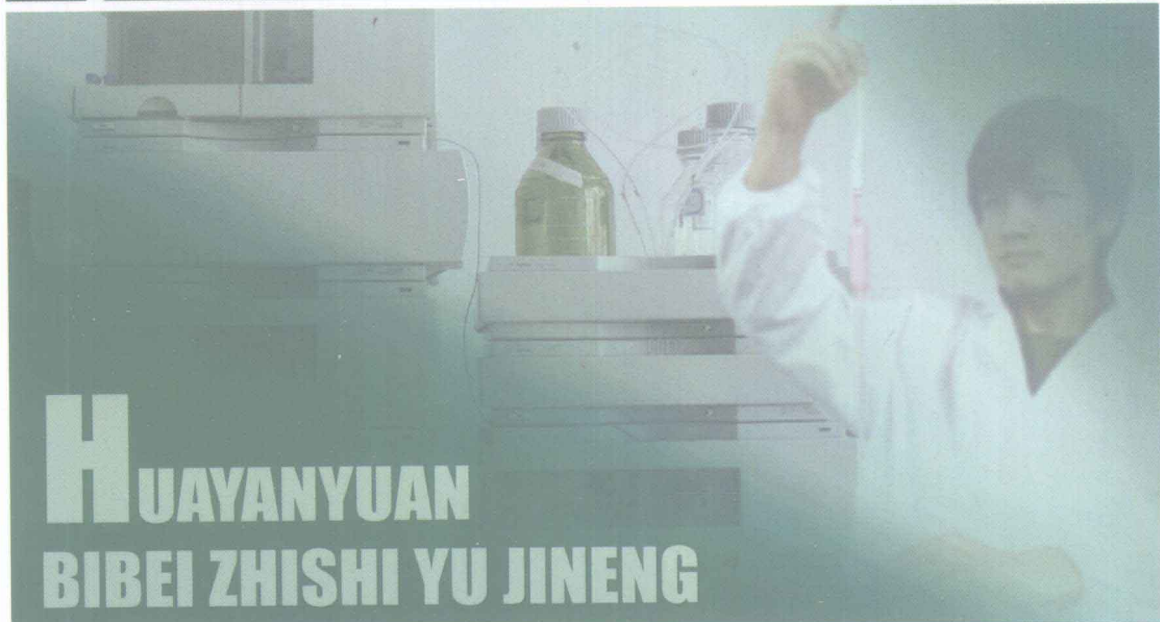


HUAXUE FENXI GONGCHENGSHI SHIYONG JISHU CONGSHU

化学分析工程师实用技术丛书



HUAYANYUAN
BIBEI ZHISHI YU JINENG

化验员 必备知识与技能

曾鸽鸣 李庆宏 编著



化学工业出版社

化学分析工程师实用技术丛书

化验员 必备知识与技能

曾鸽鸣 李庆宏 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从分析化验工作的特点出发,注重实践与理论的应用,较为详细地介绍了分析化验人员应具备的基本技能与基本知识,是一本对分析化验人员学习和实践都具有指导意义的必备参考书。

本书共分为八章,涉及的内容有分析天平的使用与维护、化验室常用的器皿与器材、化验室用水的制备与检验方法、化验室各种溶液的配制与计算、化学分析操作、实验基本知识 with 基础理论(包括酸碱、配位、氧化还原、沉淀滴定、沉淀分析和重量分析)、定量分析中的误差和数据处理、常用物理常数的测定、化验室安全等,是化验人员必备的知识和技能。书末附有常用酸、碱、盐类和其他化学试剂的性质和常用的有关数据表,以方便读者查阅。

书中内容深入浅出,通俗易懂,具体实用。可供生产企业、科研单位从事分析化验工作的人员参考和阅读,也可供高等学校相关专业的师生作为教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化验员必备知识与技能/曾鸽鸣,李庆宏编著. —北京:
化学工业出版社,2011.8
(化学分析工程师实用技术丛书)
ISBN 978-7-122-11817-2

I. 化… II. ①曾…②李… III. 化验员-基本知识
IV. TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 138151 号

责任编辑:成荣霞
责任校对:战河红

文字编辑:刘志茹
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 21 彩插 1 字数 434 千字 2011 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

序

分析化学是人们识别物质并获得物质组成和结构信息的科学，这对于生命科学、材料科学、环境科学和能源科学以及产品的质量控制和评价都是必不可少的。因此，分析化学被誉为科学技术的眼睛，是进行科学研究的基础，是人类认识物质和生命的重要手段，也是产品安全质量评价最重要的分析手段。随着社会和经济的迅速发展，各种新型材料不断出现，人体健康、产品安全以及环境污染等方面的问题日益受到社会各界的普遍关注。与此同时，国内外对食品和消费品等产品安全的要求越来越严格，以及检验检疫口岸快速通关的需要，分析化学正朝着“更准、更快、更灵敏、更低成本、更环保”的需求发展。

