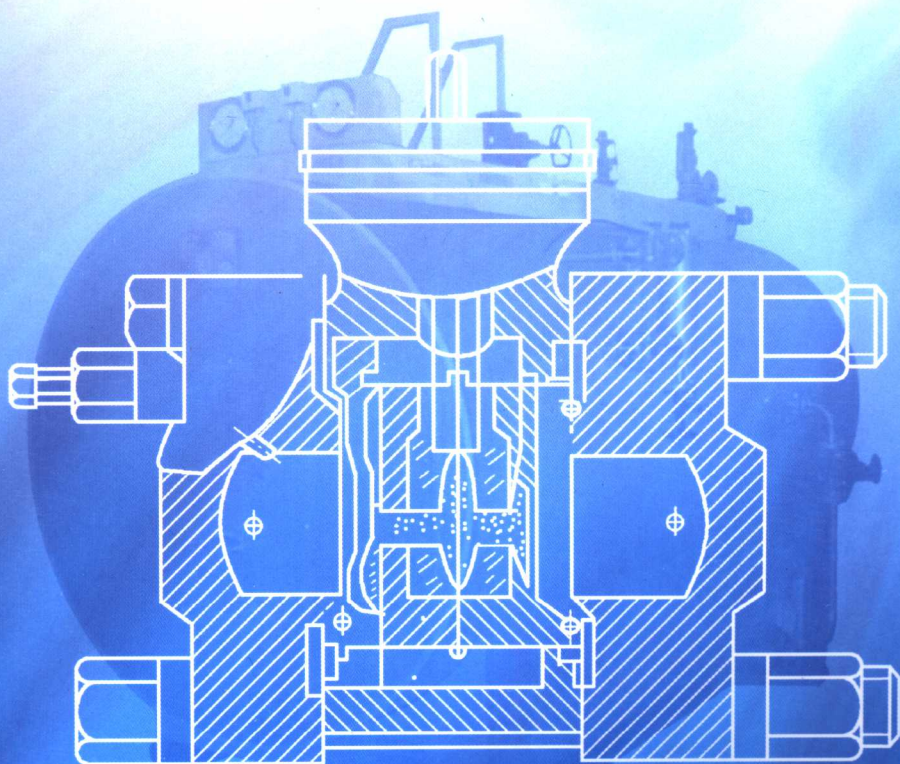


中等职业教育规划教材

液位控制系统

——自动控制专业项目教学教程之二

吴祚武 主编 王 磊 主审



化学工业出版社
教材出版中心

中等职业教育规划教材

液位控制系统

——自动控制专业项目教学教程之二

吴祚武 主编

王 磊 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

本书作为《自动控制专业项目教学教程》之二,选取了工业生产中典型的液位对象,从液位控制的重要性、液位控制中的安全等问题入手,系统地介绍了常见的液位检测方法和常用的液位检测仪表;简单与复杂液位自动控制系统的组成及其工作原理;常用过程控制仪表的组成、工作原理及其使用方法。

本书是在前一篇《压力控制系统》的基础上,进行内容的展开、深入,也为后一篇《流量控制系统》的学习奠定一定的基础。

本书可作为中等职业学校仪器仪表、自动控制专业的教材,也可以作为职工培训和从事仪表自动化的工作人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

液位控制系统/吴祚武主编. —北京:化学工业出版社,
2006.6
中等职业教育规划教材. 自动控制专业项目教学教程之二
ISBN 7-5025-8973-2

I. 液… II. 吴… III. 化工过程-液体-位置控制-专业
学校-教材 IV. TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 071079 号

中等职业教育规划教材
液 位 控 制 系 统
——自动控制专业项目教学教程之二
吴祚武 主编
王 磊 主审
责任编辑:张建茹
文字编辑:钱 诚
责任校对:蒋 宇
封面设计:胡艳玮

*

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)
购书咨询:(010)64982530
(010)64918013
购书传真:(010)64982630
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印装
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7¼ 字数 172 千字
2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-8973-2
定 价:12.00 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

自动化仪表类中等职业教育规划教材编审委员会

主 任 王黎明

副主任 开 俊 乐建波 蔡夕忠

委 员 (排序不分先后)

尹廷金 王 冠 吴祚武 李玉红

王 磊 谭爱平 纪绍青 张红翠

刘开民 王 哲 汪东军 钱跃宗

李文祥 付志刚 李丽霞 张 洪

方清化

前 言

“给你 55 分钟，你可以造一座桥吗？”这是德国教育专家弗雷德·海因里希教授对“项目教学法”的介绍引入词。

“项目教学法”通过选取现实中一个“造一座桥”的项目，让学生进行讨论，按照“项目分析→制定计划→正式实施项目”的学习步骤，利用一种被称为“造就一代工程师伟业”的“慧鱼”模型拼装桥梁，在课堂教学中把理论与实践教学有机地结合起来，培养学生的职业能力。

职业院校以往在自动控制专业的教学方案设计和实施过程中，通常是以《过程检测技术》、《过程控制装置》和《过程控制技术》三门课程的经典设计来构成专业课程教学平台。而在自动化技术飞速发展的今天，这种以学科为本位、相对独立的课程体系同目前职业院校的实际生源状况很难适应，同生产岗位对专业操作人员的实际职业能力的要求也不相协调。

