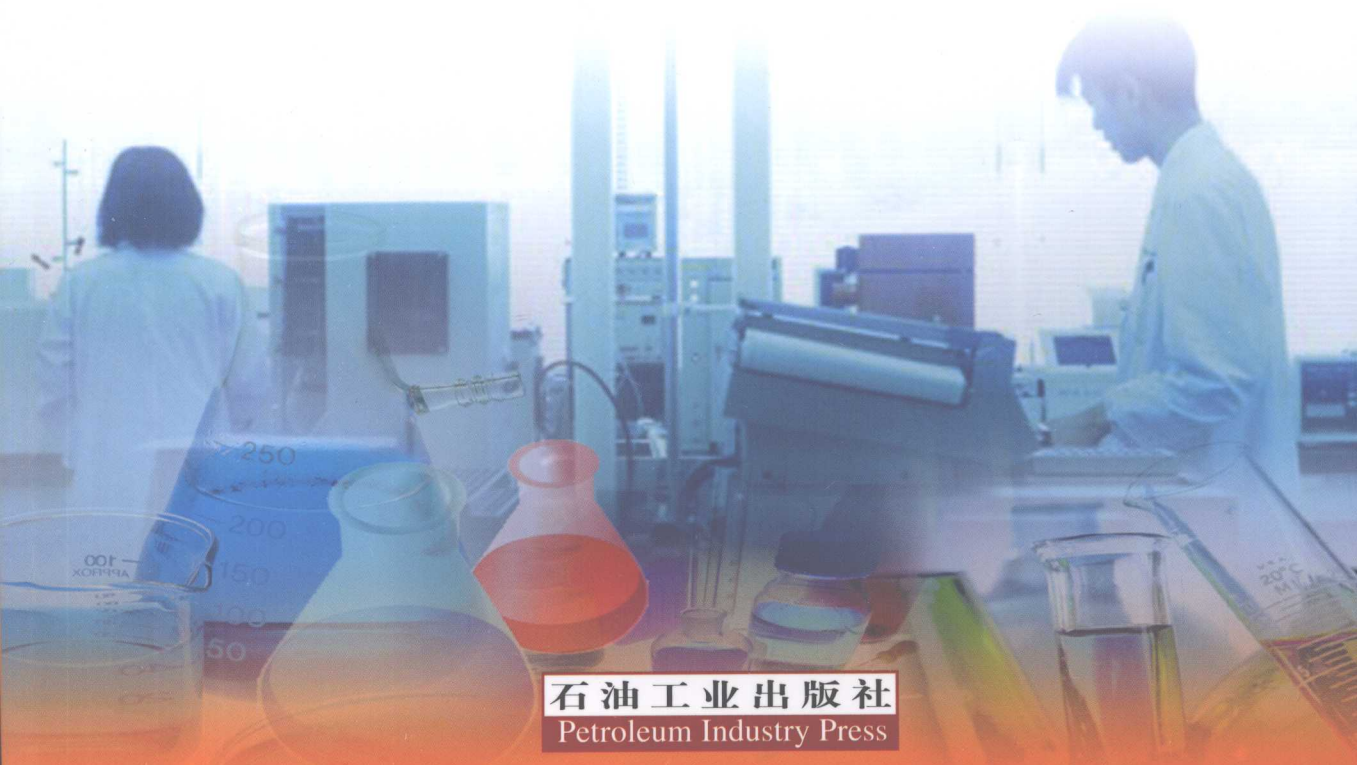




石油高职高专规划教材

分析化学实验

王明国 侯振鞠 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职高专规划教材

分析化学实验

王明国 侯振鞠 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是石油高职高专规划教材《分析化学》的配套实验教材。内容主要包括分析天平与称量、滴定分析法、称量分析法、分光光度法和气相色谱分析法等。本书除了 25 个基本分析化学实验外,还精选了 5 个综合实验,旨在培养学生的综合判断能力、查阅文献能力、设计实验能力和创新能力。

本书适用于石油高职高专工业分析专业、油田化学应用专业和其他相关专业学生使用,也可作为从事分析和质量检测人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

分析化学实验/王明国,侯振鞠主编.