从分析方法来说，分析化学主要包括经典的化学分析和光谱分析、色谱分析、质谱分析以及各种联用技术等仪器分析。近年来，分析仪器的不断创新和发展极大地推动了分析化学的发展，使得分析化学的应用领域更为广泛。在现有的国际标准、我国国家标准和行业标准中分析仪器的方法越来越多，越来越普及，这也是分析化学的发展趋势。因此，熟练掌握各类分析仪器使用与维护方法已成为每一位化验员必备的技能。虽然现代分析仪器操作和使用越来越自动化、智能化，仪器的安装、操作和维护更加简便和快捷，但这并不意味着可以忽视分析仪器的使用和维护。相反，由于分析仪器种类繁多，技术日益先进复杂，要使分析仪器的功能得到充分发挥，需要使用者具备扎实的基础知识、熟练的操作和维护技能。

为了帮助我国从事化学检测的技术人员更好地操作、使用和维护分析仪器，最大程度地发挥分析仪器的功能，减少故障率，降低使用成本，化学工业出版社组织广东出入境检验检疫局、华东理工大学等单位共同编写这套《化学分析工程师实用技术丛书》。该“丛书”紧密结合社会发展的需求，突出实用性，着重经验、技能和技巧的传授，内容精练，可操作性强。在介绍各类分析仪器使用与维护时，重点选择了一些使用广泛、型号新颖且具有代表性的分析仪器加以阐述。该“丛书”共分四册，包括《化验员必备知识与技能》、《色谱分析仪器使用与维护》、《光谱分析仪器使用与维护》和《电化学分析仪器使用与维护》。

参与编写人员都是长期从事仪器分析的一线技术骨干和专家，他们希望凭借该“丛书”的出版与广大读者分享他们的经验和成果。希望该“丛书”的出版有助于一线的化学检测人员和高等院校分析化学专业的学生更多地了解分析仪器基本原理和应用，掌握分析仪器的操作和维护技能，以适应社会发展的需要。

郑建国

(国家质检总局化矿金属材料专业委员会主任委员 研究员)

2010年8月

前言 ■ ■ □

分析化验工作是一门实践性很强的基础技术，是研究物质的质和量的重要方法之一，是化学学科的一个分支。随着科学技术的不断发展，已经渗透到各个行业及许多科学领域之中。不论是在工农业生产上，还是与我们生活息息相关的产品质量上或是化学学科本身的发展上，或是与化学相关的学科领域中，分析化验都在其中起着重要的作用。编写这本《化验员必备知识与技能》的目的是希望对从事分析化验工作的人员，特别是刚开始从事这项工作的人员，在学习掌握分析化验的基本技能与基本知识、提高理论水平、提高业务素质上有所帮助。

本书从分析化验工作的特点出发，结合自己分析化验实践工作和多年分析化学理论与实验教学经验的体会，在注重实际应用的基础上，将实践与理论紧密结合，特别是常见标准溶液的配制和标定、重量分析及基本操作和应用实例中能体现出来。本书较全面地介绍了化验员必须掌握的基本技能和基本知识，是一本对化验员学习和实践都很有指导意义的必备参考书。

本书共8章，第1章为分析天平的使用与维护，介绍了分析天平的分类、构造原理、质量指标、使用规则及保养以及分析天平常见的故障的处理；第2章介绍了化验室常用的器皿与器材，包括玻璃仪器、金属器皿、瓷器和非金属材料器皿的使用原则和注意事项；第3章介绍了化验室用水的制备与检验方法，包括了化验室用水规格、影响纯水质量的因素、纯水制备方法以及纯水检验方法；第4章为化验室各种溶液的配制与计算，内容包括化学试剂分类、使用和注意事项，一般溶液的配制方法和计算，标准溶液的配制方法与计算以及常见标准溶液的配制与标定，标准物质溶液或离子标准溶液的配制及其计算，指示剂溶液的配制，缓冲溶液的配制；第5章为化学分析操作、实验基本知识 with 基础理论，涉及的内容有容量仪器的洗涤及量器的规范操作和校正，试样的称量方法及称量误差，试样的采集、制备和分解，滴定分析概述，酸碱滴定法，配位滴定法，氧化还原滴定法，沉淀滴定法，重量分析法及基本操作；第6章为定量分析中的误差和数据处理，介绍了误差的来源、误差的表示方法和计算、提高分析结果准确度的方法、误差的传递、分析结果的数据处理、有效数字及其使用规则；第7章介绍了常用物理常数的测定，包括熔点的测定、凝固点的测定、沸点的测定、密度的测定、折射率的测定、黏度的测定、比旋光度的测定、相对分子质量的测定；第8章介绍了化验室安全，包括安全防护知识、实验室意外事故的处理、火灾处理。为了便于分析化验人员查阅有关数据，书末附有常用酸、碱、盐类和其他化学试剂的性质和常用的有关数据表和主要参考书目。

