

高职高专教材

分析化学实验

FENXI HUAXUE SHIYAN

第三版

苗凤琴 于世林 编



化学工业出版社

高职高专教材

分析化学实验

第三版

苗凤琴 于世林 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《分析化学》第三版（于世林 苗凤琴编）的配套教材，包括课前教育、仪器与基本操作、基本知识、化学分析法基本操作训练及在常量分析中的应用、仪器分析法的应用五部分内容。

本版在第二版的基础上增补了以下内容：在仪器与基本操作部分，增加了对应的图示表达；化学分析法在常量分析的应用中，增加了果品、果汁中总酸度和蛋壳中钙、镁总量的测定；在红外光谱分析中，增加了正辛烷、对二甲苯、苯甲酸吸收谱图的识别，及甲基苯基硅油中苯基/甲基比值的测定；在气相色谱分析中，增加了食品果冻中防腐剂山梨酸和苯甲酸含量的测定；在高效液相色谱分析中，增加了果汁中有机酸含量的测定和菠菜中天然色素的薄层色谱提取及含量的测定。本次修订进一步增强了本书的实用性。

本书为高职高专化学、化工和分析检验专业的教材。

图书在版编目（CIP）数据

分析化学实验/苗凤琴，于世林编。—3版。—北京：
化学工业出版社，2010.6

高职高专教材

ISBN 978-7-122-08472-9

I. 分… II. ①苗…②于… III. 分析化学-化学实
验-高等学校：技术学院-教材 IV. O652.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 080606 号

责任编辑：陈有华

文字编辑：咎景岩

责任校对：吴 静

装帧设计：史利平

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：北京市振南印刷有限责任公司

装 订：三河市宇新装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 13¼ 字数 259 千字

2010 年 8 月北京第 3 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：20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书为高职高专《分析化学》第三版（于世林 苗凤琴编）的配套教材。本次再版仍然遵循第二版对分析化学实验内容的整体安排，分为五个部分：

- ① 分析化学实验课前教育；
- ② 分析化学实验仪器与基本操作；
- ③ 分析化学实验基本知识；
- ④ 化学分析法基本操作训练及在常量分析中的应用；
- ⑤ 仪器分析法的应用。

本次再版修订增补了以下内容。

1. 在分析化学仪器、基本操作及基本操作训练部分增加了对应的图示表达，以利于初学者较顺利地切实掌握基本操作技能。

2. 化学分析法在常量分析的应用中，增加了果品、果汁中总酸度和蛋壳中钙、镁总量的测定。

3. 仪器分析法的应用

在红外光谱分析中，增加了正辛烷、对二甲苯、苯甲酸吸收谱图的识别，及甲基苯基硅油中苯基/甲基比值的测定。

在气相色谱分析中，增加了食品果冻中防腐剂山梨酸和苯甲酸含量的测定。

在高效液相色谱分析中，增加了果汁中有机酸含量的测定和菠菜中天然色素的薄层色谱提取及含量的测定。

此次增加的应用测定实例都为了使学生掌握对实际样品进行预处理的基本知识。

希望通过本次修订进一步增加本实验教材的实用性。

由于编者水平所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2010 年 3 月

第一版前言

分析化学教学正面临知识体系的更新和课程设置的改革。分析化学实验作为一门独立课程开设,是教学改革成果,反映了本课程在培养化学工艺类专门人才方面的作用。

本书内容包括五部分:分析化学实验课前教育;分析仪器与基本操作;分析化学实验室基本知识;分析化学实验和附录。

本书特点是将教学与实验融合起来,力图符合大专院校工艺类专业设课要求,引导学生掌握正确操作方法,培养学生科学态度,做到实验测量数据可靠,通过综合性实验培养学生分析问题、解决问题的能力。在内容选材上拓宽基础知识的应用,重视常量分析和微量分析的基本训练。

使用本书时,建议在实验安排上分为四个阶段进行。第一阶段为化学分析基本操作训练;第二阶段为标准溶液浓度标定训练;第三阶段为基本操作考核与综合性实验考核,并评定实验成绩;第四阶段为仪器分析法学习。对上述实验阶段安排建议,是基于在课程改革中把基点放在让学生掌握基本操作,培养学生科学的实验态度、查阅资料的能力及独立连续进行实验的能力。这是我们多年教学实践的体会,仅供各校参考。对于仪器分析法实验安排受各校仪器设备限制,不做统一规定和考核。总之我们认为,在分析化学实验教学改革目标一致的前提下,内容选取、教学安排可以有一定灵活性,为此本书提供的实验项目远远多于给定的实验学时,以方便各校结合专业特点去取舍。

