

# 高级过程控制 实验指导书

张文革 杨霞 编

长安大学电控学院

自动化与交通控制工程实验教学中心

2009年6月

# 前 言

本实验指导书是根据杭州天科教仪设备有限公司推出的全新 TKJ-2 型、TKJ-3 型高级过程控制实验装置的相关内容编写的，可以满足各大高等院校所开设的《传感器检测与转换技术》、《过程控制》、《自动化仪表》、《自动控制理论》、《计算机控制》等课程实验的教学要求。

过程控制是生产过程自动控制的简称，这是自动化技术的一个重要组成部分。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与程序进行的生产过程自动控制。在现代工业生产过程中，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起着越来越大的作用。TKJ-2 型、TKJ-3 型过程控制系统是以工业现场工艺设备为背景，以现行教材的教学内容为依据研发出的新一代的实验装置。它不仅能满足本、专科工业自动化、自动控制等专业的相关课程实验教学的要求，而且也适用于研究生对课题的研究与开发。例如，在这两套实验装置中增加了如比值控制、解耦控制和 Smith 预估控制等复杂控制的内容。

本实验指导书共分两大部分。第一部分是实验装置的使用说明，讲述了系统的组成、硬件的特点和技术指标、软件的使用介绍。第二部分是实验项目部分，叙述了实验的原理、步骤及注意事项等。通过对实验装置各个仪表的原理、工作情况及实验原理、软硬件的详细介绍，既使教师和学生对 TKJ-2 型、TKJ-3 型高级过程控制实验装置有一个充分的认识，又有益于他们对工业生产现场控制系统的了解。

由于本实验指导书编写时间较为仓促，书中的缺点和错误在所难免，敬请各大专院校师生和广大读者批评指正。

# 目 录

前 言 .....	1
绪 论 .....	1
第一章 TkJ-2 型高级过程控制系统的概述 .....	2
第二章 被控对象特性测试 .....	9
第一节 单容水箱特性的测试 .....	9
实验一附录 .....	12
第二节 双容水箱特性的测试 .....	16
实验二附录 .....	19
第三节 锅炉内胆特性的测试 .....	23
实验三附录 .....	25
第四节 电动调节阀流量特性的测试 .....	1
实验四附录 .....	3
第五节 变频压力特性测试实验 .....	7
实验五附录 .....	1
第三章 单回路控制系统实验 .....	7
第一节 单回路控制系统的实践 .....	7
第二节 上水箱(中水箱或下水箱)液位定值控制系统 .....	11
实验附录 .....	13
第三节 双容水箱液位定值控制系统 .....	17
实验附录 .....	19
第四节 三容水箱液位定值控制系统 .....	1
实验附录 .....	3
第五节 锅炉内胆静态水温定值控制系统 .....	7
实验附录 .....	9
第六节 锅炉内胆动态水温定值控制系统 .....	14
实验附录 .....	16
第七节 锅炉夹套水温定值控制系统 .....	21
实验附录 .....	23
第八节 热交换热出口水温定值控制系统 .....	28
实验五附录 .....	30
第九节 电动阀支路流量的定值控制系统 .....	1
实验附录 .....	3
第十节 变频调速磁力泵支路流量的定值控制系统 .....	7
实验附录 .....	9
第四章 串级控制系统实验 .....	13
第一节 串级控制系统的连接实践 .....	14
第二节 水箱液位串级控制系统 .....	17
实验附录 .....	19

第三节 下水箱液位与电动调节阀支路流量的串级控制系统.....	23
实验附录.....	25
第四节 下水箱液位与变频调速磁力泵支路流量的串级控制系统.....	29
实验附录.....	31
第五节 锅炉夹套水温与锅炉内胆水温的串级控制系统.....	35
实验附录.....	37
第六节 锅炉内胆水温与内胆循环水流量的串级控制系统.....	41
实验附录.....	43
第七节 盘管出水口水温与热水流量的串级控制系统.....	47
实验附录.....	49
第八节 盘管出水口水温与锅炉内胆水温的串级控制系统.....	51
实验附录.....	53
<b>第五章 比值控制系统实验.....</b>	<b>55</b>
第一节 单闭环流量比值控制系统.....	55
实验附录.....	58
第二节 双闭环流量比值控制系统.....	60
实验附录:.....	62
<b>第六章 滞后控制系统实验.....</b>	<b>64</b>
第一节 盘管出水口温度纯滞后控制系统.....	64
实验附录.....	66
第二节 盘管出水口温度滞后控制系统.....	71
实验附录.....	73
第三节 流量纯滞后控制系统.....	77
实验三附录.....	79
<b>第七章 前馈-反馈控制系统实验.....</b>	<b>83</b>
第一节 锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统.....	83
实验附录.....	87
第二节 下水箱液位的前馈-反馈控制系统.....	90
实验附录.....	92
<b>第八章 解耦控制系统实验.....</b>	<b>95</b>
第一节 上水箱水温与液位的解耦控制系统.....	95
实验附录.....	98
第二节 锅炉内胆水温与锅炉夹套水温解耦控制系统.....	101
实验附录.....	105
<b>附录 1 西门子变频器 MM420 简单使用说明.....</b>	<b>107</b>

# 绪 论

过程控制通常是指石油、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，它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起着越来越大的作用。

“TKJ-2 型高级过程控制系统实验装置”是为了配合过程控制工程与自动化仪表、计算机控制等相关课程的教学而设计开发的。

该系统设计本着工程化、参数化、现代化、开放性、综合性人才的培养原则出发。实验对象采用当今工业现场常用的对象，如水箱、锅炉。仪表采用具有人工智能算法及通讯接口的智能调节仪，上位机监控软件采用 MCGS 工控组态软件。对象系统还留有扩展接口，扩展信号接口便于控制系统二次开发，以便进行 DCS 控制，亚当模块控制，PLC 控制开发。学生通过对该系统的了解和使用，进入企业后能很快地适应环境进入角色。同时该系统也为教师和研究生提供一个高水平的学习和研究开发平台。

在当今高校教学改革的大潮中，各高校的老师明显地意识到学生素质教育的重要性，国内一些重点、名牌大学为了更好地提高学校的知名度，要求建设高档次、开放性的实验室，甚至有些学校为了扩大研究生的招生，要求建设研究生实验基地等。但目前各高校的教学理论中理论和实践严重脱节，基于这一现象，并响应各大高校的呼吁，征求了广大教师的意见，我公司设计开发了“TKJ-2 型高级过程控制系统实验装置”。

学生在本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。

实验过程的基本程序：

- 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，做好观测和记录；
- 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，上述程序应尽量让学生独立完成，老师给予必要的指导，以培养学生的实验动手能力，要做好各主题实验，就应做到：**实验前有准备；实验中有条理，实验后有分析。**

# 第一章 TkJ-2 型高级过程控制系统的概述

## 一、系统简介

“TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置”是基于工业过程的物理模拟对象，它集自动化仪表技术，计算机技术，通讯技术，自动控制技术为一体的多功能实验装置，该装置是本企业根据自动化及其它相关专业教学的特点，吸收了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，推出了一套全新的实验装置，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，比值控制，解耦控制等多种控制形式。本装置还可根据用户的需要设计构成 DDC，DCS，PLC，FCS 等多种控制系统。该实验装置既可作为本科，专科，高职过程控制课程的实验装置，也可为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物理模拟对象和实验手段。

## 二、系统组成

本实验装置由被控对象和控制仪表两部分组成。系统动力支路分两路：一路由水泵、电动调节阀、直流电磁阀、涡轮流量计及手动调节阀组成；另一路由日本三菱变频器、水泵、涡轮流量计及手动调节阀组成。

### 1、被控对象

由不锈钢储水箱、上、中、下三个串接有机玻璃圆筒形水箱、4.5 千瓦电加热锅炉（由不锈钢锅炉内胆加温筒和封闭式外循环不锈钢冷却锅炉夹套构成）、冷热水交换盘管和敷塑不锈钢管道组成。

**水箱：**包括上水箱、中水箱、下水箱和储水箱。上、中、下水箱采用优质淡蓝色圆筒型有机玻璃，不但坚固耐用，而且透明度高，便于学生直接观察液位的变化和记录结果。上、中水箱尺寸均为： $d=25\text{cm}$ ， $h=20\text{cm}$ ；下水箱尺寸为： $d=35\text{cm}$ ， $h=20\text{cm}$ 。水箱结构非常独特，有三个槽，分别是缓冲槽，工作槽，出水槽。上、中、下水箱可以组合成一阶、二阶、三阶液位单回路控制实验和双闭环、三闭环液位串级控制等实验。储水箱是采用不锈钢板制成，尺寸为： $长\times宽\times高=68\text{cm}\times52\text{cm}\times43\text{cm}$  完全能满足上、中、下水箱的实验需要。储水箱内部有两个椭圆形塑料过滤网罩，防止两套动力支路进水时有杂物进入泵中。

**模拟锅炉：**本装置采用模拟锅炉进行温度实验，此锅炉采用不锈钢精制而成，设计巧妙，由二层组成：加热层（内胆）和冷却层（夹套）。做温度单回路实验时，冷却层的循环水可以使加热层的热量快速散发，使加热层的温度快速下降。冷却层和加热层都有温度传感器检测其温度，可完成温度的串级控制，前馈—反馈控制，解耦控制等实验。

**盘管：**长 37 米（43 圈），可做温度纯滞后实验，在盘管上有三个不同的温度检测点，它们的滞后时间常数不同，在实验过程中根据不同的实验需要选择不同的滞后时间常数。盘管出来的水既可以回流到锅炉内胆，也可以经过涡轮流量计完成流量滞后实验。

**管道：**整个系统管道采用敷塑不锈钢管组成，所有的水阀采用优质球阀，彻底避免了管道系统生锈的可能性。有效提高了实验装置的使用年限。其中储水箱底有一个出水阀，当水箱需要更换水时，将球阀打开将水直接排出。

### 2、检测装置

**压力传感器、变送器：**采用工业用的扩散硅压力变送器，含不锈钢隔离膜片，同时采用信号隔离技术，对传感器温度漂移跟随补偿。压力传感器用来对上、中、下水箱的液位进行检测，其精度为 0.5 级，因为为二线制，故工作时需串接 24V 直流电源。

**温度传感器：**本装置采用六个 Pt100 传感器，分别用来检测上水箱出口、锅炉内胆、锅炉夹套以及盘管的水温。经过调节器的温度变送器，可将温度信号转换成 4~20mA 电流信号。Pt100 传感器精度高，热补偿性较好。

**流量传感器、转换器：**流量传感器分别用来对电动调节阀支路、变频支路及盘管出口支路的流量进行测量。涡轮流量计型号：LWGY-10，流量范围：0~1.2 $\text{m}^3/\text{h}$ ，精度：1.0%。输出：4~20mA 标准信号。本装置用了

三套涡轮流量传感器、变送器。

### 3. 执行机构

**电动调节阀：**采用智能型电动调节阀，用来进行控制回路流量的调节。电动调节阀型号为：QSVP-16K。具有精度高、技术先进、体积小、重量轻、推动力大、功能强、控制单元与电动执行机构一体化、可靠性高、操作方便等优点，控制信号为 4~20mA DC 或 1~5V DC，输出 4~20mA DC 的阀位信号，使用和校正非常方便。

#### 技术指标：

电源 220VAC 50HZ

输入控制信号：4~20mA DC 或 1~5V DC

公称压力：1.6Mpa

公称直径：20mm

重复精度：±1%

介质温度：-4~+200℃

行程：10mm

功耗：5VA

**变频器：**本装置采用日本三菱(FR-S520S-0.4K-CH(R))变频器，控制信号输入为 4~20mADC 或 0~5VDC，~220V 变频输出用来驱动三相磁力驱动泵。

**水泵：**本装置采用格兰富水泵，型号为 UPBAS 25-6 130，流量为 32 升/分，扬程为 8 米，功率为 180W。泵体完全采用不锈钢材料，以防止生锈，使用寿命长。本装置采用两只磁力驱动泵。一只为三相 380V 恒压驱动，另一只为三相变频 220V 输出驱动。

**可移相 SCR 调压装置：**采用可控硅移相触发装置，输入控制信号为 4~20mA 标准电流信号。输出电压用来控制加热器加热，从而控制锅炉的温度。

**电磁阀：**在本装置中作为电动调节阀的旁路，起到阶跃干扰的作用。电磁阀型号为：2W-160-25；工作压力：最小压力为 0Kg/cm<sup>2</sup>，最大压力为 7Kg/cm<sup>2</sup>；工作温度：-5~80℃。

### 4. 控制器

本实验装置基本配置的控制器有调节仪表、比值器/前馈-反馈补偿器、解耦装置。（还可根据需要扩展远程数据采集和 PLC 可编程控制系统）

#### 4.1 调节仪表

本系统实验装置采用厦门宇光仪表有限公司的 AI 系列仪表，其主要特点有：

- AI 系列仪表操作方便、通俗易懂，且不同功能档次相互兼容。
- 具有国际上同类仪表的几乎所有功能，通用性强、技术成熟可靠。
- 全球通用的 85~246VAC 范围开关电源或者 24VDC 电源供电，并具备多种外形尺寸。
- 输入采用数字校正系统，内置常用热电偶和热电阻非线性校正表格，测量精确稳定。
- 采用先进的 AI 人工智能调节算法，无超调，具备自整定（AT）功能。
- 采用先进的模块化结构，提供丰富的输出规格，能满足各种应用场合的需要。
- 通过 ISO9002 质量认证，品质可靠。具备符合要求的抗干扰性能。

本装置有 4 台调节器。其中三台型号是 AI-808，另一台 AI-708H 为流量积算仪。

##### (1) 技术规格

热电偶：K、S、R、E、J、T、B、N

热电阻：Cu50、Pt100

线性电压：0-5V、1-5V、0-1V、0-100mV、0-20mV 等

线性电流（需外接分流电阻）：0-10mA、0-20mA、4-20mA 等

(2) 测量范围

K (-50+1300℃)、s (-50-1700℃)、R (-50-+1650℃)、T (-200-+550℃)  
E (0-800℃)、J (0-1000℃)、B (0-1800℃)、N (0-1300℃)  
Cu50 (-50-+150℃)、Pt100 (-200-+600℃)

(3) 测量精度

0.2 级 (热电阻、线性电压、线性电流及热电偶输入且采用铜电阻补偿或冰点补偿冷端时)  
0.2%FS±2.0℃ (热电偶输入且采用仪表内部元件测温补偿冷端时)

(4) 响应时间

≤0.5 秒 (设置数字滤波参数 dL=0 时)

注：仪表对 B 分度号热电偶在 0-600℃ 范围时可以进行测量，但测量精度无法达到 0.2 级，在 600-1800℃ 范围可保证 0.2 级测量精度。

位式调节方式 (回差可调)

(5) AI 人工智能调节，包含模糊逻辑 PID 调节及参数自整定功能的先进控制算法。

(6) 输出规格 (模块化)

继电器触点开关输出 (常开+常闭)：250VAC/1A 或 30VDC/1A

可控硅无触点开关输出 (常开或常闭)：100-240VAC/0.2A (持续)，2A (20mS 瞬时，重复周期大于 5S)

SSR 电压输出：12VDC/30mA (用于驱动 SSR 固态继电器)

可控硅触发输出：可触发 5-500A 的双向可控硅、2 个单向可控硅反并联连接或可控硅功率模块

线性电流输出：0-10 mA 可 4-20 mA 可定义 (安装 X 模块时输出电压 ≥10.5V；X4 模块输出电压 ≥7V)

(7) 报警功能

上限、下限、正偏差、负偏差等 4 种方式，最多可输出 3 路，有上电免除报警选择功能。

(8) 手动功能

自动/手动双向无扰动切换 (仅 A1-808/808P 系列具备此功能)

(9) 电源：100-240VAC，-15%，+10%50-60Hz；

电源消耗：≤5W

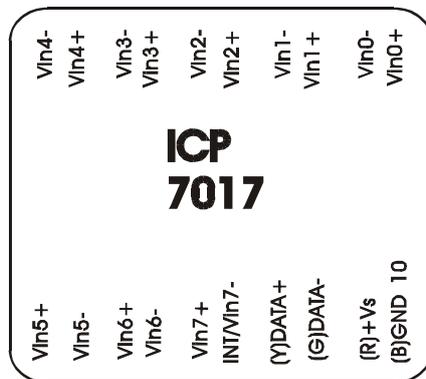
### 4.2 模块的功能介绍

鸿格 ICP 系列智能采集模块通过 RS485 等串行口通讯协议与 PC 相连，由 PC 中的程序控制并实现数据采集模块对现场的模拟量、开关量信号的输入和输出、脉冲信号的计数和测量脉冲频率等功能。

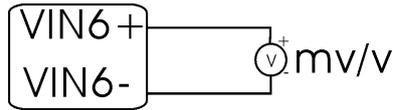
(1) ICP7017 模块是利用 RS485 和上位机进行通讯的 8 通道模拟量输入采集模块。

输入类型：电压、电流。

输入范围：150~150mv, -500~500mv, -1~1v, -5~5v, -10~10v, -20~20mA



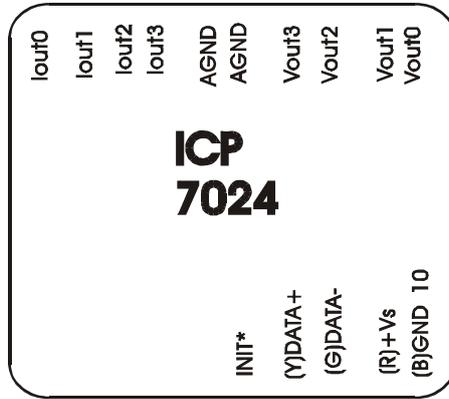
接线方式:



(2) ICP7024 模块: 4 路电压型模拟量输出, 4 路电流型模拟量输出。

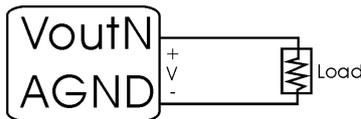
电流输出范围: 0~20mA, 4~20mA

电压输出范围: -10v~10v, 0~10v, -5~5v, 0~5v

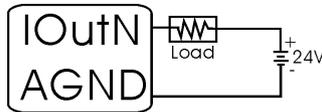


接线方式:

电压型输出接线方式:



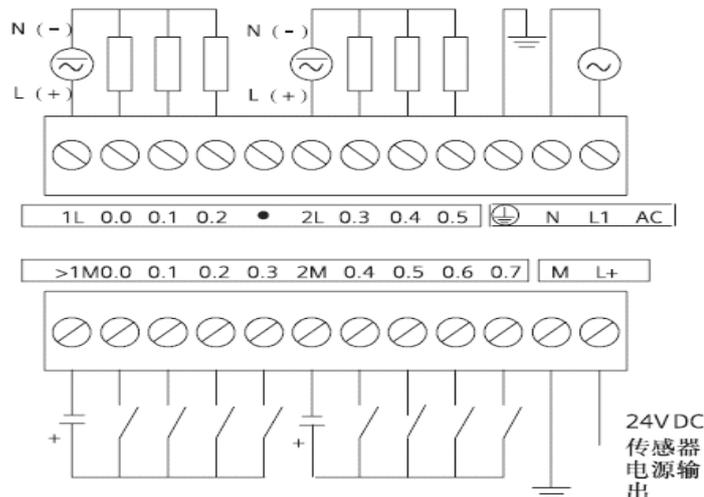
电流型输出接线方式:



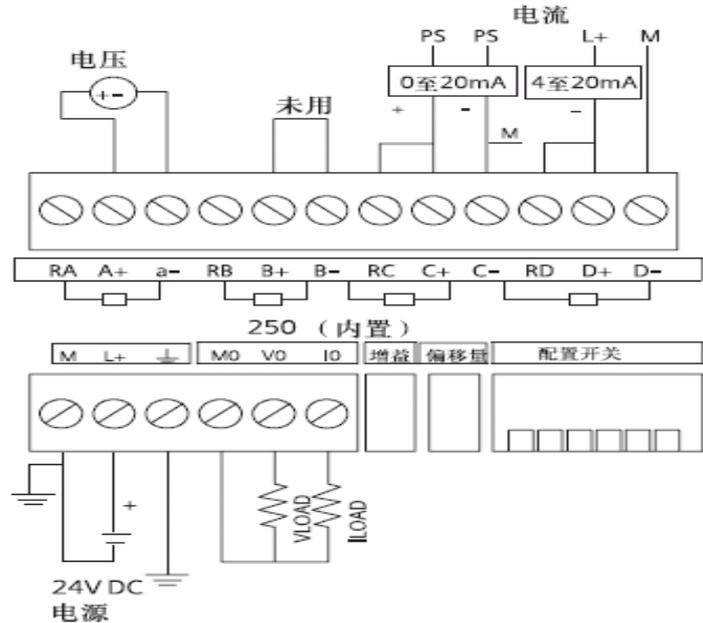
### 4.3 S7-200PLC 控制系统

本系统包括一个主机 CUP222CN, 一个模拟量模块 EM235。

CPU222CN 集成数字量 14 点, 可连接 2 个扩展模块最大扩展至 78 路数字量或 10 路模拟量。4 个独立的 30kHz 高速计数器, 2 路独立的 20kHz 高速脉冲输出, 具有 PID 控制器。1 个 RS485 通讯/编程口, 具有 PPI 通讯协议、MPI 通讯协议和自由口通讯能力, 其电气接线下图所示。



EM235 是 4 路输入 1 路输出的模拟量模块，AD 分辨率 12 位，输入通道范围可以通过拨码快关设置，电气接线如下图所示。



EM235 的拨码开关设置方法如下图所示。

单极性						满量程输入	分辨率
SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6		
ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	0-50mV	12.5 μV
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	0-100mV	25 μV
ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	0-500mV	125 μV
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	0-1V	250 μV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0-5V	1.25mV
ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	0-20mA	5 μA
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0-10V	2.5mV

#### 4.4 比值器、前馈-反馈装置

此控制器与调节器一起使用既可以实现流量的单闭环比值、双闭环比值控制系统实验，又可以实现液位与流量、温度与流量的前馈-反馈控制系统实验。

#### 4.5 解耦控制装置

此控制器与调节器一起使用可以实现锅炉内胆与锅炉夹套的温度、上水箱液位与出口温度的解耦控制系统实验。

### 三、综合控制台

控制台面板由三部分组成：

1、电源控制屏面板：充分考虑人身安全保护，带有漏电保护空气开关、电压型漏电保护器、电流型漏电保护器。

2、挂件面板：1 块变频调速器面板、3 块 AI/808 智能调节仪面板、1 块智能流量积算仪及位式调节 AI/708H、1 块 S7200PLC 面板、2 块远程模块面板、1 块解耦装置和比值器/前馈-反馈装置面板，各装置外接端子通过面板上自锁紧插孔引出。

3、I/O 信号接口面板：该面板的作用主要是将各传感器检测及执行器控制信号同面板上自锁紧插孔相连，再通过航空插头同对象系统连接，便于学生自行连线组成不同的控制系统，进行几十种过程控制系统的实验。

#### 四、系统特点

- 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。
- 本装置由控制对象、智能仪表综合控制台、计算机三部分组成，系统结构布局合理，造型美观大方。
- 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。
- 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，可通过信号接口电缆与任何后续智能化控制平台连接。
- 执行器中既有电动调节阀仪表类执行机构，又有变频器、可控硅移相调压装置、接触器位式控制装置等。
- 调节系统除了有调节器的设定值阶跃扰动外，还可以通过对对象中电磁阀和手动操作阀制造各种扰动。
- 一个被调参数可在不同动力源、不同执行器、不同的工艺管路下演变成多种调节回路，以利于讨论、比较各种调节方案的优劣。
- 系统设计时使 2 个信号在本对象中存在着相互耦合，二者同时需要对原独立调节系统的被调参数进行整定，或进行解耦实验，以符合工业实际的性能要求。
- 能进行单变量到多变量控制系统及复杂过程控制系统实验。
- 各种控制算法和调节规律在开放的实验软件平台上都可以实现。
- 实验数据及图表在 MCGS 软件系统中很容易存储及调用，以实验者进行实验后的比较和分析。
- 采用强弱电插座及相应的导线，提高实验的安全性和可靠性。

#### 五、系统软件

MCGS (Monitor and Control Generated System) 是一套基于 Windows 平台的，用于快速构造和生成上位机监控系统的组态软件系统，可运行于 Microsoft Windows95/98/NT/2000 等操作系统。

MCGS5.5 为用户提供了解决实际工程问题的完整方案和开发平台，能够完成现场数据采集、实时和历史数据处理、报警和安全机制、流程控制、动画显示、趋势曲线和报表输出以及企业监控网络等功能。

使用 MCGS5.5，用户无须具备计算机编程的知识，就可以在短时间内轻而易举地完成一个运行稳定，功能成熟，维护量小且具备专业水准的计算机监控系统的开发工作。

MCGS5.5 具有操作简便、可视性好、可维护性强、高性能、高可靠性等突出特点，已成功应用于石油化工、能源原材料、农业自动化、航空航天等领域，经过各种现场的长期实际运行，系统稳定可靠。

与国内外同类产品相比，MCGS5.5 组态软件具有如下特点：

- 全中文、可视化、面向窗口的组态开发界面，符合中国人的使用习惯和要求，真正的 32 位程序，支持多任务、多线程，可运行于 Microsoft Windows 95/98/NT/2000 等操作系统。
- 庞大的标准图形库、完备的绘图工具集以及丰富的多媒体支持，让您能够快速地开发出集图像、声音、动画等于一体的漂亮、生动的工程画面。
- 全新的 ActiveX 动画构件，包括存盘数据处理、条件曲线、计划曲线、相对曲线、多行文本、通用棒图等，使您能够更方便、更灵活地处理、显示生产数据。
- 支持目前绝大多数硬件设备，同时可以方便地定制各种设备驱动；此外，独特的组态环境调试功能与灵活的设备操作命令相结合，使硬件设备与软件系统间的配合天衣无缝。
- 简单易学的 Basic 脚本语言与丰富的 MCGS 策略构件，使您能够轻而易举地开发出复杂的过程控制系统。
- 强大的数据处理功能，能够对工业现场产生的数据以各种方式进行统计处理，使您能够在第一时间获得有关现场情况的第一手数据。
- 方便的报警设置、丰富的报警类型、报警存贮与应答、实时打印报警报表以及灵活的报警处理函数，使您能够方便、及时、准确地捕捉到任何报警信息。
- 完善的安全机制，允许用户自由设定菜单、按钮及退出系统的操作权限。此外，MCGS5.5 还提供了工程密码、锁定软件狗、工程运行期限等功能，以保护组态开发者的成果。
- 强大的网络功能，支持 TCP/IP、Modem、485/232，以及各种无线网络和无线电台等多种网络体系结构。

●良好的可扩充性，可通过 OPC、DDE、ODBC、ActiveX 等机制，方便地扩展 MCGS5.5 组态软件的功能，并与其他组态软件、MIS 系统或自行开发的软件进行连接。

## 六、装置的安全保护体系

1、三相四线制总电源输入经带漏电保护器装置的三相四线制断路器进入系统电源后又分为三相电源支路和三个不同相的单相支路，每一支路都带有各自三相、单相断路器。总电源设有三相通电指示灯和 380V 三相电压指示表，三相带灯熔断器作为断相指示。

2、控制屏电源由接触器通过起、停按钮进行控制。

屏上装有一套电压型漏电保护装置和一套电流型漏电保护装置。控制屏内或强电输出（包括实验中的连线）若有漏电现象，即告警并切断总电源，确保实验进程安全。

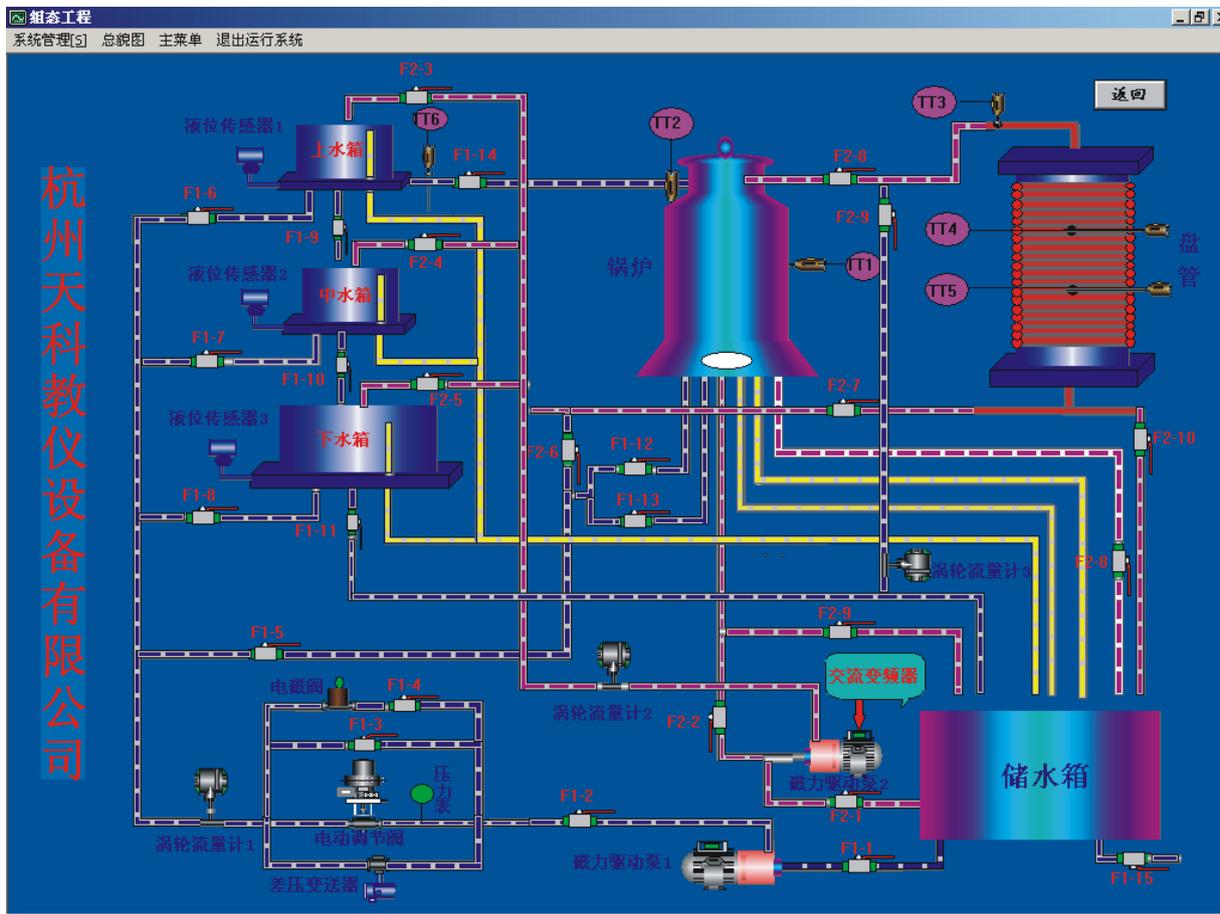
3、控制屏设有服务管理器（即定时器兼报警记录仪），为学生实验技能的考核提供一个统一的标准。

4、各种电源及各种仪表均有可靠的保护功能。

5、实验强电接线插头采用封闭式结构，防止触电事故的发生。

6、强弱电连线插头采用不同的结构插头，防止强弱电混接。

## 实验装置总貌图



# 第二章 被控对象特性测试

## 第一节 单容水箱特性的测试

被控对象数学模型的建立通常用下列二种方法。一种是分析法，即根据过程的机理，物料或能量平衡关系求得它的数学模型；另一种是用实验的方法确定。本章主要介绍被控对象对典型输入信号的响应来确定它的数学模型。由于此法较简单，因而在过程控制中得到了广泛地应用。

### 一、实验目的

1. 掌握单容水箱的阶跃响应的测试方法，并记录相应液位的响应曲线。
2. 根据实验得到的液位阶跃响应曲线，用相关的方法确定被测对象的特征参数  $T$  和传递函数。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机及相关软件
3. 万用电表一只

### 三、实验原理

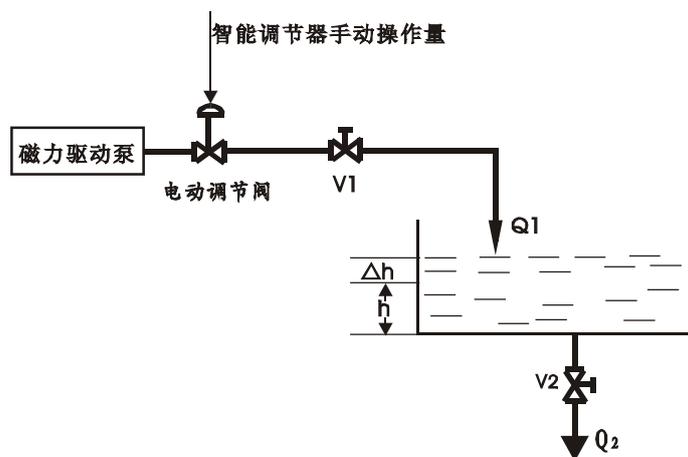


图 2-1 单容水箱特性测试结构图

由图 2-1 可知，对象的被控制量为水箱的液位  $H$ ，控制量（输入量）是流入水箱中的流量  $Q_1$ ，手动阀  $V_1$  和  $V_2$  的开度都为定值， $Q_2$  为水箱中流出的流量。根据物料平衡关系，在平衡状态时

$$Q_{10} - Q_{20} = 0 \quad (1)$$

动态时，则有

$$Q_1 - Q_2 = \frac{dV}{dt} \quad (2)$$

式中  $V$  为水箱的贮水容积， $\frac{dV}{dt}$  为水贮存量的变化率，它与  $H$  的关系为

$$dV = Adh, \text{ 即 } \frac{dV}{dt} = A \frac{dh}{dt} \quad (3)$$

$A$  为水箱的底面积。把式 (3) 代入式 (2) 得

$$Q_1 - Q_2 = A \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

基于  $Q_2 = \frac{h}{R_s}$ ,  $R_s$  为阀 V2 的液阻, 则上式可改写为

$$Q_1 - \frac{h}{R_s} = A \frac{dh}{dt}$$

即

$$AR_s \frac{dh}{dt} + h = KQ_1$$

或写作

$$\frac{H(s)}{Q_1(s)} = \frac{K}{TS + 1} \quad (5)$$

式中  $T = AR_s$ , 它与水箱的底积  $A$  和  $V_2$  的  $R_s$  有关;  $K = R_s$ 。

式 (5) 就是单容水箱的传递函数。

若令  $Q_1(s) = \frac{R_0}{s}$ ,  $R_0 = \text{常数}$ , 则式 (5) 可改为

$$H(s) = \frac{K/T}{s + \frac{1}{T}} \times \frac{R_0}{s} = K \frac{R_0}{s} - \frac{KR_0}{s + \frac{1}{T}}$$

对上式取拉氏反变换得

$$h(t) = KR_0(1 - e^{-t/T}) \quad (6)$$

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

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

当  $t = T$  时, 则有

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

式 (6) 表示一阶惯性环节响应曲线是一单调上升的指数函数, 如图 2-2 所示。

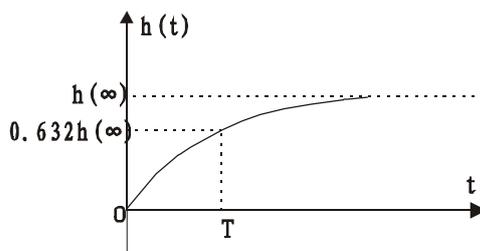


图 2-2 单容水箱的单调上升指数曲线

当由实验求得图 2-2 所示的阶跃响应曲线后, 该曲线上升到稳态值的 63% 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, 切线与稳态值交点所对应的时间就是时间常数  $T$ , 由响应曲线求得  $K$

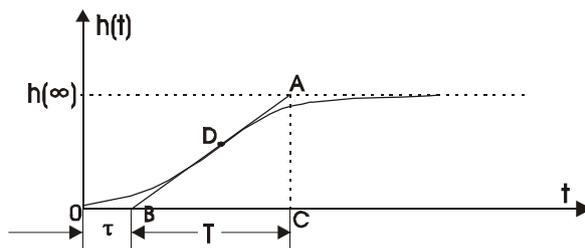


图 2-3 单容水箱的阶跃响应曲线

和 T 后，就能求得单容水箱的传递函数。如果对象的阶跃响应曲线为图 2-3，则在此曲线的拐点 D 处作一切线，它与时间轴交于 B 点，与响应稳态值的渐近线交于 A 点。图中 OB 即为对象的滞后时间  $\tau$ ，BC 为对象的时间常数 T，所得的传递函数为：

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

## 四、实验内容与步骤

1. 按图 2-1 接好实验线路，并把阀 V1 和 V2 开至某一开度，且使 V1 的开度大于 V2 的开度。
2. 接通总电源和相关的仪表电源，并启动磁力驱动泵。
3. 把调节器设置于手动操作位置，通过调节器增/减的操作改变其输出量的大小，使水箱的液位处于某一平衡位置。
4. 手动操作调节器，使其输出有一个正（或负）阶跃增量的变化（此增量不宜过大，以免水箱中水溢出），于是水箱的液位便离开原平衡状态，经过一定的调节时间后，水箱的液位进入新的平衡状态，如图 2-4 所示。

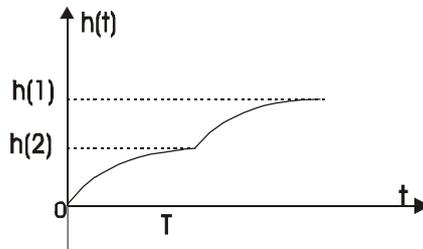


图 2-4 单容箱特性响应曲线

5. 记下水箱液位的历史曲线和阶跃响应曲线。
6. 把由实验曲线所得的结果填入下表。

参数值	液位 h		
	K	T	$\tau$
测量值			
正向输入			
负向输入			
平均值			

## 五、实验报告

1. 写出常规的实验报告内容。
2. 分析用上述方法建立对象的数学模型有什么局限性？

## 六、思考题

1. 做本实验时，为什么不能任意改变出水口阀开度的大小？
2. 用响应曲线法确定对象的数学模型时，其精度与那些因素有关？

## 七、管道连接说明

打开 F1-1, F1-2, F1-8

其他关闭

## 实验一附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似

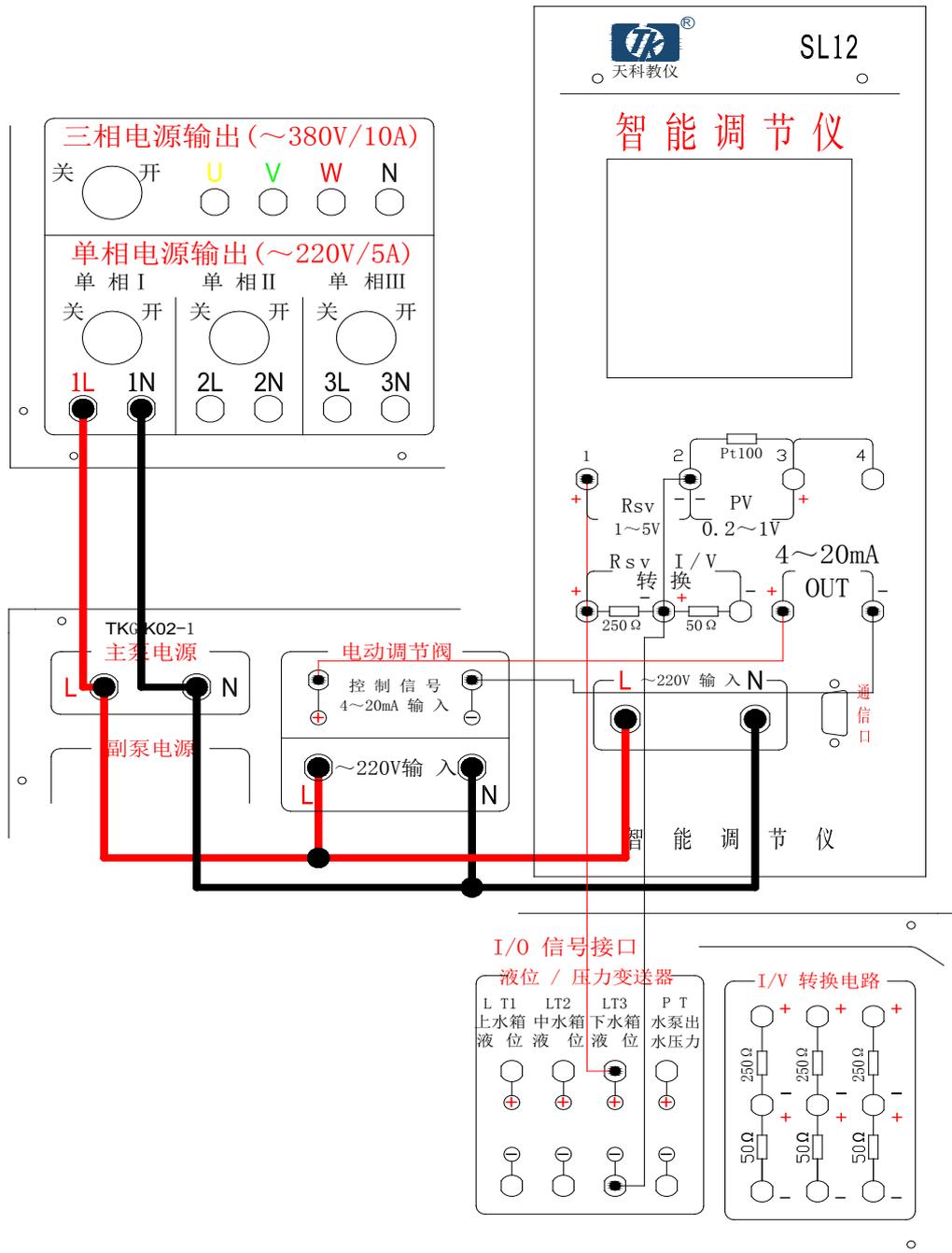
控制装置	输 入	输 出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接液位传感器区间的左下水箱液位输出的正负端子,另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子，另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 接线参考图

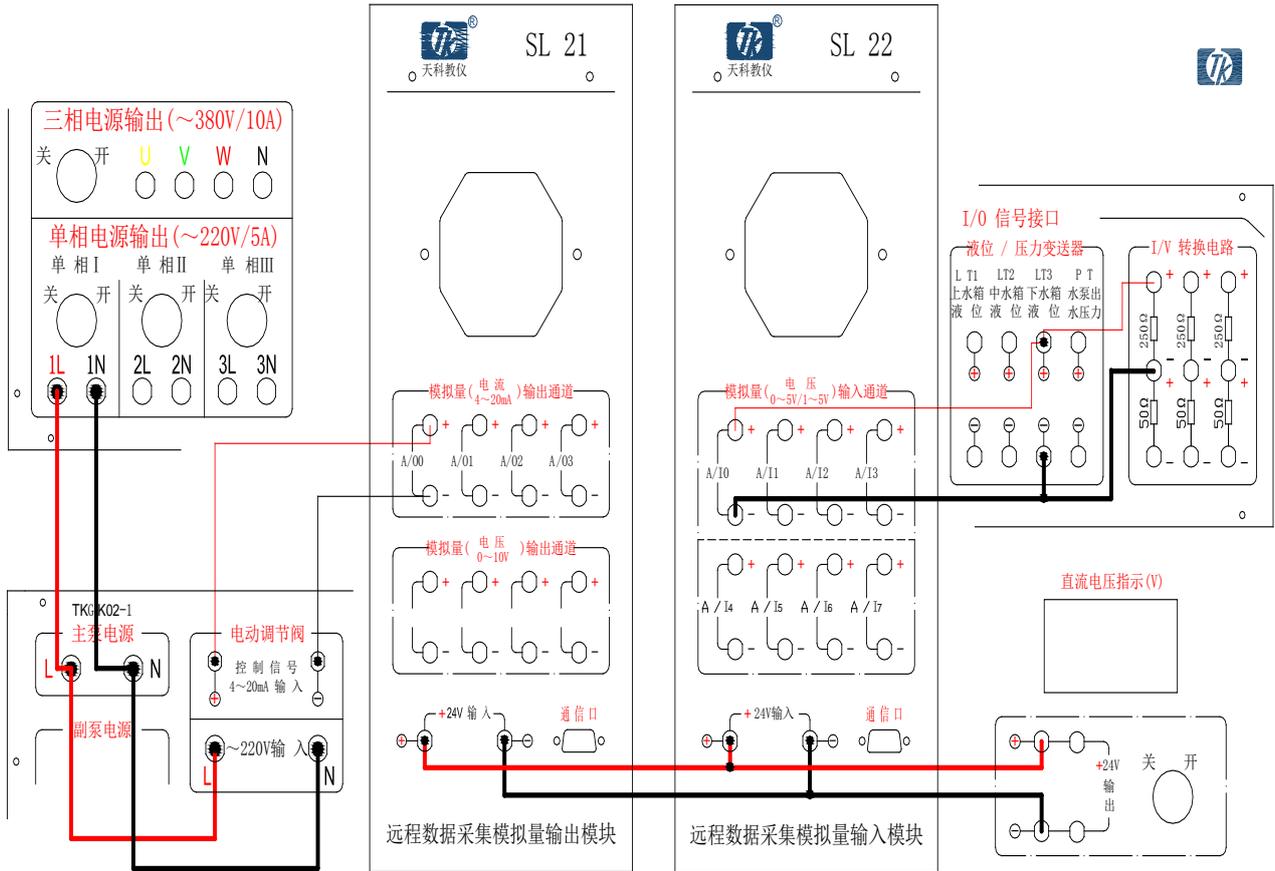
#### 3.1 智能仪表接线图



智能仪表连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N, SL12 智能仪表 L、N 分别连到单相电源 1L、1N(单相电源输出~220V)
- (2) LT3 下水箱+、-信号分别连接数据 SL12 智能仪表 RSV 1、2 上; 并且 LT3 下水箱+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL12 智能仪表 4~20mA OUT+、-信号分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到 DDC 系统上

### 3.2 DDC 系统接线图

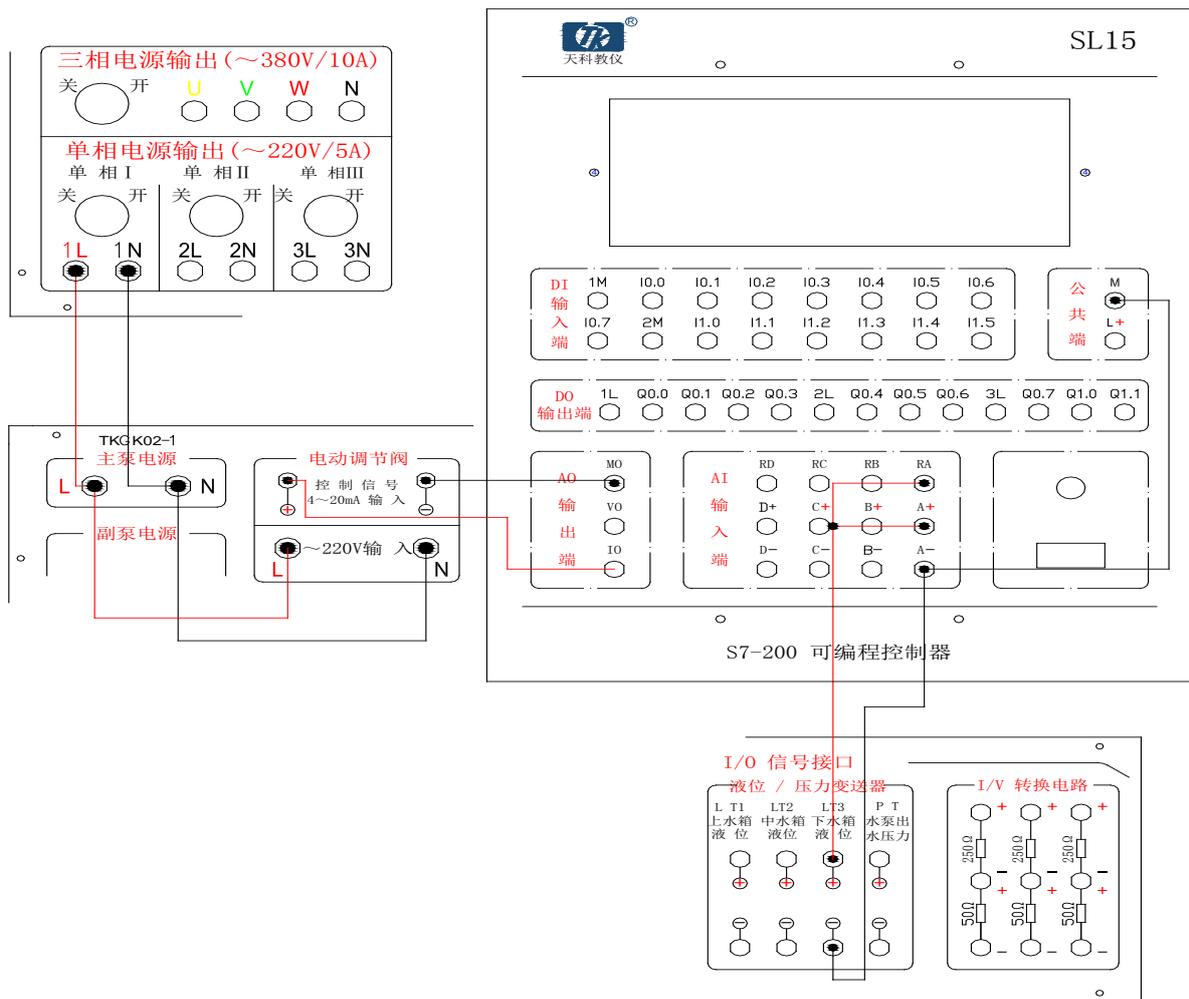


DDC 系统连线说明：

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N 分别连到单相电源 1L、1N(单相电源输出~220V)
- (2) LT3 下水箱+、-信号分别连接数据 SL22 采集模块模拟量输入通道 A/I0+、-; 并且 LT3 下水箱+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL21 数据采集模块模拟量输出通道 A/00+、-信号分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) SL21、SL22 的+24v 输入+、-分别连接到+24v 输出的+、-上
- (5) PC 端 RS485 通讯线连接到 DDC 系统上

A/04 A/05 A/06 A/07

### 3. 3PLC 系统接线图



S7\_200 系统连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N 分别连到单相电源 1L、1N(单相电源输出~220V)
- (2) I/O 信号接口 LT3 下水箱+、-分别连接 PLC AI 输入端 A+、A-; RA 与 A+短接; A-连接到公共端 M
- (3) S7\_200AO 输出端 IO、MO 分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到 S7\_200PLC 上

## 第二节 双容水箱特性的测试

### 一、实验目的

1. 熟悉双容水箱的数学模型及其阶跃响应曲线。
2. 根据由实际测得双容液位的阶跃响应曲线，确定其传递函数。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、MCGS 工控组态软件、RS232/485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、原理说明

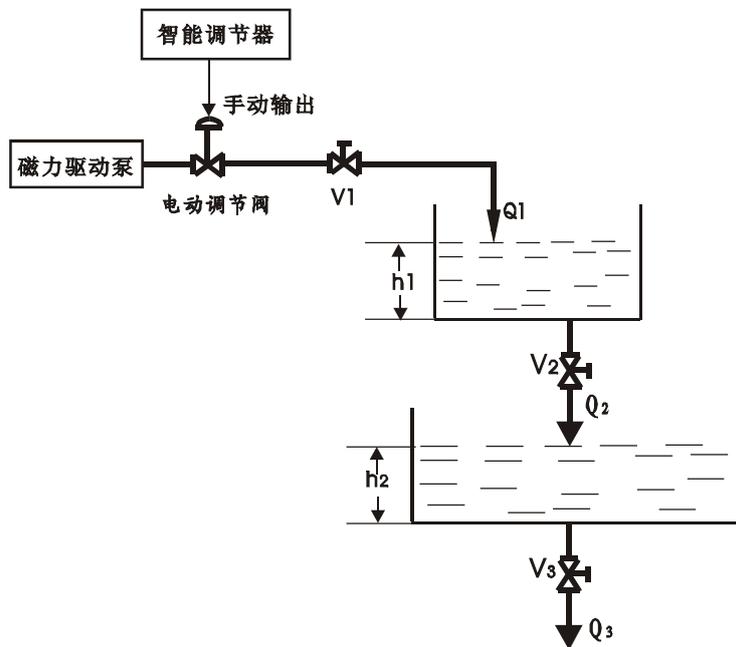


图 2-5 双容水箱对象特性结构图

由图 2-5 所示，被控对象由两个水箱相串联连接，由于有两个贮水的容积，故称其为双容对象。被控制量是下水箱的液位，当输入量有一阶跃增量变化时，两水箱的液位变化曲线如图 2-6 所示。由图 2-6 可见，上水箱液位的响应曲线为一单调的指数函数（图 2-6 (a)），而下水箱液位的响应曲线则呈 S 形状（图 2-6 (b)）。显然，多了一个水箱，液位响应就更加滞后。由 S 形曲线的拐点 P 处作一切线，它与时间轴的交点为 A，OA 则表示了对象响应的滞后时间。至于双容对象两个惯性环节的时间常数可按下述方法来确定。

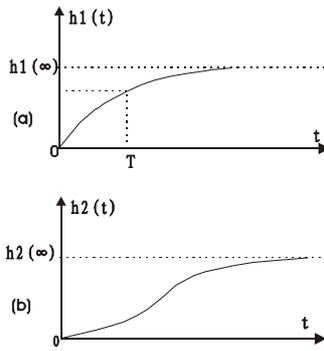


图 2-6 双容液位阶跃响应曲线

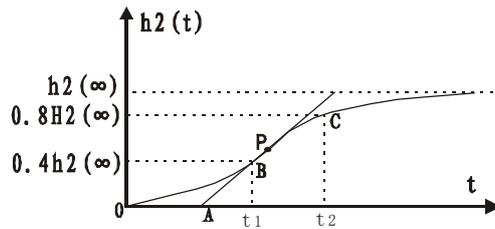


图 2-7 双容液位阶跃响应曲线

在图 2-7 所示的阶跃响应曲线上求取：

- (1)  $h_2(t) |_{t=t_1} = 0.4 h_2(\infty)$  时曲线上的点 B 和对应的时间  $t_1$ ；
- (2)  $h_2(t) |_{t=t_2} = 0.8 h_2(\infty)$  时曲线上的点 C 和对应的时间  $t_2$ 。

然后，利用下面的近似公式计算式

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

$$T_1 + T_2 \approx \frac{t_1 + t_2}{2.16}$$

$$\frac{T_1 T_2}{(T_1 + T_2)^2} \approx (1.74 \frac{t_1}{t_2} - 0.55) \quad 0.22 \leq t_1/t_2 \leq 0.46$$

由上述两式中解出  $T_1$  和  $T_2$ ，于是求得双容（二阶）对象的传递函数为

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-\tau s}$$

## 四、实验内容与步骤

1. 接通总电源和相关仪表的电源。
2. 接好实验线路，打开手动阀，并使它们的开度满足下列关系：
3.  $V_1$  的开度  $>$   $V_2$  的开度  $>$   $V_3$  的开度
4. 把调节器设置于手动位置，按调节器的增/减，改变其手动输出值，使下水箱的液位处于某一平衡位置（一般为水箱的中间位置）。
5. 按调节器的增/减按钮，突增/减调节器的手动输出量，使下水箱的液位由原平衡状态开始变化，经过一定的调节时间后，液位  $h_2$  进入另一个平衡状态。

上述实验用计算机实时记录  $h_2$  的历史曲线和在阶跃扰动后的响应曲线。

6. 把由计算机作用的实验曲线进行分析处理，并把结果填表入下表中：

参数值 测量值	液位 $h$			
	K	T1	T2	$\tau$
正向输入				
负向输入				
平均值				

## 五、实验报告

1. 完成常规实验报告内容。
2. 对实验的数据进行分析。

## 六、思考题

1. 在本实验中，为什么对出水阀不能任意改变其开度？
2. 引起双容对象的滞后特性是什么？

## 实验二附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统), 接线方式请参考下表, 其它操作与上述实验步骤相似。

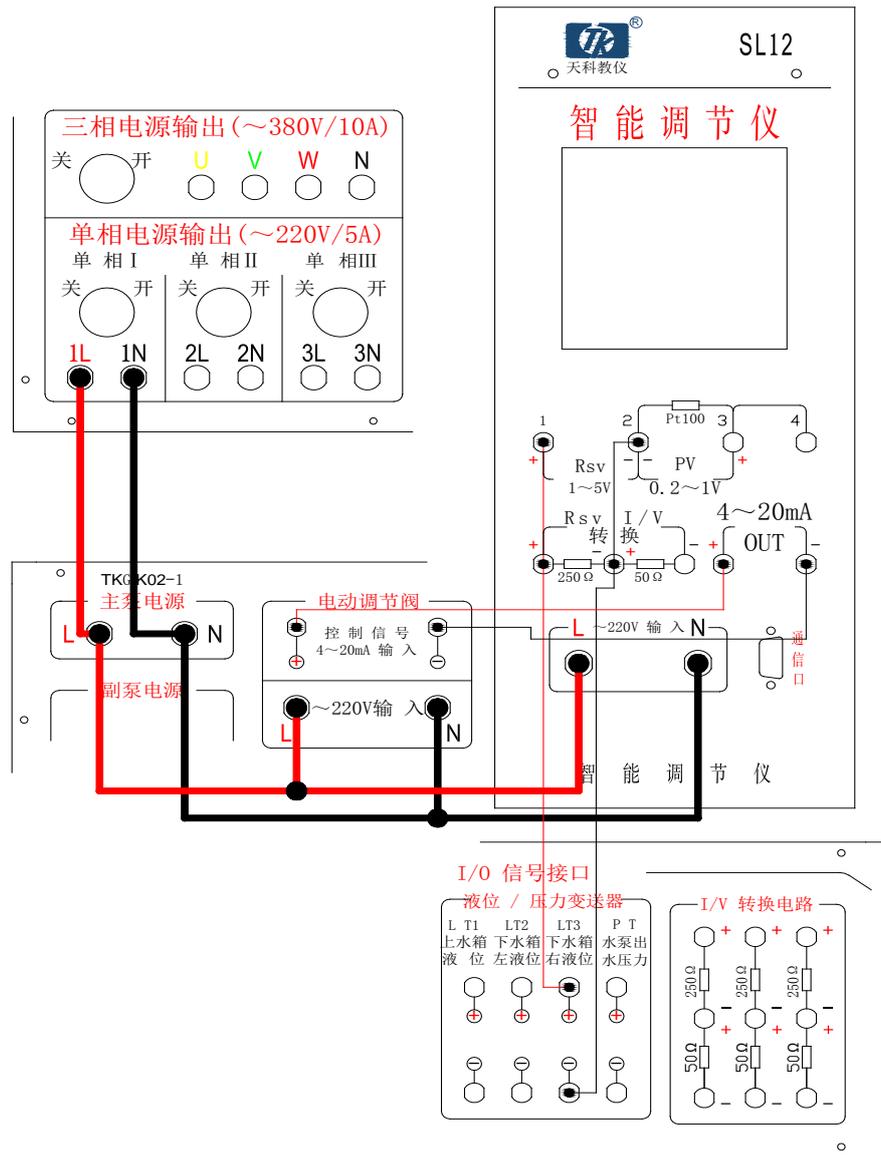
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接, 液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC —200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接液位传感器区间的左下水箱液位输出的正负端子, 另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子, 另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪, 本次实验只需一个)。

智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

3. 实验参考接线图

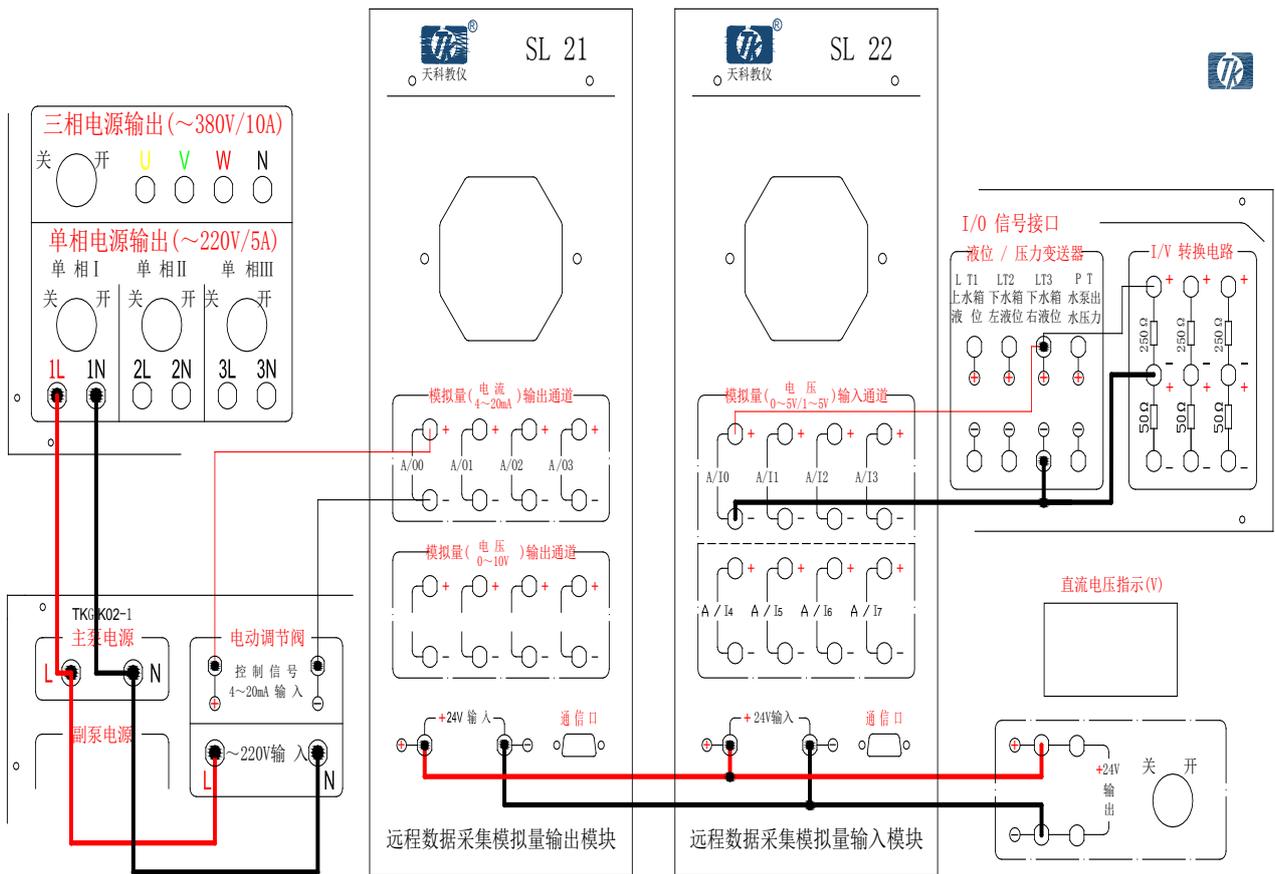
3.1 智能仪表系统接线图



智能仪表连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N, SL12 智能仪表 L、N 分别连到单相电源 1L、1N(单相电源输出~220V)
- (2) LT3 下水箱+、-信号分别连接数据 SL12 智能仪表 RSV 1、2 上; 并且 LT3 下水箱+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL12 智能仪表 4~20mA OUT+、-信号分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到智能仪表系统上

### 3.2 DDC 系统接线图

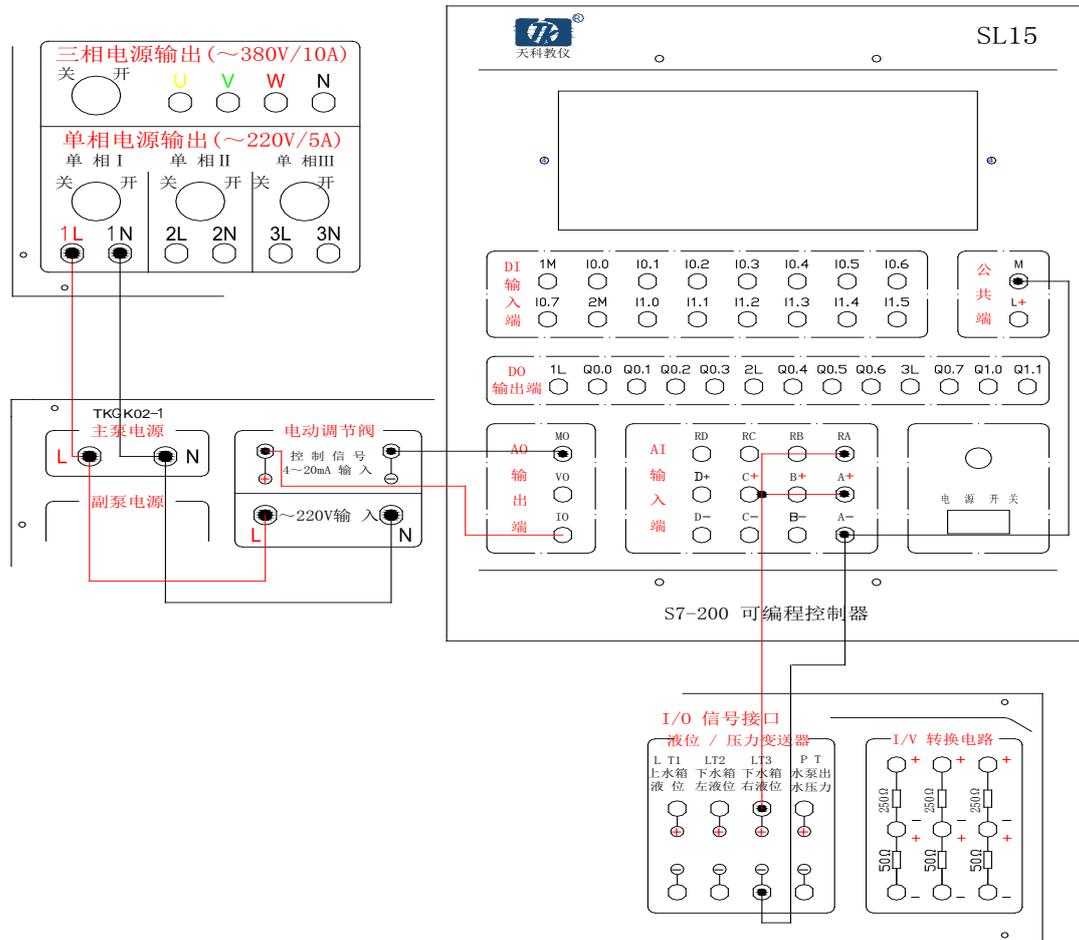


DDC 系统连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N 分别连到单相电源 1L、1N(单相电源输出~220V)
- (2) LT3 下水箱+、-信号分别连接数据 SL22 采集模块模拟量输入通道 A/I0+、-; 并且 LT3 下水箱+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL21 数据采集模块模拟量输出通道 A/00+、-信号分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) SL21、SL22 的+24v 输入+、-分别连接到+24v 输出的+、-上
- (5) PC 端 RS485 通讯线连接到 DDC 系统上

A/04 A/05 A/06 A/07

### 3.3 PLC 系统接线图



S7\_200 系统连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N 分别连到单相电源 1L、1N(单相电源输出~220V)
- (2) I/O 信号接口 LT3 下水箱+、-分别连接 PLC AI 输入端 A+、A-; RA 与 A+短接; A-连接到公共端 M
- (3) S7\_200AO 输出端 IO、MO 分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到 S7\_200PLC 上

## 第三节 锅炉内胆特性的测试

### 一、实验目的

- (1) 了解锅炉内胆温度特性测试系统的组成。
- (2) 掌握锅炉内胆温度特性的测试方法。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型过程控制实验装置。
2. 计算机、MCGS 工控组态软件、RS232/485 转换器 1 只、串口线 1 根。
3. 万用电表。

