

孟凡芹 赵鹏程 主编

油库仪表与自动化

YOUKU YIBIAO YU
ZIDONGHUA

中国石化出版社

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

责任编辑：黄彦芬

责任校对：李 伟

封面设计：七星工作室

ISBN 978-7-80229-617-6



9 787802 296176 >

定价：32.00 元

油库仪表与自动化

孟凡芹 赵鹏程 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书介绍了油库自动化仪表和系统的主要结构、工作原理和使用维护方法。仪表部分包括油库常用的温度、压力、流量、液位和控制阀门等自动化仪表,油库常用安全检测仪表,油库常用工业控制计算机等。油库自动化系统包括以泵房自动化、加油与油料灌装自动化等为代表的油库作业自动化系统,以消防、安全警戒、查库和电视监控系统为代表的油库安全管理自动化系统。最后从防爆和防雷方面简要介绍了油库自动化系统安全设计问题。

本书在强调全面、系统的基础知识和基本技术基础上,力求反映油库使用效果较好的新型仪表和系统,使读者对油料储运自动化系统的发展和应用有一个全面、系统的了解。

本书可供油料储运、管理专业教学使用,也可供相关专业的技术和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油库仪表与自动化/孟凡芹,赵鹏程主编. —北京:中国石化出版社,2008
ISBN 978-7-80229-617-6

I. 油… II. ①孟…②赵… III. 油库-仪表-自动化系统-基本知识 IV. TE972

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 080735 号

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.cn
金圣才文化发展(北京)有限公司排版
北京科信印刷厂印刷
全国各地新华书店经销

787 × 1092 毫米 16 开本 13.5 印张 328 千字
2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
定价:32.00 元



在油库使用的仪表中，一类是化验室所用的化验分析仪表，称为测试仪器；一类是储运过程中的测量仪表，称为油库自动化仪表，属于工业自动化仪表，其中包括对工艺参数进行测量的检测仪表、根据测量值对给定值的偏差按一定的调节规律发出调节命令的调节仪表、根据调节仪表的命令对阀门等进行控制的执行器等。

本书讨论的是油库自动化仪表与自动化系统。随着自动化技术的发展，油库自动化仪表和控制系统有了巨大进步。自动化仪表从机械仪表、模拟仪表向数字仪表和智能仪表发展；控制系统从模拟系统、单机系统向网络化、分布式系统发展。随着电子技术的进步，越来越多的本质安全型仪表应用于油库 0 级危险场所，实现了油库更为全面的参数测量和作业过程自动化，进一步提高了油库作业自动化和管理信息化水平。

油库自动化仪表包括温度、压力、流量、液位等检测仪表、显示仪表和控制阀门，每一种仪表都包含一个庞大的种类。本书主要介绍适合油库现场使用的仪表类型，重点介绍仪表的工作原理、结构和使用方法。油库自动化系统实施油库管理和作业控制过程中的参数检测和控制，其控制调节仪表已由工业控制计算机、PLC 向 DCS 和控制网络发展。油库自动化从液位测量、灌装等单个作业过程自动化向油库业务综合自动化方向发展。本书主要介绍油库自动化控制系统中控制器和控制网络的基本知识、应用方法，结合实际应用介绍泵的调速与控制、自动灌装、加油、消防和罐区管理等自动化系统。

本书内容注重仪表和系统的基本原理、性能和使用，在强调全面、系统的基础知识和基本技术的基础上，力求反映技术的最新发展和应用，使读者对油料储运自动化系统有一个全面、系统的了解。

本书供油料储运、油料管理专业教学使用，也可供相关专业技术和管理人员参考。

本书由孟凡芹、赵鹏程、李钦华、奚丽波同志编写。其中第六章由赵鹏程编写，第七章由奚丽波编写，第十二章由李钦华编写，其余各章由孟凡芹编写，并由孟凡芹、赵鹏程任主编。朱焕勤同志审阅了全稿，并提出了明确具体的修改意见。在本书的编写过程中，参考引用了很多作者的论文和著作，在此谨向作者和出版单位表示衷心感谢！