全书分为八章,化学分析法由苗凤琴编写,仪器分析法由于世林编写,部分章节及实验由杜洪光编写。其中化学分析法的应用实验十六至二十四,参照环境、食品、盐化工、试剂、工业循环冷却水等标准及专著,经学生综合实验实践后改编而成;仪器分析法实验摘自轻化工类高等学校仪器分析实验系列教材;化学分析法图表主要摘自北京大学分析教研室编写的《基础分析化学实验》。上述被引入本教材的各方法原著均一一列入参考书目,并在此对原著作者致谢。全书由北京大学常文保教授审阅并提出了宝贵意见,编者深表感谢。由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请读者批评、指正。

编者

1998年1月

第二版前言

本书为高职高专《分析化学》的配套教材。

分析化学实验内容包括五个部分：分析化学实验课前教育；分析化学仪器与基本操作；分析化学实验室基本知识；化学分析法基本操作训练及在常量分析中的应用；仪器分析法的应用。最后配有附录。

本书力求将教学与实验相融合，引导学生掌握正确的操作方法，培养科学态度，做到实验测量数据可靠，通过综合性实验培养学生分析问题、解决问题的能力。在内容选材上拓宽基础知识的应用，重视常量分析和微量分析的基本训练。

使用本书时，建议在实验安排上分为四个阶段进行。

- ① 化学分析基本操作训练；
- ② 容量分析标准溶液浓度标定训练；
- ③ 化学分析法基本操作考核与综合性实验考核；
- ④ 仪器分析法（根据具备的仪器条件选择不同的方法）。

上述四个阶段安排，基点放在让学生掌握基本操作，培养学生科学的实验态度，提高查阅资料的能力及独立连续进行实验的能力。本书提供的实验项目较多，教学安排可有一定的灵活性，以方便各校结合专业特点自由取舍。

本次修订删除了双盘天平，增加了电子天平的内容。

由于作者水平有限，恳请读者批评、指正。

编者

2005 年 9 月

目 录

第一章 分析化学实验课前教育	1
一、开设目的	1
二、实验成绩评定	1
三、各项考核具体要求	1
四、怎样做好分析化学实验	1
五、实验室规则	2
第二章 分析化学仪器与基本操作	3
第一节 分析天平	3
一、国产天平型号、规格、分类	3
二、单盘天平（以 DT-100 为例）	4
三、电子天平	6
四、天平使用规则	9
五、试样的称量方法	9
六、称量误差分析	10
第二节 定量分析用玻璃仪器与洗涤技术	11
一、定量分析常用玻璃仪器	11
二、定量分析常用玻璃仪器洗涤技术	14
第三节 滴定分析常用仪器与滴定分析基本操作	19
一、移液管、吸量管洗涤方法与使用	20
二、容量瓶	21
三、滴定管	22
第四节 容量仪器的校正	25
一、绝对校正	26
二、相对校正	26
三、温度改变时溶液体积的校正	27
第五节 称量分析基本操作	27
一、样品的溶解	27
二、沉淀	28
三、过滤和洗涤	28
四、沉淀的干燥和灼烧	31
第六节 实验数据记录、报告范例	34
一、实验记录范例	34
二、实验报告范例	35
第三章 分析化学实验室基本知识	37
第一节 分析化学实验室质量控制、质量保证	37
第二节 分析化学实验用水	40

