



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

中等职业教育化学工艺专业系列教材

化工自动化

HUAGONG ZIDONGHUA

第二版



蔡夕忠 主编



化学工业出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

中等职业教育化学工艺专业系列教材

化工自动化

第二版

蔡夕忠 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材设置了七个项目。项目1主要学习自动化的基础知识和对带控制点流程图的识别；项目2主要学习压力检测仪表以及精度，常规仪表及控制规律，气动调节阀等的认识与操作；项目3学习液位检测仪表、数字显示仪表、电气阀门定位器、控制系统的过渡过程与品质指标以及控制器参数整定等；项目4学习温度检测仪表、温度记录仪、电动执行器以及分程控制系统等；项目5学习流量检测仪表、无纸记录仪、串级控制系统和比值控制系统等；项目6学习DCS控制系统、TDC-3000系统构成与操作、均匀控制系统等；项目7学习PLC控制系统的操作。本教材使用过程中最好能结合化工仿真课程内容，在工艺仿真的基础上，学习控制系统的操作。本书可供中等职业学校非电类专业学生使用，也可作为岗位培训教材和师生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工自动化/蔡夕忠主编. —2版. —北京: 化学工业出版社, 2015.10

“十二五”职业教育国家规划教材
中等职业教育化学工艺专业系列教材
ISBN 978-7-122-25044-5

I. ①化… II. ①蔡… III. ①化工过程-自动控制
系统-中等专业学校-教材 IV. ①TQ056

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第204519号

责任编辑: 廉 静
责任校对: 宋 玮

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张10½ 字数253千字 2015年10月北京第2版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

前言

化工自动化
HUAGONG ZIDONG HUA

2006年中国化工教育协会组织开发了化学工艺专业新的教学标准，并于2007年启动了新教材的编写工作。《化工自动化》作为本专业教学改革教材之一，于2008年12月正式出版。

《化工自动化》一书打破了传统教材按照检测仪表、控制仪表、执行器、控制系统的条块结构，按照不同控制系统操作为主线，将各类仪表及自动化的相关知识和相关操作技能融合在一起。教材结合现代化工的特点，根据职业学校的实训设备配置情况，先以典型化工实验装置操作为基础、以化工单元DCS仿真操作为重点策划知识学习和技能训练。《化工自动化》一书于2012年被教育部评选为首批中等职业学校改革创新示范教材。

根据全国化工职业技术教育委员会所做的《全国化学工艺专业人才需求与专业改革调研报告》、《中等职业学校化学工艺专业教学标准》等文件要求，对《化工自动化》一书进行全面审订，保留了全书原有框架结构，对部分内容进行了适当删减。

《化工自动化》（第二版）一书，广泛征询了使用者的建议，并由原书作者和审定人员合作完成。

化工生产技术不断进步，对编著者提出了更高的要求，但本书对新技术的介绍相对较少，书中也存在不少瑕疵，恳请专家学者和使用者批评指正。联系邮箱：cai_xizhong@sohu.com。

编者

2015年6月

第一版前言

化工自动化
HUAGONG ZIDONG HUA

本教材是根据国家“十五”规划重点课题“职业技术教育与中国制造业发展研究”子课题“中国化工制造业发展与职业技术教育”所制定的《全国中等职业教育化学工艺专业指导性教学方案》而编写的。

教材编写过程中,将原有类似教材中的控制仪表、检测仪表、控制系统的条框体系打破,以项目学习为主线,将知识学习和技能训练进行重新的整合。考虑到各个学校的实训条件,以仿真操作提供的控制系统为项目,完成控制系统的学习,训练学生控制系统的投运与操作。对于检测仪表和控制仪表作为项目的一部分,进行单独的训练。

教材设置了七个项目。项目1主要学习自动化的基础知识和对带控制点流程图的识别;项目2主要学习测量误差以及仪表精度等的计算方法,学习压力检测仪表、常规控制仪表及控制规律、气动调节阀等的结构与操作;项目3学习液位检测仪表、数字显示仪表、电气阀门定位器的结构和操作,学习控制系统的过渡过程与品质指标以及控制器参数整定方法等;项目4学习温度检测仪表、温度记录仪、电动执行器以及分程控制系统等的构成与操作;项目5学习流量检测仪表、无纸记录仪、串级控制系统和比值控制系统等的构成与操作;项目6学习DCS控制系统、TDC-3000系统、均匀控制系统等的构成与操作;项目7学习PLC的基本组成、PLC在化工生产中的应用等。

