

国家级高技能人才培训基地建设项目成果教材

过程控制 实训指导

GUOCHENG KONGZHI

SHIXUN ZHIDAO

杭州市公共实训指导中心 组织编写



中国劳动社会保障出版社

国家级高技能人才培养基地建设项目成果教材

过程控制实训指导

主 编 陈岁生 程丽萍

副主编 何丽莉 段剑文 孟伟



中国劳动社会保障出版社



TP273-43
191

213840410

图书在版编目(CIP)数据

过程控制实训指导/陈岁生,程丽萍主编. —北京:中国劳动社会保障出版社,2014

国家级高技能人才培养基地建设项目成果教材

ISBN 978-7-5167-1063-0

I. ①过… II. ①陈…②程… III. ①过程控制-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 092007 号

程丽萍 主笔 陈岁生 主
卦 孟 文 险 姆 陈 丽 回 主 编

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

*

三河市华骏印务包装有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 8.25印张 183千字

2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷

定价:19.00元

读者服务部电话:(010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话:(010) 64961894

出版社网址:<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错,请与本社联系调换:(010) 80497374

我社将与版权执法机关配合,大力打击盗印、销售和使用盗版
图书活动,敬请广大读者协助举报,经查实将给予举报者奖励。

举报电话:(010) 64954652

前言

人力资源是第一资源,人才优势是第一优势。技能人才是人才队伍的重要组成部分,是推动经济发展和社会进步的重要力量。在全面建成小康社会、加快推进现代化建设的关键时期,无论是经济转型升级,还是创新社会管理,都更加需要技能人才的支撑。因此,加快培养一支具有良好职业素养、专业知识和技能水平的高素质技能人才队伍,已成为我们肩负的一项历史责任。

近年来,在国家一系列促进就业政策的推动下,各地积极畅通就业渠道、强化技能培训,把人口压力转化为人力资源优势,保持了就业形势的基本稳定。但是,伴随产业结构调整、经济转型升级和社会管理创新的进程,就业趋向的变化会进一步显现,就业结构的调整会进一步加快,就业技能更新和提升的要求会进一步突出。要解决这些发展中的矛盾和问题,就必须牢固树立素质就业和终身培训的理念,努力构建面向全体劳动者的职业技能培训制度。这是我们的必由之路,同时也是当今世界各发达国家在人才队伍建设上的一条共同经验。

为探索建立具有自身特点的高技能人才培训体系,杭州市公共实训基地按照国家级高技能人才培训基地项目建设的要求,整合社会资源,创新体制机制,着手开展高技能人才培训师资队伍建设和教材体系开发等工作。在杭州职业技术学院的大力支持下,基地组织相关专家编写了先进机械制造、电工电子与自动化、食品与药品分析检测等专业(职业)高级工技能实训指导教材,该系列教材既注重了高级工应掌握的基本理论和“四新”要求,又强化了岗位实际操作技能训练的特点,具有较强的指导性和实用性,是一套适应高技能人才岗位技能培训与鉴定的好教材。希望这套实训教材的出版,能为培养更多技能人才提供有针对性的指导,帮助广大职工和青年学习职业技能、立足岗位成才。同时,也希望以此为契机,进一步促进政府部门、职业院校和行业企业加强协作,强化国家级高技能人才培训基地各项基础工程建设,真正把它建设成高技能人才的“孵化器”,使之成为推广运用新技术和新工艺的“方向标”,努力营造全社会“崇尚一技之长、不唯学历凭能力”的浓厚氛围。