一、源水、纯水、高纯水的概念	40
二、纯水、高纯水制备工艺简介	41
三、纯水与高纯水水质标准	41
四、蒸馏法制纯水与离子交换法制纯水的比较	42
第三节 化学试剂	44
一、试剂种类	44
二、试剂的选用	45
第四节 标准物质、标准溶液	45
一、标准物质	45
二、标准溶液	45
第五节 分析人员的环境意识	46
一、了解化学物质毒性,正确使用和贮存	46
二、了解有毒化学品新的名单及危害分级	46
三、对实验室“三废”进行简单的无害化处理	48
第四章 化学分析法基本操作训练	49
实验一 定量分析仪器清点、验收、洗涤	49
实验二 天平称量练习(一)	49
实验三 天平称量练习(二)	50
实验四 容量仪器的洗涤和移液管、容量瓶的相对校正	51
实验五 滴定管的绝对校正	52
实验六 酸碱标准溶液的配制和浓度的比较	53
实验七 称量分析法基本操作练习(一)——天然水矿化度测定(选做)	55
实验八 称量分析法基本操作练习(二)——废水悬浮物测定(选做)	56
实验九 称量分析法基本操作练习(三)——食品中水分、灰分测定(选做)	56
实验十 氯化钡中钡含量的测定(选做)	58
第五章 滴定分析用标准溶液浓度标定训练	61
实验十一 盐酸标准溶液浓度的标定	61
实验十二 氢氧化钠标准溶液浓度的标定	62
实验十三 EDTA 标准溶液的配制和标定	63
实验十四 高锰酸钾标准溶液的配制和标定	64
实验十五 硫代硫酸钠标准溶液的配制和标定	65
实验十六 碘标准溶液的配制和标定(选做)	67
实验十七 硝酸银标准溶液的配制和标定(选做)	68
第六章 化学分析法实验考核	70
一、定量分析基本操作考试	70
二、综合性实验考试	72
第七章 化学分析法在常量分析中的应用(综合性实验)	75
实验十八 混合碱含量的测定	75
实验十九 食用醋质量和植物油酸值测定	77
实验二十 果品、果汁中总酸度的测定	78
实验二十一 中和法测定铵盐、氨基酸中的氮含量	79

实验二十二	EDTA 滴定法应用 (一)——钙镁含量测定	81
实验二十三	EDTA 滴定法应用 (二)——铅铋合金中 Bi、Pb 连续滴定	84
实验二十四	EDTA 滴定法应用 (三)——工业固体废物浸出液、废气烟尘中 Pb 含量测定	85
实验二十五	KMnO ₄ 滴定法应用 (一)——水中化学需氧量 (COD) 测定	86
实验二十六	KMnO ₄ 滴定法应用 (二)——药品 FeSO ₄ 、H ₂ O ₂ 含量测定	87
实验二十七	KMnO ₄ 滴定法应用 (三)——植物油氧化值测定	88
实验二十八	碘量法应用 (一)——维生素 C 的含量测定	89
实验二十九	碘量法应用 (二)——铜合金中铜含量的测定	89
实验三十	碘量法应用 (三)——漂白粉有效氯的测定	91
实验三十一	碘量法应用 (四)——废水中硫化物的测定	92
实验三十二	溴量法应用 (一)——溴量法测废水中苯酚含量	93
实验三十三	溴量法应用 (二)——霍夫曼法测定化妆品用油脂碘值	94
实验三十四	银量法应用 (一)——摩尔法测氯化物含量	95
实验三十五	银量法应用 (二)——佛尔哈德法测酱油中 NaCl 含量	97
实验三十六	样品全分析 (一)——化工产品 KCl 中 K ⁺ 、Mg ²⁺ 、Cl ⁻ 、SO ₄ ²⁻ 含量测定	97
实验三十七	样品全分析 (二)——工业循环冷却水污垢和腐蚀产物中铁、铝、钙、镁、锌、铜含量 EDTA 滴定法测定	100
第八章 仪器分析法的应用		104
实验三十八	分光光度法: 721 型分光光度计仪器调校	104
实验三十九	分光光度法: 吸收曲线、工作曲线绘制及水中微量铁测定	106
实验四十	紫外吸收光谱法: 共轭结构化合物发色基团的鉴别	109
实验四十一	紫外吸收光谱法: 苯的 B 吸收带精细结构及正己烷中微量苯的测定	111
实验四十二	紫外吸收光谱法: 维生素 C 和维生素 E 的同时测定	113
实验四十三	紫外吸收光谱法: 双组分表面活性剂混合物的定量分析	114
实验四十四	红外吸收光谱法: 聚乙烯塑料材质分析	120
实验四十五	红外吸收光谱法: 正辛烷、对二甲苯、苯甲酸的测定	121
实验四十六	红外吸收光谱法: 正己胺的分析	123
实验四十七	红外吸收光谱法: 甲基苯基硅油中苯基/甲基比值的测定	125
实验四十八	原子发射光谱法: 摄谱试样预处理、感光板的暗室处理和摄谱技术	127
实验四十九	原子发射光谱法: 乳剂特性曲线的绘制	132
实验五十	原子发射光谱法: 特种钢中杂质元素的定性分析	134
实验五十一	原子发射光谱法: 高纯石墨电极中痕量杂质元素的定性分析	135
实验五十二	原子发射光谱法: 黄酒中钙、镁、铜、铁和锰的测定 (ICP)	137
实验五十三	原子吸收光谱法: 原子吸收光谱仪最佳操作条件选择	139
实验五十四	原子吸收光谱法: 人发中锌元素含量的测定	141
实验五十五	原子吸收光谱法: 石墨炉原子吸收光谱仪最佳操作条件选择	143
实验五十六	原子吸收光谱法: 饮用水中痕量铜和铬的测定 (石墨炉)	145
实验五十七	电位分析法: 测定工业废水的 pH	147
实验五十八	电位分析法: 氟离子选择性电极性能测试	148