参加本书编写的有李庆宏（第1章、第2章、第6章、第7章）、曾鸽鸣（第3章、第4章、第5章、第8章和附录），由曾鸽鸣统稿。

由于编者水平有限，书中如有不妥之处，欢迎广大读者批评指正。

本书在编写过程中，参考了国内外出版的一些相关教材和专著，受到许多有益的启发，同时也得到了许多同仁的支持和帮助，在此一并表示感谢。

编者

2011年6月于长沙

目 录

第1章 分析天平的使用与维护	1
1.1 天平的分类与级别	1
1.1.1 天平的分类	1
1.1.2 天平的级别	1
1.2 天平的构造原理	2
1.2.1 机械天平的构造原理	2
1.2.2 电子天平的称量原理	3
1.3 分析天平的质量指标及其测定	4
1.3.1 天平的稳定性	4
1.3.2 天平的灵敏性	4
1.3.3 天平的变动性	5
1.3.4 天平的正确性	6
1.4 分析天平的使用规则及其保养	6
1.4.1 分析天平的使用规则	6
1.4.2 分析天平的称量方法	7
1.4.3 电子天平的称量方法	8
1.4.4 分析天平的保养	8
1.5 分析天平常见故障的处理	9
1.5.1 半自动电光天平常见故障的处理	9
1.5.2 电子天平常见故障的处理	13
第2章 化实验室常用的器皿与器材	15
2.1 玻璃仪器	15
2.1.1 玻璃的分类和性质	15
2.1.2 常用玻璃仪器及其使用	16
2.1.3 玻璃仪器的使用规则	19
2.1.4 成套玻璃仪器	19
2.1.5 石英玻璃仪器	20
2.2 金属器皿	20
2.3 瓷器和非金属材料器皿	22
2.3.1 瓷器皿与刚玉器皿	22
2.3.2 塑料器皿	24
第3章 化实验室用水的制备与检验方法	25
3.1 化实验室用水规格及影响纯水质量的因素	25

3.1.1	化验室用水规格	25
3.1.2	影响纯水质量的因素与纯水的储存	26
3.2	纯水的制备	26
3.2.1	自来水的杂质及检测方法	26
3.2.2	纯水制备方法简介	27
3.3	化验室用水检验方法	35
3.3.1	pH 值检验	35
3.3.2	电导率的测定	35
3.3.3	可氧化物质限量测定	36
3.3.4	吸光度的测定	37
3.3.5	蒸发残渣的测定	37
3.3.6	可溶性硅的限量试验	37
3.3.7	阳离子的检验	38
3.3.8	钙离子的检验	38
3.3.9	重金属离子的检验	38
3.3.10	氨的检验	38
3.3.11	氯离子的检验	39
3.3.12	硫酸根离子的检验	39
3.3.13	CO ₂ 的检验	39

第4章 化验室各种溶液的配制与计算

4.1	化学试剂	40
4.1.1	化学试剂的分类和纯度规格等级标准	40
4.1.2	常用试剂的提纯	42
4.1.3	化学试剂的选用和取用	43
4.1.4	化学试剂的保管	45
4.2	一般溶液的配制方法和计算	46
4.2.1	溶液浓度的定义及表达式	47
4.2.2	配制方法及其计算	48
4.3	标准溶液的配制方法与标准溶液的计算方法	54
4.3.1	标准溶液的配制方法	54
4.3.2	物质的量浓度溶液的配制及其计算	56
4.3.3	滴定度溶液的配制及其计算	60
4.3.4	标准溶液浓度的换算	61
4.4	常见标准溶液的配制与标定	63
4.4.1	氢氧化钠标准溶液的配制与标定	63
4.4.2	盐酸标准溶液的配制与标定	66
4.4.3	硫酸标准溶液的配制与标定	68
4.4.4	EDTA 标准溶液的配制与标定	69
4.4.5	锌标准溶液的配制与标定	72
4.4.6	镁标准溶液的配制与标定	73
4.4.7	铅标准溶液的配制与标定	73