杭州市人力资源和社会保障局副局长

方海洋

2014年4月

目 录

实训安全须知	1
第一章 实训装置说明	2
第一节 过程控制综合实训平台概述	2
第二节 THJ-3 型高级过程控制对象系统装置	3
第三节 THSA-1 型过控综合自动化控制系统实训平台	6
第二章 DCS 系统简介	12
第一节 MACSV 系统概述	12
第二节 信号模块的状态指示及功能特点	14
第三章 DCS 系统硬件	15
第一节 主控单元	15
第二节 FM148A 模拟量输入模块	17
第三节 FM143 八路热电阻模拟量输入模块	19
第四节 FM151A 八路模拟量输出模块	21
第五节 FM131 普通端子模块	23
第六节 实训装置接线总说明	25
第四章 系统软件	28
第一节 系统软件简介	28
第二节 MACSV 系统组态流程	28
第三节 MACSV 应用工程及工程的编译和下装	33
第四节 操作员站软件的启动	34
第五章 被控对象特性测试实训	36
项目一 单容自衡水箱液位特性测试实训	36
项目二 双容水箱特性测试实训	41
第六章 单回路控制系统实训	46
项目一 单容液位定值控制实训	50
项目二 双容水箱液位定值控制实训	54
项目三 三容水箱液位定值控制实训	56
项目四 锅炉内胆水温定值控制实训	57
项目五 锅炉夹套水温定值控制实训	61
项目六 单闭环流量定值控制实训	64
第七章 串级控制系统实训	67
项目一 水箱液位串级控制实训	69



项目二	三闭环液位控制实训	73
项目三	锅炉夹套水温与内胆水温串级控制实训	76
项目四	锅炉内胆水温与循环水流量串级控制实训	79
项目五	盘管出口与锅炉内胆的水温串级控制实训	82
项目六	盘管出水口水温与热水流量的串级控制实训	84
项目七	下水箱液位与进水流量串级控制实训	87
第八章	比值控制系统实训	92
项目一	单闭环流量比值控制实训	94
项目二	双闭环流量比值控制实训	98
第九章	前馈—反馈控制系统实训	100
项目一	下水箱液位前馈—反馈控制实训	100
项目二	锅炉内胆水温前馈—反馈控制实训	105
第十章	滞后控制系统实训	109
项目一	盘管出水口温度滞后控制实训	109
项目二	盘管出水口流量纯滞后控制实训	113
第十一章	解耦控制系统实训	116
项目一	上水箱水温与液位的解耦控制实训	117
项目二	锅炉内胆水温与夹套水温解耦控制实训	122

第一章 实训装置说明

第一节 过程控制综合实训平台概述

一、概述

“THSA-1 型过控综合自动化控制系统实训平台”由控制对象、实训控制台及上位监控 PC 机三部分组成。其中,控制对象是 THJ-3 型高级过程控制对象系统装置,将在本章第二节中进行介绍;实训控制台为 THSA-1 型过控综合自动化控制系统实训平台,将在本章第三节中进行详细介绍。THSA-1 型过控综合自动化控制系统实训平台是根据工业自动化及其他相关专业的教学特点,吸收了国内外同类实训装置的优点,经过精心设计,反复论证而推出的一套全新的综合性实训装置。本装置结合了当今工业现场过程控制的现状,是一套集自动化仪表技术、计算机技术、通信技术、自动控制技术及现场总线技术为一体的多功能实训设备。该系统包括流量、温度、液位、压力等热工参数,可实现系统参数辨识、单回路控制、串级控制、前馈—反馈控制、滞后控制、比值控制、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 AI 智能仪表、单片机控制、DDC 远程数据采集、DCS 分布式控制、PLC 可编程控制、FCS 现场总线控制等多种控制系统,它既可作为本科、专科、高职过程控制课程的实训装置,也可为教师、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一个物理模拟对象和实验平台。

学生通过本实训装置进行综合实训后可掌握以下内容:

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。
11. 各种控制方案的生成过程及控制算法程序的编制方法。



二、系统特点

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 控制参数和控制方案多样化。通过不同被控参数、动力源、控制器、执行器及工艺管路的组合可构成几十种过程控制系统实训项目。
5. 各种控制算法和调节规律在开放的实训软件平台上都可以实现。实验数据及图表在上位机软件系统中很容易存储及调用,以便使用者进行实验后的比较和分析。
6. 可采用 AI 智能仪表控制、DCS 分布式控制、S7-200 或 S7-300 PLC 可编程控制、DDC 远程数据采集控制等多种控制方式。
7. 充分考虑了各大高校自动化专业的大纲要求,完全能满足实训、实验、课程设计、毕业设计的需要,学生可自行设计实训、实验方案,进行综合性、创造性过程控制系统实训或实验的设计、调试、分析,培养学生的独立操作、独立分析问题和解决问题的能力。