实验五十九	电位分析法：饮用水中氟含量测定——工作曲线法	150
实验六十	电位分析法：PVC 钙液膜电极的工作曲线法及电位滴定法测定钙含量	152
实验六十一	库仑分析法：测定石油产品中微量水	154
实验六十二	库仑分析法：库仑滴定法测定痕量砷	157
实验六十三	阳极溶出伏安法测铜	159
实验六十四	气相色谱分析法：保留指数定性	160
实验六十五	气相色谱分析法：峰面积及校正因子的测量	162
实验六十六	气相色谱分析法：气-液填充色谱柱的制备及评价	163
实验六十七	气相色谱分析法：柱温、载气流速对气相色谱分离度的影响	166
实验六十八	气相色谱分析法：煤气中氧、氮、一氧化碳、甲烷的分离测定	168
实验六十九	气相色谱分析法：食品果冻中山梨酸和苯甲酸含量的测定	170
实验七十	气相色谱分析法：毛细管柱安装及基本性能评价指标的测定与计算	172
实验七十一	气相色谱分析法：毛细管气相色谱法直接进样分离白酒中微量香味化合物	174
实验七十二	高效液相色谱分析法：柱填充技术和柱性能考察	176
实验七十三	高效液相色谱分析法：咖啡、茶叶中咖啡因含量的分析	179
实验七十四	高效液相色谱分析法：反相离子对色谱中 t_M 的测定	180
实验七十五	高效液相色谱分析法：食用苹果汁中有机酸的分析	182
实验七十六	高效液相色谱分析法：二元梯度洗脱与恒定洗脱对比	184
实验七十七	高效液相色谱分析法：反相离子对色谱分离水溶性维生素	185
实验七十八	菠菜中天然色素的提取和分析	187
附录		191
附表 1	常用酸碱指示剂	191
附表 2	泛用酸碱指示剂	191
附表 3	常用的缓冲溶液	192
附表 4	几种常用缓冲剂的 pK_a 值	193
附表 5	非水滴定常用酸碱指示剂	193
附表 6	无机分析常用基准物	194
附表 7	有机分析常用基准物	194
附表 8	无机分析中常用标准溶液	195
附表 9	有机分析中常用标准溶液	196
附表 10	pH 标准试剂	197
附表 11	pH 标准缓冲溶液	197
附表 12	常用干燥剂	198
附表 13	市售酸碱试剂的含量及密度	198
附表 14	常用冷却剂	198
参考文献		200

第一章

分析化学实验课前教育

经过课程改革,分析化学实验作为一门独立的课程开设,实行考试制度。

一、开设目的

1. 正确使用化学分析仪器,掌握基本操作;
2. 经过实验学习,达到测定数据准确可靠;
3. 培养实事求是的科学态度、良好的实验习惯、独立进行实验的能力。

二、实验成绩评定

学生成绩由以下实验成绩累计:

基本操作占 40%~60%;

综合实验占 60%~40%。

平时实验:交报告、给评语,不计入实验成绩。

三、各项考核具体要求

1. 基本操作(见第六章)
2. 实验数据

本着循序渐进的精神,在不同实验阶段,按不同精密度、准确度要求同学。学生每次实验结束填卡,将记录本交教师签字。

3. 实验习惯

除遵守实验室规则外,对实验记录及报告特作如下规定。

实验必须有专用记录本,每次实验要注明日期,数字记录用钢笔或圆珠笔,有效数字应符合要求,错误数字更改按要求画一单线,不得在原处涂抹。

实验报告需用学校报告纸。内容包括方法原理、仪器试剂[名称、规格(浓度)、数量(配制方法)]、测定步骤、数据及处理、结论及误差分析五项,字迹要清楚,内容要齐全。

四、怎样做好分析化学实验

学好本课是同学们的共同要求,在了解了课程设置目的及考核内容之后,对怎样做好分析化学实验要心中有数。

首先是实验前预习。了解实验内容,复习有关理论,在理论指导下分析实验误差来源。在预习过程中按要求计算称样范围,列出仪器清单,制订简单工作计划,明确先做什么、后做什么,哪些是关键操作要做准、哪些是辅助环节要做得