为在教学中激发学生对专业学习的兴趣，培养自发的学习能力，训练实践能力和综合能力，发掘创造潜能，达到提升学生综合职业能力的目的，我们首次尝试对传统的教学设计予以改革，突破传统的课程体系，依据自动控制专业学生应具有的职业能力，遵循“项目教学法”的教学思维，按压力控制、液位控制、流量控制、温度控制和综合控制的教学顺序，循序渐进，将应涵盖的教学内容进行融合调整，形成了《自动控制专业项目教学教程》一套共五册教材。在各分册中，通过对教学项目和控制系统所涉及能力点的合理选择，自简单到复杂，先易后难，逐册递进，前后呼应，将自动控制专业学生应具备的知识能力系统有机地融合进全套教程中。同时，在具体的教学设计安排中，充分利用现代化教学与实训手段，围绕一个完整的项目，按“预演项目结果→阐述项目设计思想→组织项目实施→系统评估”的过程，完成系统的教学活动。

本书为自动控制专业项目教学系列教程中第二分册，内容是工业生产中的液位检测与控制，全册共分六个任务。主要以工业生产中常见的液位对象为基础，介绍了常用的液位检测方法、检测仪表；液位自动控制系统的组成、原理；常用过程控制仪表的组成原理及其使用方法；仪表的调试、校验、安装等。

本书由吴祚武任主编，并负责全书的统稿。王磊任主审。参加编写的还有王哲、钱跃宗。其中：项目描述、任务一、任务五由吴祚武编写；任务二、任务六由王哲编写；任务四由钱跃宗编写；任务三由王哲与钱跃宗共同编写。

汲取以往的教学精华，借助于成功的教学思维，力图改革，推陈出新，这是我们推出此套教程的宗旨。因首次进行尝试，不足之处在所难免，恳请各位专家和读者不吝赐教，提出宝贵意见，对教程中出现的不足予以批评指正。

本套教材编写过程中，得到全国化工中等职业教育教学指导委员会和广大职业院校及化学工业出版社的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

全国化工中职机电仪表信息类专业教学指导委员会
《自动控制专业项目教学系列教程》编写组

2006 年 6 月

目 录

项目概述	1
一、生产中典型的液位对象	1
二、控制目的	3
任务一 项目分析	4
一、设备介绍	4
二、控制任务分析	5
三、安全因素分析	5
实训：参观教学——安排参观与液位相关的工艺设备、工艺流程、控制过程	11
习题一	11
任务二 控制方案确定	13
一、自动控制系统的基本概念	13
二、锅炉汽包的液位控制方案	25
习题二	31
任务三 液位检测装置选择	34
一、常见的液位检测方法	34
二、检测信号的处理	42
实训：差压变送器的校验及零点迁移训练	47
习题三	49
任务四 控制装置	51
一、模拟控制装置	51
二、可编程序控制器	56
三、执行器	76
四、阀门定位器	78
实训：可编程序控制器操作	80
习题四	83
任务五 控制系统的安装与投运	84
一、本项目自动控制系统接线图	84
二、差压变送器的安装与使用	84
三、控制器参数的整定	87
四、系统投运	90
五、系统维护	92

六、系统改进	93
实训：液位简单控制系统的操作（开停车、手动自动无扰动切换、比例度整定）	93
习题五	95
任务六 精馏塔的控制方案	96
一、精馏塔设备介绍	96
二、精馏塔的简单液位控制	99
三、精馏塔均匀控制系统	100
实训 均匀控制系统中两个控制器比例度大小与控制质量的关系	103
习题六	105
参考文献	107

项目概述

实现工业生产过程自动化，一直是从事自动控制工作的工程技术人员努力方向和奋斗目标。生产过程自动化，不仅可以提高劳动生产率，减少能耗，降低生产成本，而且在某些生产装置或工艺过程无法用人工进行控制的场合（例如有毒有害的危险场所）或人力所不能及的地方，体现出巨大的优越性。可以说，现代化工业生产中，要想实现安全生产，实现生产的优质、高产、低耗，离不开自动化，而实现自动化的工具就是仪表。

本教程是自动控制专业必修的专业课之一。依据项目教学法的要求，通过工业生产中一到两个实例，学习实现生产过程自动化的方法以及构成自动控制系统所需的仪器仪表。通过本门课程的学习，了解工业生产中液位检测与控制的重要性；熟悉常用液位检测方法 with 仪器仪表、常用液位控制装置的基本工作原理；掌握常用过程检测与控制装置的使用方法；能正确调校、安装、维护过程检测与控制装置；能合理选用仪表构成一般的液位控制系统。

现代工业过程中控制装置的应用十分广泛，新型仪表不断推出。本教程力争做到先进性、实用性和广泛性的结合，以满足企业对技术技能型、复合技能型、知识技能型人才的需要。既有传统的检测与控制手段和常规仪表的介绍，也有较为先进的数字式智能自控设备的介绍。

工业生产中液位的测量与控制十分重要。例如，锅炉汽包的液位关系到锅炉的正常运行，液位过高使得生产的蒸汽品质下降，从而影响其他生产环节或装置的运行；液位过低，会发生锅炉汽包被烧干引起爆炸的事故。因此，必须对锅炉汽包的液位进行检测和控制，及时发现问题，消除安全隐患，确保生产的安全和设备运行的安全。另外，工业生产中还有许多生产设备中的液位需要检测和控制。