北京:石油工业出版社,2008.8

石油高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-6697-7

I. 分…

II. ①王…②侯…

III. 分析化学-化学实验-高等学校:技术学校-教材

IV. 0652.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 111157 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523585

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:6.25

字数:155 千字

定价:10.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

目 录

第一章 分析化学实验室基础知识	1
第一节 实验室规则及安全注意事项	1
一、分析化学实验室规则	1
二、分析化学实验室安全注意事项	1
第二节 分析用水及化学试剂	3
一、分析用水	3
二、化学试剂	4
第二章 分析天平与称量	6
第一节 分析天平的种类和构造原理	6
一、分析天平种类	6
二、分析天平构造原理	6
三、分析天平的灵敏度和级别	9
第二节 分析天平的计量性能和使用规则	9
一、分析天平的计量性能	9
二、分析天平的使用规则	10
第三节 称量方法	12
一、固体样品的称量	12
二、液体样品的称量	14
第四节 称量试验	14
实验一 分析天平的称量练习(考核试验)	14
第三章 滴定分析法	18
第一节 滴定分析仪器及基本操作	18
一、滴定管及其使用	18
二、移液管和吸量管及其使用	23
三、容量瓶及其使用	24
第二节 滴定分析实验	26
实验二 滴定分析仪器基本操作	26
实验三 滴定终点练习	30
实验四 0.1 mol/L NaOH 标准溶液的配制与标定	33
实验五 0.1 mol/L HCl 标准溶液的配制与标定	34
实验六 烧碱液分析	35
实验七 醋酸含量的测定	37
实验八 工业甲醛含量的测定	37
实验九 工业用水中氯含量的测定	38

实验十 EDTA 标准溶液的配制与标定	40
实验十一 工业用水总硬度测定	41
实验十二 铝盐中铝含量的测定	42
实验十三 KMnO_4 标准溶液的配制与标定	44
实验十四 硫酸亚铁含量的测定	45
实验十五 过氧化氢含量的测定	46
实验十六 硫代硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 标准溶液的配制与标定	46
实验十七 胆矾中 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 含量的测定	48
实验十八 苯酚含量的测定	49
第四章 称量分析法	51
第一节 称量分析仪器基本操作	51
一、试样的溶解和沉淀	51
二、沉淀的过滤和洗涤	52
三、沉淀的烘干和灼烧	55
第二节 称量分析实验	57
实验十九 氯化钡含量的测定	57
实验二十 硫酸镍中镍含量的测定	59
第五章 分光光度法	61
第一节 721 型、751G 型分光光度计	61
一、仪器的组成	61
二、721 型分光光度计	62
三、751G 型分光光度计	63
第二节 分光光度分析实验	65
实验二十一 用邻二氮菲光度法测定纯碱中微量铁	65
实验二十二 水中微量酚的测定	67
实验二十三 正己烷中微量杂质苯的测定	69
第六章 气相色谱分析法	71
第一节 102-G 型气相色谱仪	71
一、102-G 型气相色谱仪工作概况及操作流程	71
二、102-G 型气相色谱仪的一般使用方法	72
三、102-G 型气相色谱仪使用的注意事项	74
第二节 气相色谱分析实验	74
实验二十四 苯、甲苯、邻二甲苯混合物的分析	74
实验二十五 苯、甲苯、二甲苯异构体混合物的分析	75
第七章 综合实验	77
第一节 综合实验概述	77
一、开设综合实验目的	77
二、综合实验步骤	77
第二节 综合实验示例	77
实验一 硅酸盐水泥中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CaO 和 MgO 的测定	77

实验二	食品中磷的测定方法	82
实验三	化学需氧量 (COD) 的测定 (重铬酸钾法)	83
实验四	钢铁中硅、锰、磷的连续测定 (分光光度法)	85
实验五	设计研究型实验	87
附录		89
附表 1	常用酸碱试剂的浓度及相对密度	89
附表 2	酸碱指示剂	89
附表 3	氧化还原指示剂	89
附表 4	金属指示剂	90
附表 5	络合滴定常用的缓冲溶液	90
参考文献		91