迅速，以培养自己独立实验的能力。

第二，正确掌握基本操作、培养良好的实验习惯是获取准确数据的必要条件，因此必须以高标准严格要求自己。

第三，实事求是的科学态度。实验能力是长时间实验室训练结果的综合表现，不能急于求成，学习中要经得住失败。学习者要承认差异是客观存在的，重要的是善于总结实验中的成败，不断进取；教师评定成绩也重在发展，重在实验结束时学生具有的实际水平。实事求是的科学态度十分重要，要克服侥幸心理，主观误差，甚至凑数、改数的错误做法。

五、实验室规则

1. 实验前清点仪器（见表 1-1），实验过程中破损仪器要填写破损登记表以便及时补领。未经老师同意不得动用他人的仪器。

表 1-1 定量分析实验仪器参考清单

仪器名称	规格	数量	仪器名称	规格	数量
烧杯	600mL	1 个	试剂瓶	1000mL	2 个
	400mL	1 个		500mL(棕)	1 个
	250mL	2 个		500mL	1 个
	100mL	1 个	坩埚	18mL	2 个
	50mL	1 个		100mL	1 个
锥形瓶	250mL	3 个	量筒	25mL	1 个
容量瓶	250mL	2 个		10mL	1 个
干燥器		1 个	滴管		5 支
称量瓶		2 个			3 支
吸量管	10mL	1 支	公用仪器		
	5mL	1 支			
长颈漏斗		2 个	移液管	25mL	1 支
			滴定管	50mL	酸式、碱式各 1 支
表面皿	φ9cm	2 块	洗耳球		1 个
	φ6cm	2 块	洗瓶		1 个
	φ5cm	2 块	刷子		1 把
牛角勺		1 把			

2. 熟悉实验室的水、电、煤气开关，用毕关好阀门。实验操作中要注意安全，防止中毒、烧伤和着火。

3. 实验时保持安静，认真进行实验。

4. 保持实验台面及周围环境整洁，火柴头及碎纸屑扔入废物杯，有毒废液倒入回收瓶中。

5. 公用仪器、药品、工具用毕归还原处。

6. 使用精密仪器前先检查仪器是否完好，使用时必须严格按照操作规程进行操作。如发现仪器有故障，应立即停止使用，报告老师及时处理，不得私自拨弄。

7. 值日生职责：装满蒸馏水，清点公用仪器（滴定管、移液管、洗瓶、洗耳球等）及试剂，倒废物杯、废液缸，擦净桌面、水池、水沟，拖地，关闭窗口，检查水、电、煤气阀门是否关闭，最后经老师同意，离开实验室。

第二章

分析化学仪器与基本操作

第一节 分析天平

分析天平是定量分析最重要的仪器之一，称量的准确度直接影响测定结果。因此了解分析天平的型号、结构，学习正确的称量方法非常重要。

一、国产天平型号、规格、分类

详见表 2-1。

表 2-1 部分国产天平型号及规格

类别	产品名称	型 号	规格和主要技术数据		主要用途	产地
			最大称量/g	分度值/mg		
双盘天平	全机械加码分析天平	TG-328A	200	0.1	精密衡量,分析测定	上海、宁波、温州、湖南
	部分机械加码分析天平	TG-328B	200	0.1		
单盘天平	单盘精密分析天平	TD-12	109.9	0.1	精密定量分析	湖南,唐山
		DT-100	100	0.1		
	单盘分析天平	TG-729C	100	1	精密称量	上海、湖南
		DTQ-160	160	0.1		
		TD-18	160	0.1		
电子天平	电子分析天平	AEL-200	200	0.1	精密定量分析 可打印输出	湖南
	电子分析天平	AEU-210 OF-110	210 110	最小读数 (mg);0.1	精密检测分析	湖南、常熟
	电子分析天平	ES-120J'	120	读数精度 (mg);0.1	精密称量	沈阳
	电子分析天平	ES-180J	180	读数精度 (mg);0.1	精密称量	沈阳
	精密电子天平	ES-2000A	2000	读数精度 (g);0.01	地质勘探、计量 测试及各种工业 计量	沈阳
	精密电子天平	ES-200A	200	读数精度 (g);0.001	质量测定及金、 银饰品称量	沈阳
	精密电子天平	MP200-1	200	标准偏差 (mg);1		北京
	上皿式电子天平	TMP300S (TMP-1)	300,30	分辨率(g); 0.01,0.001	化验室及商业 分析检测和称量	湖南
	上皿电子天平	MD100-1	100	最小读数 (mg);1	快速质量测定	上海