由于作者水平有限，书中有不当之处，敬请读者批评指正！

编者

2008 年 8 月



第一章 概述	(1)
第一节 油库仪表与自动化系统的发展	(1)
第二节 油库自动化系统总体模式结构	(2)
一、油库自动化系统的总体模式结构	(2)
二、单机形式的油库自动化测控系统	(3)
第三节 检测仪表的基本性能	(4)
第二章 温度检测仪表	(7)
第一节 温度检测的基本知识	(7)
一、温度及温度测量	(7)
二、温标	(7)
第二节 温度检测方法	(8)
一、应用热膨胀原理测温	(8)
二、应用工作物质的压力随温度变化的原理测温	(9)
三、应用热电效应测温	(9)
四、应用热电阻原理测温	(10)
五、应用热辐射原理测温	(10)
第三节 热电阻温度计	(11)
一、热电阻材料与温度的关系	(11)
二、热电阻材料与结构	(11)
三、热电阻温度传感器	(17)
第四节 接触式温度计的安装	(17)
一、正确选择测温点	(18)
二、测温元件应与被测介质充分接触	(18)
三、避免热辐射、减少热损失	(18)
四、安装应确保正确、安全可靠	(18)
第三章 压力检测仪表	(20)
第一节 压力检测的基本概念	(20)
一、压力与压力计量	(20)
二、压力名词术语	(20)
三、压力计量单位	(21)
四、压力检测仪表的分类	(22)
第二节 弹性变形法测量压力	(22)
一、弹性测压元件	(22)
二、弹簧管式压力表	(24)
第三节 电测法测量压力	(25)
一、压电式压力传感器	(25)

二、压阻式压力传感器	(27)
三、霍尔式压力传感器	(28)
四、电容式压力传感器	(30)
五、电感式压力传感器	(32)
第四节 压力仪表的选择、校验和安装	(33)
一、压力仪表的选择	(33)
二、压力仪表的校验	(34)
三、压力表的安装	(35)
第四章 流量检测仪表	(37)
第一节 容积式流量计	(38)
一、测量原理	(38)
二、容积式流量计的工作特性	(44)
三、容积式流量计的信号转换	(45)
四、容积式流量计的选型、安装和使用	(46)
第二节 叶轮式流量计	(49)
一、涡轮流量计的测量原理	(49)
二、涡轮变送器的的工作原理	(50)
三、涡轮流量计的特点	(53)
第三节 流体振动式流量计	(53)
一、卡曼漩涡流量计测量原理	(54)
二、漩涡频率测量方法	(55)
三、涡街流量计的选用与安装	(56)
第四节 差压式流量计	(56)
一、差压式流量计测量原理	(56)
二、差压式流量计的组成	(58)
三、使用要求	(59)
第五节 质量流量检测方法	(59)
一、直接式质量流量检测	(59)
二、间接式质量流量检测	(60)
三、补偿式质量流量检测	(61)
第五章 液位检测仪表	(63)
第一节 恒浮力式液位计	(63)
一、测量原理	(63)
二、浮球式液位计	(64)
三、磁翻转式液位计	(65)
四、浮子钢带式液位计	(66)
五、浮子钢带-光纤液位计	(67)
第二节 变浮力式液位计	(69)
一、变浮力法液位测量原理	(69)
二、扭力管式浮筒液位计	(70)

三、伺服式液位计	(72)
第三节 压力式液位计	(73)
一、压力式液位计测量原理	(73)
二、压力式液位计	(74)
第四节 磁致伸缩式液位计	(75)
一、磁致伸缩液位传感器组成	(75)
二、磁致伸缩液位传感器的工作原理	(75)
三、液位计测量原理	(76)
四、密度测量原理	(77)
第五节 雷达液位计	(77)
一、脉冲波雷达液位计测量原理	(78)
二、调频连续波雷达液位计测量原理	(78)
三、雷达液位计的应用	(79)
第六章 安全检测仪表	(80)
第一节 油气浓度检测仪	(80)
一、工作原理	(80)
二、XP-311A 型便携式可燃气体检测仪	(81)
第二节 防爆静电电压检测仪	(82)
一、用途及使用范围	(82)
二、工作原理	(83)
三、使用方法	(83)
第三节 金属测厚仪	(84)
一、数字式测厚仪	(84)
二、超声波测厚仪	(84)
第四节 涂层测厚仪	(86)
一、PosiTector 6000 涂层测厚仪	(86)
二、HCC-24 型电脑涂层测厚仪	(89)
第五节 接地电阻测试仪	(91)
一、概述	(91)
二、主要技术指标	(91)
三、准备测试	(92)
四、测试方法	(92)
五、注意事项	(93)
第六节 智能呼吸阀检测仪	(94)
一、外形结构	(94)
二、使用方法	(94)
第七节 地下金属管道防腐层检漏仪	(95)
一、概述	(95)
二、主要技术指标	(95)
三、工作原理	(96)