第一章 分析化学实验室基础知识

第一节 实验室规则及安全注意事项

一、分析化学实验室规则

- (1) 进入实验室必须穿工作服,熟悉实验室的环境和安全通道。
- (2) 做好预习和准备工作,明确实验目的和实验原理,熟悉实验内容和实验步骤,写好预习报告;检查实验所需药品、仪器是否齐全。
- (3) 实验时保持安静,严格遵守操作规程,切忌机械“照方抓药”;积极思考,仔细观察,详细做好记录。
- (4) 要爱护仪器和实验设备,注意节约水、电和煤气;不要随意动用他人仪器;公用仪器设备用毕应及时洗净送回原处;仪器损坏要及时登记。
- (5) 仪器摆放整齐,保持台面整洁;废纸、火柴梗和碎玻璃等应倒入垃圾箱;废液应倒入废液缸内,切勿倒入水槽,以防堵塞或锈蚀下水管道。
- (6) 对于不熟悉的仪器设备应仔细阅读使用说明,听从教师指导,切不可随意动手,以防损坏仪器或发生事故。
- (7) 按规定量取用药品,注意节约;称取药品后,及时盖好原瓶盖;放在指定地方的药品不得擅自拿走。
- (8) 要养成良好的职业习惯,认真、忠实地记录原始数据和实验现象。
- (9) 试验结束后,将所用实验仪器洗净并整齐地放回原处;清洗实验台,打扫实验室卫生,检查门、窗、水、电、煤气等是否关闭。

二、分析化学实验室安全注意事项

保证实验室工作安全有效进行是实验室管理工作的重要内容。根据实验室工作的特点,着重从防火、防爆、防毒、防腐蚀等方面介绍实验室安全注意事项。

(一) 分析化学实验室防火注意事项

- (1) 化验室内应备有灭火器材、急救箱和防护设施。实验室工作人员要熟知防火设施和器材的使用方法。
- (2) 正确保管和使用可燃物。易燃液体废液应设置专用储器收集,不得倒入下水道,以免引起燃爆事故。乙醚、酒精、丙酮、二硫化碳、苯等有机溶剂易燃,实验室不得存放过多;存放易燃液体周围不得有明火。
- (3) 对于低沸点的有机溶剂应在蒸气浴或水浴上加热。严禁用明火加热或直接用电炉加热,不能在敞口容器中加热。
- (4) 酒精灯容量不超过 $2/3$,切忌装满。灯内酒精不足 $1/4$ 容量时,应灭火后添加酒

精。燃着的灯焰应用灯帽盖灭，不可用嘴吹灭，以防引起灯内酒精起燃。酒精灯应用火柴点燃，不允许用另一正在燃烧的酒精灯来点，以防失火。

(5) 大功率电器设备应分别安装在不同电路上，以减少线路负荷。

(6) 可燃性高压气体瓶必须安放在实验楼外专用的气瓶室内。

(7) 防止煤气管、煤气灯漏气；使用煤气后一定要把阀门关好。用家用洗涤剂水或肥皂水检查是否漏气，禁止用火焰检查可燃气体泄漏点。

(8) 实验室内禁止吸烟。

(二) 分析化学实验室防爆注意事项

在实验中，有些化学品在外界的作用下，能发生剧烈化学反应，瞬时产生大量的气体和热量，使周围压力急剧上升，发生爆炸。因此在分析化学实验室应注意如下事项：

(1) 氢气、乙烯、乙炔、苯、乙醇、乙醚、丙酮、乙酸乙酯、一氧化碳、水煤气和氨气等可燃性气体与空气混合至爆炸极限，一旦有热源诱发，极易发生爆炸。因此，当大量使用可燃性气体时，必须保持室内通风良好，严禁使用明火和可能产生电火花的电器。

(2) 过氧化物、高氯酸盐、叠氮铅、乙炔铜、三硝基甲苯等易爆物质，受震或受热可能发生热爆炸。爆炸类药品，如苦味酸、高氯酸和高氯酸盐、过氧化氢以及高压气体等，应放在低温处保管，不得与其他易燃物放在一起，移动或起用时不得激烈振动。

