

烃
加工

炼油工业技术知识丛书



◇ 刘美 主 编

◇ 禹柳飞 宁鹏 副主编

仪表及自动控制

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

炼油工业技术知识丛书

仪表及自动控制

刘美 主 编

禹柳飞 宁鹏 副主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书从工程应用需求出发,结合炼油工业中所用的仪表和自动化技术,深入浅出地介绍了仪表和自动控制系统的基本结构、工作原理、控制策略、技术特点、常见故障和解决方案,适合炼油领域的工艺技术人员学习仪表自动化技术使用,也可作为自动控制技术的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

仪表及自动控制/刘美主编.
—北京:中国石化出版社,2015.8
ISBN 978-7-5114-3555-2

I.①仪… II.①刘… III.①自动化仪表 ②自动控制
IV.①TH82 ②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 206329 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、
抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,
侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 10.625 印张 276 千字

2015 年 10 月第 1 版 2015 年 10 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

近年来炼油装置一直向着大型化、规模化方向发展，生产装置越来越庞大，生产工艺愈加复杂，仅仅依靠仪表和自动控制技术人员来维持装置工艺参数的稳定越来越困难。为了保证生产装置的稳定运行，迫切需要工艺技术人员参与和合作，这就要求仪表和自动控制技术人员对生产工艺有足够的认识，同时也希望工艺技术人员更多地了解仪表和自动控制技术。

本书从工程应用需求出发，结合目前生产实际中所用的仪表和自动化技术，深入浅出地介绍了仪表和自动控制系统的基本结构、工作原理、控制策略、技术特点、常见故障和解决方案，适合炼油及石油化工领域工艺技术人员学习仪表自动化技术使用，也可作为自动控制技术的科普读物。

本书共八章。第一章介绍仪表和自动控制的基本概念，第二章介绍检测仪表和传感器技术，第三章、第四章介绍控制仪表和执行器的基本原理及应用，第五章介绍自动控制系统的组成和控制方案，第六章、第八章分别介绍 DCS 和现场总线两类网络控制系统，第七章结合生产实际介绍典型炼油过程的自动控制应用实例和最新的控制方法。

本书由广东石油化工学院刘美担任主编，由广东石油化工学院禹柳飞和中国石油化工集团公司茂名分公司宁鹏担任副主编，广东石油化工学院康珏、伍林、卢均治和中国石油化工集团公司茂名分公司张宪举参与编写。刘美编写了第一章，禹柳飞、宁鹏编写了第三章和第五章，康珏编写了第二章，伍林编写了第四章，司徒莹编写了第七章，卢均治、张宪举编写了第六章和第八章。

在编写过程中，浙大中控信息技术有限公司、中国石油化工集团公司茂名分公司和广东茂化建集团有限公司等提供了大量资料，给予大力支持和帮助，广东石油化工学院陈政石和中国石油化工集团公司茂名乙烯公司谭志波对本书进行审阅，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中错误、不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 仪表与自动控制的基本概念	(1)
第一节 概述	(1)
一、化工自动化的含义	(1)
二、工艺与仪表的关系	(1)
三、化工自动化的目的	(1)
第二节 化工自动化的主要内容	(2)
一、自动检测系统	(2)
二、自动信号和联锁保护系统	(3)
三、自动操纵及自动开停车系统	(4)
四、自动控制系统	(4)
第三节 自动控制系统的基本组成及方块图	(5)
一、自动控制系统的基本组成	(5)
二、自动控制系统的方框图	(6)
第四节 自动控制系统的分类	(8)
一、按系统的结构特点分类	(8)
二、按给定值信号的特点分类	(9)
第五节 自动控制系统的过渡过程和品质指标	(10)
一、控制系统的静态与动态	(10)
二、控制系统的过渡过程	(11)
三、控制系统的品质指标	(13)
四、影响控制系统过渡过程品质的主要因素	(16)

第六节 工艺控制流程图	(17)
一、工艺管道及控制流程图	(17)
二、控制流程图中图例符号的规定	(18)
第二章 检测仪表与传感器	(22)
第一节 概述	(22)
一、检测过程及误差	(23)
二、检测仪表的基本性能指标	(24)
三、检测仪表的分类	(26)
第二节 压力检测仪表	(26)
一、压力的检测方法	(27)
二、弹性式压力计	(29)
三、压力变送器	(31)
四、压力开关	(35)
五、压力检测仪表的选用及安装	(38)
六、压力表投用、停用的注意事项	(40)
七、压力检测仪表的故障及排除	(41)
第三节 流量检测及仪表	(48)
一、流量检测方法	(49)
二、差压式流量计	(49)
三、转子流量计	(58)
四、容积式流量计	(60)
五、电磁流量计	(62)
六、涡轮流量计	(65)
七、涡街流量计	(67)
八、超声波流量计	(69)
九、科里奥利质量流量计	(70)

