



教育部 高职高专规划教材

过程控制技术

○ 刘玉梅 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

过程控制技术

刘玉梅 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

过程控制技术/刘玉梅主编. —北京:化学工业出版社, 2002.5
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-5025-3818-6

I. 过… II. 刘… III. 过程控制-高等学校:技术学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 027890 号

教育部高职高专规划教材

过程控制技术

刘玉梅 主编

责任编辑:王丽娜

责任校对:王淑云

封面设计:郑小红

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话:(010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 302 千字

2002 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-3818-6/G·1013

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

全国高等职业教育化工专业教材编审委员会

主 任：赵杰民

副 主 任：张鸿福 李顺汀 田 兴 黄永刚 任耀生

基础化学组：李居参 赵文廉 宋长生
苏 静 胡伟光 初玉霞 丁敬敏 王建梅 张法庆
徐少华

数理基础组：于宗保 王绍良 王爱广
金长义 陈 泓 朱芳鸣 高 松 刘玉梅 杨 凌
董振珂 李元文 丛文龙 傅 伟

化工基础组：唐小恒 周立雪 秦建华
王小宝 张柏钦 张洪流 邢鼎生 张国铭 徐建良
周 健

化工专业组：刘德峥 陈炳和 杨宗伟
王文选 文建光 田 平 李贵贤 梁凤凯 卞进发
杨西萍 舒均杰 郑广俭

人文社科组：曹克广 霍献育 徐沛林
刘明远 曾悟声 马 涛 侯文顺 曲富军 高玉萍
史高锋 赵治军

工程基础组：丁志平 刘景良 姜敏夫
魏振枢 律国辉 过维义 吴英绵 章建民 张 平
许 宁 贺召平

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

本书是以高职高专教材编审委员吉林会议通过的“高职化工生产技术专业教学计划”和“课程基本要求”为依据进行编写的，旨在配合高职高专工艺类专业完成专业学生的培养目标。因此本教材力求把握三个原则，即以人为本的原则，为专业服务的原则，“实践、实用、实际”的三实原则。

本书具有以下特色。

(1) 为强调实践教学，将教材分为理论和实践两大部分。实践部分不仅安排了较多的实验内容，而且还设置了综合实验、计算机仿真的控制实训和工厂实践等教学环节。

(2) 在工厂学习一套装置，习惯上按下列步骤进行：先是对照装置研究各种图纸，特别是带控制点的工艺流程图，以了解工艺状况，了解有哪些控制系统、检测系统、信号报警及联锁保护系统以及这些系统要达到的目的；然后了解这些系统的实施工具及其使用方法；最后学习整个装置的操作（开、停车等）。为了符合人们的这种学习习惯，本书以控制流程图为切入点，将理论部分按过程控制系统、过程控制的实施工具、过程控制系统的操作这三大块依次介绍。

(3) 教材内容力求剔旧立新，工厂少用或不用的过程控制工具全部剔除，并尽量引入新知识。

(4) 力求打破学科教学体系，从实际出发，以满足工艺专业的需求和工作需要为目的。

本书在各章前有学习目标，后有内容小结及习题与思考题，可供读者参考。

本书适合于多种类别各个层次的职业技术学院在教学中使用，也可供工矿企业人员参考。

本书由刘玉梅主编，并编写其中的绪论、第一章、第二章、第四章、第六章及第八章的第一节、第三节、第五节以及第二节中的实验一、实验二、实验八、实验九、实验十等内容；史继斌编写第三章及第八章第二节的实验三、实验四、实验五、实验六和实验七；陆建国编写第五章、第七章及第八章第二节的实验十一、十二及第四节的内容。本书由王爱广主审，张德泉、朱光衡及刘巨良参加审定工作。

本书在编写过程中参考了许多书籍，从中借鉴了很多经验。同时，得到了各编审单位领导的大力支持，主、参编通力合作，主、参审认真把关审定，使得教材编写顺利完成，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请各位读者批评指正。