注：选自《化验员读本》第四版，双盘天平已很少使用。

1. 规格

(1) 最大称量 (最大载荷) 表示天平可称量的最大值 (质量, g)。

(2) 分度值 (s) 天平标尺一个分度对应的质量 (mg)。

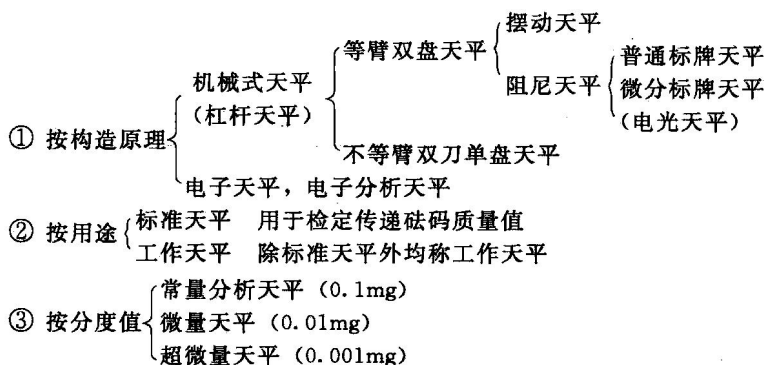
分度值测量方法: 在天平盘上增加平衡小砝码, 质量为 p , 读出天平指针沿标盘移动的分度 n 。

$$\text{分度值 } s = p/n \text{ (mg)}$$

高精密度天平技术数据尚有检定标尺分度数, 指天平的最大称量与分度值之比, 其值达 5×10^4 以上, 其值愈大, 准确度级别愈高。

通常根据欲称样品最大质量及要求的精度, 选择上述不同规格的天平。分析实验一般配备 DT-100 型单盘精密天平和电子分析天平。

2. 天平分类



电子天平是运用电磁学原理制造的, 没有刀口、刀承, 无机械磨损, 具有数字显示、自动调零、自动校准、输出打印等功能, 称量速度快, 操作简便, 属新一代天平。

分析工作一般采用的是不等臂单盘天平和电子分析天平。

二、单盘天平 (以 DT-100 为例)

1. 单盘天平的称量原理及特点

本节介绍的单盘天平是指不等臂单盘天平, 也叫双刀单盘天平, 它在结构和性能上有许多优点, 已经获得越来越广泛的应用。

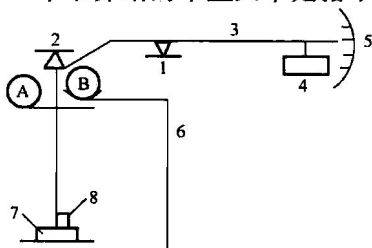


图 2-1 单盘天平称量原理

- 1—支点刀; 2—承重刀; 3—横梁;
4—配重砣; 5—标牌; 6—减码杆;
7—托盘; 8—被称物; A, B—砝码

单盘天平的称量原理见图 2-1, 横梁上只有两个刀子, 一个是支点刀, 一个是承重刀。砝码和被称物同在一个悬挂系统中, 另一臂装有配重砣, 使横梁始终保持平衡状态。所减去的砝码质量再加上微分标牌上的读数就是被称物体的质量。单盘天平的特点是: ①它使用的是替代衡量法, 没有不等臂性误差; ②在称量过程中, 横梁上的负荷不变, 故天平的灵敏度

不变,即分度值保持恒定;③DT-100型天平有“半开”装置,每次调整砝码不必关闭天平,全自动机械减码,称量速度快;④砝码精度较高。

2. 单盘天平的构造

单盘天平的结构见图 2-2,其外形见图 2-3、图 2-4。

DT-100 型单盘天平是不等臂横梁全机械减码式电光天平。精度等级 4 级,最大载荷 100g,最小分度 0.1mg,毫克级砝码组合误差不大于 0.2mg,克级砝码及全量砝码组合误差不大于 0.5mg。

