

石化计量

● 张朝晖 耿艳峰 主编



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

石化计量

主 编 张朝晖 耿艳峰

副主编 迟健男 杜 鹃

夏伯铠 石天明

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

石化计量/张朝晖,耿艳峰主编. —北京:中国计量出版社,2009.6

ISBN 978-7-5026-2709-6

I. 石… II. ①张…②耿… III. 石油化学工业—工业企业管理—计量学 IV. F407.226.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 062298 号

内 容 提 要

本书针对石化计量工作的实际需要,在介绍原料及油品存储、蒸馏、催化裂化、催化重整、乙烯裂解、合成氨、氯碱等石化工艺的基础上,详细介绍了石化贸易和石化生产中的计量技术,同时介绍了远程计量、软测量等先进技术在石化计量中的应用。

本书可供从事石化计量工作的技术及管理人员使用,也可供希望通过加强计量工作来提高企业效益的企业决策者参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

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

三河市灵山红旗印刷厂

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 13 字数 312 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 35.00 元

前 言

石油化工作为国民经济的支柱产业之一，为人们的生产生活提供着优质能源、原材料和大量成品。随着石化贸易全球化的加速，对石化产品计量的准确度、可靠性、便捷性等技术指标提出了越来越高的要求。同时，石化生产中的优质、高效、节能、环保等企业目标，也越来越多地依靠计量技术来实现。在此形势下，我们编撰了本书，以期对石化计量的发展起到促进作用。

本书由计量基础、石化生产工艺、贸易计量、生产计量、计量新技术等部分组成。计量基础部分介绍了计量的基本概念。计量工作必须紧密结合工艺特点，因而本书介绍了油品存储、蒸馏、裂化、重整、裂解以及合成氨、氯碱等典型的石化生产工艺，并指出了其中的计量要点。原油、天然气是石化工业的主要原料，成品油、乙烯、尿素等是石化工业的重要产品，对原料和成品的计量构成了石化计量的主体，这部分是本书的一个重点。在石化生产过程中也需要大量的计量工作，水、汽及容器计量是石化企业提高生产管理水平、节能降耗、减排环保的保障，这部分是本书的又一个重点。本书介绍的基于机理和非机理的软测量、基于网络的远程计量管理信息系统，反映了计量技术及计量系统的新发展。

本书部分内容反映了编者近年来在油气计量、新型检测仪器、软测量等领域研究成果，具有一定的先进性；更多内容则参考了近来公开发表的大量研究论文以及相关厂商的技术资料，从而使本书内容具有系统性。在此，谨向被引用资料的作者们表示感谢！

本书第1章由北京科技大学迟健男高级工程师编写；第2章由中国石油大学杜鹃副教授编写；第3章和第6章由中国石油大学耿艳峰教授编写；第4章由北京科技大学张朝晖教授编写；第5章第1节和第2节由中国石油大学石天明教授编写；第5章第3节由中国石油大学夏伯铠教授编写。全书由张朝晖、耿艳峰统稿。此外，张树敏、林颖、赵小燕、高杨、邢兰昌、李杰、孙苗苗等同志参与了编写讨论、资料收集和录入等工作。

由于我们的水平和经验有限，书中会存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2009年7月

目 录

第 1 章 计量基础	1
1.1 计量的概念及意义	1
1.2 计量器具及其特性	2
1.3 测量误差	7
1.4 测量不确定度	9
第 2 章 石化工艺简介	12
2.1 原料及产品罐区	12
2.2 常减压蒸馏	15
2.3 催化裂化	21
2.4 催化重整	31
2.5 乙烯裂解	36
2.6 其他石化工艺简介	47
第 3 章 石化企业贸易计量	68
3.1 引 言	68
3.2 原油贸易计量	71
3.3 天然气贸易计量	96
3.4 其他油品的贸易计量	109
3.5 其他物料的贸易计量	116
第 4 章 石化企业内部生产计量	121
4.1 水的计量	121
4.2 蒸汽的计量	133
4.3 液位计量	139
第 5 章 先进计量技术	148
5.1 远程网络计量系统	148
5.2 石化计量管理信息系统(PMMIS)	156
5.3 石化软测量技术	162
第 6 章 流量计量检定装置	179
6.1 概 述	179
6.2 气体流量标准装置	182
6.3 液体流量标准装置	186
6.4 标准表法流量标准装置	192
6.5 流量计的实流检定	195
参考文献	200