编者

2002年3月

目 录

绪论	1
一、过程控制的基本概念	1
二、过程控制系统的内容及过程控制仪表的分类	1
三、过程控制系统及仪表的发展	2
四、课程的性质、任务	3
五、学习方法	4
第一章 控制流程图的认识	5
第一节 识图基础	5
一、图形符号	5
二、字母代号	5
三、仪表位号及编号	8
四、仪表符号实例	9
第二节 识图练习	10
一、了解工艺流程	10
二、了解自动控制系统	11
三、了解自动检测系统	12
四、了解自动信号报警系统	12
第三节 计算机控制流程图的识图练习	12
习题与思考题	14
第二章 过程控制系统	15
第一节 自动检测系统	15
一、自动检测系统的组成	15
二、自动检测系统的种类	15
第二节 自动控制系统概述	16
一、自动控制系统的组成	16
二、自动控制系统的种类	18
三、自动控制系统的过渡过程和品质指标	18
四、控制对象的特性	20
五、基本控制规律及其对过渡过程的影响	21
第三节 自动控制系统	27
一、简单控制系统	27
二、复杂控制系统	29
第四节 自动信号报警与联锁保护系统	35
一、信号报警系统	35
二、联锁保护电路	36

习题与思考题	38
第三章 工业生产过程的变量检测及仪表	41
第一节 概述	41
一、测量的基本知识	41
二、检测仪表的基础知识	42
第二节 压力检测及仪表	45
一、压力检测仪表的分类	45
二、单圈弹簧管压力表	46
三、DDZ-Ⅲ型力矩平衡式压力变送器	47
四、其他差压变送器	47
五、压力检测仪表的选择及安装	49
第三节 物位检测及仪表	50
一、物位检测的基本概念	50
二、差压式液位计	51
三、浮力式液位计	53
四、其他物位检测仪表	53
第四节 流量检测及仪表	54
一、流量检测的基本概念	54
二、差压式流量计	55
三、转子流量计	58
四、其他流量计	58
五、流量检测仪表的选用	62
第五节 温度检测及仪表	63
一、温度检测的基本概念	63
二、热电偶温度计	64
三、热电阻温度计	68
四、温度变送器	68
五、常用的温度显示仪表	69
六、测温仪表的选择与安装	73
第六节 成分自动检测及仪表	74
一、分析仪器的基本知识	74
二、热导式气体分析器	75
三、氧化锆氧分析仪	76
四、红外线气体分析器	77
五、工业气相色谱仪	78
习题与思考题	82
第四章 过程控制仪表	84
第一节 电动模拟控制器	84
一、概述	84
二、DDZ-Ⅲ型基型控制器的结构原理	85

三、DDZ-Ⅲ型控制器的外部结构	85
四、DDZ-Ⅲ型控制器的使用	87
第二节 单回路数字控制器	88
一、概述	88
二、PMK 可编程调节器	89
第三节 执行器及辅助仪表	98
一、气动薄膜控制阀	99
二、电 / 气转换器与电 / 气阀门定位器	104
三、变频调速器	105
习题与思考题	106
第五章 计算机控制系统	108
第一节 概述	108
一、计算机控制简介	108
二、计算机控制系统的发展方向	110
第二节 集散控制系统	110
一、集散控制系统的基本概念	110
二、FB-2000 集散型控制系统	111
三、TDC-3000 集散控制系统	120
第三节 可编程控制器	122
一、OMRON C 系列 PLC 的硬件结构	123
二、OMRON P 型机的通道分配	125
三、OMRON PLC 的编程语言	126
习题与思考题	128
第六章 典型过程单元的控制方案	130
第一节 流体输送设备的控制方案	130
一、泵的控制	130
二、压缩机的控制	132
第二节 传热设备的控制	133
一、无相变换热器的温度控制	133
二、利用载热体冷凝进行加热的加热器的温度控制	134
三、用冷却剂汽化来传热的冷却器的温度控制	135
四、管式加热炉的控制	136
第三节 锅炉的液位控制	137
一、单冲量液位控制系统	137
二、双冲量液位控制系统	138
三、三冲量液位控制系统	138
第四节 精馏塔的控制	138
一、控制要求	138
二、主要扰动	139
三、常用的控制方案	139