本教材由安徽省化工学校开俊主审,北京市化工学校蔡夕忠、上海信息技术学校孙鸿合作编写。其中孙鸿编写项目1、2、3,蔡夕忠编写项目4、5、6、7,并对全书进行修改和统稿。陕西石油化工学校乐建波老师参与了全书审稿工作,并为教材编写提供了大量资料和建议。在此表示衷心的感谢。

这种模式的自动化项目教学在国内是新生事物,由于我们的经验欠缺、水平所限,在编写的内容和设计的活动中可能存在不足之处,欢迎广大专家和同行批评指正。

编者
2008.12

目 录

化工自动化
HUAGONG ZIDONG HUA

项目 1 读带控制点的工艺流程图 (PI 图) 1

任务 1.1 认识流程图中的控制系统相关符号	1
任务 1.1.1 读 PI 图中的相关图形符号	2
知识拓展	3
任务 1.1.2 流程图的识别	4
知识拓展	4
任务 1.2 认识自动控制 (检测) 系统	6
任务 1.2.1 手动控制液位	7
知识拓展 操作过程分析	8
任务 1.2.2 自动控制液位	8
知识拓展 控制系统类型	10
小结	11
习题	12

项目 2 操作压力容器的压力控制系统 13

任务 2.1 使用压力检测仪表	14
任务 2.1.1 使用 U 型管压力计	14
知识拓展 测量误差及其表示方法	16
知识拓展 压力单位换算	18
任务 2.1.2 使用弹簧管压力计	18
知识拓展 测量仪表的质量指标	20
任务 2.1.3 使用微型压力计	23
任务 2.1.4 使用压力变送器	24
知识拓展 变送器信号与工艺变量转换	25
任务 2.2 使用模拟显示仪表	27

任务 2.2.1 自动控制系统的仪表连接	27
任务 2.2.2 使用模拟显示仪表	28
知识拓展 安全火花型防爆	29
任务 2.3 操作控制器	30
任务 2.3.1 控制器的作用和工作过程分析	30
任务 2.3.2 操作 DDZ-Ⅲ型控制器	31
任务 2.3.3 操作智能控制器	32
任务 2.4 操作气动控制阀	34
任务 2.4.1 认识气动控制阀	35
知识拓展 阀门	38
任务 2.4.2 操作气动控制阀	39
任务 2.5 操作压力控制系统	40
任务 2.5.1 认识 PID 控制规律	40
任务 2.5.2 选择控制器的正、反作用	43
任务 2.5.3 压力控制系统的投运	44
小结	45
习题	46

项目 3 操作贮槽的液位控制系统 49

任务 3.1 使用液位检测仪表	50
任务 3.1.1 使用玻璃板式液位计	50
任务 3.1.2 使用磁翻板式液位计	50
任务 3.1.3 使用电容式物位计	51
知识拓展 电容物位计	52
任务 3.1.4 使用辐射式物位计	52
任务 3.1.5 使用雷达物位计	53
任务 3.1.6 使用差压式液位变送器	53
知识拓展 零点迁移	54
任务 3.2 操作带电/气阀门定位器的控制阀	55
任务 3.2.1 认识阀门定位器	56
知识拓展 智能电/气阀门定位器	56
任务 3.2.2 操作带阀门定位器的控制阀	57
任务 3.3 操作数字显示仪表	58
任务 3.3.1 数字显示仪表的组成	58
任务 3.3.2 数字显示仪表的使用	59

任务 3.4 操作单回路控制系统	60
任务 3.4.1 判别控制系统过渡过程曲线	60
知识拓展 对象特性	63
任务 3.4.2 操作液位控制系统	65
知识拓展 控制参数对控制质量的影响	71
小结	73
习题	74

项目 4 操作列管式换热器的温度控制系统 76

任务 4.1 识读温度检测仪表	77
任务 4.1.1 操作玻璃管温度计	77
任务 4.1.2 操作双金属温度计	78
知识拓展 带电接点的双金属温度计	79
任务 4.1.3 操作热偶温度计	79
知识拓展 热电偶的种类	81
知识拓展 热电偶补偿温度的计算	82
任务 4.1.4 操作热电阻温度计	83
知识拓展 热电阻种类	84
任务 4.2 使用温度记录仪	86
任务 4.2.1 使用电子自动电位差计	86
任务 4.2.2 使用电子自动平衡电桥	86
知识拓展 电子电位差计与电子自动平衡电桥的区别	87
任务 4.3 操作电动执行器	87
知识拓展 电磁阀	88
任务 4.4 操作管式换热器单元	88
任务 4.4.1 认识列管式换热器控制中的分程控制系统	88
知识拓展 分程控制系统的实施	89
任务 4.4.2 列管式换热器单元操作	91
知识拓展 换热器的前馈控制系统	94
小结	95
习题	96