(3) 强氧化剂和强还原剂必须分开存放，使用时轻拿轻放，远离热源。

(4) 加热易挥发及易燃性有机溶剂时，应在水浴或严密的电热板上缓慢地进行，严禁用火焰或电炉直接加热。

(5) 易燃液体的废液应设置专用储器收集，不得倒入下水道，以免引起爆炸事故；及时销毁残存的易燃易爆物品，消除隐患；每次实验完毕后，应当立即清洗废液缸。

(6) 高温下打开密封的装有易挥发试剂的瓶子时，应把试剂瓶在冷水里浸一段时间，或者先慢慢打开一条小缝，待内外压力平衡后，再完全打开瓶塞，不可使瓶口对着自己或他人。

(7) 身上或手上沾有易燃物时，应立即清洗干净，不得靠近灯火，以防着火。沾有氧化剂溶液液滴的衣服，稍微加热就能起火，应注意及时予以清除。

(三) 分析化学实验室防毒注意事项

(1) 实验前，应了解所用药品的毒性及防护措施。

(2) 操作有毒气体（如 H_2S 、 Cl_2 、 Br_2 、 NO_2 、浓 HCl 和 HF 等）应在通风橱内进行。

(3) 苯、四氯化碳、乙醚、硝基苯等的蒸气会引起中毒。它们虽有特殊气味，但久嗅会使人嗅觉减弱，所以应在通风良好的情况下使用。

(4) 有些药品（如苯、有机溶剂、汞等）能透过皮肤进入人体，应避免与皮肤接触。

(5) 氰化物、高汞盐 [如 HgCl_2 、 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 等]、可溶性钡盐 (BaCl_2)、重金属盐（如镉盐、铅盐）、三氧化二砷等剧毒药品，应妥善保管，使用时要特别小心。

(6) 禁止在实验室内喝水、吃东西；饮食用具不要带进实验室，以防毒物污染；离开实验室前及饭前要洗净双手。

(四) 分析化学实验室防腐蚀注意事项

腐蚀品是指能灼伤人体组织及对金属品造成损坏的固体或液体。

(1) 腐蚀性试剂要放入塑料容器或搪瓷容器中，以防因盛有腐蚀性试剂的瓶子破裂造成事故。

(2) 取用腐蚀性药品, 如强酸、强碱、浓氨水、浓过氧化氢、氢氟酸、冰乙酸、溴水等, 必须戴上防护眼镜和手套, 操作后立即洗手; 如瓶子较大, 应一手托住底部, 一手拿住瓶颈。

(3) 液氧、液氮等低温也会严重灼伤皮肤, 使用时要特别小心, 万一灼伤应及时治疗。

(4) 使用挥发性有机溶剂及强酸强碱性的、高腐蚀性的、有毒性的药品必须要在特殊排烟柜或桌上型抽烟管下进行操作。

(五) 分析化学实验室灭火常识

1. 灭火方法

(1) 加热试样或实验过程中起火时, 应立即用湿抹布或石棉布熄灭灯火并同时拨去电炉插头, 关闭煤气阀、总电源。特别是易燃液体和固体(有机物)着火时, 不能用水去浇, 因为大多数有机物密度小于水(如油), 能浮在水面上继续燃烧并且逐渐扩大燃烧面积。因此, 除了小范围可用湿抹布覆盖外, 应立即用消防砂、泡沫灭火器或干粉灭火器来扑灭。精密仪器则应用四氯化碳灭火器灭火。

(2) 电线着火时须立即关闭总电源, 切断电流, 再用四氯化碳灭火器扑灭火焰, 不准用水或泡沫灭火器扑救。

(3) 衣服着火时应立即采用毯子之类蒙盖在着火者身上以熄灭火焰, 用水浸湿后覆盖效果更好。不能慌张跑动, 否则会加速气流流向燃烧着的衣服, 使火焰加大。用灭火器扑救时, 注意不要对着脸部。

(4) 在现场抢救烧伤患者时, 应特别注意保护烧伤部位, 不要碰破皮肤, 以防感染。大面积烧伤患者往往会因为伤势过重而休克, 此时伤者的舌头易收缩并堵塞咽喉, 发生窒息而死亡。在场人员应将伤者的嘴撬开, 将舌头拉出, 保证呼吸畅通。同时用被褥将伤者轻轻裹起来, 送往医院治疗。