第五节 反应器的控制	141
习题与思考题	141
第七章 过程控制系统的操作	143
第一节 装置开车的前期准备工作	143
一、准备工作	143
二、确定控制器的正、反作用方向	143
三、控制器控制规律的选择	145
第二节 控制器的参数整定	145
一、简单控制系统的参数整定	145
二、串级控制系统的参数整定	147
三、均匀控制系统的参数整定	148
第三节 控制系统的开车与停车	148
一、简单控制系统的开车(投运)步骤	148
二、串级控制系统的投运	149
三、控制系统的停车	149
第四节 系统的故障分析、判断与处理	149
一、过程控制系统常见的故障	149
二、故障的简单判别及处理方法	149
三、典型问题的经验判断及处理方法	150
习题与思考题	151
第八章 实验与实训	152
第一节 认识实践	152
第二节 实验	153
实验一 控制器参数对控制质量的影响(演示)	153
实验二 报警、联锁系统的认识	155
实验三 弹簧管压力表的识别及校验	157
实验四 压力变送器的认识及压力检测系统的构成	159
实验五 物位检测仪表的识别及物位检测系统的构成(演示)	161
实验六 流量检测仪表的识别及流量检测系统的构成(演示)	162
实验七 温度检测仪表和显示仪表的识别及温度检测系统的构成(演示)	162
实验八 DDZ-Ⅲ型基型控制器的认识与使用	164
实验九 PMK 可编程调节器的认识与操作	167
实验十 控制阀及转换单元的认识	170
实验十一 DCS 系统的认识	172
实验十二 PLC 认识实验	174
第三节 DCS 仿真系统的控制实训	177
实训一 离心泵的仿真控制实训	177
实训二 多级液位系统的仿真控制实训	178
第四节 综合实践	179
实训一 简单控制系统的参数整定和投运	179

实训二 串级控制系统的参数整定和投运·····	180
第五节 结业实践·····	182
附录·····	184
附录一 常用压力表的规格及型号·····	184
附录二 标准化热电偶电势-温度对照表 ·····	185
主要参考文献·····	189

绪 论

一、过程控制的基本概念

在工业生产过程中，如果采用自动化装置来显示、记录和控制过程中的主要工艺变量，使整个生产过程能自动地维持在正常状态，就称为实现了生产过程的自动控制，简称过程控制。

过程控制的工艺变量一般是指压力、物位、流量、温度和物质成分。分别用 P 、 L 、 F 、 T 、 A 来表示。

实现过程控制的自动化装置称为过程控制仪表。

过程控制技术包含过程控制系统及其实施工具——过程控制仪表这两个方面。

二、过程控制系统的内容及过程控制仪表的分类

(一) 过程控制系统的内容

过程控制系统一般包括生产过程的自动检测系统、自动控制系统、自动报警联锁系统、自动操纵系统等方面的内容。

1. 自动检测系统

利用各种检测仪表对工艺变量进行自动检测、指示或记录的系统，称为自动检测系统。它包括被测对象、检测变送、信号转换处理以及显示等环节。

2. 自动控制系统

用过程控制仪表对生产过程中的某些重要变量进行自动控制，能将因受到外界干扰影响而偏离正常状态的工艺变量，自动地调回到规定的数值范围内的系统称为自动控制系统。它至少应包括被控对象、测量变送器、控制器、执行器等基本环节。

3. 自动报警与联锁保护系统

在工业生产过程中，有时由于一些偶然因素的影响，导致工艺变量超出允许的变化范围时，就有引发事故的可能。所以，对一些关键的工艺变量，要设有自动信号报警与联锁保护系统。当变量接近临界数值时，系统会发出声、光报警，提醒操作人员注意。如果变量进一步接近临界值、工况接近危险状态时，联锁系统立即采取紧急措施，自动打开安全阀或切断某些通路，必要时，紧急停车，以防止事故的发生和扩大。

4. 自动操纵系统

按预先规定的步骤自动地对生产设备进行某种周期性操作的系统。

(二) 过程控制仪表的分类

过程控制仪表是实现过程控制的工具，其种类繁多，功能不同，结构各异。从不同的角度有不同的分类方法。

1. 按功能不同

可分为检测仪表、显示仪表、控制仪表和执行器。

(1) 检测仪表 包括各种变量的检测元件、传感器等；

- (2) 显示仪表 有刻度、曲线和数字等显示形式；
- (3) 控制仪表 包括气动、电动等控制仪表及计算机控制装置；
- (4) 执行器 有气动、电动、液动等类型。