### 三、实验原理

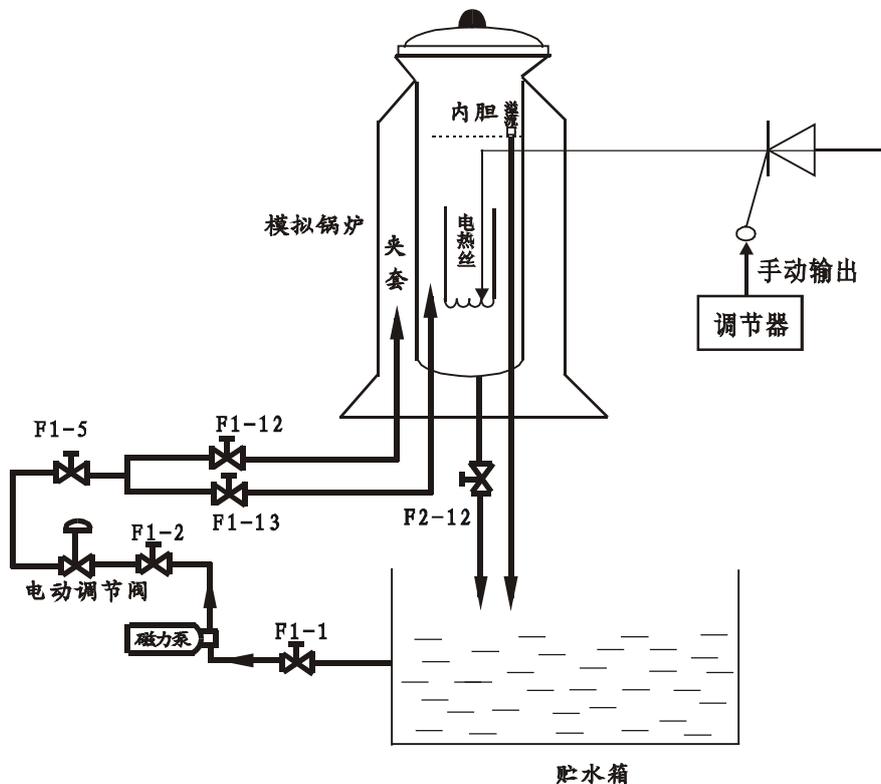


图 2-8 锅炉内胆温度特性实验结构示意图

#### (一) 锅炉夹套不加冷却水

加满锅炉内胆的水，手动操作调节器的输出，使可控整流电源的输出电压为 100V 左右。此电压加在加热管两端，内胆中的水温因之而逐渐上升。根据热平衡的原理，当内胆中的水温上升到某一值时，水的吸热和放热作用完全相等，从而使内胆中的水温达到一平衡状态。

由热力学原理可知，锅炉内胆水温的动态变化过程是用一阶常微分方程来描述，即其数学模型为一阶惯性环节。

#### (二) 锅炉夹套加冷却水

当锅炉夹套中注满冷却水，这相当于改变了锅炉内胆环境的温度，使其散热作用增强。显然，在这种情况下，如果用夹套无水时一样大小的可控电压去加热，在平衡状态时，内胆的水温必然要低于前者。如果要使内胆的水温达到夹套无水时相同的值，则需要提高可控硅的整流电压。

## 四、实验内容与步骤

1. 按图 2-8 所示的结构图，完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。

开启手动阀，使锅炉内胆注满水，手动操作调节器的输出，使可控整流电源的输出电压为 80V 左右。

启动计算机，实时记录锅炉内胆水温的响应过程。

把内胆中已加热的水通过出水阀放掉，重新注满冷水；并通过阀 F1-12 在夹套中注入冷却水。手动操作调节器的输出，使可控整流电源的输出电压与步骤 3) 的电压输出值一样大小。然后启动计算机，实时记录内胆中水温的变化过程。

## 五、实验报告

按常规内容写好实验报告。

对计算机在两种不同条件下所测得的内胆温度变化曲线进行分析比较。

## 实验三附录

### 1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统), 其接线方式请参考下表

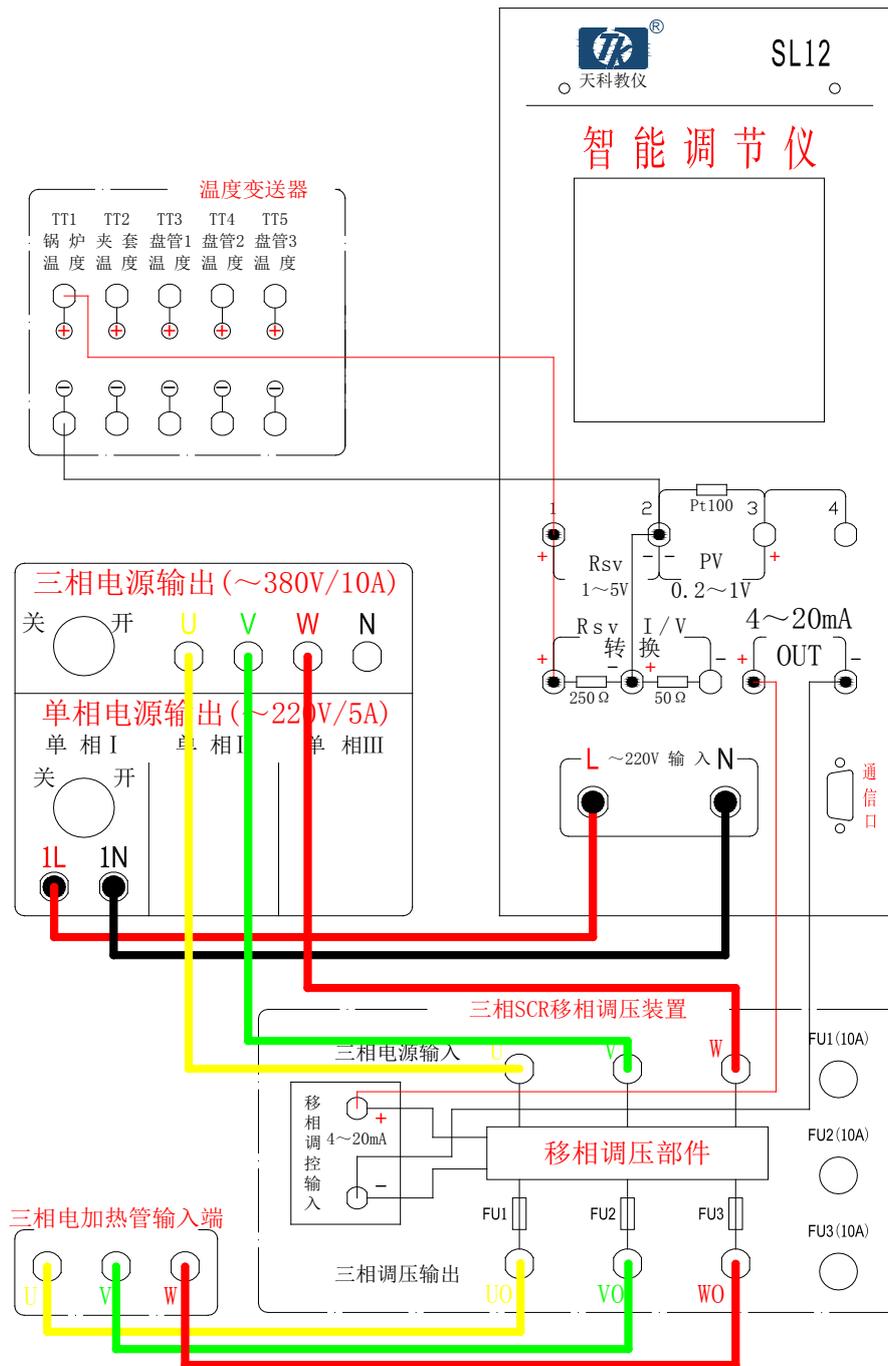
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接, 液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接液位传感器区间的左下水箱液位输出的正负端子, 另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子, 另外须外供直流 24V 电源

### 2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪, 本次实验只需一个)。

智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

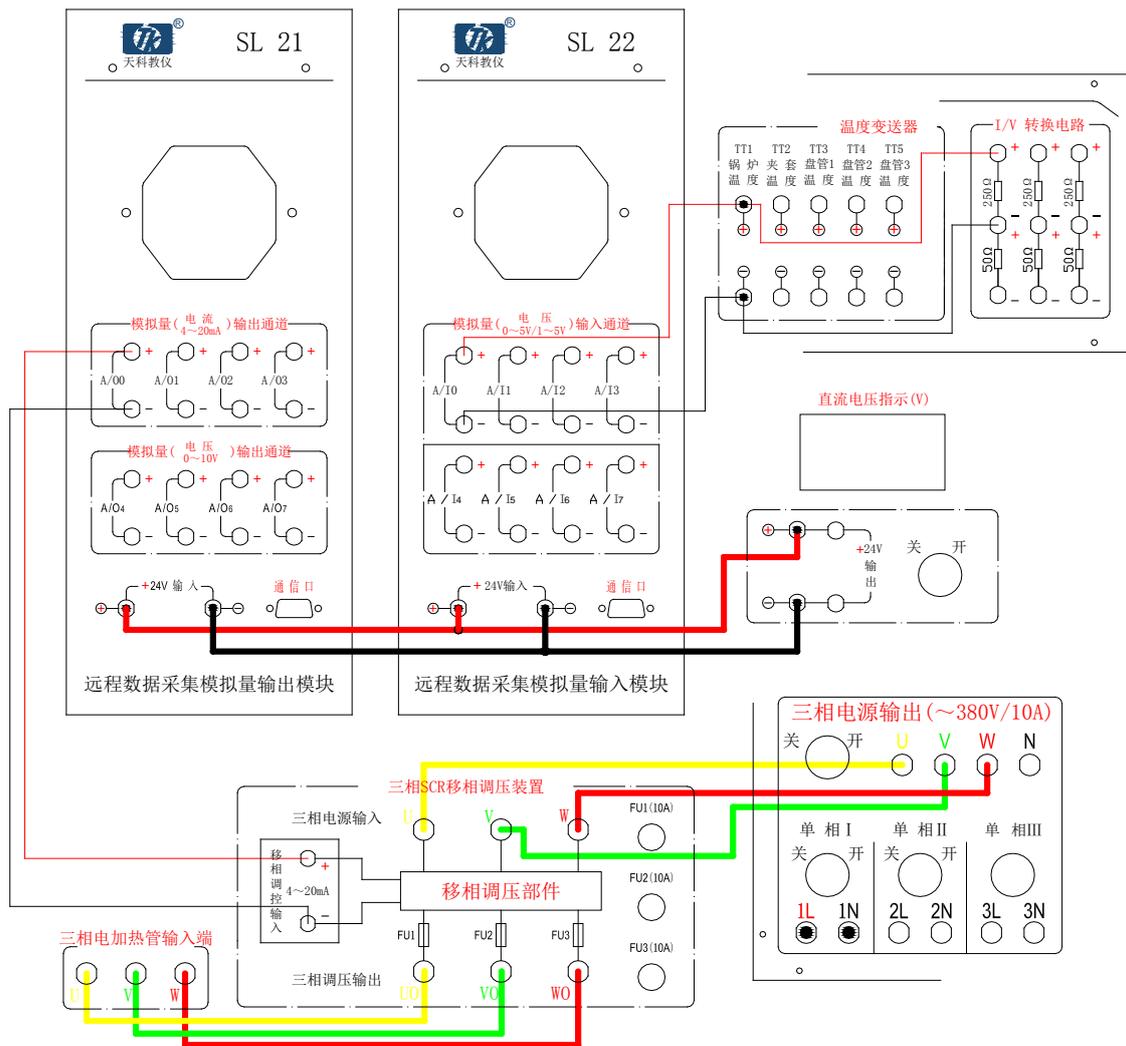
#### 3.1 智能仪表接线图



智能仪表连线说明:

- (1) 三相电源输出 ( $\sim 380V$ ) U、V、W 连到三相 SCR 移相调压装置的输入端 U、V、W，输出端  $U_0$ 、 $V_0$ 、 $W_0$  连接到三相电加热管的输入侧的 U、V、W 端
- (2) TT1 温度传感器+、-信号分别连接数据 SL12 智能仪表 RSV 1、2 上;并且 TT1 温度传感器+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL12 智能仪表  $4 \sim 20mA$  OUT+、-信号分别连接到三相移相控制信号  $4 \sim 20mA$  的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到智能仪表系统上

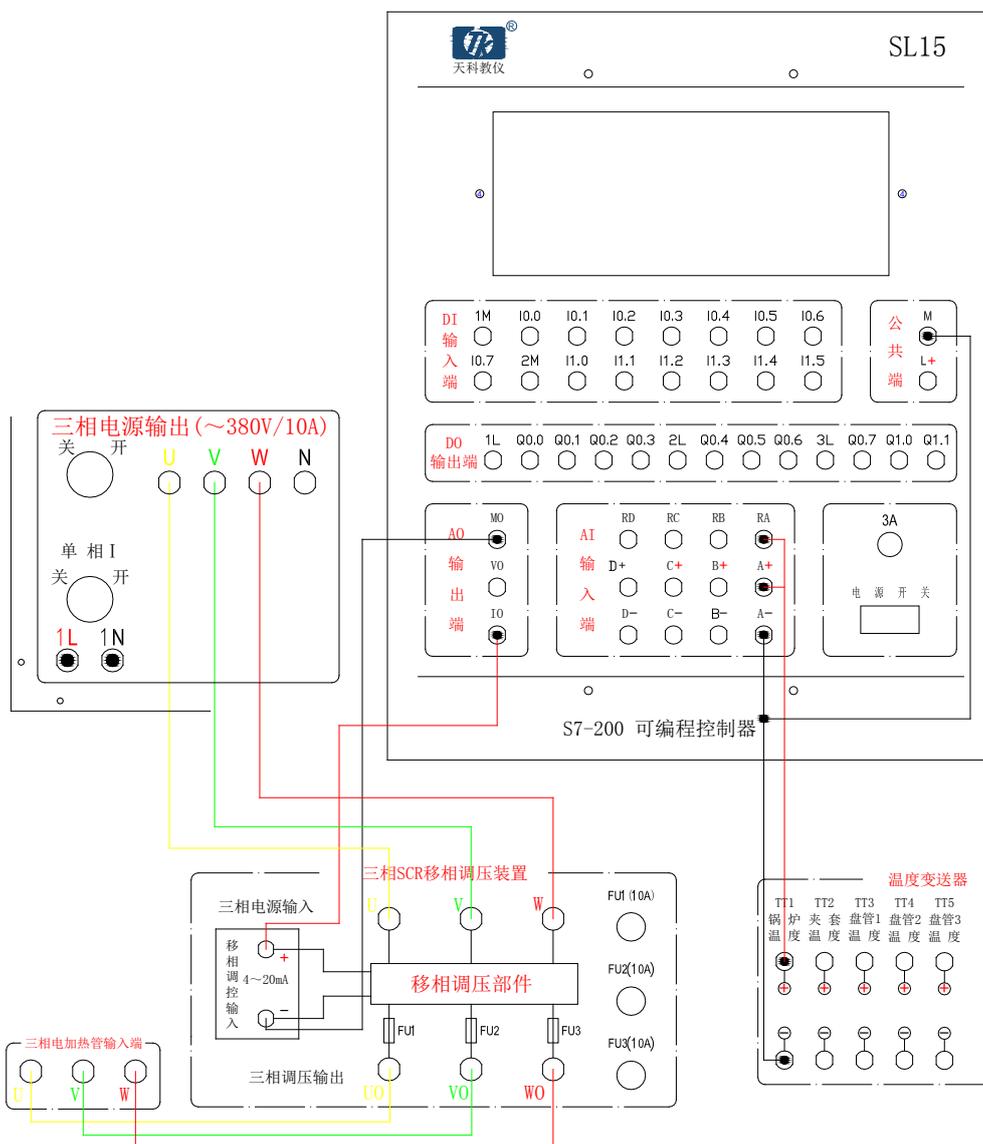
### 3.2 DDC 系统接线图



DDC 系统连线说明:

- (1) 三相电源输出 ( $\sim 380V$ ) U、V、W 连到三相 SCR 移相调压装置的输入端 U、V、W，输出端 U0、V0、W0 连接到三相电加热管的输入侧的 U、V、W 端
- (2) TT1 温度传感器+、-信号分别连接数据 SL22 采集模块模拟量输入通道 A/I0+、-; 并且 TT1 温度传感器+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL21 数据采集模块模拟量输出通道 A/O0+、-信号分别连接到三相移相控制信号  $4 \sim 20mA$  的+、-端
- (4) SL21、SL22 的+24v 输入+、-分别连接到+24v 输出的+、-上
- (5) PC 端 RS485 通讯线连接到 DDC 系统上

### 3.3 PLC 系统接线图



### S7\_200 系统连线说明:

- (1)三相电源输出 ( $\sim 380V$ ) U、V、W 连到三相 SCR 移相调压装置的输入端 U、V、W，输出端 U0、V0、W0 连接到三相电加热管的输入侧的 U、V、W 端
- (2)TT1 温度传感器+、-分别连接 PLC AI 输入端 A+、A-;RA 与 A+短接; A-连接到公共端 M
- (3)S7\_200AO 输出端 I0、M0 分别连接到三相移相控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4)PC 端 RS485 通讯线连接到 S7\_200PLC 上

## 第四节 电动调节阀流量特性的测试

### 一、实验目的

1. 了解电动调节阀的结构与工作原理。
2. 通过实验，进一步了解电动调节阀流量的特性。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型过程控制实验装置
2. 计算机及相关的软件。
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

电动调节阀包括执行机构和阀两个部分，它是过程控制系统中的一个重要环节。电动调节阀接受调节器输出  $4\sim 20\text{mADC}$  的信号，并将其转换为相应输出轴的角位移，以改变阀节流面积  $S$  的大小。图 2-9 为电动调节阀与管道的连接图。

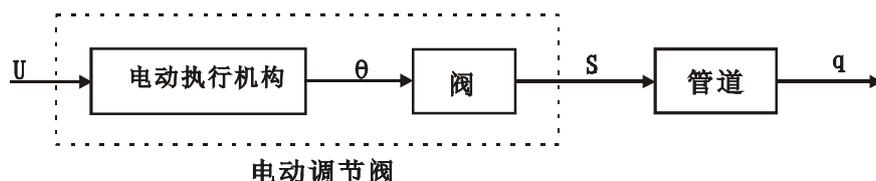


图 2-9 电动调节阀与管道的连接图

图中：

- $u$ ——来自调节器的控制信号（ $4\sim 20\text{mADC}$ ）
- $\theta$ ——阀的相对开度
- $s$ ——阀的截流面积
- $q$ ——液体的流量

由过程控制仪表的原理可知，阀的开度  $\theta$  与控制信号的静态关系是线性的，而开度  $\theta$  与流量  $Q$  的关系是非线性的。图 2-10 为本实验结构图。

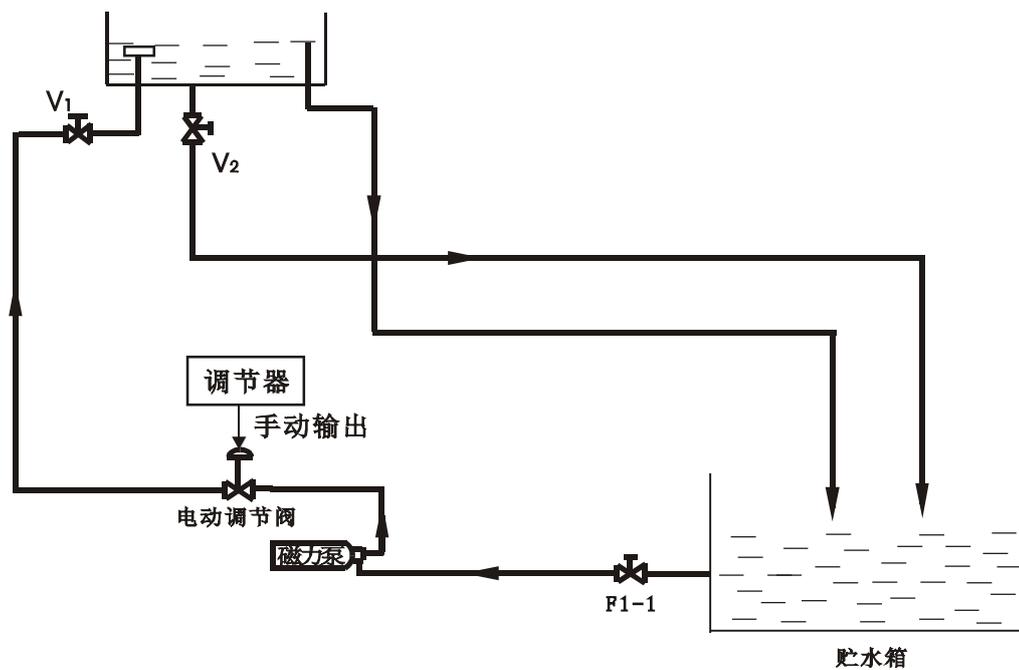


图 2-10 电动调节阀特性实验结构图

## 四、实验报告与步骤

1. 按图 2-10 所示的实验结构图，完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源，并把手动阀置于一定的开度。
3. 把调节器置于手动状态，并使其输出相应于电动阀开度的 10%、20%、..... 100%，分别记录不同状态时调节器的输出电流和相应的流量。
4. 由电流  $I$  作横作标，流量  $Q$  作纵坐标，画出  $Q=F(I)$  的曲线。

## 五、实验报告

1. 完成常规的实验报告内容。
2. 根据所画出的曲线，判别该电动阀的阀体是快开特性，等百分比特性还是慢开特性。

## 实验四附录

1. 如用 PLC 系统 (DDC 远程模块系统), 接线方式请参考下表, 其它操作与上述实验步骤相似

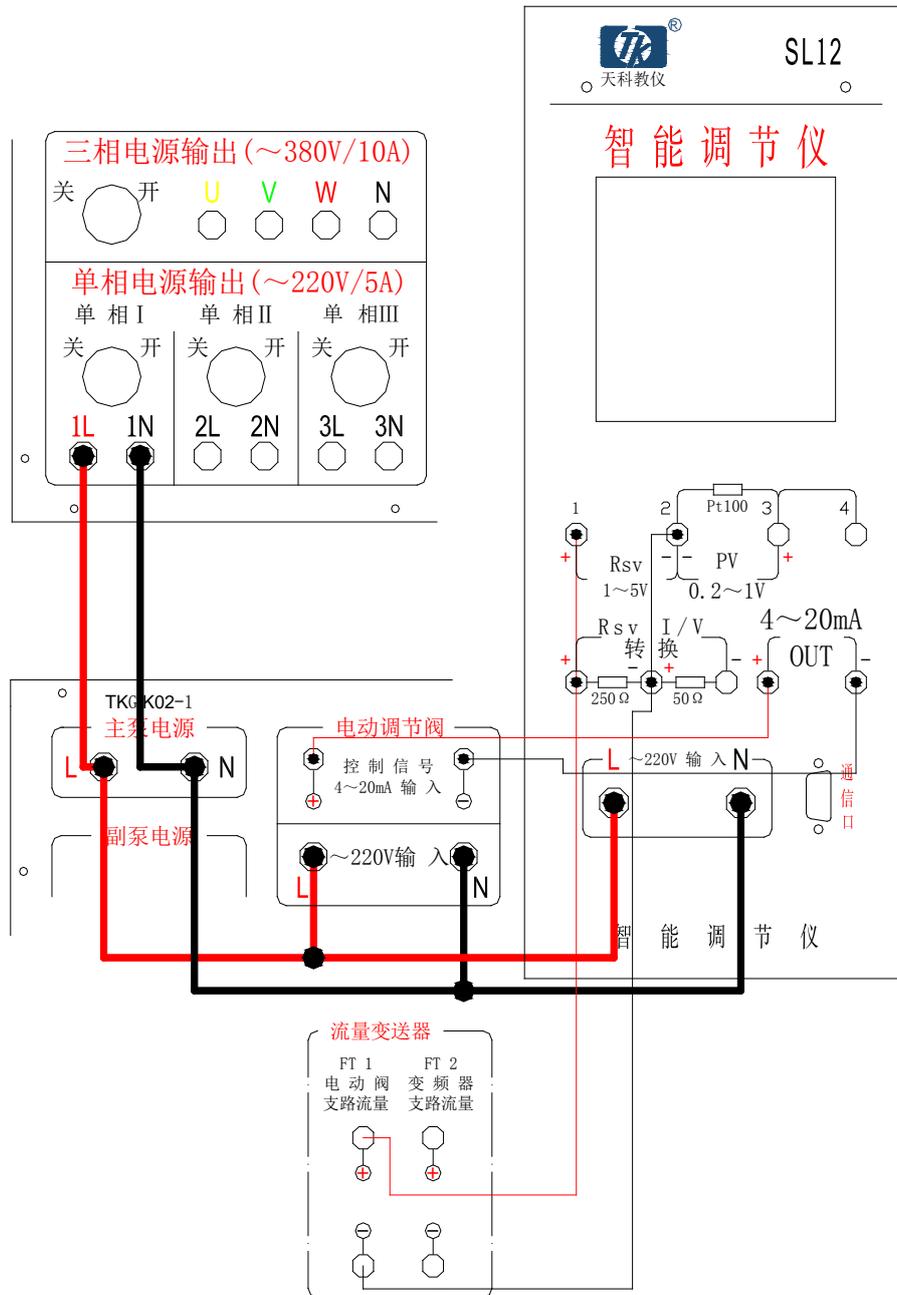
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接, 液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子, 另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子, 另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表 (实验设备有三块智能调节仪, 本次实验只需一个)。

智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	1.200	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

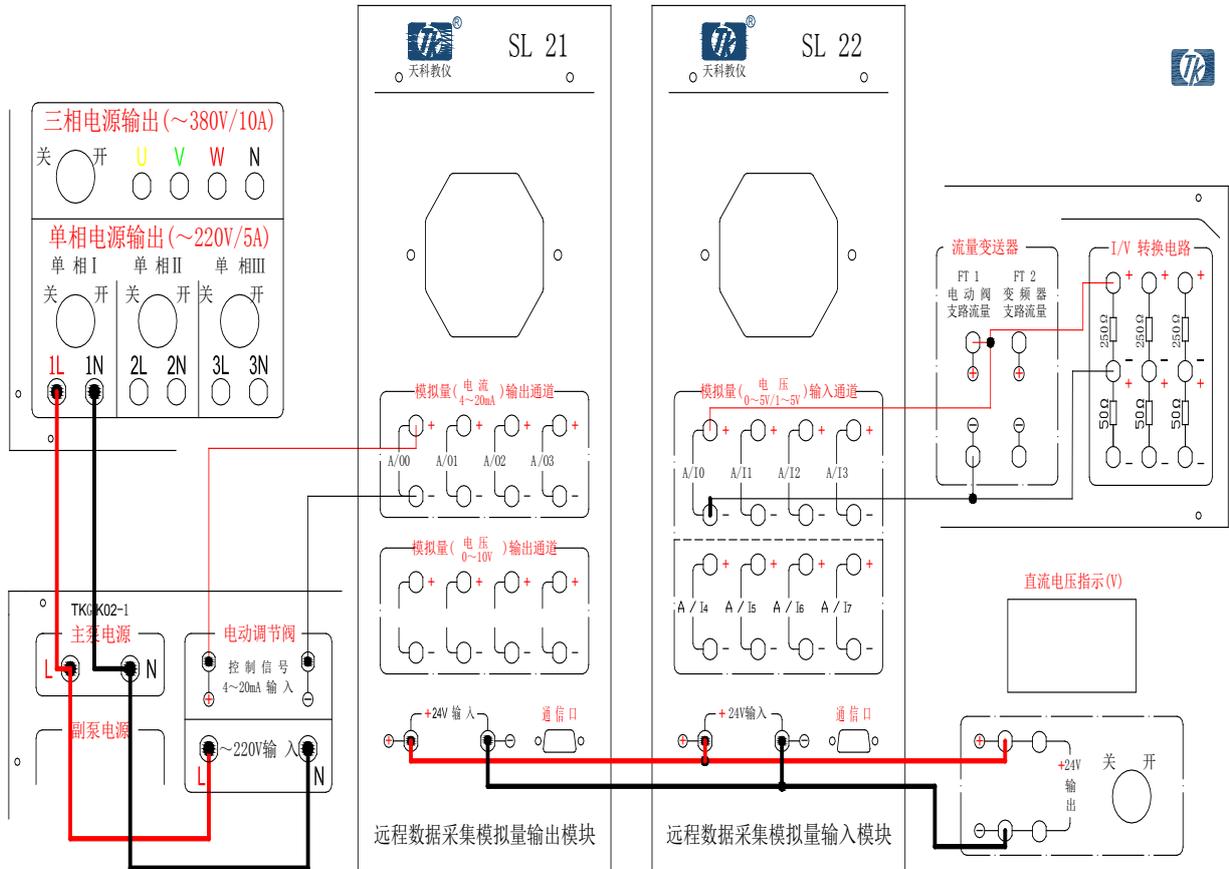
#### 3.1 智能仪表接线图



#### 智能仪表连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N, SL12 智能仪表 L、N 分别连到单相电源 1L、1N (单相电源输出 $\sim 220V$ )
- (2) FT1 电动阀支路流量+、-信号分别连接数据 SL12 智能仪表 RSV 1、2 上; 并且 FT1 电动阀支路流量+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL12 智能仪表 4 $\sim$ 20mA OUT+、-信号分别连接到电动调节阀的控制信号 4 $\sim$ 20mA 的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到智能仪表系统上

### 3.2 DDC 仪表接线图

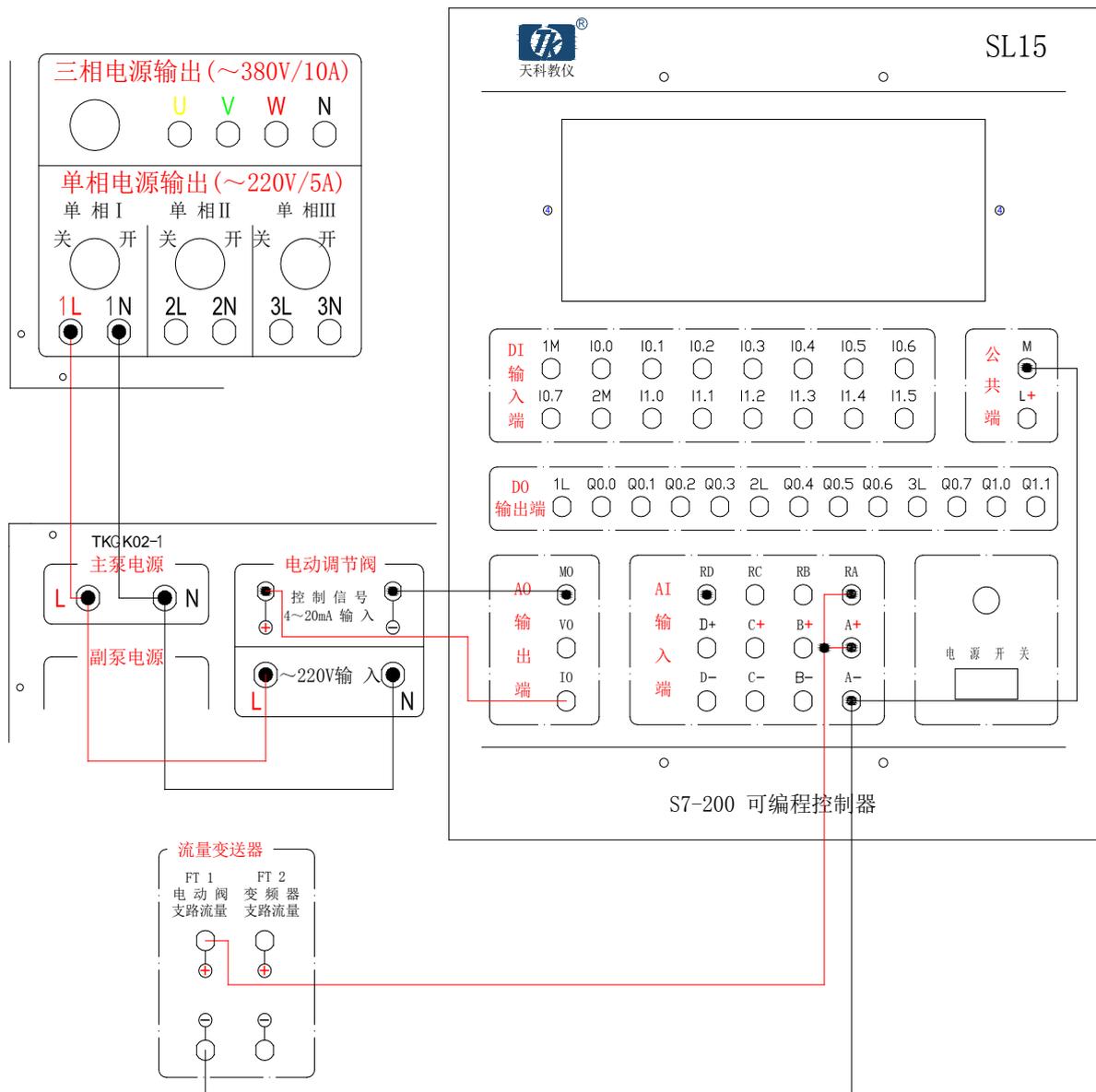


#### DDC 系统连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N 分别连到单相电源 1L、1N (单相电源输出 ~220V)
- (2) FT1 电动阀支路流量+、-信号分别连接数据 SL22 采集模块模拟量输入通道 A/I0+、-; 并且 FT1 电动阀支路流量+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)
- (3) SL21 数据采集模块模拟量输出通道 A/00+、-信号分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) SL21、SL22 的+24V 输入+、-分别连接到+24V 输出的+、-上
- (5) PC 端 RS485 通讯线连接到 DDC 系统上

A/I0+ A/I0- A/I6+ A/I7-

### 3.3 PLC系统接线图



#### S7\_200 系统连线说明:

- (1) 电动调节阀电源 L、N, 主泵电源 L、N 分别连到单相电源 1L、1N (单相电源输出~220V)
- (2) I/O 信号接口 FT1 电动阀支路流量+、- 分别连接 PLC AI 输入端 A+、A-; RA 与 A+ 短接; A- 连接到公共端 M
- (3) S7\_200AO 输出端 IO、MO 分别连接到电动调节阀的控制信号 4~20mA 的+、-端
- (4) PC 端 RS485 通讯线连接到 S7\_200PLC 上

•  
•  
•

## 第五节 变频压力特性测试实验

### 一、实验目的

1. 了解变频器的结构与工作原理。
2. 通过实验，进一步了解变频调速压力的特性。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

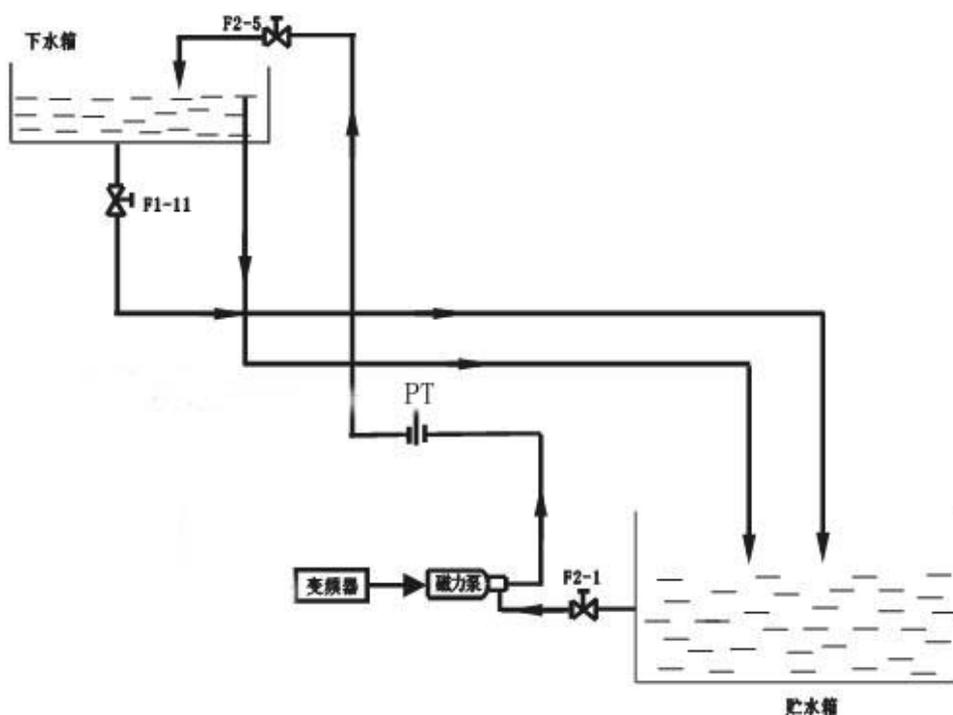


图 3-21 变频调速压力特性结构图

图 3-21 为变频调速压力特性结构图。系统的被控对象为变频器-磁力泵支路管道，流经管道中的液体压力  $P$  作为被控制量。基于被控对象是一个时间常数较小的惯性环节，故本系统调节器参数的整定宜用阶跃响应曲线法求得的  $K$ 、 $T$  和  $\tau$ ，

### 四、实验内容与步骤

1. 按图 3-21 所示的实验结构图，完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源，并把手动阀置于一定的开度。
3. 把调节器置于手动状态，并使其输出相应于变频的输出 10%、20%、..... 100%，分别记录不同状态时调节器的输出电流和相应的压力。
4. 由电流  $I$  作横作标，压力  $P$  作纵坐标，画出  $P=P(I)$  的曲线。

## 五、实验报告

1. 完成常规实验报告内容。
2. 对实验的数据进行分析。

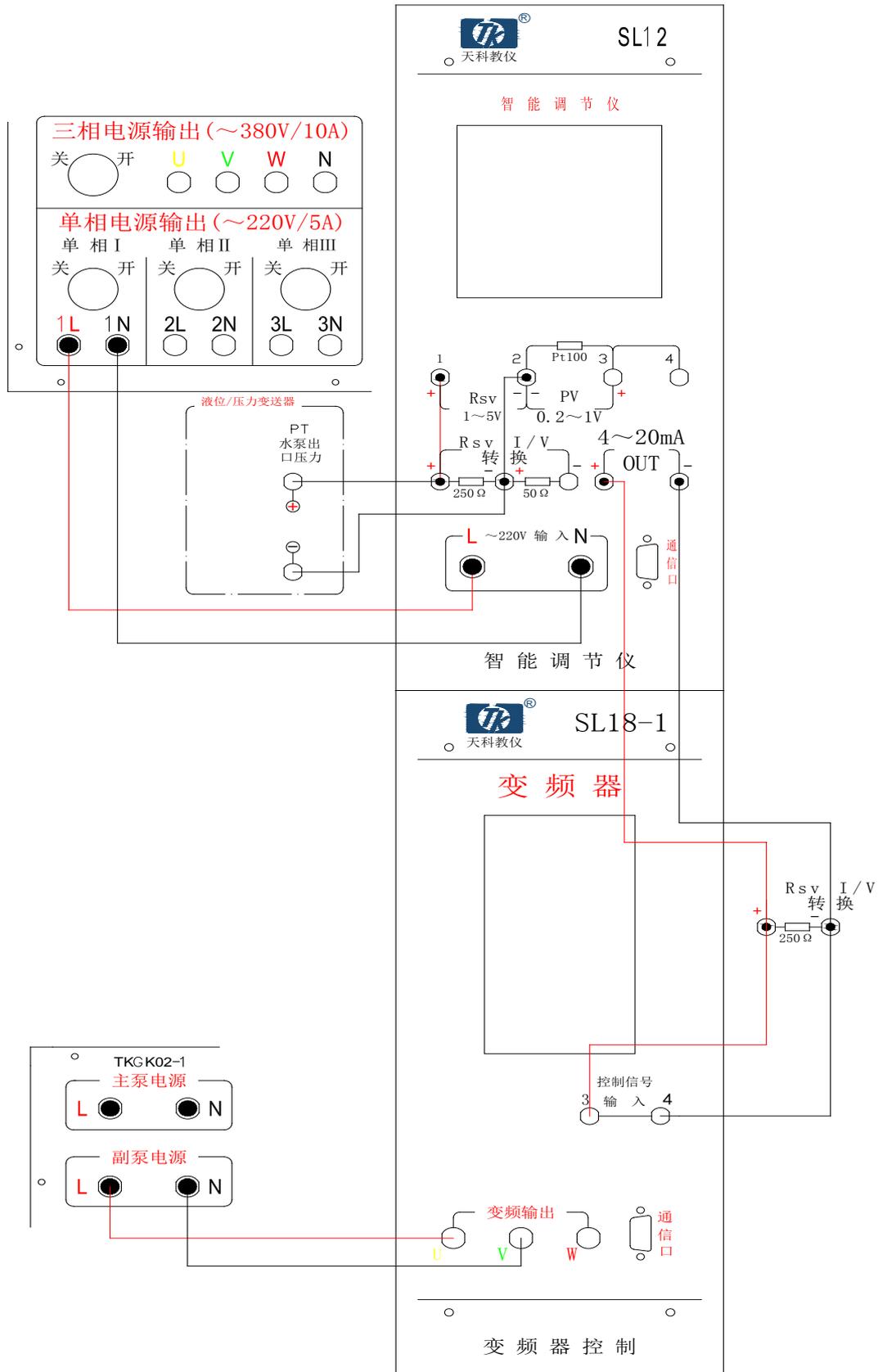
## 实验五附录

1. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

2. 实验参考接线图

## 2.1 智能仪表系统接线图



智能仪表连线说明:

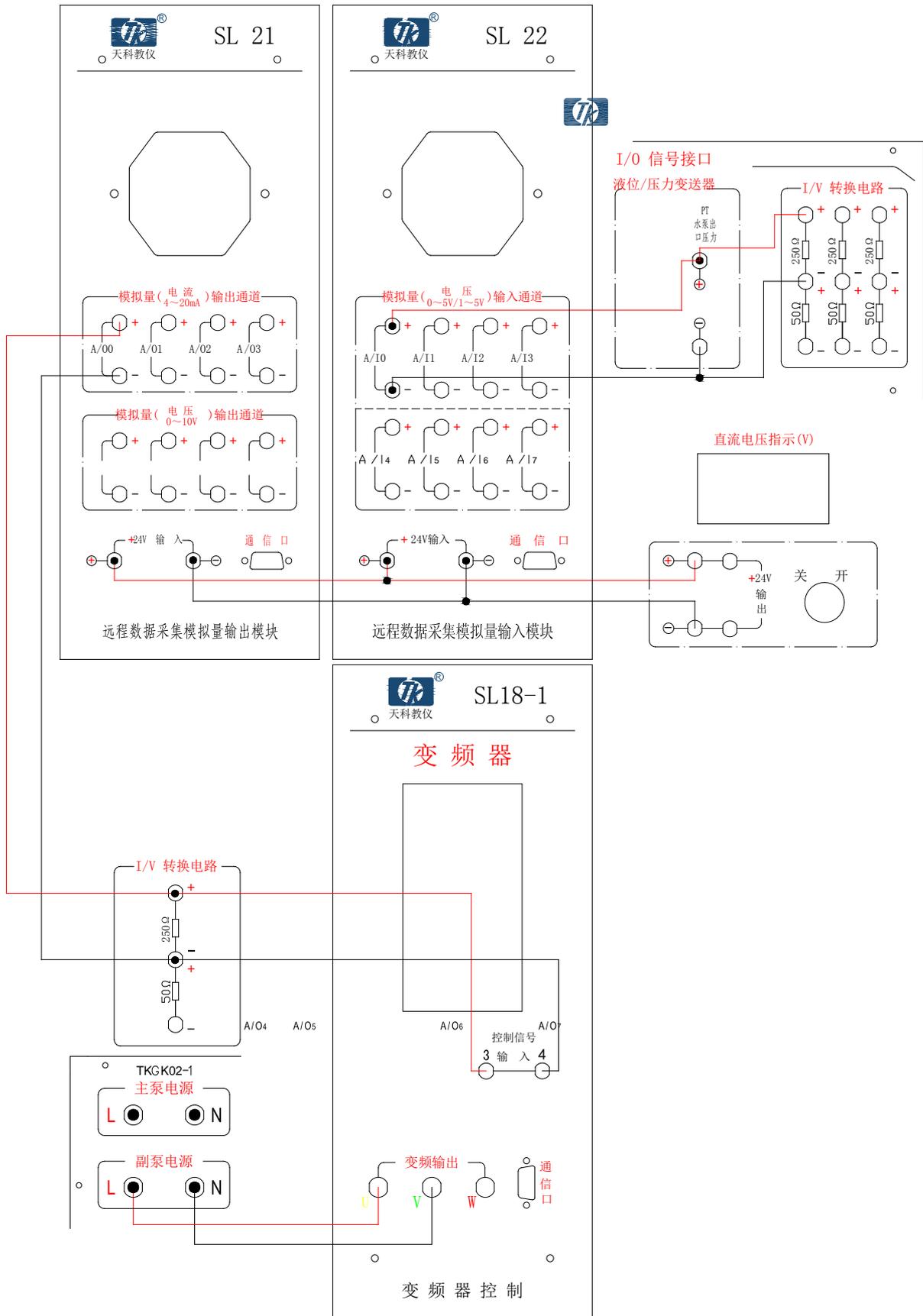
(1)变频器输出 U、V 分别连接到副泵电源 L、N 上

(2)PT 水泵出水口压力+、-信号分别连接数据 SL12 智能仪表 RSV 1、2 上;并且 PT 水泵出水口压力+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)

(3)SL12 智能仪表 4~20mA OUT+、-信号分别连接到变频器的控制信号 4~20mA 的+、-端; 并且变频器控制信号 4~20mA 的+、-端并上 250 欧电阻

(4)PC 端 RS485 通讯线连接到智能仪表系统上

## 2.2 DDC 系统接线图



DDC 系统连线说明:

(1)变频器输出 U、V 分别连接到副泵电源 L、N 上

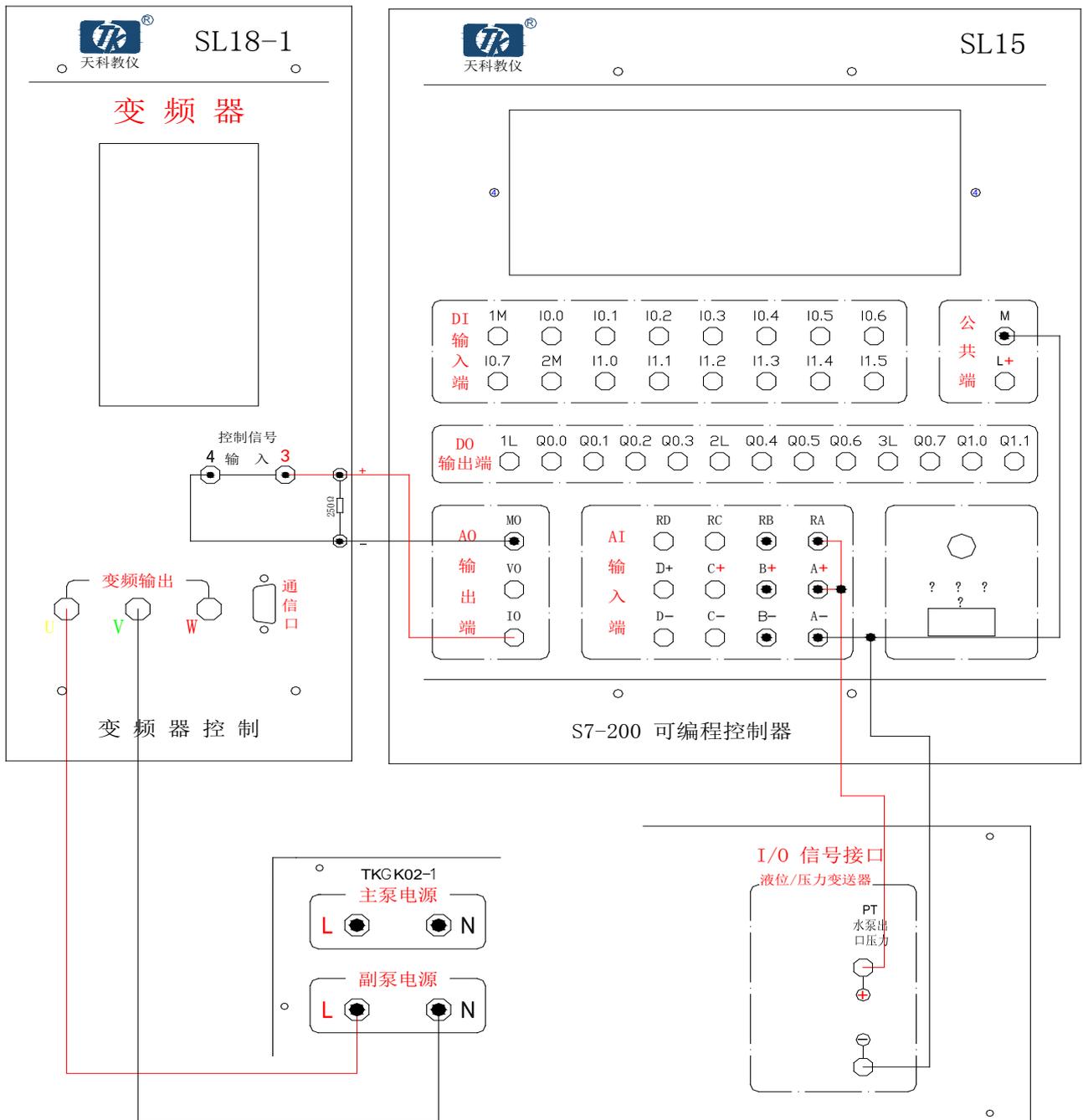
(2)PT 水泵出水口压力+、-信号分别连接数据 SL22 采集模块模拟量输入通道 A/I0+、-;并且 PT 水泵出水口压力+、-信号分别连接到 250 欧两端 (I/V 转化电路)

(3)SL21 数据采集模块模拟量输出通道 A/00+、-信号分别连接到变频器控制信号  $4 \sim 20\text{mA}$  的+、-端; 并且变频器控制信号  $4 \sim 20\text{mA}$  的+、-端并上 250 欧电阻

(4)SL21、SL22 的+24v 输入+、-分别连接到+24v 输出的+、-上

(5)PC 端 RS485 通讯线连接到 DDC 系统上

## 2.3 PLC 系统接线图



S7\_200 系统连线说明:

- (1)变频器输出 U、V 分别连接到副泵电源 L、N 上
- (2)I/O 信号 PT 水泵出水口压力+、-分别连接 PLC AI 输入端 A+、A-;RA 与 A+短接; A-连接到公共端 M
- (3)S7\_200AO 输出端 I0、M0 分别连接到 SL18-1 变频器控制信号 4<sup>+</sup>20mA 的+、-端;并且变频器控制信号 4<sup>+</sup>20mA 的+、-端并上 250 欧电阻
- (4)PC 端 RS485 通讯线连接到 S7\_200PLC 上

# 第三章 单回路控制系统实验

## 第一节 单回路控制系统的实践

### 一、单回路控制系统的概述

图 3-1 为单回路控制系统方框图的一般形式，它是由被控对象、执行器、调节器和测量变送器所组成。系统的给定量是一定值，要求系统的被控制量等于给定量所要求的值。由于这种系统结构简单，性能较好，调试方便等优点，故在工业生产中被广泛应用。

在系统设计前，不仅需要对被控对象有深入地认识，而且还应对整个生产的工艺、设备也有深入的了解。只有这样，才能设计出一个性能优良、经济实用的控制系统。

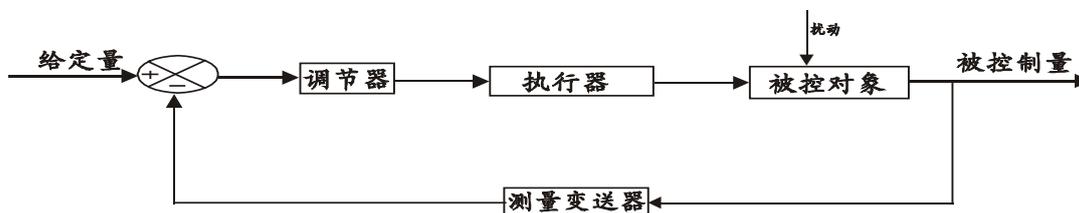


图 3-1 单回路控制系统方框图

### 二、干扰对系统性能的影响

#### 1. 干扰通道的放大系数、时间常数及纯滞后的影响。

干扰通道的放大系数  $K_f$  会影响干扰加在系统中的幅值。若系统是有差系统，则干扰通道的放大系数愈大，系统的静差也就愈大。我们希望干扰通道的放大系数愈小愈好。

如果干扰通道是一惯性环节，令时间常数为  $T_{f1}$ ，则阶跃扰动通过惯性环节后，其过渡过程的动态分量被滤波而幅值变小。即时间常数  $T_{f1}$  越大，则系统的动态偏差就愈小。

通常干扰通道中还会有纯滞后环节，使被调参数的响应时间滞后一个  $\tau$  值，即

$$Y_{\tau}(t) = Y(t - \tau)$$

上式表明调节过程沿时间轴平移了一个  $\tau$  的距离，所以干扰通道出现有纯滞后，不会影响系统调节质量。

#### 2. 干扰进入系统中的不同位置。

复杂的生产过程往往有多个干扰量，如图 3-2 所示。

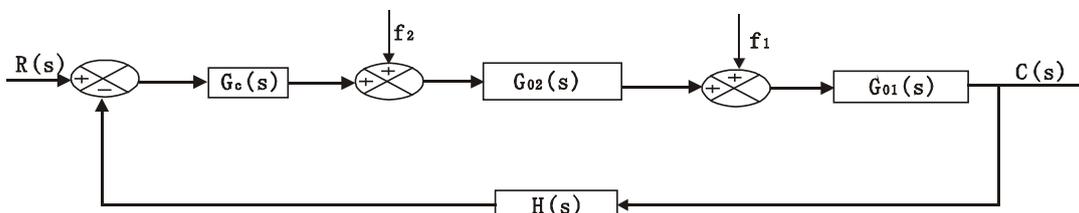


图 3-2 扰动作用于不同位置的控制系统

控制理论证明，同一形式大小相同的扰动出现于系统中不同的位置所产生的静差是不一样的。对扰动产生影响的仅是扰动作用点前的那些环节。

### 三、控制规律的确定

选择系统调节规律的目的，是使调节器与调节对象能很好地匹配，使组成的控制系统能满足工艺上所提出的动、静态性能指标的要求。

#### 1. 比例(P)调节

纯比例调节器是一种最简单的调节器，它对控制作用和扰动作用的响应都很快。由于比例调节只有一个参数，所以整定很方便。这种调节器的主要缺点是使系统有静差存在。

### 2. 比例积分 (PI) 调节

PI 调节器的积分部分能使系统的类型数提高，有利于消除静差，但它又使 PI 调节器的相位滞后量减小，系统的稳定性变差，其传递函数为

$$G_c(S) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I S} \right)$$

这种调节器在过程控制中是应用最多的一种调节器。

### 3. 比例微分 (PD) 调节

这种调节器由于有微分的作用，能增加系统的稳定度，比例系数的增大能加快系统的调节过程，减小动态和静态误差，但微分不能过大，以利于抗高频干扰。PD 调节器的传递函数为

$$G_c(S) = K_P (1 + T_D S)$$

### 4. 比例微分积分 (PID) 调节器

PID 是常规调节器中性能最好的一种调节器。由于它具有各类调节器的优点，因而使系统具有更高的控制质量。它的传递函数为

$$G_c(S) = K_P \left( 1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right)$$

## 四、调节器参数的整定方法

调节器参数的整定一般有两种方法：一种是理论设计法，即根据广义对象的数学模型和性能要求，用根轨迹法或频率法来确定调节器的相关参数，另一种方法是工程实验法，通过对典型输入响应曲线所得到的特征量，然后查照经验表，求得调节器的相关参数。工程实验整定法有以下四种：

#### 经验法

若将控制系统液位、流量、温度和压力等参数来分类，则属于同一类别的系统，其对象往往比较接近，所以无论是控制器形式还是所整定的参数均可相互参考。表一为经验法整定参数的参考数据，在此基础上，

对调节器的参数作进一步修正。若需加微分作用，微分时间常数按  $T_D = \left( \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4} \right) T_I$  计算。

表一 经验法整定参数

系统	参数		
	$\delta$ (%)	$T_I$ (min)	$T_D$ (min)
温度	20~60	3~10	0.5~3
流量	40~100	0.1~1	
压力	30~70	0.4~3	
液位	20~80		

### (二) 临界比例度法

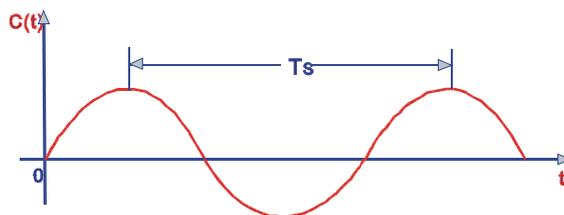


图 3-3、具有周期  $T_s$  的等幅振荡

这种整定方法是在闭环情况下进行的。设  $T_i = \infty$ ,  $T_d = 0$ , 使调节器工作在纯比例情况下, 将比例度由大逐渐变小, 使系统的输出响应呈现等幅振荡, 如图 3-3 所示。根据临界比例度  $\delta_s$  和振荡周期  $T_s$ , 按表二所列的经验算式, 求取调节器的参考参数数值, 这种整定方法是以得到 4: 1 衰减为目标。

表二 临界比例度法整定调节器参数

调节器参数 调节器名称	$\delta_s$	$T_i$ (S)	$T_d$ (S)
P	$2 \delta_s$		
PI	$2.2 \delta_s$	$T_s/1.2$	
PID	$1.6 \delta_s$	$0.5 T_s$	$0.125 T_s$

临界比例度法的优点是应用简单方便, 但此法有一定限制。从工艺上看, 允许受控变量能承受等幅振荡的波动, 其次是受控对象应是二阶和二阶以上或具有纯滞后的一阶以上环节, 否则在比例控制下, 系统是不会出现等幅振荡的。

在求取等幅振荡曲线时, 应特别注意控制阀出现开、关的极端状态。

### (三) 阻尼振荡法 (衰减曲线法)

在闭环系统中, 先把调节器设置为纯比例作用, 然后把比例度由大逐渐减小, 加阶跃扰动观察输出响应的衰减过程, 直至出现图 3-4 所示的 4: 1 衰减过程为止。这时的比例度称为 4: 1 衰减比例度, 用  $\delta_s$  表示之。相邻两波峰间的距离称为 4: 1 衰减周期  $T_s$ 。根据  $\delta_s$  和  $T_s$ , 运用表三所示的经验公式, 就可计算出调节器预整定的参数值。

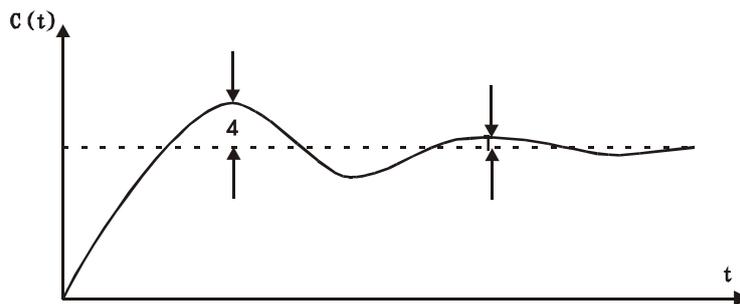


图 3-4 4: 1 衰减曲线法图形

表三、阻尼振荡法计算公式

调节器参数 调节器名称	$\delta$ (%)	$T_i$ (min)	$T_d$ (min)
P	$\delta_s$		
PI	$1.2 \delta_s$	$0.5 T_s$	
PID	$0.8 \delta_s$	$0.3 T_s$	$0.1 T_s$

## 四、反应曲线法

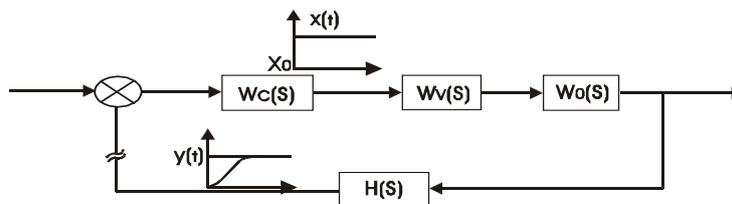


图 3-5 实验系统方框图

如果被控对象是一阶惯性环节, 或具有很小滞后的一阶惯性环节, 若用临界比例度法或阻尼振荡法 (4: 1 衰减) 就有难度。对于这种情况, 可采用下述的反应曲线法来整定调节器的参数。图 3-5 为实验系统的

方框图。令调节器的输出  $X(t)$  为阶跃信号，则对象经测量变送器后的输出  $Y(t)$ ，如图 3-6 所示。

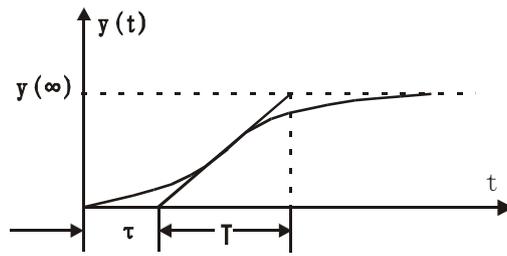


图 3-6 阶跃响应曲线

由该图可确定  $\tau$ 、 $T$  和  $K$ ，其中  $K$  按下式确定

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{x_0}$$

根据所求的  $K$ 、 $T$  和  $\tau$ ，利用下表所示的经验公式，就可计算出对应于衰减率为 4: 1 时调节器的相关参数。

表四 经验计算公式

调节器名称 \ 调节器参数	$\delta$ (%)	$T_I$	$T_D$
P	$\frac{K\tau}{T} \times 100\%$		
PI	$1.1 \frac{K\tau}{T} \times 100\%$	$3.3 \tau$	
PID	$0.85 \frac{K\tau}{T} \times 100\%$	$2 \tau$	$0.5 \tau$

## 第二节 上水箱(中水箱或下水箱)液位定值控制系统

### 一、实验目的

1. 了解单闭环液位控制系统的结构与组成。
2. 掌握单闭环液位控制系统调节器参数的整定。
3. 研究调节器相关参数的变化对系统动态性能的影响。

### 二、实验设备

1. TKJ-2 型高级过程控制系统装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

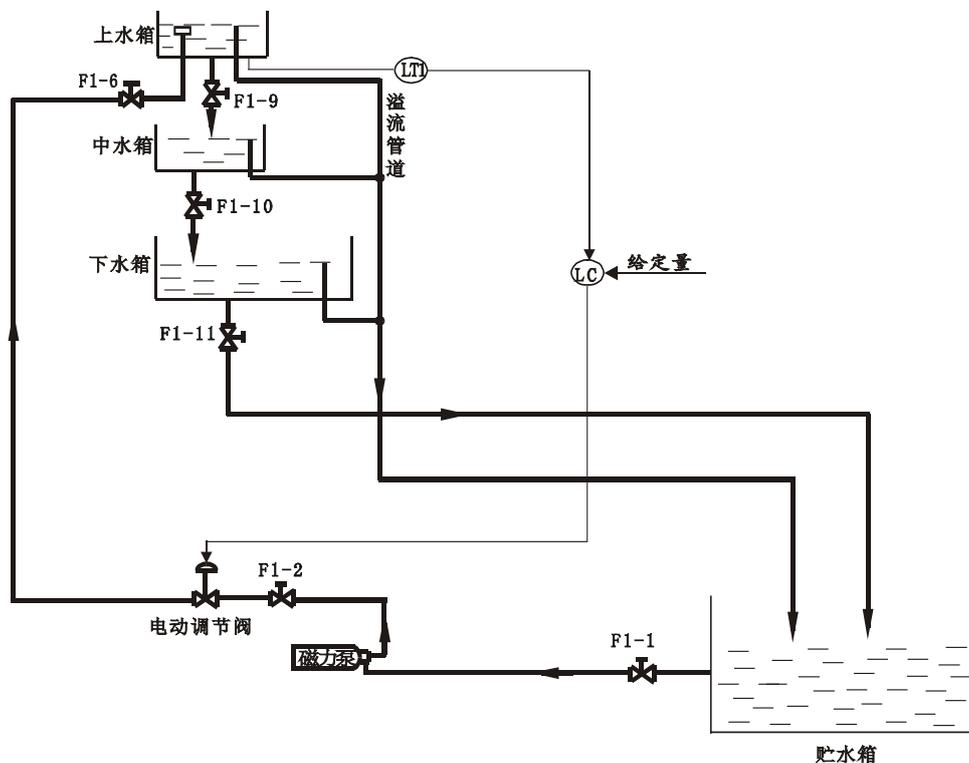


图 3-7 上水箱液位定值控制结构图

本实验系统的被控对象为上水箱，其液位高度作为系统的被控制量。系统的给定信号为一定值，它要求被控制量上水箱的液位在稳态时等于给定值。由反馈控制的原理可知，应把上水箱的液位经传感器检测后的信号作为反馈信号。图 3-7 为本实验系统的结构图，图 3-8 为控制系统的方框图。为了实现系统在阶跃给定和阶跃扰动作用下无静差，系统的调节器应为 PI 或 PID。

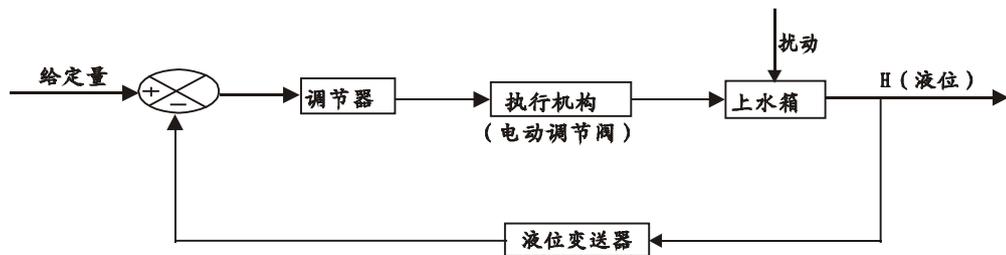


图 3-8 上水箱液位定值控制方框图

#### 四、实验内容与步骤

1. 按图 3-7 要求，完成系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F1-1、F1-2、F1-6 和 F1-9，且把 F1-9 控制在适当的开度。
4. 选用单回路控制系统实验中所述的某种调节器参数的整定方法整定好调节器的相关参数。
5. 设置好系统的给定值后，用手动操作调节器的输出，使电动调节阀给上水箱打水，待其液位达到给定值所要求的值，且基本稳定不变时，把调节器切换为自动，使系统投入自动运行状态。
6. 启动计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行下列实验：
  - 1) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定值增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
  - 2) 待系统进入稳态后，适量改变阀 F1-6 的开度，以作为系统的扰动，观察并记录在阶跃扰动作用下液位的变化过程。
7. 适量改变 PI 的参数，用计算机记录不同参数时系统的响应曲线。

#### 五、实验报告

1. 用实验方法确定调节器的相关参数。
2. 列表记录，在上述参数下求得阶跃响应的动、静态性能指标。
3. 列表记录，在上述参数下求得系统在阶跃扰动作用下响应曲线的动、静态性能指标。
4. 改变比例度  $\delta$  和积分时间  $T_i$  对系统的性能产生什么影响？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