四、仪器使用方法	(97)
五、注意事项	(99)
第七章 显示仪表	(100)
第一节 模拟式显示仪表	(100)
一、动圈式显示仪表	(100)
二、自动平衡显示仪表	(104)
第二节 数字式显示仪表	(106)
一、数字显示仪表的组成	(106)
二、A/D 转换	(106)
三、非线性补偿	(108)
四、标度变换	(109)
五、数字式显示仪表实例	(109)
第三节 微机化仪表	(110)
一、微机化仪表	(110)
二、网络化仪表	(111)
第八章 执 行 器	(112)
第一节 控制机构	(113)
一、控制阀的流量特性	(113)
二、控制阀的选择	(117)
第二节 电动执行机构	(118)
一、电动执行器的特点	(119)
二、角行程电动执行机构	(119)
三、直行程电动执行机构	(121)
第三节 气动执行器	(121)
一、气动执行器的结构和原理	(121)
二、阀门定位器	(122)
第四节 智能执行器	(124)
第五节 多功能电液阀	(126)
一、结构原理	(126)
二、功能特点	(127)
三、主要技术参数	(128)
第九章 工业控制计算机	(129)
第一节 概述	(129)
一、工业控制计算机的发展概况	(129)
二、工业控制计算机的特点	(130)
三、工业控制计算机的分类	(131)
第二节 工业控制微型计算机	(133)
一、硬件部分	(133)
二、软件部分	(134)
三、工业标准总线概述	(134)

第三节 计算机控制系统的构成方案	(135)
一、操作指导控制系统	(135)
二、直接数字控制系统	(135)
三、监督计算机控制系统	(136)
四、集散控制系统	(137)
五、现场总线控制系统	(137)
六、嵌入式计算机系统	(137)
第四节 可编程序控制器	(138)
一、概述	(138)
二、PLC 的基本组成和工作过程	(140)
三、PLC 的选型和应用	(143)
第五节 集散控制系统	(143)
一、集散控制系统概述	(143)
二、现场控制站	(146)
三、操作员站及工程师站	(147)
四、集散控制系统网络	(148)
第六节 现场总线及现场总线控制系统	(149)
一、现场总线概述	(149)
二、几种有影响的现场总线技术	(150)
三、以现场总线为基础的控制系统	(153)
第十章 泵房自动化与加油控制系统	(155)
第一节 离心泵遥控启停	(155)
一、电机的遥控启停	(155)
二、离心泵的启动过程	(156)
三、离心泵遥控启动的自动调节方案	(156)
四、保护系统	(159)
第二节 机泵运行状态监视	(160)
一、泵压力测量	(160)
二、电机电流的监测	(160)
三、轴温报警	(161)
第三节 泵的调速控制	(162)
一、交流调速介绍	(162)
二、油泵调速控制方式选择	(166)
第四节 管道自动加油控制系统	(166)
一、管道加油控制方式	(167)
二、飞机加油的计算机控制	(169)
三、系统软件设计	(171)
第十一章 油料灌装自动化系统	(173)
第一节 概述	(173)
一、油料灌装自动化系统发展概况	(173)