这些仪表之间的关系如图 0-1 所示。习惯上，将显示仪表列入检测仪表范围，将执行器列入控制仪表范围。

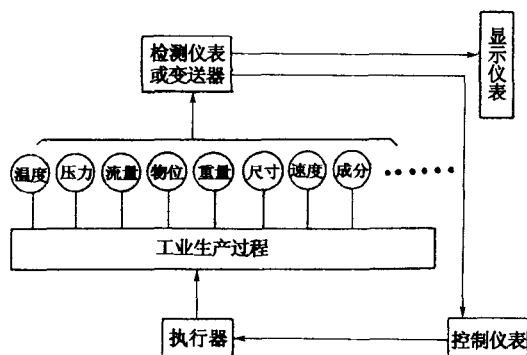


图 0-1 各类仪表间的关系图

2. 按使用的能源不同

可分为气动仪表和电动仪表。

(1) 气动仪表 以压缩空气为能源，性能稳定、可靠性高、防爆性能好且结构简单。但气信号传输速度慢、传送距离短且仪表精度低，不能满足现代化生产的要求，所以很少使用。但由于其天然的防爆性能，使气动控制阀得到了广泛的应用。

(2) 电动仪表 以电为能源，信息传递快、传送距离远，是实现远距离集中显示和控制

的理想仪表。

3. 按结构形式分

可分为基地式仪表、单元组合仪表、组件组装式仪表等。

(1) 基地式仪表 这类仪表集检测、显示、记录和控制等功能于一体。功能集中，价格低廉，比较适合于单变量的就地控制系统。

(2) 单元组合仪表 是根据自动检测系统和控制系统中各组成环节的不同功能和使用要求，将整套仪表划分成能独立实现一定功能的若干单元（有变送、调节、显示、执行、给定、计算、辅助、转换等八大单元），各单元之间采用统一信号进行联系。使用时可根据需要，对各单元进行选择 and 组合，从而构成多种多样的、复杂程度各异的自动检测系统和自动控制系统。所以单元组合仪表被形象地称做积木式仪表。

(3) 组件组装式仪表 是一种功能分离、结构组件化的成套仪表（或装置）。

4. 按信号形式分

可分为模拟仪表和数字仪表。

(1) 模拟仪表 模拟仪表的外部传输信号和内部处理信号均为连续变化的模拟量（如 4~20mA DC, 1~5V DC, 20~100kPa 等）。

(2) 数字仪表 数字仪表的外部传输信号有模拟信号和数字信号两种，但内部处理信号都是数字量（0, 1），如可编程调节器等。

三、过程控制系统及仪表的发展

过程控制最早出现在 20 世纪 40 年代。当时仅仅是利用一些检测仪表来监视生产。操作人员根据仪表的指示凭借经验进行人工操作。其弊端很多：首先，有些行业恶劣的现场环境对人身造成威胁；其次，高温、高压、深冷、真空等超常的工作条件人工无法控制，不能保证产品的质量和产量。于是在 20 世纪 50~60 年代，出现了过程控制系统，用控制仪表构成简单的控制回路来实现过程控制，从某种程度上满足了生产的要求。但随着生产规模的不断扩大，对过程控制的要求也越来越高，因此串级、比值、均匀等复杂控制系统也得到了在一定

程度的应用。20 世纪 70 年代, 由于控制理论和控制技术的发展, 给过程控制系统的发展创造了有利条件, Smith 预估补偿、预测控制等新型控制系统相继出现, 控制系统的设计与整定方法也有了新的发展。

伴随着过程控制系统的发展, 实现过程控制的工具也同样在不断地更新换代。

在 20 世纪 40 年代使用的只是体积大、精度低的检测、显示仪表; 随着科学技术的不断发展, 在 50 年代出现了以 140kPa 的压缩空气为能源, 以 20~100kPa 的气信号为统一标准信号, 以气动放大器为放大元件的 QDZ-I 型 (Q——气动, D——单元, Z——组合) 气动单元组合仪表。在气动单元组合仪表继续向前发展 (出现了 QDZ-II 型、QDZ-III 型) 的同时, 又出现了电动单元组合 (DDZ) 仪表。它历经了四代, 第一代是 20 世纪 60 年代的 DDZ-I 型, 它以电子管为放大元件, 体积大、耗电量大、不防爆; 第二代是 20 世纪 60 年代后期的 DDZ-II 型, 它是随着晶体管的问世而产生的, 以晶体管为基本放大元件, 以 220V AC 为能源, 以 0~10mA DC 为统一标准信号。其体积大大缩小、能耗降低, 从而将过程控制仪表逐步推向成熟阶段, 使过程控制水平不断提高。但此类仪表属隔爆型, 安全程度还不够理想; 第三代是 70 年代中期的 DDZ-III 型, 它是继集成电路之后出现的, 以集成运算放大器为主要放大元件, 以 24V DC 为能源, 以国际标准信号 4~20mA DC 为统一标准信号。它在体积基本不变的情形下, 大大增加了仪表的功能。且工作在现场的仪表均为安全火花型防爆仪表, 若配上安全栅, 构成安全火花防爆系统, 可使安全系数大大提高, 因此得到了广泛的应用, 并曾一度占主导地位。至今, 一些中小企业及大企业的部分装置仍在使