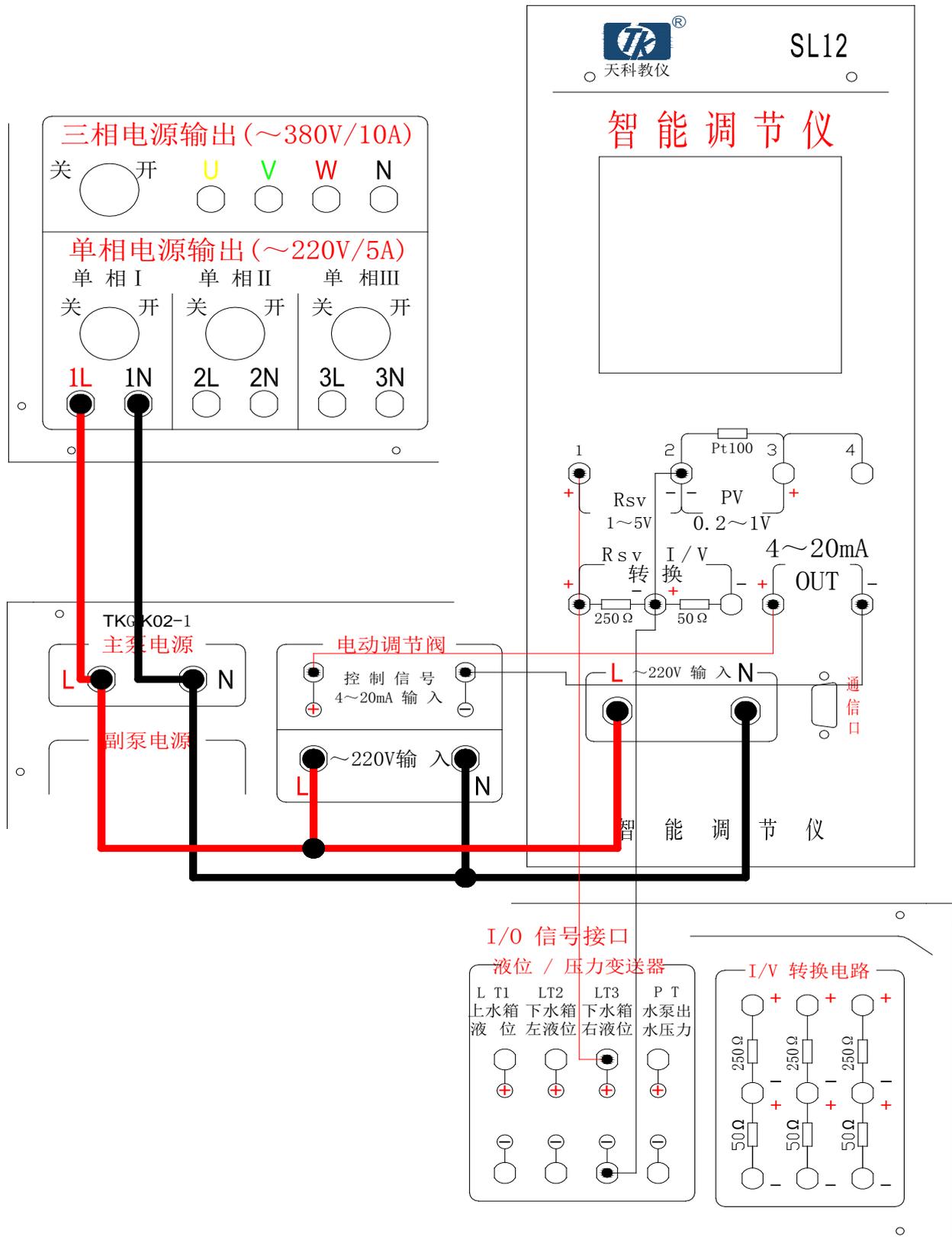
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接， 液位传感器区间的下水箱液位输出的	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的 控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接液位 传感器区间的下水箱液位输出的正负	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀 的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接 连接液位传感器区间的左下水箱液位	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀 的控制信号输入正负端子，另外须外供直流 24V

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

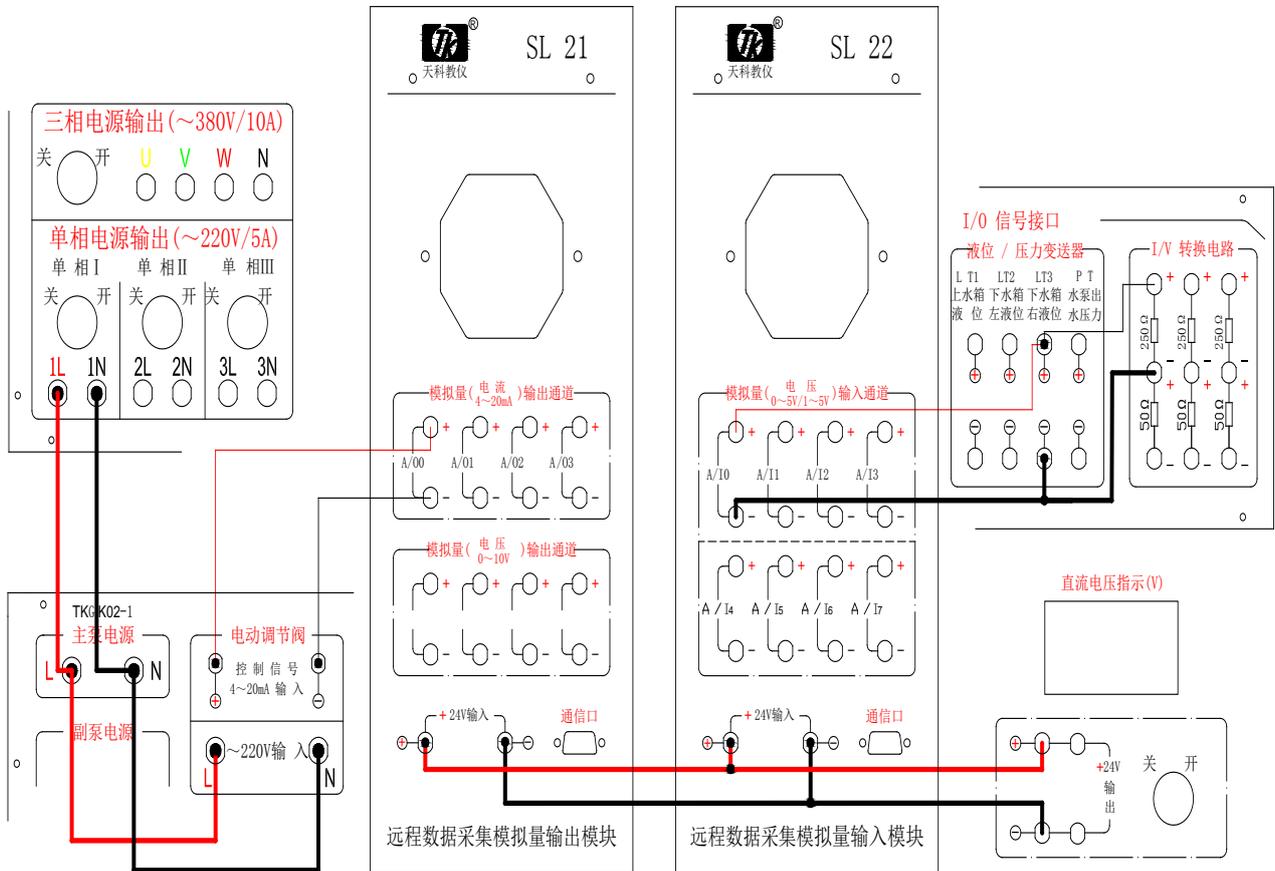
智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图

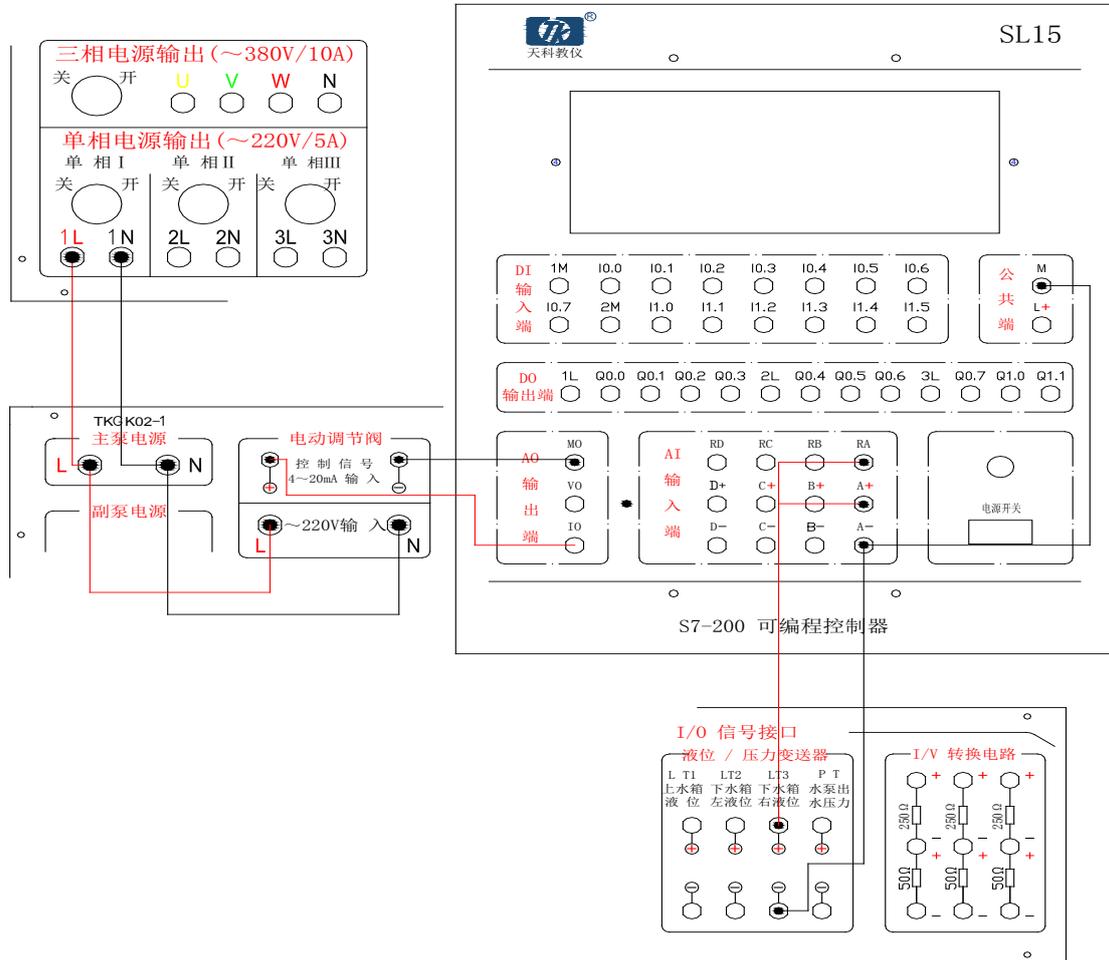


### 3.2 DDC 系统接线图



A/O4 A/O5 A/O6 A/O7

### 3.3 PLC 系统接线图



# 第三节 双容水箱液位定值控制系统

## 一、实验目的

1. 通过实验，进一步了解双容对象的特性。
2. 掌握调节器参数的整定与投运方法。
3. 研究调节器相关参数的改变对系统动态性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统装置。
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表一只

## 三、实验原理

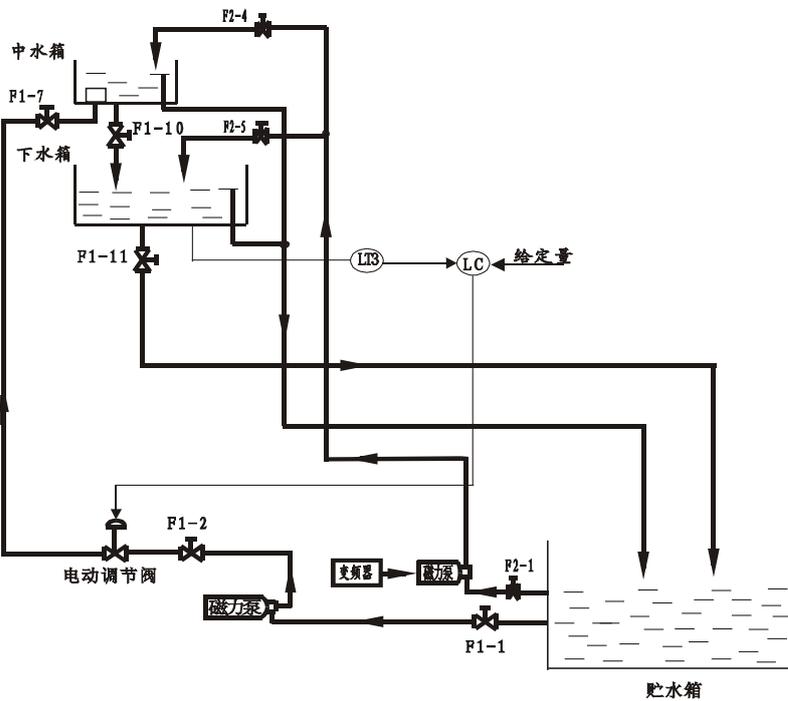


图 3-9 双容液位定值控制系统结构图

本实验系统以中水箱与下水箱为被控对象，下水箱的液位高度为系统的被控制量。基于系统的给定量是一定值，要求被控制量在稳态时等于给定量所要求的值，所以调节器的控制规律为 PI 或 PID。本系统的执行元件既可采用电动调节阀，也可用变频调速磁力泵。如果采用电动调节阀作执行元件，则变频调速磁力泵支路中的手控阀 F2-4 或 F2-5 打开时可分别作为中水箱或下水箱的扰动。图 3-9 为实验系统的结构图，图 3-10 为控制系统的方框图。

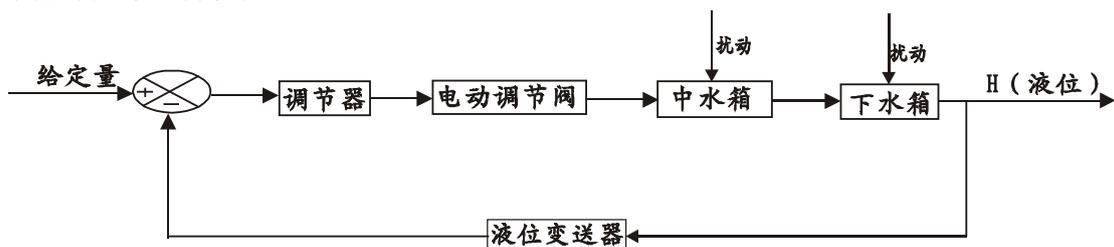


图 3-10 双容液位定值控制系统方框图

#### 四、实验内容与步骤

1. 图 3-9 所示，完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F1-1、 F1-2、 F1-7、 F1-10 和 F1-11，且使 F1-10 的开度大于 F1-11 的开度。
4. 用本章第一节实验中所述的临界比例度法或 4: 1 衰减振荡法整定调节器的相关参数。
5. 设置系统的给定值后，用手动操作调节器的输出，控制电动调节阀给中水箱打水，待中水箱液位基本稳定不变且下水箱的液位等于给定值时，把调节器切换为自动，使系统投入自动运行状态。
6. 启动计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行下列实验：
  - 1) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（给定量增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
  - 2) 待系统进入稳态后，启运变频器调速的磁力泵支路，分别适量改变阀 F2-4 或阀 F2-5 的开度（加扰动），观察并记录被控制量液位的变化过程。
7. 通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告

1. 用实验方法确定调节器的参数。
2. 列表表示在上述参数下，系统阶跃响应的动、静态性能。
3. 列表表示在上述参数下，系统在扰动作用于中水箱或下水箱时输出响应的动态性能。
4. 列表表示经调试后求得的调节器参数和相应系统阶跃响应的性能指标。

#### 六、思考题

1. 为什么本实验较上水箱液位定值控制系统更容易引起振荡？如果达到同样的动态性能指标，为什么本实验中调节器的比例度和积分时间常数均要比前两个实验大？
2. 你能说出下水箱的时间常数比中水箱时间常数大的原因吗？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统 (DDC 远程模块系统)，接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

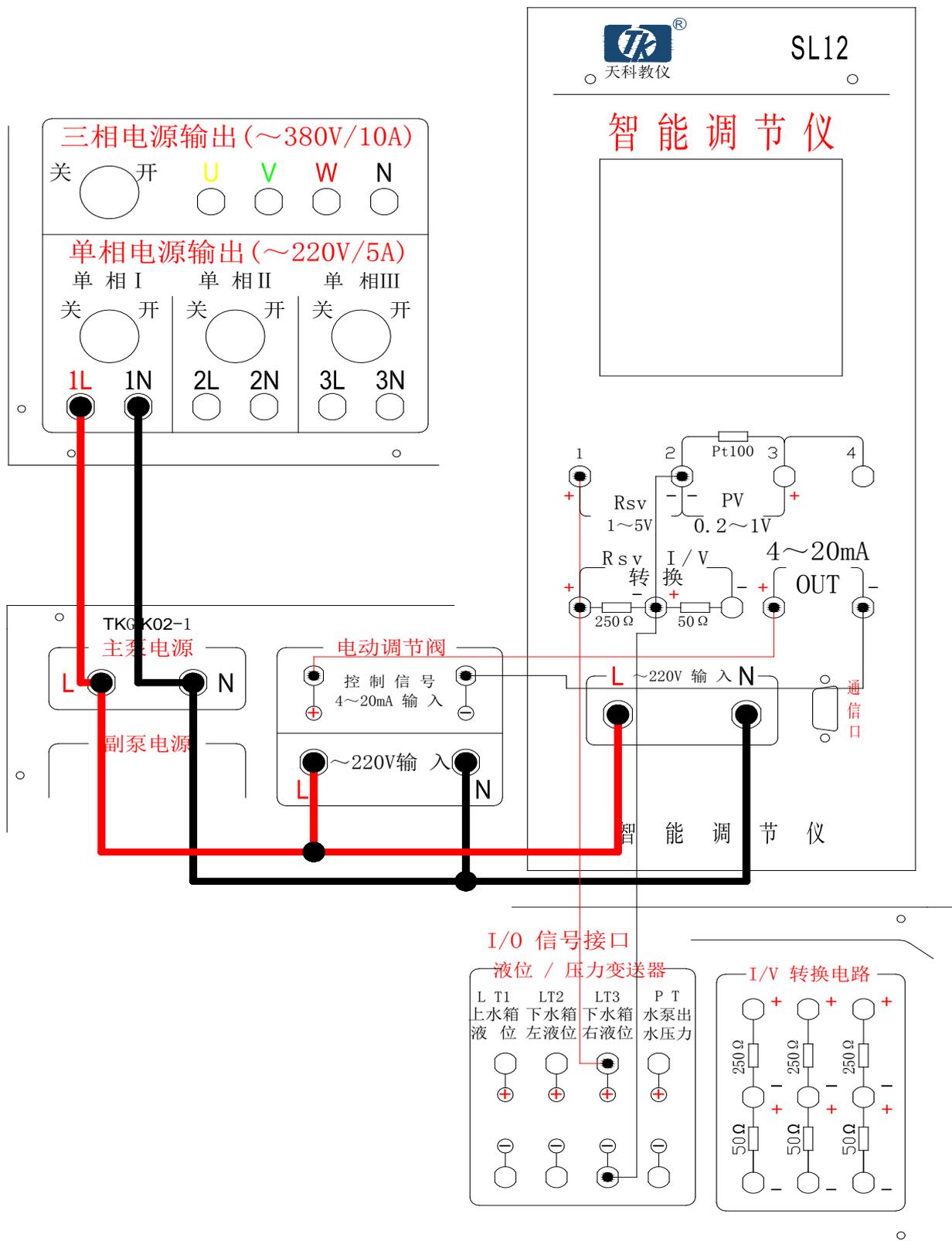
控制装置	输入	输出
智能仪表 808	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC —200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接液位传感器区间的左下水箱液位输出的正负端子，另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子，另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

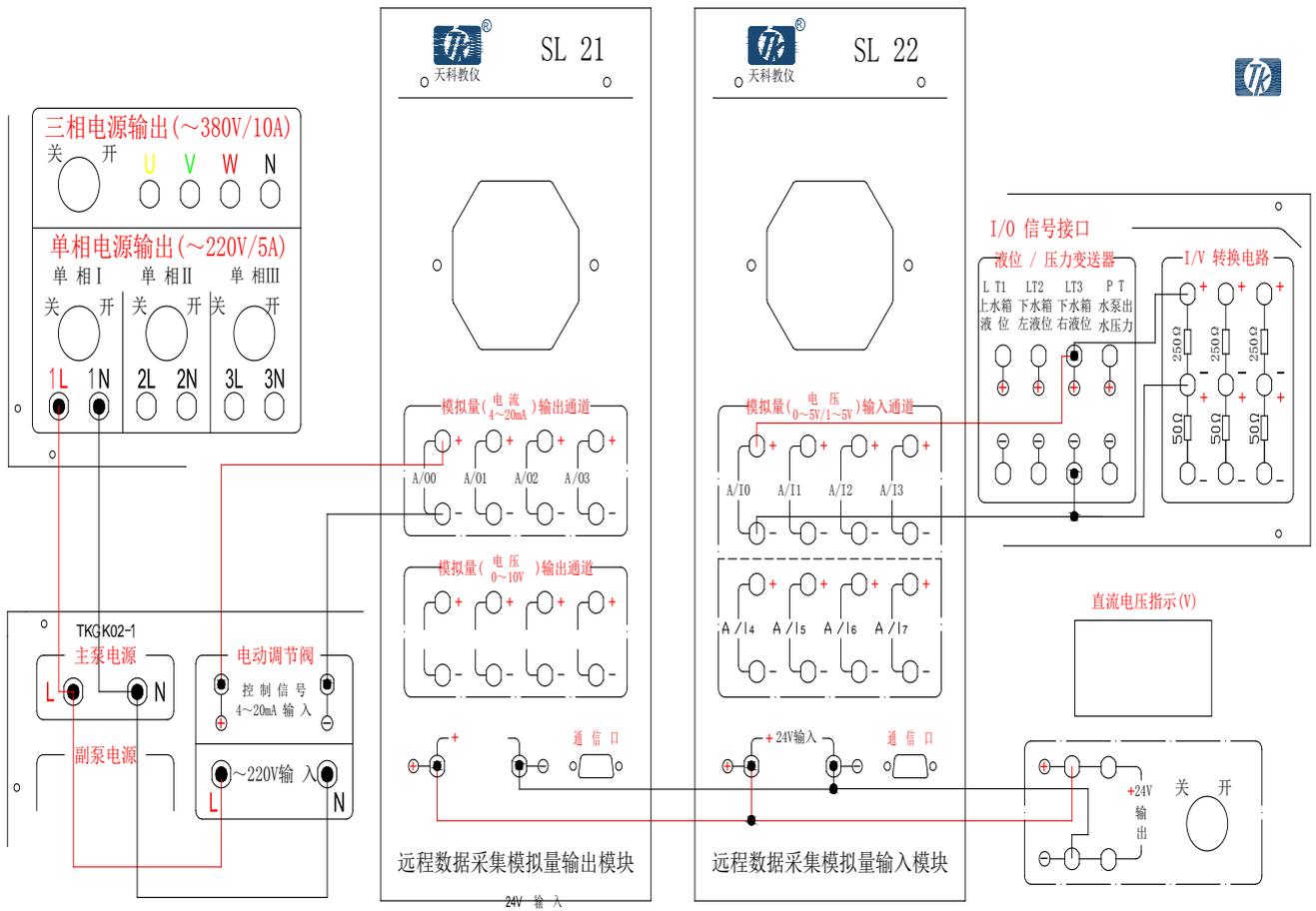
智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图

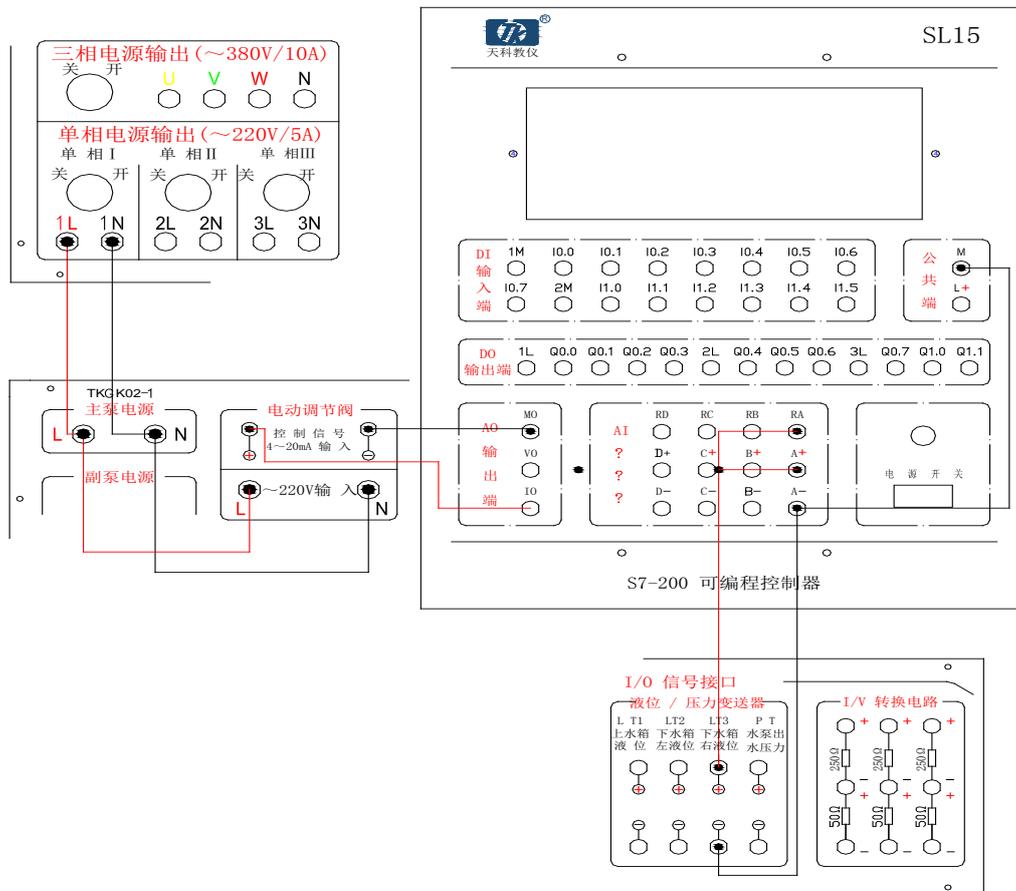


### 3.2 DDC 系统接线图



A/04 A/05 A/06 A/07

### 3.3 PLC 系统接线图



# 第四节 三容水箱液位定值控制系统

## 一、实验目的

1. 了解三容串接液位定值控制系统的结构组成。
2. 通过本实验掌握三容单回路系统调节器参数的整定和系统的投运方法。
3. 研究调节器相关参数的变化对系统动态性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表一只

## 三、实验原理

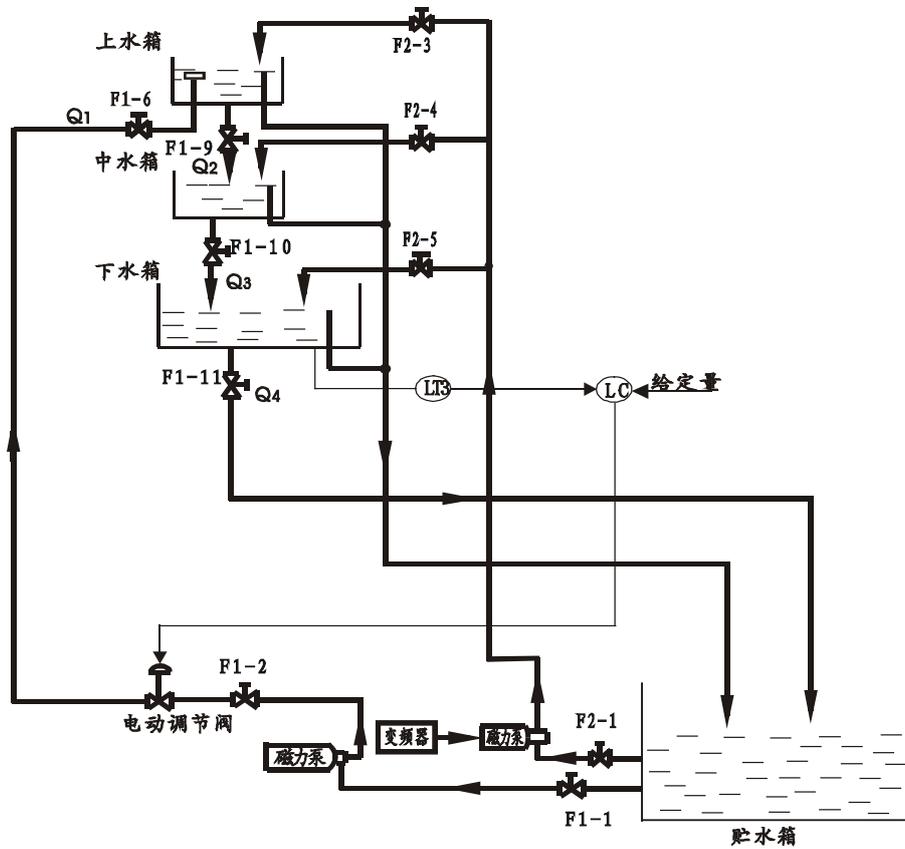


图 3-11 三容液位定值控制系统结构图

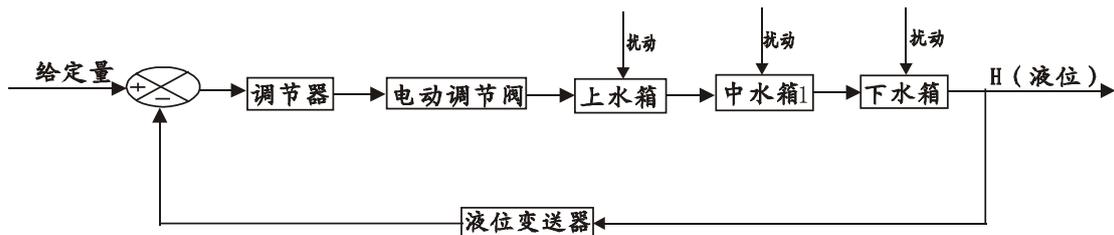


图 3-12 三容液位定值控制系统方框图

图 3-11 为实验系统的结构图，图 3-12 为该系统的方框图。由图可知，由上、中、下三个水箱串联组

成系统的被控对象，它的传递函数是由时间常数不同的三个惯性环节来描述，系统的被控制量是下水箱的液位高度。基于系统的给定量是定值，要求在稳态时，被控制量等于给定量所要求的值，因而调节器的控制规律应为 PI 或 PID。

为了在实验时能满足下水箱液位达到设定的高度，要求三只水箱放水阀间的开度必须满足下列关系：

$$F1-9 \text{ 开度} > F1-10 \text{ 开度} > F1-11 \text{ 开度} \quad (1)$$

这样，当系统运行于稳态时，三个水箱液位高度间关系必然会满足下列的不等式

$$\text{下水箱液位} > \text{中水箱液位} > \text{上水箱液位} \quad (2)$$

即满足上述的不等式关系后，系统在稳态时才会出现流量的平衡关系： $Q1=Q2=Q3=Q4$ 。

#### 四、实验内容与步骤

1. 按图 3-11 要求完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F1-1、F1-2、F1-6、F1-9、F1-10 和 F1-11。其中 3 只放水阀间的开度必须满足式 (1) 要求。
4. 用临界比例度法或 4: 1 阻尼振荡法，整定调节器的相关参数。
5. 设置系统的给定值后，用手操作调节器的输出，以控制 3 只水箱液位的高度。当下水箱的液位等于给定值，且上、中水箱的液位基本不变时，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。
6. 开启计算机，运行 MCGS 组态软件，进行下列实验：
  - 1) 当系统进入稳态后，突变给定量（其增量一般取给定值的 10%左右）。观察并记录系统在给定增量作用的动态响应曲线。
  - 2) 启动变频器调速的磁力泵支路，分别适量开启阀 F2-3 或 F2-4 或 F2-5 的开度（开度同样大小）作为扰动，观察并记录下水箱液位的变化过程。
  - 3) 通过多次反复改变调节器的比例度  $\delta$  和积分时间常数  $T_i$  的大小，使系统具有最佳的动态性能。记录此时调节器的参数和系统被控制量的响应曲线。

#### 五、实验报告

1. 用实验方法确定调节器的参数，画出所得的波形，并标上相应的参数值。
2. 列表表示在所整定的参数下，系统阶跃响应的动、静态性能。
3. 列表表示在所整定的参数下，阶跃扰动作用在系统不同位置时，被控制量响应的动态性能。
4. 列表表示经调试后求得的调节器参数和相应系统阶跃响应的性能指标。

#### 六、思考题

1. 为什么对三只水箱的出水阀开度大小要求不同？
2. 如果在相同阶跃信号作用下，系统的被控制量具有完全相同的动态性能指标，本实验中所取调节器的比例度和积分时间常数的大小与以上实验有何不同？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统 (DDC 远程模块系统), 其接线方式请参考下表, 其它操作与上述实验步骤相似。

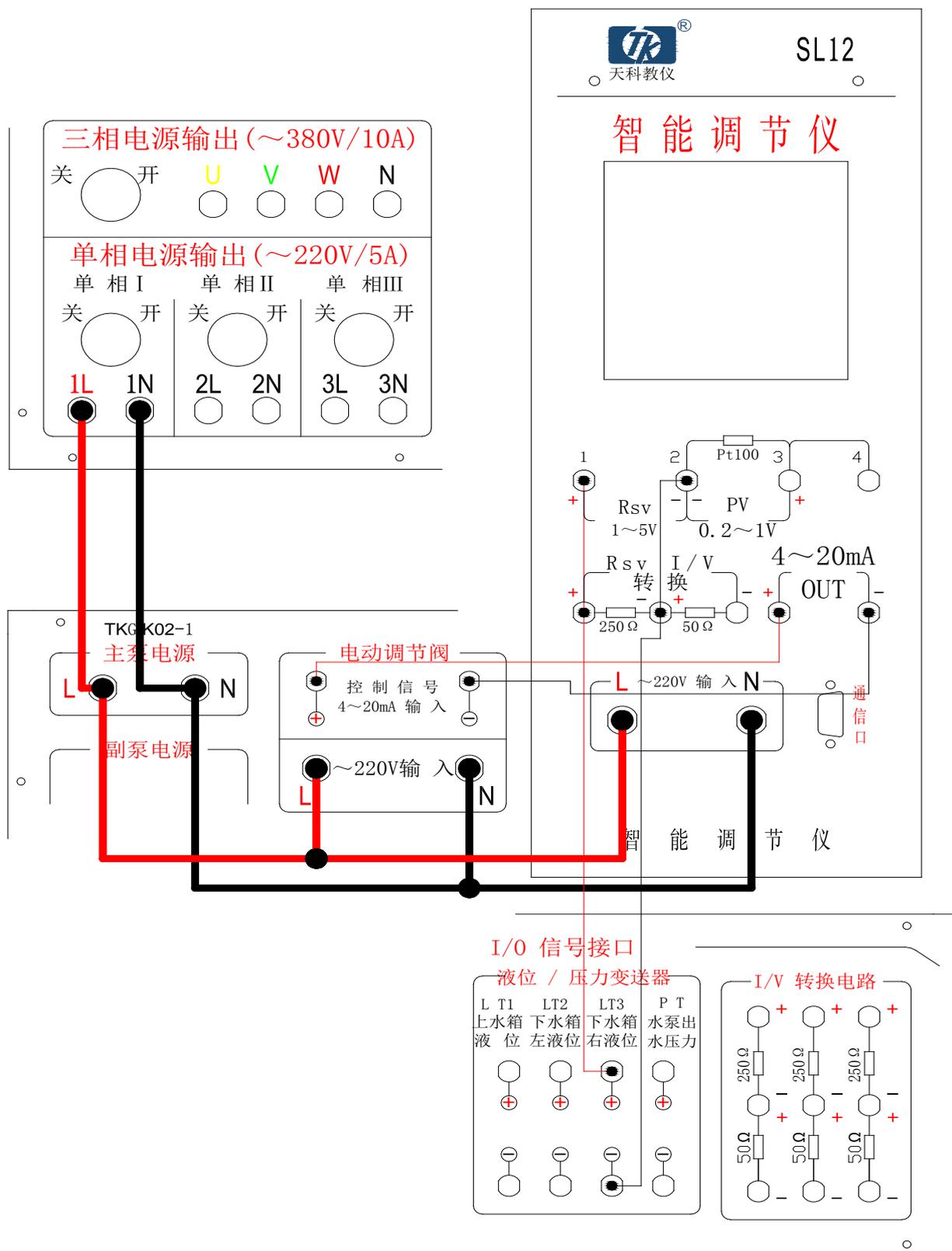
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0- 分别连接, 液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00- 连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0- 连接液位传感器区间的下水箱液位输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00- 连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0- 连接连接液位传感器区间的左下水箱液位输出的正负端子, 另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00- 连接电动调节阀的控制信号输入正负端子, 另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表 (实验设备有三块智能调节仪, 本次实验只需一个)。

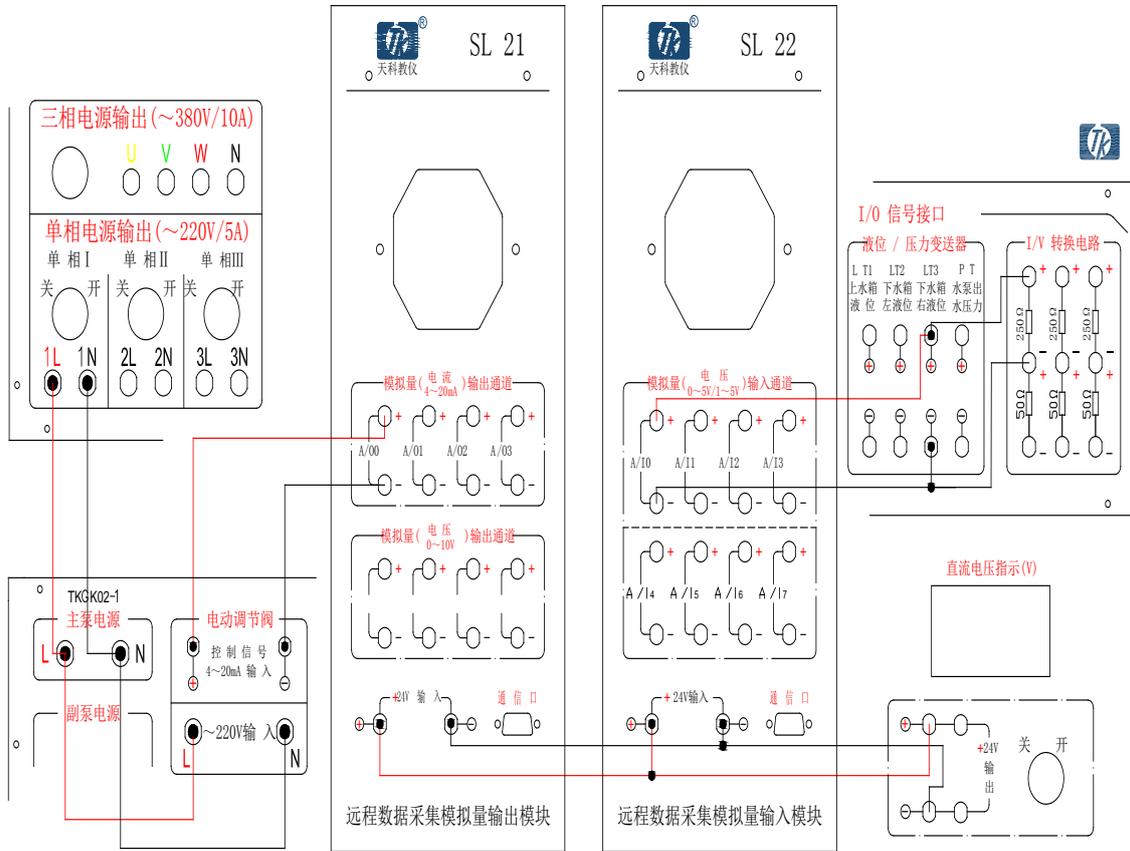
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 DDC 系统接线图

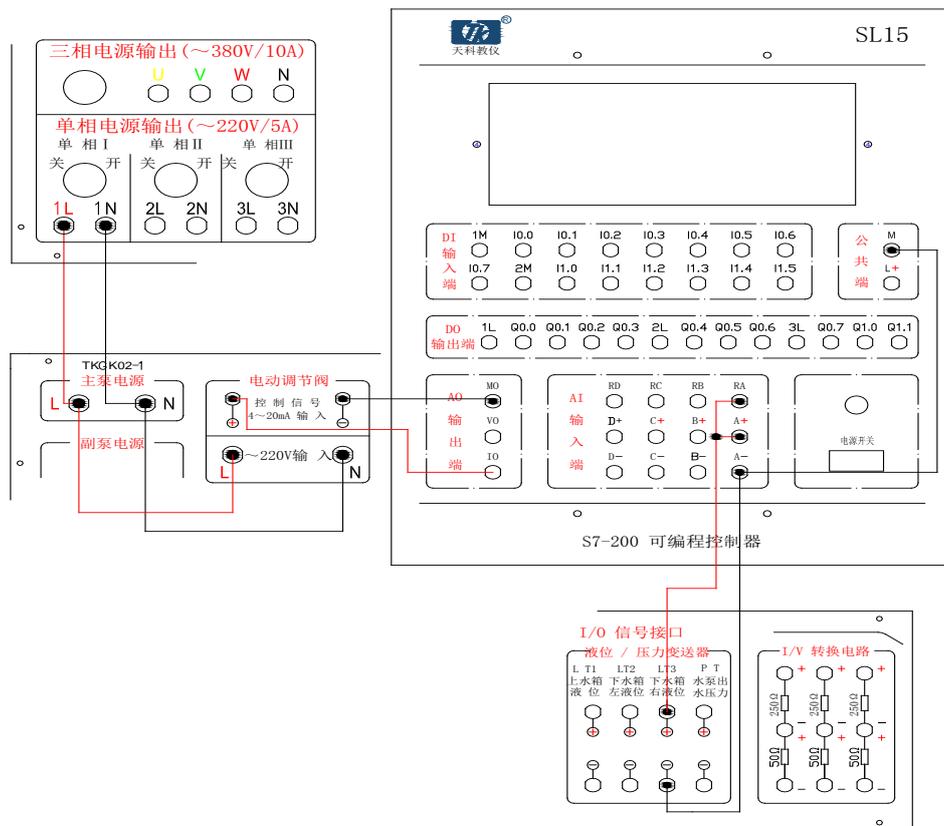


A/O4 A/O5

A/O6

A/O7

### 3.3 PLC 系统接线图



# 第五节 锅炉内胆静态水温定值控制系统

## 一、实验目的

1. 了解单回路温度控制系统的组成与工作原理。
2. 研究 P、PI、PD 和 PID 四种调节器分别对温度系统的控制作用。
3. 了解 PID 参数自整定的方法及参数整定在整个系统中的重要性。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

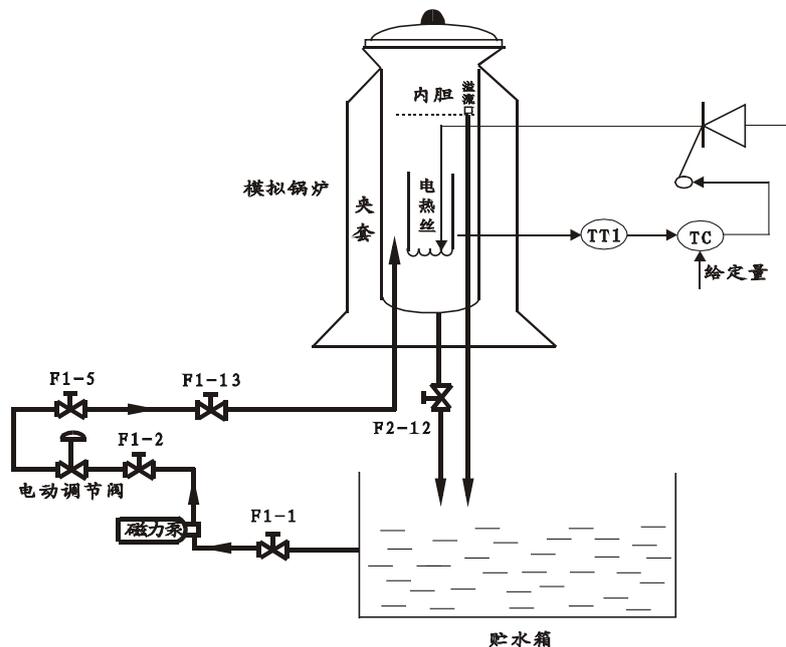


图 3-13 锅炉内胆静态水温控制系统的结构示意图

图 3-13 为锅炉内胆水温定值控制系统的结构示意图。模拟锅炉的内胆主要是模拟工业生产过程中的实际锅炉的加热容器，其控制任务就是在电加热丝不断加热的过程中保持锅炉内胆的水温不变，即控制锅炉内胆水温等于给定值，但实验进行前必须先通过电动调节阀支路给锅炉内胆打水，当水位上升至适当高度才开始加热，并在加热过程中不再加水。系统采用的调节器为工业上常用 AI 智能调节仪。

锅炉内胆水温的定值控制系统中，其参数的整定方法与其它单回路控制系统一样，但由于加热过程容量时延较大，所以其控制过渡时间也较长。

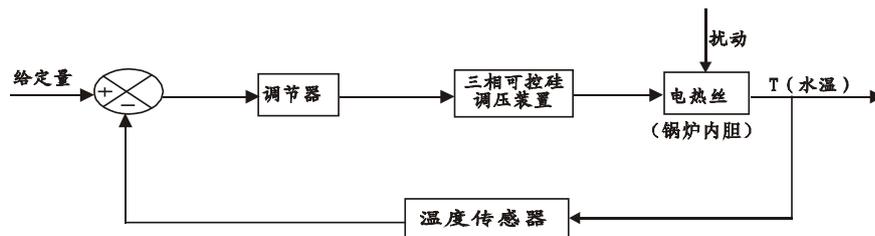


图 3-14 锅炉内胆静态水温控制系统的方框图

## 四、实验内容与步骤

- 1、按图 3-13 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、打开阀 F1-1、F1-2、F1-5 和 F1-13, 关闭其它所有与本实验无关的阀, 用电动调节阀支路给锅炉内胆打水至 2/3 最大容量左右时, 停止打水。
- 4、按阶跃响应曲线法，确定 PI 调节器的参数  $\delta$  和 TI，并整定之。
- 5、设置好温度的给定值，先用手操作调节器的输出，通过三相移相调压模块给锅炉内胆加热，等锅炉水温趋于给定值且不变后，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。
- 6、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：  
当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
- 7、通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

## 五、实验报告

用实验方法整定 PI 调节器的参数。

作出比例 P 控制时，不同  $\delta$  值下的阶跃响应曲线，并记下它们的余差  $e_{ss}$ 。

比例积分调节器（PI）控制

(1) 在比例调节控制实验的基础上，加上积分作用“I”，即把“I”（积分）设置为一参数，根据不同的情况，设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置，以验证系统在 PI 调节器控制下，系统的阶跃扰动无余差产生。

(2) 固定比例 P 值（中等大小），然后改变调节器的积分时间常数 TI 值，观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。

(3) 固定 TI 于某一中等大小的值，然后改变比例度  $\delta$  的大小，观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。

(4). 分析  $\delta$  和 TI 值改变时，各给系统动态性能产生什么影响。

## 六、思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器，而不采用纯积分器？
2. 在温度控制系统中，为什么用 PD 和 PID 控制，系统的性能并不比用 PI 控制有明显地改善？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

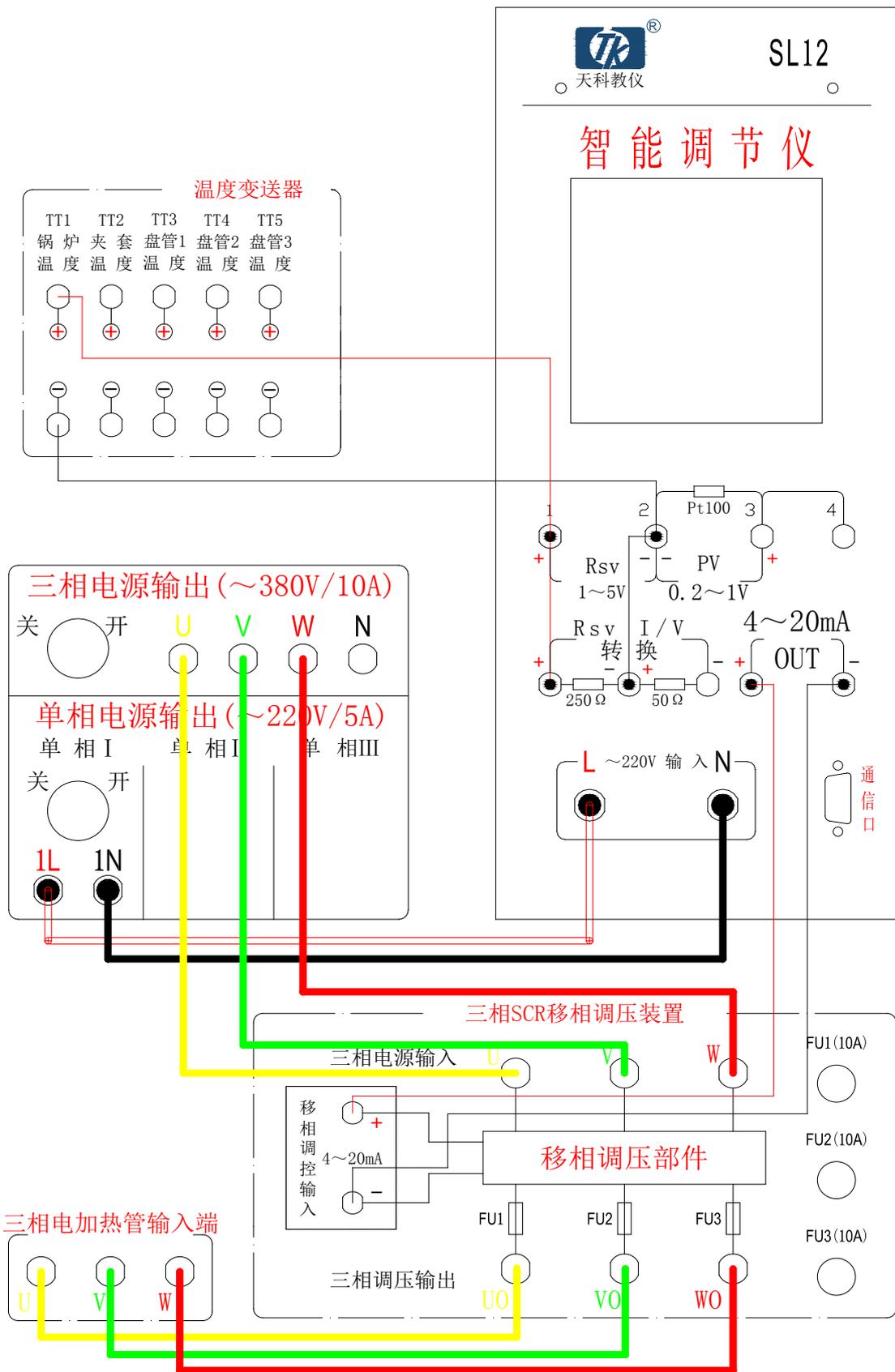
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，温度传感器区间的锅炉温度输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西 门 子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接温度传感器区间的锅炉温度输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接温度传感器区间的锅炉温度输出的正负端子，另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子，另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

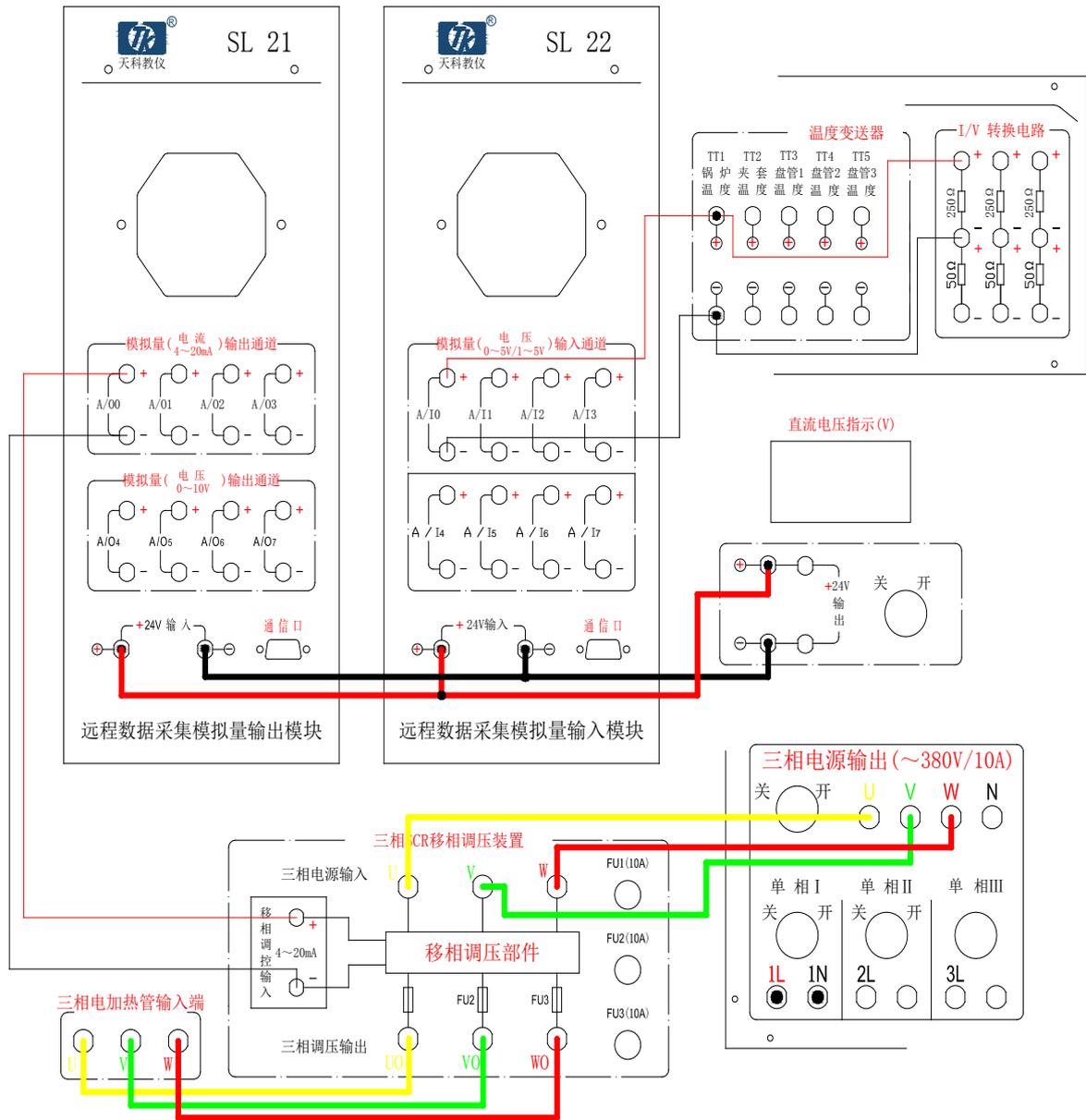
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

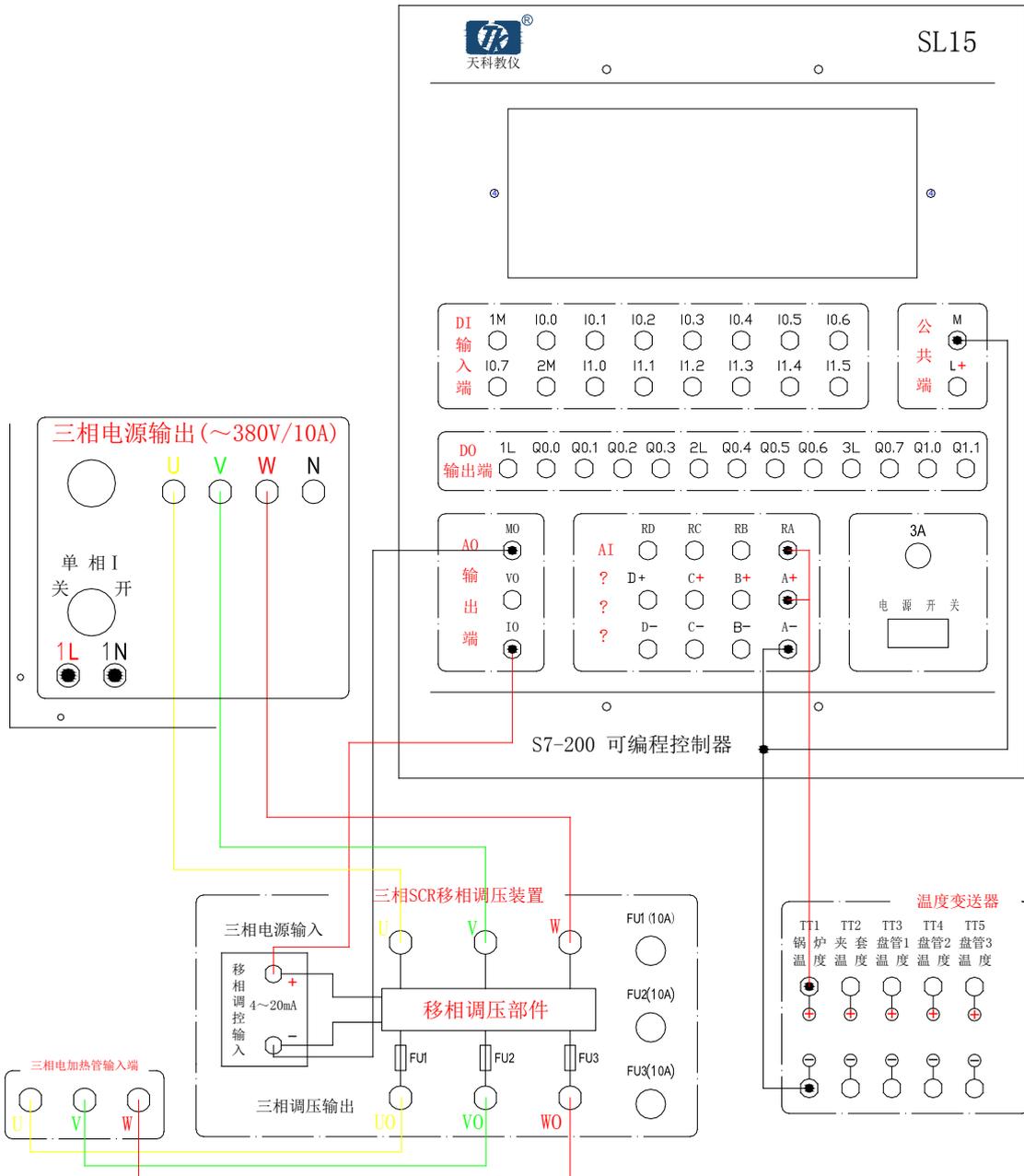
#### 3.1 智能仪表系统接线图



3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



## 第六节 锅炉内胆动态水温定值控制系统

### 一、实验目的

1. 了解单回路温度控制系统的组成与工作原理。
2. 研究 P、PI、PD 和 PID 四种调节器分别对温度系统的控制作用。
3. 了解 PID 参数自整定的方法及参数整定在整个系统中的重要性。

分析锅炉内胆动态水温与静态水温在控制效果上有何不同之处？

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

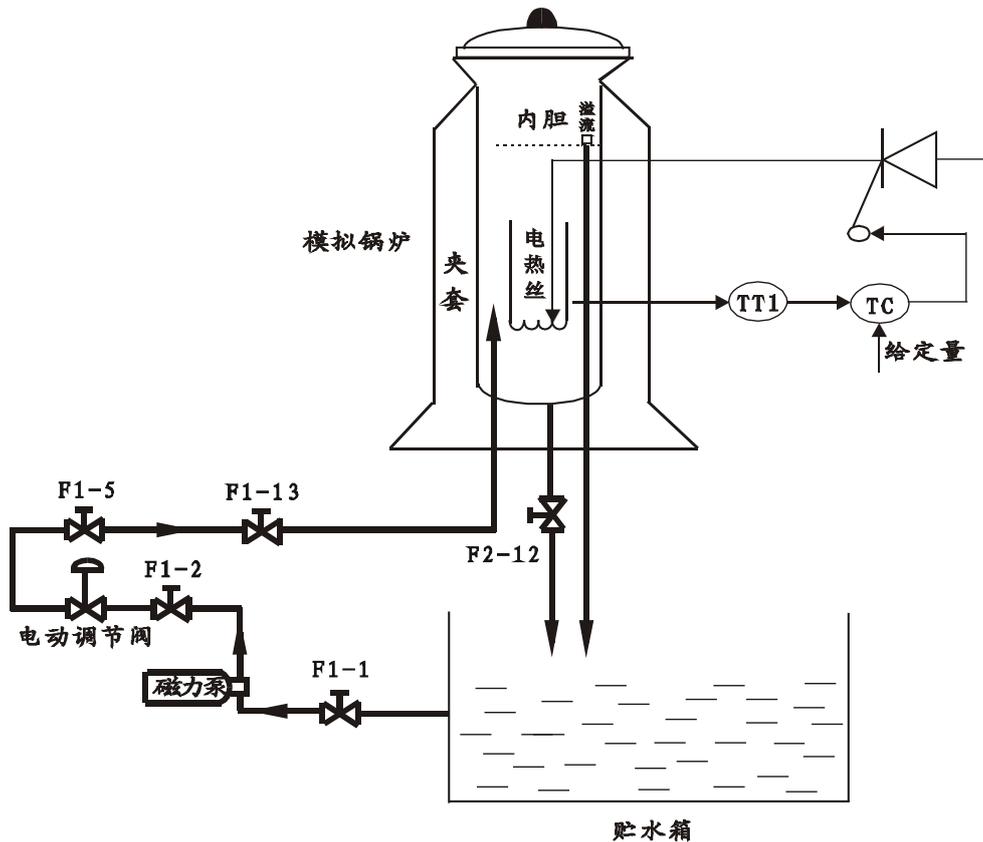


图 3-15 锅炉内胆动态水温控制系统的结构示意图

图 3-15 为一个单回路锅炉内胆动态水温定值控制系统结构示意图，其中锅炉内胆为动态循环水，变频器、磁力泵与锅炉内胆组成循环水系统。而被控的参数为锅炉内胆水温，即要求锅炉内胆水温等于给定值。实验前先通过变频器、磁力泵支路给锅炉内胆打满水，然后关闭锅炉内胆的进水阀门 F1-13。待系统投入运行以后，变频器-磁力泵再以固定的小流量使锅炉内胆的水处于循环状态。在内胆水为静态时，由于没有循环水加以快速热交换，而三相电加热管功率为 4.5KW，使内胆水温上升相对快速，散热过程又相对比较缓慢，而且调节的效果受对象特性和环境的限制，导致系统的动态性能较差，即超调大，调节时间

长。但当改变为循环水系统后，便于热交换及加速了散热能力，相比于静态温度控制实验，在控制的动态精度，快速性方面有了很大地提高。系统采用的调节器为工业上常用 AI 智能调节仪。

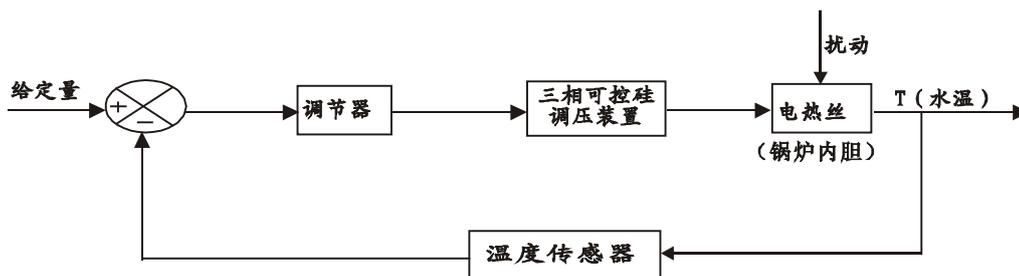


图 3-16 锅炉内胆动态水温控制系统的方框图

## 五、实验内容与步骤

- 1、按图 3-15 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、打开阀 F1-1、 F1-2、 F1-5 和 F1-13, 关闭其它与本实验无关的阀。用变频器-磁力泵支路给锅炉内胆打满水。待实验投入运行以后，变频器-磁力泵再以固定的小流量使锅炉内胆的水处于循环状态。
- 4、手动操作调节器输出，用计算机记录锅炉内胆中水温的响应曲线，并由该曲线求得  $K$ 、 $T$  和  $\tau$  值，据此查表确定 PI 调节器的参数  $\delta$  和  $T_i$ ，并整定之。
- 5、设置好温度的给定值，先用手操作调节器的输出，通过三相移相调压模块给锅炉内胆加热，等锅炉水温趋于给定值且不变后，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。
- 6、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：  
当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
- 7、通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

## 五、实验报告

1. 用实验方法整定 PI 调节器的参数。
2. 作出比例 P 控制时，不同  $\delta$  值下的阶跃响应曲线，并记下它们的余差  $e_{ss}$ 。
3. 比例积分调节器 (PI) 控制
  - (1) 在比例调节控制实验的基础上，加上积分作用“I”，即把“I”（积分）设置为一参数，根据不同的情况，设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置，以验证系统在 PI 调节器控制下，系统的阶跃扰动无余差产生。
  - (2) 固定比例 P 值（中等大小），然后改变调节器的积分时间常数  $T_i$  值，观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。
  - (3) 固定  $T_i$  于某一中等大小的值，然后改变比例度  $\delta$  的大小，观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。
4. 分析  $\delta$  和  $T_i$  值改变时，各给系统动态性能产生什么影响。

## 六、思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器，而不采用纯积分器？
2. 在温度控制系统中，为什么用 PD 和 PID 控制，系统的性能并不比用 PI 控制时有明显地改善？
3. 什么内胆动态水的温度控制比静态水时的温度控制更容易稳定，动态性能更好？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

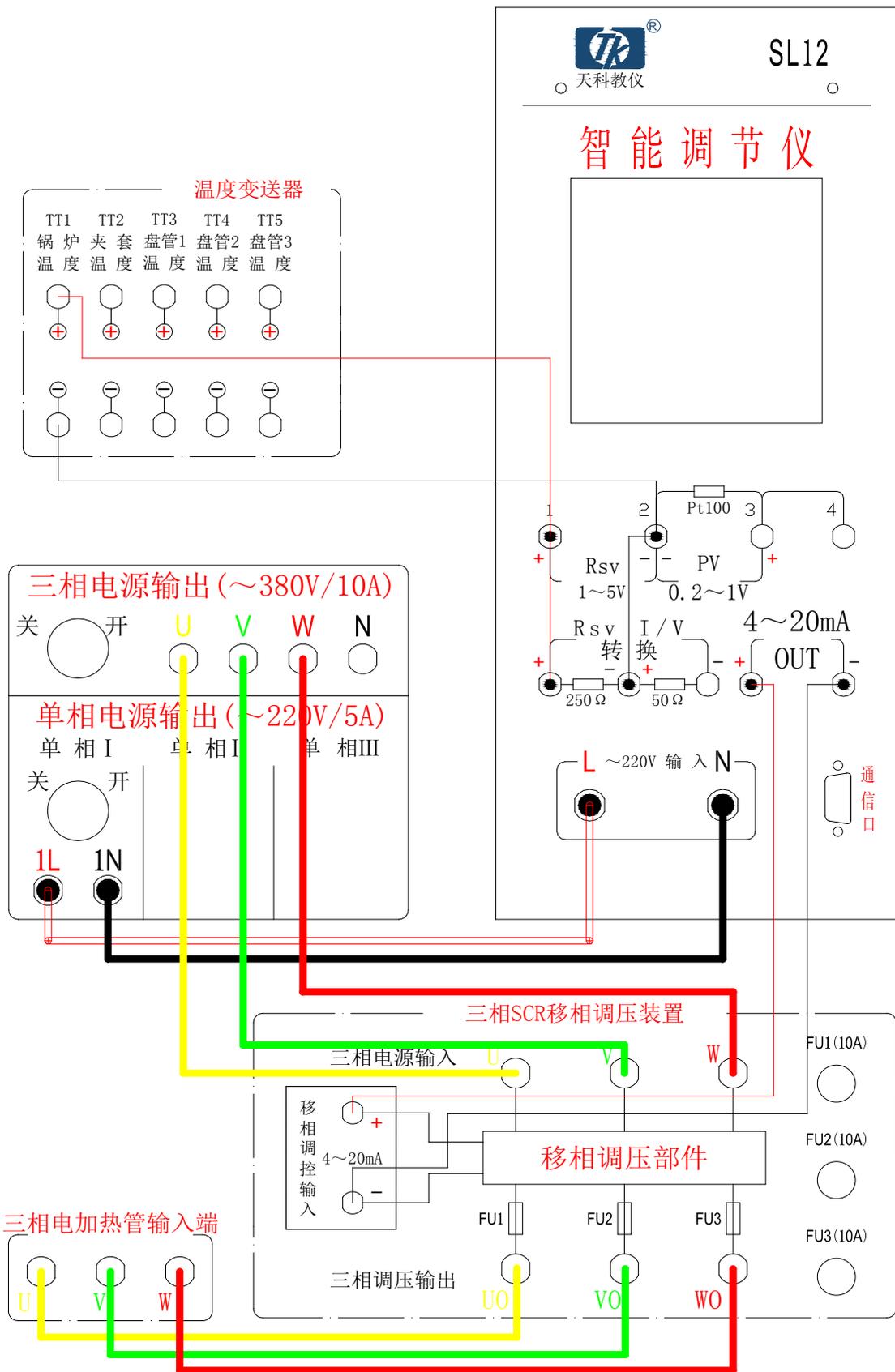
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，温度传感器区间的锅炉温度输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接温度传感器区间的锅炉温度输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接温度传感器区间的锅炉温度输出的正负端子，另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子，另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