一、生产中典型的液位对象

在本教程《压力控制系统》中介绍了工业生产中的压力检测与控制。通过学习，了解了有关自动检测与自动控制方面的基本知识，为学习本篇内容打下了一定的基础。

众所周知，液位是工业生产中四大热工参数之一，本篇将就工业生产中的液位检测与控制进行介绍。了解液位，首先得知道物位。物位是指存放在容器或工业设备中物质的高度或位置。若此物质为液体，表征其液面的高低，就称为液位；若是液体与液体（不同密度）或固体与液体的分界面，就称为界位；若是固体或颗粒状物质的堆积高度，则称为料位。上述各种物位的测量仪表分别称为液位计、界面计和料位计。

物位的检测与控制在现代工业生产自动化中具有重要的地位。通过物位的测量，可以准确获知容器内储存原料、半成品或成品的数量（指体积或质量）；根据物位的高低，连续监视或控制容器内流入与流出物料的平衡情况，使物位保持在工艺要求的范围内，或对它的上下限位置进行报警。因此，一般物位测量与控制有两个目的，一是对物位测量的绝对值要求非常准确，用来确定容器内或储存库中的原料、辅料、半成品或成品的数量，此处的物位仪表仅仅是以检测为目的；二是对物位测量的相对值要求非常准确，要能快速、准确反映出某一特定水准面上的物料相对变化，用以连续控制生产过程，这里的物位仪表，兼有检测与控

制作用。

因为物位检测与控制中的液位检测与控制应用更多见，所以本教程以液位检测与控制为主要内容，介绍现代工业生产自动化中常见的液位检测与控制。

在工业生产中，“对象”泛指工业生产设备或装置。常见的对象有电动机、各类热交换器、塔釜、贮槽、反应器、各种类型的泵等。在液位检测与控制系统中，锅炉汽包和贮槽是最为常见的对象。为了能使生产过程平稳运行，作为自动控制人员，除了要充分了解和熟悉生产工艺过程，更重要的是要熟知所控制生产设备的特性——对象特性。因此，研究和熟悉

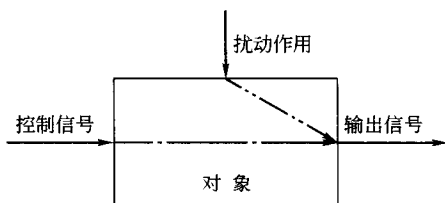


图 0-1 对象的输入信号、输出信号

常见控制对象的特性，对从事生产过程自动控制的工程技术人员而言，有着十分重要的意义。

所谓对象特性，是指对象在输入信号作用下，其输出信号（一般指被控变量）随时间变化的规律。这里的输入信号，一是人为施加的控制作用，二是各种扰动作用，如图 0-1 所示。图中规定，箭头指向方框的为对象的输入，箭头离开方框的

则为对象的输出，并且这里的输入、输出均是指信息流，不是指物料的流入、流出。

（一）锅炉汽包

锅炉是工业生产中常见的、必不可少的动力设备之一。在工业生产中的蒸馏、干燥、蒸发、换热、化学反应等过程所需的热源要靠锅炉产生的蒸汽提供；电厂里的汽轮发电机，是靠锅炉产生的一定温度和压力的过热蒸汽来推动的。锅炉产生蒸汽的压力和温度是否稳定，锅炉运行是否安全，直接影响到生产的能否正常进行，更关系到人员和设备的安全与否。因此，锅炉的过程控制十分重要。

随着工业生产规模的不断扩大，生产过程的不断强化，生产设备的不断革新，作为动力源和热源的锅炉，开始向大容量、多参数、高效率的方向发展。另外，锅炉应用范围也不断扩大。为此，出现了各种大型、中型、小型的锅炉，产生的蒸汽也有高压、中压、低压之分。

作为液位控制对象，锅炉汽包的液位控制将是本篇教程讨论的重点。

（二）贮槽

贮槽是工业生产中常用的设备，贮槽中的液位检测与控制在工业生产中也是常见的，例如合成氨生产中液氨贮槽的液位检测与控制。因为储槽结构简单、容易实现，所以经常被用作分析、研究对象特性的实验设备。图 0-2 为贮槽示意，图中液位 L 为被控变量（通过控制作用，使之能满足生产要求的工艺变量），即被控对象的输出信号。它的操纵变量（被自动控制系统用来施加控制作用的变量）可以是流入量 $q_{\text{入}}$ ，也可以是流出量 $q_{\text{出}}$ 。若控制 $q_{\text{入}}$ ，则 $q_{\text{出}}$ 的变化就是扰动作用，反之亦然。