用; 进入 80 年代后, 由于微处理器的发展, 又出现了 DDZ-S 型智能式单元组合仪表, 它以微处理器为核心, 能源、信号都同于 DDZ-III 型, 而可靠性、准确性、功能……却远远优于 DDZ-III 仪表。

显然, 仪表的发展史与其他电气设备一样, 是伴随着电子元件的发展而发展的。

20 世纪 80 年代开始, 世界进入了知识爆炸时期, 由于各种高新技术的飞速发展, 中国开始引进和生产以微型计算机为核心, 控制功能分散、显示操作集中, 集控制、管理于一体的分散型综合控制系统 (DCS), 从而将过程控制仪表及装置推向高级阶段。同时, 可编程控制器 (PLC) 也从逻辑控制领域向过程控制领域伸出触角, 以其优良的技术性能和良好的性能/价格比在过程控制领域中占据了一席之地。

显然, 过程控制系统及仪表的发展用“突飞猛进”和“日新月异”来形容毫不过分。而至此, 它并没有止步, 各种新型控制系统和新型控制工具还在不断推出, 因此说, 过程控制是极有挑战性的学科领域。

四、课程的性质、任务

《过程控制技术》是高等职业技术学院工业生产工艺类专业的职业群辅修板块中的一门课程, 是学生在具备了数学、物理、电工电子技术、工艺学等基础知识后必修的专业基础课。

作为现代工艺人员除了要具备工艺专业的知识和能力外, 还应具有识图能力; 操作自控仪器、仪表的能力; 装置开、停车能力; 判断、分析及初步处理系统故障的能力; 与自控人员合作及实施技改的能力。本教材正是围绕这些能力的培养安排了相关内容。通过本门课程的学习, 要使学生掌握过程控制的基本知识; 了解过程控制工具的外特性、简单工作原理和正确的使用方法; 使学生初步具备参数整定、系统的投运、系统故障的判断处理等操作

技能。

五、学习方法

本课程实践性很强，在学习过程中，提倡眼、脑、手并用，在条件允许的情况下，提倡多深入工厂观察、了解，建立感性认识，带着问题进入课堂，有目的地学习各部分知识。在用眼、用脑的同时还要多动手。对所学的仪表，要做到“面熟”、“手熟”。通过随堂实验、综合实验、仿真操作，实现知识的“回放”。再深入工厂，实现知识的彻底“归位”。学习中不可脱离实际。学习某一块仪表不是目的，重要的是，通过某一部分内容的学习总结出共性的知识，举一反三、触类旁通。培养在实践中发现问题的能力，培养将理论运用到实践、用理论指导实践的能力，培养动手能力，培养自学能力，才是本门课程的最终目的。

第一章

控制流程图的认识

【学习目标】 认识控制流程图的图形符号，能读懂控制流程图，初步认识计算机控制流程图。

第一节 识图基础

要了解一套装置，首先应读懂带控制点的工艺流程图。所谓带控制点的工艺流程图，是指在工艺物料流程图的基础上，用过程检测和控制系统的的设计符号，描述生产过程控制内容的图纸，简称控制流程图。它是过程控制水平和过程控制方案的全面体现，不仅是工程设计的依据，也是工艺人员了解装置和生产操作时的重要参考资料。