2. 常用的灭火器具

灭火器具是扑救初期火灾常用的有效灭火设备。常用的灭火器具包括泡沫灭火器、二氧化碳灭火器、干粉灭火器、1211 灭火器等。

3. 灭火器的维护和使用注意事项

(1) 灭火器应安放在固定的位置, 不得随意移动并定期更换。

(2) 使用灭火器时不要慌张, 应以正确的方法开启阀门, 才能使内容物喷出。

(3) 不要正对火焰中心喷射, 以防着火物溅出使火焰蔓延, 应从火焰边缘开始喷射。

(4) 灭火器一般只适用于扑灭刚刚产生的火苗或火势较小的火灾, 对于已蔓延的大火, 灭火器的效力是不够的, 必须及时拨打 119。

第二节 分析用水及化学试剂

一、分析用水

(一) 分析实验室用水的规格

GB 6682—1992 建立了《分析实验室用水规格和实验方法》, 规定分析实验室用水的技术指标、制备和检验方法, 将适用于化学分析和无机痕量分析等试验用水分为三个级别: 一

级水、二级水和三级水。表 1-1 列出了各级试验用水的规格。

表 1-1 分析实验室用水的级别和主要指标

项 目	一 级 水	二 级 水	三 级 水
外观	无色透明液体		
pH 值范围 (25℃)	—	—	5.0~7.5
电导率 (25℃), mS/m	0.01	0.10	0.50
可氧化物质以 O 计, mg/L	—	0.08	0.40
吸光度 (254nm, 1cm)	0.001	0.01	—
蒸发残量 (105℃±2℃), mg/L	—	1.0	2.0
可溶性硅以 SiO ₂ 计, mg/L	0.01	0.02	—

一级水：基本上不含有溶解或胶态离子杂质及有机物，它可以由二级水经进一步加工处理而制得。

二级水：可含有微量的无机、有机或胶态杂质，可由蒸馏法、反渗透法或去离子法后再进行蒸馏等方法制得。

三级水：用于一般实验室，它可以采用蒸馏法、离子交换法、电渗析法和电泳法等方法制备。

(二) 分析实验室用水制备方法

实验室制水方法有蒸馏法、离子交换法、电渗析法等。本节主要介绍前两种制水方法。

1. 蒸馏法

用硬质玻璃或石英蒸馏器，在每升蒸馏水或去离子水中加入 50mL 碱性高锰酸钾溶液（每升含 8gKMnO₄+300gKOH），进行二次蒸馏，弃去头和尾各 1/4 容积，收集中段的重蒸馏水，亦称二次蒸馏水。该方法优点是去除有机物较好，缺点是不宜作无机痕量分析用。

2. 离子交换法

通过离子交换树脂对水进行纯化所制取的水叫“去离子水”。离子交换制取纯水，一般在交换柱中进行。自来水通过阳离子交换柱去除阳离子，通过阴离子交换柱去除阴离子。通常是把阴阳树脂串联使用。该方法优点是操作技术较易掌握，设备可大可小，成本较低，是目前实验室最常用的制水方法。

制得的纯水用清洁、密闭的聚乙烯容器存放。

二、化学试剂

化学试剂种类很多，规格不一，用途各异。化学试剂的纯度对分析结果准确度的影响很大，不同的分析工作对试剂纯度的要求也不同。因此，必须了解化学试剂的性质、类别、用途等方面的知识，以便合理选择，正确使用，妥善管理。

(一) 化学试剂的级别和规格

化学试剂的级别是以其中所含杂质多少进行划分，按纯度一般可分为四个等级。我国统一规定的试剂级别标志和适用范围等见表 1-2。

表 1-2 化学试剂的级别和标志

级 别	中文标志名称	符号 (英文标志)	标 签 颜 色	适 用 范 围
一级	保证试剂 (优级纯)	G. R.	绿色	精密分析实验
二级	分析试剂 (分析纯)	A. R.	红色	一般分析实验
三级	化学纯	C. P.	蓝色	一般化学实验
四级	实验试剂 (医用)	L. R.	浅紫色或黑色	普通实验及制备实验
	生物试剂	B. R. 或 C. R.	黄色	生物化学及医学实验

