录对应的流量特性曲线。

⑤数据处理：对实验过程中记录的数据进行整理和处理，分析调节阀的流量特性。绘制调节阀的流量特性曲线 $Q/Q_m=f(Q/L)$ ，比较正反向测试结果，分析可能的滞后和非对称现象。

● 实验注意事项

①确保水压稳定，避免因水压波动引起的数据误差。

②实验过程中，注意调节阀输入信号的变化幅度和速度，保证数据记录的准确性。

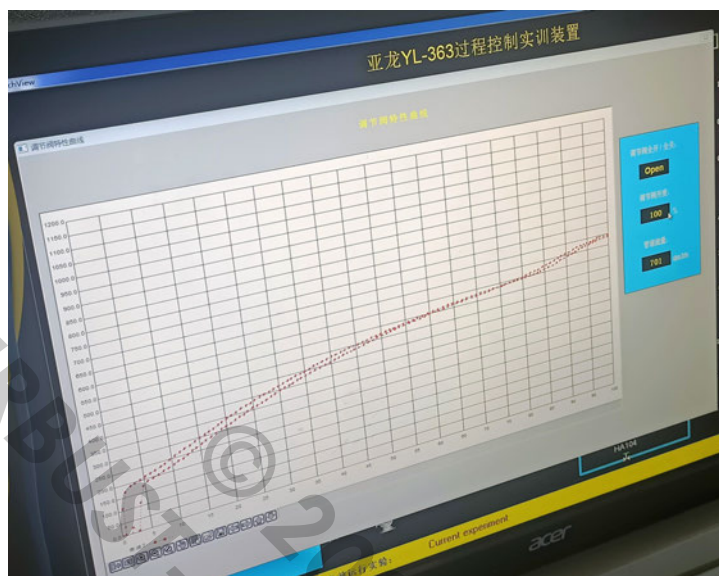
③重复实验时，确保每次实验的条件一致，以保证实验结果的可重复性和可靠性。

④实验结束后，关闭所有电源和阀门，整理实验设备和记录数据。

2 实验过程记录：

在进行调节阀流量特性测试实验时，我们首先进行了详细的设备准备和操作步骤，以确保实验的顺利进行和数据的准确记录。我们仔细检查了实验装置中的各项设备，包括调节阀、流量计、压力调节阀等。确认了它们的位置、名称和功能，并调整了上水箱出水阀门的开度，确保水流量在实验过程中能够保持在 30% 至 80% 之间。检查完毕后，我们接通了电源并确保所有仪表正常工作。

3 实验数据处理（数据、曲线、图表）：



调节阀流量特性曲线

四、实验结果分析（实验误差、现象、分析）

● 实验误差分析

①测量误差：流量计、压力计等测量设备的精度和灵敏度会影响实验数据的准确性。虽然我们尽可能使用精确的仪器，并在稳定的实验条件下进行测量，但仍需考虑到可能的测量误差对实验结果的影响。

②环境影响：温度变化、管道摩擦、流体性质变化等环境因素可能导致实验数据的波动。在实验过程中，我们努力保持环境条件的稳定，但仍需注意这些因素可能对结果产生的影响。

③操作误差：操作人员在调节阀开度、记录数据等过程中的操作技巧和人为误差也会影响实验结果的准确性。为了尽量减少这类误差，我们在实验前进行了充分的培训和操作指导。

● 实验现象观察与分析

①流量特性曲线形态：正向和反向实验的流量特性曲线通常表现为非线性，可能存在滞后和不对称现象。这反映了调节阀在不同输入信号条件下的动态响应特性。

②响应时间和稳定性：随着输入信号的增加或减小，流量的变化具有一定的响应时间，这反映了系统的惯性和时间常数。稳定性指标可以通过曲线的平稳性和波动情况来评估。

● 结果分析

①调节阀的动态特性：实验结果显示了调节阀在不同输入信号下的流量特性曲线，这对于理解调节阀在工业自动化控制中的实际应用具有重要意义。非线性和滞后现象提示了系统在调节和控制过程中的复杂性和挑战。