三、实训装置的安全保护措施

1. 三相四线制总电源输入经带漏电保护装置的三相四线制断路器进入系统电源之后又分为一个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的三相、单相断路器。总电源设有三相通电指示灯和 380 V 三相电压指示表,三相带灯熔断器作为断相指示。
2. 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。
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自保护功能。
5. 强电接线插头采用封闭式结构,以防止发生触电事故。
6. 强弱电连接线采用不同结构的插头、插座,防止强弱电混接。

第二节 THJ-3 型高级过程控制对象系统装置

实训控制对象系统装置总貌图如图 1-1 所示。

本控制对象装置主要由水箱、锅炉和盘管三大部分组成。供水系统有两路:一路由三相(380 V 恒压供水)磁力驱动泵、电动调节阀、直流电磁阀、涡轮流量计(FT1)及手动调节阀(F1-1、F1-2、…、F1-14)组成;另一路由变频器、三相磁力驱动泵(220 V 变频调速)、涡轮流量计(FT2)及手动调节阀(F2-1、F2-2、…、F2-9)组成。

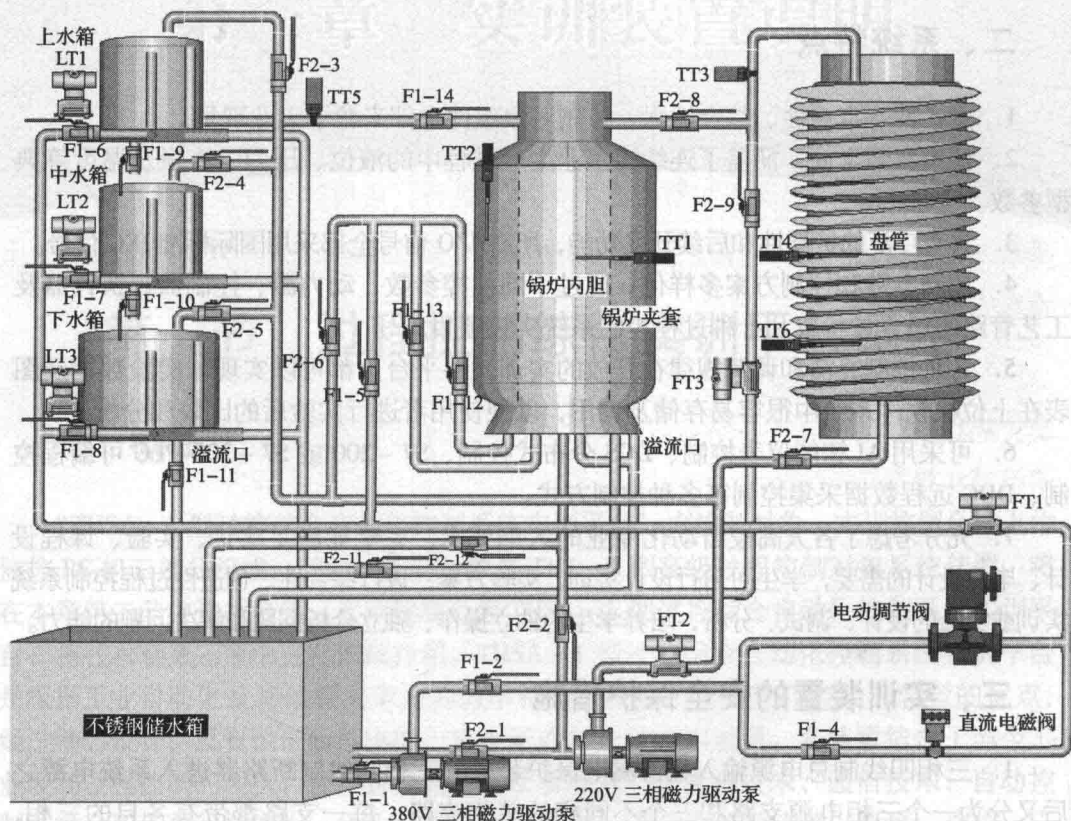


图 1-1 实训控制对象总貌图

一、被控对象

被控对象包括不锈钢储水箱、三个串接的有机玻璃水箱（上水箱、中水箱、下水箱）、4.5 kW 三相电加热模拟锅炉（由不锈钢锅炉内胆加温筒和封闭式锅炉夹套构成）、盘管和敷塑不锈钢管道等。