此外,还有基准试剂、色谱纯试剂、光谱纯试剂等。基准试剂的纯度相当于或高于优级纯试剂,它是一类用于标定标准溶液的标准物质,可作为滴定分析中的基准物用,也可精确称量后用直接法配制标准溶液。色谱纯试剂是在最高灵敏度下以 10^{-10} g 无杂质峰来表示的。光谱纯试剂专门用于光谱分析,它是以光谱分析时出现的干扰谱线的数目及强度来衡量的,即其杂质含量用光谱分析法测不出或其杂质含量低于某一限度。

(二) 化学试剂的合理选用

在进行化学实验时,应根据不同的工作要求(包括工作性质、分析方法的灵敏性、待测组分的含量及对分析结果准确度要求等)合理地选用相应级别的试剂。在满足实验要求前提下,选用的试剂就低不就高。

(1) 痕量分析要选用优级纯试剂,以降低空白值和避免杂质干扰。

(2) 进行仲裁分析、实际检验、进出口商品检验等时,应选用优级纯、分析纯试剂。

(3) 车间控制分析可选用分析纯、化学纯。

(4) 某些制备实验、冷却浴或加热浴用的试剂可选用实验试剂。

(5) 滴定分析常用的标准溶液,一般应选用分析纯试剂配制,再用基准试剂进行标定。如对分析结果要求不很高时,也可用优级纯或分析纯试剂代替基准试剂。

(6) 规范试剂的标签上应标明试剂名称、化学式、摩尔质量、级别、技术规格、产品标准号、生产许可证号、厂名等,危险品和毒品还应给出相应的标志。若上述标记不详或不全,应提出质疑。

(7) 试剂的纯度常常不很明确,除少数标明“分析纯”、“实验试剂”外,一般只写“化学试剂”、“企业标准”或“部颁暂行标准”等。常用的有机试剂也存在等级不明,一般只可作“化学纯”试剂使用,必要时进行提纯。

第二章 分析天平与称量

第一节 分析天平的种类和构造原理

一、分析天平种类

分析天平的种类和特点见表 2-1。

表 2-1 分析天平的种类和特点

分 类 依 据	天平种类名称			特 点
天平的构造原理	杠杆式机械天平	双盘等臂天平	摆动天平	
			阻尼天平	有阻尼器
			普通标牌天平	
			微分标牌天平	有光学读数装置，也称为电光天平
		不等臂双刀单盘天平		采用全量机械减码，操作简便
	电子天平			采用电磁力平衡原理，没有刀口刀承，无机械磨损，数字显示，称量快速
加码器加码范围	部分机械加码			
	全部机械加码			
根据分度值大小	常量分析天平			0.1mg/分度
	微量天平			0.01mg/分度
	超微量天平			0.001mg/分度

二、分析天平构造原理

(一) 天平结构

各种型号和规格的双盘等臂天平，其构造和使用方法大同小异，现以 TG-328B 型半机械加码电光分析天平为例，介绍这类天平的构造和使用方法。该天平的外形和结构如图 2-1 所示。

(1) 天平横梁是天平的主要构件，一般由铝合金制成。三个玛瑙刀等距安装在梁上，梁的两边装有 2 个平衡螺母，用来调整横梁的平衡位置（粗调零点）；梁的中间装有垂直的指针，用以指示平衡位置。支点刀的后上方装有重心螺母，用以调整天平的灵敏度。

(2) 天平正中是立柱，安装在天平底板上。柱的上方嵌有一块玛瑙平板，与支点刀口相接触。柱的上部装有能升降的支架，关闭天平时它托住天平梁，使刀口脱离接触，以减少磨损。柱的中部装有空气阻尼器的外筒。

(3) 悬挂系统：①吊耳，它的平板下面嵌有光面玛瑙，与力点刀口相接触，使吊钩及秤盘、阻尼器内筒能自由摆动。②空气阻尼器，由 2 个特制的铝合金圆筒构成，外筒固定在立

(4) 读数系统：指针下端装有缩微标尺，光源通过光学系统将缩微标尺上的分度线放大，再反射到投影屏上。从屏上（光幕）可看到标尺的投影，中间为零，左负右正。屏中央有一条垂直刻线，标尺投影与该线重合处即为天平的平衡位置。天平箱下的投影屏调节杆可将光屏在小范围内左右移动，用于细调天平零点。