②改进和优化方向：针对实验中观察到的现象和分析结果，我们可以进一步优化实验方法，改进数据采集和分析的技术手段，以提高实验的精度和效率。

实验三 双容液位串级控制系统实验（计算机控制）

一、实验过程记录

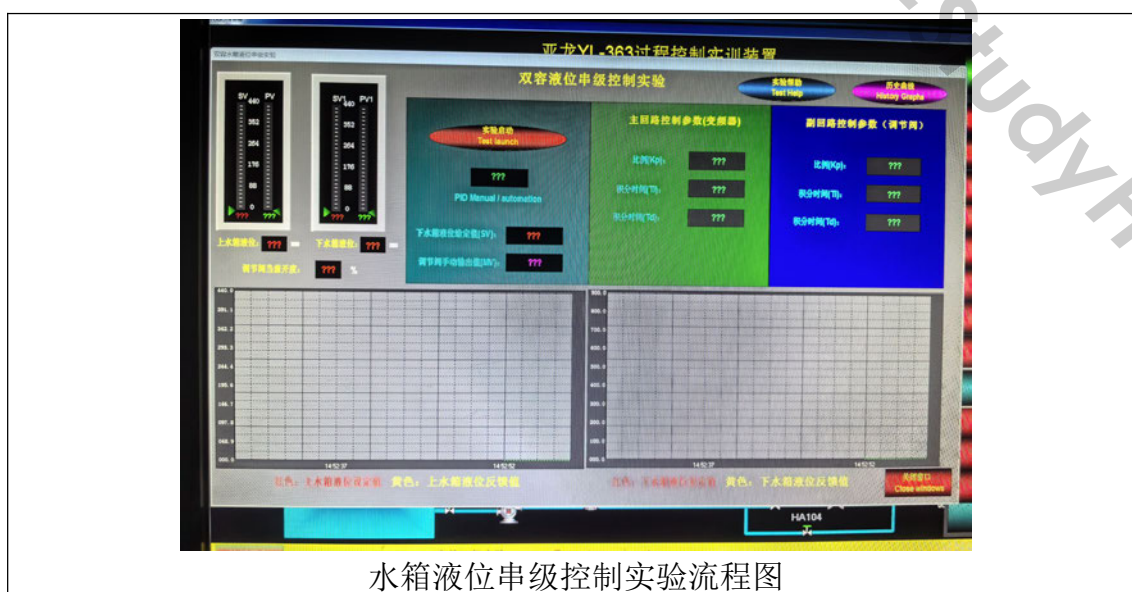
实验名称	实验三 双容液位串级控制系统实验（计算机控制）				
课程目标	<p>通过水箱液位实验及其计算机辅助设计，使学生巩固并加深理解课堂所学基本理论知识，培养学生分析问题及解决问题的能力。具体安排如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 通过实验教学，使学生进一步了解和掌握过程对象与调节阀特性建模的基本方法及其液位数据采集与输出控制的技术手段； 2. 学习和掌握分析设计过程控制系统的各种仿真方法； 3. 提高应用计算机的能力和水平； 4. 进行实验技能的基本训练，提高学生分析问题和解决问题的能力，培养理论联系实际的学风和实事求是的科学态度，并获得科学研究的初步训练。 				
分值		实验类型	综合	实验项目编号	
实验学时	2	实验时间		实验地点	B401

二、预习内容

1 实验目的：

- 掌握串级控制系统的基本概念
- 掌握串级控制系统的结构组成
- 掌握串级控制系统的特点
- 掌握串级控制主、副控制回路的选择
- 掌握串级控制系统参数整定

2 实验流程图：



三、实验内容：

1 实验方法及步骤：

● 选择串级控制系统的方案

根据实验要求和控制对象的特点，选择合适的串级控制系统方案。可以选择串级液位控制系统或串级流量控制系统。

①选择主被控参数和副被控参数：确定需要主要控制的变量（主被控参数）和辅助控制的变量（副被控参数）。例如，在液位控制系统中，主被控参数可以是水箱的液位，副被控参数可以是流入水箱的流量。

②选择主控制器和副控制器：根据控制对象的特点和控制要求，选择合适的主控制器和副控制器。通常，主控制器用于控制主被控参数，副控制器用于控制副被控参数。

③构建串级控制系统：将选择好的主控制器、副控制器及相应的传感器、执行器连接起来，形成完整的串级控制系统。确保主回路和副回路之间的信号传递和反馈通畅。

● 串级控制系统参数整定

①整定副回路的副控制器：在系统工作状况稳定、主控制器处于纯比例作用的条件下，将主控制器的比例带 δ 取 100%。逐渐降低副控制器的比例带，用整定单回路的方法整定副回路。使用 4: 1 衰减法整定副回路，求出副参数在 4: 1 衰减时的副控制器比例带 δ_{2S} 和操作周期 T_{2S} 。

②整定主回路的主控制器：将副控制器的比例带设定为 δ_{2S} 的数值。逐渐降低主控制器的比例带 δ_{1S} ，记录主控制器在相同衰减比时的过渡过程曲线，求出主控制器的比例带 δ_{1S} 和操作周期 T_{1S} 。

③计算控制器的整定参数：采用临界比例度法，根据求出的 δ_{1S} 、 T_{1S} 、 δ_{2S} 、 T_{2S} ，计算主、副控制器的整定参数。按照“先副后主、先比例次积分后微分”的原则，将计算得出的控制器参数设定到各控制器上。

④干扰实验和参数调整：引入干扰，观察过程参数值，调整参数直至记录曲线符合要求。

2 实验过程记录：

①设备检查与系统初始化

确认实验装置完好，各连接管路无泄漏。检查并确保所有阀门处于初始状态。打开总电源，接通各仪表和控制器的电源。在计算机控制界面上初始化控制系统，选择串级液位控制系统作为实验对象。