4.4.8	高锰酸钾标准溶液的配制与标定	73
4.4.9	草酸、草酸盐标准溶液的配制与标定	77
4.4.10	重铬酸钾标准溶液的配制与标定	78
4.4.11	亚铁标准溶液的配制与标定	79
4.4.12	硫代硫酸钠标准溶液的配制与标定	80
4.4.13	碘标准溶液的配制与标定	83
4.4.14	碘酸钾标准溶液的配制与标定	85
4.4.15	溴酸钾标准溶液的配制与标定	86
4.4.16	硫酸铈标准溶液的配制与标定	87
4.4.17	硝酸银标准溶液的配制与标定	88
4.4.18	硫氰酸铵标准溶液的配制与标定	89
4.5	标准物质溶液或离子标准溶液的配制及其计算	91
4.5.1	标准物质溶液或离子标准溶液的计算及配制方法	91
4.5.2	金属离子标准溶液的配制	91
4.5.3	阴离子标准溶液的配制	99
4.6	指示剂溶液的配制	102
4.6.1	指示剂的分类	102
4.6.2	酸碱指示剂的配制	102
4.6.3	金属指示剂的配制	103
4.6.4	氧化还原指示剂的配制	104
4.6.5	沉淀指示剂的配制	104
4.6.6	常用分析测定试纸的制作	105
4.7	缓冲溶液的配制	106
4.7.1	标准缓冲溶液的配制	106
4.7.2	一般缓冲溶液的配制	108
第5章	化学分析操作、实验基本知识与基础理论	109
5.1	容量仪器的洗涤及量器的规范操作和校正	109
5.1.1	容量仪器的洗涤与保管	109
5.1.2	量器的规范使用方法	112
5.1.3	容量器皿的校正	123
5.2	试样的称量方法及称量误差	125
5.2.1	试样的称量方法	125
5.2.2	称量误差	126
5.3	试样的采集、制备和分解	127
5.3.1	试样的采集	127
5.3.2	试样的制备	129
5.3.3	样品的保存和留样	130
5.3.4	试样的分解	130
5.4	滴定分析概述	134
5.4.1	分析化学的任务与作用	134
5.4.2	分析化学中分析方法的分类	134

5.4.3	滴定分析法的分类与滴定反应的条件	135
5.4.4	滴定方式	136
5.4.5	滴定分析结果的计算	138
5.5	酸碱滴定法	140
5.5.1	酸碱质子理论	140
5.5.2	酸碱水溶液 pH 值的计算	146
5.5.3	酸碱指示剂	157
5.5.4	酸碱滴定曲线及指示剂的选择	161
5.5.5	应用实例	173
5.6	配位滴定法	179
5.6.1	EDTA 及其特性	180
5.6.2	EDTA 与金属离子形成配合物的稳定性	182
5.6.3	配位滴定指示剂——金属指示剂	187
5.6.4	提高配位滴定选择性的方法	192
5.6.5	应用实例	197
5.7	氧化还原滴定法	200
5.7.1	氧化还原滴定法概述	200
5.7.2	氧化还原滴定指示剂	203
5.7.3	常见的几种氧化还原滴定法	205
5.8	沉淀滴定法	214
5.8.1	沉淀滴定法概述	214
5.8.2	银量法确定滴定终点的方法	214
5.8.3	应用实例	218
5.9	重量分析法及基本操作	219
5.9.1	重量分析基本原理	219
5.9.2	重量分析操作	222
5.9.3	应用实例	236

第6章 定量分析中的误差和数据处理

6.1	误差的来源	238
6.1.1	系统误差	238
6.1.2	随机误差	239
6.2	误差的表示方法和计算	241
6.2.1	误差与准确度	241
6.2.2	偏差与精密度	242
6.2.3	准确度和精密度的关系	244
6.3	提高分析结果准确度的方法	246
6.3.1	选择合适的分析方法	246
6.3.2	减少测量误差	247
6.3.3	增加平行测定, 减少随机误差	248
6.3.4	消除测量过程中的系统误差	248
6.4	误差的传递	249