(5) 天平升降旋钮，位于天平底板正中，它连接托梁架、盘托和光源。开启天平时，顺时针旋转升降旋钮，托梁架即下降，梁上的三个刀口与相应的玛瑙平板接触，吊钩及秤盘自由摆动，同时接通了光源，屏幕上显出标尺的投影，天平已进入工作状态。停止称量时，关闭升降旋钮，则横梁、吊耳及秤盘被托住，刀口与玛瑙平板离开，光源切断，屏幕黑暗，天平进入休止状态。

(6) 天平箱下装有 3 个螺旋脚, 前面的 2 个脚带有旋钮, 可使底板升降, 用以调节天平的水平位置。天平立柱的后上方装有气泡水平仪, 用来指示天平的水平位置。

(7) 机械加码器：转动圈码指数盘，可使天平梁右端吊耳上加 10~990mg 圈形砝码。指数盘上刻有圈码的质量值，内层为 10~90mg 组，外层为 100~900mg 组。

(8) 砝码：每台天平都附有一盒配套使用的砝码，盒内装有 1g、2g、2g、5g、10g、20g、20g、50g、100g 的 3 等砝码共 9 个。标称值相同的砝码，其实际质量可能有微小的差异，所以分别用单点 “.” 或单星 “*”、双点 “..” 或双星 “* *” 作标记以示区别。

我国生产的砝码（不包括机械挂码）过去分为 5 等，其中 1、2 等砝码主要在计量部门作为基准或标准砝码使用，3~5 等为工作用砝码。双盘分析天平上通常配备 3 等砝码。

新修订的国家计量检定规程《砝码检定规程》(JJG 99—2006)中将砝码按其有无修正值分为两类:一类为有修正值的砝码分为1、2等,其质量按标称值加修正值计;另一类为无修正值的砝码分为9个级别,其质量按标称值计。原来的3等砝码与现在的4级砝码的精确度相近。

砵码产品均附有质量检定证书,无检定证书或其他合格印证的砵码不能使用。砵码使用一定时期(一般为1年)后应对其质量进行校准。

砝码在使用及存放过程中要保持清洁，2 等及 4 等级以上的砝码不得赤手拿取，要防止划伤或腐蚀砝码表面，应定期用无水乙醇或丙酮擦拭，擦拭时应使用真丝绸布或鹿皮，要避免溶剂渗入砝码的调整腔。

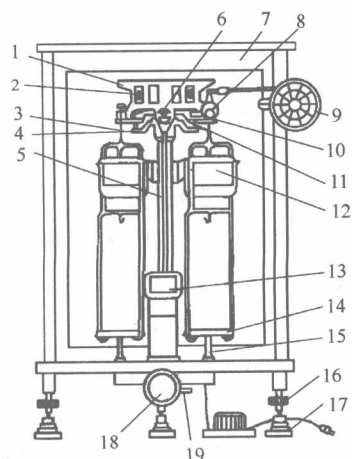


图 2-1 TG-328B 型半机械加码电光分析天平

- 1—横梁; 2—平衡螺母; 3—吊耳; 4—翼子板;
5—指针; 6—支点刀; 7—框罩; 8—圈形砝码;
9—指数盘; 10—支架; 11—折叶; 12—空气阻尼
器; 13—投影屏; 14—秤盘; 15—盘托; 16—螺旋
脚; 17—垫脚; 18—升降旋扭; 19—投影屏调节杆

(二) 构造原理

1. 杠杆式机械天平的构造原理

杠杆式机械天平是基于杠杆原理制成的一种衡量用的精密仪器，即用已知质量的砝码来衡量被称物体的质量。根据力学原理，设杠杆 ABC （图 2-2）的支点为 B ，力点分别在两端 A 和 C 上。两端所受的力分别为 Q 和 P ， m_Q 表示被称物体的质量， m_P 表示砝码的质量。对等臂天平而言，支点两边的臂长相等，即 $L_1 = L_2$ 。当杠杆处于水平平衡状态时，支点两边的力矩也相等，即：

$$Q \cdot L_1 = P \cdot L_2$$

因为

$$L_1 = L_2, Q = m_Q \cdot g, P = m_P \cdot g$$

所以

$$m_Q = m_P$$

上式说明，当等臂天平处于平衡状态时，被称物体的质量等于砝码的质量，这就是等臂天平的称量原理。

等臂分析天平用 3 个玛瑙三棱体的锐利的棱边（刀口）作为支点 B （刀口朝下）和力点 A 、 C （刀口朝上）。这 3 个刀口必须完全平行并且位于同一水平面上，如图 2-3 中虚线所示。