第 1 章 计量基础

1.1 计量的概念及意义

1.1.1 计量的概念

计量是实现单位统一、量值准确可靠的活动。可以广义地认为，计量是对量的定性分析和定量确认过程。为了达到这个过程的要求，需要进行科学研究和测量技术的研究，建立基准、标准并保证测量结果具有溯源性和技术条件，制定法律、法规和技术规范，开展行政监督管理等。狭义的计量则是指测量中的一种特定形式，它是以公认的测量基准、标准为基础，依据计量法规和法定的计量检定系统，进行量值传递来保证测量的准确。为此，要求建立统一的单位制，复现出测量基准、标准器具并以这种基准、标准来检定测量器具，保证被测量值的准确可靠。

1.1.2 石化计量的意义

(1) 计量与石化生产过程

石化生产是一个高温、高压、易燃、易爆的过程，严格计量工况参数和设备参数，是设备安全、生产平稳的保证。

石化加工往往是可逆的物理化学反应，只有准确测量、严格控制好工况参数，才能保证这种反应向着有利于多出产品的方向进行。同时，物理化学反应的深度也与工况参数紧密相关，准确把握反应深度，是产品质量的保证。因此，为了多出产品、出好产品，必须精密监控工况参数，必须依靠计量技术，使各类检测仪器处于准确可靠的工作状态。

石化生产包含着多种物料的汇集和分散，既消耗大量的电能、热能，对能源的回收作用也很显著。必须依靠科学计量，才能做好物料衡算、能源衡算，为科学管理、科学调度提供依据，以最小的经济代价、环境代价换取最大的经济效益。

在石化技术创新中，计量技术的作用也是独特的。例如，在中试装置上需要比生产装置更多的测试计量参数，甚至软测量参数，才能对新技术做出全面、准确的评估，才能提出恰当的改进措施。

总之，全面计量工作已经成为现代石化企业区别于传统企业的重要标志之一，也是石化企业生产技术水平、管理水平的重要体现。

(2) 计量与石化贸易

我们知道，石化企业的产品主要包括燃料、润滑油和为下游化工生产提供的原料。经过近百年的发展和普及，石化产品已经成为当今社会高度依赖的物资。作为一种材料，石化材

料在常温、中等强度领域已经占据了主导地位；作为一种能源，石化燃料的便携性和高热值，使其在机动交通运输业大受欢迎，其他燃料在短期内难以与之媲美。与此同时，石化工业的原料——原油化石资源日益枯竭，开采成本日益增高，石化产品价格也必将在全球范围内不断攀升。一方面是石化贸易量加大，另一方面是贸易价格升高，在这种形势下，作为开展贸易活动的技术保障手段，石化计量技术必然备受关注。

1.2 计量器具及其特性

1.2.1 计量器具

计量器具是计量仪器（“主动式”计量器具）、量具（“被动式”计量器具）、计量物质及计量装置的总称，是用于计量的物质基础。

计量仪器是用来测量并能得到被测对象确切量值的一种技术工具或手段，是将被计量的或有关的量转换成可直接观察的指示值或等值信息的计量器具。为了达到测量的预定要求，计量器具必须具有符合规范的计量学特性。

根据计量仪器采用的计量方法，计量器具可以分为以下三种类型：

直读式计量仪器：采用直接比较计量方法，可以直接指示出被测量的量值。

比较式计量仪器：采用零位计量方法，指示出被测量的量值等于同名量的已知值。

微差式计量仪器：采用微差计量方法，计量出被测量的量值与同名量的已知值之间的少量差异。

计量器具的特性是指它的准确度等级、灵敏度、分辨率、稳定度、超然性以及动态特性等。为了获得准确的计量结果，计量器具的计量特性必须满足一定的准确度要求。计量特性是计量器具质量和水平的重要指标，也是合理选择计量器具的重要依据。

1.2.2 计量器具的特征

1.2.2.1 有关工作范围的特征

(1) 计量器具的示值

计量器具的示值是指计量器具所给出的量的值。由显示器读出的值可称为直接示值，它乘以仪器常数即为示值。对实物量具，示值就是它所标出的值。

(2) 标称值

标称值是计量器具上表明其特性或指导其使用的量值，该值为修约值或近似值。标称值是固定的，不随被测量的变化而变化。

(3) 标称范围

标称范围是计量器具的操纵器件调到特定位置时可得到的示值范围。标称范围通常用计量器具的上限和下限表明，如果下限为零，标称范围一般只用上限表明。

(4) 测量范围

测量范围是计量器具的误差处在规定极限内的一组被测量的值，与测量设备的最大允许误差有关。在标称范围内，测量设备的误差处于最大允许误差内的那一部分范围才是测量范围，也就是说，只有在这一部分测量的值，其准确度才符合要求。因此，有时又把测量范围称为工作范围。