图 1-1 所示，为某石油化工厂裂解气分离装置中脱丙烷塔的控制流程图。为了能看懂类似的图纸，首先需要了解仪表及控制系统在控制流程图中的表示方法。

工程设计图纸的内容，都是以图示的形式，用图形和代号等工程设计符号来表示的。这样易于表达设计意图，便于阅读和交流技术思想。

工程设计符号通常包括字母代号、图形符号和数字编号等。将表示某种功能的字母及数字组合成的仪表位号置于图形符号之中，就表示出了一块仪表的位号、种类及功能。

本书所述的图例符号采用 GB 2625—81 国家标准，适合于化工、石油、冶金、电力、轻工、建材和其他工业的控制流程图之用。

一、图形符号

1. 连接线

通用的仪表信号线均以细实线表示。在需要区分时，电信号可用虚线表示；气信号用在线上打双斜线表示。

2. 仪表的图形符号

仪表的图形符号是一个细实线圆圈，根据仪表的安装位置不同，其图形符号有所区别，如表 1-1 所示。

二、字母代号

1. 被测变量和仪表功能的字母代号

表示被测变量和仪表功能的字母代号见表 1-2。

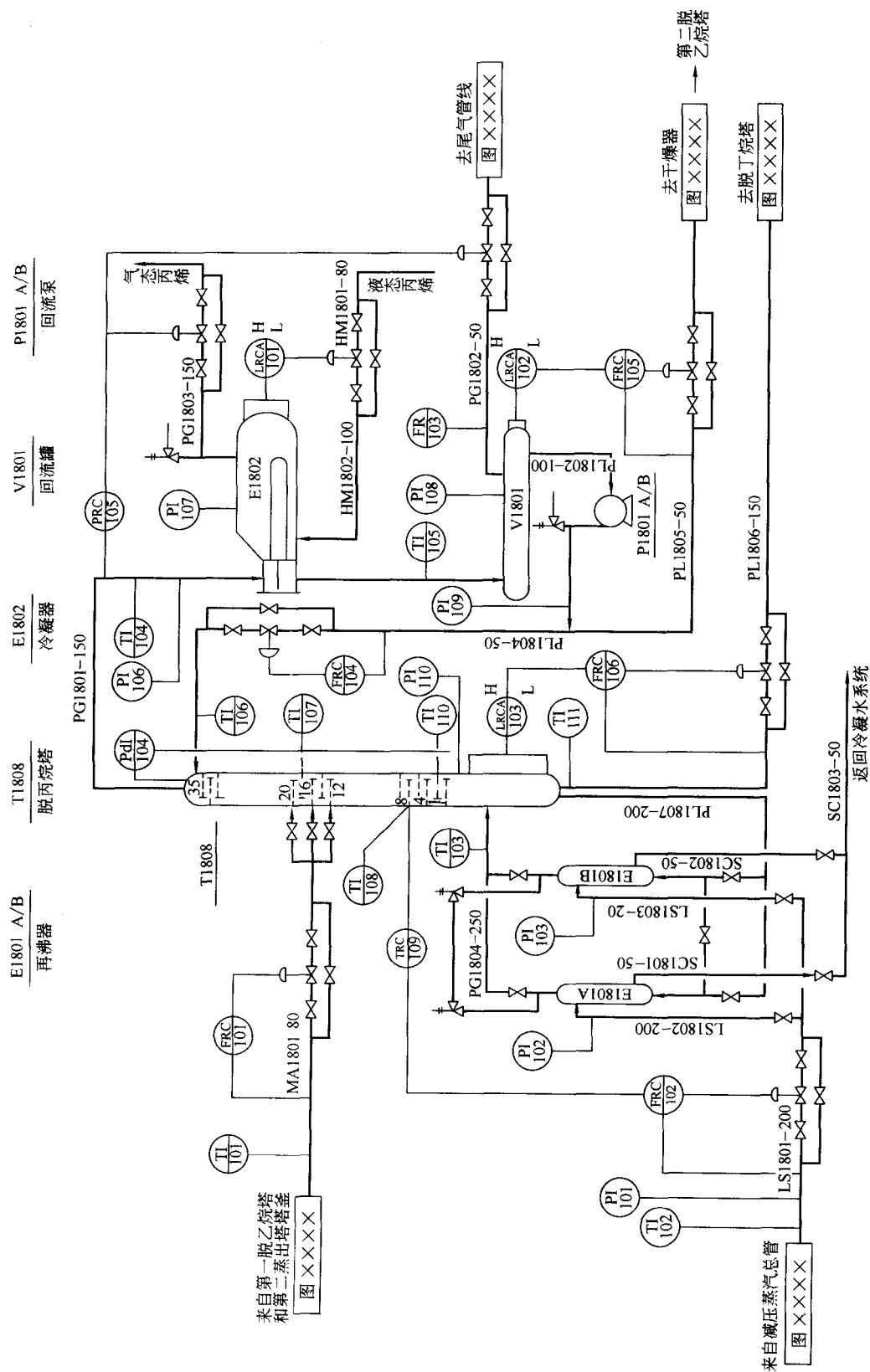


图 1-1 脱丙烷塔带控制点工艺流程图