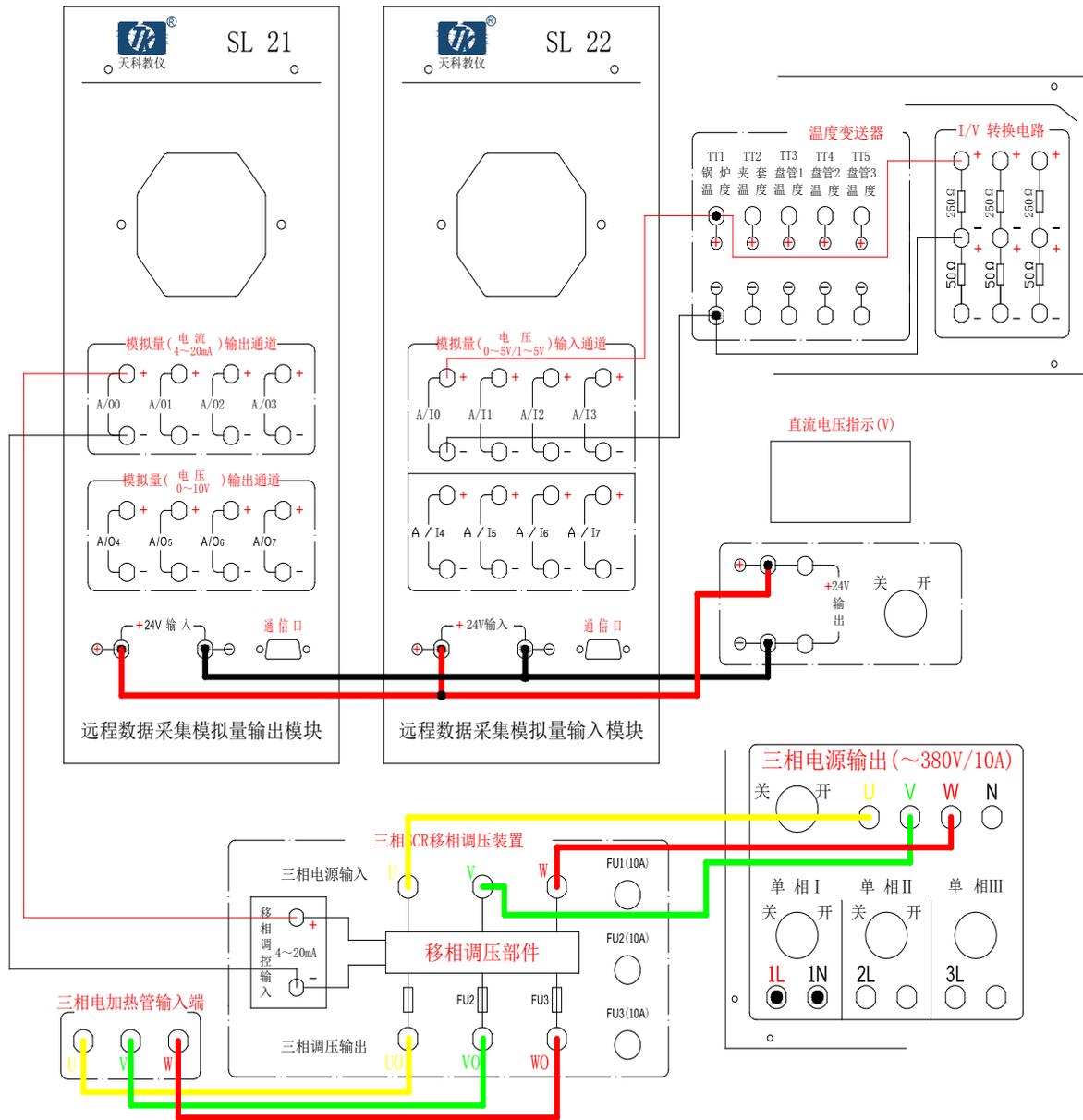
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

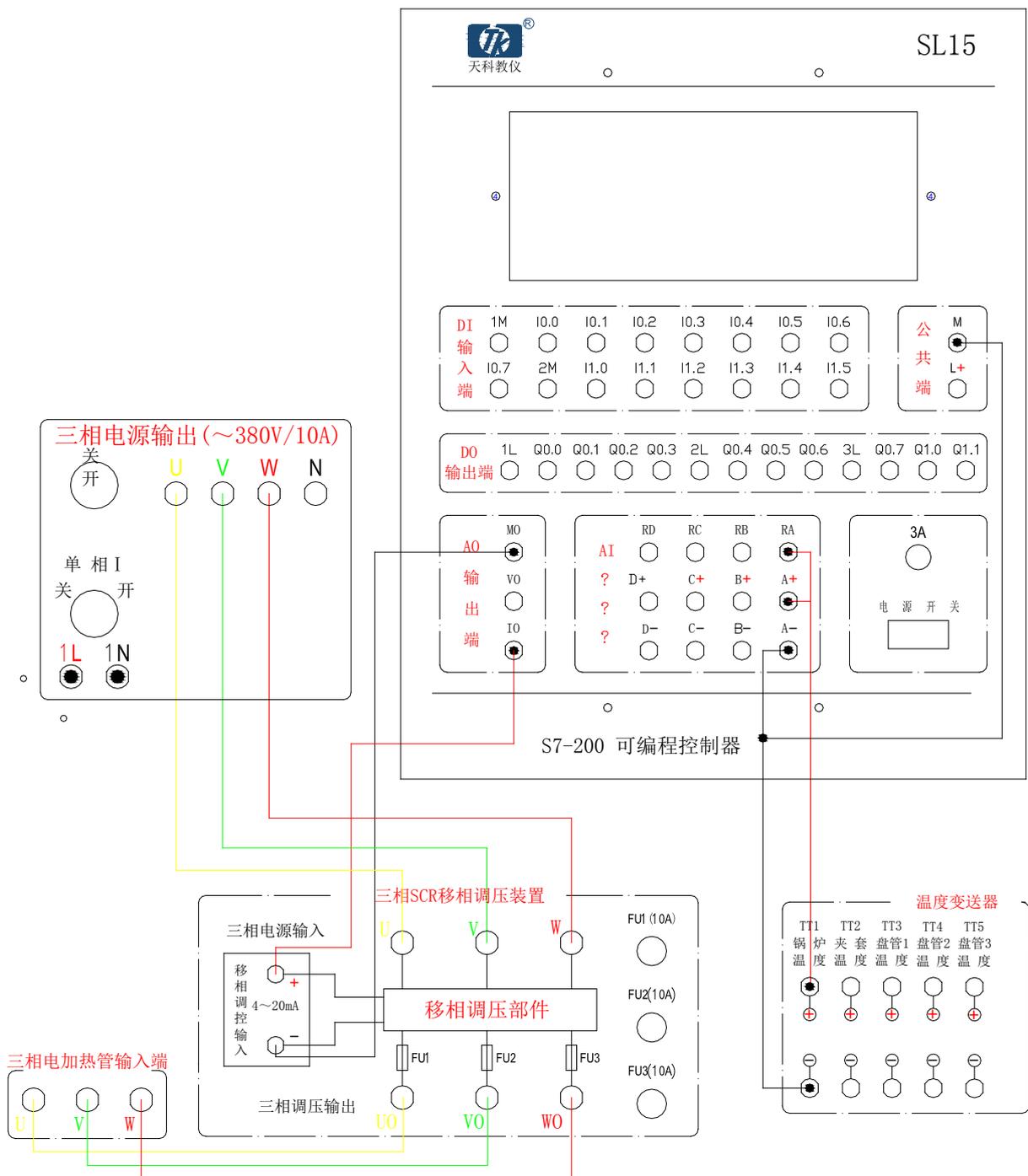
#### 3.1 智能仪表系统接线图



3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



# 第七节 锅炉夹套水温定值控制系统

## 一、实验目的

1. 了解不同单回路温度控制系统的组成与工作原理。
2. 研究 P、PI、PD 和 PID 四种调节器分别对温度系统的控制作用。
3. 了解 PID 参数自整定的方法及参数整定在整个系统中的重要性。
4. 比较锅炉夹套水温控制与锅炉内胆动态水温控制的控制效果。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

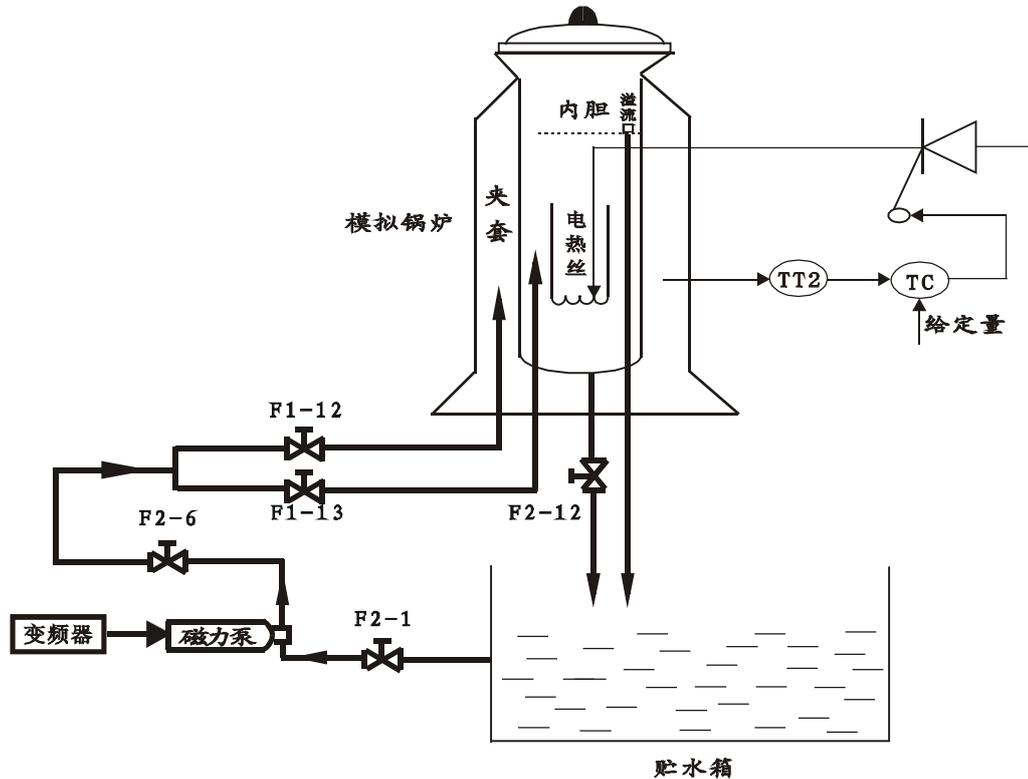


图 3-17 锅炉夹套水温控制系统的结构示意图

图 3-17 为一个单闭环锅炉夹套水温定值控制系统的结构示意图，其中锅炉内胆为动态循环水，磁力泵、电动调节阀、锅炉内胆组成循环供水系统。而控制参数为锅炉夹套的水温，即要求锅炉夹套水温等于给定值。实验前先通过变频器-磁力泵动力支路给锅炉内胆和锅炉夹套均打满水，然后关闭锅炉内胆和夹套的进水阀。待实验投入运行以后，再打开锅炉内胆的进水阀，允许变频器-磁力泵以固定的小流量使锅炉内胆的水处于循环状态。在锅炉夹套水温的控制过程中，由于锅炉内胆有循环水，因此锅炉内胆与锅炉夹套热交换相比于内胆静态水温控制时更充分，因而控制速度有较大改善。系统采用的调节器为工业上常

用的 AI 智能调节仪。

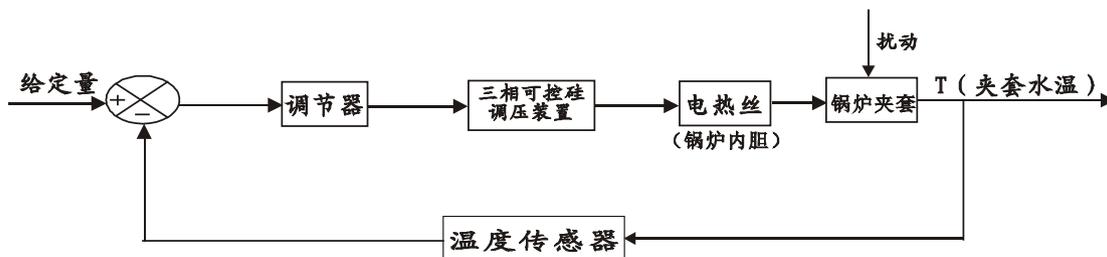


图 3-18 锅炉夹套水温控制系统的方框图

## 五、实验内容与步骤

1、按图 3-17 要求，完成实验系统的接线。

2、接通总电源和相关仪表的电源。

3、打开阀 F2-1、 F2-6、 F1-12 和 F1-13, 关闭其它与本实验无关的阀, 用变频器-磁力泵支路给锅炉内胆和夹套打满水。然后关闭阀 F1-12, 待实验投入运行以后, 变频器-磁力泵再以固定的小流量使锅炉内胆的水处于循环状态。

4、调节调节器的比例度, 使系统的输出响应出现 4: 1 的衰减度, 记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ 。据此, 按经验表查得 PI 的参数对调节器进行参数整定。

5、设置好温度的给定值, 先手动操作调节器的输出, 通过三相移相调压模块给锅炉内胆加热, 等锅炉水温趋于给定值且不变后, 把调节器由手动切换为自动, 使系统进入自动运行状态。

6、打开计算机, 运行 MCGS 组态软件, 并进行如下的实验:

当系统稳定运行后, 突加阶跃扰动 (将给定量增加 5%~15%), 观察并记录系统的输出响应曲线。

7、通过反复多次调节 PI 的参数, 使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

## 五、实验报告

1. 用实验方法整定 PI 调节器的参数。

2. 作出比例 P 控制时, 不同  $\delta$  值下的阶跃响应曲线, 并记下它们的余差  $e_{ss}$ 。

3. 比例积分调节器 (PI) 控制

(1) 在比例调节控制实验的基础上, 加上积分作用“I”, 即把“I”(积分) 设置为一参数, 根据不同的情况, 设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置, 以验证系统在 PI 调节器控制下, 系统的阶跃扰动无余差产生。

(2) 固定比例 P 值 (中等大小), 然后改变调节器的积分时间常数  $T_i$  值, 观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。

(3) 固定  $T_i$  于某一中等大小的值, 然后改变比例度  $\delta$  的大小, 观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。

4. 分析比例度  $\delta$  和  $T_i$  值改变时, 各给系统动态性能产生什么影响。

## 六、思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器, 而不采用纯积分器?

2. 在温度控制系统中, 为什么用 PD 和 PID 控制, 系统的性能并不比用 PI 控制有明显地改善?

3. 如果锅炉内胆不采用循环水, 那么锅炉夹套的温度控制效果会怎样?

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

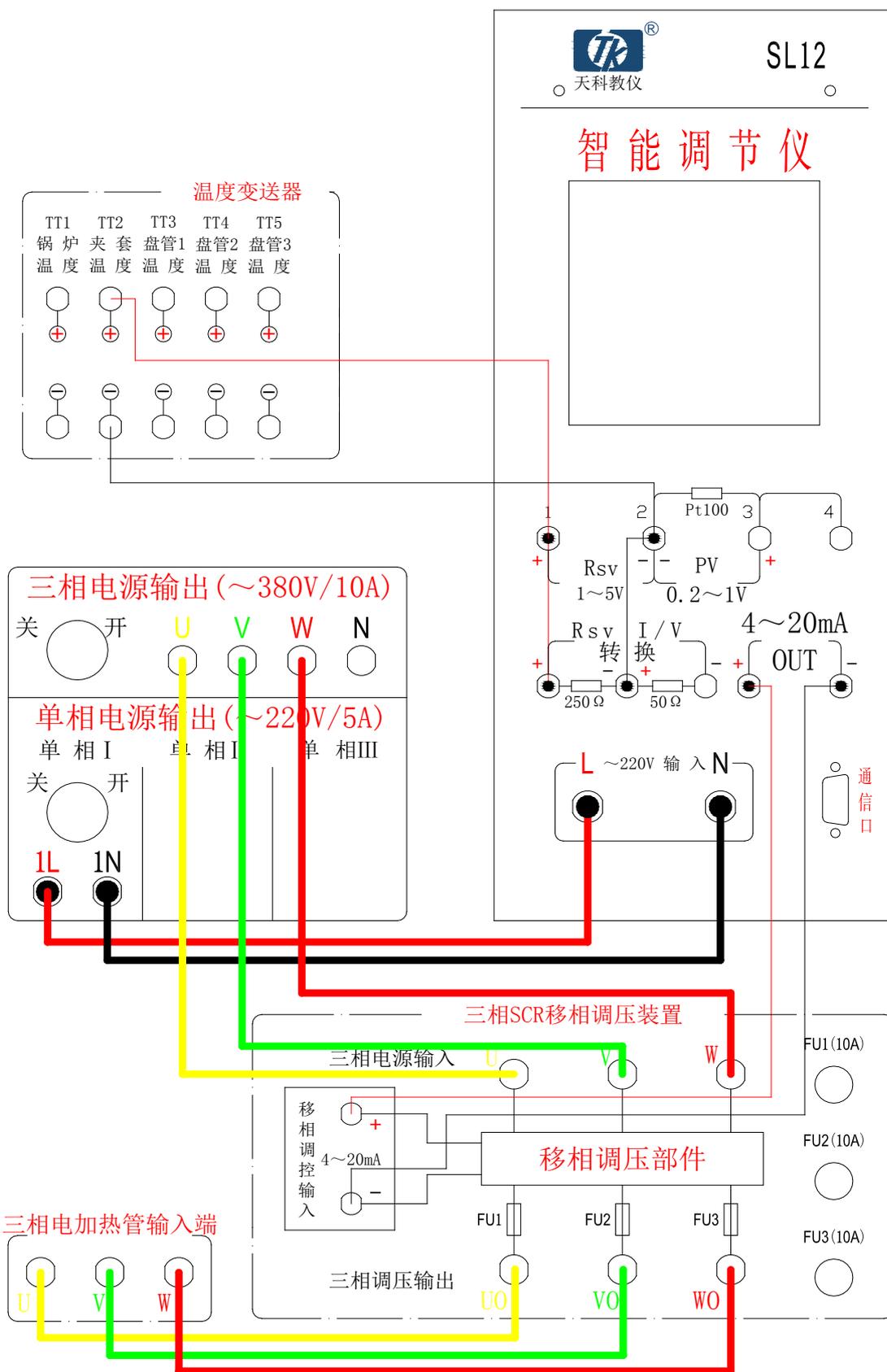
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，温度传感器区间的夹套温度输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西 门 子 PLC_200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接温度传感器区间的夹套温度输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接温度传感器区间的夹套温度输出的正负端子，另外须外供直流 24V 电源	8024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子，另外须外供直流 24V 电源

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

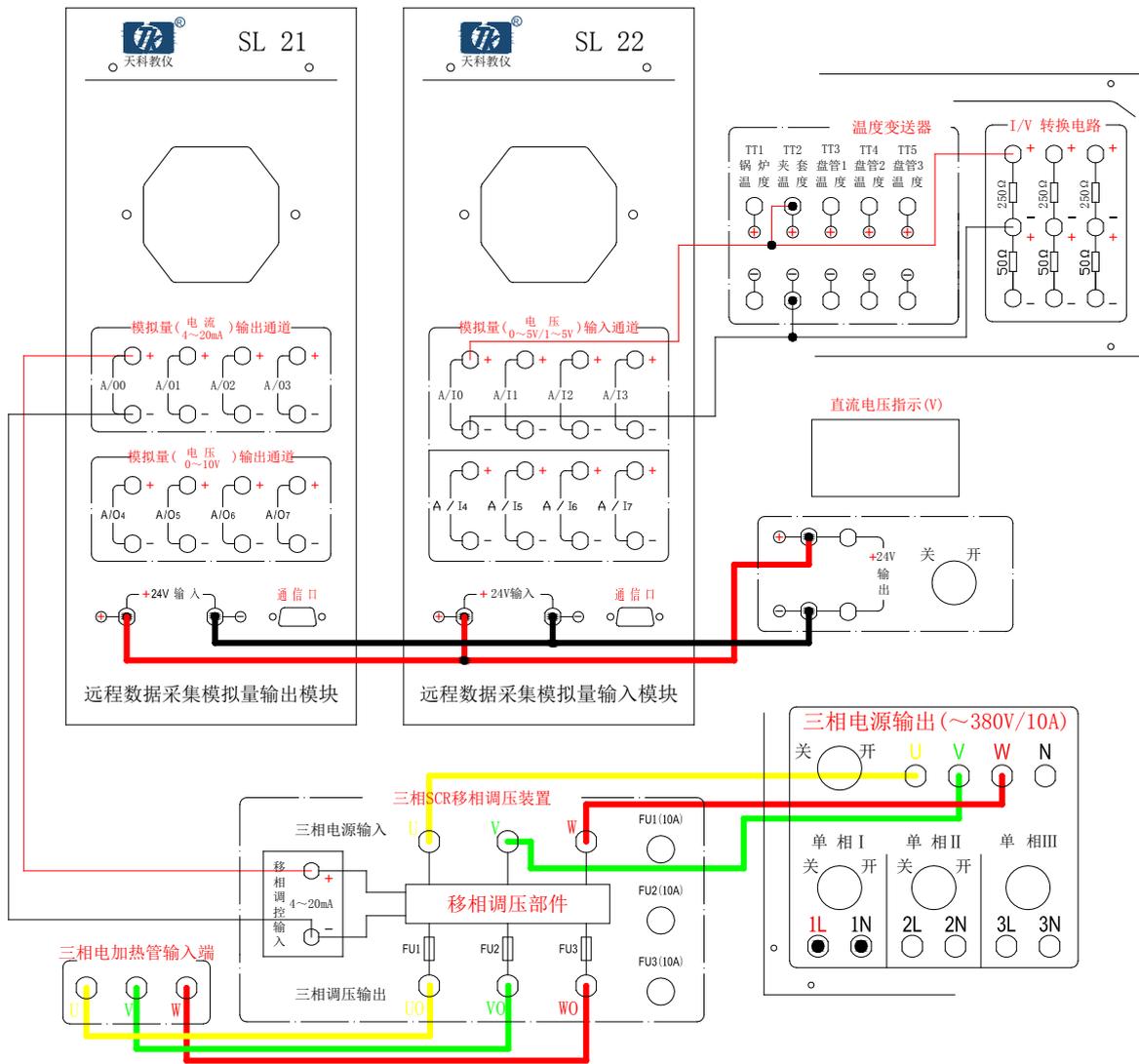
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

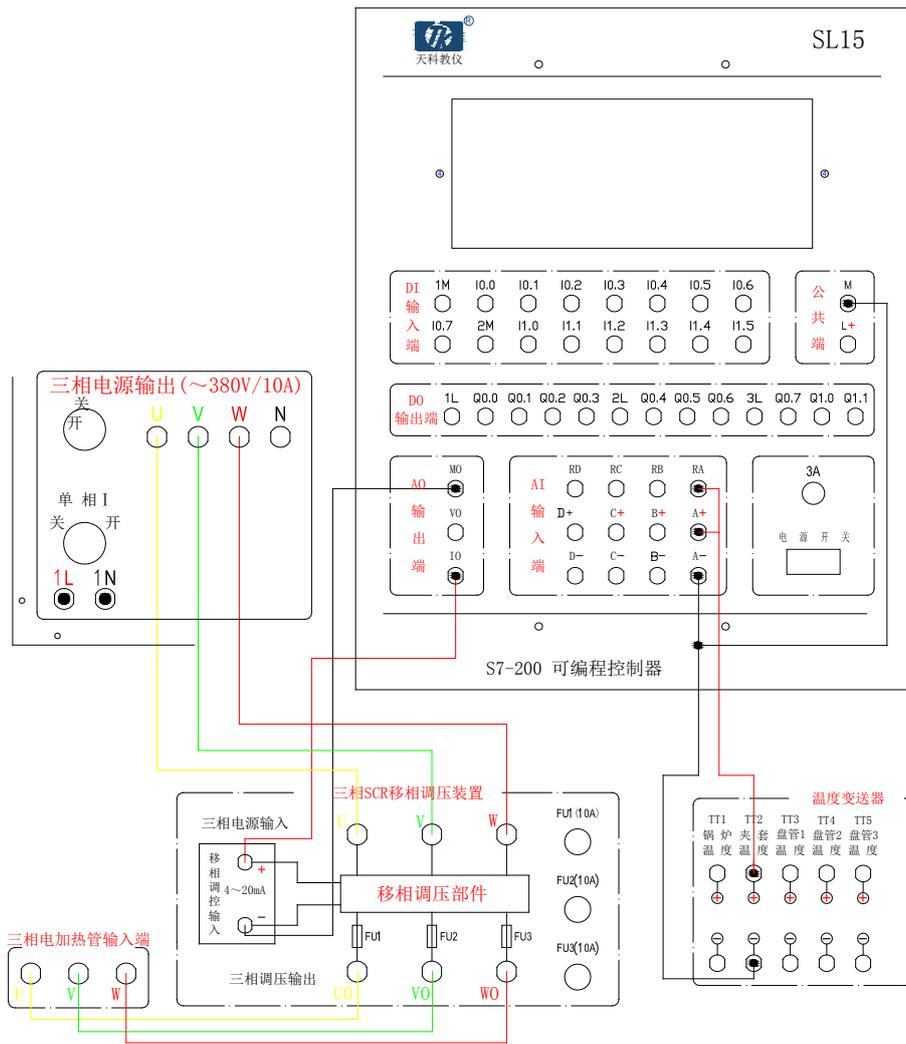
#### 3.1 智能仪表系统接线图



3.2 DDC系统接线图



3.3 PLC 系统接线图



## 第八节 热交换热出口水温定值控制系统

### 一、实验目的

1. 了解换热器工作原理。
2. 掌握换热器单回路控制的原理。
3. 掌握换热器单回路控制的特性。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机及组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

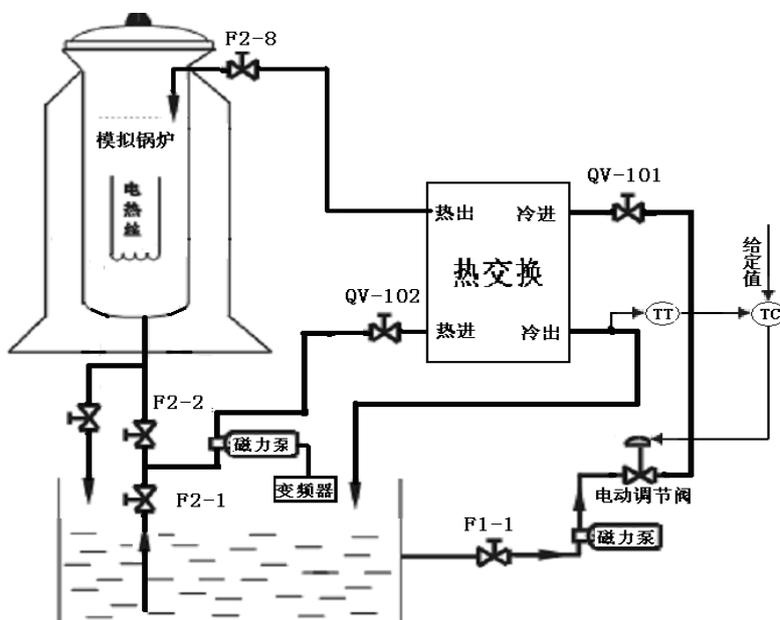


图 3-23 换热器单回路控制系统的结构示意图

图 3-23 为一个换热器单回路控制系统结构示意图，被调量为进入换热器的冷水流量，控制目标是冷水出口温度，通过测量水温，控制器与给定值进行比较，然后输出控制值到调节阀。PID 控制，看控制效果，进行比较。注意的问题是：储水箱的水尽量多，热水流量尽量少，温度设定值阶跃要少，否则可能使得所有的水都变热，难以控制。如果能够通过自来水循环，或使用大的水池则可以解决这个问题。系统的控制方框图见图 3-24。

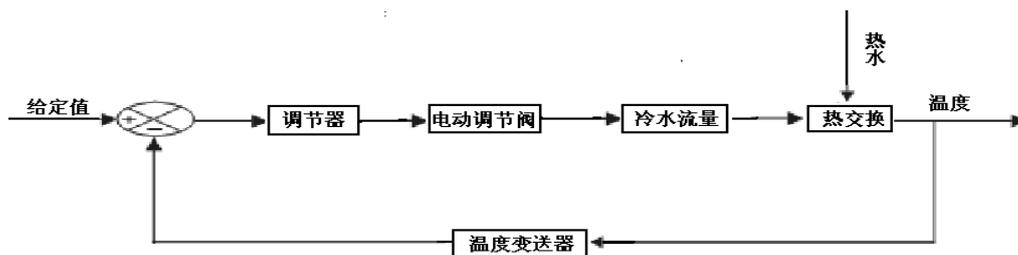


图 3-24 换热器单回路控制系统的方框图

## 四、实验内容与步骤

1、按图 3-23 所示打开阀 F2-1、QV-102、F2-8，其它阀门关闭、启动变频器（用面板操作）给锅炉打水至 2/3，停止加水。

控制装置	输入	输出
DDC 模块	7017 模块输入端 AI0+、AI0- 连接换热器冷出温度输出端	7024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入端

2. 系统连线，用传统 DDC 系统，则只需将远程模块的 I/O 口与对象的传感器、执行器端口相连即可，具体接线请参考上表。开启电源。



3. 启动电脑，打开 MCGS 组态软件组态环境 ，点击‘文件’下拉菜单中‘打开工程’命令，即会弹出一对话框，选择 D:\MCGS\Work 路径下相应的 MCGS 组态工程文件打开(与步骤 2 中所选控制器对应)；然后点击刚打开工程的‘文件’下拉菜单中‘进入运行环境’命令，即可进入实验界面。

4. 在实验目录中选择“实验 热交换冷出口温度定值控制系统”，进入系统，在调压器手动显示框处输入 100%，对锅炉进行加热，当温度达到 80℃时加热，保持水温。

5. 关闭阀 F2-1，打开阀 F2-2 启动变频器(面板操作设置为 30Hz)使锅炉水体流经换热器再回到锅炉，处于循环状态；打开阀 F1-1 和 QV-101 调节阀支路水泵，从储水箱抽冷水到换热器，再回到水箱，如图 3-19 所示。

6. 设置好给定值及相关参数，先用手动输出，等锅炉水温趋于给定值时，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。

7. 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。

8. 通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

## 五、实验报告

1、用实验方法整定 PI 调节器的参数，获取最好的曲线。

2、根据曲线，分析控制效果，以及 PID 调节器的调节经验。

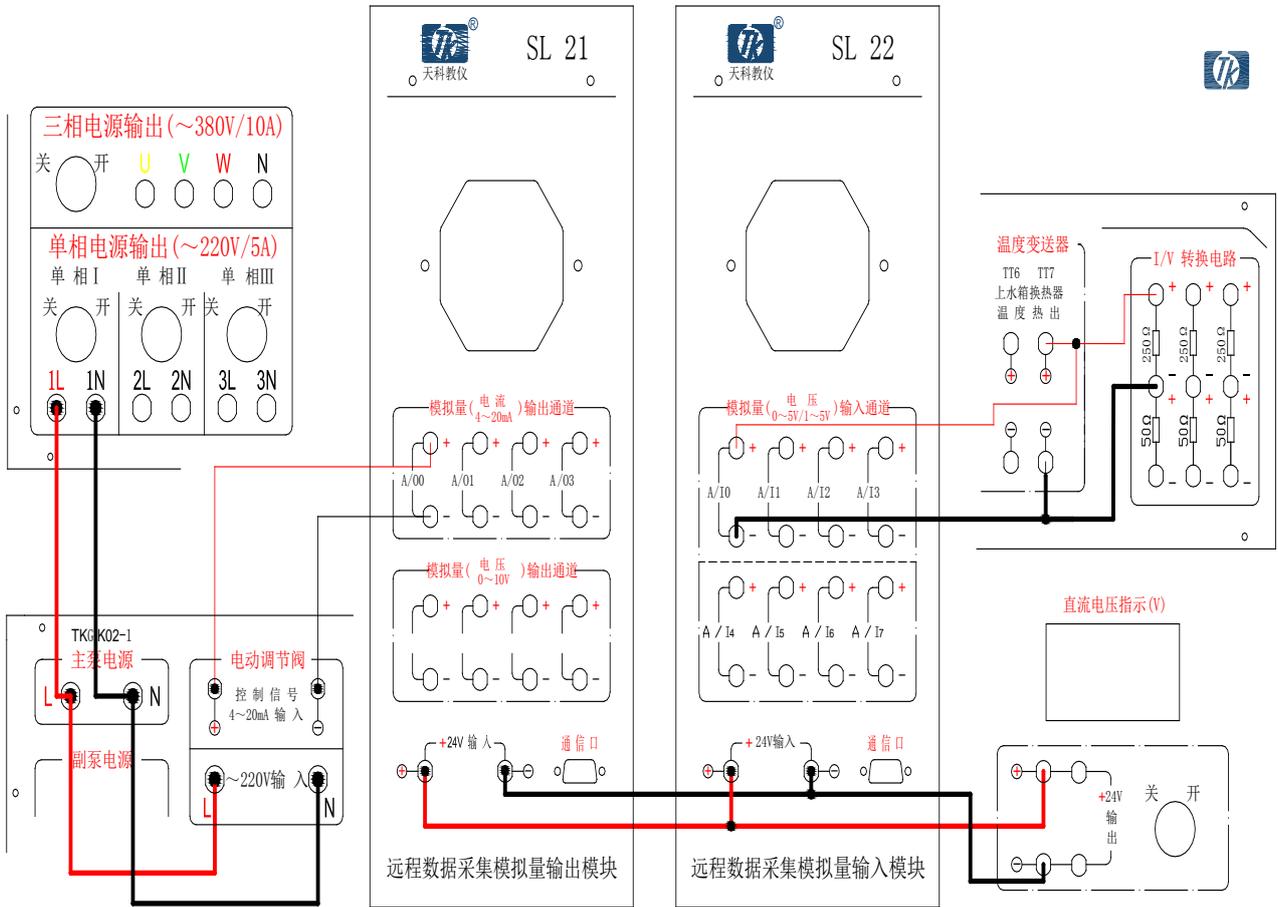
## 六、思考题

1、分析本实验是正作用控制，还是反作用控制？

2、如果我们还可以控制热水侧的流量，则该系统可构成耦合系统，分析这种耦合关系。

# 实验五附录

## 参考接线图



A/04 A/05

A/06

A/07

## 第九节 电动阀支路流量的定值控制系统

### 一、实验目的

1. 了解单闭环流量定值控制系统的组成。
2. 应用阶跃响应曲线法整定调节器的参数。
3. 研究调节器中相关参数的变化对系统性能的影响。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

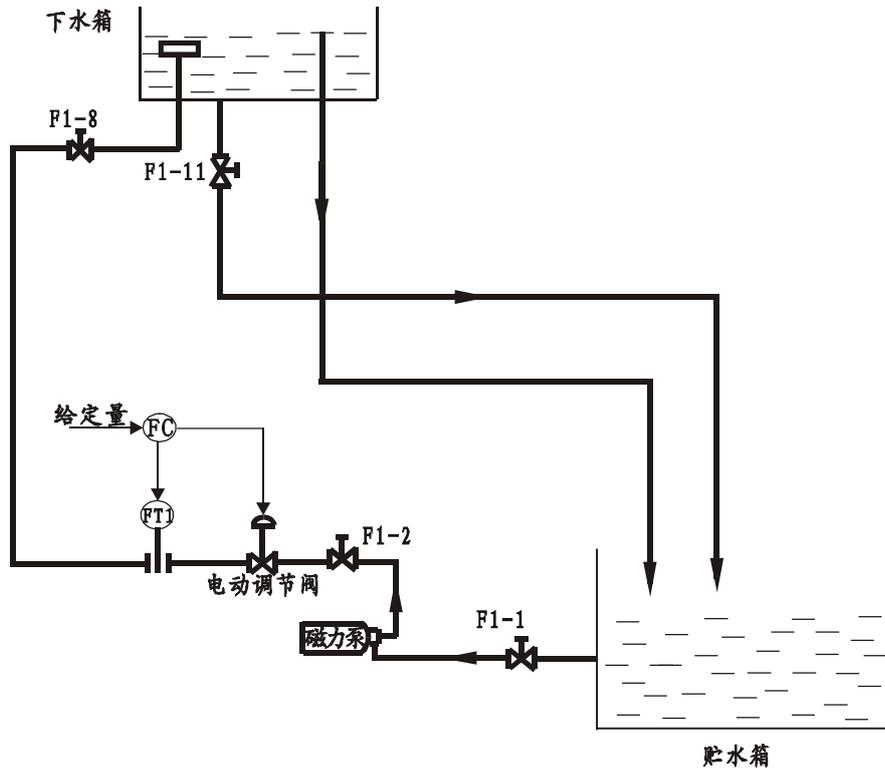


图 3-19 单闭环流量控制系统的结构图

图 3-19 为单闭环流量控制系统的结构图。系统的被控对象为管道，流经管道中的液体流量  $Q$  作为被控制量。基于系统的控制任务是维持被控制量恒定不变，即在稳态时，它总等于给定值。因此需把流量  $Q$  经检测变送后的信号作为系统的反馈量，并采用 PI 调节器。系统的控制方框图见图 3-20。

基于被控对象是一个时间常数较小的惯性环节，故本系统调节器的参数宜用阶跃响应曲线法确定。

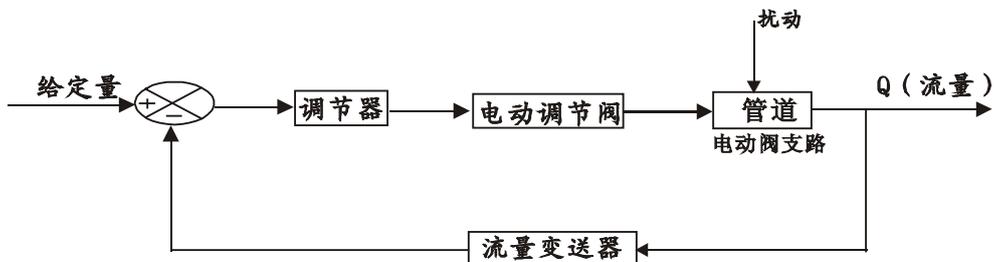


图 3-20 单闭环流量控制系统的方框图

## 四、实验内容与步骤

- 1、按图 3-19 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
- 4、打开阀 F1-1、F1-2、F1-8。
- 5、根据用阶跃响应曲线法求得的  $K$ 、 $T$  和  $\tau$ ，查本章中的表四确定 PI 调节器的参数  $\delta$  和周期  $T_i$ 。
- 6、设置流量的给定值后，手动操作调节器的输出，通过电动调节阀支路给下水箱打水。等流量  $Q$  趋于给定值且不变后，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：  
当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
- 8、通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

## 五、实验报告

1. 用实验方法整定 PI 调节器的参数。
2. 作出比例 P 控制时，不同  $\delta$  值下的阶跃响应曲线，并记下它们的余差  $e_{ss}$ 。
3. 比例积分调节器 (PI) 控制
  - (1) 在比例调节控制实验的基础上，加上积分作用“I”，即把“I”（积分）设置为一参数，根据不同的情况，设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置，以验证系统在 PI 调节器控制下，系统的阶跃扰动无余差产生。
  - (2) 固定比例 P 值（中等大小），然后改变调节器的积分时间常数  $T_i$  值，观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。
  - (3) 固定  $T_i$  于某一中等大小的值，然后改变比例度  $\delta$  的大小，观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。
4. 分析  $\delta$  和  $T_i$  值改变时，各给系统动态性能产生什么影响。

## 六、思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器，而不采用纯积分器？
2. 为什么本系统调节器参数的整定要用阶跃响应曲线法，而不用临界比例度法和阻尼振荡法？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似

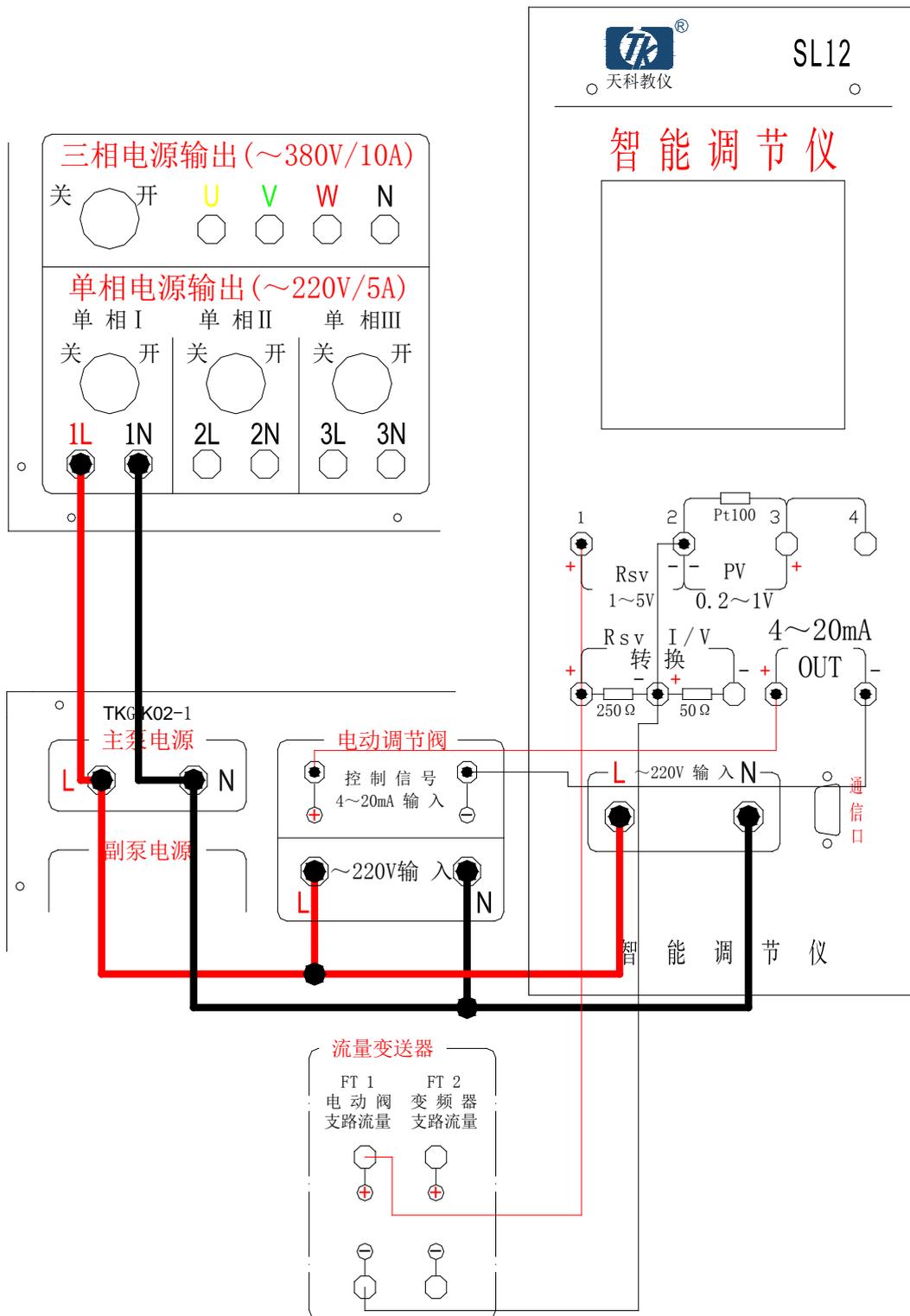
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，流量区间的电磁阀支路流量输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-分别连接，流量区间的电磁阀支路流量输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-分别连接，流量区间的电磁阀支路流量输出的正负端子。	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子。

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

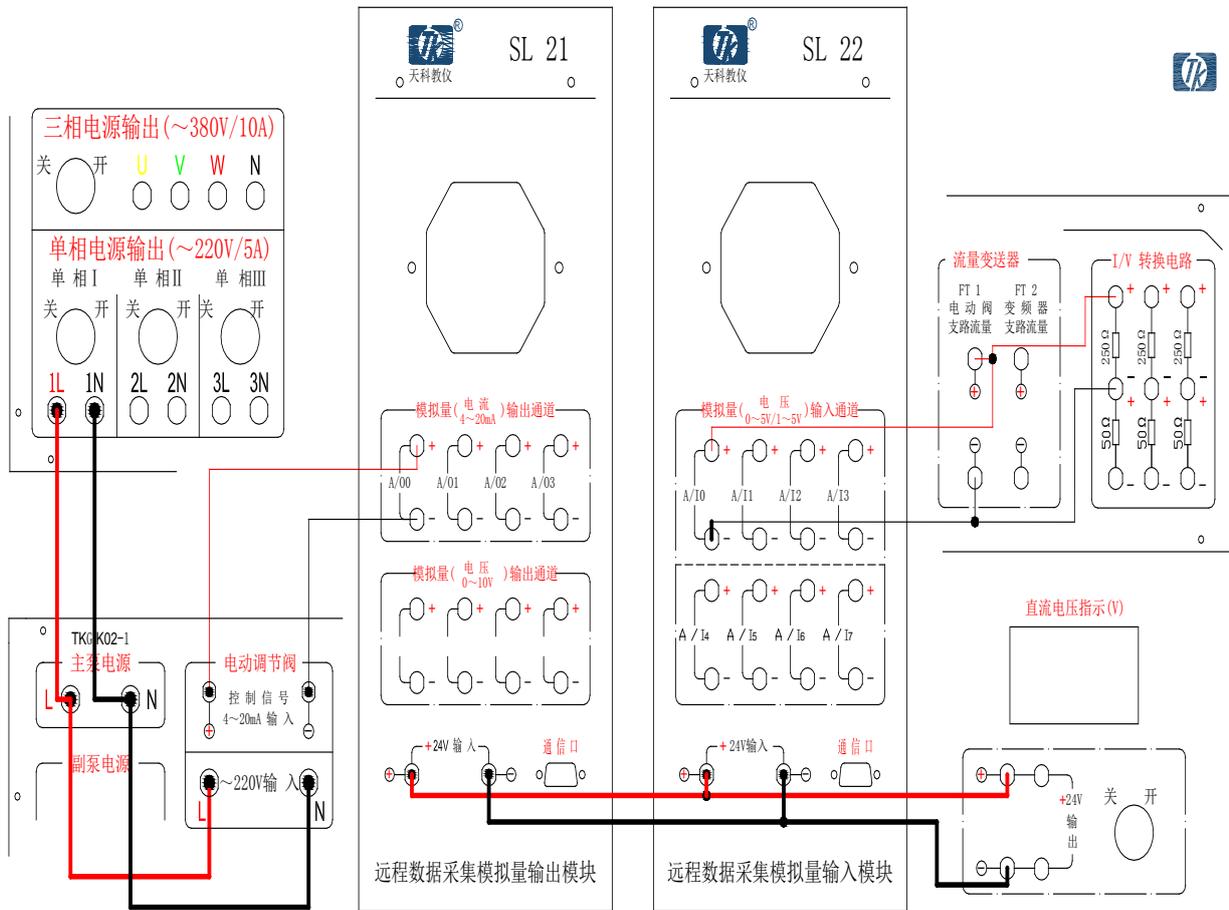
智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图

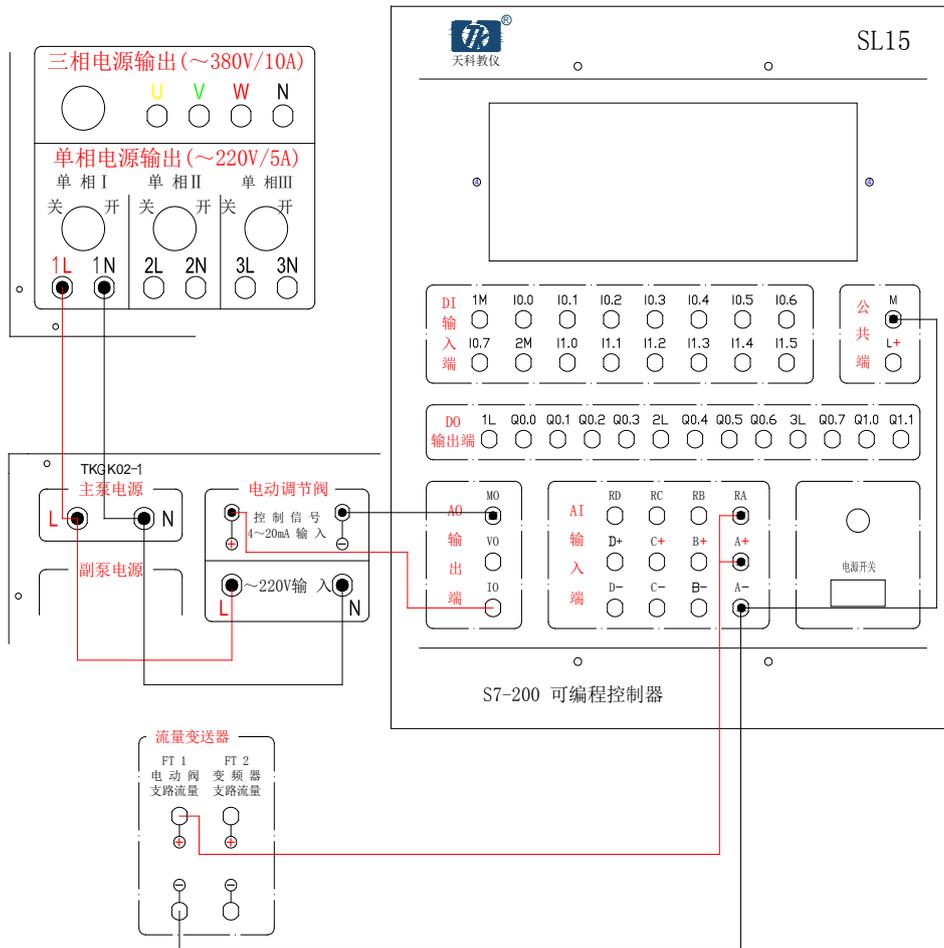


### 3.2 DDC 系统接线图



A/O4 A/O5 A/O6 A/O7

### 3.3 PLC 系统接线图



•  
•  
•

# 第十节 变频调速磁力泵支路流量的定值控制系统

## 一、实验目的

1. 了解单闭环流量定值控制系统的组成。
2. 了解涡轮流量计的结构及其使用方法。
3. 应用阶跃响应曲线法整定调节器的参数。
4. 研究调节器中相关参数的变化对系统性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

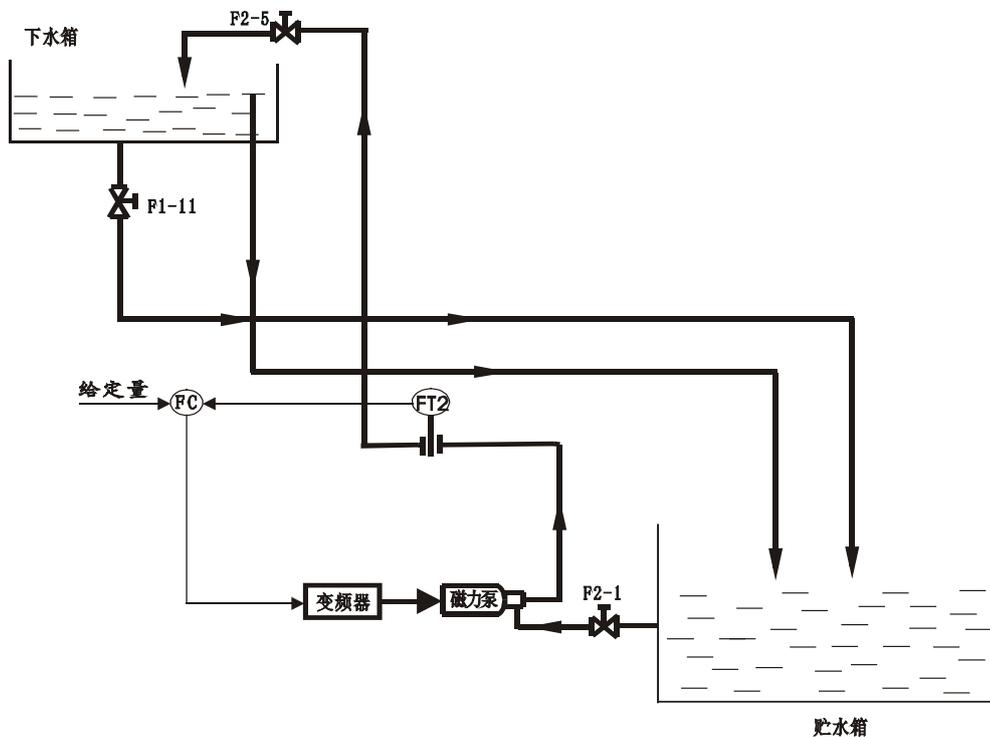


图 3-21 变频调速支路流量定值控制系统的结构图

图 3-21 为变频调速支路流量定值控制系统的结构图。系统的被控对象为变频器-磁力泵支路管道，流经管道中的液体流量  $Q$  作为被控制量。基于系统的控制任务是维持被控制量恒定不变，即在稳态时，它总等于给定值。因此需把流量  $Q$  经检测变送后的信号作为系统的反馈量，并采用 PI 调节器。系统的控制方框图见图 3-22。

基于被控对象是一个时间常数较小的惯性环节，故本系统调节器参数的整定宜用阶跃响应曲线法求得的  $K$ 、 $T$  和  $\tau$ ，然后由本章表四的经验公式确定参数。

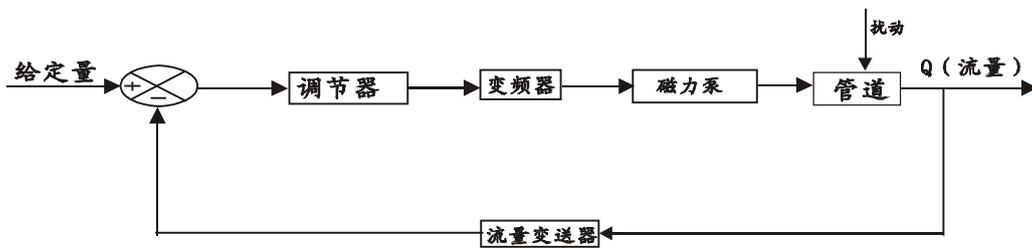


图 3-22 单闭环流量控制系统的方框图

#### 四、实验内容与步骤

- 1、按图 3-21 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
- 4、打开阀 F2-1、F2-5。

5、设置流量的给定值后，用手操作调节器的输出，使变频器-磁力泵给下水箱打水。等流量  $Q$  趋于给定值且不变后，把调节器由手动切换为自动，使系统进入自动运行状态。

6、用阶跃响应曲线法求得  $K$ 、 $T$  和  $\tau$ ，然后根据本章表四确定 PI 调节器的参数  $\delta$  和周期  $T_i$ 。

7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：

当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。

8、通过反复多次调节 PI 的参数，使系统具有较满意的动态性能指标。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告

1. 用实验方法整定 PI 调节器的参数。
2. 作出比例 P 控制时，不同  $\delta$  值下的阶跃响应曲线，并记下它们的余差  $e_{ss}$ 。
3. 比例积分调节器（PI）控制

(1) 在比例调节控制实验的基础上，加上积分作用“ $I$ ”，即把“ $I$ ”（积分）设置为一参数，根据不同的情况，设置不同的大小。观察被控制量能否回到原设定值的位置，以验证系统在 PI 调节器控制下，系统的阶跃扰动无余差产生。

(2) 固定比例 P 值（中等大小），然后改变调节器的积分时间常数  $T_i$  值，观察加入阶跃扰动后被调量的输出波形和响应时间的快慢。

(3) 固定  $T_i$  于某一中等大小的值，然后改变比例度  $\delta$  的大小，观察加阶跃扰动后被调量的动态波形和响应时间的快慢。

4. 分析  $\delta$  和  $T_i$  值改变时，各给系统动态性能产生什么影响。

#### 六、思考题

1. 消除系统的余差为什么采用 PI 调节器，而不采用纯积分器？
2. 为什么本系统调节器参数的整定要用阶跃响应曲线法，而不用临界比例度法和阻尼振荡法？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统), 其接线方式请参考下表, 其它操作与上述实验步骤相似。

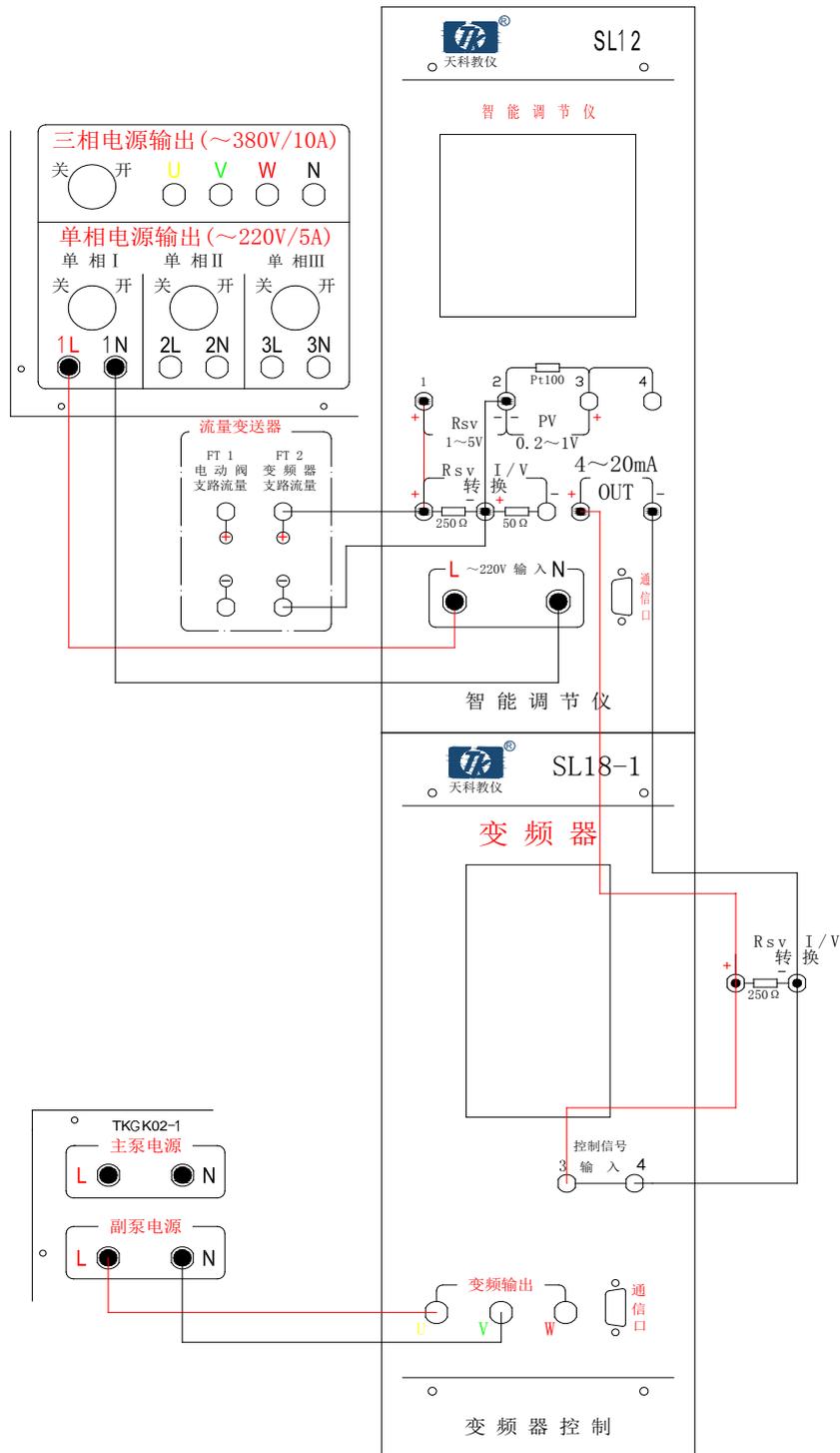
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接, 流量区间的变频器支路流量输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-分别连接, 流量区间的变频器支路流量输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-分别连接, 流量区间的变频器支路流量输出的正负端子。	8024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入正负端子。

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪, 本次实验只需一个)。

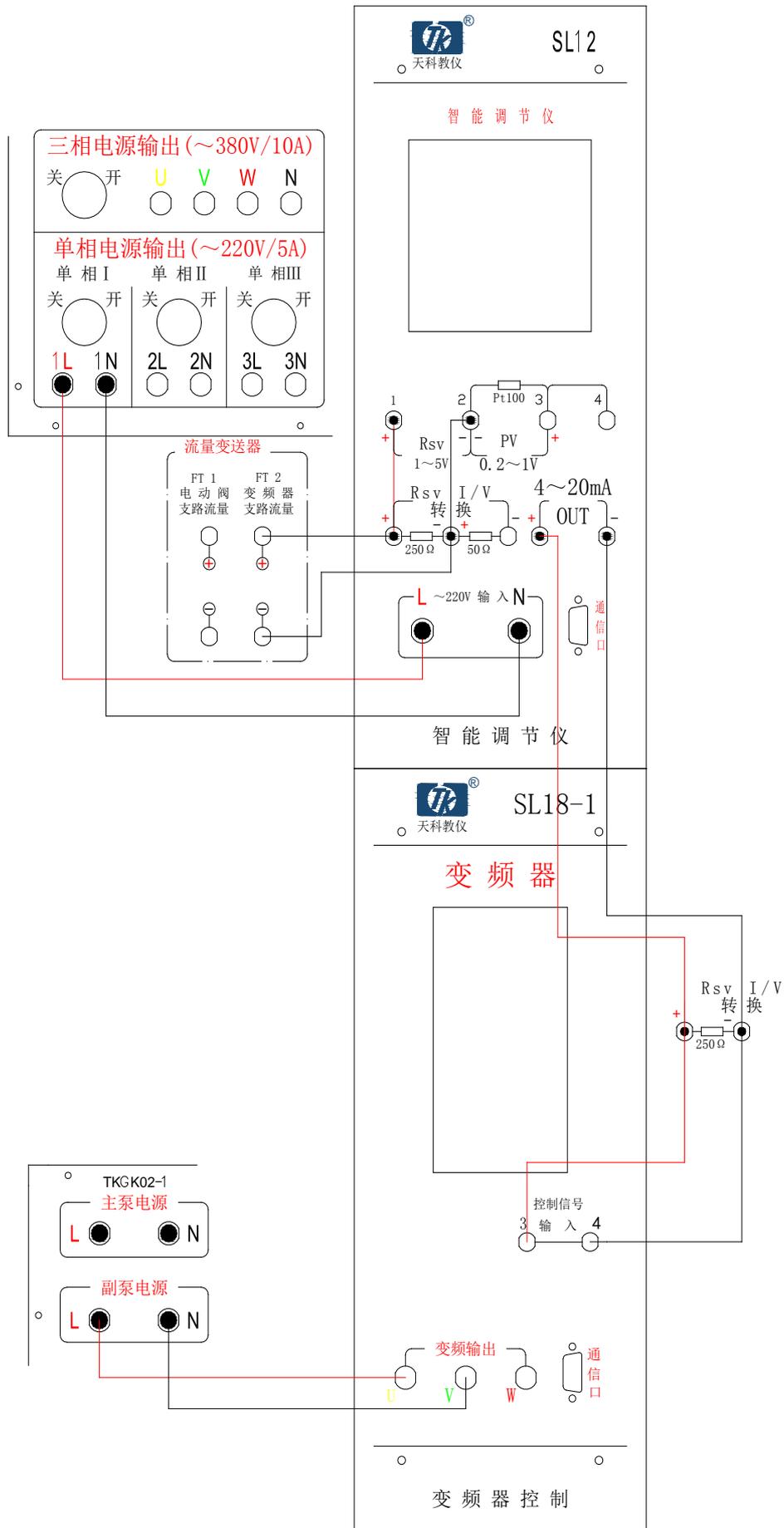
智能仪表 808		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

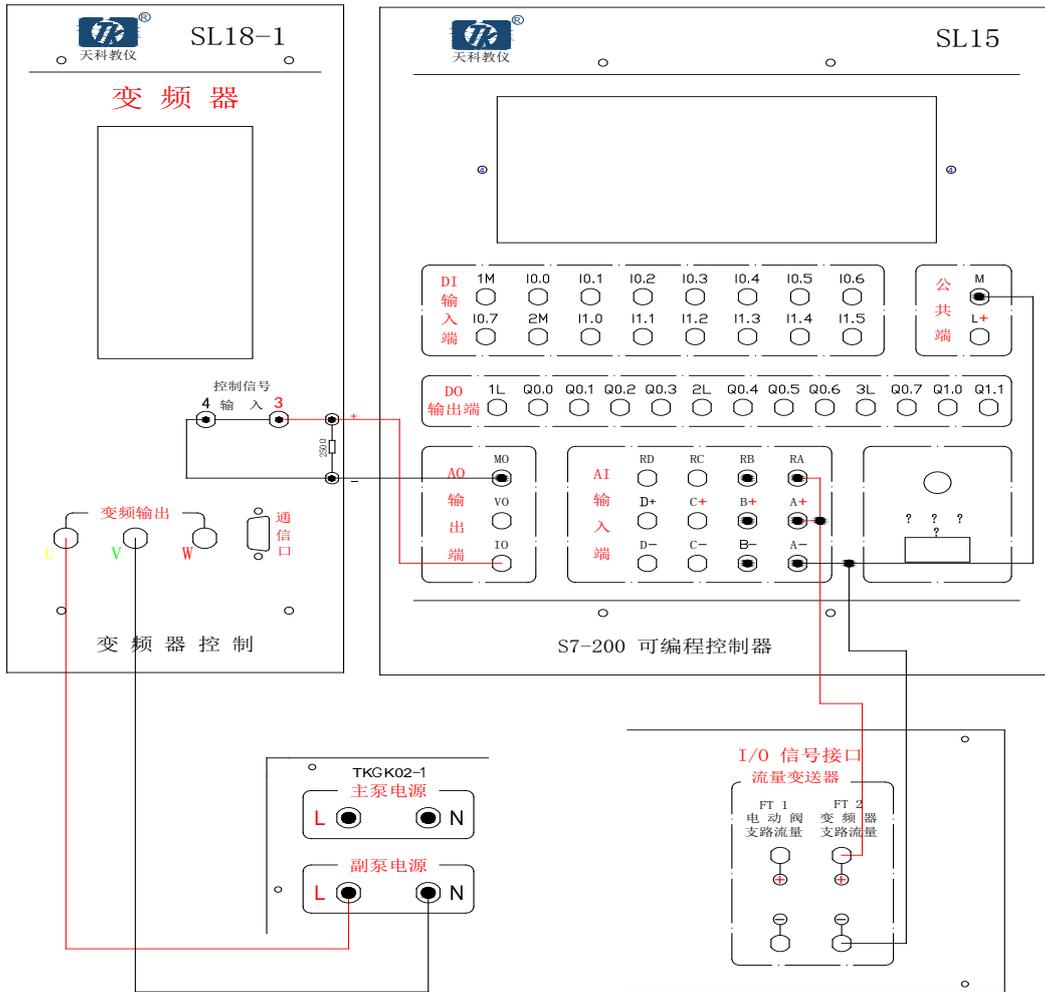
#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