(5) 量程

量程是指标称范围两极限之差的绝对值，是一个具体的数值。它强调的是标称范围内而不是测量范围内的两极限之差的绝对值。

1.2.2.2 有关响应方面的特性

(1) 响应特性

在特定条件下，激励与对应响应之间的关系是计量器具的响应特性。这种关系可以用数学等式、数值表或图形表示。当激励是关于时间的函数时，传递函数是响应特性的一种表示形式。

(2) 灵敏度

灵敏度是计量器具响应的变化与引起该变化的激励值（被测量）的变化之比。对于带刻度指示器的器具，通常以分度长度与其值之比作为灵敏度。灵敏度指标是考查传感器的主要指标之一。

(3) 鉴别力

使器具的响应产生可以觉察的变化的激励值（被计量值）的最小变化量，称为鉴别力。这种激励变化应缓慢而单调地进行。

(4) 分辨力

分辨力是指显示装置能有效辨别的最小的示值差。

(5) 死区

计量器具的死区指的是不致引起计量器具响应发生变化的激励双向变动的最大区间。

(6) 响应时间

激励受到规定突变的瞬间，与响应达到并保持其最终稳定性在规定极限内的瞬间，这两者之间的时间间隔就是响应时间。

1.2.2.3 有关性能方面的特性

(1) 漂移

漂移是指计量器具的特性的缓慢变化。

(2) 稳定性

计量器具保持其计量特性随时间恒定的能力称为计量器具的稳定性。

(3) 超然性

超然性是指计量器具不改变被测量的能力。

(4) 重复性

重复性是指在相同条件下，重复测量同一个被测量，计量器具提供相近示值的能力。重复性可以用测量结果的分散性定量地表示。

(5) 可靠性

可靠性是指计量器具在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。表示计量器具可靠性的定量指标，可以用其极限工作条件下的平均无故障工作时间来表示。

1.2.2.4 有关准确度方面的特性

(1) 准确度

准确度是指计量器具给出接近于真值的响应能力。准确度是定性的概念，在实际应用中，常以测量不确定度、准确度等级或最大允许误差等定量表示。

(2) 准确度等级

准确度等级是符合一定的计量要求，使误差保持在规定极限以内的计量器具的等别、级别。这也是计量器具最具概括性的特征，综合反映了计量器具的基本误差和附加误差的极限值以及其他影响测量准确度的特性值。

(3) 测量精度

测量精度是测量结果的可信程度或不确定度，一般以计量值与被测量的实际值之间的偏差范围来表示。

(4) 最大允许误差

对给定计量器具，规范、规程等所允许的误差极限值为最大允许误差，有时也称为计量器具的允许误差限。这些极限值可以是单向的，也可以是双向的，它们一般随被测的量值而变化。

1.2.3 计量器具的构成

典型的计量器具从总体构成来说，一般可分为三个主要部分，如图 1—1 所示。

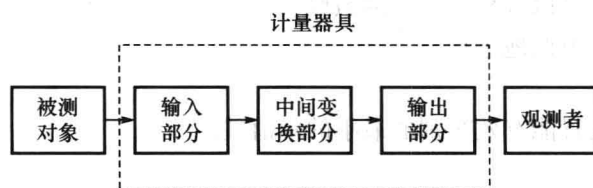


图 1—1 计量器具总体构成方框图

输入部分包括传感器、检测器或测量变换器，它把被测的信息转变成便于下一步处理的信号。中间变换部分把输入部分出来的信号进行放大、滤波、调制和解调、运算或分析等二次变换，使之适于输出的需要。输出部分将被测量的等效信息提供给观测者或电子计算机。

可以认为，计量器具是一条包含很多环节的测量链。测量链是计量仪器或计量装置中的一系列单元，它们构成测量信号从输入到输出的通道。计量链有串联、并联和反馈等多种形式。

1.2.3.1 输入部分

(1) 传感器和测量变换器

传感器是计量仪器或测量链中直接作用于被测量的元件。有些被测量不能直接测量或直接测量时准确度不高，如温度、加速度等，需要用传感器变换成易于处理、易于与标准量比较的物理量，如位移、频率、电流、电阻、电压等。经常采用的是将被测的量变换为电量。将非电量直接变换为电量的过程叫直接变换，通过应变、热、光、磁等量再变换为电量的过程叫间接变换。

测量变换器是提供与输入量有给定关系的输出量的测量器件。在测量变换器中，与被测量直接作用的部分是它的传感部分或敏感部分。有时传感部分与变换部分构成一个不可分的整体。所以，测量变换器可以只是传感器，也可以包括它们的附属测量线路。