6.4.1	误差在加减法中的传递	250
6.4.2	误差在乘除法中的传递	250
6.5	分析结果的数据处理	252
6.5.1	可疑观测值	252
6.5.2	可疑数据的取舍	253
6.5.3	平均值的置信区间	255
6.5.4	最小二乘法的线性回归	259
6.6	有效数字及其使用规则	265
6.6.1	有效数字的定义	265
6.6.2	有效数字的表示方法	266
6.6.3	计算规则	268
第7章	常用物理常数的测定	270
7.1	熔点的测定	270
7.1.1	毛细管熔点测定法	271
7.1.2	显微熔点测定法	272
7.1.3	温度计的校正	272
7.2	凝固点的测定	273
7.3	沸点的测定	274
7.3.1	常量法测定沸点	274
7.3.2	微量法测定沸点	275
7.4	密度的测定	276
7.4.1	密度计法	276
7.4.2	韦氏天平法	277
7.4.3	密度瓶法	278
7.5	折射率的测定	279
7.6	黏度的测定	280
7.6.1	黏度的分类	280
7.6.2	黏度计	280
7.7	比旋光度的测定	282
7.8	相对分子质量的测定	283
第8章	化实验室安全	286
8.1	安全防护知识	286
8.1.1	分析化验人员安全守则	286
8.1.2	易割伤、化学烧伤、有毒、易燃、易爆物品的安全操作规程	287
8.1.3	气瓶安全使用规程	289
8.1.4	用电安全规程	290
8.2	实验室意外事故的处理	291
8.2.1	化学灼伤时的处理	291
8.2.2	其他方面事故处理	292

8.3	分析化验室有毒废物或废液处理	292
8.4	火灾处理	293
8.4.1	火灾的种类	293
8.4.2	灭火	294
8.4.3	灭火设备	294
附录		295
附录 1	中华人民共和国法定计量单位	295
附表 1-1	国际单位制的基本单位	295
附表 1-2	国际单位制的辅助单位	295
附表 1-3	国际单位制中具有专门名称的导出单位	295
附表 1-4	国家选定的非国际单位制单位	296
附表 1-5	用于构成十进倍数和分数单位的词头	296
附录 2	化验分析中的法定计量单位	297
附录 3	常用酸、碱试剂的一般性质	298
附录 4	常用盐类和其他试剂的一般性质	299
附录 5	常见化学物质的毒性和易燃性	303
附录 6	相互接触能发生爆炸的物质	304
附录 7	常见化合物的俗名或别名	308
附录 8	常用饱和溶液的配制方法	310
附录 9	各种干燥剂的通性	311
附录 10	常用化合物的干燥条件	312
附录 11	配合物的稳定常数 (18~25℃)	313
附录 12	氨羧配合剂类配合物的稳定常数 (18~25℃, $I=0.1$)	317
附录 13	一些金属离子的 $\lg\alpha_{M(OH)}$ 值	318
附录 14	常用掩蔽剂及其使用的条件	318
附录 15	某些氧化还原电对的条件电位 $\varphi^\ominus$	319
附录 16	微溶化合物的溶度积 (18~25℃, $I=0$)	320
附录 17	常用化合物的相对分子质量	322
参考文献		326

第1章 分析天平的使用与维护。

1.1 天平的分类与级别

天平是测定物体质量的计量仪器的总称，是化验室必备的常用仪器之一。充分了解仪器性能及熟练掌握其使用方法，是获得可靠分析结果的保证。

1.1.1 天平的分类

随着科学技术和生产的不断发展，天平的种类也在日益增多，其结构、形状也各不相同，分类的方法也各不一样，如图 1-1 所示。

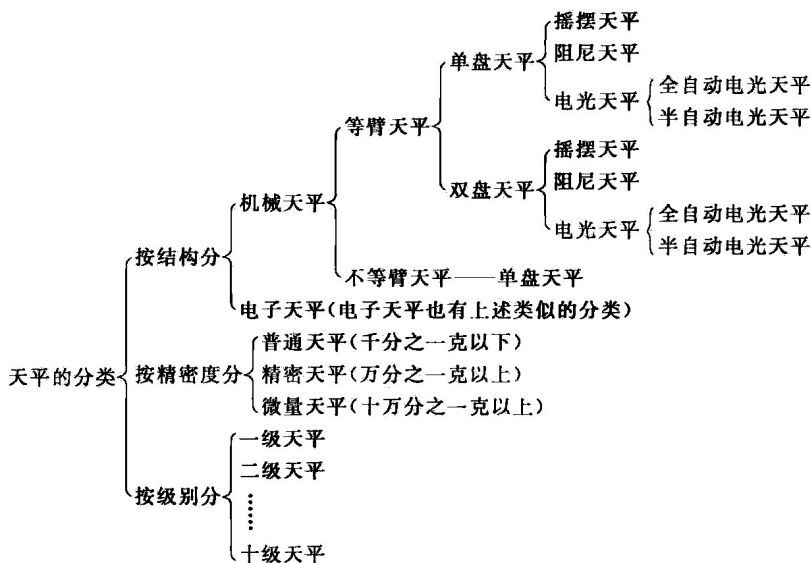


图 1-1 天平分类示意图

1.1.2 天平的级别

各类天平在出厂时都带有国家主管部门发给的合格证书。合格证书上注明了天平的型号、精度级别、最大载荷量、天平能达到的感量等技术指标和说明。然而，就精度级别而言，过去的划分方法和叫法都很不一致，各行各业各自为政。例如有一等分析天平、二等分析天平、一等工业天平、二等工业天平、药物天平等，还有的把电光天平和万分之四的指针式天平称为一等天平，把千分之一的天平称为二等天平等。这样混乱的局面，给天平的购置单位和计量部门造成了很多麻烦和不必要的损失。因此，我国就天平等级的划分作出了统一的规定，将天平的等级分为十个等级。其分法见表 1-1。