项目 5 操作流体混合单元的控制系統 97

任务 5.1 使用流量检测仪表	98
-----------------------	----

任务 5.1.1 使用转子流量计	98
任务 5.1.2 使用差压式流量计	100
知识拓展 差压式流量检测信号转换	101
任务 5.1.3 使用电磁流量计	102
任务 5.1.4 使用旋涡流量计	103
任务 5.1.5 使用涡轮流量计	104
任务 5.1.6 使用椭圆齿轮流量计	105
任务 5.1.7 使用质量流量计	106
知识拓展 流量的温度、压力补偿	107
任务 5.2 操作无纸记录仪	107
任务 5.2.1 认识无纸记录仪的结构	107
任务 5.2.2 无纸记录仪的操作	108
任务 5.3 操作流体混合单元控制系统	111
任务 5.3.1 认识串级控制系统	111
知识拓展 串级控制系统	112
任务 5.3.2 认识比值控制系统	113
知识拓展 比值控制系统	114
任务 5.3.3 流体混合单元(液位控制系统单元)仿真操作	116
小结	119
习题	119

项目 6 操作 DCS 控制的精馏单元 121

任务 6.1 认识 DCS 系统	122
任务 6.1.1 认识 DCS 控制系统的构成	122
任务 6.1.2 精馏单元的 TDC-3000 配置	124
知识拓展 分析 DCS 控制系统故障现象	127
任务 6.2 操作精馏单元	128
任务 6.2.1 认识精馏塔的控制方案	128
知识拓展 精馏段温度控制方案与均匀控制系统	129
任务 6.2.2 精馏单元仿真操作	131
任务 6.3 操作 TDC-3000 系统	132
任务 6.3.1 认识操作员键盘	132
任务 6.3.2 认识显示画面	135
知识拓展 TDC-3000 系统的显示画面调用与操作	138
任务 6.3.3 历史数据的读取、打印	139

任务 6.3.4 操作控制回路	141
知识拓展 报警操作	143
小结	143
习题	144

项目 7 操作 PLC 控制系统 145

任务 7.1 操作 PLC 组成的电子计量计	145
任务 7.1.1 认识 PLC	145
知识拓展 FX _{2N} 系列 PLC 梯形图及指令介绍	150
任务 7.1.2 操作 PLC 组成的电子计量计	151
知识拓展 计数器指令	152
任务 7.2 操作 PLC 控制的联锁报警控制系统	153
任务 7.2.1 认识联锁报警系统	153
知识拓展 XXS-02 型闪光报警器	154
任务 7.2.2 操作联锁报警系统	154
小结	155
习题	156

参考文献 157

读带控制点的工艺流程图 (PI图)

【项目描述】 当你即将进入某化工厂,作为某(聚丙烯)岗位的工艺操作工,你应熟悉整个工艺过程,通过识读带控制点的工艺流程图,了解整个工艺过程中的自动化系统设置情况和自动化水平。

【项目学习目标】

在工艺流程图 (PF 图) 的基础上,读懂带控制点的工艺流程图 (PI 图)。

- ① 初步读懂流程图中的自动化装置的符号;
- ② 理解自动化系统的作用;
- ③ 明确自动化系统的组成,并能在流程图中指出各个环节。

任务 1.1 认识流程图中的控制系统相关符号

【任务描述】 读懂图1-1中的所有控制点的含义。

图 1-1 为聚丙烯聚合反应带控制点的工艺流程图。随着显示技术的进步,在 DCS 控制系统流程图显示画面中,多以设备实物外形代替符号进行显示,图 1-2 为聚丙烯聚合反应