(2) 主要的传感器

根据被测对象，可以把传感器分为温度传感器、力传感器、应变传感器、位移传感

器、加速度传感器、温度传感器等；根据传感器所利用的物理、化学或生物效应，可以分为电阻式、电容式、光纤式、压电式、光电式、热电式、磁电式、离子交换反应式传感器等；根据传感器的工作机理，可分为物性型和结构型传感器；根据传感器与被测对象之间的能量关系，可分为能量转换型和能量控制型传感器。

常用的并有发展前途的传感器有以下几种：

电阻式传感器：把被测量的变化变换为电阻变化的传感器。包括变阻式和电阻应变式两类。

电感式传感器：把被测量的变化变换为自感或互感变化的传感器。包括变磁阻式、涡流式和差动变压器式三类。

电容式传感器：把被测量的变化变换为电容变化的传感器。包括极距变化型、面积变化型和介质变化型三类。

压电式传感器：利用一些晶体材料的压电效应，把力或压力的变化变换为电荷量变化的传感器。压电晶体有纵向、横向和剪切的压电效应，可以做成不同支撑形式和受力状态的传感器，在力、加速度、超声及声纳等测量中得到了广泛的应用。

压磁式传感器：利用一些铁磁材料的压磁效应，把力或压力的变化变换为导磁率变化的传感器；利用其逆效应，可以做成磁致伸缩式传感器。

压阻式传感器：利用半导体材料的压阻效应，把压力的变化变换为电阻变化的传感器。可分为薄膜型、结型和体型三类。

光电式传感器：利用光电效应把光通量的变化变换为电量变化的传感器。可利用的光电效应包括光电子发射效应、光导效应和光生伏特效应。

振弦式传感器：利用振弦的固有频率与张力之间的函数关系，把力的变化变换为频率变化的传感器。激振方法可分为连续激发和间歇激发两类。

霍尔传感器：利用某些半导体材料的霍尔效应，将被测量的变化变换为霍尔电势变化的传感器。霍尔元件结构简单、体积小、噪声小、频带宽、动态范围大，有广泛的应用前景。

陀螺式传感器：利用陀螺进动定理将被测量的变化变换为电量变化的传感器。

热电式传感器：利用热电效应将温度的变化变换为电势的变化的传感器。

磁电式传感器：利用电磁感应定律将转速的变化变换为感应电动势或其频率变化的传感器。可分为可动线圈式和可动衔接式。

电离辐射式传感器：利用电离辐射的穿透能力，使气体电离并具有热效应和光电效应，把被测量的变化变换为电量变化的传感器。

约瑟夫逊效应传感器：利用超导体的约瑟夫逊效应，把磁通变换为周期变化的阻抗，或把频率变换为电压的传感器。包括约瑟夫逊结和测量灵敏度极高的超导量子干涉器件。

光纤传感器：利用光在光纤中传播时其振幅、相位、偏振态、模式等随被测量值变化而变化的传感器。可分为功能型和非功能型，前者中光纤既是敏感元件又是传光元件，后者则仅起传光作用。也可分为干涉型和非干涉型。

(3) 主要的测量变换器

主要的测量变换器有热电偶、电流互感器、电动气动变换器、测量电桥等。测量电桥的应用极为广泛，其功能是把来自传感器的电阻、电容、电感等量的变化，变换成电流或电压的变化。

1.2.3.2 中间部分

中间部分的作用是对来自输入部分的信号进行变换和处理,包括信号变换器件、信号传输器件、信号处理器件。其中,信号变换器件由滤波器、衰减器、放大器、移相器、运算放大器、调制解调器及模/数、数/模转换器等组成。信号处理器件对信号进行各种运算,如单片机、SOPC 芯片、FPGA 芯片、DSP 芯片、ARM 芯片等。信号传输器件对处理后的信号进行传输、通信,如模拟输出 D/A 芯片、串行或并行输出芯片、总线协议芯片等。

1.2.3.3 输出部分

(1) 指示装置及其分类

指示装置是计量器具中显示被计量值或其相关值的一套组件,它往往是计量器具的终端。指示是显示的一种方式,可以表示出量的大小和各个量之间的关系。表示的方法通常有角度、长度、数字、文字、图形、图表、图像等。

指示装置按提供示值的方式,可以分为模拟式、数字式、半数字式。

模拟式指示装置提供模拟示值。它采用主观读数方式,容易因观察者和观察位置的不同而造成视差。它的活动部分有迟滞现象,所以计量速度和准确度会受到一定的限制。最常见的模拟式指示装置是模拟指示表,一般可以分为机电式和电子式两种。