对于被控对象，需要了解两个基本概念。一是对象的负荷，二是对象的自衡。

所谓对象的负荷（也称生产能力），是指生产过程处于稳定状态时，单位时间内流入或流出对象的物料或能量。例如图 0-2 中的物料流量、锅炉的产汽量等。负

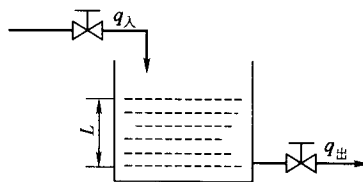


图 0-2 贮槽示意

荷变化的大小、快慢和次数，常常被视作系统的扰动。显然，稳定的负荷有利于自动控制。

对象，分为有自衡对象和无自衡对象。如果对象的负荷改变后，无需外加任何控制作用，被控变量能自行趋于一个新的稳定值，这样的对象就称为有自衡对象。如图 0-2 所示的对象就属于有自衡对象。在图 0-2 中，假如流入量 q_{λ} 突然增加，而流出量 $q_{\text{出}}$ 不变，由于 $q_{\lambda} > q_{\text{出}}$ ，液位会上升。此时，在贮槽的底部，静压力就会增加。尽管流出阀的开度没有改变，流出量 $q_{\text{出}}$ 也会随着底部静压的增加而增加，当 $q_{\text{出}}$ 增加到等于 q_{λ} 时，贮槽的液位又重新稳定下来。但是，同样是如图 0-2 所示的贮槽，如果底部流出量是通过一台泵抽出，由于泵的排出量基本不变，在流入量突然增加时，若不加控制作用，对象就不能自行达到新的平衡，这样的对象就称为无自衡对象。显而易见，有自衡对象比无自衡对象要容易控制。

此外，对于被控对象，还应掌握对象特性中的三个重要参数。即放大系数 K 、时间常数 T 和滞后时间 τ 。这些内容将在任务二中介绍。

如图 0-2 所示的贮槽对象，通常称为单容量对象或一阶对象。此处的“一阶”是指在建立这种对象的数学模型（用数学表达式来描述对象的特性）时，列出的微分方程是一阶的，故此得名。依此类推，若对象数学模型的微分方程是二阶的，则称为二阶对象，也称为多容量对象，如图 0-3 所示的贮槽即为二阶对象。

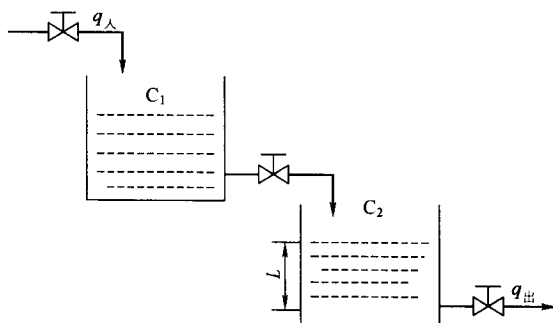


图 0-3 多容量对象

对于二阶对象，流入量 q_{λ} 的变化首先引起贮槽 C_1 的液位变化，然后才引起贮槽 C_2 的液位变化，显然流入量 q_{λ} 对被控变量 L 的影响过程更为间接和复杂，所以它的液位控制难度就大得多。

二、控制目的

本项目以锅炉汽包的液位控制为主要任务，就汽包液位的检测与控制展开讨论。锅炉在工业生产中占据重要的地位，其运行正常、安全与否，直接关系到生产的能否正常进行。因为锅炉属于压力设备，其运行会关系到人身安全，所以通过使用一套自动化仪表，对汽包液位进行自动控制，确保生产中锅炉设备的运行安全，实现生产过程的自动化。其意义在于：使锅炉运行在最佳工况，降低生产成本，提高经济效益；为安全生产提供保障，有效防止事故发生，确保人身和设备的安全。

任务一 项目分析

任务项目：1. 介绍工艺设备——锅炉。

2. 锅炉汽包的液位控制。

3. 锅炉运行中的安全问题。

知识目标：1. 锅炉的组成结构、工作原理。

2. 锅炉汽包液位控制任务分析。

3. 锅炉运行中安全问题的处置。

能力目标：1. 能根据实际问题的需要分析控制任务、控制目的。

2. 对生产安全问题的认识与处理能力。

一、设备介绍

为适应生产的需要，锅炉的大小、型式也有各种各样。锅炉的大小是以锅炉每小时产生的蒸汽量来衡量的，小型锅炉每小时产几吨蒸汽，大的可产 200t 以上的蒸汽。产生的蒸汽压力有高、中、低之分。在应用类型上，可将锅炉分为动力锅炉和工业锅炉，其中工业锅炉又分为辅助锅炉、废热锅炉、快装锅炉、夹套锅炉等。锅炉的燃料也各不相同，有燃气型、燃油型、燃煤型和化学反应型等。如图 1-1 所示的就是一台油气式锅炉的实物照片。

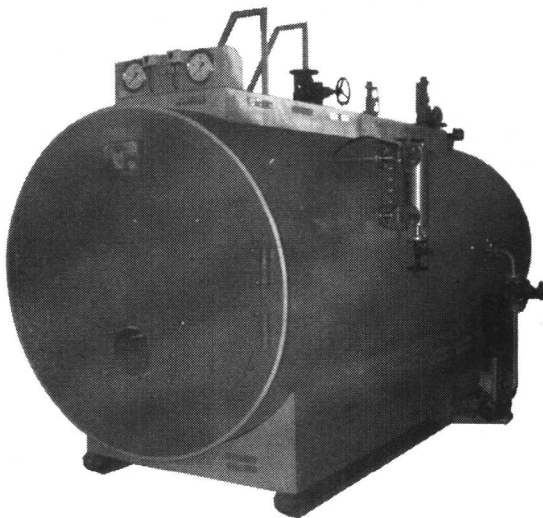


图 1-1 油气式锅炉

锅炉的工艺流程如图 1-2 所示，锅炉生产蒸汽的过程简述如下。

燃料和热空气按一定比例混合后进入燃烧室燃烧，加热汽包内的水产生饱和蒸汽 D_s ，经过过热器后形成一定温度的过热蒸汽 D ，再汇集到蒸汽母管 P_M ，最后经过负荷设备调节

