



分析仪器丛书

武宝琦 编著

物性分析仪器

机械工业出版社

分析仪器丛书

物性分析仪器

武宝琦 编著



机械工业出版社

物性分析仪器是测量某些物质物理特性的仪器，它广泛地应用于石油、化工、轻工、食品、国防等工业部门，对国民经济的发展和提高产品质量起着重要的作用。

本书为《分析仪器丛书》之一，全书共分六章：（1）湿度计；（2）水分仪；（3）粘度计；（4）密度计和比重计；（5）石油物性分析仪器；（6）浊度计。

本书可供工人、技术人员以及有关学校师生参考，亦可作为仪器培训班的培训教材。

物 性 分 析 仪 器

武宝琦 编著

★

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可出字第117号）

河北省永清县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $6^{1/2}$ · 字数 138 千字
1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷
印数 4,001—6,500 · 定价 1.10 元

★

统一书号：15033·5318

前 言

分析仪器是检测物质的化学成分、结构和某些物理特性的仪器，它广泛应用于农业、工业、科研、环境污染监测、医疗卫生以及资源勘探等各个部门，对国民经济发展起着十分重要的作用。

近几年来，我国的分析仪器工业取得了很快的发展，从事分析仪器设计、制造、使用和管理工作的人员也在迅速增多。为了适应这一形势的需要，帮助有关人员了解和掌握分析仪器的基本知识，我们组织编写了这套《分析仪器丛书》。

本丛书预定分为十二分册，其中有：《分析仪器》、《电化学式分析仪器》、《光学式分析仪器(一)》、《光学式分析仪器(二)》、《热学式分析仪器》、《核磁共振波谱仪》、《质谱仪》、《色谱仪》、《物性分析仪器》、《流程分析仪器取样系统》、《分析仪器电子技术》、《环境污染监测用分析仪器》，将陆续出版。

本丛书在文字上力求精炼通顺、明了易懂，并采用文字和图表相结合的叙述方式。内容上着重介绍分析仪器及其关键部件的作用原理、结构、主要特征和用途，并扼要介绍仪器的使用技术和方法、维修要点、发展历史和趋势等。

由于我们的水平有限，书中难免有不少缺点甚至错误，欢迎读者批评指正。

这套丛书是在有关工厂、高等院校、科研单位的大力支

IV

持下组织编写的，许多同志为收集素材，编写和审校作了很多工作和提出了不少宝贵意见，在此一并表示感谢。

《分析仪器丛书》编写组

目 录

前言

绪论	1
第一章 湿度计	2
一、概述	2
(一) 什么是湿度计	2
(二) 湿度计的简介	3
(三) 湿度计的用途	3
(四) 湿度计的种类	5
二、湿度的基本知识	5
(一) 湿度的定义和概念	5
(二) 湿度的测量单位	7
(三) 湿度测量单位之间的关系	9
三、测量空气相对湿度的湿度计	10
(一) 毛发湿度计	10
(二) 干湿球湿度计	13
(三) 电阻湿度计	17
四、测量气体露点的湿度计	24
(一) 概述	24
(二) 目视冷凝式露点计	26
(三) 光电冷凝式露点计	28
(四) 绝热膨胀式露点计	30
(五) 氯化锂露点湿度计	32
五、微量水分析仪器	37
(一) 概述	37

(二) 电解式湿度计	38
(三) 热吸收式微量水分析仪	42
(四) 晶体振荡式微量水分析仪	45
(五) 氧化铝电容湿度计	48
六、湿度计的校准	51
(一) 湿度标准	52
(二) 湿度发生器	55
(三) 固定湿度点校验器	58
(四) 微量水分析仪校准法	60
第二章 水分仪	64
一、概述	64
(一) 什么是水分	64
(二) 水分在物质中是如何存在的	64
(三) 水分的计算法	65
(四) 水分仪的用途	66
(五) 水分仪的类型	67
二、实验室水分仪	67
(一) 干燥式水分仪	67
(二) 蒸馏式水分仪	68
(三) 化学反应式水分仪	69
(四) 电导式水分仪	71
(五) 电容式水分仪	75
(六) 红外式水分仪	79
(七) 核磁共振式水分仪	82
(八) 微波式水分仪	84
三、工业水分仪	85
(一) 电导式水分仪	85
(二) 电容式水分仪	86
(三) 微波式水分仪	86