3.3 PLC 系统接线图



## 第四章 串级控制系统实验

# 第一节 串级控制系统的连接实践

## 一、串接控制系统的组成

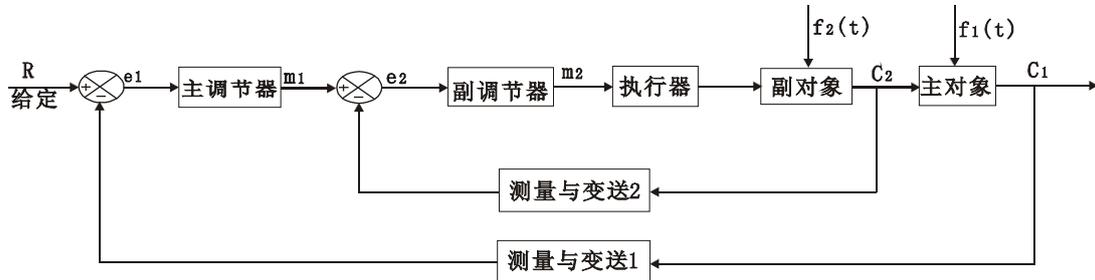


图 4-1 串级控制系统的方框图

图 4-1 是串级控制系统的方框图。该系统有主、副两个控制回路，主、副调节器相串联工作，其中主调节器有自己独立的设定值  $R$ ，它的输出  $m_1$  作为副调节器的给定值，副调节器的输出  $m_2$  控制执行器，以改变主参数  $C_1$ 。

图 4-1 中：

- $R$ -主参数的给定值
- $C_1$ -被控的主参数
- $C_2$ -副参数
- $f_1(t)$ -作用在主对象上的扰动
- $f_2(t)$ -作用在副对象上的扰动

## 二、串级控制系统的优点

### A、改善了过程的动态特性

由负反馈原理可知，副回路不仅能改变副对象的结构，而且还能使副对象的放大系数减小，频带变宽，从而使系统的响应速度变快，动态性能得到改善。

### B、能及时克服进入副回路的各种二次扰动，提高了系统抗扰动能力

串级控制系统由于比单回路控制系统多了一个副回路，当二次扰动进入副回路，由于主对象的时间常数大于副对象的时间常数，因而当扰动还没有影响到主控参数时，副调节器就开始动作，及时减小或消除扰动对主参数的影响。基于这个特点，在设计串级控制系统时尽可能把可能产生的扰动都纳入到副回路中，以确保主参数的控制质量。至于作用在主对象上的一次扰动对主参数的影响，一般通过主回路的控制来消除。

### C、提高了系统的鲁棒性

由于副回路的存在，它对副对象（包括执行机构）特性变化的灵敏度降低，即系统的鲁棒性得到了提高。

### D、具有一定的自适应能力

串级控制系统的主回路是一个定值控制系统，副回路则是一个随动系统。主调节器能按照负荷和操作条件的变化，不断地自动改变副调节器的给定值，使副调节器的给定值能适应负荷和操作条件的变化。

## 三、串级控制系统的设计原则

### (一) 主、副回路的设计

- 副回路不仅要包括生产过程中的主要扰动，而且应该尽可能包括更多的扰动信号。
- 主、副对象的时间常数要合理匹配

一般要求主、副对象时间常数的匹配能使主、副回路的工作频率之比大于 3。为此，要求主、副回路的时间常数之比应该在 3~10 之间。

### (二) 主、副调节器控制规律的选择

在串级控制系统中，主、副调节器所起的作用是不同的。主调节器起定值控制作用，它的控制任务是使主参数等于给定值（无余差），故一般宜采用 PI 调节器。由于副回路是一个随动系统，它的输出要求能快速、准确地复现主调节器输出信号的变化规律，对副参数的动态性能和余差无特殊的要求，因而副调节器可采用 P 或 PI 调节器。

#### 四、主、副调节器正、反作用方式的选择

如在单回路控制系统设计中所述，要使一个过程控制系统能正常工作，系统必须采用负反馈。对于串级控制系统来说，主、副调节器的正、反作用方式的选择原则是使整个系统构成负反馈系统，即其主通道各环节放大系统系数极性乘积必须为正值。

各环节放大系数极性的正负是这样规定的：

1. 调节器的  $K_c$

当测量值增加，调节器的输出也增加，则  $K_c$  为负（即正作用调节器）；反之， $K_c$  为正（即反作用调节器）。

2. 调节阀的系数  $K_v$

气开式调节阀，则  $K_v$  为正；气关式调节阀，则  $K_v$  为负。

3. 过程放大系数  $K_0$

当过程的输入增大时，即调节阀开大，其输出也增大，则  $K_0$  为正；反之  $K_0$  为负。

#### 五、串级控制系统的整定方法

在工程实践中，串级控制系统常用的整定方法有以下两种：

（一） 两步整定法

两步整定法就是先整定副调节器的参数，后整定主调节器的参数。

整定的具体步骤为：

1. 在工况稳定，主、副回路闭合，主、副调节器都在纯比例作用下，将主调节器的比例度置于 100% 的刻度上，然后用单回路反馈控制系统的整定方法来整定副回路。如按衰减比 4:1 的要求将副调节器的比例度由大逐渐减小调节，直到响应曲线呈 4:1 衰减为止。记下相应的比例度  $\delta_{2s}$  和振荡周期  $T_{2s}$ 。

2. 将副调节器的比例度置于所求的  $\delta_{2s}$  值，且把副回路作为主回路的一个环节，用类同于整定副回路的方法整定主回路，求取主回路比例度  $\delta_{1s}$  和振荡周期  $T_{1s}$ 。

3. 根据求取的  $\delta_{1s}$ 、 $T_{1s}$  和  $\delta_{2s}$ 、 $T_{2s}$  值，按表所示的经验公式计算主、副调节器的比例度  $\delta$ 、积分时间常数  $T_i$  和微分时间常数  $T_d$  的实际值。

4. 按“先副后主”，“先比例后积分再微分”的整定顺序，将所求的主、副调节器参数设置在相应的调节器上。

5. 观察控制过程，并根据具体情况对调节器的参数作适当调整，直到过程品质 达到最佳为止。

（二） 一步整定法

由于两步整定法要寻求两个 4:1 的衰减过程，这是一件很花时间的。经过大量的实践，对两步整定法做了简化，提出了一步整定法。所谓一步整定法，就是根据经验先确定副调节器的参数，然后按单回路反馈控制系统的整定方法整定主调节器的参数。

一步整定法的理论依据是：串级控制系统可以等价为一个单回路反馈控制系统，其等效的总放大系数  $K_c$  为主调节器放大系数  $K_{c1}$  与副回路等效的放大系数  $K_{02}'$  的乘积，即

$$K_c = K_{c1} K_{02}'$$

对于主、副调节器均为纯比例作用时的串级控制系统，只要满足

$$K_c = K_s'$$

式中： $K_s'$  为主回路产生 4:1 衰减过程时的比例放大系数。

具体的整定步骤为：

1. 当系统稳态工况后，按单回路整定的经验选取一中间的值作为副调节器的参数。

2. 利用单回路控制系统的任一种参数整定方法来整定主调节器的参数。
3. 改变给定值，观察被控制量的响应曲线。根据  $K_{c1}$  和  $K_{02}'$  的匹配原理，适当调整调节器的参数，使主控参数品质为最佳。
4. 如果出现振荡现象，只要加大主调节器的比例度  $\delta$  或增大积分时间常数  $T_1$ ，即可消除振荡。

## 第二节 水箱液位串级控制系统

### 一、实验目的

1. 熟悉串级控制系统的结构与特点
2. 掌握串级控制系统的投运与参数的整定方法
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

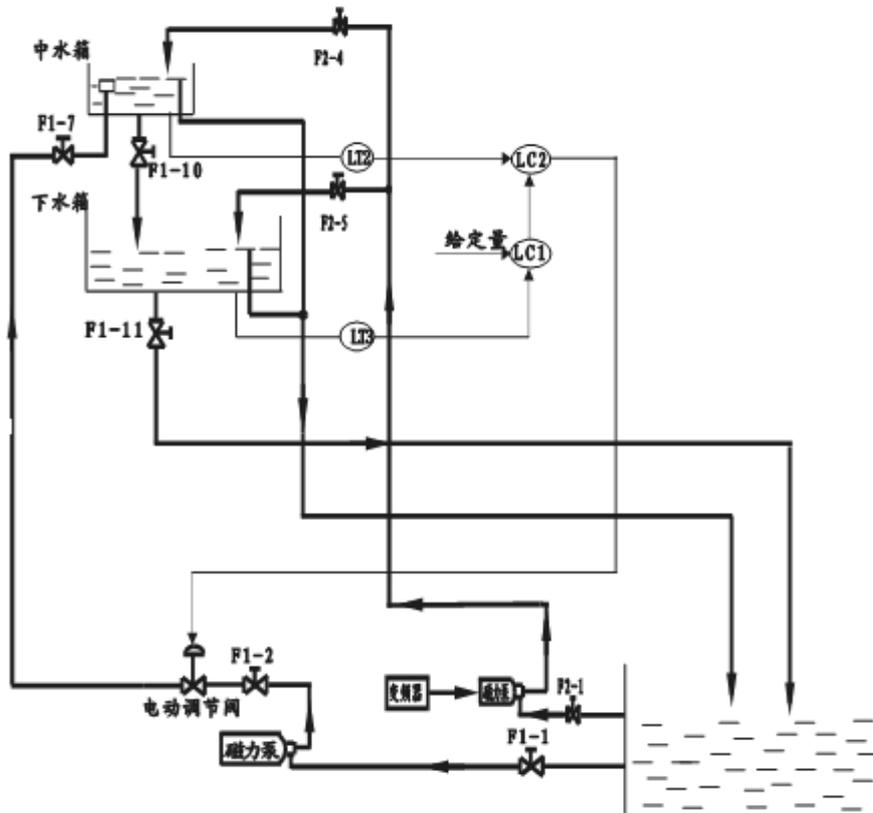


图 4-2 液位串级控制系统的结构图

本实验为水箱液位的串级控制系统，它是由主、副两个回路组成。每一个回路中都有一个属于自己的调节器和控制对象，即主回路中的调节器称主调节器，控制对象为下水箱，作为系统的被控对象，下水箱的液位为系统的主控制量。副回路中的调节器称副调节器，控制对象为中水箱，又称副对象，它的输出是一个辅助的控制变量。

本系统控制的目的是不仅使系统的输出响应具有良好的动态性能，且在稳态时，系统的被控制量等于给定值，实现无差调节。当有扰动出现于副回路时，由于主对象的时间常数大于副对象的时间常数，因而当被控制量（下水箱的液位）未作出反映时，副回路已作出快速响应，及时地消除了扰动对被控制量的影响。此外，如果扰动作用于主对象，由于副回路的存在，使副对象的时间常数大大减小，从而加快了系统的响应速度，改善了动态性能。图 4-2 为实验系统的结构图，图 4-3 为相应控制系统的方框图。

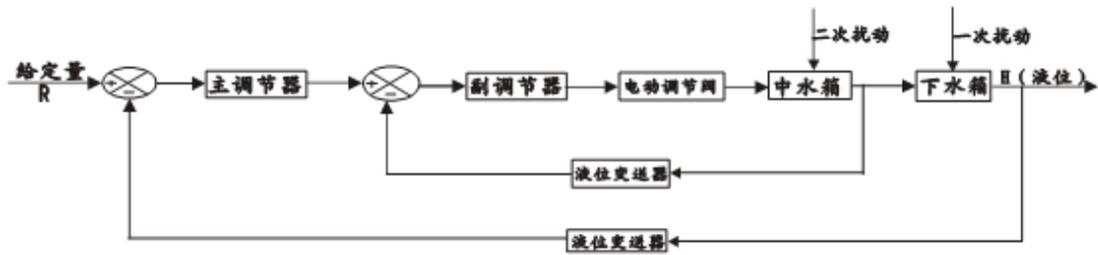


图 4-3 液位串级控制系统的方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-2 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、打开阀 F1-1、F1-2、F1-7、F1-10、F1-11，且使阀 F1-10 的开度略大于 F1-11。
- 4、按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
- 5、调节主调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ 。据此，按经验表查得 PI 的参数对主调节器进行参数整定。
- 6、手动操作主调节器的输出，以控制电动调节阀支路给中水箱送水的大小，等中、下水箱的液位相对稳定，且下水箱的液位趋于给定值时，把主调节器切换为自动。
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
  - 1) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定量增/减 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
  - 2) 适量打开阀 F2-4，观察并记录阶跃扰动作用于副对象（中水箱）时，系统被控制量（下水箱液位）的响应过程。
  - 3) 将阀 F2-4 关闭，去除副对象的阶跃扰动，且待系统再次稳定后，再适量打开阀 F2-5，观察并记录阶跃扰动作用于主对象时对系统被控制量的影响。
- 8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告要求

- 1、画出本实验系统的方框图。
- 2、通过实验求出输出响应呈 4: 1 衰减时的主调节器的参数。
- 3、根据扰动分别作用于主、副对象时系统输出的响应曲线，对此作出评述。
- 4、观察并分析副调节器的比例度大小对系统动态性能的影响。
- 5、观察并分析主调节器比例度  $\delta$  和积分时间常数  $T_i$  的改变对系统动态性能的影响。

#### 六、思考题

- 1、试述串级控制系统为什么对主扰动（二次扰动）具有很强的抗扰能力？如果副对象的时间常数与主对象的时间常数大小接近时，二次扰动对主控制量是否仍很小，为什么？
- 2、当一次扰动作用于主对象时，试问由于副回路的存在，系统的动态性能比单回路系统的动态性能有何改进？
- 3、一步整定法的依据是什么？
- 4、串级控制系统投运前需要作好那些准备工作？主、副调节器的正反作用方向如何确定？
- 5、为什么本实验中的副调节器为比例（P）调节器？
- 6、改变副调节器的比例度，对串级控制系统的动态和抗扰性能有何影响，试从理论上给予说明。
- 7、评述串级控制系统比单回路控制系统的控制质量高的原因？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似

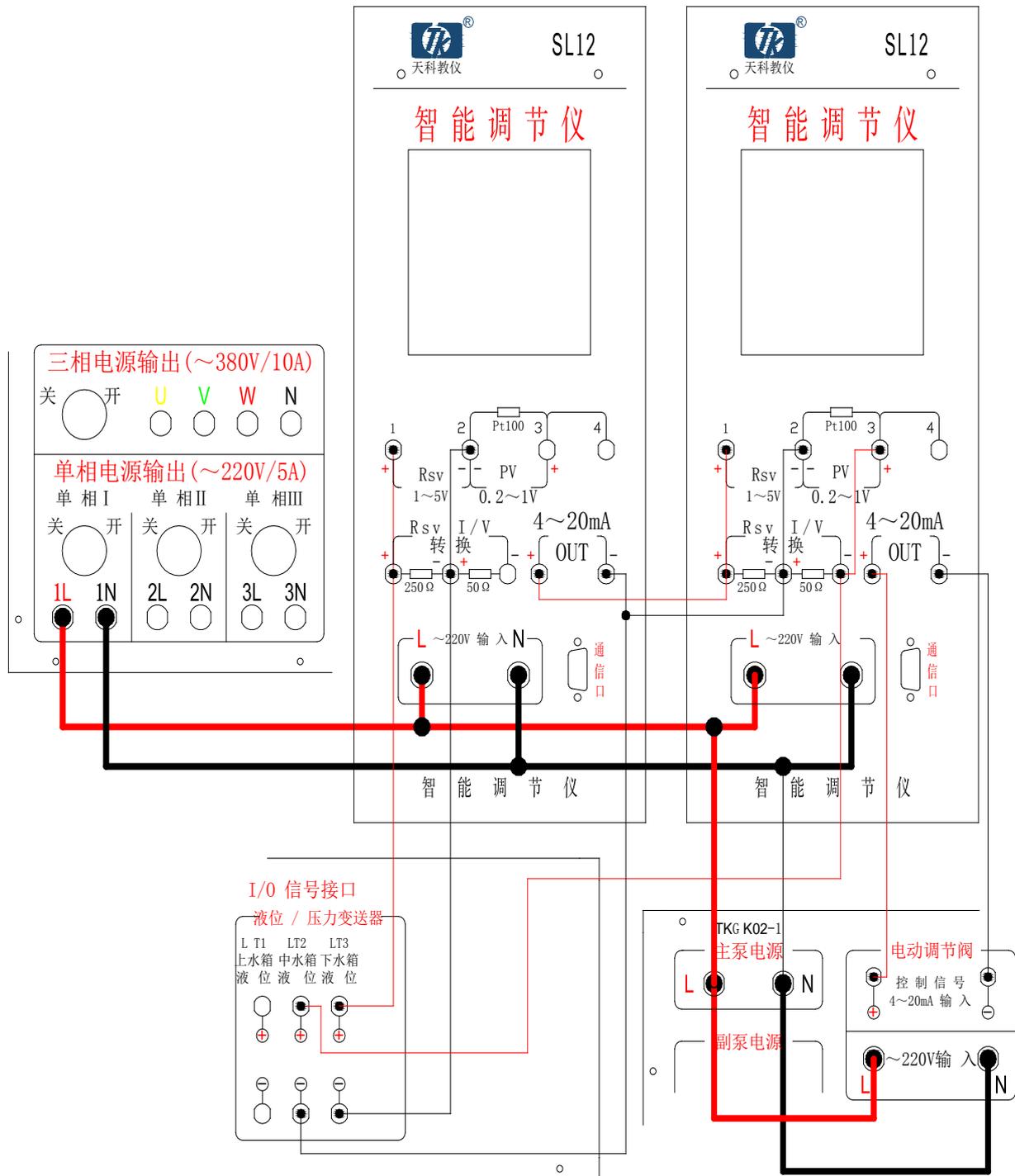
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0- 连接下水箱液位变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1- 连接中水箱液位变送器输出端	仪表一输出端 A00+、A00- 连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）；仪表二输出端 A01+、A01- 连接的电动调节阀的控制信号输入端
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0- 连接下水箱液位变送器输出端，输入端 AI1+、AI1- 连接中水箱液位变送器输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00- 连接电动调节阀的控制信号输入端
DDC 模块	7017 模块输入端 AI0+、AI0- 连接下水箱液位变送器输出端，AI1+、AI1- 连接中水箱液位变送器输出端	7024 模块输出端 A00+、A00- 连接电动调节阀的控制信号输入端

2. 智能仪表的参数设置如下表

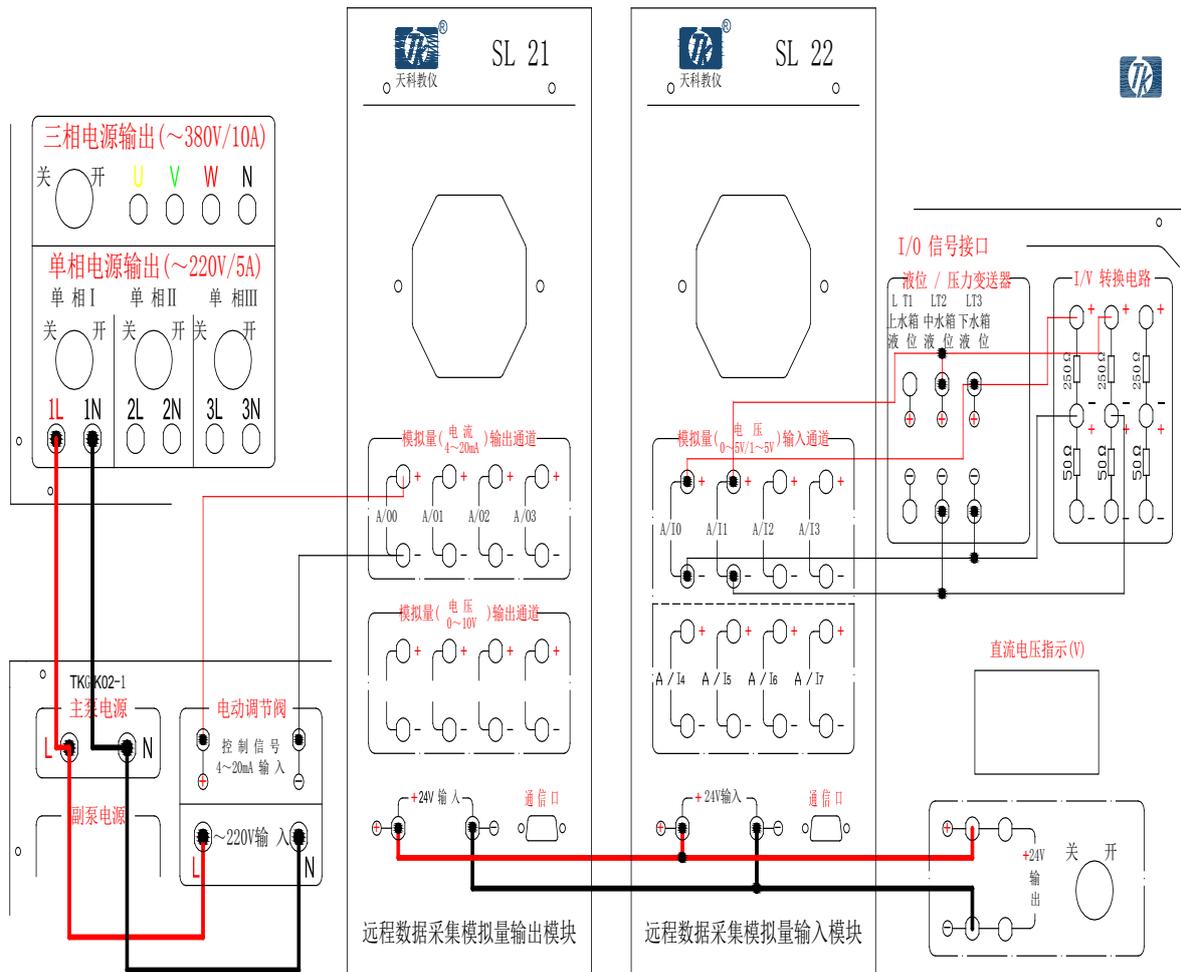
智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限	dIH	25	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 DDC 系统接线图

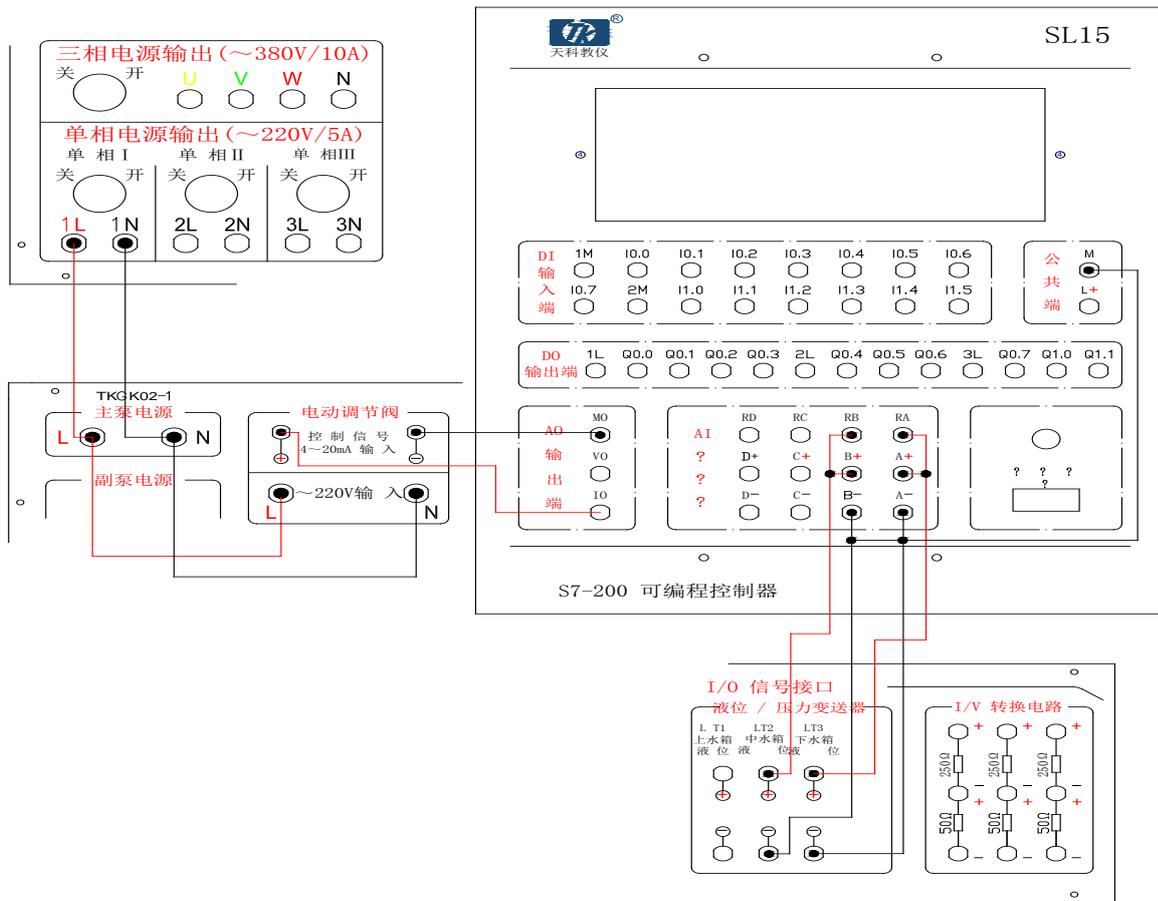


AIO4 AIO5

AIO6

AIO7

### 3.3 PLC 系统接线图



# 第三节 下水箱液位与电动调节阀支路流量的串级控制系统

## 控制系统

### 一、实验目的

1. 熟悉液位-流量串级控制系统的结构与组成。
2. 掌握液位-流量串级控制系统的投运与参数的整定方法。
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

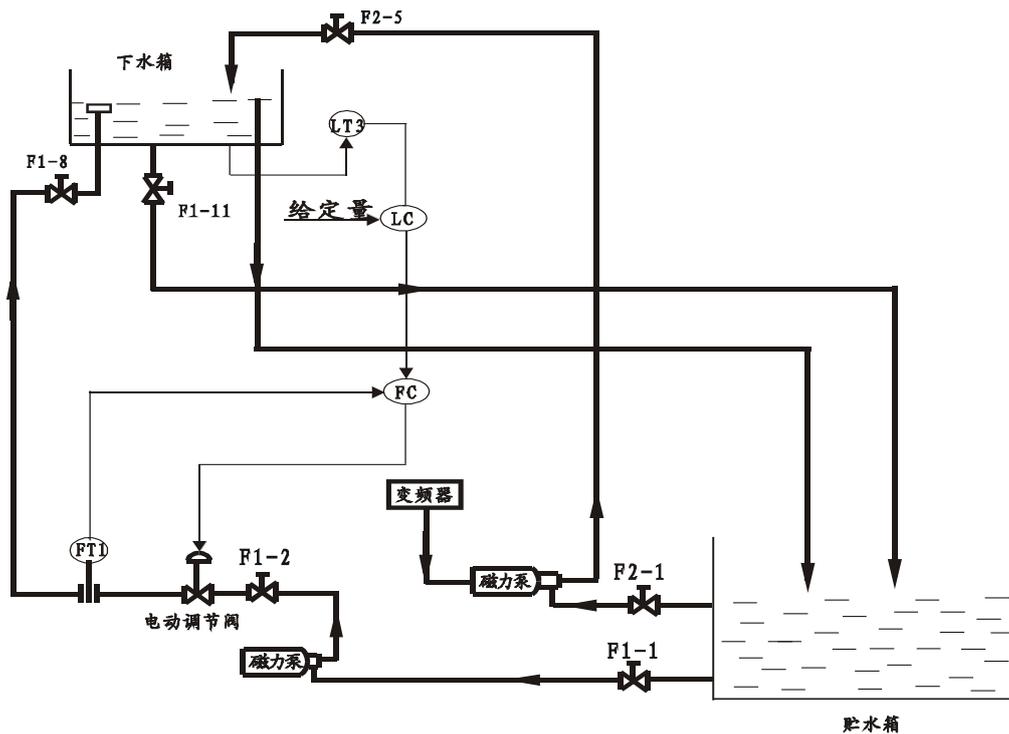


图 4-6 液位-流量串级控制系统的结构图

本实验系统的主控量为下水箱的液位高度  $H$ ，副控量为电动调节阀支路流量  $Q$ ，它是一个辅助的控制变量。系统由主、副两个回路所组成。主回路是一个恒值控制系统，使系统的主控制量  $H$  等于给定值；副回路是一个随动系统，要求副回路的输出能正确、快速地复现主调节器输出的变化规律，以达到对主控制量  $H$  的控制目的。

不难看出，由于主对象下水箱的时间常数较大于副对象管道的时间常数，因而当主扰动（二次扰动）作用于副回路时，在主对象未受到影响前，通过副回路的快速调节作用已消除了扰动的影响。图 4-6 为实验系统的结构图，图 4-7 为该控制系统的方框图。

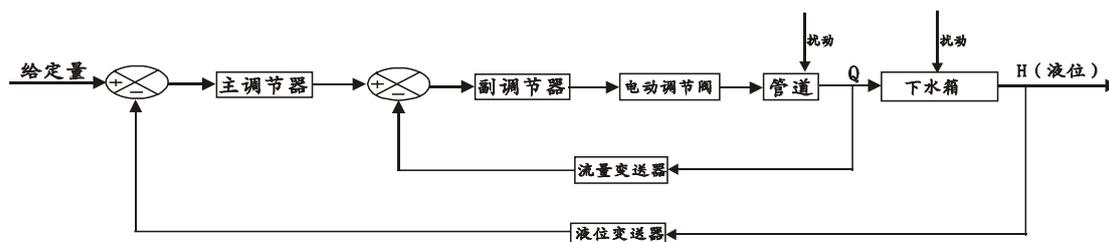


图 4-7 液位-流量串级控制系统的方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-6 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、打开阀 F1-1、F1-8，并把阀 F1-11 固定于某一合适的开度。
- 4、按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
- 5、调节主调节器的比例度，使系统的输出响应呈 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ 。按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。
- 6、手动操作主调节器的输出，控制电动调节阀给下水箱打水，待下水箱液位相对稳定且等于给定值时，把主调节器改为自动，系统进入自动运行。
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
  - 1) 当系统稳定运行后，设定值加一合适的阶跃扰动，观察并记录系统的输出响应曲线。
  - 2) 适量打开阀 F2-5，观察并记录阶跃扰动作用于主对象时，系统被控制量的响应过程。
  - 3) 关闭阀 F2-5，待系统稳定后，适量打开电动阀两端的旁路阀 F1-3，观察并记录阶跃扰动作用于副对象时系统被控制量的影响。
- 8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告内容

- 1、画出本实验系统的方框图
- 2、按 4: 1 衰减曲线法，求得主调节器的参数，并把最终调试的值一并列表表示。
- 3、在不同调节器参数下，对系统性能作一比较。
- 4、画出扰动分别作用于主、副对象时输出响应曲线，并对系统的抗扰性作出评述
- 5、观察并分析主调节器的比例度和积分时间常数的改变对系统被控制量动态性能的影响。

#### 七、思考题

- 1、为什么副回路的调节器用 P 控制，而不采用 PI 控制规律？
- 2、如果用二步整定法整定主、副调节器的参数，其整定步骤怎样？
- 3、试简述串级控制系统设置副回路的主要原因有那些？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统 (DDC 远程模块系统), 其接线方式请参考下表, 其它操作与上述实验步骤相似。

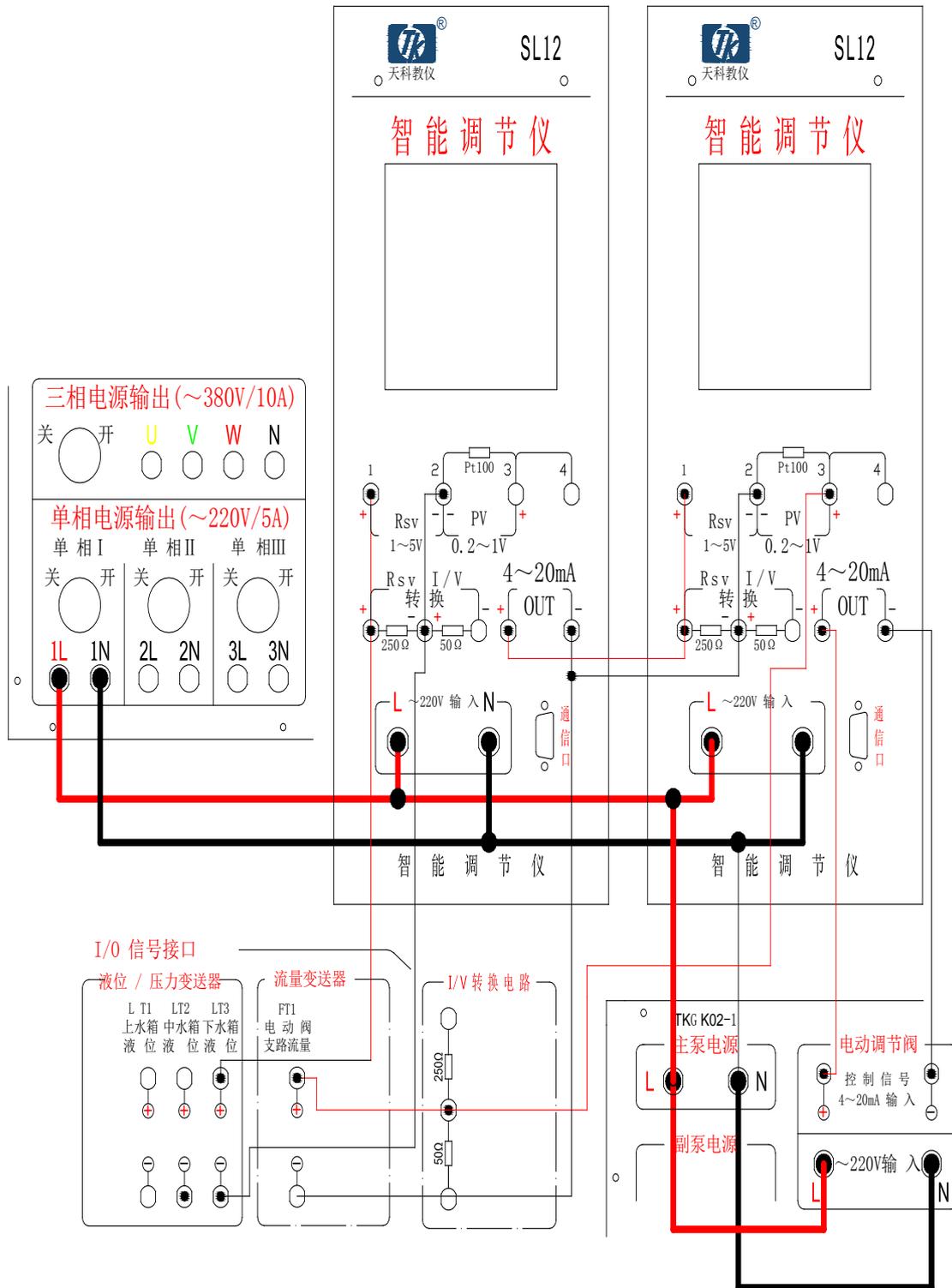
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接下水箱液位变送器输出端, 仪表二输入端 AI1+、AI1-连接调节阀支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接仪表二输入端 AI2+、AI2- (外给定); 仪表二输出端 A01+、A01- 连接的电动调节阀的控制信号输入端
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接下水箱液位变送器输出端, 输入端 AI1+、AI1-连接调节阀支路流量输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入端
DDC 模块	7017 模块输入端 AI0+、AI0-连接下水箱液位变送器输出端, AI1+、AI1-连接调节阀支路流量输出端	7024 模块输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号输入端

2. 智能仪表的参数设置如下表

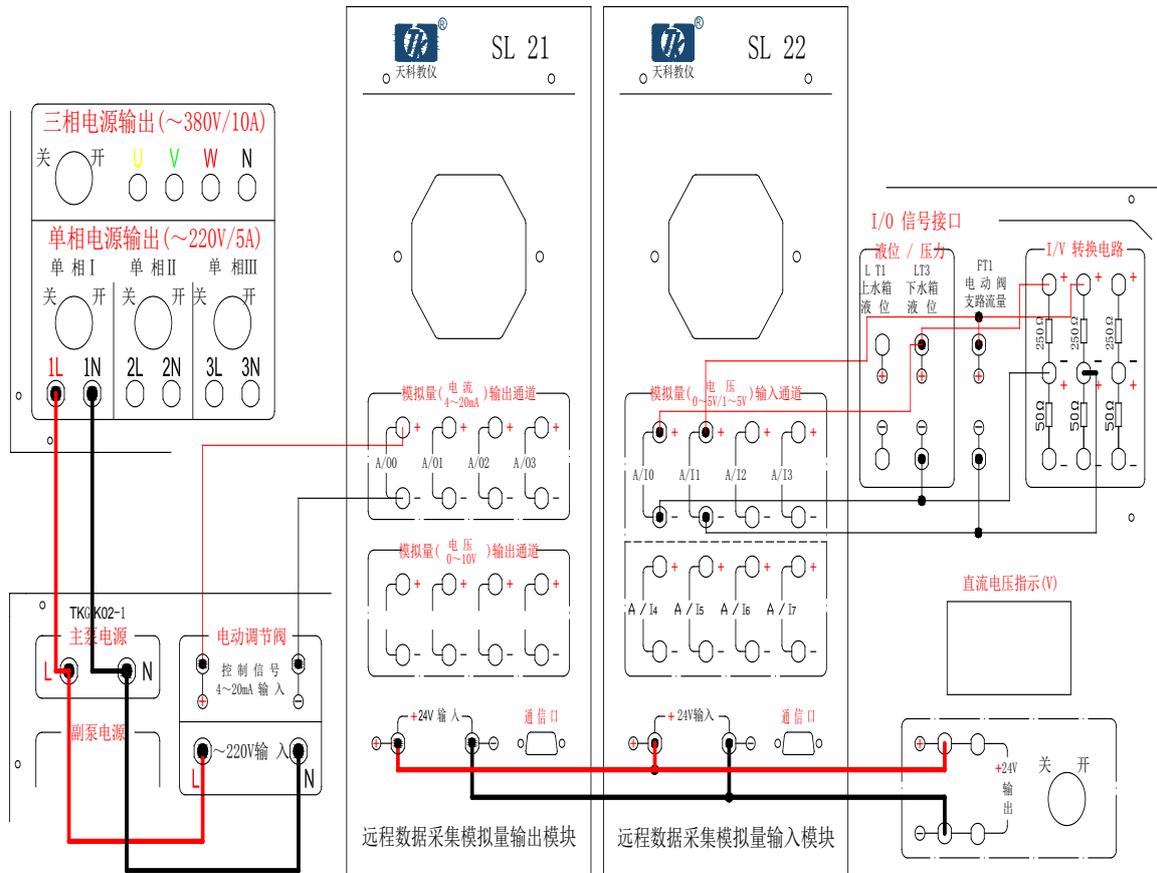
智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限	dIH	1.2	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图

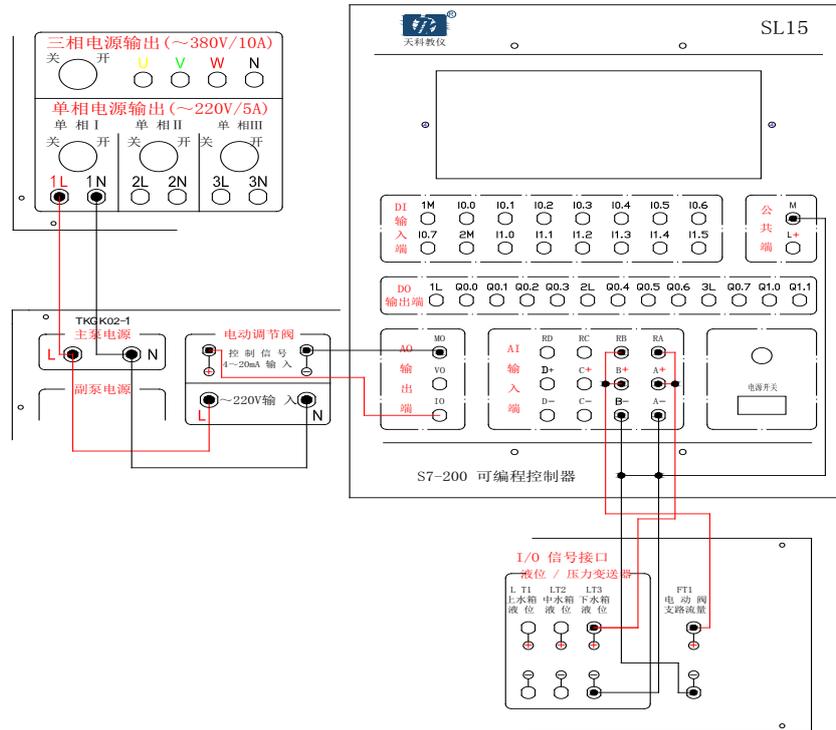


### 3.2 DDC 系统接线图



AIO4 AIO5 AIO6 AIO7

### 3.3 PLC 系统接线图



# 第四节 下水箱液位与变频调速磁力泵支路流量的串级控制系统

## 一、实验目的

1. 了解水箱液位与流量串级控制系统的组成。
2. 掌握串级控制系统的投运与调节器参数的整定。
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

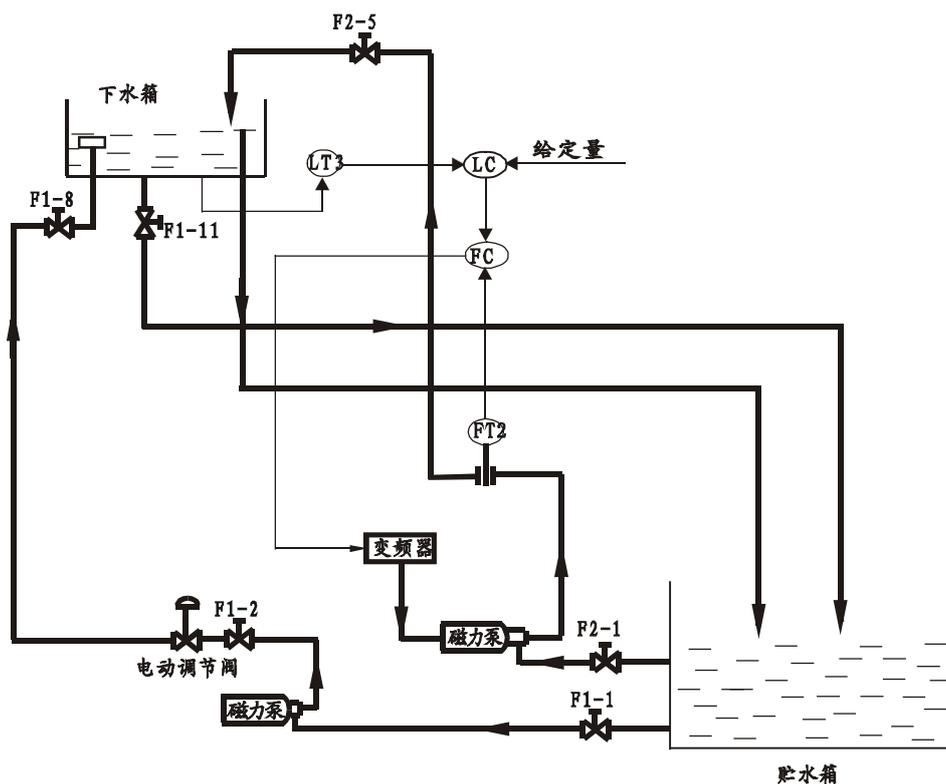


图 4-8 下水箱液位与变频器支路流量串级控制系统的结构图

本实验为下水箱液位与变频调速支路流量的串级控制系统。其中主对象为下水箱，主控制量是其液位高度；副对象为管道，它的输出（流量）是系统的一个辅助变量。

系统控制的目的是不仅使系统的输出响应具有良好的动态性能，且在稳态时，系统的被控制量液位高度等于给定值，实现无差调节；而且当有扰动出现于副回路时，由于主对象的时间常数远大于副对象的时间常数，因而当被控制量（下水箱的液位）未作出反应时，副回路通过快速地调节，及时地消除了扰动对被控制量的影响。此外，如果扰动作用于主对象，由于副回路的存在，使副对象的时间常数大大减小，从而

加快了系统的响应速度，改善了动态性能。图 4-8 为实验系统的结构图，图 4-9 为它的控制方框图。

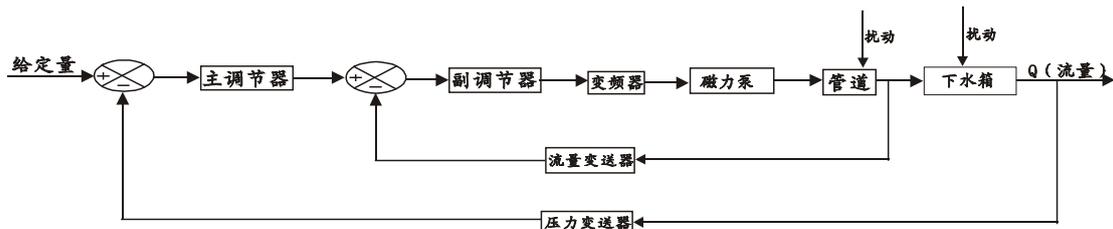


图 4-9 下水箱液位与变频器支路流量串级控制系统的方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-8 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、打开阀 F2-1、F2-5，并把阀 F1-11 固定于某一合适的开度；关闭阀 F1-8。
- 4、按经验数据预先设置好副调节器的比例度  $\delta$  值。
- 5、调节主调节器的比例度  $\delta$ ，使系统的输出响应呈 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ 。

按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。

6、手操作主调节器的输出，控制变频器-磁力泵给下水箱供水流量的大小，待下水箱液位相对稳定且等于给定值时，把主调节器切为自动，系统进入自动运行。

7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件并进入本实验项目，进行如下的实验：

- 1) 当系统稳定运行后，设定值加一合适的阶跃扰动，观察并记录系统的输出响应曲线。
- 2) 适量打开阀 F1-1、F1-2、F1-8，观察并记录阶跃扰动作用于主对象时，系统被控制量的响应过程。

程。

3) 关闭阀 F1-8，待系统稳定后，适量开大或关小阀 F2-5，观察并记录阶跃扰动作用于副对象时对系统被控制量的影响。

8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告内容

- 1、根据实验结构图画出本实验系统的方框图。
- 2、按 4: 1 衰减曲线法计算主调节器的参数。
- 3、观察并分析副调节器  $\delta$  的大小变化对系统动态性能的影响。
- 4、画出扰动分别作用于主、副对象时输出响应曲线，并对系统的抗扰性作出评述
- 5、观察并分析主调节器的比例度  $\delta$  和积分时间常数  $T_I$  的改变对系统被控制量动态性能的影响。

#### 七、思考题

- 1、如果副调节器设置为 PI 控制，而主调节器设置为 P 控制，试分析对系统的动、静态性能产生那些影响？
- 2、试说明当二次扰动作用于副回路时，系统是如何调节达到基本不影响主控制量的目的？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

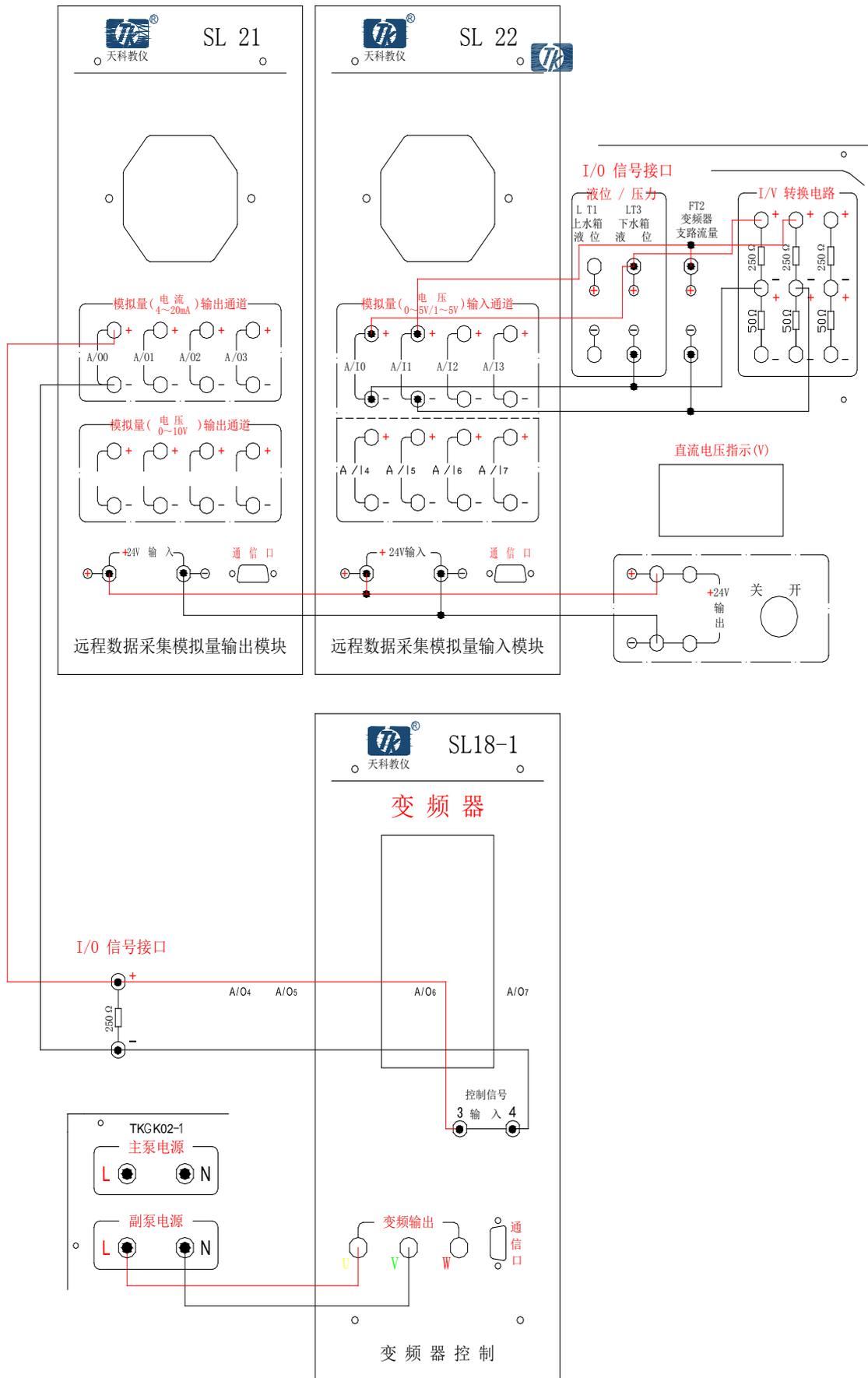
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接下水箱液位变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1-连接变频器支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）；仪表二输出端 A01+、A01- 连接的变频器的控制信号输入端
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接下水箱液位变送器输出端，输入端 AI1+、AI1-连接变频器支路流量输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接变频器的控制信号输入端
DDC 模块	7017 模块输入端 AI0+、AI0-连接下水箱液位变送器输出端，AI1+、AI1-连接变频器支路流量输出端	7024 模块输出端 A00+、A00-连接变频器的控制信号输入端

2. 智能仪表的参数设置如下表

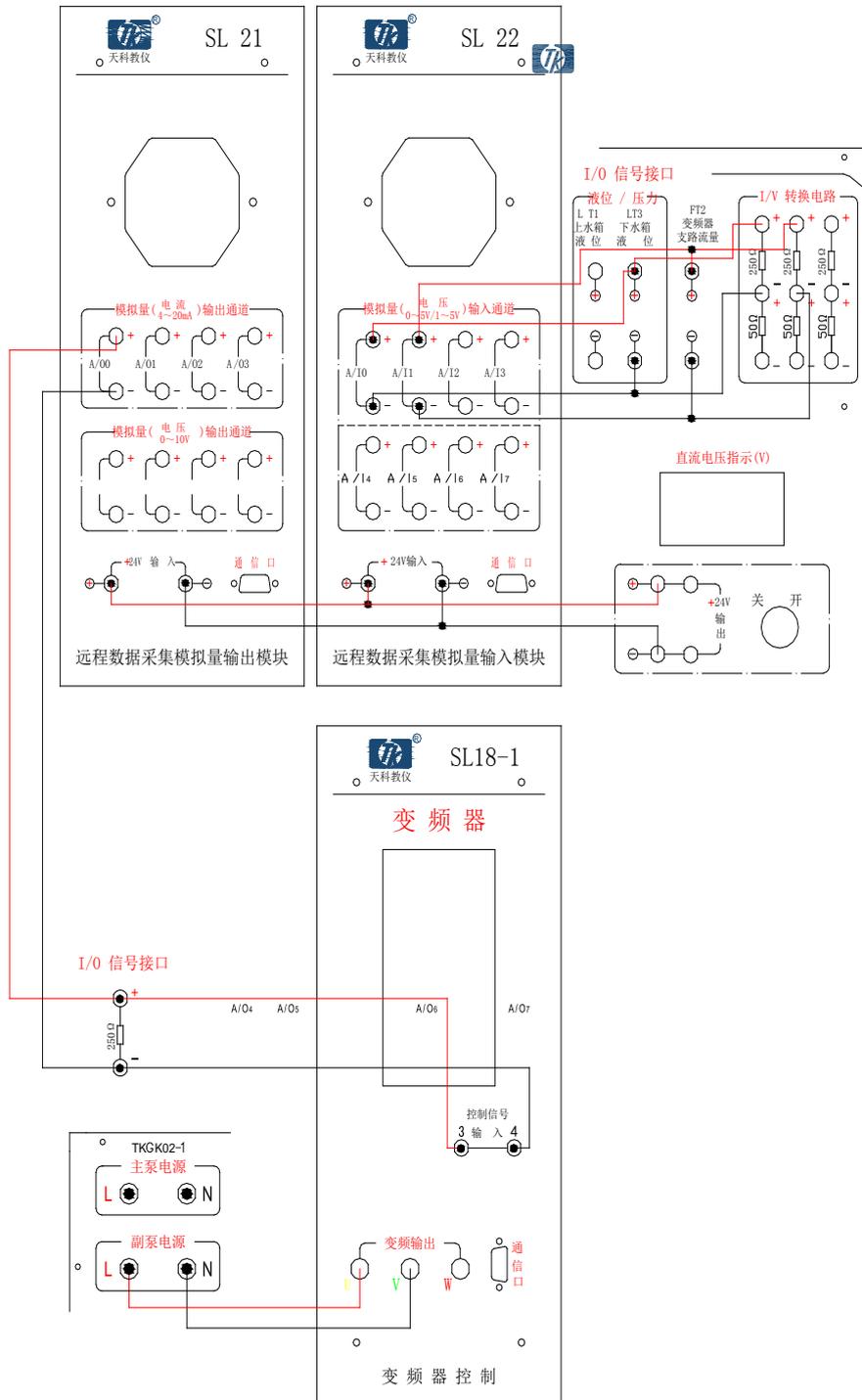
智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限	dIH	1.2	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

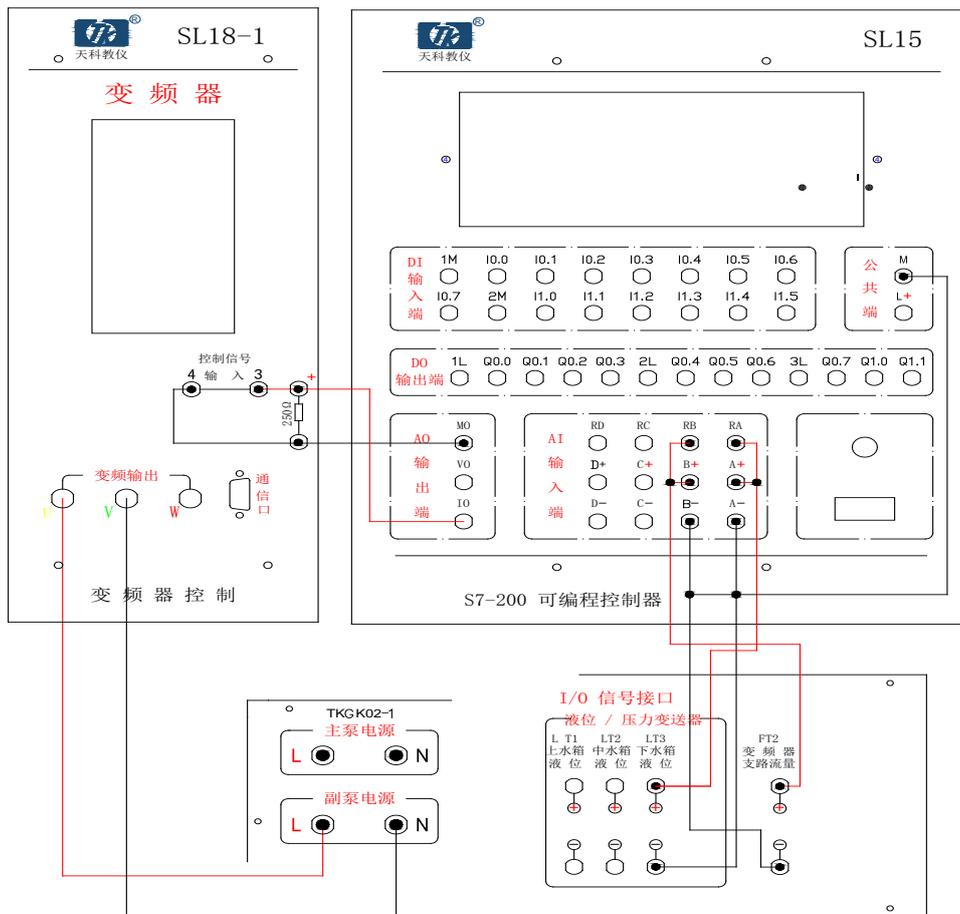
#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



# 第五节 锅炉夹套水温与锅炉内胆水温的串级控制系统

## 一、实验目的

1. 熟悉温度串级控制系统的结构与组成。
2. 掌握温度串级控制系统的投运与参数的整定方法。
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

## 二、实验设备

1. TKJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

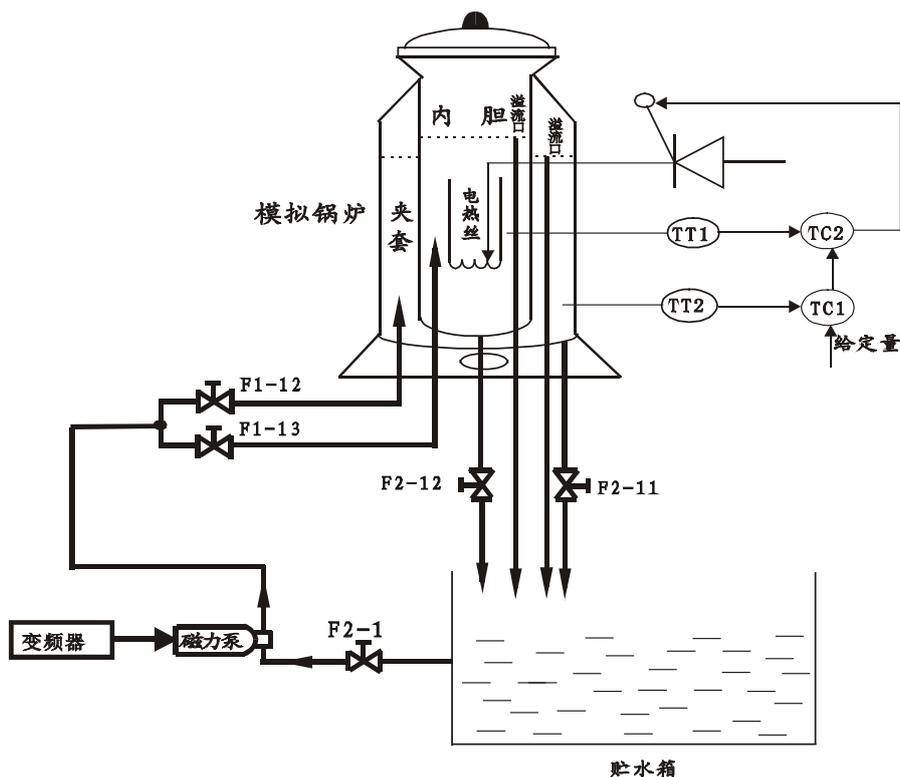


图 4-9 温度串级控制系统结构示意图

本实验系统的主控对象为锅炉的夹套，其水温  $T$  为系统的主控制量；副控对象为锅炉的内胆，其温度为辅助的控制变量。系统的执行元件为三相可控硅调压器，由它供电给内胆的电热丝加温。内胆中的水温通过内胆壁影响夹套的水温。系统控制的目的是使锅炉夹套的水温等于给定值所要求的量，又使作用于副回路的主要扰动对系统的主控制量不产生明显的影响，即系统具有很强的抗扰能力。图 4-9 为实验系统的结构示意图，图 4-10 为该控制系统的方框图。

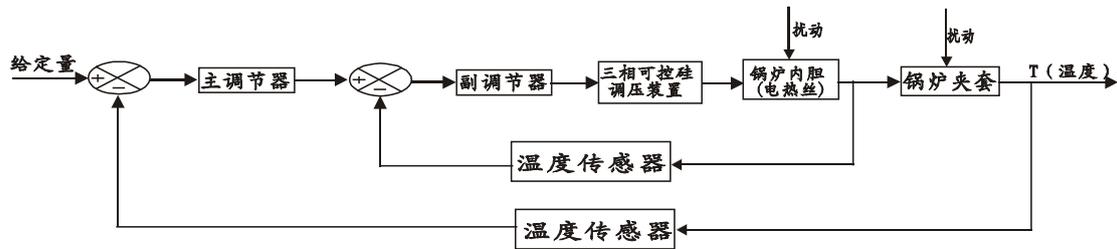


图 4-10 温度串级控制系统方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-9 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、打开阀 F2-1、F2-12、F2-13，给锅炉夹套与内胆均打满水，然后关闭 F2-12，待实验投入运行时，变频器再以固定频率给内胆打入小流量的循环水。
- 4、按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
- 5、调节主调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ ，按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。
- 6、手动操作主调节器的输出，控制三相可控调压器输出电压的大小以改变内胆水温和夹套水温，并开通变频器支路恒定给锅炉内胆加适量的冷却水，待夹套的水温趋于给定值后，且内胆与夹套水温相对稳定不变时，把主调节器切换为自动。
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
  - a) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定值增加 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
  - b) 适量增/减变频器的手动输出，观察并记录阶跃扰动作用于副对象时，系统被控制量的响应过程。
- 8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告内容

- 1、画出本实验系统的方框图
- 2、按 4: 1 衰减曲线法，求得主调节器的参数，并把最终调试的值一并列表表示。
- 3、把主调节器的参数分别在计算值和调试整定值两种情况下，求得系统的性能指标列表表示。

#### 六、思考题

- 1、三相电网电压的波动对主控制量是否有影响？
- 2、副调节器如果设计为 PI，试分析对系统的性能有什么影响？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

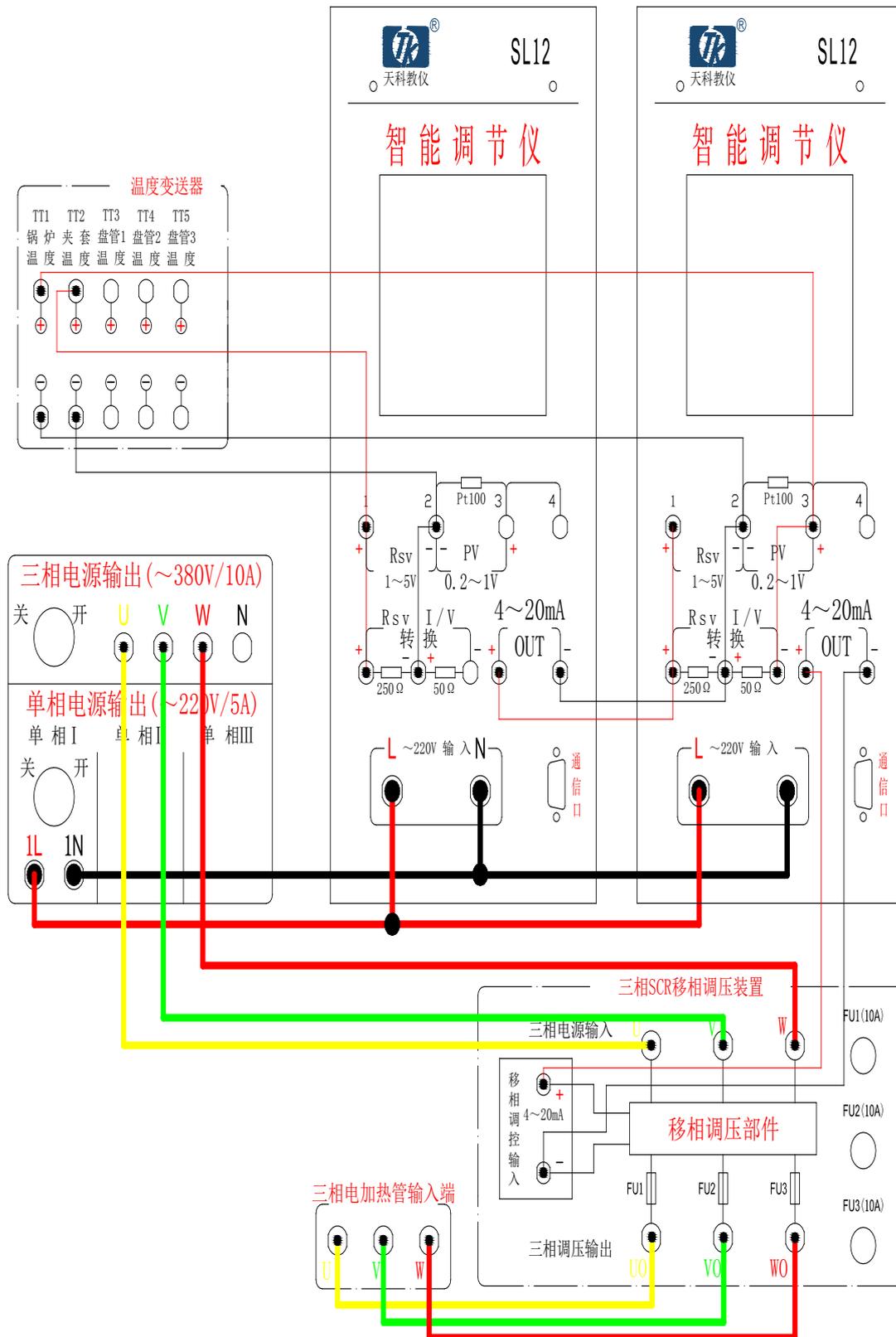
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接夹套温度变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1-连接锅炉温度输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）；仪表二输出端 A01+、A01-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接夹套温度变送器输出端，输入端 AI1+、AI1-连接锅炉温度输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	7017 模块输入端 AI0+、AI0-连接夹套温度变送器输出端，AI1+、AI1-连接锅炉温度输出端	7024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表