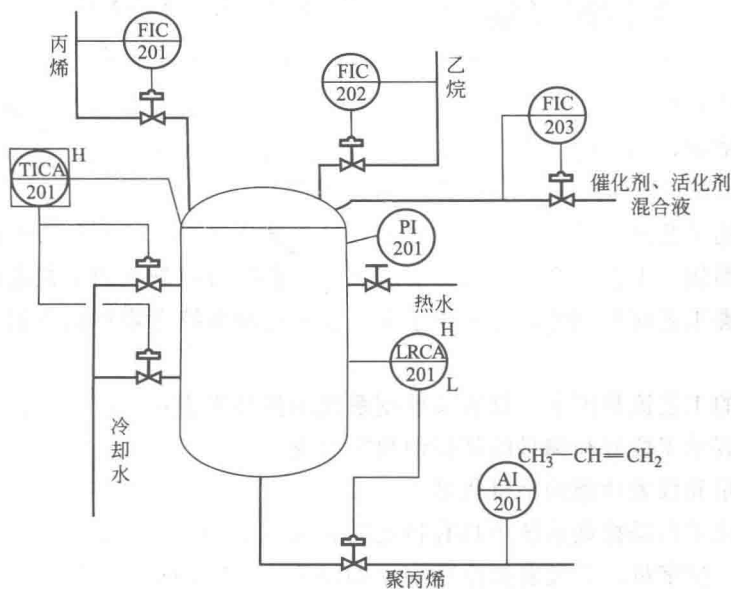


图 1-1 聚丙烯聚合反应带控制点的工艺流程图

DCS 显示的带控制点的工艺流程图。

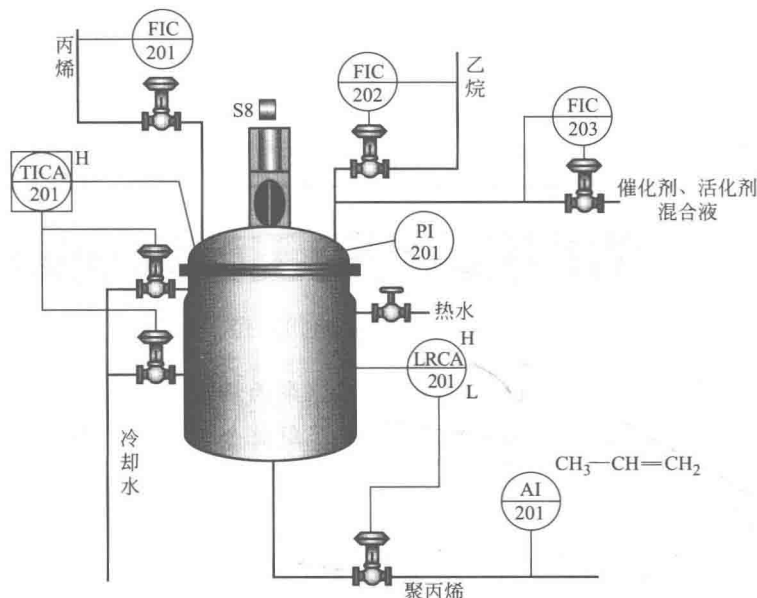


图 1-2 聚丙烯聚合反应 DCS 显示的带控制点的工艺流程图

液态丙烯在载体（液态己烷）和催化剂（三氯化钛 TiCl_3 ）与活化剂 [一氯二乙基铝 $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$] 混合液的共同作用下发生聚合反应，生成聚丙烯。

热水用来加热诱发反应，一旦诱发成功，由于丙烯聚合是放热反应，反应速度会随温度升高而不断加快。为了防止反应温度上升幅度过快而失控，通过冷却水适当冷却。冷却分成夹套冷却和蛇管冷却两路，要求先开夹套冷却，如果反应温度还是上升过快，再开蛇管冷却。

任务 1.1.1 读 PI 图中的相关图形符号

带控制点的工艺流程图是在工艺流程图的基础上，用过程检测、控制系统中规定的符号，描述化工生产过程自动化内容的图纸，它是自动化水平和自动化方案的全面体现，是自动化工程设计的依据，亦供施工安装和生产操作时使用。带控制点的工艺流程图简称为 PID (pipe and instrument diagram)，也称为 P&ID，即管路仪表图。

在带控制点的工艺流程图中，为了清楚地表达自动化系统的类型和所用仪表的种类，定义了许多符号和图例。工艺工程技术人员要想熟练地看懂带控制点的工艺流程图，除了要懂得工艺原理、熟悉工艺流程图外，还必须了解仪表及控制系统在带控制点的工艺流程图中的表示方法。