1. 水箱

水箱包括上水箱、中水箱、下水箱和储水箱。上、中、下水箱采用淡蓝色优质有机玻璃，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“ $D=35\text{ cm}$ ， $H=20\text{ cm}$ ”。水箱结构独特，由三个槽组成，分别为缓冲槽、工作槽和出水槽，进水时水管的水先流入缓冲槽，出水时工作槽的水经过带燕尾槽的隔板流入出水槽，这样经过缓冲和线性化的处理，工作槽的液位较为稳定，便于观察。水箱底部均接有扩散硅压力传感器与变送器（LT1、LT2、LT3），可对水箱的压力和液位进行检测和变送。上、中、下水箱可以组合成一阶、二阶、三阶单回路液位控制系统和双闭环、三闭环液位串级控制系统。储水箱由不锈钢板制成，尺寸为：长×宽×高=68 cm×52 cm×43 cm，完全能



满足上、中、下水箱的实训供水需要。储水箱内部有两个椭圆形塑料过滤网罩,以防杂物进入水泵和管道。

2. 模拟锅炉

模拟锅炉是利用电加热管加热的常压锅炉,包括加热层(锅炉内胆)和冷却层(锅炉夹套),均由不锈钢精制而成,可利用它进行温度实验。做温度实验时,冷却层的循环水可以使加热层的热量快速散发,从而使加热层的温度快速下降。冷却层和加热层都装有温度传感器(TT1为加热层温度传感器,TT2为冷却层温度传感器)检测其温度,可完成温度的定值控制、串级控制、前馈—反馈控制、解耦控制等实训。

3. 盘管

盘管模拟工业现场的管道输送和滞后环节,长37 m(43圈),在盘管上有三个不同的温度检测点(TT3、TT4、TT6),它们的滞后时间常数不同,在实训过程中可根据不同的实训需要选择不同的温度检测点。盘管的出水通过手动阀门(F2-8、F2-9)的切换既可以流入锅炉内胆,也可以经过涡轮流量计(FT3)流回储水箱。它可用来完成温度的滞后和流量纯滞后控制实训。

4. 管道及阀门

整个系统管道由敷塑不锈钢管连接而成,所有的手动阀门均采用优质球阀,彻底避免了管道系统生锈的可能性,有效提高了实训装置的使用年限。其中,储水箱底部有一个出水阀,当水箱需要更换水时,把出水阀打开将水直接排出。

二、检测装置

1. 压力传感器、变送器

三个压力传感器(LT1、LT2、LT3)分别用来对上、中、下三个水箱的液位进行检测,其量程为0~5 kPa,精度为0.5级。采用工业用的扩散硅压力变送器,带不锈钢隔离膜片,同时采用信号隔离技术,对传感器温度漂移跟踪补偿。采用标准二线制传输方式,工作时需提供24 V直流电源,输出:DC 4~20 mA。

2. 温度传感器

装置中采用了6个Pt100铂热电阻温度传感器(TT1、TT2、…、TT5、TT6),分别用来检测锅炉内胆、锅炉夹套、盘管(有3个测试点)及上水箱出口的水温。Pt100测温范围: -200~+420℃。经过调节器的温度变送器,可将温度信号转换成4~20 mA直流电流信号。Pt100传感器精度高,热补偿性能较好。

3. 模拟转换器

三个模拟转换器(涡轮流量计)(FT1、FT2、FT3)分别用来对由电动调节阀控制



的动力支路、由变频器控制的动力支路及盘管出口处的流量进行检测。它的优点是测量精度高,反应快。采用标准二线制传输方式,工作时需提供 24 V 直流电源。流量范围: $0 \sim 1.2 \text{ m}^3/\text{h}$; 精度: 1.0%; 输出: DC 4 ~ 20 mA。

三、执行机构

1. 电动调节阀

采用智能直行程电动调节阀,用来对控制回路的流量进行调节。电动调节阀型号为: QSTP-16K。具有精度高、技术先进、体积小、质量轻、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,电源为单相 220 V,控制信号为 DC 4 ~ 20 mA 或 DC 1 ~ 5 V,输出为 DC 4 ~ 20 mA 的阀位信号,使用和校正非常方便。

2. 水泵

采用两台磁力驱动泵,一台为三相 380 V 恒压驱动,型号为 16CQ-8P;另一台为三相变频 220 V 输出驱动,型号为 16CQ-8P 220 V,上述水泵的流量为 30 L/min,扬程为 8 m,功率为 180 W。泵体完全采用不锈钢材料,以防止生锈,使用寿命长。