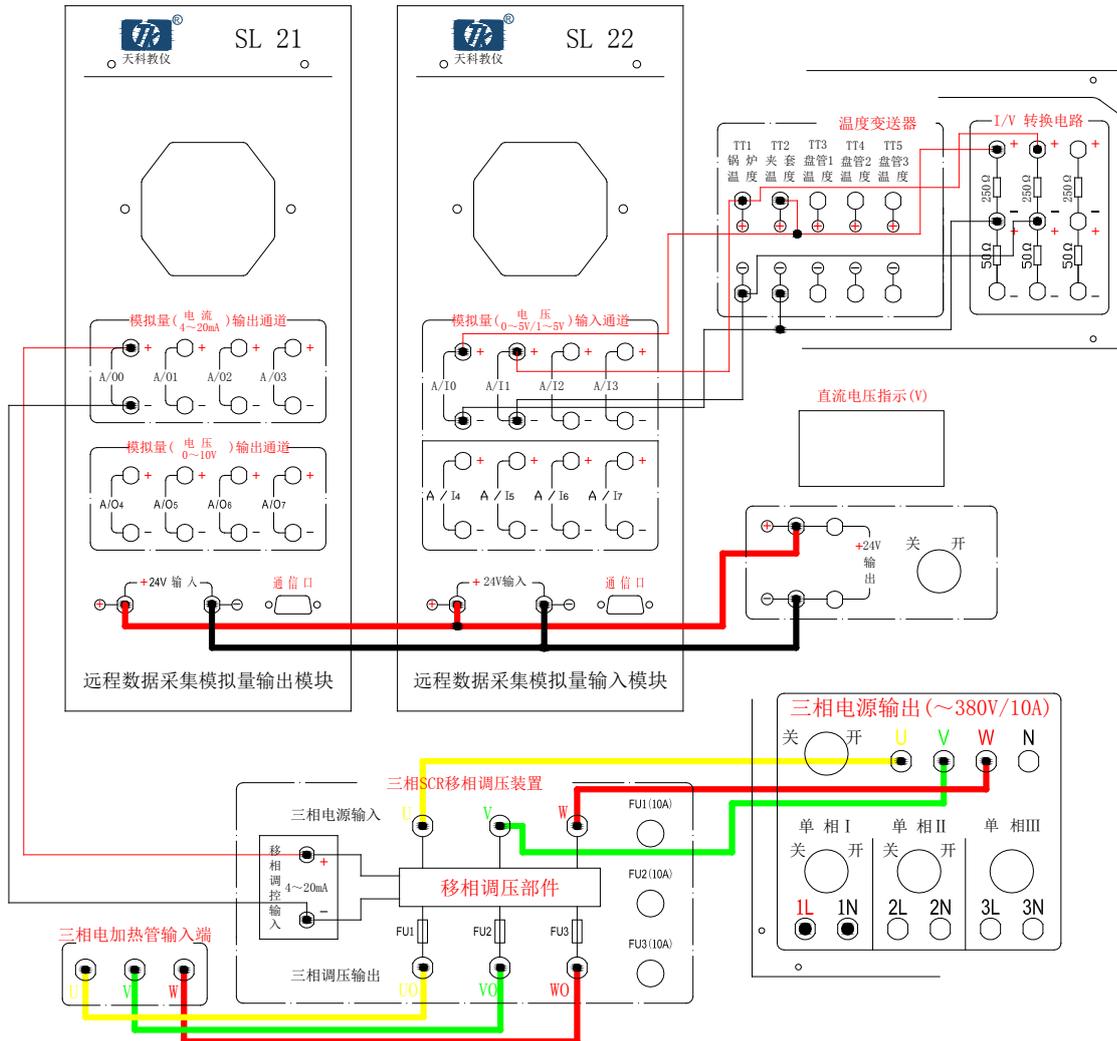
智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

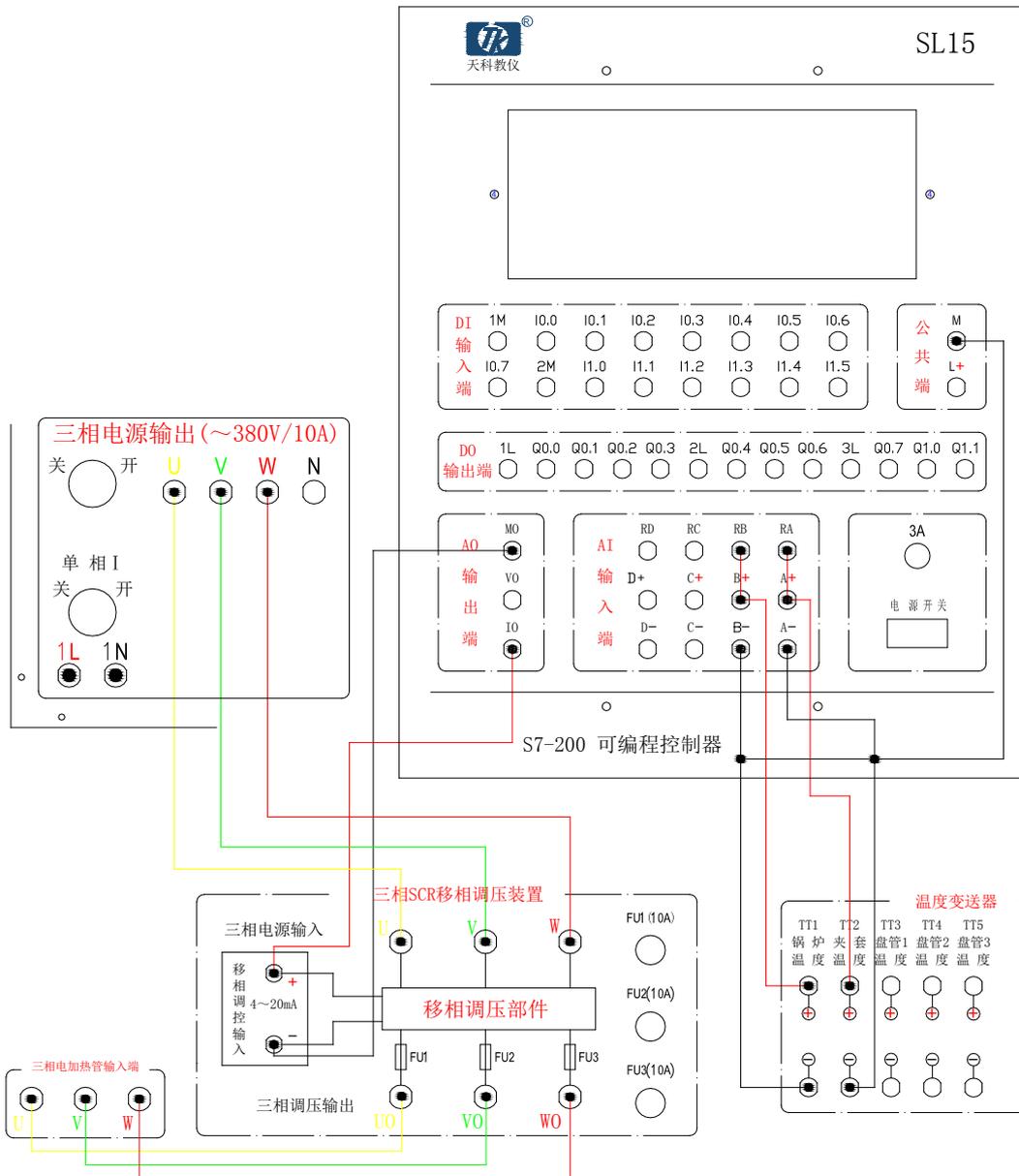
#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



# 第六节 锅炉内胆水温与内胆循环水流量的串级控制系统

## 一、实验目的

1. 熟悉温度-流量串级控制系统的结构与组成。
2. 掌握温度-流量串级控制系统的投运与参数的整定方法。
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

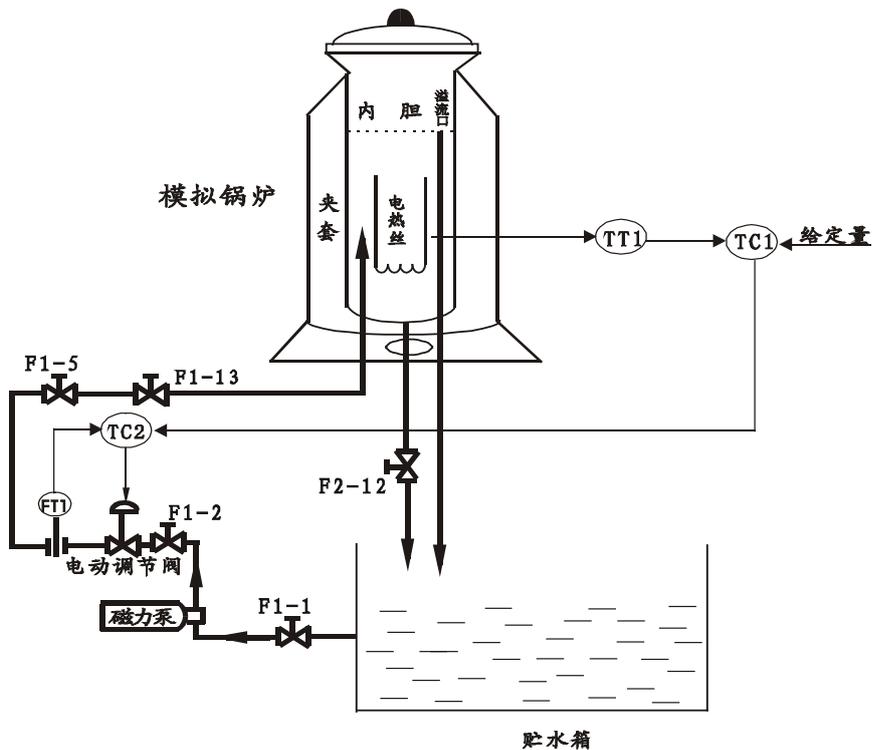


图 4-11 温度-流量串级控制系统结构示意图

本实验系统的主控对象为锅炉的内胆，内胆中水温  $T$  为系统的主控制量；副控对象为管道，其流量  $Q$  为辅助变量。内胆内的电热丝持续恒压加热，执行元件为电动调节阀，它控制管道中流过的冷水的流量大小，以改变内胆中的水温。

同前面的串级控制系统一样，系统控制的目的既使锅炉内胆的水温等于给定值，又使主、副回路分别对一次和二次扰动具有很强的抗扰能力。图 4-11 为实验系统的结构示意图，图 4-12 为该控制系统的方框图。

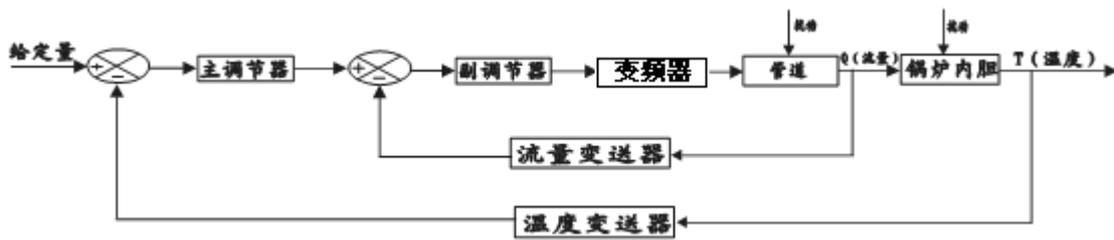


图 4-12 温度-流量串级控制系统方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-11 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、按经验数据预先设置好副调节器的比例度。
- 4、打开阀 F1-1、F1-2 、F1-5、F1-13 先给锅炉内胆打满水，然后将实验投入运行。
- 5、调节主调节器的比例度，使系统的输出响应呈 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ 。按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。
- 6、手操作主调节器的输出，控制电动调节阀的开度来改变流入内胆水的流量  $Q$  的大小，当内胆中水的打满后，内胆中的电热丝开始加热，当内胆的水温趋于给定值并稳定不变时，把主调节器由手动切换为自动，
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件，并进行如下的实验：
  - 1) 当系统稳定运行后，给温度设定值加一个适当阶跃扰动，观察并记录系统的输出响应曲线。
- 8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告内容

- 1、画出本实验系统的方框图
- 2、按 4: 1 衰减曲线法，求得主调节器的参数，并把最终调试后所得的参数一并列表表示。
- 3、在不同调节器参数下，对系统的性能作出分析比较。
- 4、画出扰动分别作用于主、副对象时的输出响应曲线，并对系统的抗扰性作一评述。

#### 六、思考题

- 1、本实验中用了温度传感器和流量传感器，对它们精度的要求有什么不同？
- 2、如果副回路中的反馈通道开路，系统能否正常运行？如果副回路的反馈通道不开路，而主回路的反馈通道出现开路，试问此时系统将会出现什么现象？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

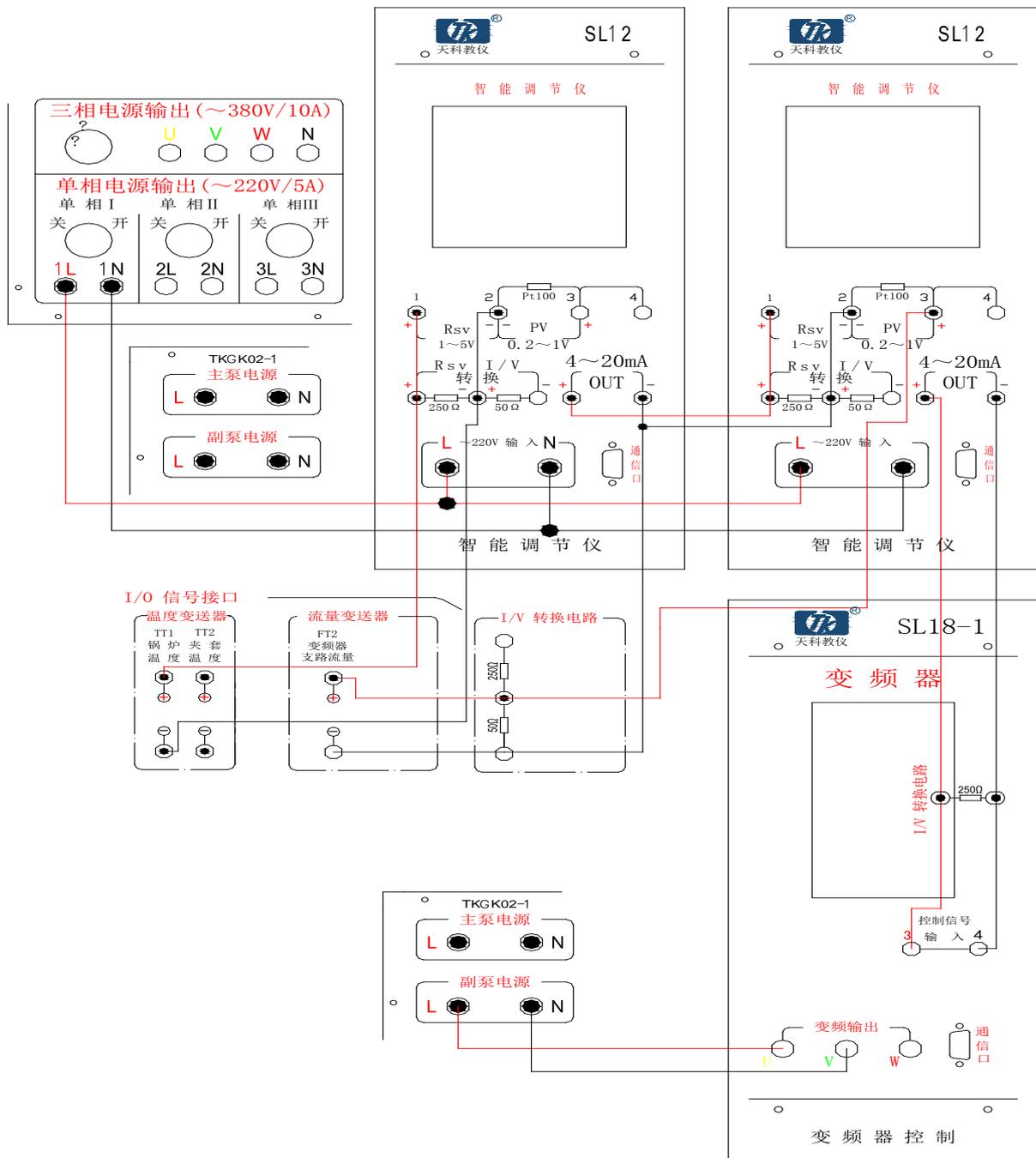
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接锅炉温度变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1-连接管道流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）；仪表二输出端 A01+、A01- 连接变频器的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接锅炉温度变送器输出端，输入端 AI1+、AI1-连接管道流量输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接变频器的控制信号输入正负端子
DDC 模块	7017 模块输入端 AI0+、AI0-连接锅炉温度变送器输出端，AI1+、AI1-连接管道流量输出端	7024 模块输出端 A00+、A00-连接变频器的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表

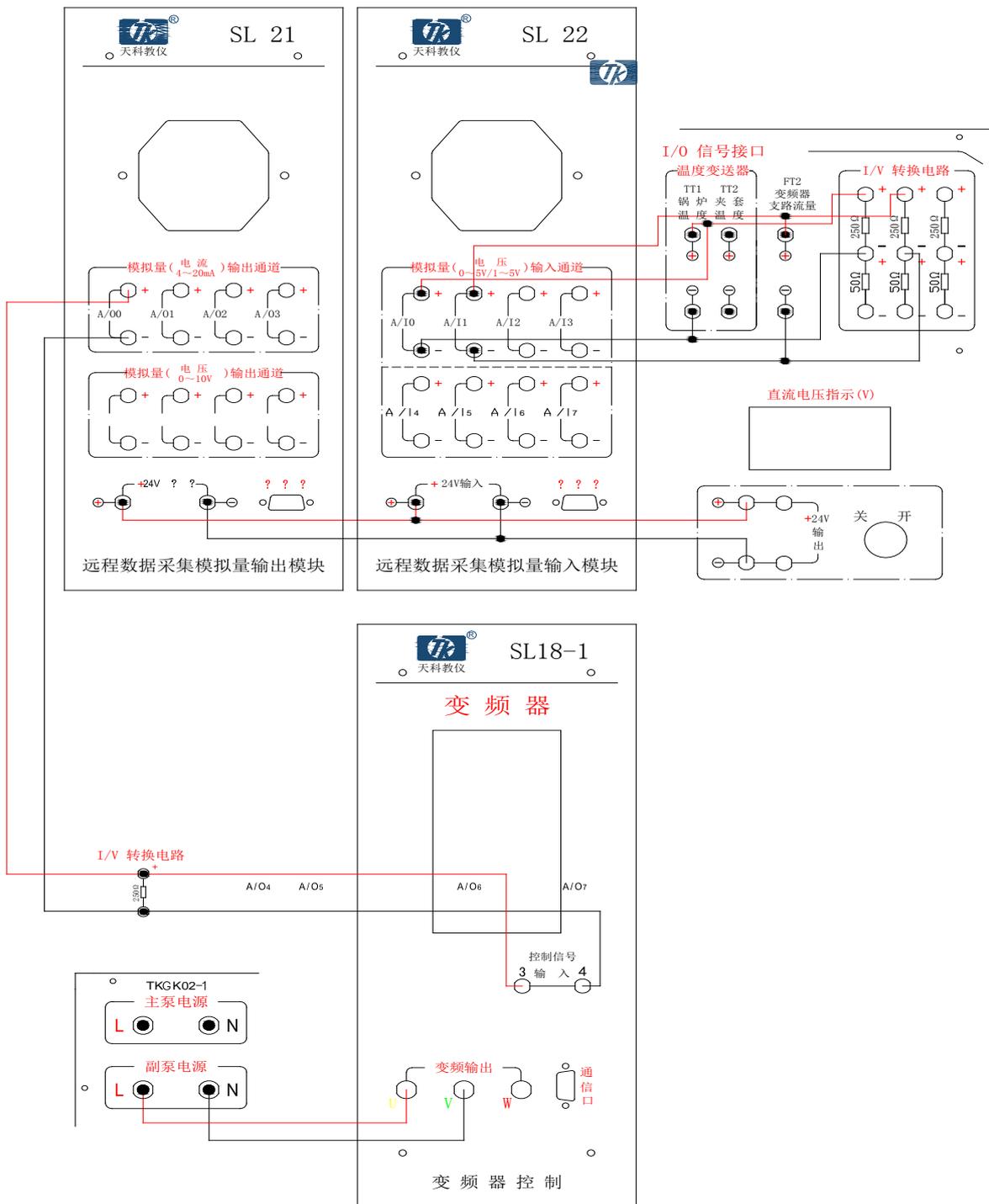
智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	1.2	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

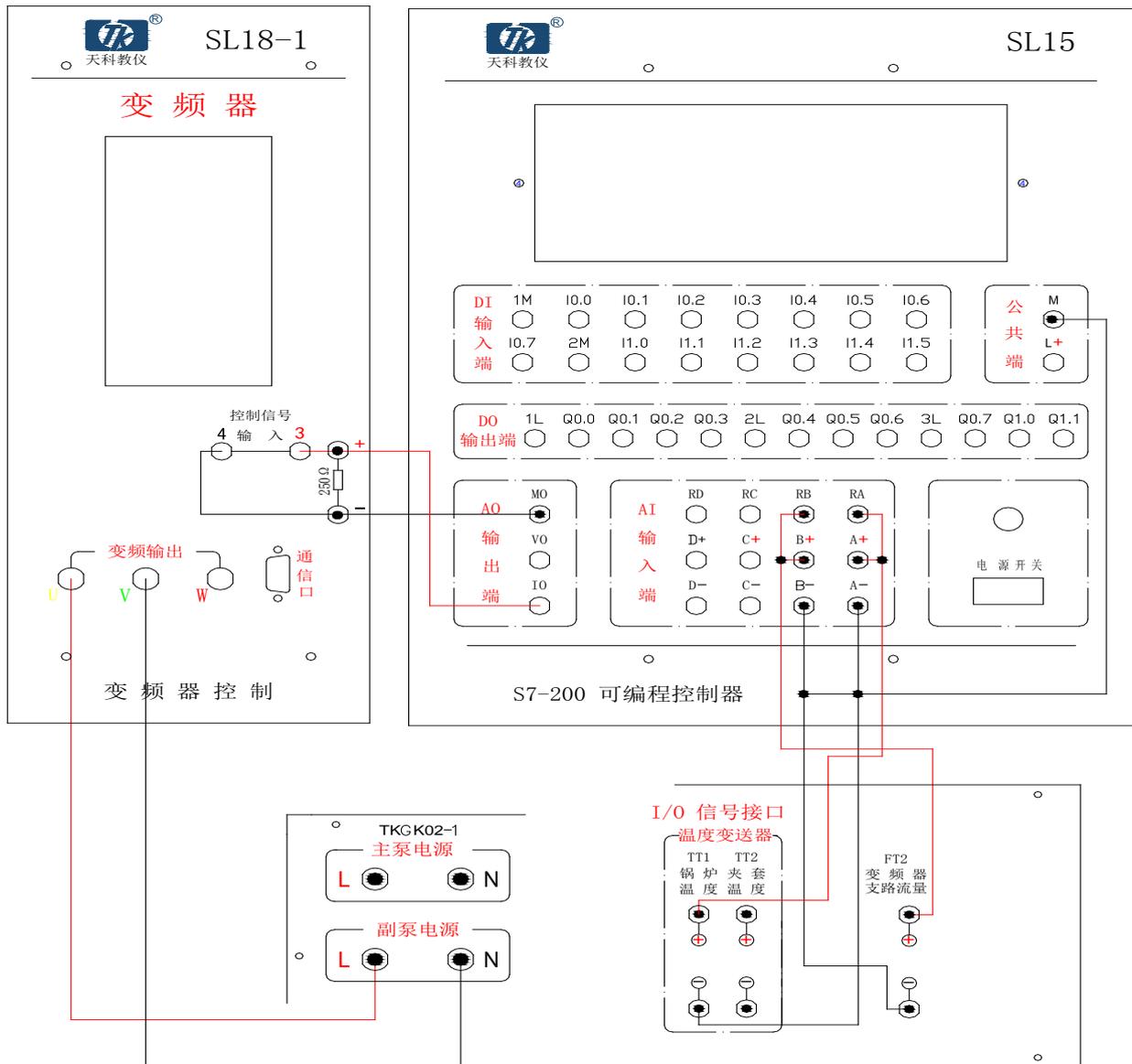
#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



# 第七节 盘管出水口水温与热水流量的串级控制系统

## 一、实验目的

1. 熟悉温度-流量串级控制系统的结构与组成。
2. 掌握温度-流量串级控制系统的投运与参数的整定方法。
3. 分析阶跃扰动分别作用于副对象和主对象对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

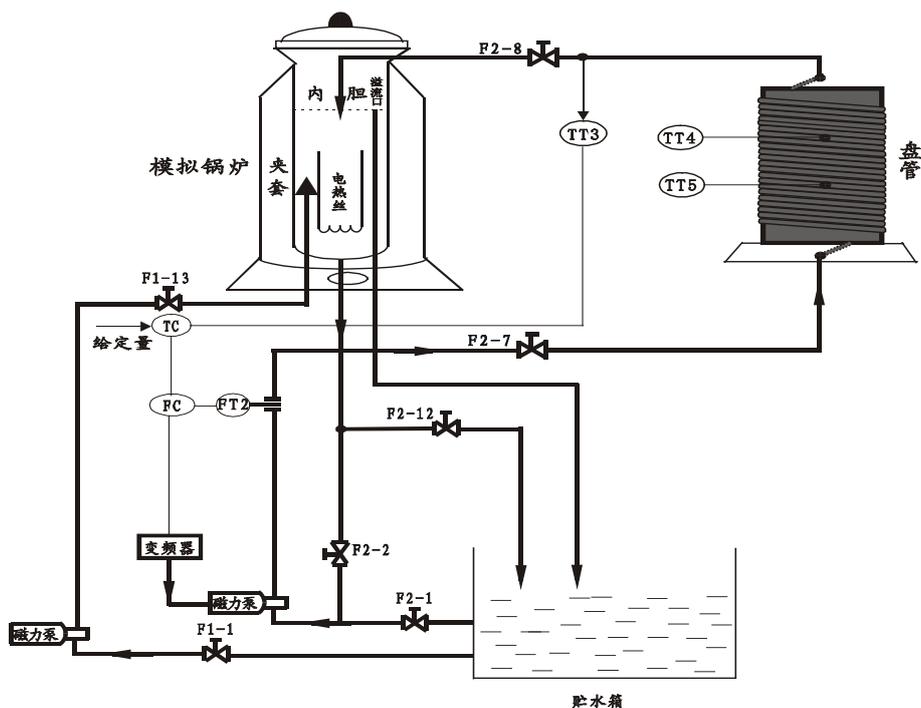


图 4-13 盘管出水口水温与热水流量串级控制系统结构图

本实验系统的主控对象为盘管，它的出水口水温  $T$  为系统的主控制量，副控对象为管道，其中流量  $Q$  作为系统的辅助控制变量。锅炉内胆中的电热丝持续恒压加热，系统的执行元件为变频器-磁力泵。它控制管道中热水的流量  $Q$ ，以控制盘管出水口水温。

同其它的串级控制系统一样，系统控制的目的是要使盘管出水口水温等于给定值，又要使主、副回路分别对一次和二次扰动具有较强的抗扰能力。图 4-13 为实验系统的结构图，图 4-14 为该控制系统的方框图。

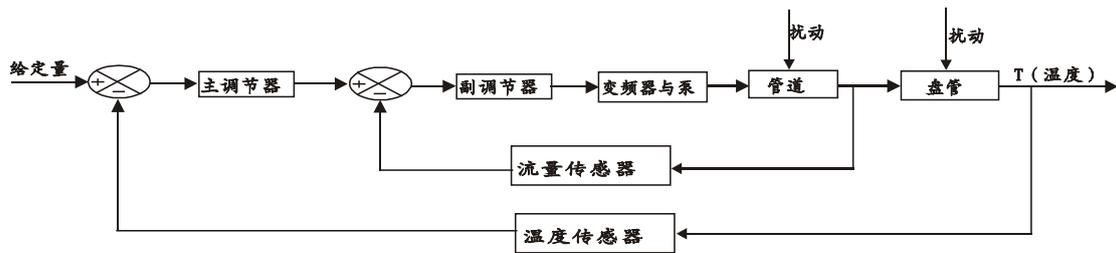


图 4-14 盘管出水口水温与热水流量串级控制系统方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-13 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、按经验数据预先设置好副调节器的比例度  $\delta$  值。
- 4、先开启阀 F1-1 和 F1-13，手动操作电动调节阀，通过磁力泵向锅炉内胆打水，待水打满后，关闭所有的阀。然后给锅炉内胆的水加热，待锅炉水温达到一定值（一般大于盘管给定值  $20^{\circ}\text{C}$  左右）后，开启 F2-2，F2-7 和 F2-8，关闭阀 F2-1 和 F2-12。
- 5、用手动操作主调节器的输出，以控制执行元件变频器磁力泵，以改变流入盘管中热水的流量  $Q$ ，待盘管出水口水温上升到给定值，且流量  $Q$  和水温  $T$  基本不变时，把主调节器切换为自动（把调节器设置为纯比例控制）。
- 6、调节主调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ ，按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件并进入本实验系统，进行如下的实验：
  - a) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定值增/减 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
  - b) 适量关小阀 F2-7，观察并记录阶跃扰动作用于副对象时，系统被控制量的响应过程。
  - c) 待系统稳定后，适量关小阀 F2-8，观察并记录阶跃扰动作用于主对象时对系统被控制量的影响。
- 8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告内容

- 1、根据图（1）所示的结构图，画出本实验系统的方框图。
- 2、按 4: 1 衰减度，由查表求得调节器的参数，并把最终调试所得参数填入下表中。

数据	实验数据		由查表求得的参数		最终整定的参数	
	$\delta_s$	$T_s$	$\delta\%$	$T_I/\text{min}$	$\delta\%$	$T_I/\text{min}$
主调节器						
副调节器						

- 3、在不同调节器参数下，比较系统的性能。

性能指标	超调量	调整时间	稳态误差
	$\sigma\%$	$T_s/S$	$e_{ss}$
主调节器			

- 4、画出扰动作用于主、副对象时系统的输出响应曲线，并分析之。

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

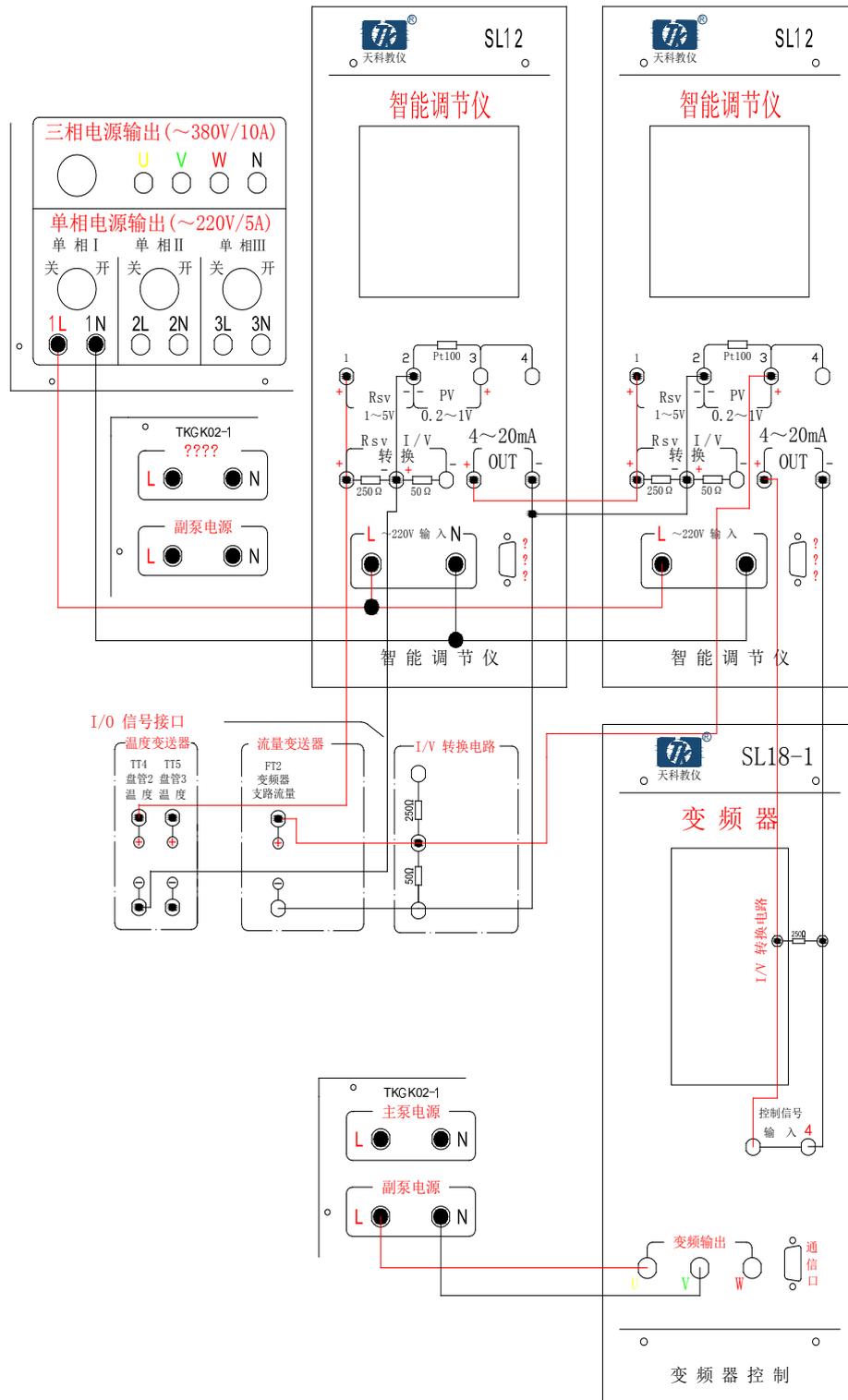
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接盘管 2 温度变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1-连接变频器支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）；仪表二输出端 A01+、A01- 连接变频器的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	1.2	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



# 第八节 盘管出水口水温与锅炉内胆水温的串级控制系统

## 一、实验目的

1. 熟悉温度串级控制系统的结构与组成。
2. 掌握温度串级控制系统调节器参数的整定与系统投运。
3. 研究阶跃扰动分别作用于副对象和主对象时对系统主控制量的影响。
4. 主、副调节器参数的改变对系统性能的影响。

## 二、实验设备

1. TkJ-2 型高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

## 三、实验原理

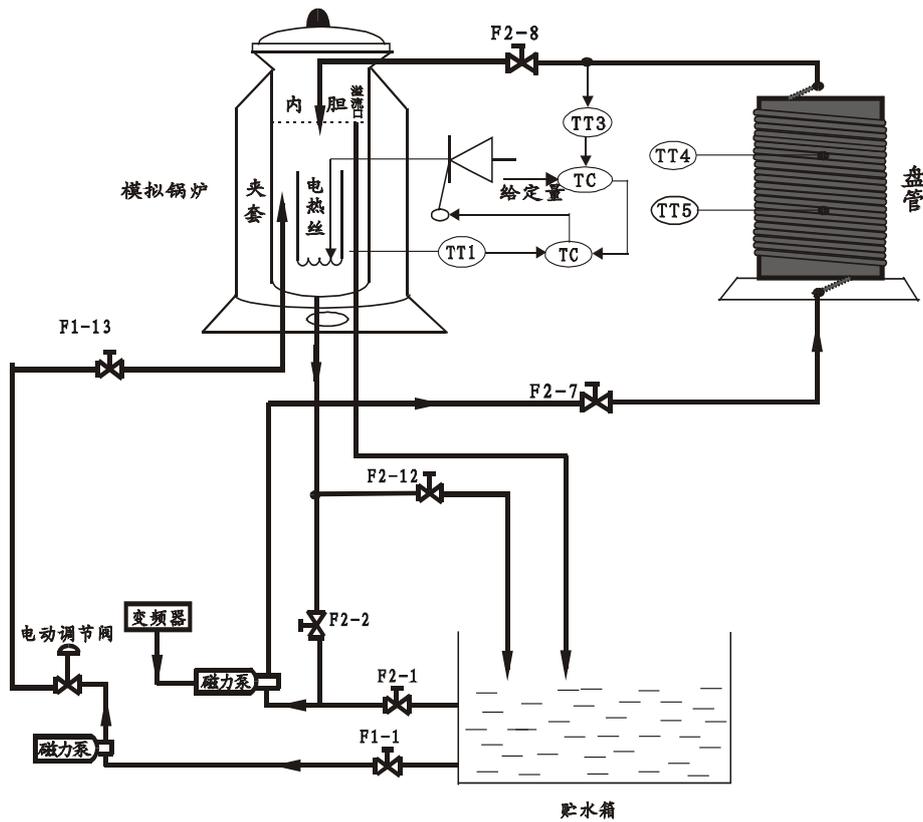


图 4-15 盘管出口水温与内胆水温串级控制系统结构示意图

本实验系统的主控对象为盘管，它的出水口水温为系统的主控制量，锅炉内胆中的电热丝为副控对象，由变频器恒速向盘管输送的热水的温度作为系统的辅助控制变量。

基于本系统中主、副对象的时间常数匹配并不符合串级控制系统的要求，因而这个系统虽然能对盘管出水口水温进行恒值控制，但当副回路中出现有干扰时，虽经副回路的调节，但并不能及时消除扰动对主控制量的影响。通过这个实验，使学生能深刻地认识到串级系统中主、副对象的时间常数合理匹配的重要性。不然，就难于发挥串级系统抗扰动的优越性。图 4-15 为实验系统的结构示意图，图 4-16 为该控制系统的方框图

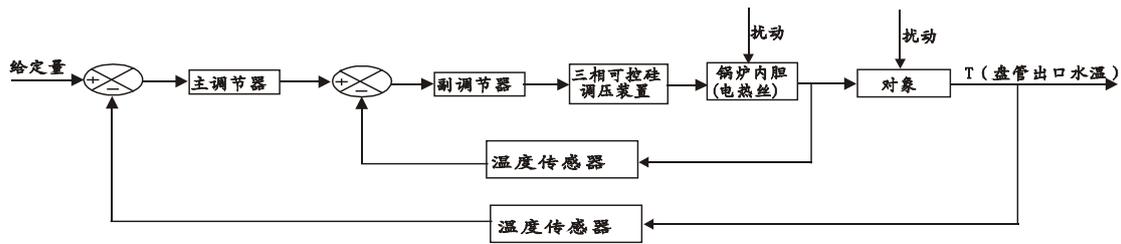


图 4-16 盘管出口水温与内胆水温串级控制系统方框图

#### 四、实验内容与实验步骤

- 1、按图 4-15 要求，完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、开启 阀 F1-1 和 F1-13，手动 操作电动调节阀，使磁力泵向锅炉内胆打水，待水打满后，关闭阀 F1-13；关闭阀 F2-1 和 F2-12，开启阀 F2-2、F2-7 和 F2-8。
- 4、按经验数据预先设置好副调节器的比例度  $\delta$  值。
- 5、调节主调节器的比例度，使系统的输出响应出现 4: 1 的衰减度，记下此时的比例度  $\delta_s$  和周期  $T_s$ ，按查表所得的 PI 参数对主调节器的参数进行整定。
- 6、用手动操作主调节器的输出，以控制锅炉内胆电热丝的端电压大小，达到控制盘管出水口水温的目的。待盘管出水口水温趋于给定值，且内胆水温相对稳定不变时，把主调节器切换为自动。
- 7、打开计算机，运行 MCGS 组态软件并进入本实验系统，进行如下的实验：
  - a) 当系统稳定运行后，突加阶跃扰动（将给定值增/减 5%~15%），观察并记录系统的输出响应曲线。
  - b) 适量打开阀 F1-13，观察并记录阶跃扰动作用于副对象时，系统被控制量的响应过程。
  - c) 待系统稳定后，适量关小阀 F2-7，观察并记录阶跃扰动作用于主对象时对系统被控制量的影响。
- 8、通过反复对主、副调节器参数的调节，使系统具有较满意的动、静态性能。用计算机记录此时系统的动态响应曲线。

#### 五、实验报告内容

- 1、根据图（1）所示的结构图，画出本实验系统的方框图。
- 2、按 4: 1 衰减度，由查表求得调节器的参数，并把最终调试所得参数填入下表中。

数 据	实验数据		由查表求得的参数		最终整定的参数	
	$\delta_s$	$T_s$	$\delta \%$	$T_I/\text{min}$	$\delta \%$	$T_I/\text{min}$
主调节器						
副调节器						

- 3、在不同调节器参数下，比较系统的性能。

性能指标	超调量	调整时间	稳态误差
	$\sigma \%$	$T_s/S$	$e_{ss}$
主调节器			

- 4、画出扰动作用于主、副对象时系统的输出响应曲线，并分析之。

#### 六、思考题

本实验中若出现作用在副回路中的二次扰动使系统的主控制量有较大的影响，试分析这是由什么原因引起？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

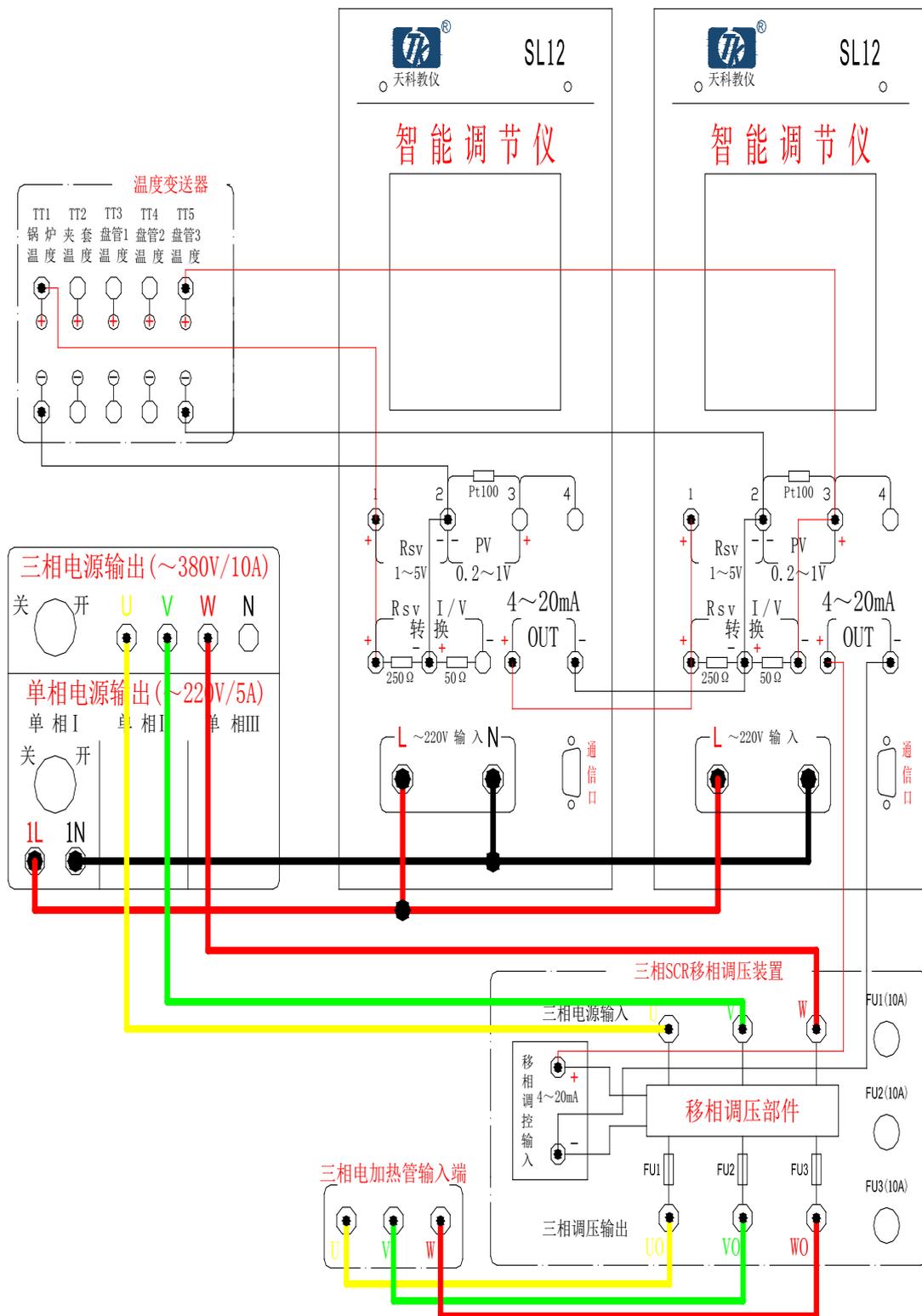
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接盘管温度变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1-连接锅炉内胆输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）；仪表二输出端 A01+、A01- 连接三相移相调压模块的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



# 第五章 比值控制系统实验

## 第一节 单闭环流量比值控制系统

### 一、实验目的

- (1) 了解单闭环比值控制系统的原理与结构组成。
- (2) 掌握比值系数的计算。
- (3) 掌握比值控制系统的参数整定与投运。

### 二、实验设备

- (1) TkJ-2 型高级过程控制实验装置
- (2) 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
- (3) 万用表 1 只

### 三、系统结构框图

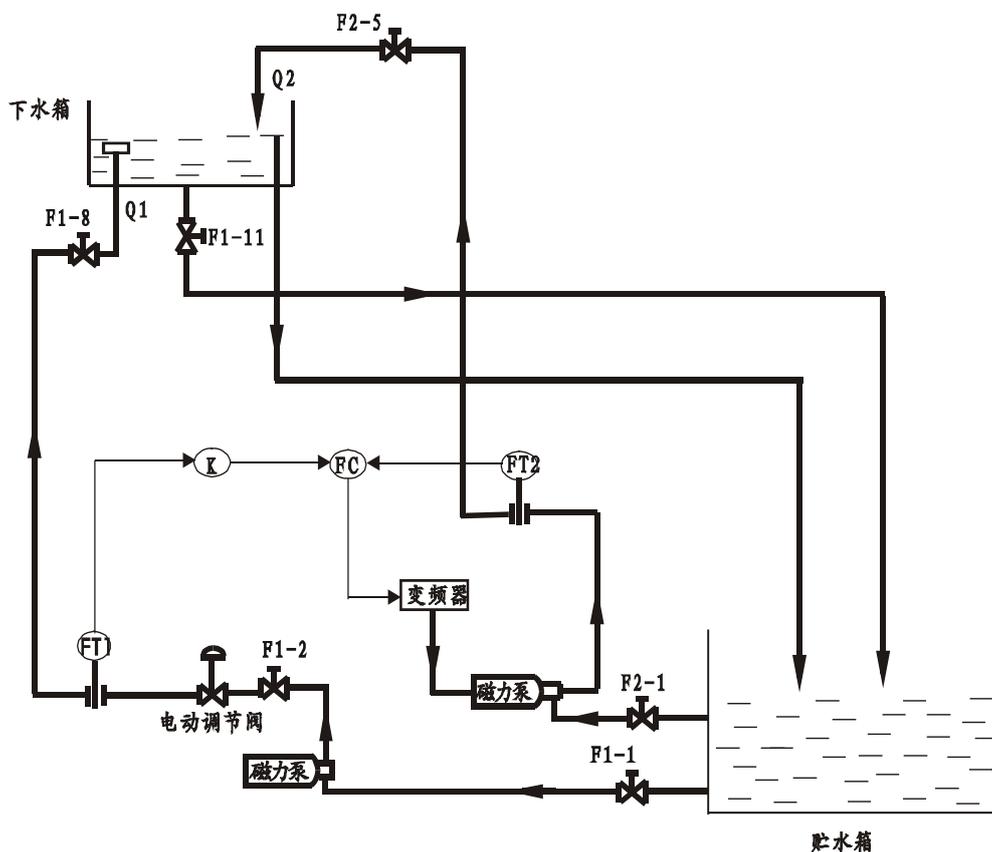


图 5-1 单闭环流量比值控制系统结构图

### 四、实验原理

在工业生产过程中, 往往需要几种物料以一定的比例混合参加化学反应。如果比例失调, 则会导致产品质量的降低、原料的浪费, 严重时还发生事故。例如在造纸工业生产过程中, 为了保证纸浆的浓度, 必须自动地控制纸浆量和水量按一定的比例混合。这种用来实现两个或两个以上参数之间保持一定比值关系的过程控制系统, 均称为比值控制系统。

本实验是流量比值控制系统。其实验系统结构图如图 5-1 所示。该系统中有两条支路, 一路是来自于电动阀支路的流量  $Q_1$ , 它是一个主动量; 另一路是来自于变频器—磁力泵支路的流量  $Q_2$ , 它是系统的从动

量。要求从动量  $Q_2$  能跟随主动量  $Q_1$  的变化而变化，而且两者间保持一个定值的比例关系，即  $Q_2/Q_1=K$ 。

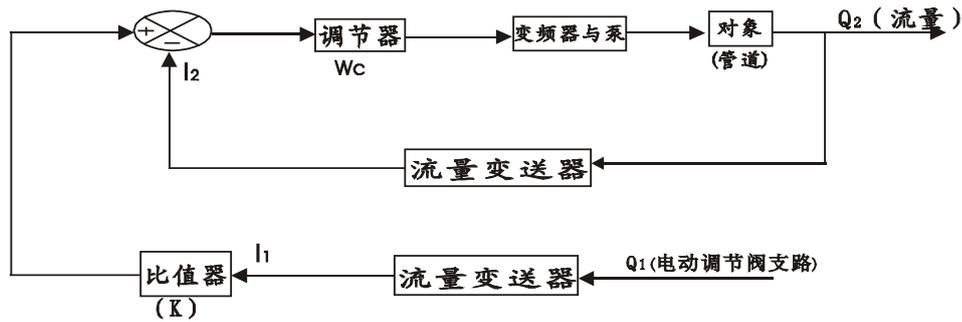


图 5-2 单闭环流量比值控制系统方框图

图 5-2 为单闭环流量比值控制系统的方框图。由图可知，主控流量  $Q_1$  经流量变送器后为  $I_1$ （实际中已转化为电压值，若用电压值除以  $250\ \Omega$  则为电流值，其它算法一样），如设比值器的比值为  $K$ ，则流量单闭环系统的给定量为  $KI_1$ 。如果系统采用 PI 调节器，则在稳态时，从动流量  $Q_2$  经变送器的输出为  $I_2$ ，不难看出， $KI_1=I_2$ 。

### 五、比值系数的计算

设流量变送器的输出电流与输入流量间成线性关系，当流量  $Q$  由  $0 \rightarrow Q_{\max}$  变化时，相应变送器的输出电流为  $4 \rightarrow 20\text{mA}$ 。由此可知，任一瞬时主动流量  $Q_1$  和从动流量  $Q_2$  所对应变送器的输出电流分别为

$$I_1 = \frac{Q_1}{Q_{1\max}} \times 16 + 4 \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{Q_2}{Q_{2\max}} \times 16 + 4 \quad (2)$$

式中  $Q_{1\max}$  和  $Q_{2\max}$  分别为  $Q_1$  和  $Q_2$  最大流量值。

设工艺要求  $Q_2/Q_1=K$ ，则式（1）可改写为

$$Q_1 = \frac{(I_1 - 4)}{16} Q_{1\max} \quad (3)$$

同理式（2）也可改写为

$$Q_2 = \frac{(I_2 - 4)}{16} Q_{2\max} \quad (4)$$

于是求得

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{I_2 - 4}{I_1 - 4} \frac{Q_{2\max}}{Q_{1\max}} \quad (5)$$

折算成仪表的比值系数  $K'$  为：

$$K' = K \frac{Q_{1\max}}{Q_{2\max}} \quad (6)$$

### 六、实验内容与步骤

1、按图 5-1 所示的实验结构图组成一个为图 5-2 所要求的单闭环流量比值控制系统。

2、确定  $Q_2$  与  $Q_1$  的比值  $K$ ，并测定  $Q_{1\max}$  和  $Q_{2\max}$ ，按式（6）计算比值器的比例系数  $K'$ （实验中可把电压转化为电流再计算）。

3、完成实验系统的接线，并把图 5-1 所示中的阀 F1-1、F1-2、F1-8 和 F2-1、F2-5 打开（若两套动力

支路的流量太大,还可把通向锅炉的进水阀打开)。

4、经确认所有连接线无误后,接通总电源和相关仪表的电源。

5、另选一只调节器设置为手动输出,并设定在某一数值,以控制电动调节阀支路的流量  $Q_1$ 。

6、PI 调节器  $W_c$  的参数整定,按单回路的整定方法进行。实验时将控制变频器支路流量的调节器(CF=8,即外部给定)先设置为手动,待系统接近于给定值时再把手动切换为自动运行。

7、打开电脑中的 MCGS 组态工程进入相应的实验,记录下实验实时(历史)曲线及各项参数。

8、等系统的从动流量  $Q_2$  趋于不变时(系统进入稳态),适量改变主动流量  $Q_1$  的大小,然后观察并记录从动流量  $Q_2$  的变化过程。

9、改变比值器的比例系数  $K'$ ,观察从动流量  $Q_2$  的变化,并记录相应的动态曲线。

## 七、实验报告

1. 根据实验系统的结构图,画出它的方框图。

2. 根据实验要求,实测比值器的比值系数,并与设计值进行比较。

3. 列表表示主控量  $Q_1$  变化与从动量  $Q_2$  之间的关系。

## 八、思考题

1. 如果  $Q_1(t)$  是一斜坡信号,试问在这种情况下  $Q_1$  与  $Q_2$  还能保持原比值关系?

2. 试根据工程比值系数确定仪表比值系数?

## 实验附录

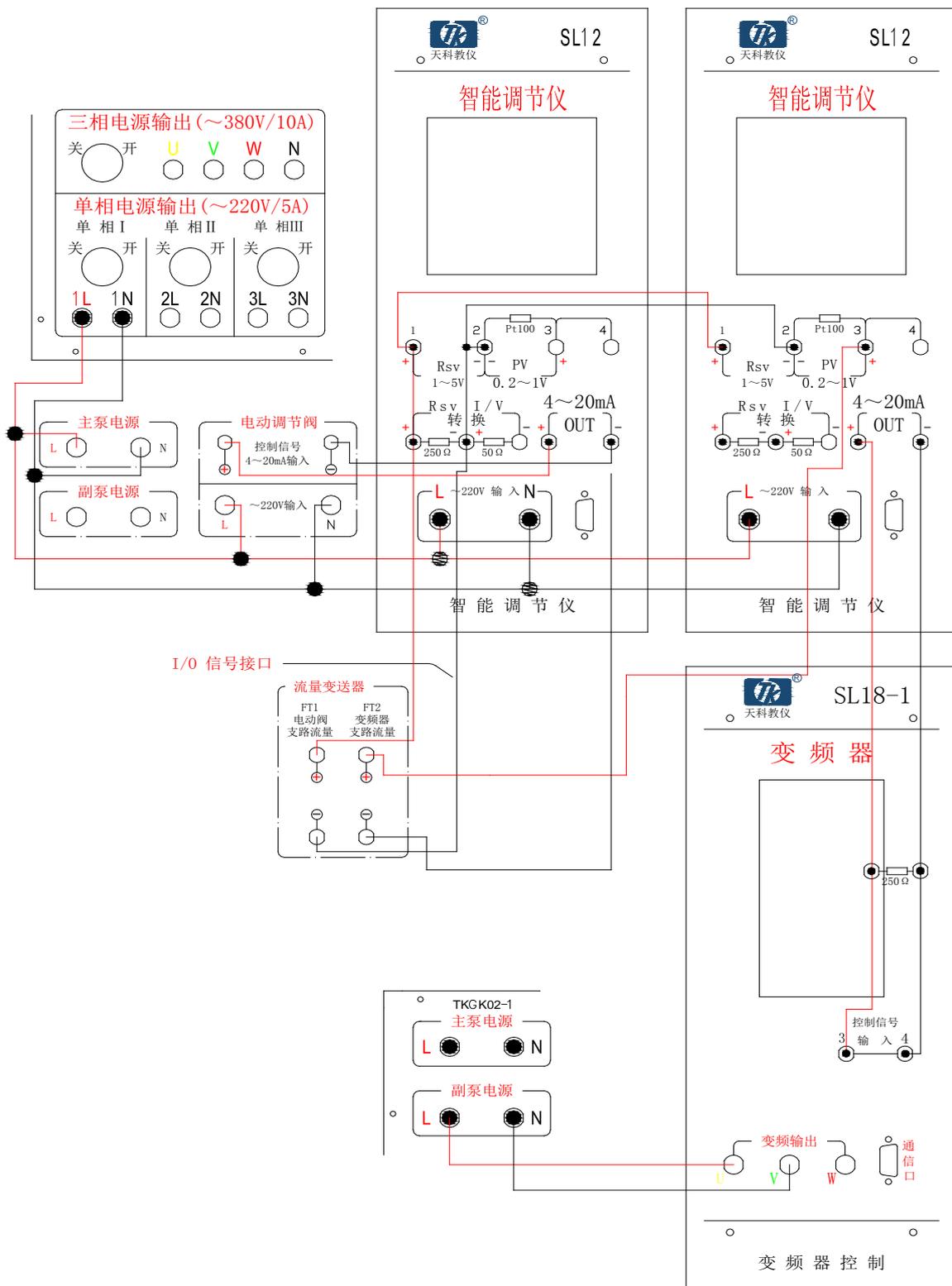
### 1. 接线方式请参考下表。

控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接电动调节阀支路流量计输出端，再连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）； 仪表二输入端 AI1+、AI1-连接变频器支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号； 仪表二输出端 A01+、A01- 连接变频器的控制信号输入正负端子

### 2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	2	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	1.20	输入上限	dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图



## 第二节 双闭环流量比值控制系统

### 一、实验目的

- (1) 通过实验，进一步了解双闭环比值控制系统的原理与组成。
- (2) 掌握双闭环比值控制的参数整定与投运方法。
- (3) 比较双闭环比值控制与单闭环比值控制有何不同。

### 二、实验设备

- (1) TkJ-2 型高级过程控制实验装置
- (2) 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根。
- (3) 万用表 1 只

### 三、系统结构框图

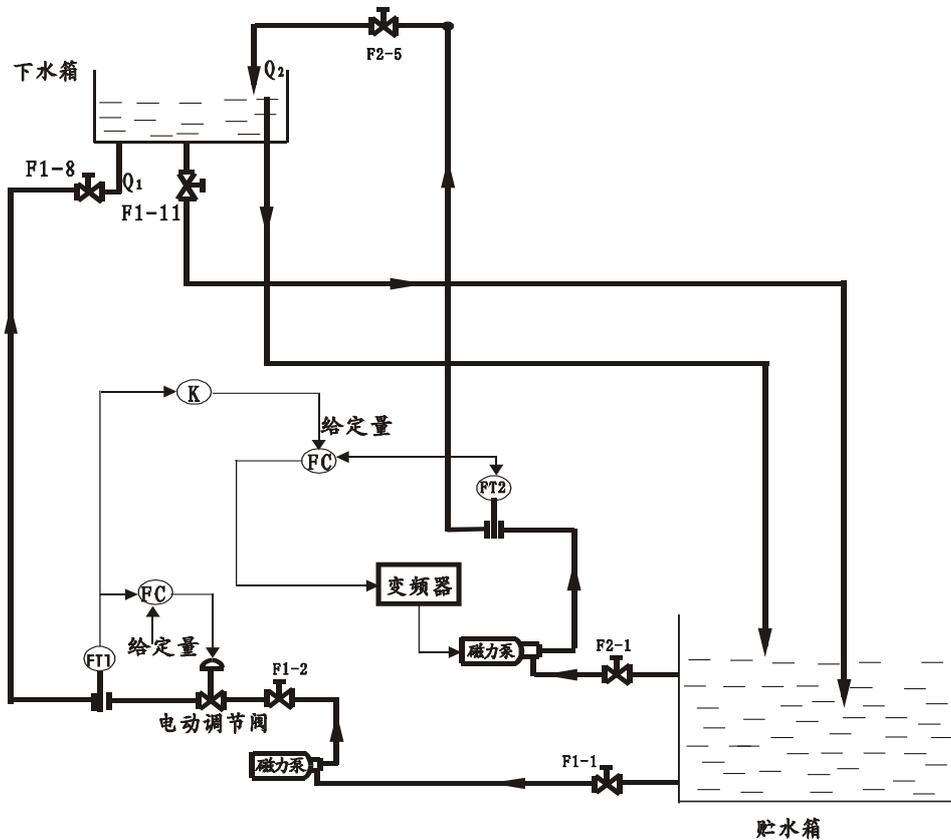


图 5-3 双闭环流量比值控制系统结构图

### 四、双闭环比值控制系统的原理

单闭环比值控制系统仅能实现从动量  $Q_2$  与主动量  $Q_1$  间的比值为一常量，但这种系统的不足之处是主控量的自发振荡不能消除，从而导致了从动量跟着主动量的波动而变化，使该系统控制后的总流量不是一个定值。这一点对于高要求的生产过程是不允许的。双闭环比值控制系统就是为了克服单闭环比值控制系统的上述缺点而产生的。

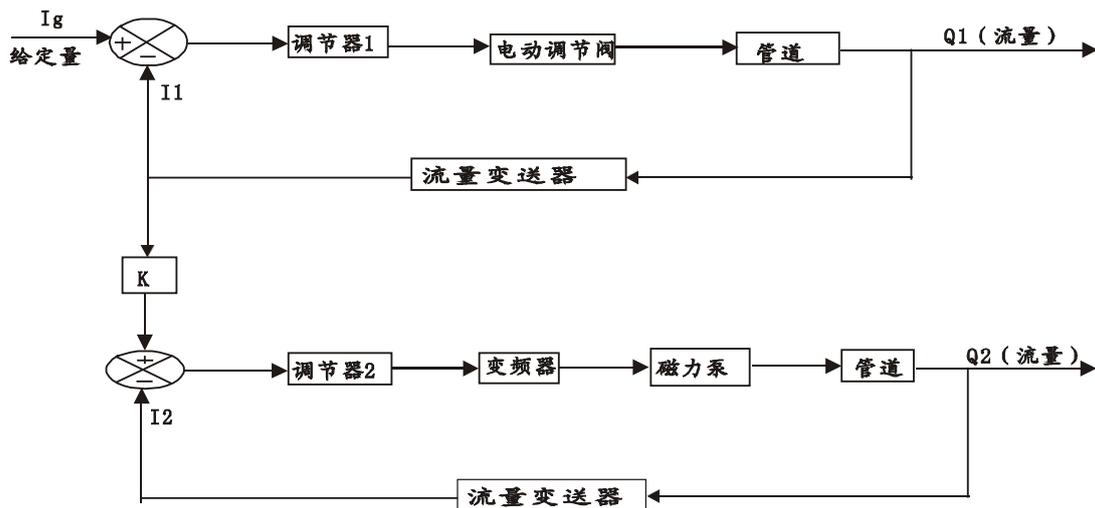


图 5-4 双闭环流量比值控制系统方框图

图 5-4 为该控制系统方框图。由图中可知，主动量  $Q_1$  和从动量  $Q_2$  都是由独立的闭环系统实现定值控制，且两者间通过比值器实现定比值的的关系。即主动量控制回路的输出  $Q_1$ ，经变送器转换为  $I_1$ ，它乘以比例系数  $K$  后，作为从动量  $Q_2$  控制回路的给定值  $KI_1$ 。如果两个回路中的调节器均采用 PI 或 PID，当系统在稳态时，则有  $I_2=KI_1$ 。

### 五、比值器的比例系数计算

请参照本章第一节中关于比值器的比例系数的计算部分。

### 六、实验内容与步骤

- 1、按图 5-3 所示的实验结构图组成一个为图 5-4 所要求的双闭环流量比值控制系统。
- 2、确定  $Q_2$  与  $Q_1$  的比值  $K$ ，并测定  $Q_{1max}$  和  $Q_{2max}$ ，按本章第一节式 (6) 计算比值器的比例系数  $K'$  (实验中可把电压转化为电流再计算)。
- 3、完成实验系统的接线，并把图 5-3 所示中的阀 F1-1, F1-2、F1-8 和 F2-1, F2-5 打开 (若两套动力支路的流量太大, 还可把通向锅炉的进水阀打开)。
- 4、经确认所有连接线无误后，接通总电源和相关仪表的电源。
- 5、进行调节器的参数整定。按单回路的整定方法 (先手动后自动的原则) 分别整定调节器 1、2 的 PID 参数 (也可按经验设置参数)，但在具体操作中应先整定调节器 1 的参数，待主回路系统稳定后，再整定从动回路中的调节器 2 (CF=8, 即外部给定) 的参数。
- 6、在实验时打开电脑中的 MCGS 组态工程，进入相应的实验，记录下实验中的实时 (历史) 曲线及各项参数。
- 7、等系统的被控制量趋于不变时 (系统进入稳态)，适量改变主控量给定值的大小，然后观察并记录主动量  $Q_1$  的稳定情况以及从动量  $Q_2$  的变化过程。
- 8、改变比值器的比例系数  $K'$ ，观察从动流量  $Q_2$  的变化，并记录相应的动态响应曲线。

### 七、实验报告

- 1、根据实验系统的结构图画出它的控制方框图。
- 2、根据实验要求，实测比值器的比值系数，并与设计值进行比较。
- 3、列表表示主动量  $Q_1$  变化与从动量  $Q_2$  之间的关系。

### 八、思考题

1. 本实验在哪种情况下，主动量  $Q_1$  与从动量  $Q_2$  之比等于比值器的仪表系数？
2. 双闭环流量比值控制系统与单闭环流量控制系统相比有那些优点？

## 实验附录：

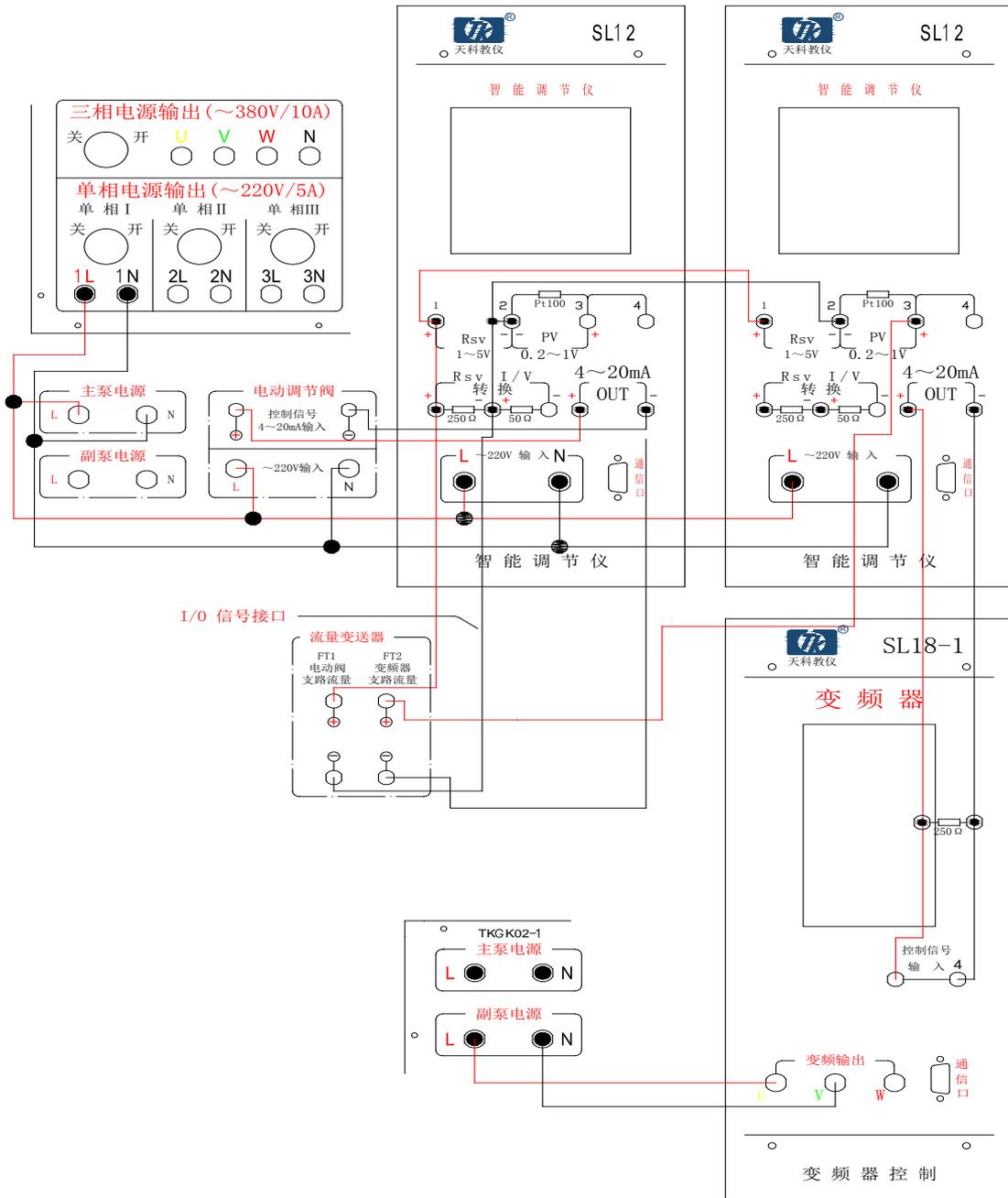
### 1. 接线方式请参考下表。

控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0-连接电动调节阀支路流量计输出端，再连接仪表二输入端 AI2+、AI2-（外给定）； 仪表二输入端 AI1+、AI1-连接变频器支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00-连接电动调节阀的控制信号；仪表二输出端 A01+、A01- 连接变频器的控制信号输入正负端子

### 2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二(外给定)		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	32	输入规格
dIP	2	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	1.20	输入上限	dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图



# 第六章 滞后控制系统实验

## 第一节 盘管出水口温度纯滞后控制系统

### 一、实验目的

1. 通过本实验，进一步认识传输纯滞后的形成，及其对系统动态性能的影响。

1、掌握纯滞后控制系统用常规 PID 调节器的参数整定方法。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 高级过程控制系统实验装置

2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根

3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

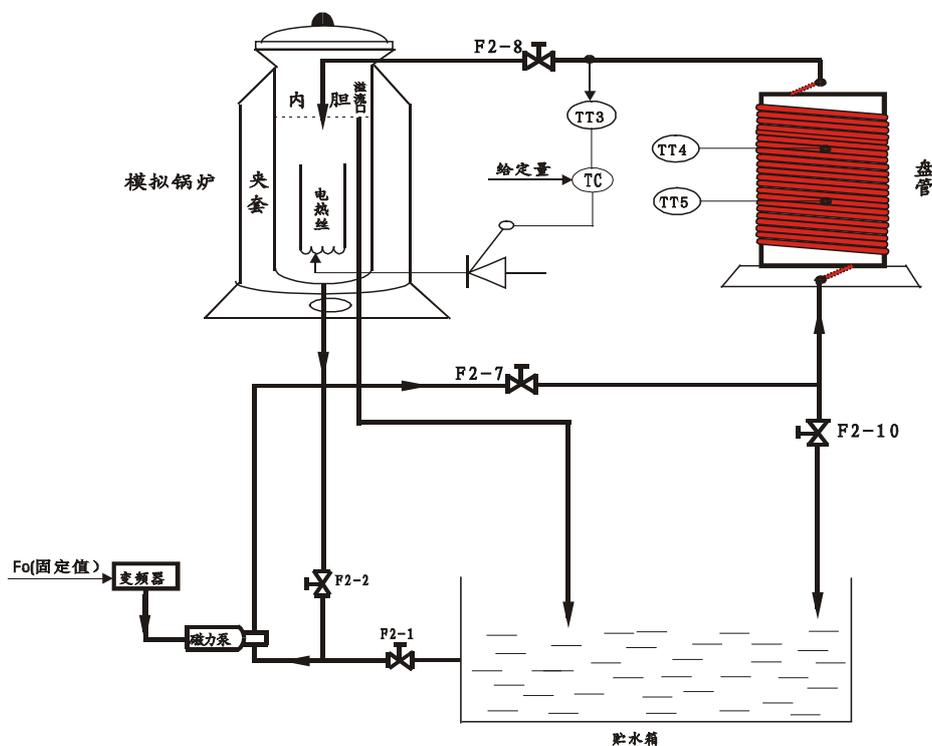


图 6-1 盘管出水口水温纯滞后控制系统结构示意图

在生产过程中常会出现当输入量改变后，过程的输出量并不立即跟着响应，而是要经过一段时间后才能作出反映，纯滞后时间就是指在输入参数变化后，看不到系统对其响应的这段时间。

当物流沿着一条特定的路径传输时，就会出现纯滞后，路径的长度和物流的速度是构成纯滞后的因素。本实验是以盘管出水口水温为系统的被控制量，并要求它等于给定值。变频器供水系统以固有的频率（恒速）把来自锅炉内胆的热水恒速输送到盘管。设由锅炉内胆到盘管出水口的管道长度为  $L$  米，热水的流速为  $v$  m/s，则内胆打出的热水要经过  $\tau$  秒后才能到达被控点，其中  $\tau = L/v$  (s)。如果忽略热水在盘管内流动时的热损耗，则可近似地把盘管视为一纯滞后环节，它的传递函数为

$$G_0(s) = e^{-\tau s} \quad (1)$$

相应的频率特性为

$$G_0(j\omega) = e^{-\tau j\omega} \quad (2)$$

由式(2)可知,不同大小的 $\tau$ 值,将对系统的动态性能产生不同程度的影响。消除纯滞后对系统的不良影响的方法之一是采用 Smith 预估补偿器,但这种方法的有效性是建立在能精确确定对象数学模型的基础上。另一种常用的方法是常规 PID 控制,只要参数整定得当,也能取得良好的控制效果。本实验就是采用这种方法进行控制。图 6-1 为本实验系统的结构图,图 6-2 为该控制系统的方框图。

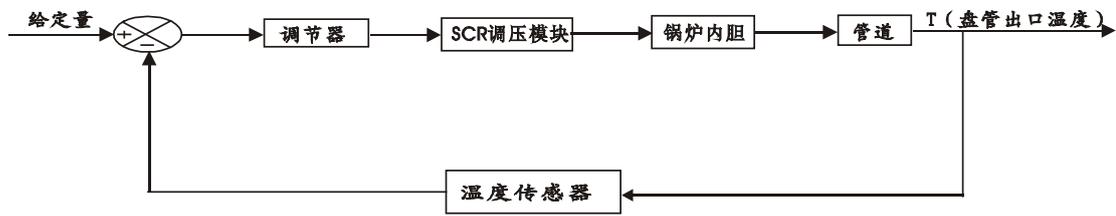


图 6-2 盘管出水口水温纯滞后控制系统方框图

#### 四、实验内容与步骤

- 1、根据图 6-1 完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、给锅炉内胆注满水,并把水温预热到为 75℃左右(此时调节器为手动输出)。
- 4、打开阀 F2-2、F2-7、F2-8; 关闭 F2-1、F2-10。
- 5、按单回路参数的整定方法,初步整定 PID 调节器的参数。
- 6、当锅炉内胆水温为 75℃左右时,把调节器由手动切换为自动,同时打开变频器电源,使之以恒定频率(20HZ 左右)向盘管输送热水。

7、根据上位机记录的输出响应曲线,对 PID 调节器的参数作进一步修正,以进一步提高系统的动态性能。

- 8、待系统进入稳态后,将给定值改变 5%~15% (作阶跃扰动),观察并记录输出量的响应曲线。

#### 五、实验报告

- 1、根据图 6-1 画出系统的控制方框图。
- 2、根据 3 个测试点所得的响应曲线,分析纯滞后时间 $\tau$ 的大小对系统动态性能的影响。
- 3、根据输出的阶跃响应曲线,确定纯滞后的时间 $\tau$ 。

#### 六、思考题

- 1、试分析纯滞后环节对系统动态性能的影响?
- 2、纯滞后环节的引入对系统的稳态精度是否有影响?