在带控制点的工艺流程图中，仪表及控制系统用位号来表示。位号由代表被测变量和仪表功能的字母和表示工段号和编号的阿拉伯数字组成。

(1) 被控变量和仪表功能的字母代号

字母代号在化工自动控制系统中具有特定的含义。如图 1-1 中的 TICA，在这一字母组合中，T 称为第一位字母，T 代表被控变量（即温度）。ICA 称为后继字母，后继字母可以是一个字母或更多，都分别代表不同的仪表功能，I 代表“指示”，即通过指示仪表能得到

温度的数值；C 代表“控制”，当扰动使温度偏离设定值时，控制器会自动把温度调回到设定值上；A 代表“报警”当温度超过一定数值时，报警器会发出声、光报警显示，由于图中圆圈外有一个“H”，所以是上限报警，即当温度高于某个值时发出声、光报警显示。这就是说，TICA 实际上是“温度指示控制报警”的代号。

图中：FIC 表示“流量指示控制”；PI 表示“压力指示”；LRCA 是“液位记录控制报警”，圆圈外有一个“H”和“L”，所以是上、下限报警，即液位高于某个值或低于某个值时都会发出声、光报警显示。AI 是“成份指示”，“A”表示混合物中某组分的含量，圆圈外标上“CH₃—CH=CH₂”表示测量聚丙烯的含量。

(2) 读仪表位号

在检测、控制系统中，构成一个回路的每台仪表（或元件）都应有自己的独立编号，即仪表的位号。仪表的位号由英文字母和阿拉伯数字组成，如图 1-1 中的 FIC-201。位号的第一位英文字母表示被控变量，后继 1~5 位英文字母表示仪表的功能。阿拉伯数字的第一位表示工段号，后续 2~3 位数字为回路顺序号，因此，FIC-201 为第二工段第 1 个流量回路，FIC-202 为第二工段第 2 个流量回路。在编制回路顺序号时，不同变量是独立编制。



思考与练习

- ① FIC-203 表示 _____；
- ② PI-203 表示 _____。

知识拓展

PI 图中的被控变量和仪表功能代号有很多，表 1-1 列出了有关被控变量和仪表功能代号的含义。

当选用第一位字母“A”作为分析变量时，应在图形符号圆圈外标明分析的具体内容。例如，图 1-1 中是分析丙烯的重量百分比浓度，所以在圆圈外标注“CH₃—CH=CH₂”，不能用“CH₃—CH=CH₂”代替圆圈内的字母“A”。

表 1-1 检测、控制系统字母代号的含义

字母	第一位字母		后继字母	字母	第一位字母		后继字母
	被控变量	修饰词	功能		被控变量	修饰词	功能
A	分析		报警	N	供选用		供选用
B	喷嘴火焰		供选用	O	供选用		节流孔
C	电导率		控制	P	压力、真空		实验点
D	密度	差		Q	数量	积算	积分、积算
E	电压		检测元件	R	放射性		记录、打印
F	流量	比		S	速度、频率	安全	开关或联锁
G	尺寸		玻璃	T	温度		传送
H	手动			U	多变量		多功能
I	电流		指示	V	黏度		阀、挡板
J	功率	扫描		W	重量或力		套管
K	时间		手操器	X	未分类		未分类
L	物位		指示灯	Y	供选用		继动器、计算器
M	水分			Z	位置		驱动、执行

“供选用”的字母是指在个别设计中反复使用，而表中未列出其含义的字母。使用时字

母含义需在具体工程的设计图例中做出规定,第一位字母表示一个含义,而后继字母可表示另一个含义。例如:字母“N”作为第一位字母时表示“位移”,而作为后继字母时则表示“示波器”。

当后继字母选用“A”表示具有报警功能时,应在图形符号圆圈外标明上下限,“H”表示上限报警,“HH”表示上上限报警,“L”表示下限报警,“LL”表示下下限报警。

后继字母“E”表示把变量通过“检测元件”转换成非标准信号。如果把变量转换成标准信号,则后继字母使用“T”。例如:孔板则用“FE”来表示,孔板流量计则用“FT”来表示,而弹簧管压力计则用“PI”来表示。

字母“U”表示“多变量”时,可代替两个以上第一位字母的含义,当表示“多功能”时,则代替两个以上功能字母的组合。

“未分类”字母“X”,指在个别设计中仅使用一次或在一定范围内使用,故在表 1-1 中未列入其含义的字母。当“X”同其他字母一起使用时,除了具有明确含义外,否则应在图形符号圆圈外标明具体含义。例如:“XT”可以表示应力变送器,“TX”可以表示温度非线性修正。