(1) 横梁 由硬制铝合金制成。横梁上有支点刀、承重刀,采用人造宝石制造。横梁后部有配重砣(主要起横梁平衡作用)、阻尼片,尾部有微分标尺,刻有 0~100mg,经放大可直接读出 100mg 以下数值。横梁上还有感量砣和平衡砣,感量砣调整天平感量用,而平衡砣用于调节天平零点。

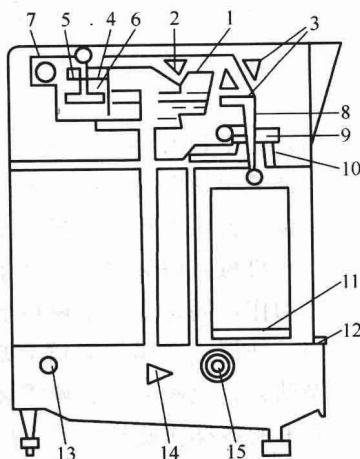


图 2-2 单盘天平结构示意图

- 1—横梁; 2—支点刀; 3—承重刀;
4—阻尼片砣; 5—配重砣; 6—阻尼筒;
7—微分标尺; 8—吊耳; 9—砝码;
10—砝码托; 11—秤盘; 12—投影屏;
13—电源开关; 14—停动手钮;
15—微读手钮

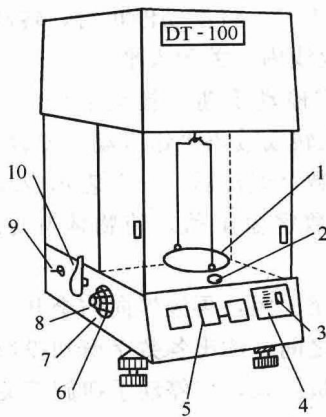


图 2-3 天平左侧外形

- 1—秤盘; 2—圆水准器; 3—微读数字窗口; 4—投影屏;
5—减码数字窗口; 6—10~90g 减码手轮; 7—1~9g 减码手轮;
8—0.1~0.9g 减码手轮; 9—电源开关; 10—停动手钮

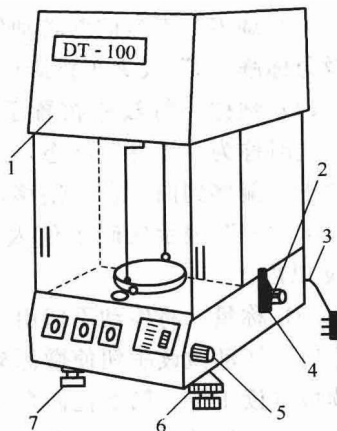


图 2-4 天平右侧外形

- 1—顶罩; 2—调零手钮; 3—外接电源线;
4—停动手钮; 5—微读手钮;
6—调整脚螺丝; 7—减震脚垫

(2) 悬挂系统 悬挂系统由承重板、砝码架、秤盘组成。天平空载时,砝码全部落在砝码架上。砝码为圆柱形整体结构,以保证其质量稳定。

(3) 起升部分 作用是支撑横梁和悬挂系统,实现天平的开关动作。停动手

钮有“全开”和“半开”两个位置，“半开”天平时，横梁可在一个很小的范围内摆动（10~15分度），半开时可以增减砝码而不会损伤玛瑙刀口，但不宜触碰秤盘。

（4）光学读数系统 光学读数系统将微分标牌放大，可以读准至 0.1mg。转动“调零手钮”可改变调零反射镜的角度，在小范围内调整零点（约 6 分度），旋转微读手钮可以读出标尺上 1 分度（代表 1mg）的 1/10 的数值。

（5）机械减码装置 由 3 组不同几何形状的凸轮转动，通过减码杆的起落实现减码动作，同时在数字窗口显示出减去砝码的质量。

（6）外框 金属框架镶有玻璃，底板下面安装有电源变压器、电源转换开关、停动轴、减码装置、调零装置及微读机构。

天平的各操作旋钮安装在底板的两侧，显示称量结果的数字窗口在前面，操作很方便。天平的顶盖可以上举取下，为安装、调修、清洁天平及调整零点时用。天平光学系统的灯泡也在顶部，虽有隔热装置，也不要将灯泡常亮，更不可盖住散热孔，以免天平梁单臂受热，使零点产生漂移。