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表

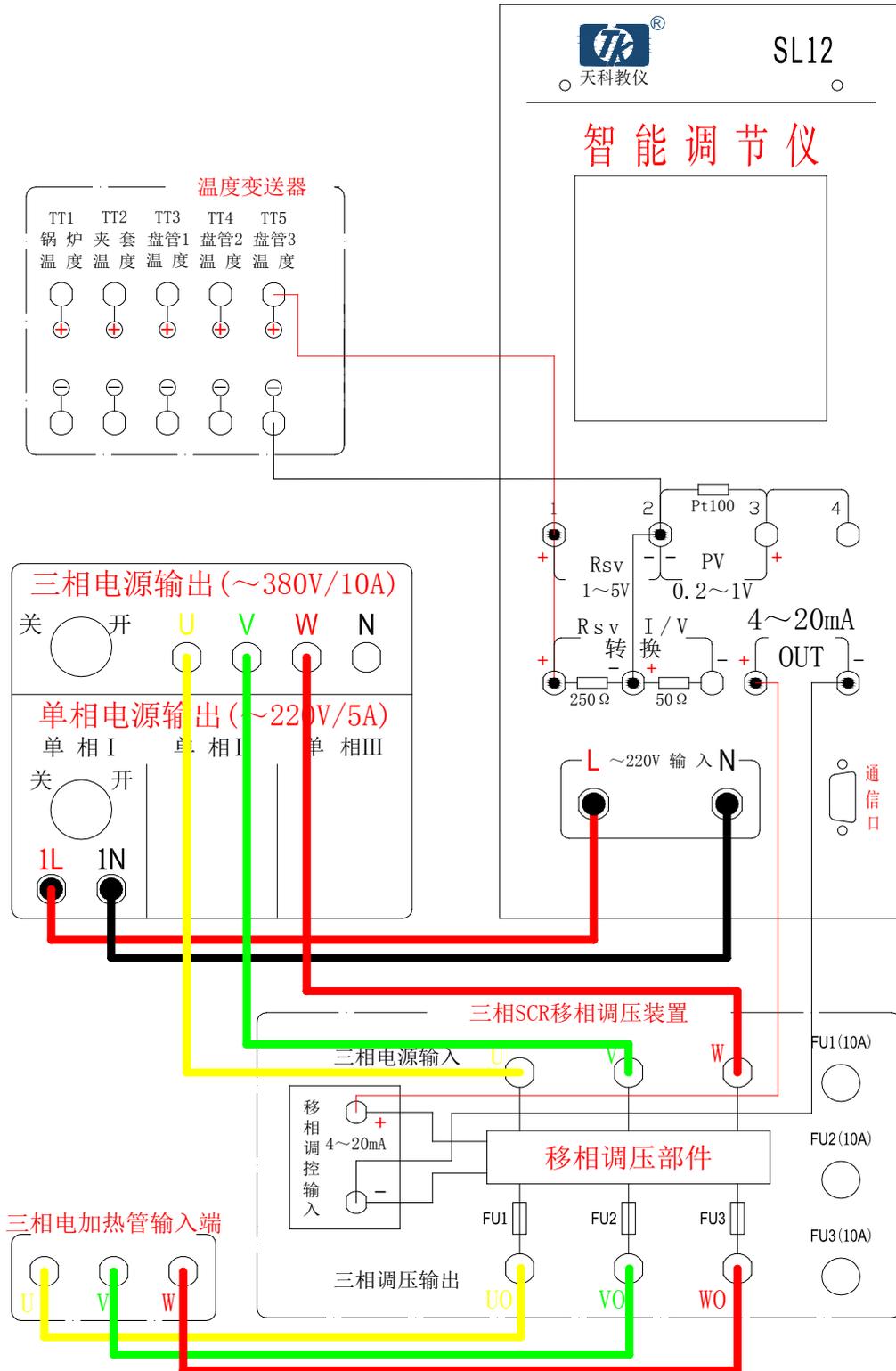
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，温度传感器区间的盘管温度输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接温度传感器区间的盘管温度输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接温度传感器区间的盘管温度输出的正负端子	8024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

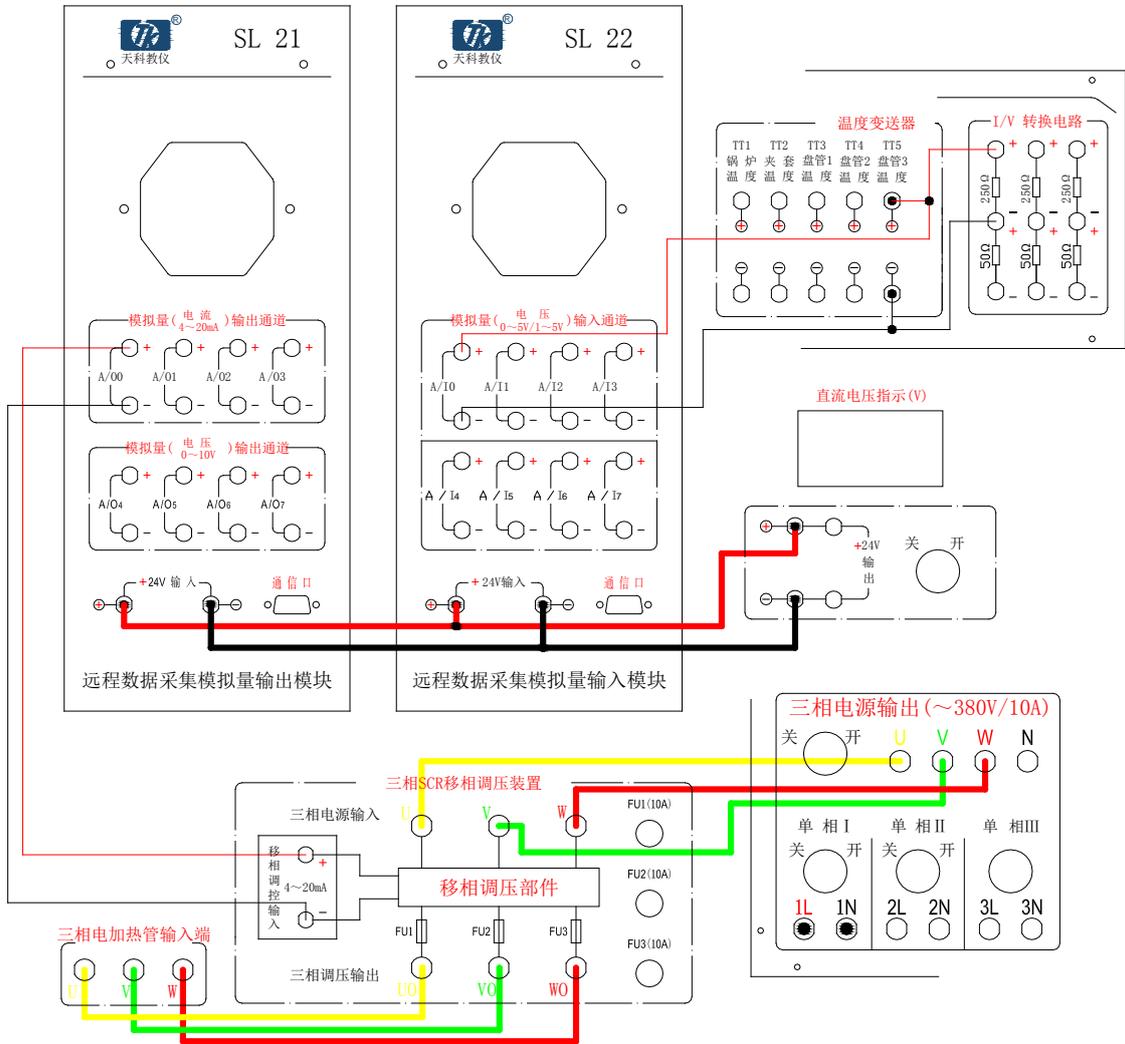
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

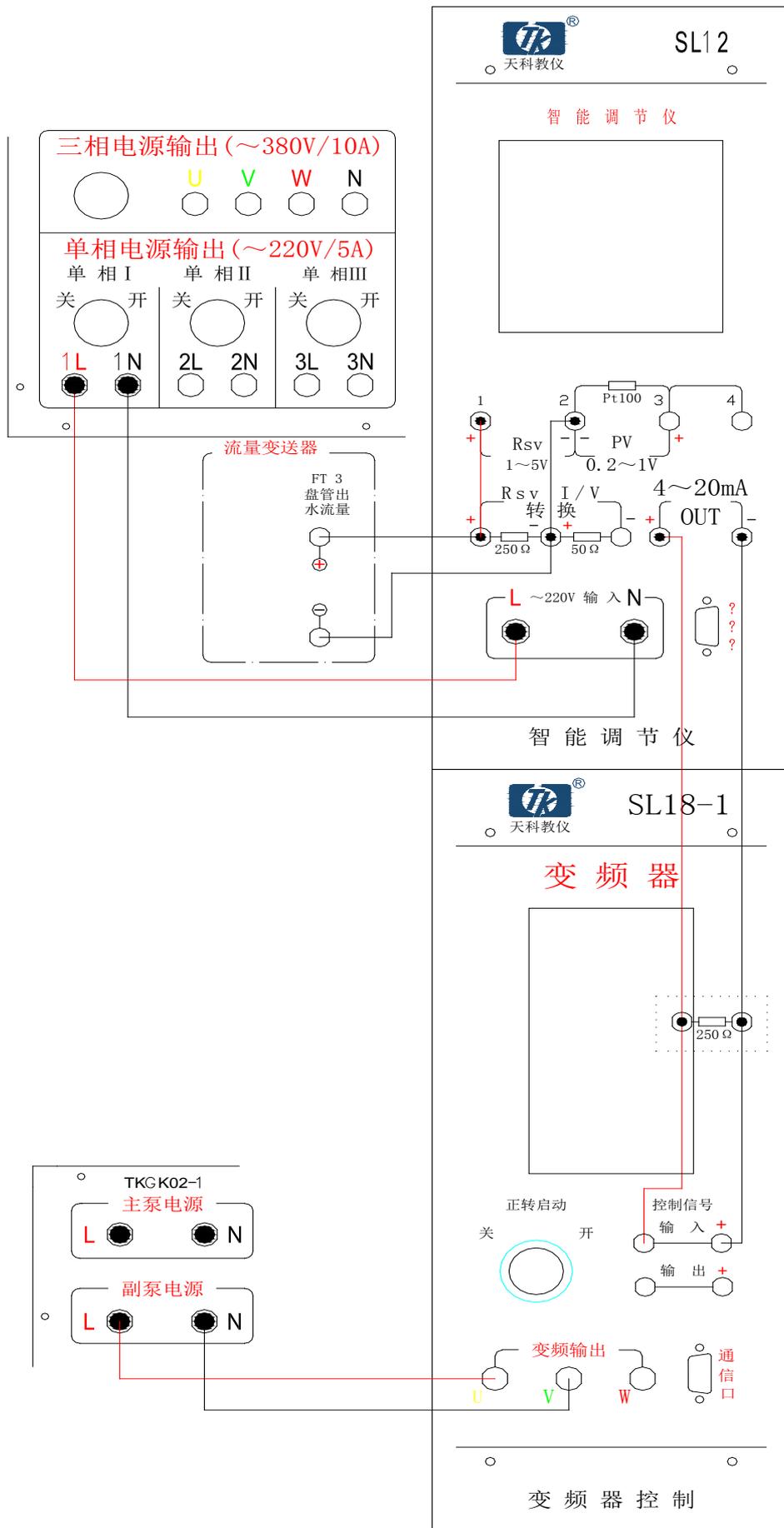
#### 3.1 智能仪表接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



## 第二节 盘管出水口温度滞后控制系统

### 一、实验目的

1. 通过本实验，进一步认识滞后的形成，及其对系统动态性能的影响。
2. 滞后控制系统用常规 PID 调节器的参数整定方法。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

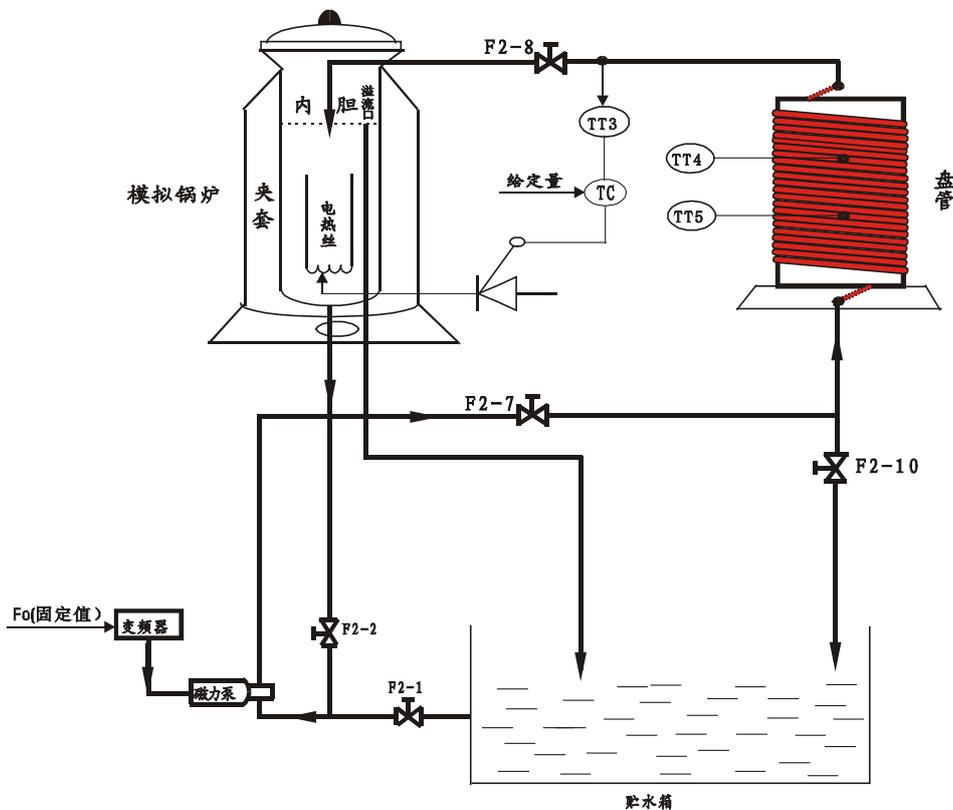


图 6-3 盘管出水口水温滞后控制系统结构图

在生产过程中造成滞后的原因通常有以下三种：

1. 传输滞后
2. 测量滞后
3. 容量滞后

本实验是以盘管出水口温度为系统的被控制量，要求它等于系统的给定值，由调节器的输出自动控制三相调压器给锅炉内胆加热，并同时启动变频器电源，使之以恒定频率（20HZ 左右）向盘管送水，显然本实验系统中的滞后包括了内胆容量的滞后和盘管传输的滞后，且前者的滞后时间一般要远大于后者。基于滞后对系统动态性能的影响更大，为了获得满意的控制效果，应把 PID 调节器的比例度  $\delta$  和积分时间常数  $T_i$  增大。图 6-3 为本实验系统的结构图，图 6-4 为该控制系统的方框图。

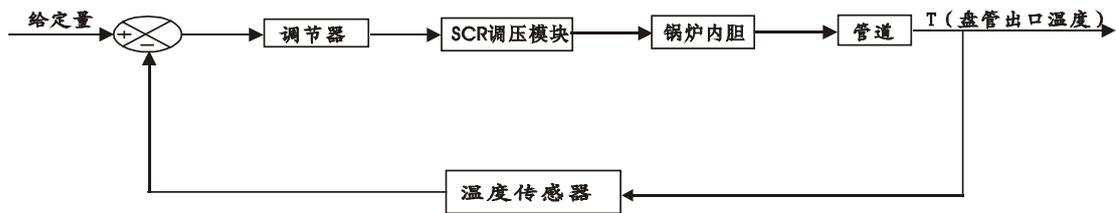


图 6-4 盘管出水口水温滞后控制系统方框图

#### 四、实验内容与步骤

- 1、根据图 6-3 完成实验系统的接线。
- 2、接通总电源和相关仪表的电源。
- 3、给锅炉内胆注满水，并开启阀 F2-10，排除盘管内的积水。
- 4、打开阀 F2-2、F2-7、F2-8；关闭 F2-1、F2-10。
- 5、按单回路参数的整定法，初步整定 PID 调节器的参数。
- 6、设定系统的给定值，并把调节器设置为自动输出，通过三相调压模块给锅炉内胆加热，并同时启动变频器电源，使之以恒定频率（20HZ 左右）向盘管送水。
- 7、根据上位机记录的输出响应曲线，对 PID 调节器的参数作进一步修正，以求获得较好的动态性能。
- 8、系统进入稳态后，将给定值改变 5%~15%（作阶跃扰动），观察并记录输出量的响应曲线。
- 9、相同的 PID 参数下，用上位机实时记录盘管的 3 个测试点温度的响应曲线。

#### 五、实验报告

- 1、根据图 6-3 画出系统的控制方框图。
- 2、根据 3 个测试点所得的响应曲线，分析滞后时间  $\tau$  的大小对系统动态性能的影响。
- 3、根据输出的阶跃响应曲线，确定滞后的时间  $\tau$ 。

#### 六、思考题

1. 为什么本实验中的滞后时间比纯滞后时间要大？
2. 温度纯滞后系统相比，本实验中调节器的  $\delta$  和  $T_i$  值应比上一个实验时的值大还是小？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表

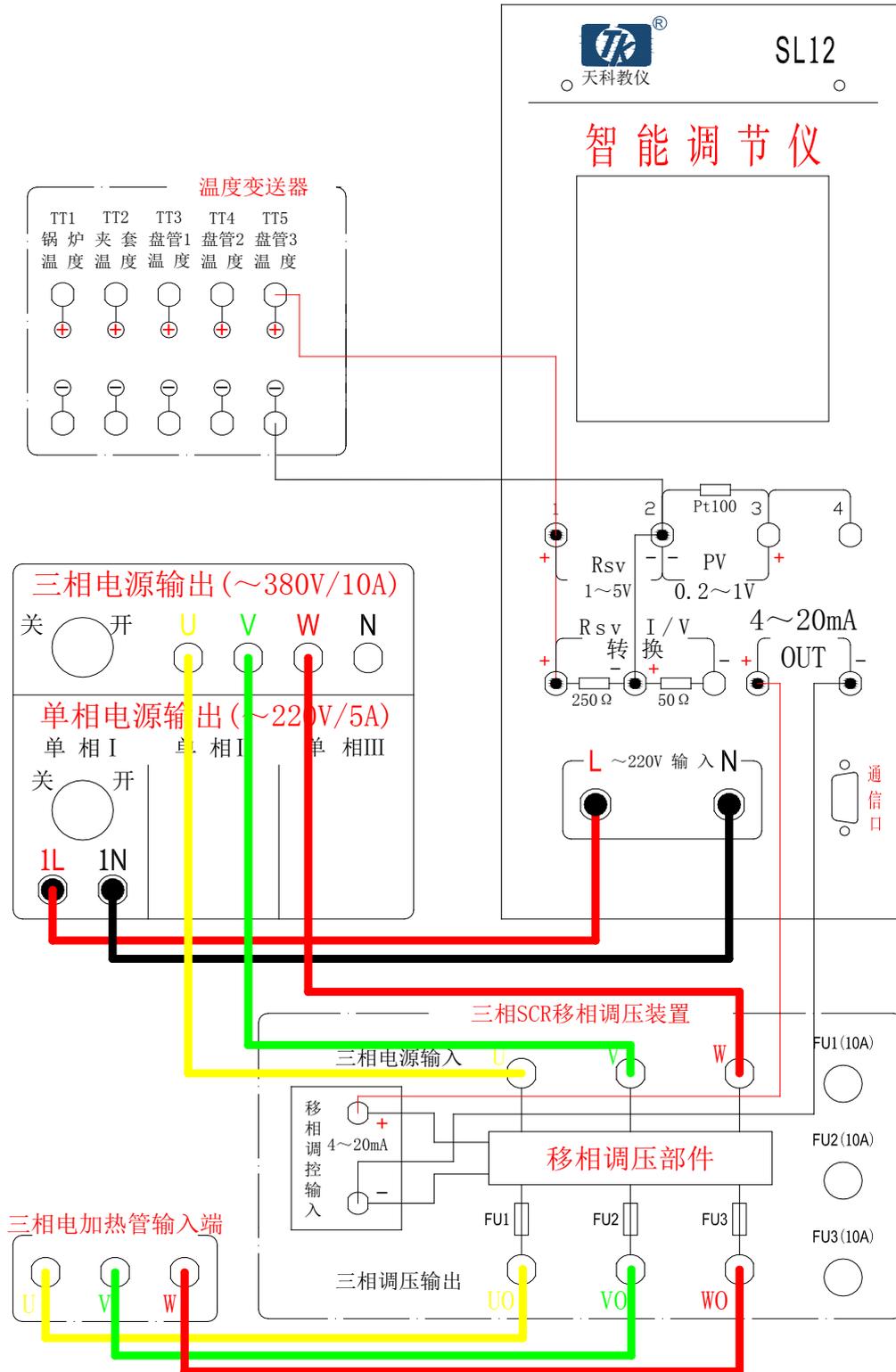
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，温度传感器区间的盘管温度输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0-连接温度传感器区间的盘管温度输出的正负端子	S7-200PLC 输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子
DDC 模块	8017 模块输入端 AI0+、AI0-连接连接温度传感器区间的盘管温度输出的正负端子	8024 模块输出端 A00+、A00-连接移相调压模块的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

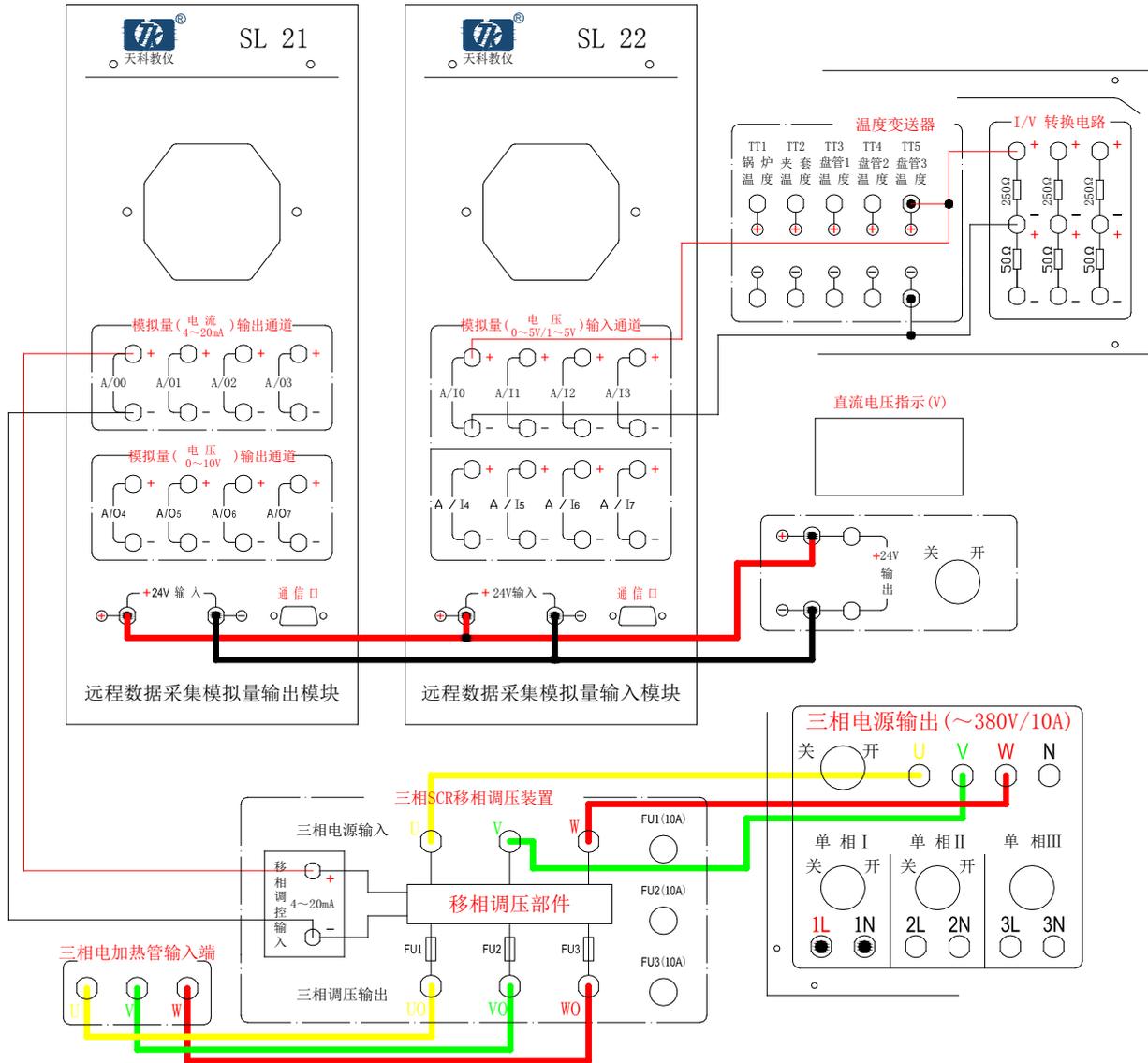
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

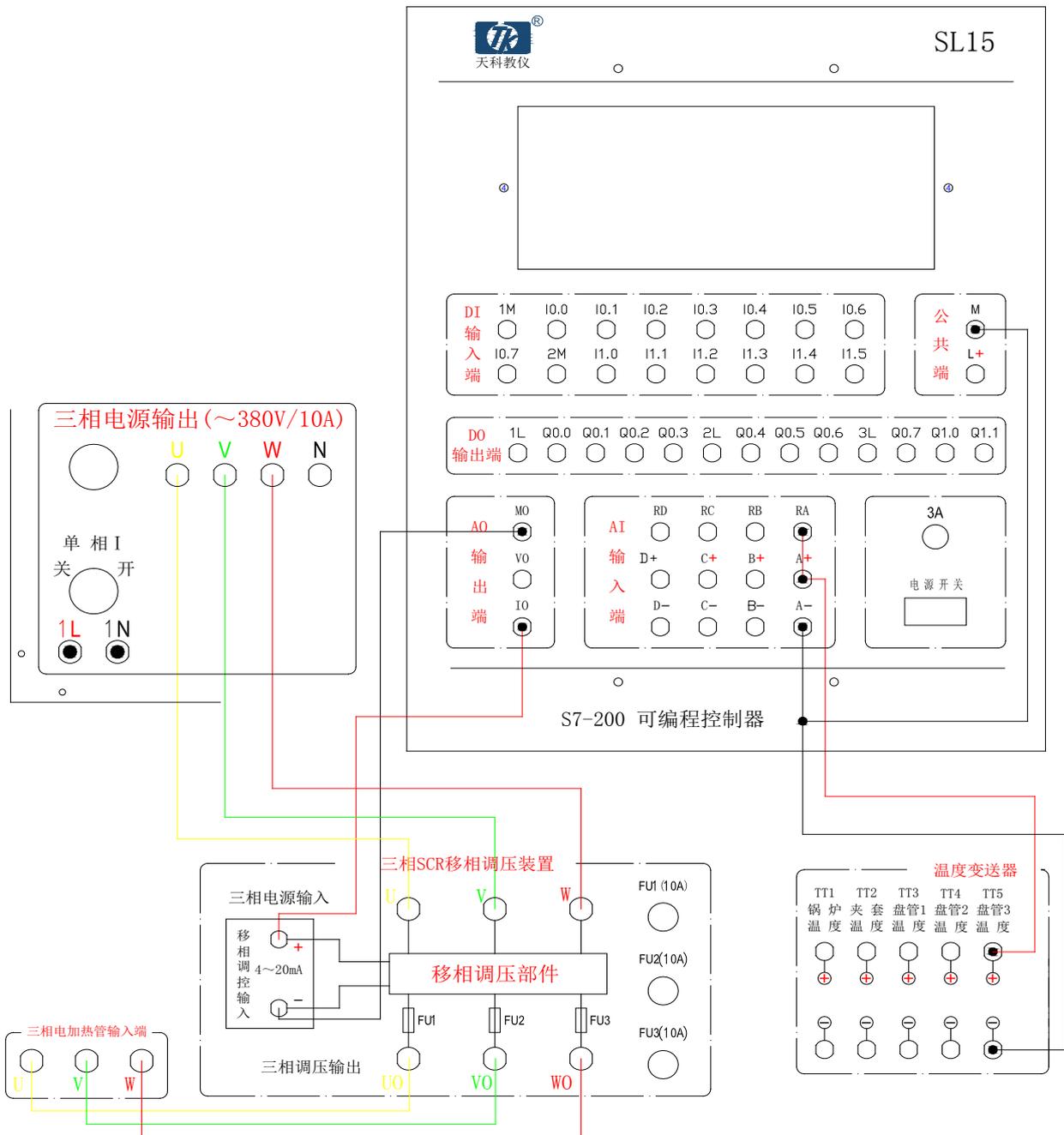
#### 3.1 智能仪表接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



## 第三节 流量纯滞后控制系统

### 一、实验目的

- 1、通过本实验，进一步认识传输纯滞后的形成，及其对系统动态性能的影响。
- 2、掌握纯滞后控制系统用常规 PID 调节器的参数整定方法。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

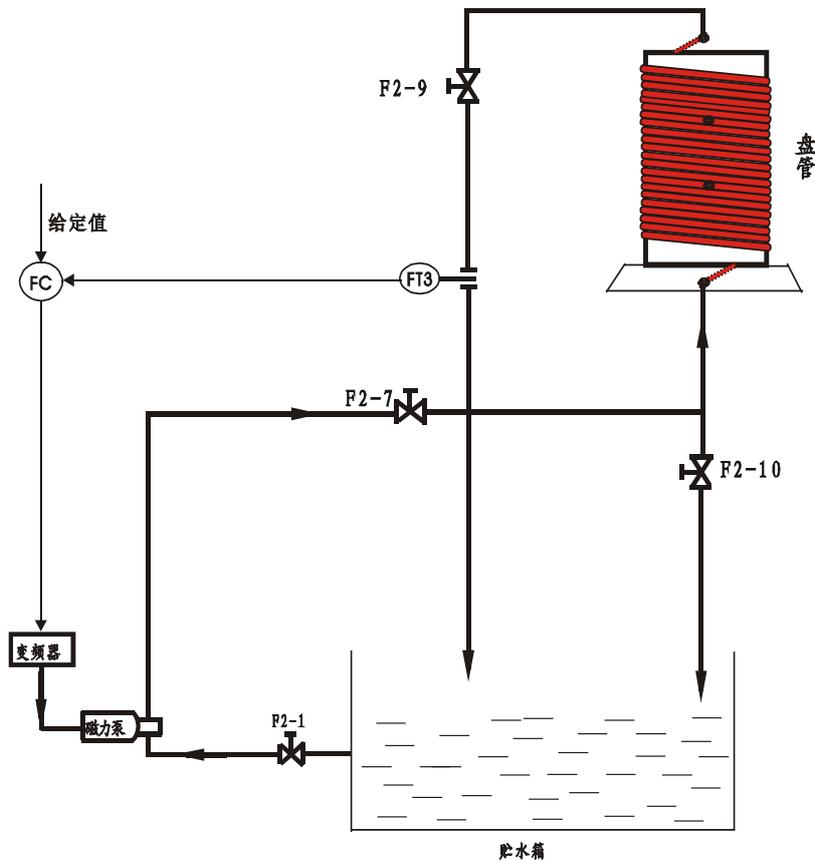


图 6-5 流量纯滞后控制系统结构图

本实验是以盘管出水口流量为系统的被控制量，要求它等于系统的给定值。由调节器的输出自动控制变频器的输出，从而控制盘管中流量的大小。由于本系统中管道的传输滞后较为明显，因此系统的控制难度要比一般的单回路反馈控制大，为了获得较好的控制效果，应把 PID 调节器的比例度  $\delta$  和积分时间常数  $T_i$  适当增大。图 6-5 为本实验系统的结构图，图 6-6 为该控制系统的方框图。

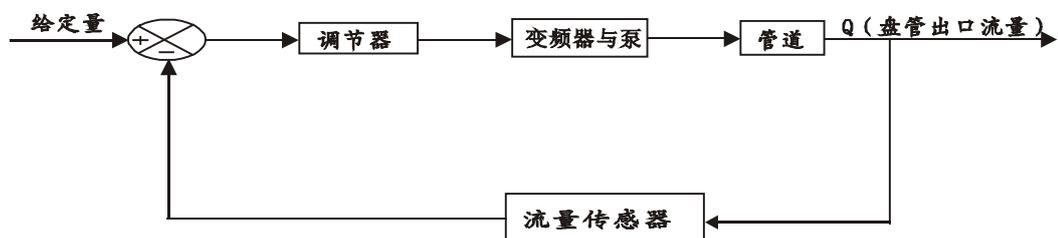


图 6-6 流量纯滞后控制系统方框图

#### 四、实验内容与步骤

1. 根据图 6-5 完成实验系统的接线。
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F2-1、F2-7、F2-9；关闭 F2-2、F2-10、 F2-8。
4. 按单回路参数的整定法，初步整定 PID 调节器的参数。
5. 设置系统的给定值，并令调节器工作于自动状态，通过变频器与泵向盘管送水。
6. 据上位机记录的输出响应曲线，对 PID 调节器的参数作进一步修正，以进一步提高系统的动态性能。
7. 系统进入稳态后，令给定值突变一个增量（阶跃扰动），观察并记录输出量的响应曲线。

#### 五、实验报告

- 1、根据图 6-5 画出系统的控制方框图。
- 2、根据输出的阶跃响应曲线，确定纯滞后的时间  $\tau$ 。

#### 六、思考题

- 1、试分析纯滞后环节对系统动态性能的影响？
- 2、纯滞后环节的引入对系统的稳态精度是否有影响？

## 实验三附录

1. 如用 PLC 系统(DDC 远程模块系统)，其接线方式请参考下表

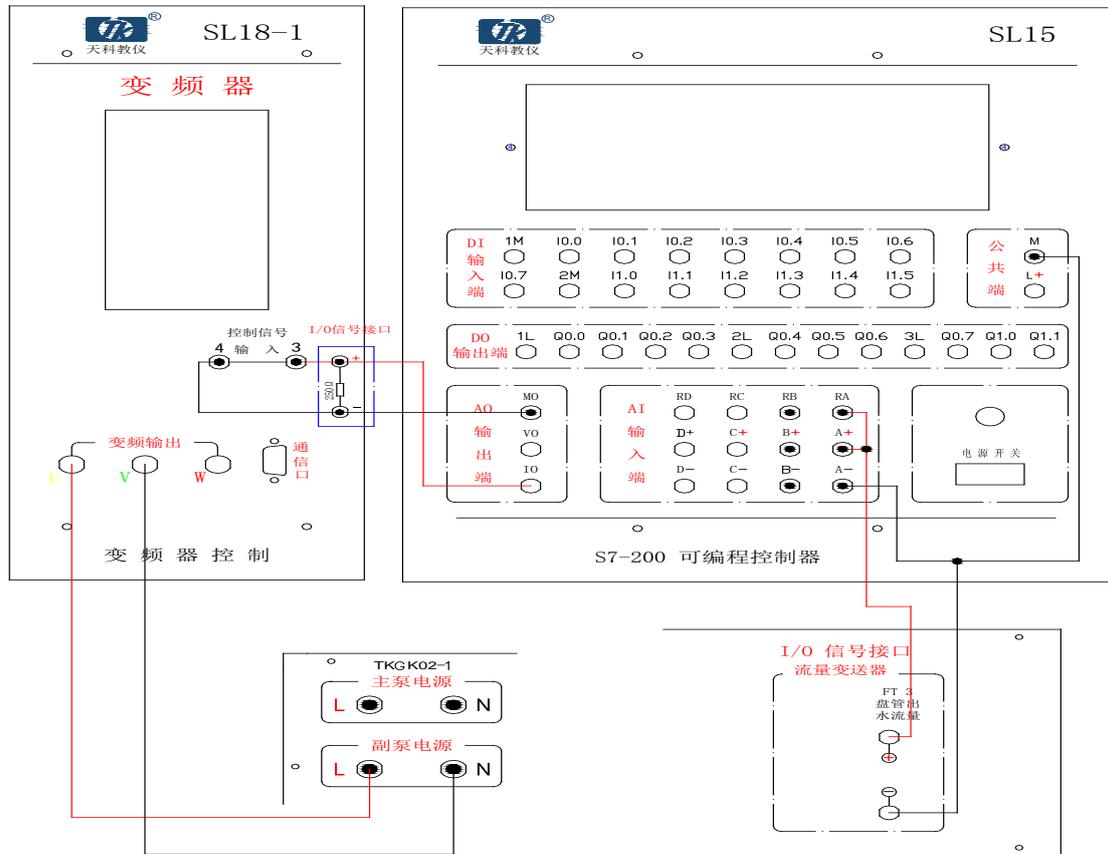
控制装置	输入	输出
智能仪表 818	仪表输入端 AI0+、AI0-分别连接，流量计区间的调节阀流量输出的正负端子	仪表的输出端 A00+、A00-连接变频器的控制信号输入正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表(实验设备有三块智能调节仪，本次实验只需一个)。

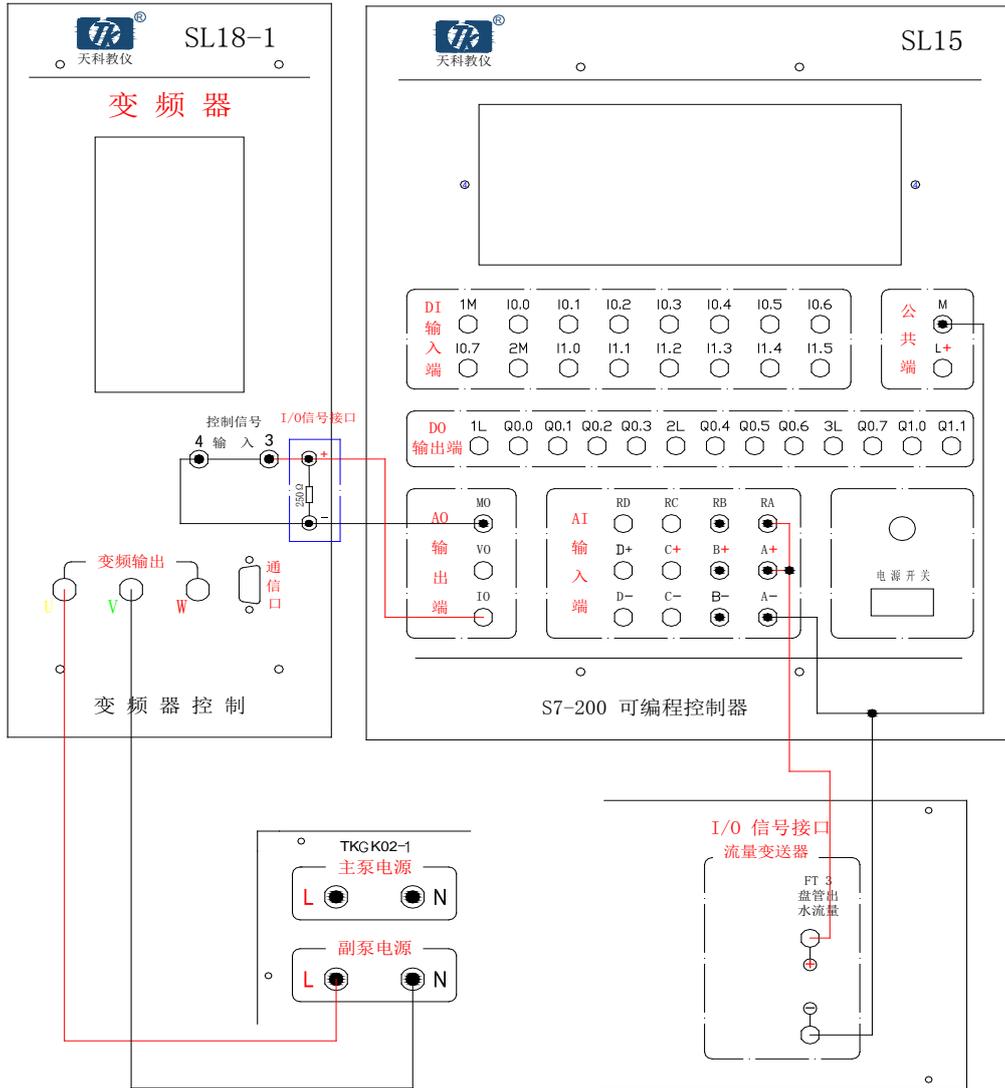
智能仪表 818		
参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格
dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限
dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址
bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

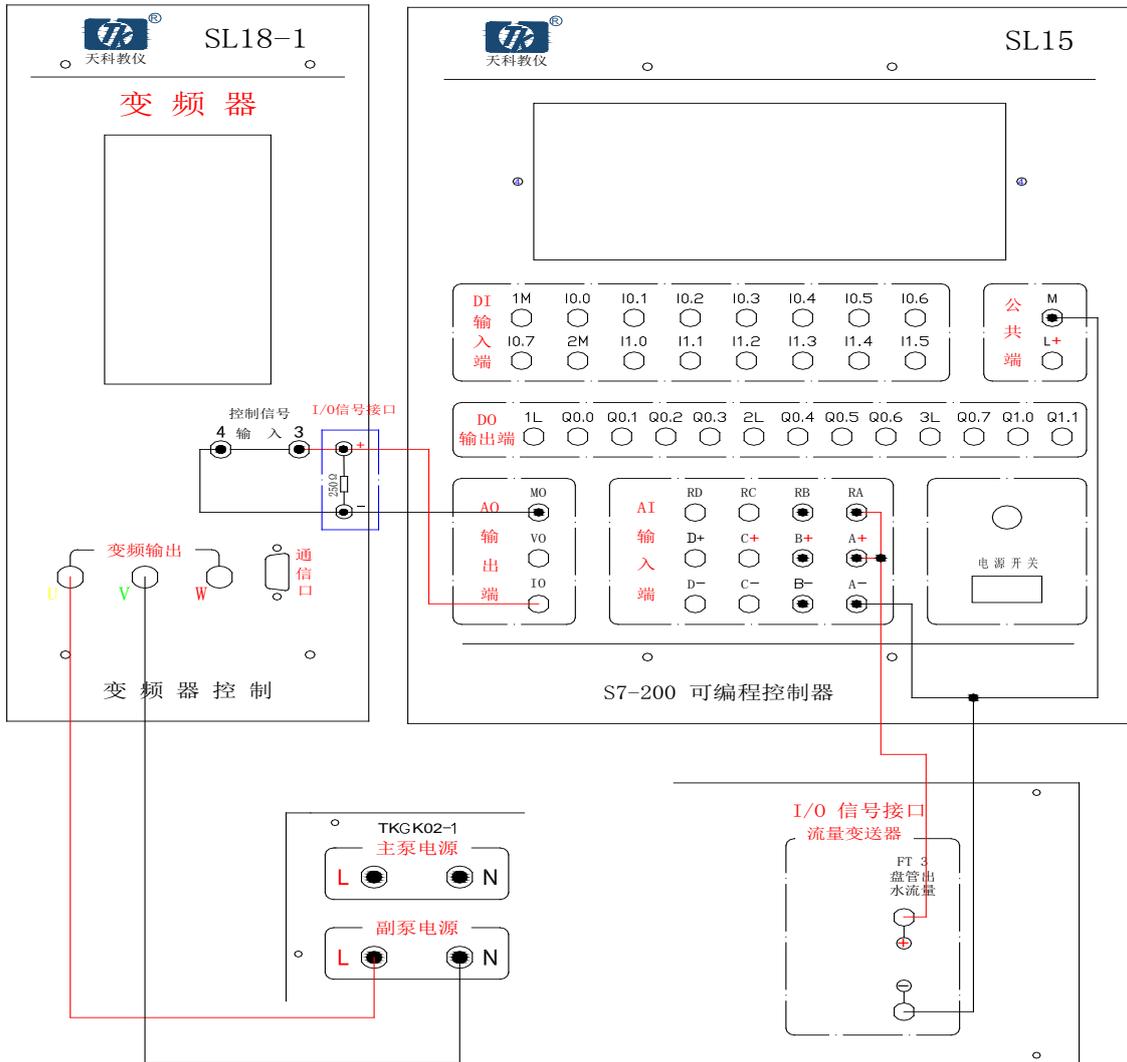
#### 3.1 智能仪表接线图



### 3.2 DDC 系统接线图



### 3.3 PLC 系统接线图



# 第七章 前馈-反馈控制系统实验

## 第一节 锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统

### 一、实验目的

- 1、通过本实验，进一步了解温度前馈-反馈控制系统的原理与结构。
- 2、掌握前馈补偿器的设计与调试方法。
- 3、掌握前馈-反馈控制系统参数的整定与投运。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

由于过程控制系统总具有滞后的特性，当从干扰产生到被控制量起变化，需要一定长的时间；而被控制量变化后通过调节器产生的调节作用又要经历一段时间。因此，被控参数要达到新的稳定状态就要经历相当长的时间。显然，控制系统的滞后越大，则被控参数变化的幅度也越大，偏差持续的时间也越长。为了解决上述问题，采用一种与反馈控制原理完全不同的控制方法，这种方法是按照干扰作用进行控制的。

图 7-1 为前馈-反馈控制系统方框图

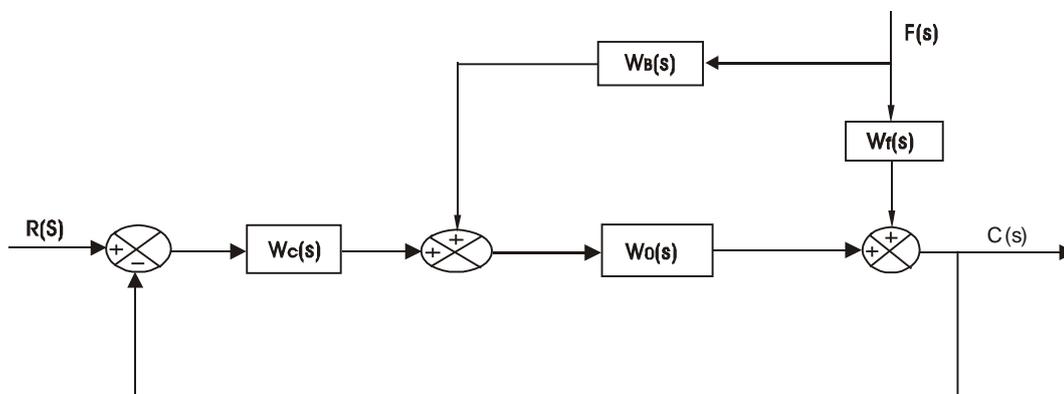


图 7-1 锅炉温度前馈-反馈控制系统方框图

图中

$W_c(s)$  - 调节器

$W_o(s)$  - 被控对象

$W_f(s)$  - 干扰通道的传递函数

$W_b(s)$  - 前馈补偿器

由图得，扰动影响完全补偿的条件是：

$$F(s) W_f(s) + F(s) W_b(s) W_o(s) = 0$$

$$\text{即 } W_b(s) = -\frac{W_f(s)}{W_o(s)} \quad (1)$$

当补偿装置满足上式后，只要干扰一出现，在被控制量未受到影响前，补偿器立即根据干扰的性质和大小，

改变执行器的输入信号，从而使被控制量基本不受扰动的影响。

由图 7-1 可知，前馈控制有以下特点：

- 1) 前馈控制是一种开环控制，因而不影响系统的动态性能。
- 2) 前馈控制是按扰动进行补偿的
- 3) 前馈控制只适用于可测不可控的扰动。

4) 用前馈补偿系统中的主要扰动，式 (1) 所示的条件只能近似地满足，一般只用比例环节或一阶（微分或惯性）环节。

本实验系统是以锅炉内胆为被控对象，内胆水温为被控制量。设进入内胆循环水的流量作为该系统主要的扰动量，该系统的控制要求是当扰动大小变化时，干扰信号流量经变送器，前馈补偿器，可控硅三相调压器和被控对象内胆后产生一个与扰动经干扰通道后的输出量等值反号的补偿值，从而使锅炉内胆的水温基本上不受流量扰动的影响。至于该系统其它的扰动，例如电网电压的波动，会促使可控硅调压器输出电压的变化，从而导致被控制量内胆水温  $T$  的变化。这种影响，均由负反馈系统予以抑止。

图 7-2 为温度前馈-反馈控制系统的结构示意图，图 7-3 为该系统的控制方框图。

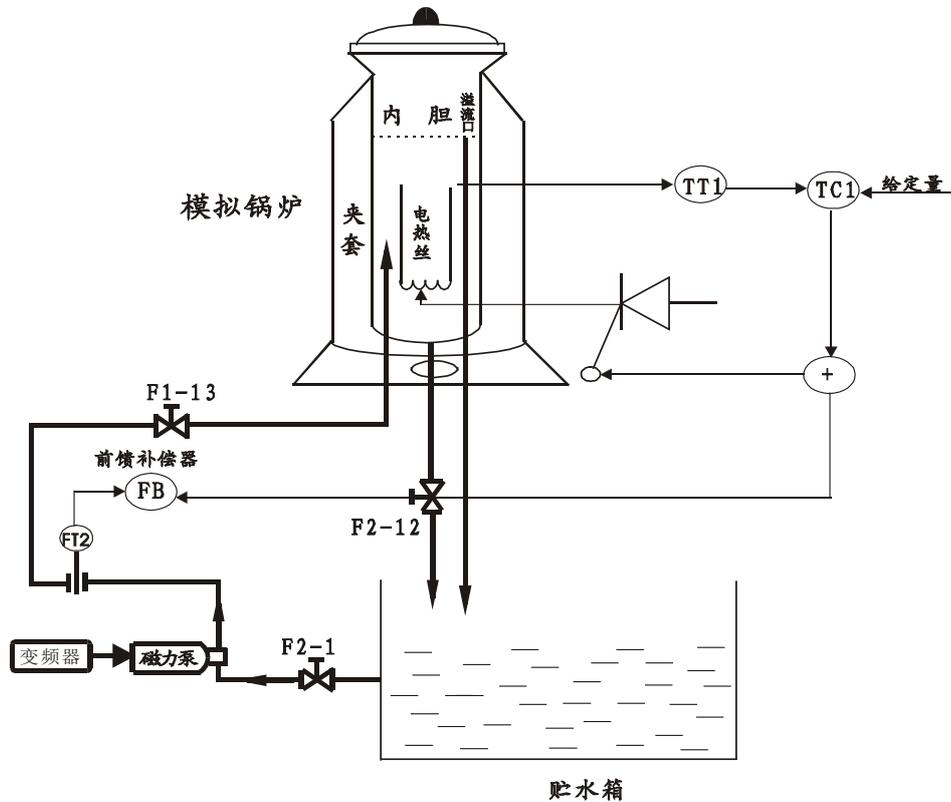


图 7-2 温度前馈-反馈控制系统结构示意图

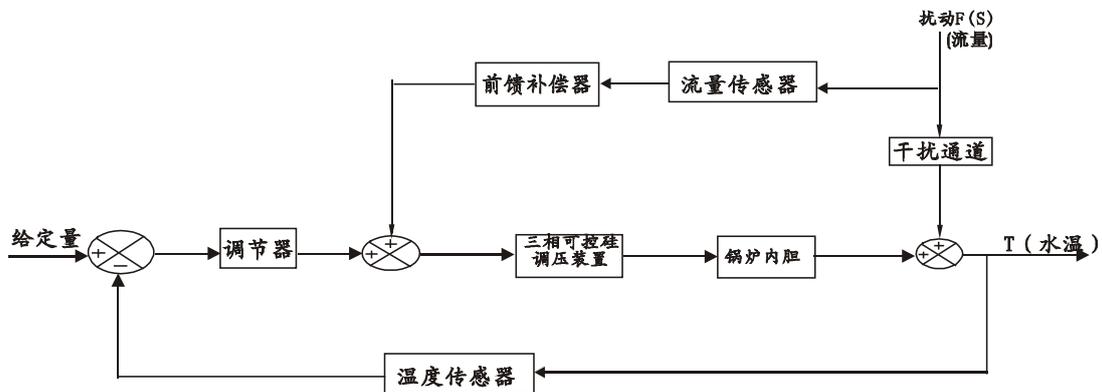


图 7-3 温度前馈-反馈控制系统方框图

#### 四、实验步骤

1. 按图 7-2 所示的结构组成温度前馈-反馈控制系统，并完成系统的接线。
2. 合上总电源和相关仪表的电源。
3. 不加补偿器，使系统处于反馈运行状态。按单回路温度系统的参数整定方法，整定好调节器  $W_c(S)$  的参数。
4. 当补偿器采用比例环节时，图 7-3 可用图 7-4 来表示。

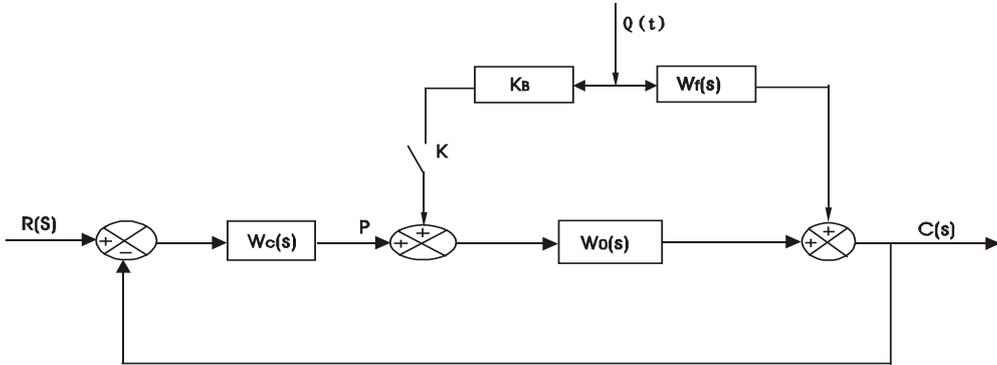


图 7-4 温度前馈-反馈控制系统

图中：

$W_c(S)$  - 控制器

$W_0(S)$  - 被控对象

$W_f(S)$  - 干扰通道的传递函数

由式 (1) 可知， $K_B = -\frac{K_f}{K_0}$  (2)

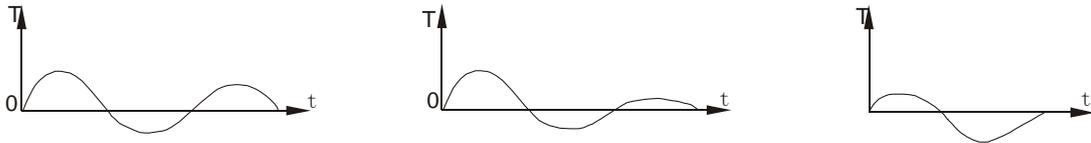
式中  $K_f$  - 干扰通道的静态放大倍数

$K_0$  - 控制通道的静态放大倍数

#### 5、 $K_B$ 的闭环整定法

##### (一) 前馈-反馈整定法

在反馈回路整定好的基础上，先合上图 7-4 中的开关 K，使系统变为前馈-反馈控制系统，然后调节  $K_B$  值，使之由小逐渐变大，可得到在扰动  $Q(t)$  作用下如图 7-5 所示的一系列响应曲线，其中图 7-5 (b) 所示的曲线补偿效果最好。



(a) 欠补偿

(b) 补偿合适

(c) 过补偿

图 7-5 前馈-反馈系统  $K_B$  的整定过程

##### (二) 利用反馈系统整定 $K_f$ 值

等系统运行正常后，打开图 7-4 中的开关 K，使系统变为单纯的反馈控制。

- a) 当被控制量 T 等于给定值时，记录相应的扰动量  $Q_0$  和调节器输出  $P_0$ 。
- b) 人为地改变扰动  $Q_1$ ，待系统进入稳态，且被控制量 T 等于给定值时，记录此时调节器的输出  $P_1$ 。
- c) 按下式计算  $K_B$  值

$$K_B = \frac{P_1 - P_0}{Q_1 - Q_0} \quad (3)$$

6、不加前馈补偿器，待系统进入稳态后，突加适量大小的扰动，观察被控制量  $T$  的变化过程。

7、将由实验中测得的  $K_B$  值设置于前馈补偿器中，施加同上面大小相同的扰动，观察系统输出的响应过程。如果记录曲线不够理想，可实时调整  $K_B$  值，直至所得的响应曲线满意为止。

#### 四、实验报告

1. 画出温度前馈-反馈控制系统的方框图。
2. 根据实验确定前馈补偿器的系数  $K_B$ 。
3. 画出不加前馈补偿时，系统在扰动作用下被控制量的响应曲线。
4. 画出加上前馈补偿器后，系统在同样扰动作用下被控制量的响应曲线。
5. 根据所得的实验结果，对前馈补偿器在系统中所起的作用作出评述。

#### 五、思考题

- 1、对一种扰动设计的前馈补偿装置，对其它形式的扰动是否也适用？
- 2、试说明前馈控制是一种开环控制？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

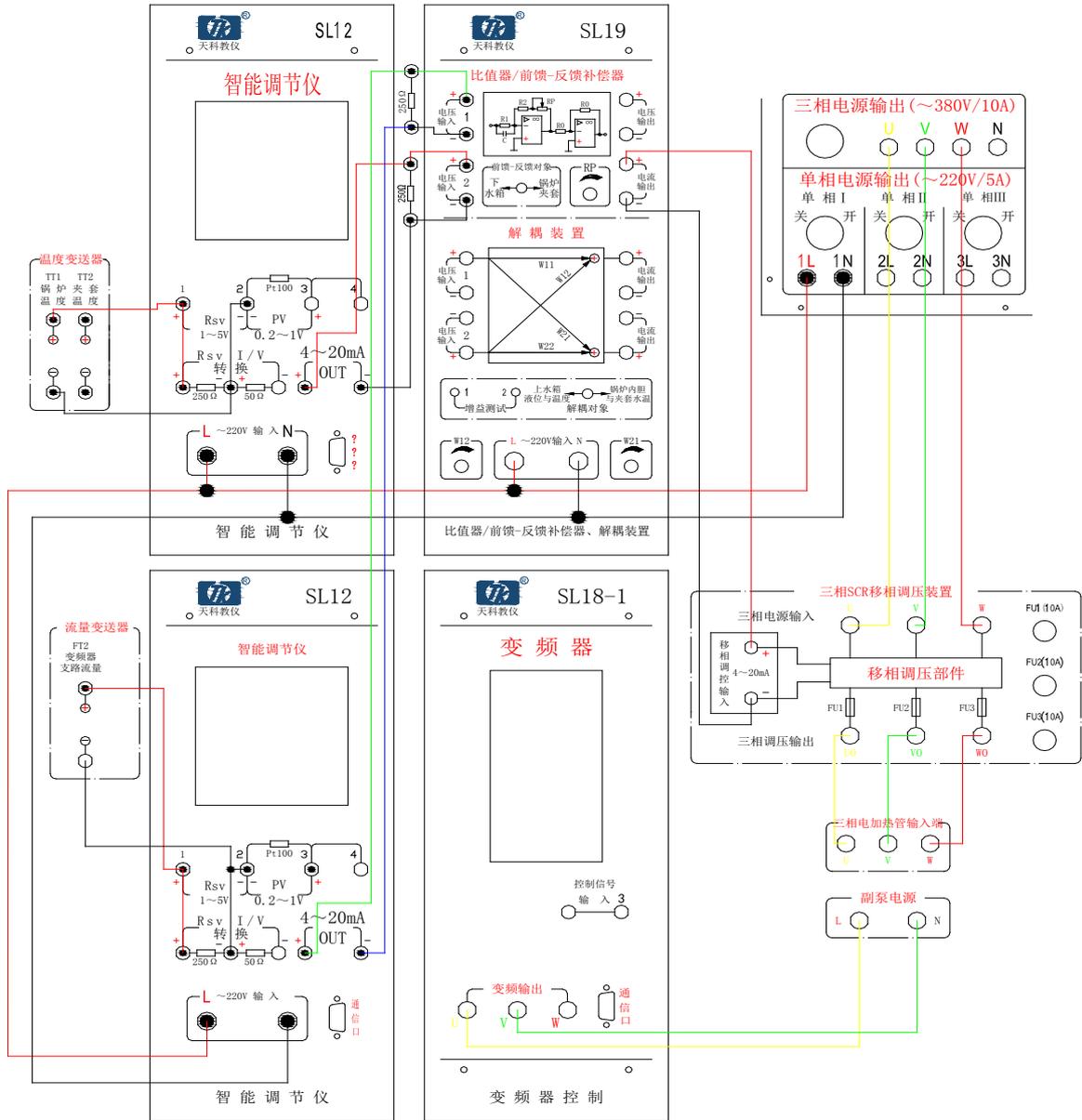
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0- 连接锅炉温度变送器输出端， 仪表二输入端 AI1+、AI1- 连接变频器支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00- 连接前馈反馈控制器电压输入 2(须并联一个 250 欧电阻)； 仪表二输出端 A01+、A01- 连接前馈反馈控制器电压输入 1(须并联一个 250 欧电阻)； 前馈反馈控制电流输出连接三相移相调压模块控制信号
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0- 连接锅炉温度变送器输出端， 输入端 AI1+、AI1- 连接变频器支路流量输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00- 连接三相移相调压模块控制信号正负端子