二、油料灌装自动控制系统的主要功能	(174)
三、油料灌装自动控制系统的基本结构和原理	(174)
第二节 油料自动灌装工艺	(175)
一、发油鹤位工艺流程	(175)
二、流量计、电液阀安装位置	(176)
三、发油鹤位的水头要求	(176)
四、鹤位供油方式	(176)
第三节 YGK-Ⅲ油料灌装自动控制系统	(176)
一、组成形式	(176)
二、控制主机硬件结构	(178)
三、YGK-Ⅲ油料灌装自动控制系统软件	(179)
四、开票机与控制主机的通信	(181)
第十二章 油库安全自动化系统	(182)
第一节 油库自动报警消防系统	(182)
一、油库自动报警消防系统的分类	(182)
二、油库自动报警消防系统的组成	(183)
三、油库自动报警消防系统的使用和维护	(183)
第二节 油库门禁系统	(184)
一、门禁控制系统的组成	(184)
二、门禁计算机控制系统的功能	(185)
三、门禁系统的设计与安装	(186)
第三节 保管员巡检查库系统	(186)
第四节 闭路电视监视系统	(188)
一、CCD 摄像机	(188)
二、闭路电视监视系统	(189)
第十三章 油库自动化系统安全设计	(192)
第一节 油库仪表与自动化系统本安防爆技术	(192)
一、本安仪表概述	(192)
二、监控系统的本安防爆	(193)
三、安全栅	(195)
第二节 本安系统的设计要求	(197)
一、本安电气设备	(197)
二、关联设备的选用原则	(197)
三、连接电缆的选用原则	(198)
四、布线原则	(198)
第三节 油库自动化系统的防雷设计	(198)
一、雷电的作用方式	(199)
二、油库自动化系统防雷措施	(200)
参考文献	(203)

第一章 概述

在油库收发油作业和日常管理中,自动化系统起到越来越重要的作用。随着企业提高经济效益和管理水平的需求,以及自动化和信息技术的迅速发展,油库自动化技术和应用能力得到极大提高。目前高精度、智能化、具有联网能力的仪表在迅速普及,油库自动化已从简单的液位测量、收发油自动计量向管理与控制集成化和网络化方向发展。

第一节 油库仪表与自动化系统的发展

油库占地面积大,操作和管理人员多,作业频繁,报表单据多,防爆、安全要求高。在当前对能源依赖程度高、能源消耗量大的情况下,油料的节约和储存效率受到重视,油库自动化技术的发展和运用显得日益重要。

油库自动化技术借助于计算机技术、通信技术和控制技术、敏感技术,近十几年得到飞速发展。由于新的传感技术和集成制造技术的发展,一次仪表的灵敏度、精度和智能性不断提高,而制造和使用成本却大幅降低。

油库自动化仪表从气动仪表、电动仪表到目前发展的网络化、智能化仪表走过了一个漫长的过程。最早的气动仪表价格便宜、结构简单,且适合石油化工等易燃、易爆场所,所以在相当长的一段时间里得到广泛应用。但从 20 世纪 60 年代起,由于电动仪表的晶体管化和集成电路化,控制功能日益完备,在使用低电压、小电流时,可在电路上及结构上采取严密措施,限制进入易燃易爆场所的能量,从而保证在生产现场不会发生足以引起燃烧或爆炸的“危险火花”,即各类“本质安全型”仪表的出现,使限制电动仪表使用的一个主要障碍被扫除,电信号比气压信号在传送和处理上的优越性就能得到充分的发挥。因此,近年来电动仪表具有显著的优势。

就油库常用仪表来说,由于检测技术和微电子技术的发展,各类参数的测量仪表出现以下发展趋势。一是随着新测量方法的出现和在技术上取得的突破,出现了一类新型仪表。如质量流量计、磁致伸缩液位计、导波雷达液位计等。这类新型仪表的出现使参数测量的精度和可靠性得到了很大的提高。另一个就是随着计算机技术和网络通讯技术的发展,油库仪表向智能性和网络化方向发展。如智能型执行器可实现与控制器的网络连接,同时可实现阀门的可编程控制。智能型液位计可实现温度补偿、液位报警与记录等。另外,检测技术和微电子技术的发展,使油库仪表的功耗进一步降低,“本安仪表”可应用于油库 0 级防爆危险区域。功耗的降低甚至出现了可电池供电的智能型仪表,进一步代替了机械式仪表,如油库常用的弹簧管压力表、毛发湿度计等。三是在精度提高的同时,量程有了大的扩展。如港口输油计量中,涡轮流量计口径已达 600mm,排量为 8000m³/h,现场使用的压阻式压力表的量程下限可达 10Pa。