(四) 中子式水分仪	87
四、水分仪的校准	87
第三章 粘度计	91
一、概述	91
(一) 什么是粘度计	91
(二) 粘度计的用途	91
(三) 粘度计的分类	93
二、粘度的基本知识	94
(一) 粘度的定义	94
(二) 粘度的单位	95
(三) 温度和压力对粘度的影响	96
(四) 牛顿液体	96
(五) 非牛顿液体	96
(六) 非牛顿液体的粘度	100
三、毛细管式粘度计	101
(一) 原理和结构	101
(二) 玻璃毛细管粘度计	103
(三) 高压毛细管粘度计	106
(四) 工业毛细管粘度计	108
(五) 流孔式粘度计	110
四、旋转式粘度计	112
(一) 原理和结构	113
(二) 实验室旋转粘度计	117
(三) 工业旋转粘度计	121
五、落体式粘度计	125
(一) 落球粘度计	126
(二) 滚球粘度计	127
(三) 落塞式工业粘度计	129
六、振动式粘度计	130

(一) 超声波粘度计	130
(二) 振球粘度计	133
七、粘度计的校准	134
(一) 粘度标准体系	135
(二) 蒸馏水粘度标准	135
(三) 毛细管标准粘度计	135
(四) 粘度标准液	138
(五) 粘度计的校准	138
第四章 密度计和比重计	139
一、概述	139
(一) 什么是密度和比重	139
(二) 密度计和比重计的用途	140
(三) 密度计和比重计的种类	141
二、液体密度计和比重计	141
(一) 实验室密度计和比重计	141
(二) 浮力式工业密度计	145
(三) 静压力式工业密度计	150
(四) 重力式工业密度计	153
(五) 放射性同位素密度计	155
(六) 振动式工业密度计	157
(七) 声速式工业密度计	161
三、气体密度计和比重计	162
(一) 实验室气体密度计	162
(二) 工业气体密度天平	163
(三) 光电平衡式气体密度天平	163
(四) 气柱平衡式密度计	165
(五) 气桥式密度计	166
(六) 粘性拖泄式气体密度计	166
(七) 离心式气体密度计	168

(八) 振动管气体密度计	168
四、密度计和比重计的应用	169
(一) 液体密度计和比重计的应用	169
(二) 气体密度计和比重计的应用	172
第五章 石油物性分析仪器	173
一、概述	173
二、蒸馏分析仪	173
(一) 蒸馏的定义	173
(二) 蒸馏分析仪的用途	174
(三) 蒸馏分析仪的类型	174
(四) 实验室蒸馏分析仪	175
(五) 填充柱型干点分析器	175
(六) 初馏点分析仪	177
(七) 减压蒸馏分析仪	177
三、闪点分析仪	178
(一) 闪点的定义	178
(二) 闪点分析仪的用途	178
(三) 实验室闪点测定法 (闭杯法)	178
(四) 闪点连续记录仪	179
四、蒸气压分析仪	180
(一) 蒸气压的定义	180
(二) 蒸气压分析仪的用途	181
(三) 实验室蒸气压的测量方法 (雷德法)	181
(四) 空气饱和式蒸气压分析仪	181
(五) 动态蒸气压分析仪	182
五、倾点分析仪	183
(一) 倾点的定义	183
(二) 实验室倾点测定法	183
(三) 可倾板倾点分析仪	184

六、浊点分析仪	185
(一) 浊点的定义	185
(二) 实验室浊点测定法	185
(三) 对流传热传导浊点分析仪	186
七、辛烷值分析仪	187
(一) 辛烷值的定义	187
(二) 辛烷值分析仪的用途	187
(三) 实验室辛烷值分析仪	188
(四) 连续辛烷值分析仪	188
第六章 浊度计	190
一、概述	190
(一) 浊度的单位和标准	190
(二) 浊度计的类型	191
二、工业连续式浊度计	191
(一) 透射光浊度计	191
(二) 散射光浊度计	193
(三) 散射透射光浊度计	194
(四) 表面散射光浊度计	194
(五) 积分球浊度计	195
(六) 浊度计的校正	196
(七) 各种浊度计的性能比较	197

绪 论

物性分析仪器是测量物质性质的分析仪器。在分析仪器中，除测量物质的化学组成、结构的仪器外，还有许多仪器是测量物质的某些物理特性的仪器，如湿度计、水分计、粘度计、密度计等都属于物性分析仪器。