2. 智能仪表的参数设置如下表

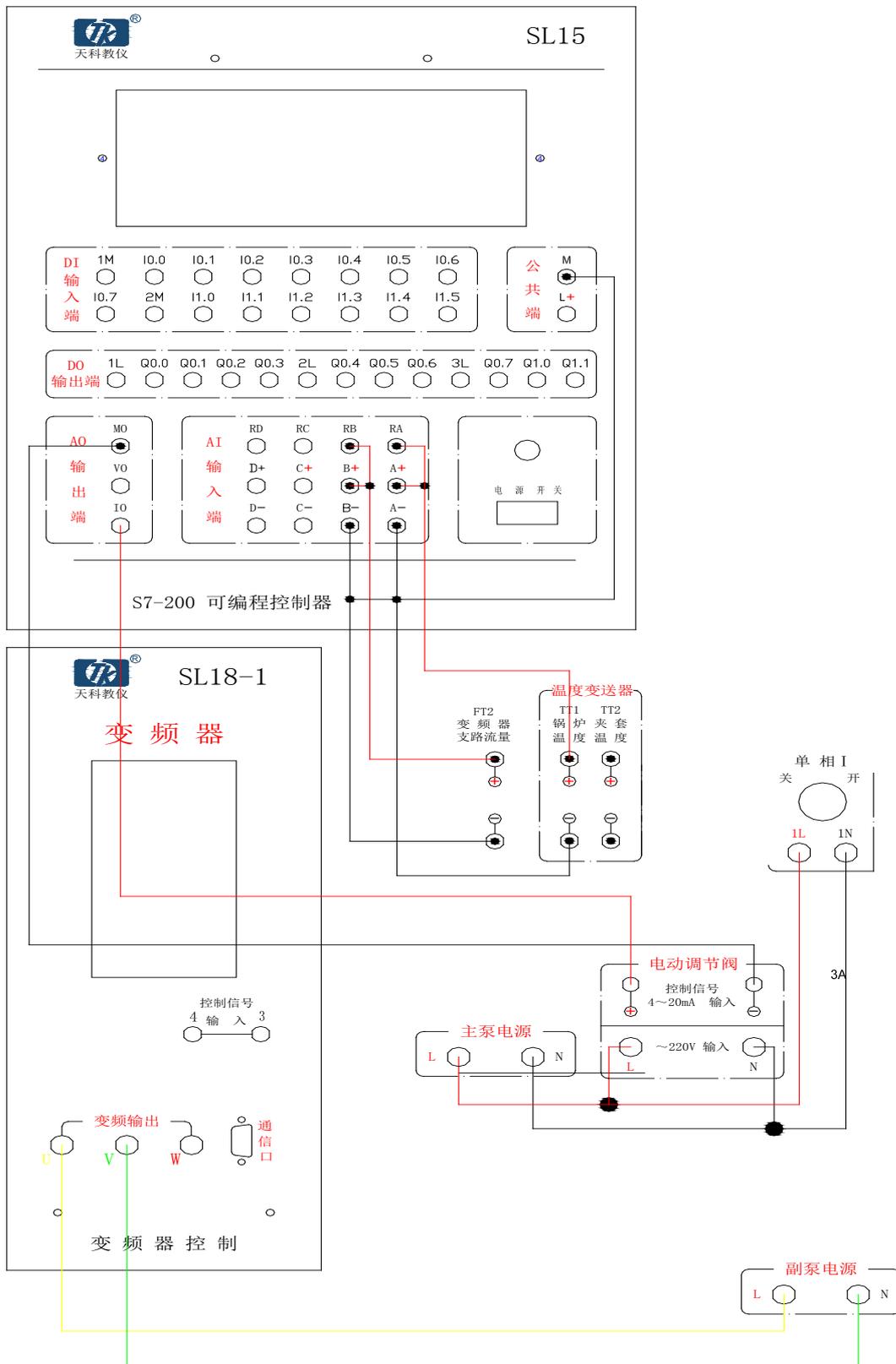
智能仪表一			智能仪表二		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



### 3.2 PLC 系统接线图



## 第二节 下水箱液位的前馈-反馈控制系统

### 一、实验目的

1. 通过实验进一步了解前馈-反馈控制系统的原理和结构。
2. 掌握前馈补偿器的设计方法。
3. 掌握前馈-反馈控制系统参数的整定与投运。

### 二、实验设备

1. TkJ-2 高级过程控制系统实验装置
2. 计算机、上位机 MCGS 组态软件、RS232-485 转换器 1 只、串口线 1 根。
3. 万用表 1 只

### 三、实验原理

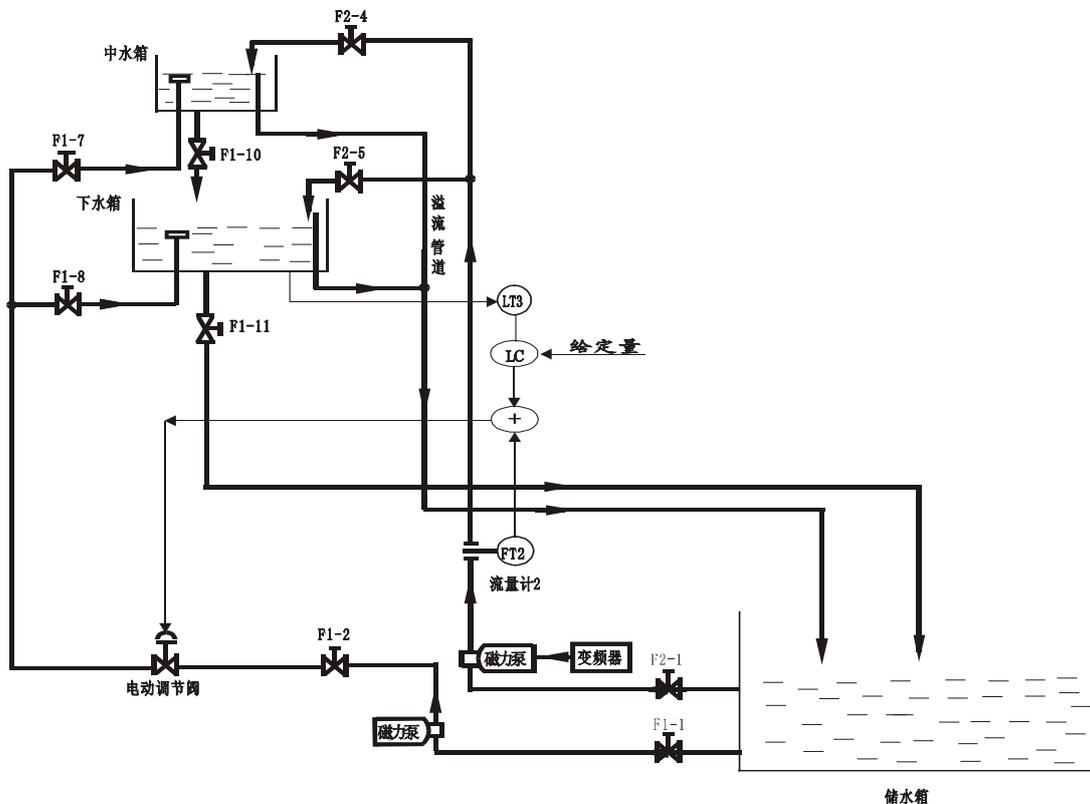


图 7-6 前馈-反馈控制系统的结构图

反馈控制是按照被控参数与给定值之差进行控制的。它的特点是，调节器必须在被控参数出现偏差后才能对它进行调节，补偿干扰对被控参数的影响。基于过程控制系统总具有滞后特性，因而从干扰的产生到被控参数的变化，需要一定长的时间后，才能使调节器产生对它进行调节作用，从而对于干扰产生的影响得不到及时地抑止。为了解决这个问题，提出一种与反馈控制在原理上完全不同的控制方法。由于这种方法是一种开环控制，因而它只对干扰进行及时地补偿，而不会影响控制系统的动态品质。即当扰动一产生，补偿器立即根据扰动的性质和大小，改变执行器的输入信号，从而消除干扰对被控量的影响。由于这种控制是在扰动发生的瞬时，而不是在被控制量产生变化后进行的，故称其为前馈控制。

前馈-反馈控制系统中的主要扰动由前馈部分进行补偿，这种扰动能测定，其它所有扰动对被控制量所产生的影响均由负反馈系统来消除。这样就能使系统的动态误差大大减小。

#### 四、前馈补偿器的设计

图 7-6 为本实验的系统结构图，被控制量是下水箱的液位，扰动为流量 F。图 7-7 为该控制系统的方框图。

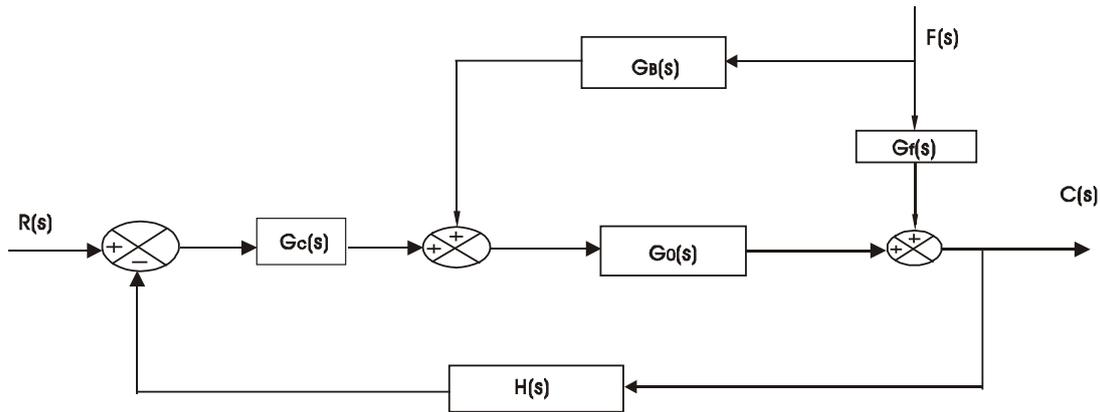


图 7-7 控制系统的方框图

图中

- $G_c(S)$  — 调节器
- $G_0(S)$  — 电动调节阀、中水箱与下水箱
- $G_f(S)$  — 干扰通道的传递函数
- $G_B(S)$  — 前馈补偿器
- $H(S)$  — 液位变送器

由图 8-7 可知，扰动  $F(S)$  得到全补偿的条件为

$$F(S) G_f(S) + F(S) G_B(S) G_0(S) = 0$$

$$G_B(S) = -\frac{G_f(S)}{G_0(S)} \quad (4)$$

上式给出的条件由于受到物理实现条件的限制，显然只能近似地得到满足，即前馈控制不能全部消除扰动对被控制量的影响，但如果它能去掉扰动对被控制量的大部分影响，则认为前馈控制已起到了应有的作用。为使补偿器简单起见， $G_B(S)$  用比例器来实现，其值按本章式 (2) 来计算。

#### 五、实验步骤

1. 按图 7-6 所示的结构组成液位前馈反馈控制系统，并完成系统的接线。
2. 合上总电源和相关仪表的电源。
3. 按单回路参数的整定方法整定 PI 调节器的参数。
4. 用本章第一节中所述补偿器参数的工程整定方法，实时求出补偿器的  $K_B$  值。
5. 在不加扰动时，先用手动使系统的输出量液位接近于稳态值，然后投入自动运行。
6. 加一适量扰动（变频器支路定值打水），观察并记录被控制量 H 的变化过程。
7. 引入前馈补偿器后，再加同样大小的扰动，观察并记录被控制量 H 的变化过程。

#### 六、实验报告

4. 画出液位前馈-反馈控制系统的方框图。
5. 根据实验，确定前馈补偿器的系数  $K_B$ 。
6. 画出不加前馈补偿器时，系统在扰动作用下被控制量的响应曲线。
7. 画出加上前馈补偿器后，系统在同样扰动作用下被控制量的响应曲线。
8. 根据所得的实验结果进行分析。

#### 七、思考题

1. 试证明前馈补偿器是一种开环控制。

2、有了前馈补偿器后，试问反馈控制系统部分是否还具有抗扰动的功能？

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

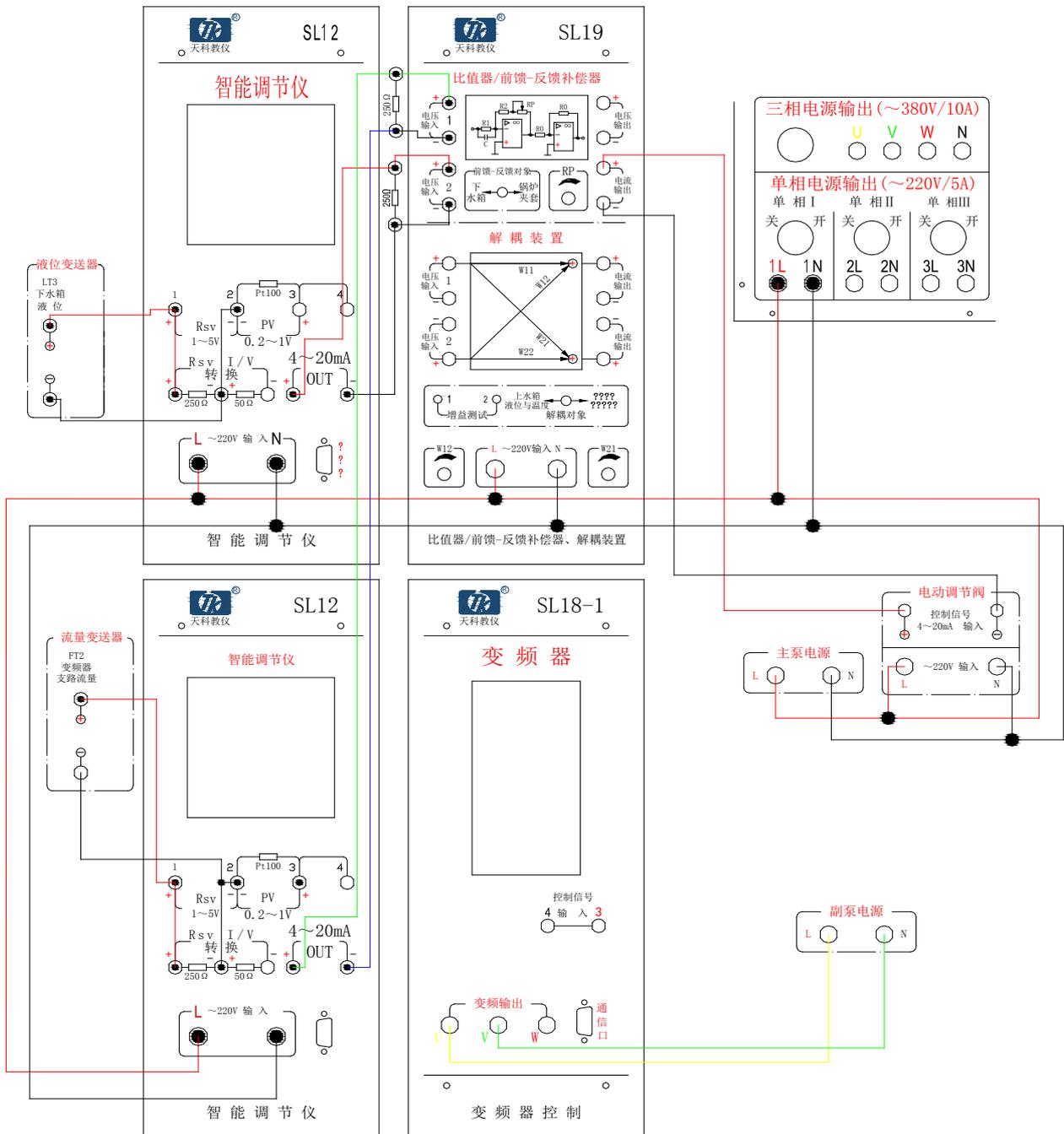
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0- 连接下水箱液位变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1- 连接变频器支路流量输出端	仪表一输出端 A00+、A00- 连接前馈反馈控制器电压输入 2(须并联一个 250 欧电阻)；仪表二输出端 A01+、A01- 连接前馈反馈控制器电压输入 1(须并联一个 250 欧电阻)；前馈反馈控制电流输出连接电动调节阀控制信号
西门子 PLC—200	S7-200PLC 输入端 AI0+、AI0- 连接下水箱液位变送器输出端，输入端 AI1+、AI1- 连接连接变频器支路流量输出端	S7-200PLC 输出端 A00+、A00- 连接电动调节阀控制信号

2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	25	输入上限	dIH	1.20	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

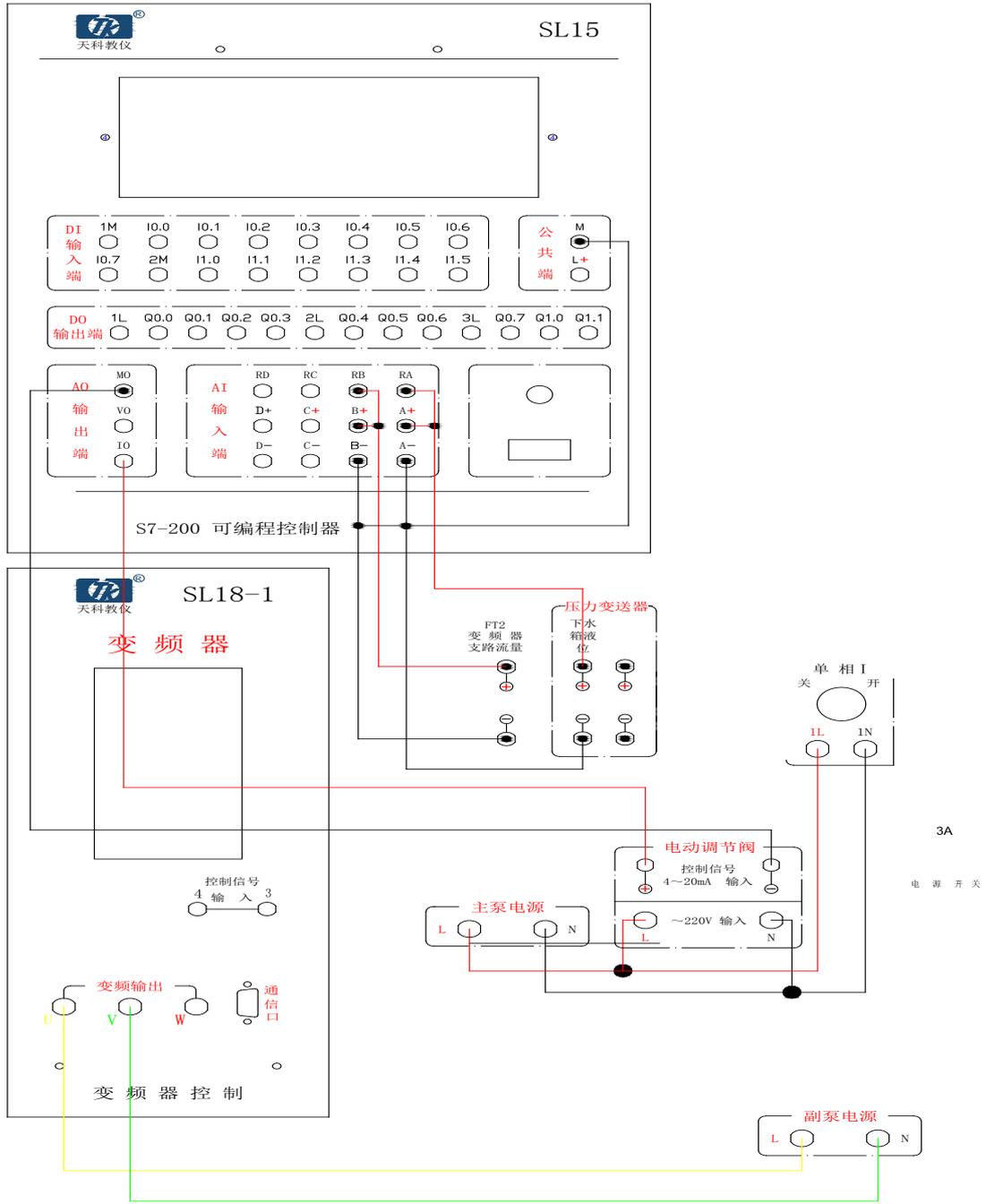
### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



通信口

### 3.2 PLC 系统接线图



# 第八章 解耦控制系统实验

## 第一节 上水箱水温与液位的解耦控制系统

### 一、实验目的

1. 通过实验，了解解耦控制系统的原理。
2. 通过相对增益矩阵的求导，深入理解被控对象的操作量与被控制量间正确配对的重要性。
3. 掌握解耦装置的设计及其物理的实现。

### 二、实验原理

本实验系统中的被控对象为上水箱，其输入与输出变量的方框图如图 8-1 所示。

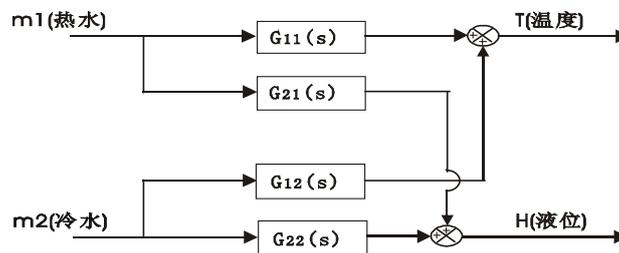


图 8-1 上水箱输入与输出的方框图

上水箱的被控制量为液位  $H$  和水温  $T$ ，控制量分别为可控流量的恒温热水和冷水。显然，被控制量与控制量之间是相互关联的。例如热水流量的变化不仅影响到水箱内水的温度，而且也会使水箱内液位的高度  $H$  发生变化。同理，冷水流量的变化同样会引起水箱的液位和温度变化。为了消除上述耦合产生的不利影响，使控制系统的被控制量  $H$  和  $T$  都能稳定于各自所要求的给定值，必须在系统中引入解耦装置  $G_0(s)$ ，使解耦后的系统等价于两个独立的单回路控制系统。图 8-2 为本实验系统的结构图。

### 三、解耦装置的设计

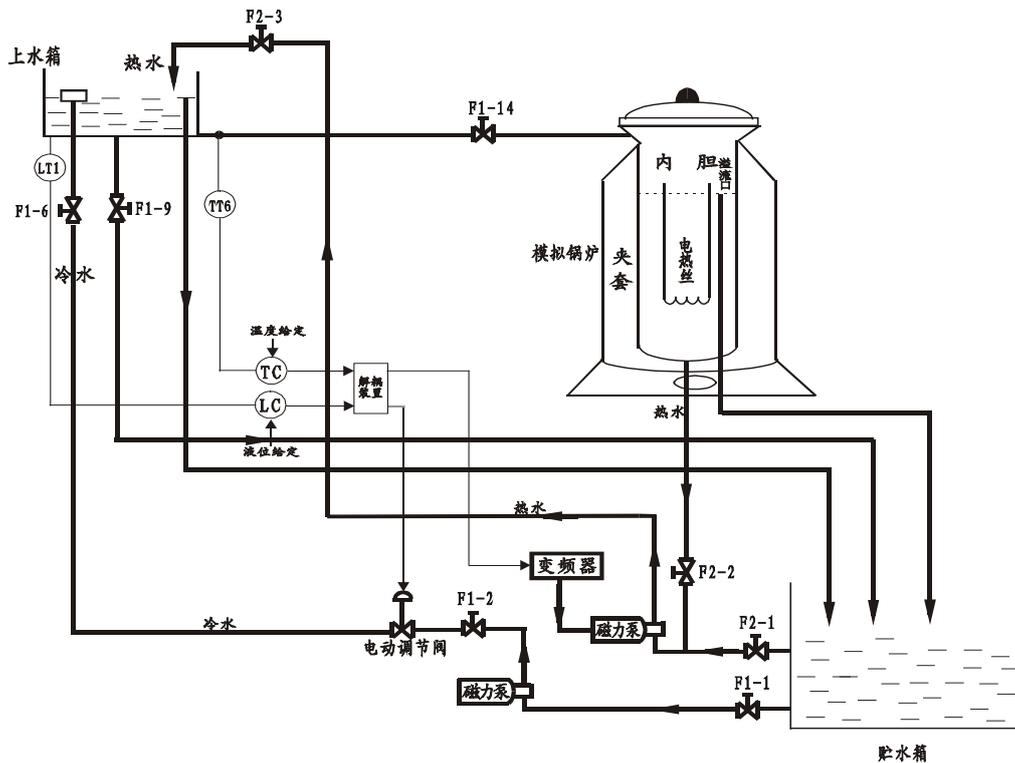


图 8-2 上水箱温度-液位解耦控制系统结构图

实现解耦的方法虽有很多种，但为了使解耦装置的结构简单和调试方便起见，本实验采用前馈补偿的解耦方法。图 8-3 为解耦前系统的方框图，图 8-4 为引入解耦装置后的系统方框图。

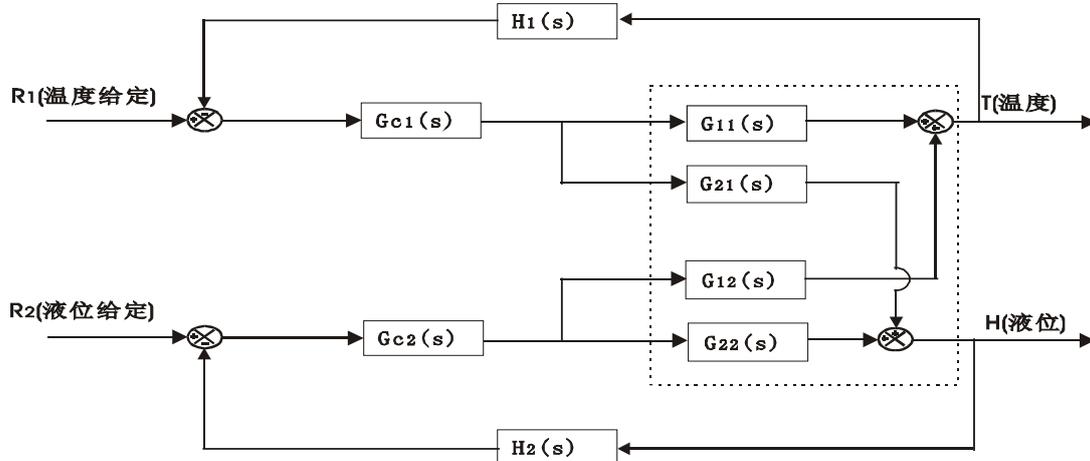


图 8-3 没有解耦的温度-液位控制系统

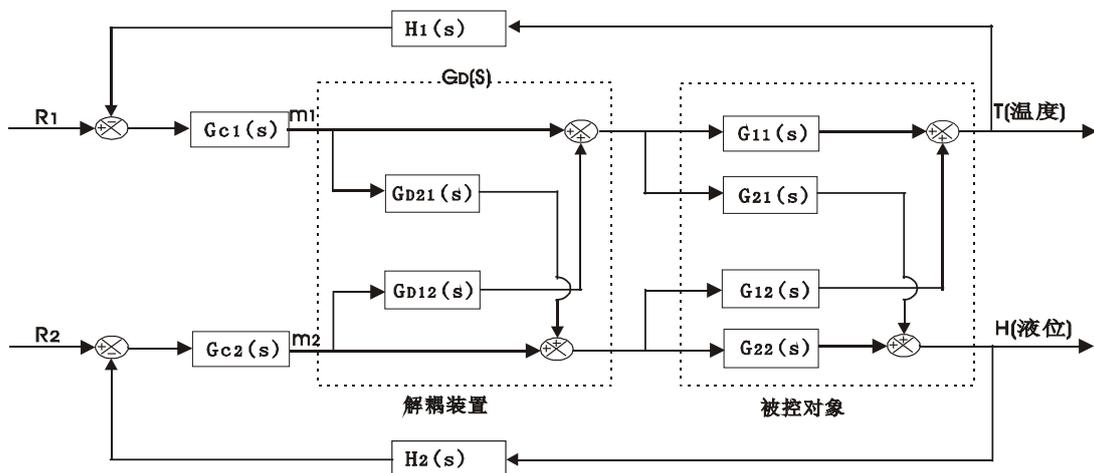


图 8-4 引入解耦装置后的温度-液位控制系统

由图 8-4 可知，系统实现完全解耦的条件为

$$m_1 G_{D21}(s) G_{22}(s) + m_1 G_{21}(s) = 0$$

$$m_2 G_{D12}(s) G_{11}(s) + m_2 G_{12}(s) = 0$$

即

$$G_{D21}(s) = -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} \quad (1)$$

$$G_{D12}(s) = -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} \quad (2)$$

如果式 (1) 和式 (2) 的条件能完全实现，则图 8-4 所示的系统就等价于两个独立的单回路控制系统。

考虑到解耦装置的简单和被控对象有自平衡的特点，本实验采用近似的静态解耦方法，但只要设计和调试正确，一般都能取得很好的解耦效果。

用实验的方法，建立上水箱的被控制量 T、H 与操作量  $m_1$  和  $m_2$  间的静态方程：

$$\Delta T = K_{11} \Delta m_1 - K_{12} \Delta m_2 \quad (3)$$

$$\Delta H = K_{21} \Delta m_1 + K_{22} \Delta m_2 \quad (4)$$

注：式中  $K_{11}$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{21}$ 、 $K_{22}$  分别为  $G_{11}(s)$ 、 $G_{12}(s)$ 、 $G_{21}(s)$ 、 $G_{22}(s)$  的静态增益。

把由实验测得的系数  $K_{11}$ 、 $K_{12}$ 、 $K_{21}$  和  $K_{22}$  分别替代式 (1)、(2) 中的  $G_{11}(s)$ 、 $G_{12}(s)$ 、 $G_{21}(s)$  和  $G_{22}(s)$ ，从而求得静态解耦矩阵为：

$$G_0 = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{k_{21}}{k_{22}} \\ \frac{k_{12}}{k_{11}} & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据式 (5)，设计相应的模拟电路。

#### 四、实验内容与步骤

1. 按图 8-2 的要求完成实验系统的接线。

2. 接通总电源和相关仪表的电源。

3. 实验前先启动变频器-磁力泵支路，使锅炉内胆注满水，然后通过三相 SCR 可控硅加热，使内胆水温上升到某一值，如  $90^\circ\text{C}$ ，并使之恒温，同时把 F1-14 打开到适当的开度。

4. 根据图 8-3，在不加解耦装置的情况下，把调节器  $G_{c1}(s)$  和  $G_{c2}(s)$  均设为手动输出，让上水箱液位和水温均达到自己的期望值（实验时的设定值），然后测试对象的静态增益  $K_{ij}$ ，并计算相对增益矩阵

$\lambda_{ij}$ 。

5. 设定温度 (T) 和液位 (H) 的给定值, 分别在单回路参数整定所得  $\delta$ 、 $T_i$  值的基础上, 适当增大比例度  $\delta$  和积分时间常数  $T_i$  的值, 作为引入解耦装置后调节器  $G_{c1}(s)$  和调节器  $G_{c2}(s)$  的设置参数。

6. 根据图 8-3 所示, 在不加解耦装置  $G_D(s)$  时, 系统由手动投入自动运行, 并在上位机记录下被控制量 T 和 H 的响应曲线。

7. 按图 8-4 所示, 引入解耦装置, 在上电后调节  $G_{D21}$  和  $G_{D12}$  中相关的电位器 (分别对应于解耦装置面板上的  $W_{21}$  和  $W_{12}$  电位器, 并可通过增益测试点 1、2 进行测试), 使它们分别等于式 (5) 所要求的值。

8. 根据先手动, 后自动的原则, 使液位控制回路的被控制量 H 进入稳态并等于给定值; 再手动操作调节器  $G_{c1}(s)$  的输出, 使上水箱内的水温 T 逐渐上升, 当升到设定值并稳定后, 投入自动运行。并在上位机记录下 T 和 H 投入自动运行后的响应曲线。

9. 待系统进入稳态后, 适当改变液位或温度的设定值 (阶跃扰动), 观察被控制量的响应过程。

10. 分别改变  $G_{D12}$  和  $G_{D21}$  的参数, 观察对被控制量 T 和 H 变化的影响。

### 五、实验报告

1. 画出解耦前和解耦后系统的方框图
2. 根据实验所求的静态增益  $K_{ij}$ , 计算相对增益矩阵  $\lambda$ 。
3. 对由实验求得的解耦前和解耦后系统被控制量 T 和 H 的响应曲线作出分析和评述。

### 六、思考题

1. 根据所求的相对增益矩阵  $\lambda$ , 说明本实验中的对象的操作量与被控制量间的配对是否正确?
2. 试推导解耦前和解耦后系统的特征方程?
3. 如果本实验采用单位矩阵法解耦, 你如何设计解耦装置电路?

## 实验附录

1. 如用 PLC 系统, 其接线方式请参考下表, 其它操作与上述实验步骤相似。

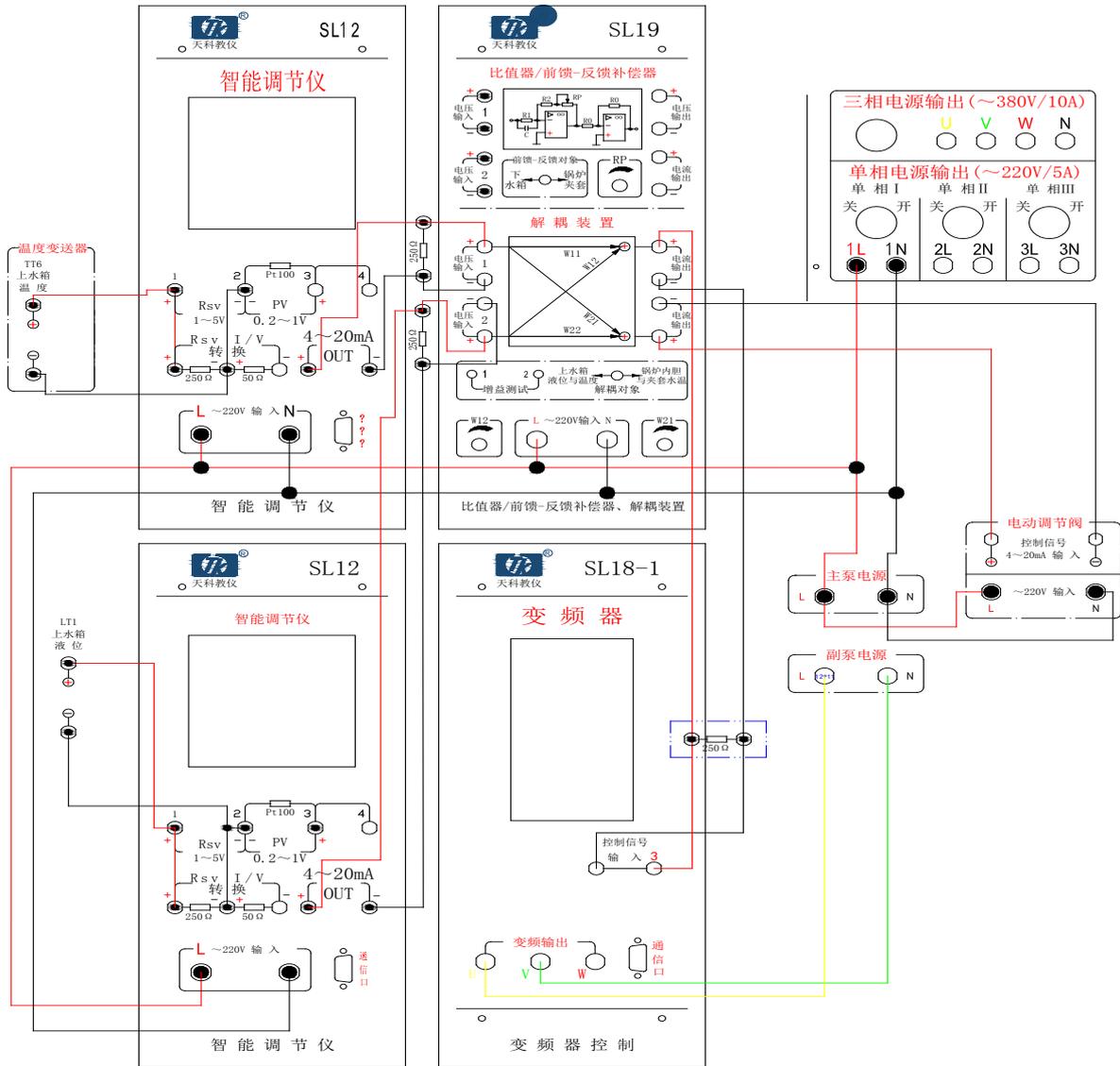
控制器	输入	输出
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0- 连接上水箱温度变送器输出端, 仪表二输入端 AI1+、AI1- 连接上水箱液位输出端	仪表一输出端 A00+、A00- 连接解耦控制器电压输入 2 (须并联一个 250 欧电阻); 仪表二输出端 A01+、A01- 连接解耦控制器电压输入 1 (须并联一个 250 欧电阻); 解耦控制器电流输出 1 连接变频器控制信号; 解耦控制器电流输出 2 连接调节阀控制信号

2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
Sn	33	输入规格	Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	2	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	1.2	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	10	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图



## 第二节 锅炉内胆水温与锅炉夹套水温解耦控制系统

### 一、实验目的

1. 通过实验，进一步了解解耦控制系统的原理。
2. 掌握解耦装置的设计与其结构组成。
3. 掌握解耦装置的设计及其物理的实现。
4. 掌握解耦控制系统的参数整定和投运。

### 二、实验原理

在生产过程中，往往有多个被控制量需要控制，因而有多个输入量参与控制，即被控过程（对象）是多输入、多输出的。这种对象的被控制量与控制量之间往往是相互关联的，一个控制量的变化将会同时引起多个被控制量的变化。为了对各个被控制量进行定值控制，就需要设置相应的负反馈控制回路。显然，这些控制回路之间也必然存在着关联和耦合的现象。

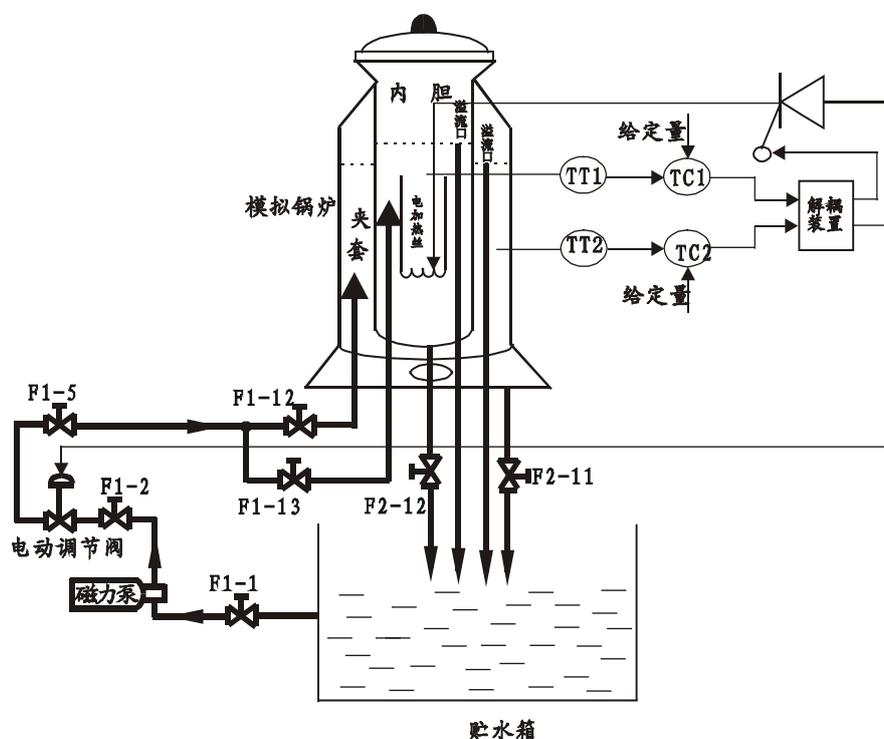


图 8-5 温度-温度解耦控制系统结构示意图

本实验系统的被控制量是锅炉内胆水温  $T_1$  和夹套水温  $T_2$ ，控制量分别为可控硅调压电路的输出电压  $U$  和夹套循环水的流量  $Q$ 。显然，这些被控制量与控制量之间是相互关联的。所谓解耦控制，就是通过解耦装置  $W_0(S)$ ，使系统中任意一个控制量的变化，只影响其对应的那个被控制量，而不影响其它控制回路的被控制量，从而把一个多变量的控制系统分解为若干个独立的单变量控制系统。

常见的解耦方法有前馈补偿法、单位矩阵法和对角线矩阵法三种，其中以前馈补偿法的结构为最简单，单位矩阵法综合系统的性能为最优。本实验仍采用前馈补偿法，这种方法实际上就是把某一通道的调节器输出对另外通道的影响视为一扰动作用。然后，用前馈控制的补偿原理，消除控制回路间耦合关联的影响。图 8-5 为本实验的结构图，图 8-6 为未加前馈补偿装置时系统的方框图。

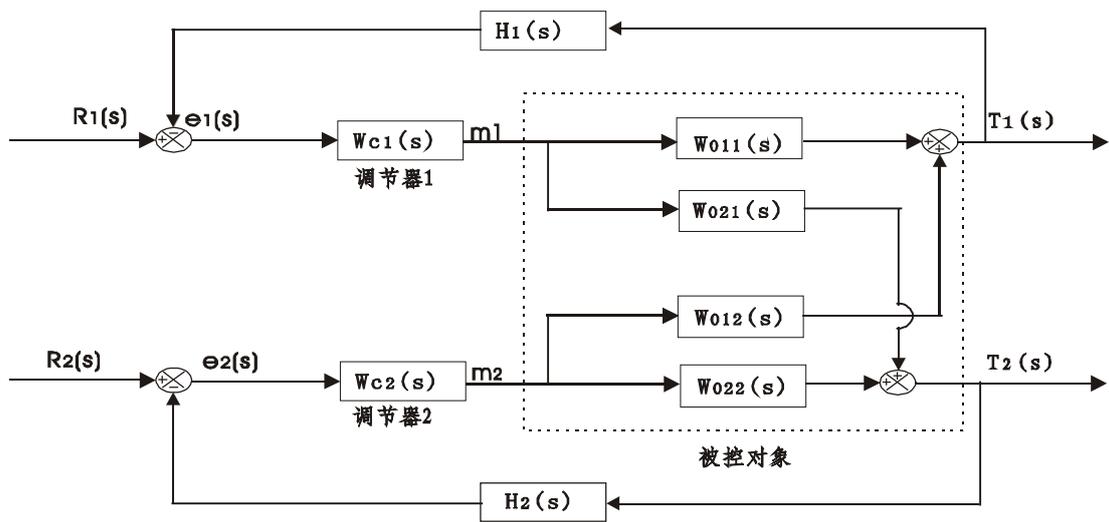


图 8-6 未加前馈补偿解耦装置的控制系统

由图 8-6 可知，若不加解耦装置，则这个系统是不能正常工作的，例如内胆水温  $T_1$  下降，则偏差  $e_1$  上升，使三相可控硅调压输出电压  $U_1$  上升，即  $T_1$  上升，同时由于  $T_1$  上升使夹套水温  $T_2$  上升，偏差  $e_2$  下降，调节器 2 的输出使电动调节阀的开度  $\theta$  增大，使  $T_2$  下降，同时也使  $T_1$  下降。由此可见，可控硅调压器与电动调节阀的作用是相互影响的，从而使两被控制量  $T_1$  和  $T_2$  都不能稳定于设定值。为此，在该系统中必须引入一合适的解耦装置，以使该系统的功能等效于两个独立的单回路控制系统。

### 三、前馈补偿解耦装置的设计

引入前馈补偿解耦装置后的系统如图 8-7 所示。

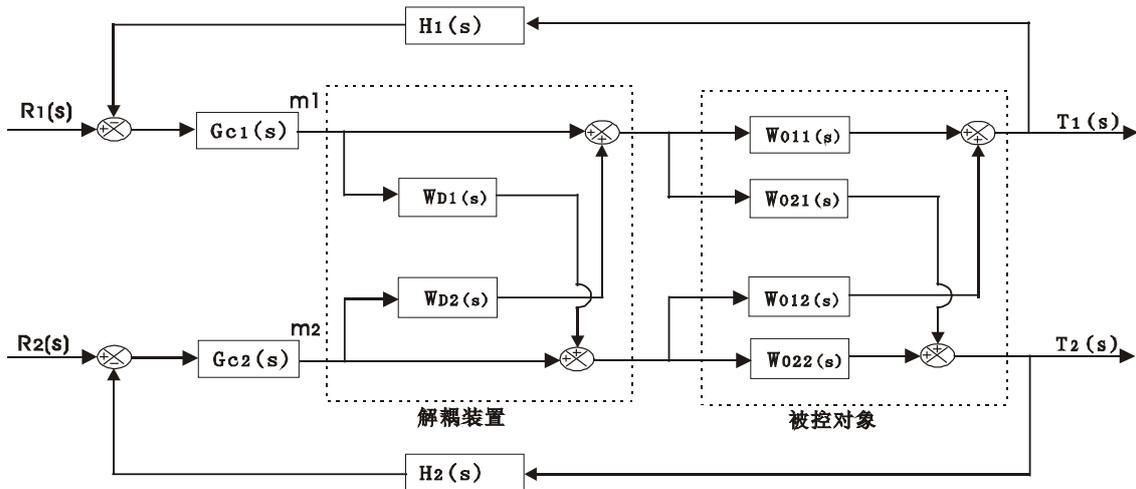


图 8-7 具有前馈补偿解耦装置的控制系统

由该图可知，前馈全补偿的条件为

$$m_1 W_{021}(S) + m_1 W_{D1}(S) W_{022}(S) = 0$$

$$m_2 W_{012}(S) + m_2 W_{D2}(S) W_{011}(S) = 0$$

即：

$$W_{D1}(S) = -\frac{W_{021}(S)}{W_{022}(S)} \quad (1)$$

$$W_{D2}(S) = -\frac{W_{012}(S)}{W_{011}(S)} \quad (2)$$

式中:

$$W_{011}(S) = K_{11}g_{11}(S) \qquad W_{012}(S) = -K_{12}g_{12}(S)$$

$$W_{021}(S) = K_{21}g_{21}(S) \qquad W_{022}(S) = -K_{22}g_{22}(S)$$

K 为比例系数, g(S) 为动态部分的表达式。

虽然前馈补偿解耦装置较为简单, 但其用模拟装置来实现还有较多的难度。为此, 在工程中常采用一种基本且有效的补偿方法——静态解耦。本实验就是采用这种方法对系统进行解耦, 即不考虑对象的动态部分 g(S), 只取其前面的比例系统 K。这样, 上述所求的前馈装置变为:

$$W_{D1}(S) = -\frac{W_{021}(S)}{W_{022}(S)} \approx -\frac{K_{21}}{K_{22}} \qquad (3)$$

$$W_{D2}(S) = -\frac{W_{012}(S)}{W_{011}(S)} \approx -\frac{K_{12}}{K_{11}} \qquad (4)$$

式中参数 K<sub>11</sub>、K<sub>12</sub>、K<sub>21</sub> 和 K<sub>22</sub> 可用实验的方法确定, 即在锅炉所要求的平衡状态下 (T<sub>10</sub> 和 T<sub>20</sub>), 通过分别突加操作量 m<sub>1</sub> 和 m<sub>2</sub>, 建立它们与被控制量 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 间的静态方程:

$$\Delta T_1 = K_{11} \Delta m_1 - K_{12} \Delta m_2$$

$$\Delta T_2 = K_{21} \Delta m_1 - K_{22} \Delta m_2$$

W<sub>D1</sub>(S) 和 W<sub>D2</sub>(S) 可采用以运放为核心元件组成的比例调节器来实现。

#### 四、实验步骤

1. 据实验系统的结构图, 组成一个前馈补偿解耦控制系统
2. 接通总电源和相关仪表的电源。
3. 打开阀 F1-1、F1-2、F1-5、F1-12 和 F1-13, 给锅炉夹套打满水, 同时把锅炉内胆打水到最大容量的三分之二左右。
4. 根据图 8-6, 在不加解耦装置的情况下, 把调节器 G<sub>C1</sub>(s) 和 G<sub>C2</sub>(s) 均设为手动输出, 让锅炉内胆水温 T<sub>1</sub> 与夹套水温 T<sub>2</sub> 均达到自己的期望值 (实验时的设定值), 然后测试对象的静态增益 K<sub>ij</sub>, 并计算相对增益矩阵 λ<sub>ij</sub>。
5. 设定锅炉内胆水温 T<sub>1</sub> 与夹套水温 T<sub>2</sub> 的给定值, 分别在单回路参数整定所得 δ、T<sub>i</sub> 值的基础上, 适当增大比例度 δ 和积分时间常数 T<sub>i</sub> 的值, 作为引入解耦装置后调节器 G<sub>C1</sub>(s) 和调节器 G<sub>C2</sub>(s) 的设置参数。
6. 根据图 8-6 所示, 在不加解耦装置 G<sub>D</sub>(S) 时, 系统由手动投入自动运行, 并在上位机记录下被控制量 T 和 H 的响应曲线。
7. 按图 8-7 所示, 引入解耦装置, 在上电后调节 G<sub>D21</sub> 和 G<sub>D12</sub> 中相关的电位器 (分别对应于解耦装置面板上的 W<sub>21</sub> 和 W<sub>12</sub> 电位器, 并可通过增益测试点 1、2 进行测试), 使它们分别等于式 (3)、(4) 所要求的值。
8. 根据先手动, 后自动的原则, 使锅炉内胆水温 T<sub>1</sub> 进入稳态并等于给定值; 再手动操作调节器 G<sub>C1</sub>(S) 的输出, 当锅炉夹套的水温 T<sub>2</sub> 进入稳态设定值并稳定后, 投入自动运行。并在上位机记录下 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 投入自动运行后的响应曲线。
9. 待系统进入稳态后, 适当改变锅炉内胆水温 T<sub>1</sub> 或夹套水温 T<sub>2</sub> 的设定值 (阶跃扰动), 观察被控制量的响应过程。
10. 分别改变 G<sub>D1</sub> 和 G<sub>D2</sub> 的参数, 观察对被控制量 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 变化的影响。

#### 五、实验报告

1. 画出解耦前和解耦后系统的方框图
2. 根据实验所求的静态增益 K<sub>ij</sub>, 计算相对增益矩阵 λ。
3. 对由实验求得的解耦前和解耦后系统被控制量 T<sub>1</sub> 和 T<sub>2</sub> 的响应曲线作出分析和评述。

## 六、思考题

1. 根据所求的相对增益矩阵  $\lambda$ ，说明本实验中的对象的操作量与被控制量间的配对是否正确？
2. 试推导解耦前和解耦后系统的特征方程？
3. 如果本实验采用单位矩阵法解耦，你如何设计解耦装置电路？

## 实验附录

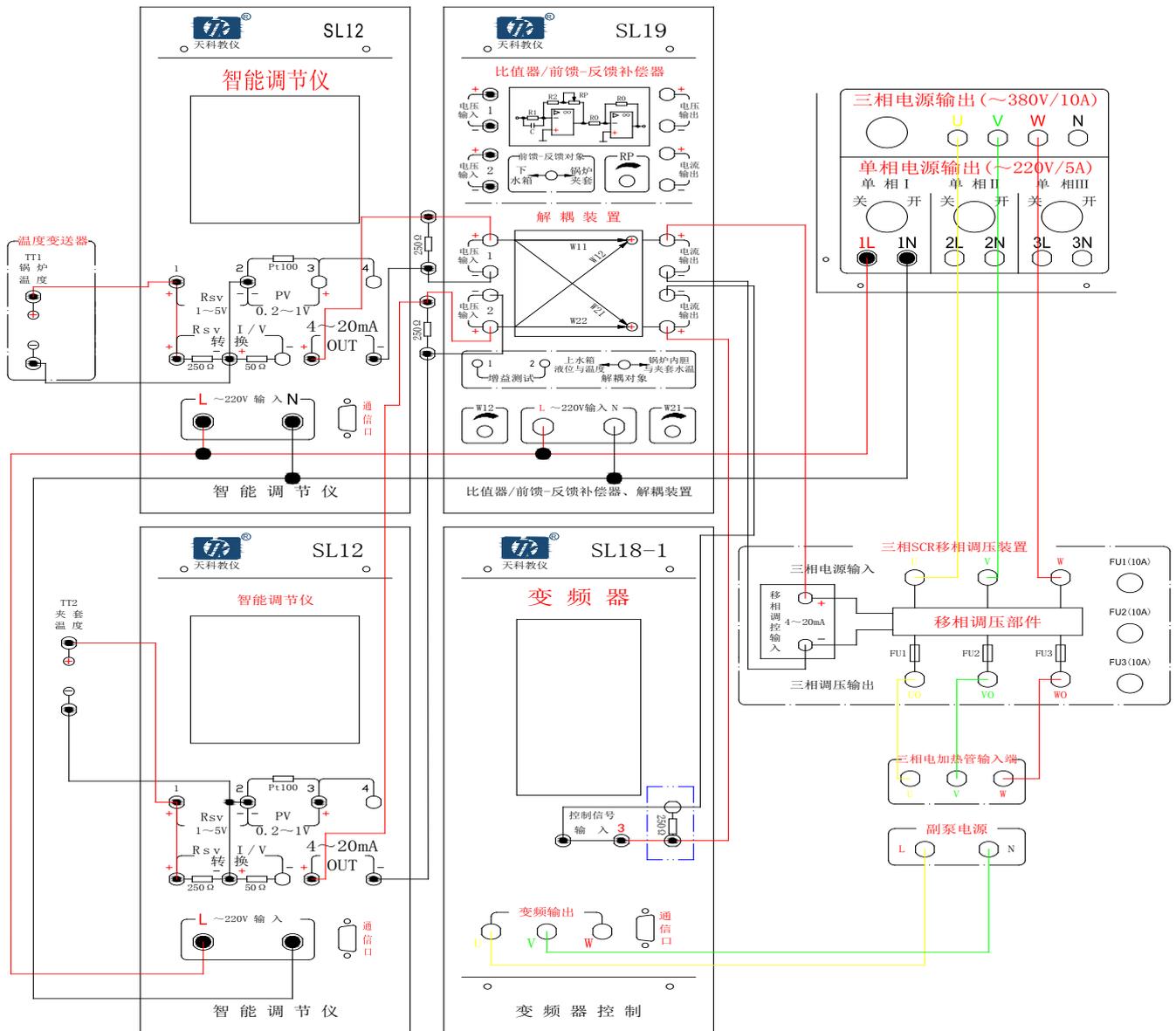
1. 如用 PLC 系统，其接线方式请参考下表，其它操作与上述实验步骤相似。

2. 智能仪表的参数设置如下表

智能仪表一			智能仪表二		
参数	数值	注释	参数	数值	注释
Ctrl	1	控制方式	Ctrl	1	控制方式
控制器	输入		输出		
智能仪表	仪表一输入端 AI0+、AI0- 连接锅炉内胆温度变送器输出端，仪表二输入端 AI1+、AI1- 连接锅炉夹套温度输出端		仪表一输出端 A00+、A00- 连接解耦控制器电压输入 2(须并联一个 250 欧电阻)；仪表二输出端 A01+、A01- 连接解耦控制器电压输入 1(须并联一个 250 欧电阻)；解耦控制器电流输出 1 连接三相移相调压模块控制信号；解耦控制器电流输出 2 连接变频器控制信号		
Sn	33	输入规格	Sn	33	输入规格
dIP	1	小数点位置	dIP	1	小数点位置
dIL	0	输入下限	dIL	0	输入下限
dIH	100	输入上限	dIH	100	输入上限
oP1	4	输出方式	oP1	4	输出方式
oPL	0	输出下限	oPL	0	输出下限
oPH	100	输出上限	oPH	100	输出上限
CF	0	系统功能选择	CF	0	系统功能选择
Addr	1	通讯地址	Addr	2	通讯地址
bAud	9600	波特率	bAud	9600	波特率

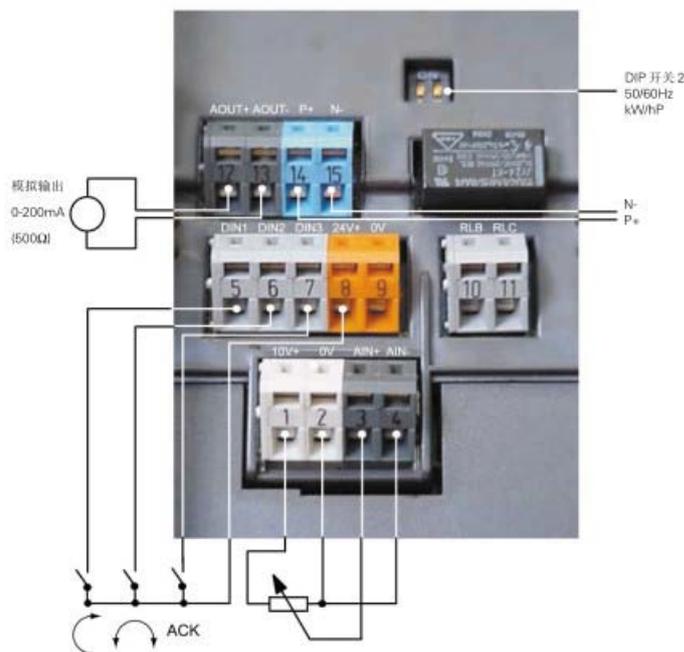
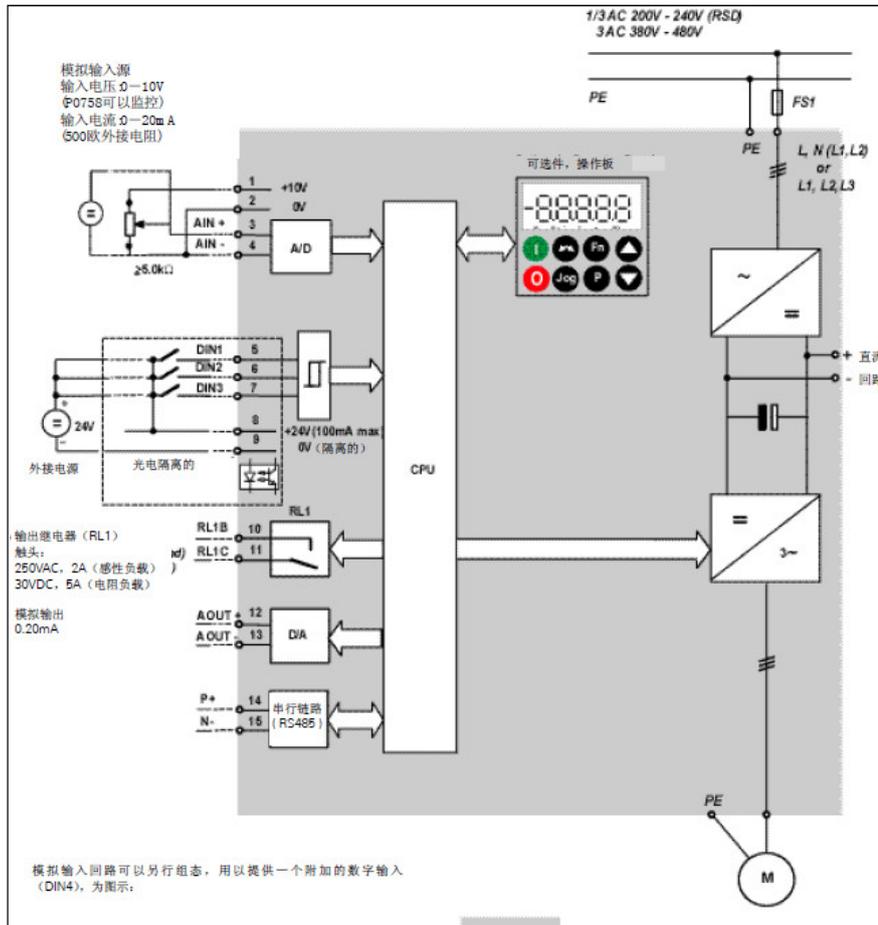
### 3. 实验参考接线图

#### 3.1 智能仪表系统接线图

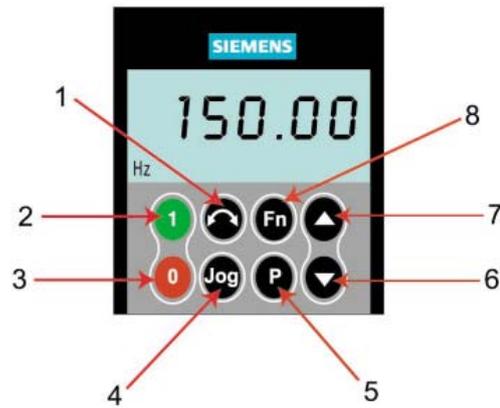


# 附录 1 西门子变频器 MM420 简单使用说明

## 1. MM420 接线图



## 2. 面板 BOP 介绍



- |    |       |  |
|----|-------|--|
| 1. | 改变方向  | 改变电动机转动的方向。用一个负号(-)或一个闪烁的小数点指示反向旋转。                    |
| 2. | 启动变频器 | 本按钮可以启动变频器。缺省状态下该按钮被禁止。如果要使能该按钮，请将 P0700 设置为 1。        |
| 3. | 停止变频器 | 本按钮按照 P1121 设置的时间(斜坡下降时间)停止变频器。                        |
| 4. | 电动机点动 | 当变频器没有输出时，本按钮可以按照预置的点动频率启动和运行电动机。释放该按钮时变频器停止。          |
| 5. | 访问参数  | 按下本按钮，允许用户按照选定的用户访问级别访问参数。                             |
| 6. | 减少数值  | 按下本按钮可减少显示值。如果要通过 BOP 改变频率设置值，请设置 P1000=1。             |
| 7. | 增加数值  | 按下本按钮可增加显示值。如果要通过 BOP 改变频率设置值，请设置 P1000=1。             |
| 8. | 功能    | 本按钮可用于查看附加信息。请参阅 MICROMASTER 420 《操作说明》第 44 页的 51.2 节。 |

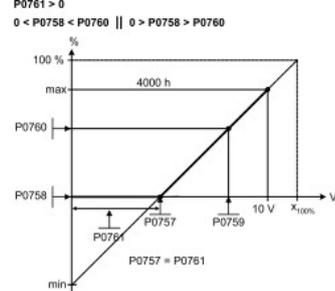
### 3. 快速调试

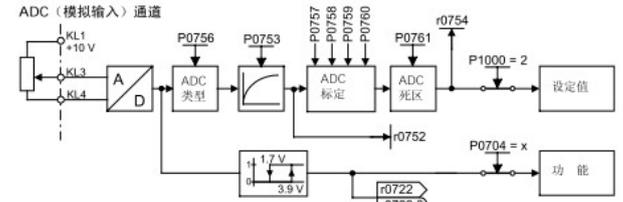
<p><b>P0010 启动快速调试</b>                  0= 准备就绪  <u>1= 快速调试</u>                  30= 出厂设置                  请注意在操作电动机之前，P0010 必须已经设置回“0”。但是如果在调试之后设置了P3900=1，将自动进行这一设置。</p>	<p><b>P0700 命令来源选择 §</b>                  (开/关/反向)                  0= 出厂设置                  1= 基本操作面板                  2= 接线端子</p>
<p><b>P0100 欧洲/北美操作</b>                  0= 功率为 kW/f 默认为 50Hz  <u>1= 功率为马力(hp)/f 默认为 60Hz</u>                  2= 功率为 kW/f 默认为 60Hz                  注意:设置 0 和 1 时应当用 DIP 开关进行改变以允许永久设置。</p>	<p><b>P1000 频率设置值选择 §</b>                  0= 无频率设置值                  1= BOP 频率控制                   2= 模拟设置值                  3= 固定频率设置值</p>
<p><b>P0304 * 额定电动机电压</b>                  10-2000V                  从额定标牌上查找电动机额定电压[V]</p>	<p><b>P1080 最小电动机频率</b>                  设置电动机运行时的最小电动机频率(0-650Hz)                  无论频率的设定值是多少，此处设置的值在顺时针和逆时针转动时都有效。</p>
<p><b>P0305 * 额定电动机电流</b>                  0-2x 变频器额定电流(A)                  从额定标牌上查找电动机额定电流(A)</p>	<p><b>P1082 最大电动机频率</b>                  设置电动机运行的最大电动机频率(0-650Hz)                  无论频率的设定值是多少，此处设置的值在顺时针和逆时针转动时都有效。</p>
<p><b>P0307 * 额定电动机功率</b>                  0-2000kW                  从额定标牌上查找电动机额定功率(kW)。如果 P0100=1，功率单位是马力(hp)。</p>	<p><b>P1120 斜坡上升时间</b>                  0-650s                  电动机从静止加速到最大电动机频率所需要的时间。</p>
<p><b>D310 * 额定电动机频率</b>                  12-650Hz                  从额定标牌上查找电动机额定频率(Hz)。</p>	<p><b>P1121 斜坡下降时间</b>                  0-650s                  电动机从最大电动机频率减速到静止所需要的时间。</p>
<p><b>P0311 * 额定电动机速度</b>                  0-40000 1/min                  从额定标牌上查找电动机额定速度(rpm)</p>	<p><b>P3900 结束快速调试</b>                  0= 电动机计算或出厂设置无复位，结束快速调试  <u>1= 电动机计算或出厂设置有复位，结束快速调试(推荐)</u>                  2= 参数和 I/O 设置无复位，结束快速调试                  3= I/O 设置有复位，结束快速调试。</p>

### 4. 模拟量输入通道标化

P0757 =...	标定 ADC 的 x1 值	0V
P0758 =...	标定 ADC 的 y1 值	0.0 %
P0759 =...	标定 ADC 的 x2 值	10V
P0760 =...	标定 ADC 的 y2 值	100.0 %
P0761 =...	ADC 死区的宽度	0V

本参数设定以 P2000 (基准频率)的%值表示的 y1 值。  
 本参数设定以 P2000 (基准频率)的%值表示的 y2 值。  
 本参数设定模拟输入的死区宽度[V]。





举例

输入通道接线端 3、4 电压：1~5V 对应 0~50HZ ;设置 P0761=1, P0759=5