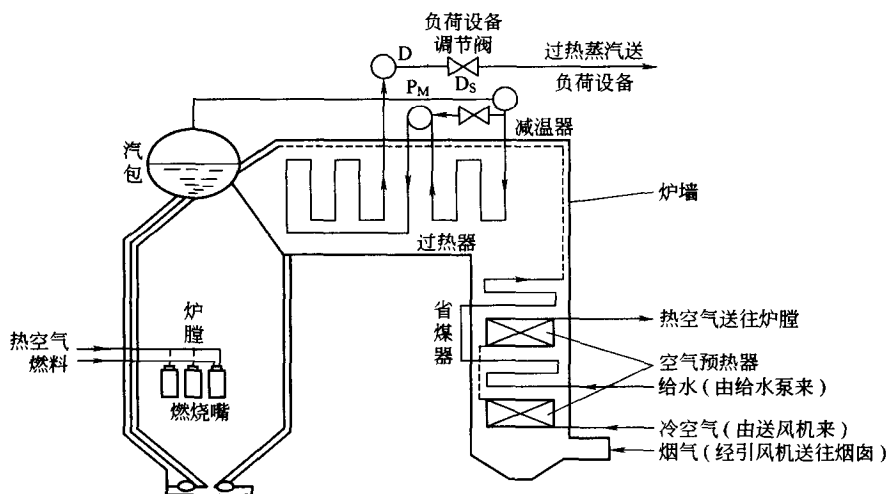


图 1-2 锅炉工艺流程

阀供给负荷设备使用。燃料在燃烧时产生的烟气，其热量一部分将饱和蒸汽变成过热蒸汽，另一部分经省煤器对锅炉供水和空气进行预热，最后由送风机从烟囱排入大气。

二、控制任务分析

根据锅炉的工作原理，按照工艺要求，锅炉的运行主要有以下三个方面的过程控制。

1. 汽包液位控制

汽包液位控制系统是锅炉安全运行的必要保证，它要维持汽包内的水位在工艺允许的范围内。

汽包液位是锅炉正常运行的重要指标。液位过高，由于汽包上部空间变小，从而影响汽水分离，产生蒸汽带液现象；液位过低，则由于汽包的容积较小而负荷却很大，水的汽化速度加快，使得汽包内的储水量迅速减少，如不及时控制，就会使汽包内的水全部汽化，形成“干烧”，可能导致锅炉烧坏甚至爆炸的严重后果。

目前，锅炉汽包水位常采用单冲量、双冲量及三冲量控制方案。此处的“冲量”不是物理上定义的“作用在物体上的力和时间的乘积”的意思，而是一种表示“变量”的习惯延用。有关控制方案的选择及原理将在任务二中介绍。

2. 燃烧系统的控制

该控制系统通过控制燃料量与空气量保持一定的比值，以保证经济燃烧和锅炉的安全运行；同时要求使引风量与送风量相适应，以维持炉膛内的负压恒定不变。其最终目的是使燃料产生的热量满足蒸汽负荷的需要。

3. 过热蒸汽系统的控制

这是一个温度控制系统，其作用一是保持过热器出口温度在允许范围内；二是保证管壁温度不超过允许的工作温度。

三、安全因素分析

（一）危及安全的因素

在现代工业生产中，人们越来越重视健康、安全、环保。但是，工业生产中，危及生产

和人身安全的因素很多。尤其是化工生产，具有易燃、易爆、高温、深冷、高压、有毒、有害等特点。在生产过程的自动控制中，如若处理不当，极易发生事故，从而危及设备和人身安全，轻则影响到产品的产量、质量、经济效益，重则造成人员伤亡或生态环境的破坏，带来巨大的经济损失。2005年11月13日，中国吉林某化工公司双苯厂发生了连续大爆炸，造成60多人受伤，5人死亡，1人失踪；爆炸威力所及，附近200m内民居楼房的玻璃均被震碎，并且爆炸导致的苯泄漏给松花江流域造成严重水污染。1984年12月，美国联合碳化公司设在印度的一家农药厂发生了45t剧毒甲基异氰酸酯泄漏事故，事故发生后的三天内，有8000多人死亡；一个星期里，单患眼病的人数就猛增至15万之多……，这场灾难使5万多人双目失明，10多万人终身残废，50多万人不同程度地中毒。后来，又有1.2万人陆续死亡。剧毒化学品已经渗透到出事地点的土壤中，周围的水源也受到严重污染，生态灾难延续至今。联合碳化物农药厂遗址，已经成为地球母亲的一块脓疮。

本着安全为了生产、生产必须安全的原则，必须解决两方面的问题。

首先是解决人的问题，这也是实现安全生产的关键所在。作为操作者，除了要有过硬的技术本领，还得有强烈自觉的安全意识和认真负责的工作态度。按章行事，一丝不苟，安全就有了保障。否则，事故就会如影随形。