表 1-1 天平的等级划分

精度级别	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
名义分度值 与最大载荷量 之比	1×10^{-7}	2×10^{-7}	5×10^{-7}	1×10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-6}	1×10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-5}	1×10^{-4}

可见天平等级的划分，是根据天平的名义分度值（最小称量）与最大载荷量之比来决定的。

一般地说，六级以上的天平才称为精密天平，七级以下的天平称为普通天平。

【例 1-1】某天平的最大载荷量为 2000g，名义分度值为 1mg，问此天平属几级？

解：

$$\frac{\text{分度值}}{\text{最大载荷量}} = \frac{2 \times 10^{-3} \text{g}}{2 \times 10^3 \text{g}} = 0.5 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-7}$$

查表 1-1 可知：该天平为三级。

【例 1-2】某天平的最大载荷量为 200g，名义分度值为 0.1mg，问此天平属几级？

解：

$$\frac{\text{分度值}}{\text{最大载荷量}} = \frac{2 \times 10^{-1} \text{mg}}{2 \times 10^5 \text{mg}} = 0.5 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-7}$$

查表 1-1 可知：该天平也为三级。

从以上两例可以看出：在同一个级别的天平中，由于其最大载荷量不同，其分度值也不一样。很明显，这种分级方法也不全面，它不能完全体现出天平衡量上的精度。如上述两例同属三级天平，但其绝对精度却相差 10 倍。因此，在选购天平时，不要只看精度级别，还要看最大载荷量和分度值。

通常所说的分析天平，一般是指能够称量出万分之一克以上的天平。所以根据分析工作的特点和要求，化验室的分析天平，一般以最大载荷量为 200g，分度值为 0.1mg 为宜。

1.2 天平的构造原理

尽管分析天平的种类很多，根据其构造原理可分为机械天平和电子天平两大类。本节以目前用得最多的机械天平的代表——半自动电光分析天平和电磁力平衡式电子天平为例，介绍其原理。

1.2.1 机械天平的构造原理

尽管机械天平的型号、种类很多，但它们的工作原理都是根据力学中的杠杆原理设计而成的，如图 1-2 所示。

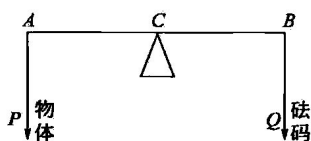


图 1-2 杠杆原理示意图

假设有一杠杆 AB ，受一向上的力点 C 的支承， AB 两端所承受的力分别为 P 、 Q ，当达到平衡时，支点 C 两边的力矩相等，即：

$$AC \times P = BC \times Q$$

若 C 点正好是 AB 的中点，即 $AC = BC$ ，两臂长相等，如果 Q 代表砝码的质量， P 代表物体的质量，那么当天平达到平衡时，物体的质量就等于砝码的质量，即 $P = Q$ 。

图 1-3 是根据这个原理制造的目前用得最多的机械天平的代表——半自动电光分析天平。

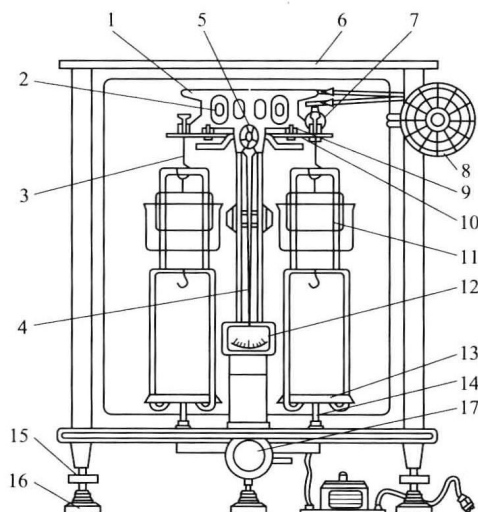


图 1-3 半自动电光分析天平

- 1—横梁；2—零点调节器；3—吊耳；4—指针；5—支点刀；6—框罩；7—环码；
8—读数盘；9—边刀刀刃；10—折叶；11—阻尼内筒；12—投影屏；
13—秤盘；14—盘托；15—螺旋脚；16—脚垫；17—升降枢