数字式指示装置提供数字示值。从原理上说,它克服了由模拟式指示装置的构造所决定的上述缺点和限制。它还具有自动调零、自动极性选择和自动调换量程的功能。为了进行数字式指示,首先要把模拟量转换为以脉冲信号的频率或时间间隔形式出现的数字量,然后用电子计数器进行显示。

半数字式指示装置是模拟式和数字式指示装置的综合。它通过由末位有效数字的连续移动进行内插的数字式显示,或通过由标尺和指示器辅助读数的数字式指示来提供半数字指示值。

(2) 记录装置及其分类

记录装置是计量器具输出部分中记录被计量的量值或有关值的一套组件,可以记录字符、表格、图像、音响等。记录可以是连续的,也可以是离散的。

常见的记录装置有以下几种:

笔式记录器:笔式记录器用笔尖在记录纸上描绘出被计量值相对于时间或某一参考量之间的函数关系。按照笔的驱动方式可以将其分为检流计式和伺服式两种。检流计式的笔式记录器相当于一个磁电式记录电表。伺服式的笔记录器通常采用闭环零位平衡方法,也称自动平衡记录器。由于笔式记录器可动部件惯性较大,一般适宜于记录慢变化的计量信号,而且它的笔尖和记录纸之间有摩擦,会影响记录的准确度。

照相记录器:光线示波器是一种照相记录器,它主要由振子、光路、磁路、传动、摄影等单元组成,振子也相当于一个磁电式检流计。由于其以振子和张丝代替了笔式记录器检流计中的弹簧和轴承,从而减小了摩擦,提高了灵敏度;又由于以光点代替了笔尖,从而减小了惯性,提高了固有频率。记录在照相记录器记录媒质上的计量结果,一般需要经过适当处理才能显示出来,所以不能立即看出。这种记录器的记录时间也会受到记录媒质长度的限制。

磁性记录器:磁性记录器利用强磁性介质的剩余磁化现象来输入、存储和输出信息。由

于它所记录和存储的信息密度高、频率响应范围宽、信息的输入/输出速度快、动态范围大，因而得到了广泛的应用。

1.3 测量误差

1.3.1 误差的定义

误差是测量值与被测量真值之间的差，可以用下式表示

$$\text{误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

这是人们通常所说的绝对误差。事实上，误差有绝对误差和相对误差两种表达方式。

(1) 绝对误差

某量值的测得值与真值之差称为绝对误差，可用下式表示

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-1)$$

式中， X 为测量结果； X_0 为被测量真值。绝对误差有大小和符号，其单位与测量结果的单位相同。不应将绝对误差与误差的绝对值混淆，后者为误差的模。

(2) 相对误差

相对误差是测量结果的绝对误差 ΔX 与真值 X_0 之比，即

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

由于绝对误差可能为正值或负值，因而相对误差也可能为正值或负值，通常以百分数表示。

仅从测量结果与真值之间误差的数学形式考查，除绝对误差、相对误差外还有引用误差等。由于通常真值不能确定，实际上用的是约定真值。约定真值对于给定目的的具有适当不确定度的赋予特定量的值，有时该值是约定采用的。对于相同的被测量，绝对误差可以评定其测量精度的高低，但对于不同的被测量，测量精度的高低采用相对误差来评定较为确切。

1.3.2 误差的来源

(1) 测量装置误差

标准量具误差：以固定形式复现标准量值的标准量具，其本身体现的量值，也不可避免地存在误差。

仪器误差：直接或间接将被测量和已知量进行比较的仪器设备，本身存在测量误差。

(2) 环境误差

由于各种环境因素与规定的标准状态不一致而引起的测量装置和被测量本身的变化所造成的误差，如温度、湿度、气压、振动、照明、重力加速度、电磁场等所引起的误差。通常，仪器仪表在规定的正常工作条件所具有的误差称为基本误差，而超出此条件所增加的误差称为附加误差。

(3) 方法误差

由于测量方法的局限性或不完善而引起的测量误差。

(4) 人员误差

测量者受分辨能力的限制、因工作疲劳引起的视觉器官的生理变化、固有习惯引起的读数误差以及精神因素产生的疏忽等所引起的误差。

总之，在计算测量结果的精度时，对上述四个方面的误差来源，必须进行全面分析，力求不遗漏、不重复，特别要注意对误差影响较大的因素。

1.3.3 误差的分类

按照误差的性质和特点，误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

(1) 系统误差

在重复条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差称为系统误差。系统误差决定测量结果的正确程度。