后继字母“Y”表示“继电器、计算器”功能时,应在图形符号圆圈外标明它的具体功能。例如:“Y”表示开方时,应在图形符号圆圈外标明“ $\sqrt{\quad}$ ”。

任务 1.1.2 流程图的识别

在带控制点的工艺流程图中,所有的控制方案和功能都通过图形符号来表示。采用图形符号具有如下优点。

- ① 布局整齐,清晰;
- ② 易于表达设计意图;
- ③ 便于阅读;
- ④ 能交流技术思想。

检测、控制、显示等仪表在带控制点的工艺流程图中用一个直径为 10mm 的细实线圆圈来表示,传递检测或控制的信号用细实线。

 表示该压力指示仪表安装在生产现场装置上。

 表示该分析指示仪表安装在集中仪表盘面正面。

 表示该温度指示控制报警采用集散控制系统。



思考与练习

图 1-1 中,  表示 _____;

 表示 _____。

知识拓展

控制系统的图例符号有很多,还分为模拟仪表图例符号和集散控制系统图例符号,模拟

仪表图例符号如表 1-2。

表 1-2 模拟仪表图例符号

名称	图形符号	名称	图形符号
就地安装仪表		电磁执行机构	
集中仪表盘面安装仪表		电动机执行机构	
就地仪表盘面安装仪表		带气动阀门定位器的气动薄膜执行机构	
集中仪表盘后安装仪表		带能源转换的阀门定位器的气动薄膜执行机构	
就地仪表盘后安装仪表		能源中断时直通阀开启	
孔板		能源中断时直通阀关闭	