在油库自动化系统的发展过程中,控制仪表从基地式调节器(变送、指示、调节一体化的仪表)开始,经历了气动、电动单元组合仪表到计算机控制系统(DDC),直到今日的分散控制系统 DCS 和基于现场总线的网络控制系统。

DCS 已经走过了 20 多年的里程, DCS 以其高度的可靠性、方便的组态软件、丰富的控制算法、开放的联网能力等优点, 得到迅速的发展, 成为计算机工业控制系统的主流。PLC 以其结构紧凑、功能简单、速度快、可靠性高、价格低等优点, 迅速获得广泛应用, 已成为与 DCS 并驾齐驱的另一种主流工业控制系统。目前以 PLC 为基础的 DCS 发展很快, PLC 与 DCS 相互渗透、相互融合、相互竞争, 已成为当前工业控制系统的发展趋势。DCS 经历了初创(1975 年~1980 年)、成熟(1980 年~1985 年)、扩展(1985 年以后)几个发展时期, 在控制功能完善、信息处理能力、速度及组态软件等方面取得令人瞩目的成就, 已经成为计算机控制系统的主流。DCS 系统在一些大型油库中得到应用, 但是, DCS 系统对油库来说价格较贵, 在一定程度上限制了它的应用。

现场总线技术是 20 世纪 90 年代迅速发展起来的一种用于各种现场自动化设备与其控制系统的网络通信技术, 是一种用于各种现场仪表(包括变送器、执行器、记录仪、单回路调节器、可编程序控制器、流程分析器等)与基于计算机的控制系统之间的数据通信系统。有人预测, 基于现场总线 FCS(Fieldbus Control System)将取代 DCS 成为控制系统的主角。随着 Internet 和 Intranet 技术进入控制领域, 计算机自动化系统渗透到企业的生产到管理、经营的方方面面, 现场总线技术凭借它的开放性、标准化等特点, 将在油库自动化中得到广泛应用, 也将推动油库向过程控制和信息管理一体化方向发展。

第二节 油库自动化系统总体模式结构

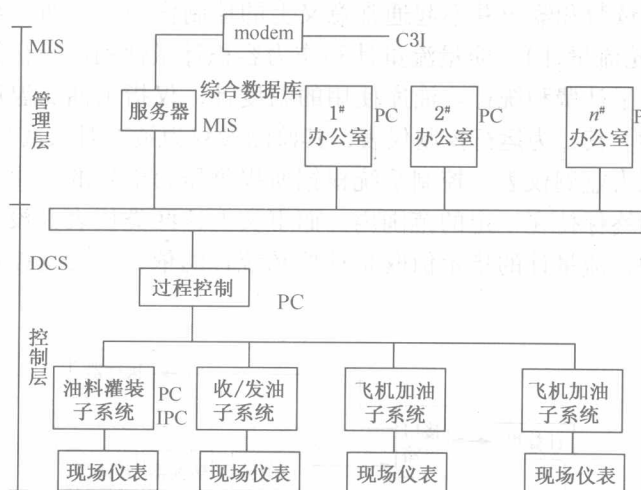
一、油库自动化系统的总体模式结构

油库自动化系统包括软、硬件两个方面的内容。软件方面是指信息处理、传递、加工、分析的自动化系统。硬件方面是指油库作业自动化系统, 包括完成油料储藏、运输、收发、计量、加注等的自动化仪表或控制系统, 如自动计量系统、自动灌装系统、安全警戒系统、飞机自动加油系统等。它们既可独立工作, 又可通过过程控制计算机(过程控制分站)利用现场总线组成集成测控系统, 提高系统的可靠性和系统效率, 降低成本。