3. 电磁阀

电磁阀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 $0 \text{ kg}/\text{cm}^2$,最大压力为 $7 \text{ kg}/\text{cm}^2$;工作温度: $-5 \sim 80^\circ\text{C}$;工作电压: DC 24 V。

4. 三相电加热管

由三根 1.5 kW 电加热管星形连接而成,用来对锅炉内胆内的水进行加温,每根加热管的电阻值约为 50 Ω 。

第三节 THSA-1 型过控综合自动化 控制系统实训平台

“THSA-1 型过控综合自动化控制系统实训平台”主要由控制屏组件、智能仪表控制组件、DCS 控制组件等几部分组成。

一、控制屏组件

1. SA-01 电源控制屏面板

充分考虑人身安全保护,装有漏电保护低压断路器、电压型漏电保护器、电流型



漏电保护器。如图 1—2 所示为电源控制屏示意图。接上三相四线电源控制屏两侧的插座均带电，合上总电源低压断路器及钥匙开关，此时三只电压表均指示 380 V 左右，定时器兼报警记录仪数显亮，停止按钮灯亮，照明灯亮，此时打开 24 V 开关电源即可提供 24 V 电源。按下启动按钮，停止按钮灯熄，启动按钮灯亮，此时合上三相电源、单相Ⅰ、单相Ⅱ、单相Ⅲ低压断路器即可提供相应电源输出，作为其他组件的供电电源。

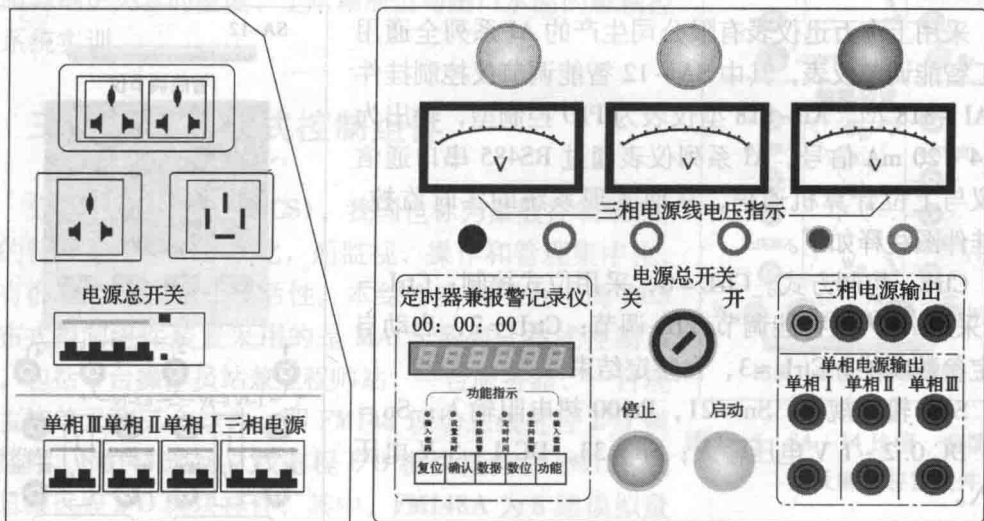


图 1—2 电源控制屏示意图

2. SA-02 I/O 信号接口面板

该面板的作用主要是通过航空插头（一端与对象系统连接）将各传感器检测信号及执行器控制信号同面板上自锁紧插孔相连，便于学生自行连线组成不同的控制系统。

3. SA-11 交流变频控制挂件（见图 1—3）

采用日本三菱公司的 FR-S520SE-0.4K-CHT 型变频器，控制信号输入为 DC 4~20 mA 或 DC 0~5 V，交流 220 V 变频输出用来驱动三相磁力驱动泵。有关变频器的使用可参考产品使用手册相关内容。