系统误差可按下列方法分类：

按对误差掌握的程度分类：已定系统误差是指误差绝对值和符号已经确定的系统误差。未定系统误差是指误差绝对值和符号未能确定的系统误差，但通常可估计出误差范围。

按误差出现规律分类：不变系统误差是指误差绝对值和符号固定的系统误差。变化系统误差是指误差绝对值和符号变化的系统误差，按其变化规律，又可分为线性系统误差、周期性系统误差和复杂规律系统误差等。

(2) 随机误差

测量结果与在重复条件下对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差称为随机误差。随机误差决定计量结果的精密程度。

(3) 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差称为粗大误差。粗大误差值较大，明显歪曲测量结果。

在实际工作中测量不可能进行无限次，通常又不知道被测量的真值。因此，无论系统误差还是随机误差，都是理想的概念，无法确切知道其值的大小，但可通过改进测量方法、测量设备及控制影响量等方法来减小客观存在着的测量误差。上述三类误差之间在一定条件下可以相互转化。对某项具体误差，在此条件下为系统误差，而在另一条件下可为随机误差，反之亦然。在实际应用中，掌握误差转化特点，可将系统误差转化为随机误差，用数理统计的方法减小误差的影响；或将随机误差转化为系统误差，用修正方法减小其影响。随机误差和系统误差并不存在绝对的界限。随着对误差性质的深化和测试技术的发展，有可能把过去作为随机误差的某些误差分离出来作为系统误差处理，或把某些系统误差当作随机误差来处理。

1.3.4 与误差相关的几个概念

(1) 重复性

在相同测量条件下，对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性。这些条件称为重复性条件。重复性条件包括：相同的测量程序，相同的观测者，在相同的条件下使用相同的测量仪器，相同地点，在短时间内重复测量。重复性可用测量结果的分散性定量表示。

(2) 复现性

在改变了的测量条件下，对同一被测量的测量结果之间的一致性。在给出复现性时，应有效说明改变条件的详细情况。可改变的条件包括：测量原理，测量方法，观测者，测量仪器，参考测量标准，地点，使用条件，时间。复现性可用测量结果的分散性定量表示。

(3) 测量结果的精密度、正确度和准确度

精密度：测量的精密度指在相同条件下对被测量进行多次反复测量，测得值之间的一致（符合）程度。从测量误差的角度来说，精密度所反映的是测得值的随机误差。精密度高，不一定正确度高。也就是说，测得值的随机误差小，其系统误差不一定也小。

正确度：测量的正确度指被测量的测得值与其“真值”的接近程度。从测量误差的角度来说，正确度所反映的是测得值的系统误差。正确度高，不一定精密度高。也就是说，测得值的系统误差小，其随机误差不一定也小。

准确度：指被测量的测得值之间的一致程度以及与其“真值”的接近程度。它是精密度和正确度的综合概念。从测量误差的角度来说，准确度是测得值的随机误差和系统误差的综合反映。

图 1—2 是测量的精密度、正确度和准确度的示意图。设图中的圆心为被测量的“真值”，黑点为其测得值，则图（a）：正确度较高、精密度较差；图（b）：精密度较高、正确度较差；图（c）：准确度较高，即精密度和正确度都较高。

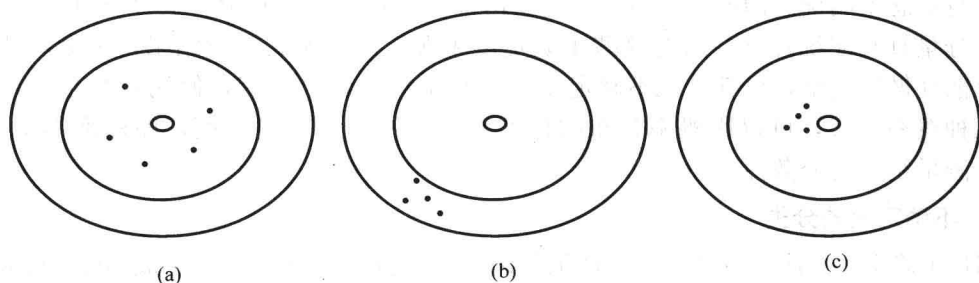


图 1—2 测量的精密度、正确度和准确度

1.4 测量不确定度

1.4.1 不确定度的定义

测量不确定度是表征合理地赋予被测量之值的分散性，与测量结果相联系的参数。通俗地说，测量不确定度就是指测量结果中用于说明测得值所处范围的一个参数，其大小只与测量条件有关。由于它是一个表示范围的参数，所以是绝对值，并有三种定量表达形式：标准差、标准差倍数以及置信概率下的置信区间的半宽，其值恒为正数。