十、其他流量计	(71)
十一、流量检测故障判断	(75)
第四节 物位检测仪表	(79)
一、物位检测方法	(80)
二、玻璃管液位计	(80)
三、磁翻板液位计	(81)
四、液位开关	(82)
五、浮筒液位变送器	(85)
六、差压式液位计	(87)
七、电容式物位计	(91)
八、超声波物位计	(92)
九、物位检测仪表故障及排除	(94)
第五节 温度检测及仪表	(98)
一、温度检测方法	(99)
二、膨胀式温度计	(100)
三、热电偶温度计	(102)
四、热电阻温度计	(110)
五、温度变送器	(115)
六、温度开关	(116)
七、测温仪表的选用与安装	(116)
八、温度检测仪表故障及排除	(118)
第六节 成分检测及仪表	(126)
一、概述	(126)
二、热导式气体成分分析仪	(128)
三、磁导式含氧量检测仪表	(129)
四、红外线气体成分检测	(131)

五、氧化锆氧检测仪	(133)
六、色谱分析仪	(134)
七、分析仪表故障现象及处理	(136)
第三章 控制规律及控制仪表	(141)
第一节 基本控制规律	(141)
一、比例控制(P)	(142)
二、比例积分控制(PI)	(147)
三、比例微分控制(PD)	(150)
四、比例积分微分控制(PID)	(151)
第二节 可编程序控制器	(152)
一、概述	(152)
二、可编程序控制器的基本组成	(155)
三、PLC 的工作原理	(158)
四、PLC 的编程语言	(159)
第三节 数字式控制器	(160)
一、数字式控制器的主要特点	(160)
二、数字式控制器的基本构成	(162)
三、SLPC 系列可编程序数字调节器	(165)
第四章 执行器	(167)
第一节 执行器的结构原理	(167)
一、气动执行机构	(167)
二、电动执行机构	(169)
三、控制机构	(169)
第二节 执行器的特性	(173)
一、执行器开关特性	(173)
二、执行器的流量系数	(175)

三、执行器的流量特性	(175)
第三节 执行器的选择和安装	(182)
一、执行器的选择	(182)
二、执行器的安装及维护	(185)
第四节 阀门定位器	(186)
一、电-气阀门定位器	(187)
二、智能阀门定位器	(187)
第五节 数字执行器与智能执行器	(189)
一、数字阀	(189)
二、智能控制阀	(190)
第五章 自动控制系统	(192)
第一节 被控对象的特性	(192)
一、被控对象的数学描述	(192)
二、被控对象的特性参数	(194)
第二节 简单控制系统	(198)
一、简单控制系统的结构	(198)
二、简单控制系统与工艺的关系	(200)
三、操纵变量选取与工艺的关系	(204)
四、控制器的选取与控制系统的投运	(205)
第三节 复杂控制系统	(215)
一、串级控制系统	(216)
二、前馈控制系统	(222)
三、均匀控制系统	(224)
四、比值控制系统	(229)
五、选择性控制系统	(234)
六、分程控制系统	(239)

第六章 集散控制系统	(246)
第一节 概 述	(246)
第二节 集散控制系统的体系结构	(247)
一、现场控制级	(247)
二、过程控制级	(247)
三、过程管理级	(249)
四、全厂优化和经营管理级	(249)
第三节 操作站的硬件构成与功能	(250)
一、操作站的硬件	(251)
二、操作站的功能	(251)
第四节 实时监控操作举例	(254)
一、监控操作注意事项	(254)
二、启动实时监控软件	(254)
三、画面操作	(258)
第五节 触摸屏原理及应用	(274)
一、概述	(274)
二、触摸屏的工作原理与构成	(274)
三、触摸屏的种类	(275)
四、K-TP178micro 触摸屏操作	(277)
第七章 炼油过程典型控制方案	(282)
第一节 流体输送设备的自动控制	(282)
一、离心泵的控制	(282)
二、往复泵的控制	(286)
三、离心式压缩机的防喘振控制	(287)
四、流体输送设备控制举例	(291)
第二节 传热设备的自动控制	(293)

一、一般传热设备的控制	(293)
二、管式加热炉的控制	(295)
三、传热设备控制应用举例	(297)
第三节 精馏塔的控制	(300)
一、概述	(300)
二、精馏塔的基本控制方案	(302)
三、精馏塔控制应用举例	(306)
第四节 常减压过程的控制	(309)
一、常压塔的控制	(310)
二、减压塔的控制	(311)
第五节 催化裂化过程的控制	(312)
第八章 现场总线控制系统	(317)
第一节 概述	(317)
一、现场总线的特点	(317)
二、现场总线技术现状	(319)
第二节 现场总线控制系统的构成	(320)
一、现场总线控制系统的硬件构成	(320)
二、现场总线控制系统的软件构成	(323)
第三节 FCS 在电厂水处理中的应用	(324)