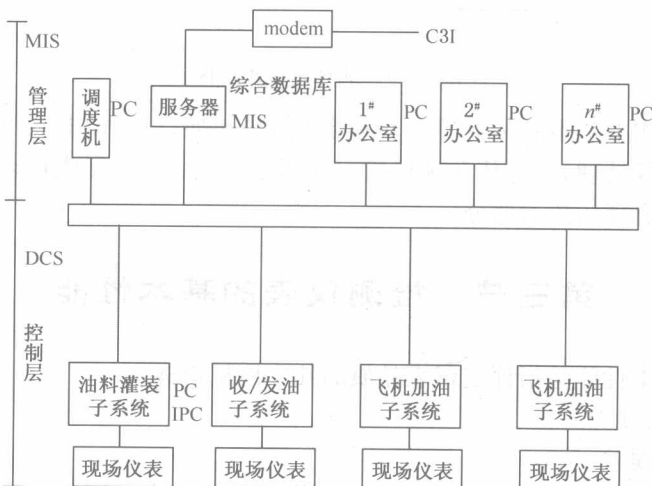
从总体结构上看, 油库自动化系统由油库自动化仪表和测控系统、过程控制分站、信息管理系统(MIS)组成一个完整的系统。过程控制分站和与之联系的自动化测量系统和控制系统统称为油库过程控制系统(DCS)。过程控制部分采用集散控制系统, 信息管理部分采用计算机局域网络, 如图 1-1(a)所示。

各子系统完成自动化测量和控制的任 务, 在整个油库自动化系统中负责现场数据的采集、现场处理、接受上级指令、完成信号转换及传输, 执行机构按照上级指令完成各种动作, 如泵的启、停, 阀门的开、闭。各子系统也可直接并网, 如图 1-1(b)方案二, 与其他用于事务管理的计算机联网通信, 将必要的现场信息传送至综合数据库支持分布式调用, 或通过过程控制机与 MIS 系统联网。信息管理系统综合油料储存、运输、收发的各种信息, 完成对信息的整理、加工、统计并与上级自动化系统联网, 供油库管理决策者、上级机关分析、查询, 提供辅助决策。

为开发、推广、使用的需要, 系统采用层次和组合化模式, 各部分既相互独立, 又能方便地互相联系完成不同任务, 结构相对独立的单元, 可以根据不同情况, 组合成满足各种需要的实际系统。而每个单元又由多块在结构、电气特性、通信协议符合国际标准、功能上完成不同任务的子模块组成。



(a) 油库自动化系统总体模式结构图一



(b) 油库自动化系统总体模式结构图二

图 1-1 油库自动化系统总体模式结构图

二、单机形式的油库自动化测控系统

油库自动化测控系统通常有现场自动监测仪表、执行器、信号转换和接口电路、计算机系统几部分组成，如图 1-2 所示为单机形式的油库自动化测控系统。现场参数如管道油料流量、压力、温度等通过现场自动监测仪表，转换为光、电信号传递至计算机接口电路。常用的信号形式有电平脉冲信号，4~20mA 电流信号、光学编码信号等。信号转换和接口电路将现场信号整理并转换为数字信号送计算机处理。计算机在预先编制程序设定和控制下，将现场数据做适当处理后显示、储存并打印或根据现场参数的变化，启动执行机构执行相应的动作。如根据管道流体压力调整泵的开启和转速，在加油系统中，根据油罐液位或流量关闭阀门等。

现场仪表是油库自动化系统的关键，其精度和可靠性往往决定着系统的性能。根据其用途可分为两类：其一为监测仪表，就其使用特点看主要具有监测功能，这类仪表仅指示

油品的环境条件，其读数和输出并不起通常意义上的控制作用。如油库常用的体积流量计（如涡轮流量计、腰轮流量计）、质量流量计和作为容积计量使用的液位计等，仅指示油品的体积、质量，以便于计费 and 统计。油库使用的温度计，仅指示油品温度，在计量时根据温度变化做温度补偿。其二为运行控制仪表，其监测参数为被控对象或是为控制提供依据。如在加油系统中的压力监测仪表，控制系统根据所提供压力信号的变化，控制泵的转速或开启，使管道油压始终保持一定的范围内。而事实上这两类仪表并没有本质区别，如在油品定量灌装系统中，流量计的指示值既是计费和统计的依据，又是控制阀门开启的触发信号。