天平底板下有三个脚，前面两个可调节水平，水准器安装在底板前面。

3. 单盘天平使用方法

（1）检查 检查天平水平，各数字窗及微读轮应指“0”。

（2）接通电源 插上电源插头，电源开关向上开（向下开是灯常亮，只供修理时用）。

（3）调零 慢慢向前转动停动手钮开启天平，待摆动停止后，转动调零手钮使微分标牌“0”线夹于投影屏毛玻璃上的双线内，关闭天平。

（4）预称 将被称物置于秤盘中央，将停动手钮慢慢向后开（约 45°即到位，此时称为“半开”状态），由大到小依次转动减码手钮（动作要轻），由微标向“正”偏移向“负”偏移，再退回一个数（微标示“+”表示应增加砝码示值，示“-”表示砝码示值太大），调整好数字窗示值，使物体和砝码之差在 0.1g 以内。

（5）称量 将停动手钮由“半开”位置至关闭，再慢慢向前全开，天平摆动停止后，转动微读手钮使微标刻线夹于双线之间，读出各数字窗和投影屏，微读轮读数（读 1 位，第 2 位四舍五入）即为称量结果，将停动手钮旋至关闭状态。

（6）称量结束 取出称量物，各数字窗、微读轮回“0”，检查天平零点，关闭天平电源开关。

三、电子天平

1. 电子天平的称量原理

应用现代电子控制技术进行称量的天平称为电子天平。各种电子天平的控制方式和电路结构不相同，但其称量的依据都是电磁力平衡原理。现以 MD 系列电子天平为例说明其称量原理。

我们知道,把通电导线放在磁场中时,导线将产生电磁力,力的方向可以用左手定则来判定。当磁场强度不变时,力的大小与流过线圈的电流强度成正比。如果使重物的重力方向向下,电磁力的方向向上,与之相平衡,则通过导线的电流与被称物体的质量成正比。

电子天平结构示意图见图 2-5。

秤盘通过支架连杆与线圈相连,线圈置于磁场中。秤盘及被称物体的重力通过连杆支架作用于线圈上,方向向下。线圈内有电流通过,产生一个向上作用的电磁力,与秤盘重力方向相反,大小相等。位移传感器处于预定的中心位置,当秤盘上的物体质量发生变化时,位移传感器检出位移信号,经调节器和放大器改变线圈的电流直至线圈回到中心位置为止。通过数字显示出物体的质量。

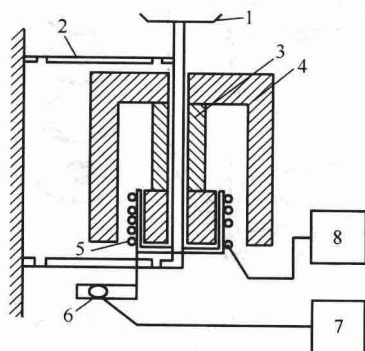


图 2-5 MD 系列电子天平结构示意图

1—秤盘；2—簧片；3—磁钢；4—磁回路体；5—线圈及线圈架；6—位移传感器；7—放大器；8—电流控制电路

2. 电子天平的特点

① 电子天平没有机械天平的宝石或玛瑙刀子,采用数字显示方式代替指针刻度式显示。使用寿命长,性能稳定,灵敏度高,操作方便。

② 电子天平采用电磁力平衡原理,称量时全量程不用砝码。放上被称物后,在几秒钟内即达到平衡,显示读数,称量速度快,精度高。

③ 电子天平有的具有称量范围和读数精度可变的的功能。如瑞士梅特勒 AE240 天平,在 0~205g 称量范围,读数精度为 0.1mg,在 0~41g 称量范围内,读数精度 0.01mg,可以一机多用。

④ 分析及半微量电子天平一般具有内部校准功能。天平内部装有标准砝码,使用校准功能时,标准砝码被启用,天平的微处理器将标准砝码的质量值作为校准标准,以获得正确的称量数据。

⑤ 电子天平是高智能化的,可在全量程范围内实现净重、单位转换、零件计数、超载显示、故障报警等。

⑥ 电子天平具有质量电信号输出,这是机械天平无法做到的。它可以连接打印机、计算机,实现称量、记录和计算的自动化,直接得到符合 ISO 和 GLP 国际标准的报告,将电子天平与质量保证系统相结合。

3. 电子天平的安装和使用方法

(1) 安装场所 精度要求高的电子天平理想的放置条件是室温 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度 45%~60%。

天平台要求坚固,具有抗震及减震性能,不受阳光直射,远离暖气与空调。