第一章 仪表与自动控制的基本概念

第一节 概 述

一、化工自动化的含义

在石油化工的生产过程装置上,配备一些自动化装置以及合适的自动控制系统,以代替操作人员的部分或全部直接劳动,使生产过程在一定程度上自动地进行,这种利用自动化装置来管理生产过程的方法就是化工自动化。

化工自动化是提高化工生产力的有力工具之一,它在确保生产正常运行、提高产品质量、降低能耗、降低生产成本和改善劳动强度等方面发挥着巨大的作用。随着自动控制理论和计算机技术的发展,生产过程自动化技术也得到了飞速的发展,自动化技术的应用程度已逐步成为衡量化工企业现代化水平的一个重要标志。

二、工艺与仪表的关系

石油化工企业工艺是基础,仪表也必不可少。化工、石油化工生产装置运行时一般处在高温、高压、有毒的工况之中,为使生产过程保持最佳工况,节约原材料和能源,保证生产稳定安全运行,装置使用了大量过程仪表和过程控制系统,工艺技术人员与仪表技术人员必须相互配合,才能使生产装置处于最优的工作状态,从而保证企业产生更好的经济效益。化工装置控制系统的设计是在工艺设计基础上进行的,工艺技术人员应向仪表设计人员提供工艺参数,才能使所设计的控制系统达到工艺要求,因此工艺与仪表密不可分。

三、化工自动化的目的

生产过程中,对各个工艺过程的物理量(或称工艺变量)有一定的控制要求。有些工艺变量直接表征生产过程,对产品的数

量和质量起着决定性的作用。例如，精馏塔的塔顶或塔釜温度，一般在操作压力不变的情况下必须保持一定，才能得到合格的产品；加热炉出口温度的波动不能超出允许范围，否则将影响后一工段的效果；化学反应器的反应温度必须保持平稳，才能使效率达到指标。有些工艺变量虽不直接影响产品的质量和数量，然而保持其平稳却是使生产获得良好控制的前提。例如，用蒸汽加热反应器或再沸器，如果在蒸汽总压波动剧烈的情况下，要把反应温度或塔釜温度控制好将极为困难；一个液体储槽，在生产中常用来作为一般的中间容器或成品罐，从前一个工序来的物料连续不断地流入槽中，而槽中的液体又送至下一工序进行加工或包装，当流入量(或流出量)波动时会引起槽内液位的波动，严重时还会溢出或抽空，因此必须将槽内液位维持在允许的范围之内，才能使物料平衡，保持连续的均衡生产。有些工艺变量是决定安全生产的因素。例如，锅炉汽包的水位、受压容器的压力等，不允许超出规定的限度，否则将威胁生产安全。还有一些工艺变量直接影响产品的质量。例如，某些混合气体的组成、溶液的酸碱度等；近二十几年来，工业生产规模的迅猛发展，加剧了对人类生存环境的污染，因此，减少工业生产对环境的影响，保证可持续发展也成为化工自动化的目标之一。

综上所述，化工自动化的主要目标应包括以下几个方面：

- ① 保障化工生产过程的安全和平稳；
- ② 达到预期的产量和质量；
- ③ 尽可能地减少原材料和能源的消耗；
- ④ 把生产对环境的危害降低到最小程度。

第二节 化工自动化的主要内容

化工自动化的内容，一般包括自动检测、自动保护、自动操纵和自动控制四个方面。

一、自动检测系统

利用各种检测仪表对主要工艺参数进行测量、指示或记录的

系统，称为自动检测系统，它代替了操作人员对工艺参数的不断观察与记录，因此起到人的眼睛的作用。

图 1-1 是利用蒸汽来加热冷物料的热交换器，冷液经加热后的温度是否达到要求，可用测温元件配上显示仪表平衡电桥来进行测量、指示和记录；冷液的流量可以用流量计进行检测；蒸汽压力可用压力表来指示，这些就是检测温度、流量、压力参数的自动检测系统。