变频器常用参数设置：

P30 = 1; P53 = 1; P62 = 4; P79 = 0。

4. 三相移相 SCR 调压装置

采用三相晶闸管移相触发装置，输入控制信号为 4~20 mA 标准电流信号，其移相触发角与输入控制电流成正比。输出交流电压用于控制电加热器的

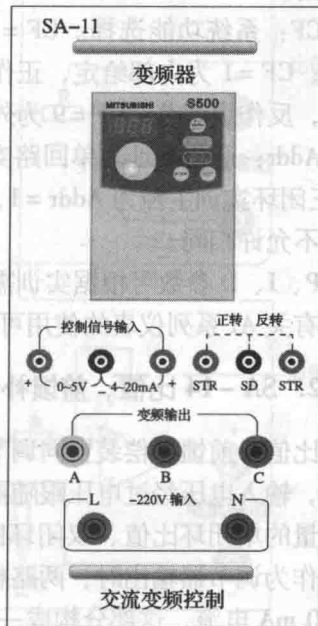


图 1—3 SA-11 交流变频控制挂件



端电压,从而实现锅炉温度的连续控制。

二、智能仪表控制组件

1. AI 智能调节仪表挂件 (见图 1—4)

采用上海万迅仪表有限公司生产的 AI 系列全通用人工智能调节仪表,其中 SA-12 智能调节仪控制挂件为 AI-818 型。AI-818 型仪表为 PID 控制型,输出为 DC 4~20 mA 信号。AI 系列仪表通过 RS485 串口通信协议与上位计算机通信,从而实现系统的实时监控。其挂件图注释如下。

Ctrl: 控制方式。Ctrl=0, 采用位式控制; Ctrl=1, 采用 AI 人工智能调节/PID 调节; Ctrl=2, 启动自整定参数功能; Ctrl=3, 自整定结束。

Sn: 输入规格。Sn=21, Pt100 热电阻输入; Sn=32, DC 0.2~1 V 电压输入; Sn=33, DC 1~5 V 电压输入。

DIL: 输入下限显示值,一般 DIL=0。

DIH: 输入上限显示值。输入为液位信号时, DIH=50.0; 输入为热电阻信号时, DIH=100。

OPI: 输出方式,一般 OPI=4 为 4~20 mA 线性电流输出。

CF: 系统功能选择。CF=0 为内部给定,反作用调节; CF=1 为内部给定,正作用调节; CF=8 为外部给定,反作用调节; CF=9 为外部给定,正作用调节。

Addr: 通信地址。单回路实训 Addr=1; 串级实训主控为 Addr=1, 副控为 Addr=2; 三闭环实训主控为 Addr=1, 副控为 Addr=2, 内环为 Addr=3。实训中各仪表通信地址不允许相同。

P、I、D 参数可根据实训需要调整,其他参数可参考默认设置。

有关 AI 系列仪表的使用可参考说明书上相关的内容。

2. SA-14 比值、前馈补偿及解耦装置挂件 (见图 1—5)

比值、前馈补偿装置同调节器一起使用,其原理如图 1—6 所示。上面一路作为比值器,输入电压经过电压跟随器、反比例放大器、反相器输出 0~5 V 电压,可以实现流量的单闭环比值、双闭环比值控制系统的实训;当上面一路作为干扰输入,下面一路作为调节器输出时,两路相加或相减(通过旋钮开关切换),再经过 I/V 变换输出 4~20 mA 电流,这部分构成一个前馈补偿器,可以实现液位与流量、温度与流量的前馈—反馈控制系统实训。

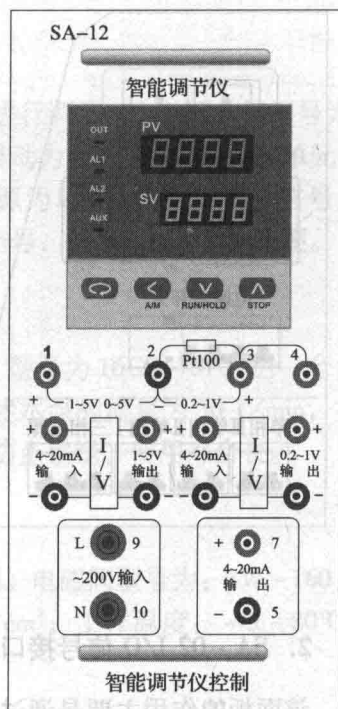


图 1—4 AI 智能调节仪表挂件



解耦装置同调节器一起使用,其原理如图 1—7 所示。上面一路的输入对输出的影响,以及下面一路的输入对输出的影响均为 1:1 的关系;两路之间相互的影响通过可调比例放大器及加法器实现。值得注意的是上面一路对下面一路的影响通过旋钮开关选择相加或相减,可以实现锅炉内胆与锅炉夹套的温度、上水箱液位与出口水温的解耦控制系统实训。