其次是完好的技术设备保障。作为工业生产“眼睛和大脑”的自动化仪表，除了能维持生产的正常运转外，还要能及时发现并处置生产中出现的各种危险情况，确保生产的安全运行。

化工生产中安全事故的形式主要是燃烧、爆炸和中毒。其中燃烧和爆炸与自动化仪表密切相关。

(1) 燃烧 燃烧是可燃物与助燃物（氧或氧化剂）之间发生的一种化学反应，其特征是发光、发热、生成新的物质。燃烧必须同时具备三个条件（必要但不充分），即可燃物、助燃物和点火源，缺少其中任何一个条件，燃烧便不会发生。但是，燃烧的发生，在温度、压力、组分浓度、点火源等方面都存在极限值要求。也就是说，有时即使具备了上述三个条件，燃烧也不一定会发生。比如，可燃物未达到一定浓度、助燃物数量不足、点火源不具备足够的点火能量等。

(2) 爆炸 爆炸是物质发生的一种急剧的物理或化学变化，是一种能在瞬间释放大量能量，同时产生巨大声响的现象。爆炸分为物理性爆炸和化学性爆炸。物理性爆炸是因物质状态或压力发生突然变化而产生的爆炸，如液化气钢瓶内的液化气过热，引起压力升高而导致的爆炸；化学性爆炸是由于物质发生剧烈的化学反应，产生高温高压而引起的爆炸，如爆炸性混合物（指可燃气体、蒸汽、粉尘与空气的混合）遇到明火时发生的爆炸。

燃烧和爆炸都具有很大的破坏力。燃烧形成的火灾，爆炸形成的振荡波、冲击波和碎片冲击对人员和财产设备极具杀伤和破坏力，生产中必须予以高度重视，加以预防。

(二) 设备及运行安全

在液位测量与控制中，其对象大多属于压力容器。关于压力容器设备及运行安全，在第一篇中已有详细的介绍，此处就不再赘述。

生产过程中，由于物料的起泡、管道的破裂、设备的损坏、反应失控、人为操作的失误等原因，都可能出现跑、冒、滴、漏现象。若物料为易燃易爆介质，一旦满足燃烧或爆炸所需的条件，就可能造成重大事故的发生。例如，2003年1月，沈阳某制蜡厂生产车间内，

有两个装有 10 多吨易燃溶剂的反应釜，由于设备陈旧简陋，常有易燃溶剂外溢，在反应釜周围形成大量易燃气体，遇明火产生了剧烈爆炸，死亡两人，110 多平方米的车间被夷为平地。因此，在生产操作过程中，要极力避免或最大限度地减少跑、冒、滴、漏现象，特别要防止易燃易爆介质的泄漏。

在液位检测与控制系统中，为了确保设备及运行的安全，应设置自动信号报警与联锁保护装置。

（三）控制系统应考虑的安全因素

作为自动控制系统考虑的安全因素，主要是防爆、自动信号报警和联锁保护。

1. 防爆

自动控制系统中使用的仪器仪表，若设计不合理，选型、安装、运行、维修不当，出现的短路、过载、接触不良、元器件过热、通风散热不良等因素，均有可能导致仪器仪表本身或线路过热，或直接产生电火花，形成危险温度，造成电气火灾和爆炸。

电动仪表的防爆一般有三种方式：隔爆型、增安型和安全火花型。

① 隔爆型。采用将仪表线路封装在坚固外壳内的做法，因表壳强度足够大，即使仪表因故障产生电火花，引起表壳内部爆炸，也不会使仪表外部的易燃易爆介质燃烧或爆炸。但这种防爆方式存在一定的局限性。例如，在仪表正常运行时，它是安全的，若仪表因现场维修、调试而必须打开外壳时，就失去了防爆性能；另外，该类仪表在长期使用后，由于磨损、密封件老化等原因，很难保持要求的密封性能，从而使防爆性能下降。鉴于对此类仪表的密封性能要求非常高，因此成本较高；而且其防爆等级不高，不宜用于组别和级别高的易燃易爆介质，如氢气、乙炔、二硫化碳等。

② 增安型。正常运行条件下，不会产生点燃爆炸性混合物的火花或危险温度，并在结构上采取措施，提高其安全程度，以避免在正常和规定过载条件下出现点燃现象的电气设备。

③ 安全火花型。该类型电气设备能从根本上解决引起燃烧和爆炸的能量问题。这里的“安全火花”，是指该火花的能量不足以对其周围可燃介质构成点火源。在采取一定措施后，对正常状态或事故状态所产生的“火花”，均为安全火花的仪表，称之为安全火花型仪表，如 DDZ-Ⅲ型仪表。因为这类仪表为本质安全防爆仪表，所以又简称“本安仪表”。

众所周知，易燃易爆介质能否点燃或引爆，关键取决于是否得到最小点火能量。例如，在理想条件下，甲烷的最小点火能量为 $0.28 \times 10^{-3} \text{J}$ ，氢和乙炔为 $0.019 \times 10^{-3} \text{J}$ 。不同气体和同一气体不同浓度的最小点火能量是不同的。因此，在具备易燃易爆介质这一内在条件后，只有当环境温度、引爆电流等外部条件具备且达到最小点火能量时，燃烧或爆炸才会发生。安全火花型仪表正是基于这一原理，控制燃烧或爆炸的外在条件，使仪表不能产生达到最小点火能量的火花，从而从根本上解决了仪表的防爆问题。

安全火花型仪表在线路设计上，主要从限能（限制电压、限制电流）、电气隔离（输入-输出信号隔离、供电隔离）、减少储能元件（电容、电感）、熔断器保护、接地保护等方面入手，使电信号在传输过程中始终不能产生非安全火花。