物质的性质包含很广，所以并不是测量所有的物质性质的仪器都是物性分析仪器，而是在分析仪器分类时，常习惯于将某些与物质的一些物理特性有密切关系的分析仪器称为物性分析仪器。

物性分析仪器可以用来测量原料、半成品及产品的性能和质量指标，并可用于生产过程中直接监测和控制生产工艺和产品质量，因此在化工、石油、轻工、食品等工业生产部门应用地比较广泛。

物性仪器所采用的工作原理多种多样，涉及的范围很广。因此仪器品种、规格繁多，欲选用一种适合于测量对象和使用要求的物性分析仪器往往要比选择其它类型的仪器要困难一些。

物性分析仪器是测量多种物性参数的一类仪器，因此它常依据测量对象来分类。主要包括以下类别的仪器：（1）湿度计；（2）水分计；（3）粘度计；（4）密度计及比重计；（5）石油物性分析仪器；（6）浊度计。

选择物性分析仪器时，应先弄清楚分析对象和要求，其中包括：试样状态、试样温度和压力，试样有无腐蚀性、背

景组分、测量范围、精度、灵敏度、响应速度等内容，然后将各种类型的仪器的规格、性能、特点、安装取样方式与分析对象和要求全面进行比较，以便选用一种能满足使用要求的仪器。本书每章末附有该类仪器的性能一览表，可供选用仪器时参考。

第一章 湿 度 计

一、概 述

(一) 什么是湿度计

我们知道，包围着整个地球的空气是由氮气、氧气、水汽以及一小部分其它气体混合而成的。一般来说空气中的氮气和氧气的含量，在地球各处是不变的，（氮气含80%、氧气含18%）而水汽却是经常在变动着。随着水的不断蒸发，来自海洋或潮湿地带的气流含有较多的水汽，而来自大陆或干燥地带的气流，水汽的含量就较少。地面水分的蒸发和凝结，与大气温度有着密切的关系，由于太阳辐射强度的变化，引起气温的变化，因而大气中所含水汽成分也产生了变化。空气或其它任何一种气体与水汽混合，则我们一般地都说这种气体是潮湿了。混合气体中的水汽含量愈高，则气体也愈潮湿或者说它的湿度愈大。因此，湿度是表示空气(或气体)中水汽含量的一个物理量，它可用绝对湿度和相对湿度两种方法来表示。

湿度计是用来测量空气(或气体)湿度的分析仪器。它的种类很多，有的用来测量绝对湿度，有的用来测量相对湿度。

对于用来测量固体和液体（与水不相溶）水分含量的仪器应称为水分计。有的地方，对“湿度计”和“水分计”两个名称的使用，没有加以区别；本书为了使读者概念清楚，把湿度计和水分计分为两章，分别讨论。

（二）湿度计的简介

世界上最早的湿度计是在1500年出现的，它是用具有吸湿性能的羊毛球来测量空气相对湿度的变化。当空气的湿度升高时，羊毛球吸湿而变重，由羊毛球重量的变化就可以测出湿度的高低。1783年出现了毛发湿度计，它是用脱脂的毛发制成，毛发的长度能随着空气湿度的变化而伸长或缩短。后来到了1802年，发明了干湿球湿度计，1945年，又发明了露点湿度计。这几种古老的湿度计，一直到今天仍然在使用着。在过去一百多年中，仪器的设计和结构有了许多改进，但是仪器的准确度提高不大。

七十年以前，湿度计主要用于气象方面。随着现代科学技术和工农业的发展，对湿度的测量和控制要求愈来愈高。近二十年来，出现了许多新的湿度测量仪器，如测量相对湿度的电湿度计，自动测量露点的光电露点计以及测量微量水的电解湿度计和压电吸收式湿度计。并且研制出一批新型的湿敏元件，如氧化铝元件、氯化锂元件、聚合物元件等。

（三）湿度计的用途

湿度是一个重要的物理量。人类、动物、植物、粮食、材料等都是经常受到大气湿度变化的影响，随着湿度的变化，使它们的性质也产生了变化。例如人类在一定的空气湿度下感觉到最为舒适；如果湿度太高或太低，人体的健康和对疾病的抵抗力都要降低。又如空气太干燥，农作物容易枯萎，纺纱厂里棉纱容易断；空气太潮湿，会推迟农作物的成熟时间，影