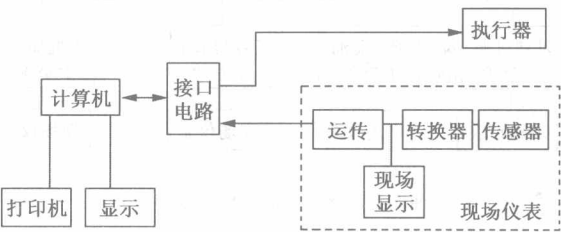


图 1-2 测控系统组成图

现场仪表在结构上基本有传感器、转换器（信号转换，如气/电、液/电、模拟/数字信号转换，信号放大及处理）、远传和现场指示几部分组成。用于组成自动化监测和控制系统的现场仪表可以不要现场指示部分。

第三节 检测仪表的基本性能

检测仪表的基本性能是指评定仪表品质的几个质量指标。

- 1. 精度（准确度）
 - (1) 相对百分误差

在用检测仪表对过程参数进行检测时，总伴有误差产生，即在检测过程中，不仅需要知道仪表的指示值，还应该知道该指示值接近参数真实值的准确程度，以便估计指示值（测量值）的误差大小。常用相对百分误差 δ 表示，即

$$\delta = \frac{x - x_0}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\% \tag{1-1}$$

式中： x 为被测变量的测量值； x_0 为被测变量的标准值； $x - x_0 = \Delta x$ 为绝对误差；（测量范围上限值 - 测量范围下限值）为仪表测量范围。仪表的测量范围又叫仪表的量程。

由式(1-1)可知：仪表的相对百分误差 δ ，不仅与绝对误差有关，还与仪表的测量范围有关。

- (2) 精度

仪表精度通常是用仪表相对百分误差 δ 的大小来衡量的。

仪表精度等级（仪表精确度等级）是指仪表在规定的工作条件下，允许的最大相对百分误差。按照国家统一规定所划分的等级有：……，0.05，0.1，0.25，0.35，0.5，1.0，1.5，2.5，4.0，……，所谓 1 级表，即该仪表允许的最大相对百分误差为 1%，其余类推。

【例 1-1】 有一台测压仪表，其标尺范围为 0 ~ 500kPa。已知其绝对误差最大值 $\Delta p_{\max} = 4\text{kPa}$ ，求该仪表的精度等级。

解：先计算

$$\delta_{\max} = \frac{4}{500 - 0} \times 100\% = 0.8\%$$

该仪表的最大误差大于 0.5% 而小于 1%，按仪表精度等级的划分，该仪表的精度为 1 级。现根据测量的需要，仪表的测量范围改为 200 ~ 400kPa。仪表的绝对误差不变，此时仪表的最大相对百分误差

$$\delta_{\max} = \frac{4}{400 - 200} \times 100\% = 2\%$$

故该仪表的精度等级为 2.5 级。同时也说明，仪表的绝对误差相等，测量范围大的仪表精度高，反之仪表精度低。

2. 变差(回差)

在外界条件不变的情况下，使用同一仪表对某一参数进行正行程(即逐渐由小到大和逐渐由大到小)测量时，对应于同一被测值所得的仪表指示值不等，两者之差的绝对值即为变差，如图 1-3 所示。变差的大小，取在同一被测变量值下

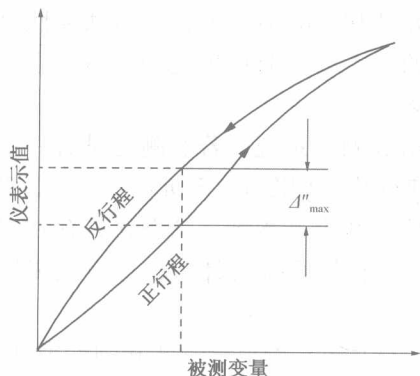


图 1-3 仪表的变差特性

正反特性间仪表指示值的最大绝对误差 $\Delta''_{\max}$ 与仪表标尺范围之比的百分数表示。即

$$\text{变差} = \frac{\Delta''_{\max}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\% \quad (1-2)$$