一个完整测量结果应包括对被测量的最佳估计及其分散性参数两部分。分散性参数即为测量不确定度。它应包括所有的不确定度分量。

例如，被测量 X 的测量结果为 $x \pm U$ ，其中， x 是 X 的最佳估计值， U 是 x 的测量不确定度，测量结果可以展开表示为 $(x+U, x-U)$ 。显然，被测量 X 的测量结果所表示的并非一个确定的值，它表征了被测量的真值所处范围。

1.4.2 不确定度的来源

测量过程中的随机效应和系统效应均会导致测量不确定度。具体的成因可以从以下几个方面分析归纳：

- (1) 被测量的定义不完整或不完善；
- (2) 实现被测量定义的方法不理想；
- (3) 取样的代表性不够，即被测量的样本不能完全代表所定义的被测量；
- (4) 对测量过程受环境影响的认识不周全，或对环境条件的测量与控制不完善；
- (5) 对模拟式仪器的读数存在认为偏差；
- (6) 测量仪器计量性能（如灵敏度、分辨力、死区及稳定性等）上的局限性；
- (7) 赋予计量标准的值和标准物质的值不准确；
- (8) 引用的数据或其他参量的不确定度；
- (9) 与测量方法和测量程序有关的近似性和假定性；

(10) 在表面上看来完全相同的条件下，无论怎样控制环境条件及各类对测量结果可能产生影响的因素，最终的测量结果总会存在一定的分散性，即多次测量的结果并不完全相等。

测量不确定度一般来源于随机性和模糊性。随机性归因于条件不充分，模糊性归因于事物本身概念不明确。因而，测量不确定度由许多分量组成，其中一些分量具有统计性，另一些分量具有非统计性。所有这些不确定度来源，若影响到测量结果，都会对测量结果的分散性做出贡献，也就是说不确定度是各种来源的综合效应，使测量结果的可能值服从某种概率分布，可以用概率分布的标准差来表示测量不确定度，即标准不确定度，它表示测量结果的分散性。

1.4.3 不确定度的分类

测量不确定度在使用中根据表示的方式不同可分为标准不确定度、合成不确定度和扩展不确定度。

标准不确定度：以标准差表示的测量不确定度。标准不确定度依据其评定方法分为“A”、“B”两类：

不确定度的 A 类评定：用对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度。

不确定度的 B 类评定：用不同于对观测列进行统计分析的方法来评定标准不确定度。

A 类不确定度评定的特点是必须对被测量进行多次测量，通过对观测列用统计分析方法评定得出。表征 A 类评定所得不确定度分量的方差估计值记为 u^2 ，由一系列重复观测值算得。 u^2 为统计方差 σ^2 的估计值，A 类标准不确定度 u 为 u^2 的正平方根。其结果与多次重复测量的次数有关，也与测量数据的概率分布类型有关。

A 类以外的不确定度均属 B 类不确定度。B 类不确定度依据有关信息，利用模数集合、灰色系统、熵等方法进行评定，所得的不确定度分量的估计方差为 u^2 ，则 B 类标准不确定度为 u 。

合成标准不确定度：当测量结果是由若干个其他量的值求得时，按其他各量的方差和协方差算得的标准不确定度，一般用符号 u_c 表示。它是测量结果标准差的估计值。

扩展不确定度：确定测量结果区间的量，合理赋予被测量之值分布的大部分可望含于此区间。对合成标准不确定度乘以一个包含因子 k ，即得到扩展不确定度。扩展不确定度提供测量结果一个区间，期望被测量以较高的置信水平落入此区间，扩展不确定度一般用符号 U 表示。

在实际使用中,往往希望知道测量结果的置信区间,因此规定测量不确定度也可以用说明了置信水准的区间的半宽度 α 来表示。实际上它也是一种扩展不确定度。当规定的置信水准为 p 时,扩展不确定度可以用符号 U_p 表示。