仪表盘包括屏式、柜式、框架式、通道式仪表盘和操纵台。

仪表盘后安装的仪表包括盘后面、柜内、框架上和操纵台内安装的仪表。

处理两个或多个被控变量，具有相同功能（如多点温度指示记录仪）或不同功能（如指示记录控制仪）的复式仪表，可以用两个相切的圆圈来表示，如图 1-3 所示。

如果两个测量点在图纸上距离较远，或不在同一张图纸上，则可以用一个细实线圆圈和一个细虚线圆圈相切来表示，如图 1-4 所示。

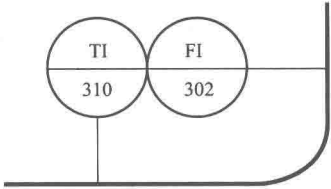


图 1-3 复式仪表的图形符号

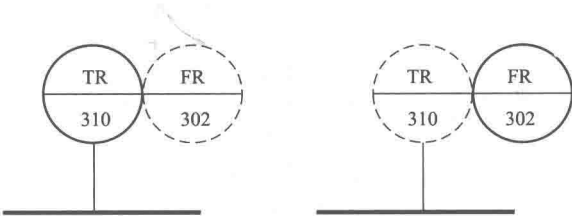


图 1-4 测量点较远时的复式仪表的图形符号

图 1-1 所示图形符号说明见图 1-5。

集散控制系统在化工生产过程中已被广泛地使用，而集散控制系统有与常规模拟仪表不同的一些图形符号。集散控制系统的图形符号见表 1-3。

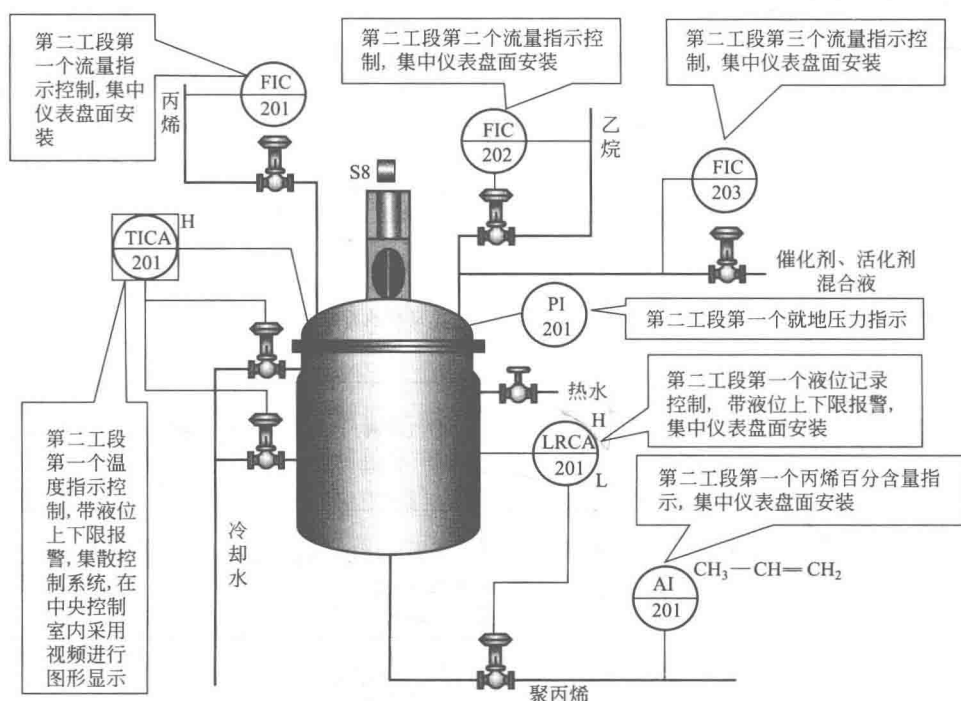


图 1-5 聚丙烯带控制点工艺流程图中控制点的含义

表 1-3 集散控制系统图形符号

功能	图形符号	说 明
正常操作下操作员 可以监控		在中央控制室内采用视频进行图形显示,具有: ① 共享显示 ② 共享显示和显示控制 ③ 对通信线路的存取受限制 ④ 在通信线路上的操作员接口,操作员可以存取数据
操作员辅助接口设备		操作者辅助接口装置: ① 不装在主操作控制台上,采用安装盘或模拟荧光面板 ② 可以是一个备用控制器或手操台 ③ 对通信线路的存取受限制 ④ 操作员接口通过通信线路
正常操作下操作员 不能监控		操作者不可存取数据: ① 无前面板的控制器,共享盲控制器 ② 共享显示器,在现场安装 ③ 共享控制器中的计算、信号处理 ④ 可装在通信线路上 ⑤ 通常无监视手段运行 ⑥ 可以由组态来改变

任务 1.2 认识自动控制（检测）系统

【任务描述】 通过对类似图 1-1 中的聚合反应釜液位控制，熟练掌握手动操作液位

的方法和要领，引出自动控制的组成及各组成部分的作用，了解自动控制系统的工作过程。

液态丙烯、液态己烷、催化剂和活化剂混合液分别流入聚合反应釜，为了防止聚合反应釜液位过高或过低，须对液位进行控制。

任务 1.2.1 手动控制液位

按照如图 1-6 所示的类似系统，液体流入和流出均连续，试着通过手动操作流出的阀门，控制液位在 50% 处。

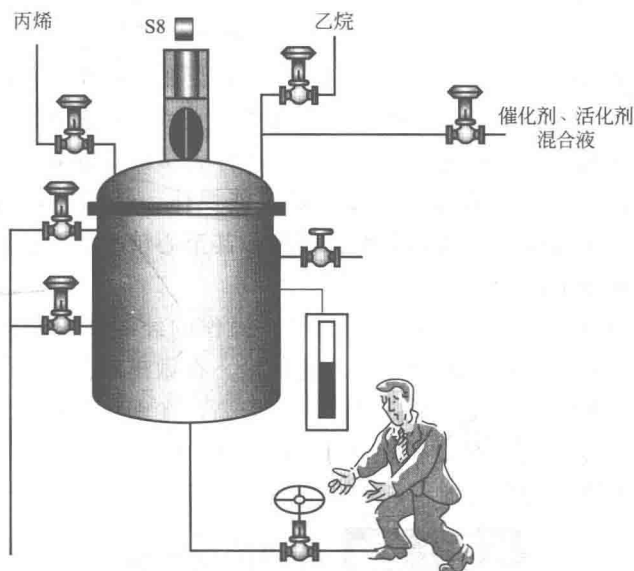


图 1-6 人工控制液位系统

根据操作回答以下问题：

① 完成该操作必须用到哪三个器官？

各个器官完成哪些功能？

器官 1：_____；

器官 2：_____；

器官 3：_____。

② 如果流入量不变，液位高于 50%，应_____流出的阀门，改变开度大小取决于_____。阀门开度是否需要随着液位变化调整？_____。如不调整会出现什么状况？_____。



思考与练习

图 1-6 中，反应釜液位偏低，但丙烯流量在上升，应如何操作液位控制阀门：