1.2.2 电子天平的称量原理

电子天平的型号很多，但其称量依据都是利用电磁力平衡的原理。

根据电磁基本理论，通电的线圈在磁场中产生的电磁力，且该电磁力服从于电磁力公式 $F = BIL \sin \theta$ 。由于力的方向、磁场方向和电流方向三者相互垂直（即 θ 为 90° ，故 $\sin \theta = 1$ ），当磁场强度不变时，电磁力 F 的大小与流过线圈的电流强度 I 成正比。

当天平空载时，电磁传感器处于平衡状态，加载后，由于重力的作用，秤盘垂直向下发生位移，触动电磁传感器，使电流通过与秤盘连着的感应线圈，产生一个向上的作用力，将秤盘托起，使电磁传感器重新回到平衡状态，当到达平衡时，流过线圈的电流所产生的电磁力的大小与加载后的重力相等。此时流过线圈的电流，经微处理器处理后，转变为加载物的质量，以数字信号的形式，在显示屏上显示出来。

1.3 分析天平的质量指标及其测定

分析天平的质量指标主要有稳定性、灵敏性、变动性和正确性。

1.3.1 天平的稳定性

天平的稳定性就是指天平开启后，经过几次的摆幅仍能够自动回到初始平衡位置的能力。

如果天平开启后，经过几次的摆幅，在很长时间内还停不下来或停得很慢，说明天平的稳定性不好。稳定性不好的天平是不能使用的。

在正常情况下对于有阻尼装置的天平来说，启动后经过 2~3 个摆幅后就应该停下来，这个时间一般不超过 60s。电子天平的回复应更快，否则其稳定性就需要调整。

根据物体平衡稳定的规律，天平要稳定，其重心必须低于支点，只有重心在支点以下，才能保证有稳定的平衡状态，且距离支点越远就越稳定。此外，天平的稳定性还与支点和横梁间的接触面积有关，接触的面积越大，稳定程度越大，反之，接触的面积越小，稳定程度就越小。

可见，天平的稳定性在很大程度上取决于横梁重心的位置，其次，取决于支点刀锋刃的锐利程度。因此，一般情况下若稳定性不好，可以适当地将灵敏度调节螺丝（即感量铊）作稍微下移，调整一下横梁的重心，以提高其稳定性。

1.3.2 天平的灵敏性

天平的灵敏性也叫灵敏度，就是指天平能觉察出放在其秤盘上的物体质量改变量的能力。对于机械天平通常是指在天平的一个盘上增加 1mg 的质量时，所引起的指针的偏转程度。以分刻度/毫克（格/mg）或具体数字表示。

很明显，天平能觉察出来的质量改变量越小，或者指针的偏转程度越大，灵敏度就越高。但是，实践证明，灵敏度也并非越高越好。因为，天平的灵敏度若太高，天平达到平衡就慢，即使有阻尼设备，也不能使其很快静止，即稳定性差；当增加少许的质量时，指针（数值）偏离太多，甚至超出了标牌以外；或者当室内微小的温差、湿度、灰尘、气流等变化时都会使天平的零点变动许多格。若天平的灵敏度太低，增加一点点质量，指针不偏离或偏离很少，即灵敏性差。

可见，天平的稳定性与灵敏性，既互相矛盾，又相互制约。例如，天平的稳定性越好，其灵敏性就会越低。所以不能一味追求稳定性而忽略了天平的灵敏性。反之亦然。

一般情况下，阻尼天平以 2.5 格/mg，电光天平以 1 格/mg 为宜。但有时这个标准很难调准，故一般允许有 $\pm 0.1\text{mg}$ 的偏差。若超出了这个标准就要进行调整。调整的方法与稳定性相同，即改变横梁重心的距离来实现。

此外，天平的灵敏度有时也用“感量”（也叫分度值）表示，所谓感量就是天平在一定的载荷下，标牌上一个分刻度所表示的“质量”值（mg/格）。它与灵敏

度的关系是互为倒数。即：

$$\text{感量} = \frac{1}{\text{灵敏度}} \quad (\text{mg/格})$$

所以，当用感量来表示天平的灵敏度时，阻尼天平为 0.4mg/格，故称为“万分之四”分析天平；而电光天平为 1mg/格，从表观数字上看，似乎比阻尼天平的灵敏度要低些，但由于电光天平采用了光学读数法，提高了读数的精度，可以读到 0.1mg，即 0.1mg/格，故称“万分之一”分析天平。很明显，0.4mg/格与 0.1mg/格相比，分度值愈小，天平的灵敏度就愈高，也即 0.1mg/格的天平比 0.4mg/格的要高。