造成仪表变差的原因很多，如传动机构的间隙、运动部件的摩擦、弹性元件的弹性滞后等，因此，在仪表设计时，应在选材上、加工精度上给予较多考虑，尽量减小变差。

3. 非线性误差

对于理论上具有线性特性的检测仪表，往往由于各种因素的影响，使其实际特性偏离线性，如图 1-4 所示。非线性误差则是衡量实际特性偏离线性程度的指标。它取实际值与理论值之间的绝对误差的最大值 $\Delta'_{\max}$ 和仪表测量范围之比的百分数，即

$$\text{非线性误差} = \frac{\Delta'_{\max}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\% \quad (1-3)$$

4. 灵敏度和灵敏限

灵敏度是表征检测仪表对被测参数变化的灵敏程度，是指仪表在对应单位参数变化时，其指示的稳态位移或转角，即

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta\beta} \quad (1-4)$$

式中 S 为仪表灵敏度； $\Delta\alpha$ 为仪表指针的直线位移或转角； $\Delta\beta$ 为被测变量的变化值。

检测仪表的灵敏度可以用增大环节的放大倍数来提高。若仅加大灵敏度，而不改变仪表基本性能，企图提高仪表精度是不合理的，反而可能

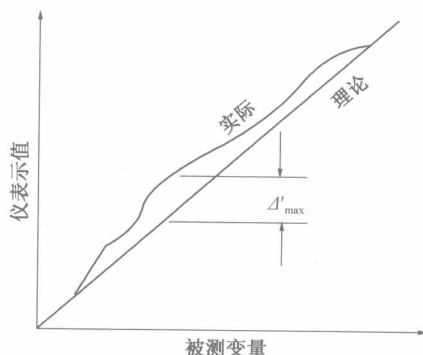


图 1-4 非线性误差特性曲线

出现似乎灵敏度很高，但精度实际上却下降的虚假现象。为防止该现象，通常规定仪表标尺的最小分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

灵敏限指引起仪表表示值可见变化的被测变量的最小变化值，一般来说，仪表灵敏限数值应不大于仪表允许误差绝对值的一半。灵敏限又称仪表的分辨率。

5. 动态误差

上面所介绍的用来表示仪表精度的相对百分误差、变差、非线性误差都是稳态(静态)误差。动态误差是指检测系统受外界扰动作用后，被测变量处于变动状态下仪表表示值与参数实际值之间的差异。引起该误差的原因是由于检测元件和检测系统中各种运动惯性以及能量形式转换需要时间所造成的。衡量各种运动惯性的大小以及能量传递的快慢，常采用时间常数 T 和传递滞后时间(纯滞后时间) τ 两个参数表示。

时间常数 T 若采用热电偶和自动平衡式显示仪表组成测温系统，若被测变量有一阶跃变化，则记录仪表所显示出来的响应曲线将按一定规律变化，如图 1-5 所示。其中， T 为热电偶与自动平衡仪表的时间常数。若 T 越大，则响应曲线上升越慢。动态误差存在时间越长；反之，曲线上升越快，动态误差存在时间越短。在检测系统设计中，总是把 T 取得小一些。

传递滞后(纯滞后)时间 τ 在成分分析系统中，由于存在较长的取样管线和预处理环节，故有纯滞后时间 τ ，如图 1-6 所示。在纯滞后时间 τ 内，动态误差 Δ_1 最大，且一直延续到 τ 时间结束；不像时间常数 T 对动态误差的影响是逐渐减少的。故在检测系统中 τ 的不利影响远远超过时间常数 T 的影响，应引起足够的重视，使 τ 越小越好。

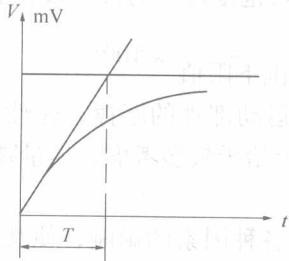


图 1-5 测温系统的响应曲线

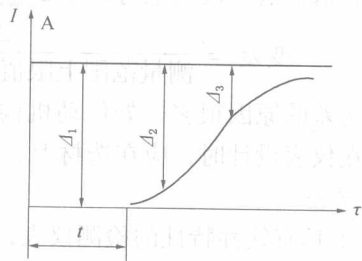


图 1-6 成分分析仪组成
检测系统的反应曲线