响产量，纺纱厂里的棉纱要发霉。具有吸湿性的材料只有在空气湿度较低时才能储存，湿度高了，就容易变质或损坏。

在许多工业生产过程中，控制和监视气体的湿度，对保证产品质量，防止设备腐蚀，都具有重要的作用。

由此可知，湿度计在工农业生产和科学技术领域用途非常广泛，主要有以下几个方面：

1. 气象

气象是使用湿度计最早的部门，这是由于湿度是气象学中一个重要的物理量。此外还有航空、导弹、广播、雷达等方面，也要对大气湿度进行测量。

2. 建筑

为了人身体的舒适和健康，现代化的剧院、医院、饭店等建筑物都要有空气调节设备，以保持室内的温度和湿度。

3. 纺织

纺织工业是采用湿度控制最早的部门。空气湿度对各种纤维的性能影响很大，湿度太低，纤维易断，还易产生静电；湿度太高，棉纱易发霉，并且影响棉织品重量。

4. 印刷

在套色印刷中，若不能保持一定的湿度，纸张就会伸缩，使各色图象套印的相对位置移动，影响印刷品的质量。

5. 化工

在化学工业生产过程中，水有时是化学反应的生成物，有时是副产物；通过对水的分析，就可知道化学反应的程度。水有时可使贵重的催化剂中毒和失效，因此必须进行监视和控制。

6. 天然气

在天然气工程中，水汽和天然气形成一种固态水合物，

可将阀门和仪表阻塞，造成事故。另外，天然气中有硫化氢、二氧化硫和水汽存在，就会加速输气管道的腐蚀。

7. 冶金

在冶金工业和机械零件热处理中，常采用保护气氛和可控气氛。对使用气体的湿度也要严格控制，以保证产品的质量。

8. 其它方面

如压缩气体、干燥作业、发酵、造纸、电器材料制造、包装材料制造都涉及对湿度的测量和控制。

（四）湿度计的种类

湿度计的种类繁多，如按其工作原理来分，常用的湿度计有以下各种类型：

- | | |
|----------------|---------------|
| 1. 毛发湿度计； | 11. 晶体振荡式湿度计； |
| 2. 干湿球湿度计； | 12. 热导式湿度计； |
| 3. 电阻湿度计； | 13. 扩散式湿度计； |
| 4. 电容湿度计； | 14. 红外吸收式湿度计； |
| 5. 电解湿度计； | 15. 吸收称重式湿度计； |
| 6. 氯化锂露点湿度计； | 16. 折光指数式湿度计； |
| 7. 目视式露点湿度计； | 17. 色谱湿度计； |
| 8. 压缩膨胀式露点湿度计； | 18. 变色式湿度计； |
| 9. 光电露点湿度计； | 19. 声速式湿度计； |
| 10. 热吸收式湿度计； | 20. 紫外光湿度计。 |

二、湿度的基本知识

（一）湿度的定义和概念

1. 绝对湿度

在单位体积的空气（或气体）中含有水汽的质量就是它

的绝对湿度。

在一立方米的干燥空气内输入水汽,于是空气就变湿了。水汽继续输入,空气的湿度也继续上升,直到这一立方米空气中水汽饱和为止。如果继续输入水汽,则湿度不再上升,而有液体水从湿气中凝结出来。所以,在一定温度下,一个单位体积的气体中所能含的水汽量有一个最大限度,这个最大量称为饱和量。气体的温度愈高,饱和量也随之增大。例如,一立方米的空气在温度为 0°C 时,只能容纳 4.84 克水汽,如果温度为 100°C 时,就可以容纳 598 克水汽。饱和汽的压力称为饱和水汽压。温度和饱和水汽压的关系见表 1-1。

表1-1 温度和饱和水汽压的关系

t ($^{\circ}\text{C}$)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
p (毫米汞 柱)	4.58	9.21	17.45	31.82	55.32	92.5	149.0	233.7	355.1	525.8	760.0

如果一定量含饱和水汽的空气的温度降低时,则水汽饱和量下降,多余的水汽凝结为液体水,从湿空气中分离出来,这就是自然界中出现露水的原因。所以,空气达到饱和状态的温度称为露点。换句话说,空气的温度降低到露点时,空气里原来所含的未饱和的水汽就达到了饱和状态。露点也可以称为露点温度。由于空气(或气体)的每一个温度值都有一定量的水汽作为饱和量,因此,露点温度与空气的水汽饱和量彼此有一个固定关系。露点温度正好是绝对湿度的另一种表示方法。

另外,还有大气中水汽的分压也可以用来表示大气的绝对湿度。