测量不确定度也可以有绝对不确定度和相对不确定度两种形式。绝对形式表示的不确定度与被测量有相同的量纲。相对形式表示的不确定度无量纲。被测量 x 的标准不确定度 $u(x)$ 和相对标准不确定 $u_{\text{rel}}(x)$ 间的关系为

$$u_{\text{rel}}(x) = \frac{u(x)}{x} \quad (1-3)$$

测量不确定度是与测量结果相联系的参数,即测量不确定度是一个与测量结果“在一起”的参数,在测量结果的完整表述中应该包括测量不确定度。因此,一般不用测量的不确定度来表示测量仪器的特性,对测量仪器没有不确定度的定义,只有用仪器得到的测量结果才有不确定度。而仪器的特性可以用示值误差或最大允许误差等术语来描述。可以将测量仪器或计量标准的不确定度理解为仪器所提供的标准量值的不确定度。对于经过校准而已知其示值误差的测量仪器,有时也简单地将示值误差的不确定度叫做测量仪器的不确定度。实际上它们还是测量结果的不确定度,因为该标准量值或示值误差就是对该仪器进行校准时的测量结果。

1.4.4 不确定度与误差的区别

测量误差和测量不确定度是误差理论中两个重要概念,它们都是评价测量结果质量高低的重要指标。测量误差与不确定度的区别有以下几个方面:

(1) 定义

误差表示测量结果对真值的偏离,是一个确定的值;而不确定度表明被测量之值的分散性,它以分布区间的半宽表示,表示一个区间。

(2) 分类

按测量结果中误差出现的规律,误差可分为随机误差和系统误差。随机误差表示测量结果与无限多次测量结果平均值之差,而系统误差则是无限多次测量结果平均值与真值之差。因此,随机误差和系统误差都是无限多次测量的理想概念。由于实际工作中只能进行有限次测量,因此只能获得随机误差和系统误差的估计值。而不确定度是根据对其标准不确定度的评定方法而分为 A 类和 B 类,它们与“随机误差”和“系统误差”分类之间不存在简单的对应关系。“随机”和“系统”表示两种不同的性质,而“A 类”和“B 类”表示两种不同的评定方法。因此,把“A 类”不确定度对应于随机误差导致的不确定度,把 B 类不确定度对应于系统误差导致的不确定度的做法是错误的。在进行测量不确定度评定时,可表述为“由随机效应引入的测量不确定度分量”和“由系统效应引入的不确定度分量”。

(3) 可操作性

误差的概念和真值相联系,而系统误差和随机误差又与无限多次测量的平均值有关。因此,两者都是理想化的概念,实际上只能得到估计值,因而误差的可操作性较差。不确定度则可以根据实验、资料、经验等信息进行评定,从而可以定量评定。

(4) 数学符号

误差表示两个量的差值,可以是正值,也可以是负值;而不确定度恒为正值。

第2章 石化工艺简介

石油化工生产过程根据不同的产品种类、质量要求及操作目标，其生产工艺各不相同，但主要操作不外乎存储、输送，混合、分离，冷却、加热，合成、裂解等。

2.1 原料及产品罐区

石油化工生产过程中，原料及产品均需要进行一定数量的储存。储存的主要方式按容器及运输形式分为散装储存和整装储存两种。储存方式不同，其工艺、设备及计量要求也不同。下面主要介绍散装原料及产品的储存。

2.1.1 原料及产品的储存方式

散装储存是指将原料及产品存放于大型容器——储罐中的储存形式，储存在储罐中的物料称为散装品，它是目前原料及产品的主要储存方式。

储罐一般按用途集中安置，多个储罐安置在一起组成罐区。原料及产品可以通过铁路罐车、汽车罐车、轮船及管道等设备送入或运出罐区。

储罐有多种类型。由于储罐形式对罐区工艺及管理等方面的影响较大，故常将储罐布置形式作为罐区分类的一种依据。散装原料及产品的几种主要储存方式如下：

(1) 地上储存

储罐建于地面上的罐区称为地上罐区。地上罐区的优点是投资省，易建设，施工快，便于使用管理，易于检查维修。目前，绝大部分原料及产品罐均为地上罐。地上罐区的缺点是占地面积较大，且因地面温差大，温度高，蒸发损耗较严重，着火危险性也较大。

(2) 半地下储存和地下储存

储罐的基础在地面以下，但罐顶仍在地上的罐区称为半地下罐区；整个储罐都在地面以下的罐区称为地下罐区。这类罐区由于储存温差小，温度低，原料及产品在储存期间的蒸发损耗小，且不易变质，着火危险性也小。但这种罐区投资大，施工期长，使用管理不便，检修亦较困难。

2.1.2 罐区工艺流程

罐区工艺流程指的是罐区内原料和产品沿管道的流向，它反映的是罐区主要生产过程及各工艺系统间的相互关系。

2.1.2.1 罐区流程

罐区的管道一般有单管系统、双（多）管系统及独立管道系统等布置形式。

(1) 单管系统

单管系统是指同一罐区的两个（或两个以上）储罐共用一根管道，如图 2—1 所示。其