灵敏度的测定方法如下：

(1) 零点的测定（调零）

所谓调零，就是天平空盘时的平衡点。接通电源后，慢慢转动升降枢手轮，启动天平，在不载重时标尺上的零点应慢慢地与投影屏上的标线重合，否则，可拨动升降枢手轮附近的扳手，挪动一下投影屏的位置，使其重合。若相差太远可调节平衡螺丝（平衡砣），使标尺上的零点与投影屏上的标线重合。

(2) 灵敏度的测定

当零点调好以后，关上天平，并在天平的载物盘上放一个经过校准了的 10mg 砝码，再次启动天平，此时，标尺应偏转至 9.9~10.1mg 的范围内，否则，天平的灵敏度就要调整。

应该指出的是：分析天平的灵敏度在很大程度上取决于三个玛瑙刀接触点的质量，刀口愈锋利，刀承（玛瑙平板）的表面愈光滑，天平摆动时的摩擦就愈小，灵敏度愈高。如果刀口受到了损伤，则不论怎么样移动感量砣，也不能显著提高灵敏度。

1.3.3 天平的变动性

天平的变动性也叫示值不变性，是指天平在相同条件下，多次测定同一物体，所得测定结果的一致程度。也就是说，由于各种因素的影响，同一台天平载重前后多次测定天平的平衡点时，常常得不到一致的结果，其相差的最大值（用 mg 表示）称为天平的变动性。

一般分析天平的变动范围为 0.1~0.2mg，超出这个范围就需要找出原因进行调整。

影响分析天平变动性的因素较多，但主要来源于某些偶然因素，其中大多数是由于违反天平的使用规则而引起的，如刀口（弹簧片）受损等。除此以外，天平的质量问题也是产生变动的重要原因，如三个刀口不平行，螺丝松动等。因此，在使用过程中，必须严格按照天平的使用规则细心操作。

变动性的测量方法是：空盘时连续测定两次零点，然后在秤盘的两边各放一个 20g 的砝码（严格地说应用天平的最大载荷量来测），通过升降枢手轮开、关天平数次，取下砝码，再次测定两次天平零点，取所测四次零点数据中的最大差值，即为天平的变动性。

例如,测定某天平的空盘零点分别为:0.0mg、+0.1mg,载重后再测其零点分别为-0.1mg、-0.1mg,则其变动性:

对于电光天平为:变动性= $P_{\text{最大}} - P_{\text{最小}} = [0.1 - (-0.1)]\text{mg} = 0.2\text{mg}$

对于阻尼天平为:变动性= $(P_{\text{最大}} - P_{\text{最小}}) \times \text{感量} = (0.2 \times 0.4)\text{mg} = 0.8\text{mg}$

1.3.4 天平的正确性

天平的正确性,就是天平示值的正确性,它表示天平示值接近真实值的能力;从误差角度来看,天平的正确性就是反映天平示值系统误差大小的程度。

对于杠杆式天平,天平的正确性主要表现是由于两臂长度不相等所引起的系统误差。

当然,无论是机械天平,还是电子天平,天平的正确性还表现在天平的模拟标尺或数字标尺的示值正确性,以及由于在天平衡量盘上各点放置载荷时的示值正确性。

因此,当天平若出现臂差时,就必须找出原因,进行调整。当然这种调整必须由专业技术人员来处理。

臂差的检查方法:首先调整好零点,然后在天平的两秤盘上分别放一个面值相等的砝码,启动升降枢,测量平衡点的读数 P_1 ,然后,将左、右秤盘的砝码对调一下,再测量一次平衡点的读数 P_2 ,则两次平衡点读数的平均值的绝对值,即为该天平的臂差(偏差)。即:

$$\text{偏差} = \left| \frac{P_1 + P_2}{2} \right|$$

由于两个表面值相等的砝码有时也并非完全相等,故采用置换法测定分析天平的臂差,是一种行之有效的办法。在正常情况下,一般要求分析天平的臂差应小于0.4mg。

在实际工作中,由于使用的是同一台天平进行称量,因此,这种偏差通常是可以抵消的。这就是为什么要求同一个实验,应尽可能地使用同一台天平称量的原因。

上述分析天平的质量指标是互相联系,相互制约的,因而不能片面地追求某些特性而忽略其他特性,这都将影响称量的精密性。另外,经过拆装或搬动过的天平,应对其性能指标进行检查后再使用。

1.4 分析天平的使用规则及其保养

1.4.1 分析天平的使用规则

分析天平属于精密测量器具,除必须保持在一定的环境中,以确保其达到设计的性能外,使用时必须遵守如下规则。

① 称量前要检查天平是否完好,位置是否水平,零点是否正确。

② 使用过程中要特别注意保护玛瑙刀口,开关升降枢手轮时,应缓慢进行,