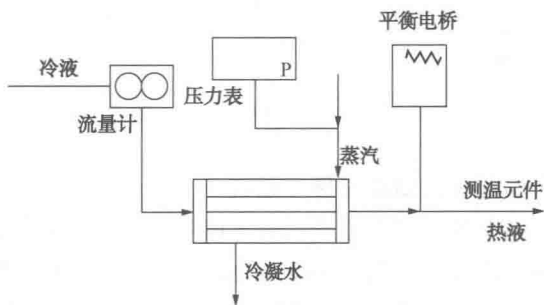


图 1-1 热交换器自动检测系统示意图

二、自动信号和联锁保护系统

生产过程中，有时由于一些偶然因素的影响，导致工艺参数超出允许的变化范围而出现不正常情况时，就有引起事故的可能。为此，常对某些关键性参数设有自动信号联锁装置。当工艺参数超过了允许范围，在事故即将发生以前，信号系统就自动地发出声光信号，提醒操作人员注意，并及时采取措施。如工况已到达危险状态时，联锁系统立即自动采取紧急措施，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。自动信号和联锁保护系统是生产过程中的一种安全装置。例如，液位自动报警系统，如图 1-2 所示，当液位超过了允许极限值时，自动报警信号系统就会发出声光信号，提醒工艺操作人员及时处理生产事故。当液位进入危险极限值时，联锁系统可立即采取应急措施，如打开出液阀或关闭进液阀门，从而避免引起液体

溢出的生产事故。

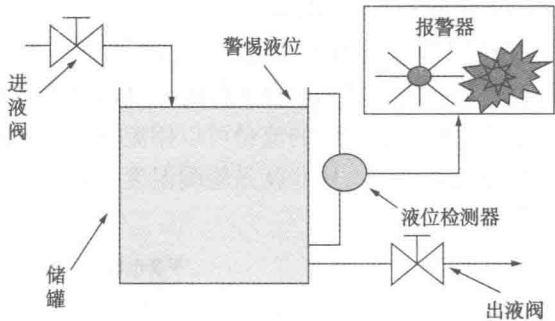


图 1-2 液位自动报警系统示意图

三、自动操纵及自动开停车系统

自动操纵系统可以根据预先规定的步骤自动地对生产设备进行某种周期性操作。例如某自动加料系统，如图 1-3 所示，工艺要求需要将 A 原料和 B 原料按一定比例在容器中混合后排出，利用自动操纵机可以代替人工自动地按照加料、混合、排出等步骤周期性地打开加料阀门、搅拌器及出料阀门，从而减轻操作工人的重复性体力劳动。自动开停车系统可以按照预先规定好的步骤，将生产过程自动地投入运行或自动停车。

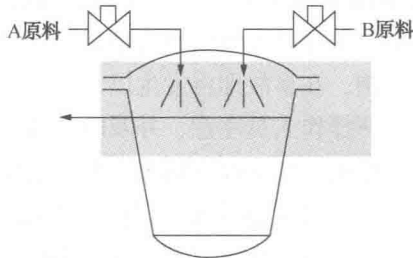


图 1-3 自动加料系统示意图

四、自动控制系统

对生产过程中某些关键性参数进行自动控制，使它们在受到

外界干扰(扰动)的影响而偏离正常状态时,能自动地调节而回到规定的数值范围内,为此目的而设置的系统就是自动控制系统。自动控制系统是自动化生产的核心部分,只有自动控制系统才能自动地排除各种干扰因素对工艺参数(例如温度、压力、流量、液位)的影响,使它们始终保持在预先规定的数值上,保证生产维持在正常或最佳的工艺操作状态。

第三节 自动控制系统的基本组成及方块图

一、自动控制系统的基本组成

1. 人工控制

人工控制过程如图 1-4 所示,操作人员用眼睛观察玻璃管液位计中液位的高低,并通过神经系统告诉大脑,大脑根据液位高度,与液位设定值(可选择指示值中间的某一点为正常工作时的液位高度)进行比较,得出偏差的大小和正负,然后发出命令。根据大脑发出的命令,通过手去改变阀门开度(出口流量)。当液位上升时,将出口阀门开大,液位上升越多,阀门开得越大;反之,当液位下降时,则关小出口阀门,液位下降越多,阀门关得越小,从而使液位保持在所需液位上。

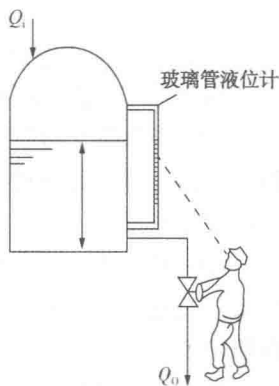


图 1-4 人工控制液位

眼、脑、手 3 个器官,分别担负了检测、控制和执行三个作用,完成了测量、求偏差及运算、操纵阀门以纠正偏差的全过程。

2. 自动控制系统

自动控制系统是在人工调节的基础上产生和发展起来的,其主要的自动化装置包括测量元件与变送器、控制器、执行器,它们分别代替了人的眼、脑、手三个器官。液体储槽和自动化装置一起就构成了一个自动控制系统,如图 1-5 所示。