与隔爆型仪表相比，安全火花型仪表具有如下优点。

- ① 防爆等级高，可适用于有氢气、乙炔、二硫化碳等介质的高防爆等级危险场所。
- ② 长期使用后不降低防爆等级。

③ 安装费用比隔爆型低 20%~40%。

④ 可以在运行中用安全火花型测试仪器在现场进行带电检测和调试。

必须强调的是，并非在危险场所使用了安全火花型防爆仪表，就能实现防爆。这里需要分清“安全火花型防爆仪表”和“安全火花型防爆系统”的区别。如图 1-3 所示为非安全火花型防爆系统，即便现场使用的仪表为“安全火花型”，也不能实现安全火花型防爆。这是因为在控制室与现场之间有直接电的联系，控制室内存在的高危能量就有可能传送到现场，形成不安全的因素。解决的方法是如图 1-4 所示，除了危险场所必须使用安全火花型防爆仪表外，还要在现场与控制室之间加装安全栅（又称安全保持器），以进行高危能量的隔离。这就形成了所谓“安全火花型防爆系统”，也只有这样才能实现真正意义上的安全火花防爆。

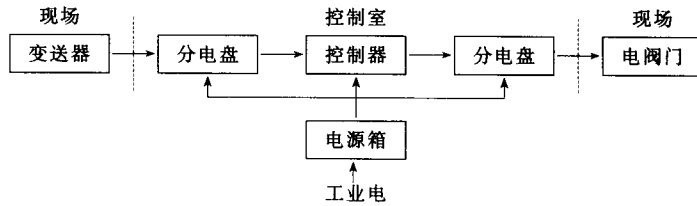


图 1-3 非安全火花型防爆系统

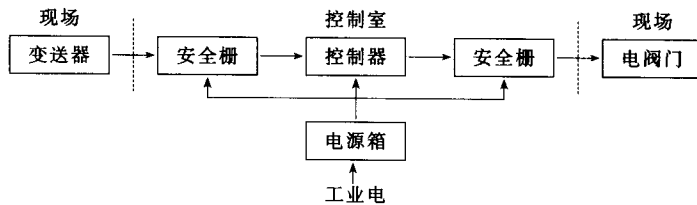


图 1-4 安全火花型防爆系统

2. 自动信号报警和联锁保护

自动信号报警和联锁保护系统，是现代化生产过程中非常重要的组成部分，是保证安全生产的重要措施之一。当生产中某些工艺变量达到或超过规定数值时或者装置运行状态出现异常时，自动信号报警系统会采用声光形式提醒操作人员注意；有异常情况出现，必须采取相应措施来恢复正常生产。如果情况突变，操作人员来不及采取措施，或者经操作人员操作后仍不能控制工艺变量的继续上升（或下降），联锁保护系统必须按照预先设定的步骤，自动采取紧急措施，启动（或关闭）某些设备甚至自动停车，确保人员和设备的安全。

（1）自动信号报警系统

① 自动信号报警的信号种类。

位置信号。一般用来表示被监测对象的工作状态。例如阀门的开闭、电气开关的通断等。

指令信号。将预先设定的信号指令，从某个车间或控制室传送到其他车间或控制室。

保护作用信号。表示自动保护的信号或联锁系统工作状况的信号。这类信号分为两种，一种是报警信号——表示被监测的工艺变量偏离了正常值，用灯光或音响来提醒操作人员注意；另一种是事故信号——表示被监测的工艺变量已超出了允许值，要求操作人员立即采取措施，此时往往伴随着联锁系统投入工作。

② 自动信号报警系统的组成。自动信号报警系统一般由检测元件、信号报警器、信号

灯、音响装置、按钮等组成。

检测元件。它是用以对生产中某个工艺变量进行自动监测的元件，当该变量达到某一规定数值时，向信号报警器输出一个开关信号。此信号通常是一个接点信号，即报警时常闭接点断开，常开接点闭合。因此，检测元件是信号报警系统的输入元件。检测元件的种类较多，有直接安装在设备上，由测量敏感元件、连杆机构、刻度标尺、可调设定装置和接点组成的检测开关；有接受标准模拟信号（ $0\sim 10\text{mA DC}$ 、 $4\sim 20\text{mA DC}$ 、 $1\sim 5\text{V DC}$ 、 $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ ）、输出报警开关信号的模拟信号报警开关；有附属某些指示、记录仪的辅助报警开关；有由半导体元件组成的无触点报警开关等。

信号报警器。分为有触点信号报警器和无触点信号报警器两大类。有触点类是通过继电器接点进行逻辑运算，输出电信号驱动相应的音响器（电铃、喇叭等）和信号灯产生声光报警信号；无触点类是通过半导体逻辑电路进行逻辑运算，输出电信号驱动相应的声光报警电路。

按钮。信号报警系统配备有消声按钮和试验按钮。其中消声按钮又称确认按钮，其作用是在出现声光报警信号时，操作人员按下此按钮予以确认，使报警系统的音响信号停止，灯光信号由闪烁变为平光显示。操作人员可根据灯光信号所指定的工艺变量位号，采取相应措施消除故障，当工艺变量恢复正常时，报警信号灯熄灭。试验按钮则用来检查报警系统的声光报警装置是否完好，当按下试验按钮时，输入一实验信号至报警电路中，若报警设备完好，则所有声光报警装置均应响应，发出报警信号，否则就说明信号报警装置存在问题，必须进行检查并予以修复，以确保信号报警系统处于良好工况。值得注意的是，按下试验按钮的结果，并不能确定检测装置是否正常。