三、DCS 分布式控制组件

分布式控制系统 (DCS),我国也称为集散控制系统,它的特点是将危险分散化,而监视、操作和管理集中化,具有很高的可靠性和灵活性。本综合实训平台中的 DCS 分布式控制组件装置采用的是 MACS 系列分布式控制系统,包括一台操作员站兼工程师站、一台服务器、一台现场主控单元和三个挂件,即 FM148 现场总线远程 I/O 模块挂件、FM143 现场总线远程 I/O 模块挂件和 FM151 现场总线远程 I/O 模块挂件,其中,FM148A 为 8 路模拟量输入模块、FM143 为 8 路热电阻输入模块、FM151A 为 8 路模拟量输出模块。如图 1—8 所示为 MACS-V 系统结构图。有关 MACS-V 系统软硬件的具体使用情况可参考装置说明书。

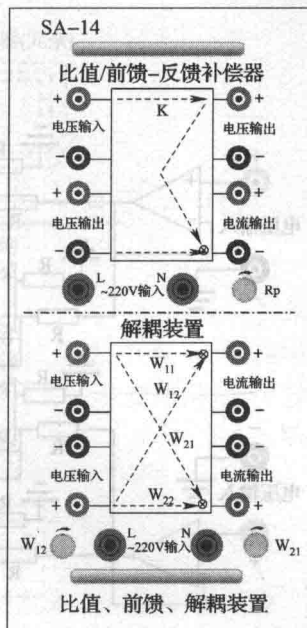


图 1—5 SA-14 比值、前馈补偿及解耦装置挂件

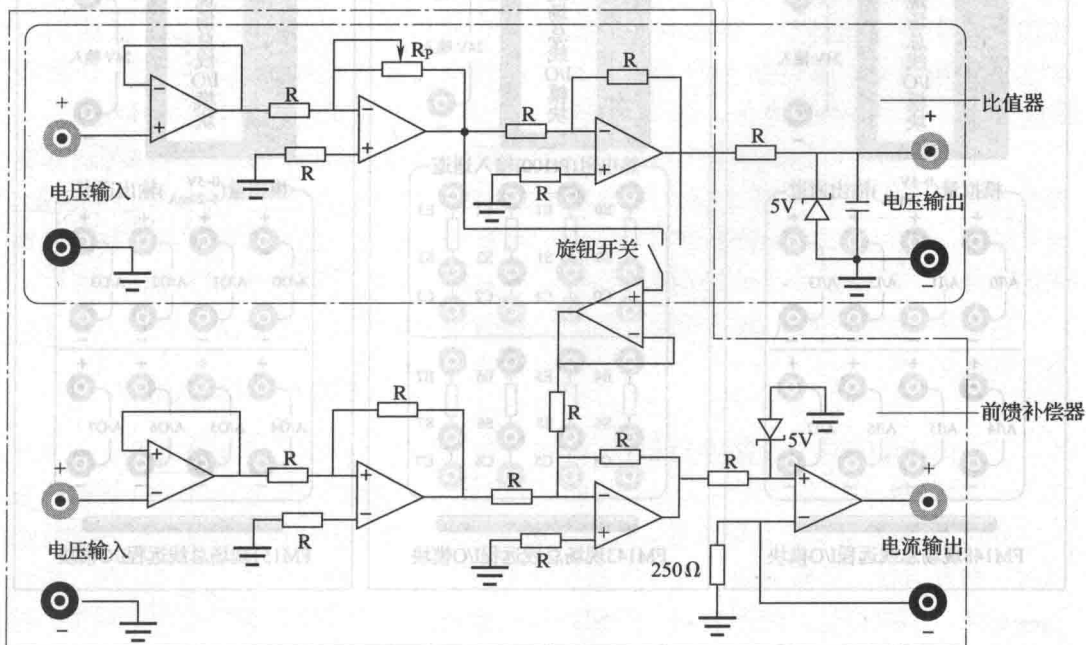


图 1—6 比值、前馈补偿器原理图

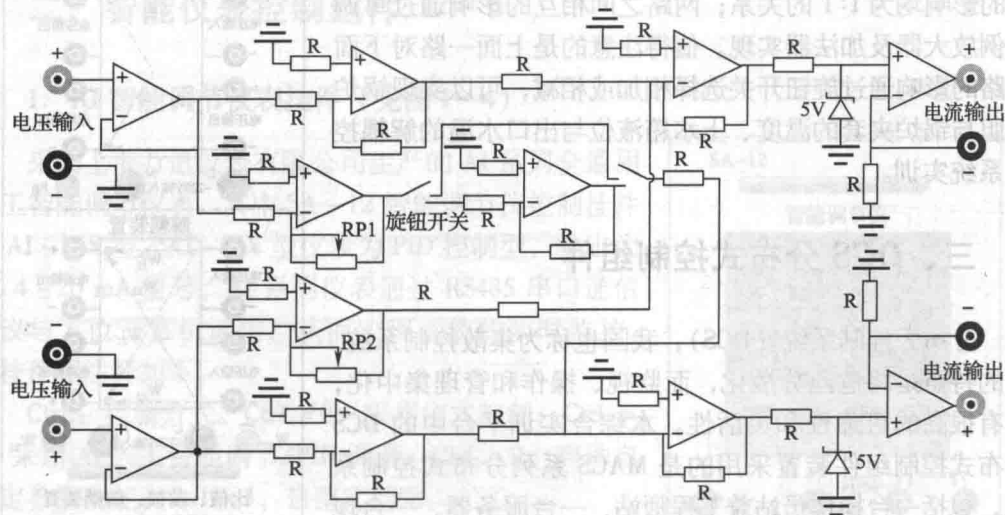


图 1—7 解耦装置原理图

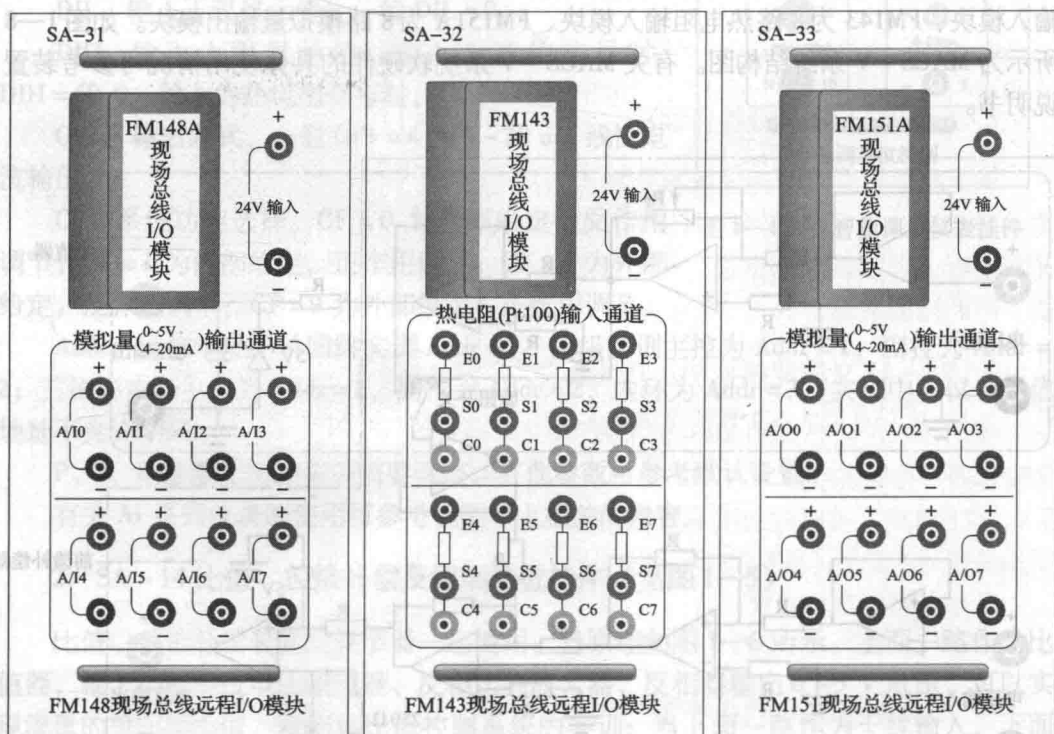




图 1-8 DCS 分布式系统框图