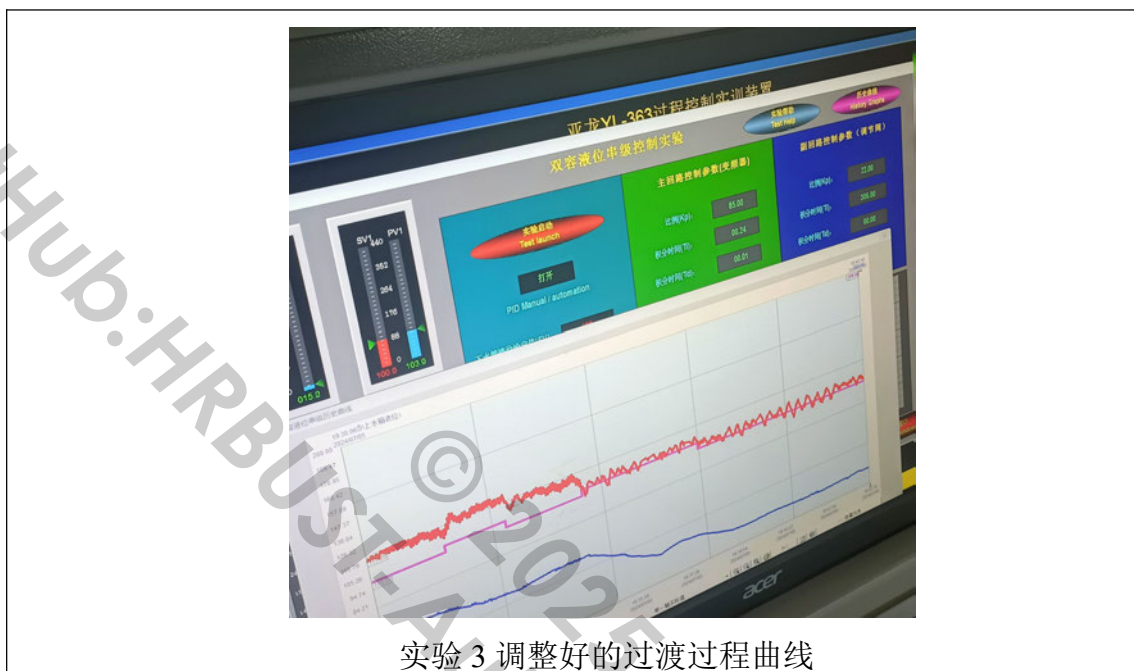
②系统参数设置

设置主被控参数为水箱液位，副被控参数为流量。主控制器选择 PID 控制器，副控制器选择 PID 控制器。初始设定主控制器比例带 δ 为 100%，副控制器比例带 δ 为较大值。

③系统运行与数据记录

将整定好的串级控制系统投入运行，记录系统在不同输入信号下的响应数据。实验中，记录主被控参数和副被控参数的实时变化曲线。

3 实验数据处理（数据、曲线、图表）：



四、实验结果分析（实验误差、现象、分析）

● 实验误差分析

①测量误差：实验过程中，仪器的精度和稳定性对数据采集有直接影响。特别是液位传感器和流量计，若校准不准确或长期使用导致磨损，可能会产生测量误差。

②响应时间误差：由于设备的响应时间可能存在滞后现象，在记录液位和流量变化的瞬间，实际值与显示值之间会有时间差，从而引入误差。

③环境干扰：实验环境中的温度、湿度变化，以及电磁干扰等因素也会对测量结果产生影响。

④人为操作误差：在调整阀门、设置控制参数的过程中，操作人员的细微误差可能会影响最终的实验结果。

● 实验现象

①系统响应：实验图中的曲线显示了双容液位串级控制系统在不同输入信号下的响应过程。可以观察到主被控参数（如液位）和副被控参数（如流量）随着时间的变化而逐渐稳定。

②超调现象：从图中可以看出，液位和流量的变化曲线存在一定的超调现象，即系统响应过程中，参数值超过了设定值后再逐渐回落至稳定值。这是 PID 控制系统中常见的现象。

③振荡现象：液位和流量曲线在达到稳定值前，出现了多次振荡，这表明系统的调节过程存在一定的不稳定性。

④系统稳定性：最终，系统在一定时间内达到了稳定状态，表明串级控制系统在克服内部和外部干扰方面具有较好的能力。

● 实验分析

①控制参数整定效果：通过两步整定法（副回路先整定，再整定主回路），可以看出系统的响应曲线逐渐趋于稳定，说明这种整定方法对于本实验中的串级控制系统是有效的。

②超调和振荡现象的原因：超调和振荡现象主要是由于控制器参数的选择和调整不够优化。比例、积分、微分参数的调整需要进一步精细化，以减少超调和振荡。

③系统抗扰动能力：通过实验，观察到系统在面对主回路和副回路扰动时，能够较快恢复到稳定状态，说明串级控制系统在应对干扰方面具有较强的适应能力。

④改进建议：针对实验中的误差和现象，可以进一步优化控制器参数整定方法，如采用更先进的整定算法。同时，定期校准测量仪器，改善实验环境，减少外部干扰的影响。