③ 自动信号报警电路的应用举例。

图 1-5 为某一液位贮槽的液位信号报警电路示意。它采用继电器触点进行逻辑运算，构成液位越限事故报警电路。图中， X_1 是电接点液位计的常开触点，当贮槽液位达到上限报警值时闭合，使得中间继电器 1ZJ 线圈得电。1ZJ 得电后使其常开触点 1ZJ-1 和 1ZJ-2 闭合，接通了报警灯 1BD 和电喇叭 LB 的电路，灯亮、喇叭响，实现了贮槽液位上限越位的声光报警。

图中 1XA 为消声按钮。在出现声光报警后，按下此按钮，使中间继电器 101ZJ 线圈得

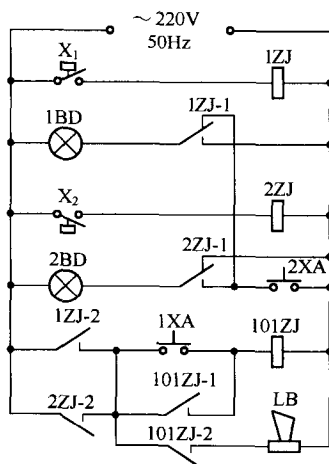


图 1-5 液位贮槽的液位信号报警电路

电，其常开触点 101ZJ-1 闭合自锁，常闭触点 101ZJ-2 断开，从而使电喇叭 LB 失电消声，但报警灯 1BD 依然是亮的。只有在排除故障后，液位恢复正常， X_1 断开，1ZJ 线圈失电，触点 1ZJ-1 和 1ZJ-2 复位，1BD 灯才熄灭，电路重新处于待命状态。

图中的 X_2 是电接点液位计的常闭触点，当贮槽液位达到下限报警值时断开，使得中间继电器 2ZJ 线圈失电。2ZJ 失电后使其常开触点 2ZJ-1 复位断开，接通了报警灯 2BD 的电路，灯亮；同时，2ZJ 的常闭触点 2ZJ-2 复位闭合，通过常闭触点 101ZJ-2 接通喇叭 LB 的电路，喇叭响，从而实现了贮槽液位下限越位报警。

同理，按下消声按钮 1XA 后，电喇叭消声，灯 2BD 继续点亮。只有在排除故障后，液位恢复正常， X_2 闭合，2ZJ 线圈得电，触点 2ZJ-1 闭合、2ZJ-2 断开，2BD 灯才熄灭，电路重新处于待命状态。

图中的 2XA 是试验按钮，当按下 2XA 时，1BD 和 2BD 的电路均被接通，两盏灯都亮，表明电路正常。

(2) 联锁保护 联锁保护的实质是一种自动操纵保护系统。联锁保护的内容一般包括下述四个方面。

① 工艺联锁。因为工艺上某个参数严重超限，已处于事故状态而引起的联锁保护动作，被称为工艺联锁。例如，当合成氨生产装置之一的锅炉给水流量低于下限值时，联锁装置自动启动备用透平（turbine——涡轮发动机）给水，确保锅炉运行安全。

② 机组联锁。是指运转设备本身或机组之间的联锁。例如，合成氨生产中的合成气压缩机停车系统，就有 22 个因素与该压缩机联锁，只要其中任何一个因素不正常，都会导致压缩机停止工作。

③ 程序联锁。是指能按一定程序或时间次序对工艺设备进行自动操纵的联锁保护系统。例如，合成氨生产中，辅助锅炉点火时，为确保点火安全而设计的联锁保护，就属于这种程序联锁。

④ 各种泵类的启动与停止。

(四) 本项目中应注意的安全问题

本篇重点介绍的工业设备——锅炉，它是直接受火的压力容器，其介质是水和水蒸气。锅炉在工作时承受高温高压，具有爆炸的危险，一旦在使用中不慎造成爆炸，便是一场灾难。例如，2000 年 9 月，山西潞城市某焦化实业总公司下属煤气发电厂，发生了一起锅炉炉膛煤气爆炸事故，造成 2 人死亡、5 人重伤、3 人轻伤，直接经济损失近 50 万元。事故原因就是锅炉点火时违章操作，没有将该关闭的煤气进气阀关闭，使锅炉炉膛内充满了煤气；点火前又未按规定进行通风置换，致使点火时产生爆炸。因此，国家对锅炉的设计、制造、安装以及运行管理等环节，都有着严格的规定。

作为液位控制篇，此处主要关注锅炉常见故障中的锅炉汽包的水位异常，而水位事故主要是缺水和满水。

缺水事故是锅炉事故中最常见的，也是比较危险的事故之一。锅炉缺水时，液位过低，由于汽包的容积较小而负荷却很大，水的汽化速度加快，使得汽包内的储水量迅速减少，如果处理不当或控制不及时，就会使汽包内的水全部汽化，形成“干烧”，极易导致锅炉烧坏甚至爆炸的严重后果。锅炉缺水的标志，是锅炉水位低于最低许可水位，分为轻微缺水和严重缺水。轻微缺水是指：当水位从水位计内消失，经“叫水”（即自动控制）后水位能重新