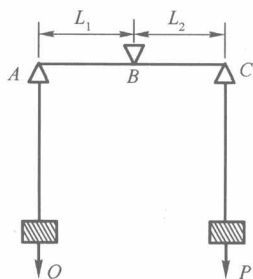


图 2-2 等臂天平原理

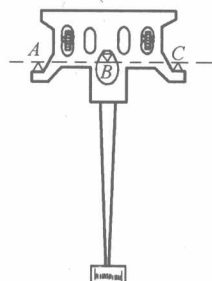


图 2-3 等臂天平横梁

2. 单盘天平的称量原理

单盘天平只有 2 个刀口，1 个是支点刀，1 个是承重刀。砝码和被称物在同一个悬挂系统中，在称量时加上被称物体，减去悬挂系统上的砝码，使横梁始终保持全载平衡状态，即用放置在秤盘上的被称物替代悬挂系统中的砝码，使横梁保持原有的平衡位置，所减去的砝码的质量等于被称物的质量。这就是替代法称量的原理。

3. 电子天平的称量原理

电子天平是最新一代的天平，目前应用的主要有顶部承载式（吊挂单盘）和底部承重式（上皿式）两种。尽管不同类型的电子天平的控制方式和电路不尽相同，但其称量原理大都依据电磁力平衡理论。

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。磁场强度不变时，力的大小与流过线圈的电流强度成正比。使重物的重力方向向下，电磁力的方向向上，并与之相平衡，则通过导线的电流与被称物体的质量成正比。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 2-4 为 MD 系列电子天平结构示意图。

三、分析天平的灵敏度和级别

分析天平必须具有足够的灵敏度。天平的灵敏度是指在一个秤盘上增加一定质量时所引起指针偏转的程度，一般以分度/mg 表示。指针倾斜程度大表示天平的灵敏度高。设天平的臂长为 L ， d 为天平横梁的重心与支点间的距离， m 为梁的质量， α 为在一个盘上加 1mg 质量时引起指针倾斜的角度，它们之间存在如下关系：

$$\tan\alpha = \frac{L}{m \cdot d}$$

α 即为天平的灵敏度。由上式可见，天平梁越轻，臂越长，支点与重心间的距离越短（重心越高），则天平的灵敏度越高。

天平的灵敏度还可用量感或分度值表示，它们之间的关系如下：

$$\text{量感} = \text{分度值} = 1/\text{灵敏度}$$

对于一台天平而言，横梁臂长及质量是一定的，所以只能通过调整重心螺母的高度，来适当改善并得到合适的灵敏度。

根据《机械天平检定规程》(JJG 98—2006) 的有关规定，天平的精确度级别可由最大称量与分度值之比来确定，两者的比值（即检定标尺分度数）越大，说明天平的质量和性能越好。分析天平的分度数（ n ）与级别的对应关系如表 2-2 所示。

表 2-2 分析天平的精确度级别

精确度级别		最大称量与分度值之比	精确度级别		最大称量与分度值之比
I	1	$1 \times 10^7 \leq n$	II	6	$2 \times 10^5 \leq n < 5 \times 10^5$
	2	$5 \times 10^6 \leq n < 1 \times 10^7$		7	$1 \times 10^5 \leq n < 2 \times 10^5$
	3	$2 \times 10^6 \leq n < 5 \times 10^6$	III	8	$5 \times 10^4 \leq n < 1 \times 10^5$
	4	$1 \times 10^6 \leq n < 2 \times 10^6$		9	$2 \times 10^4 \leq n < 5 \times 10^4$
	5	$5 \times 10^5 \leq n < 1 \times 10^5$		10	$1 \times 10^4 \leq n < 2 \times 10^4$

表中I为高精密天平，II为精密天平。两者共同构成了 10 个级别，1 级最好，10 级较差。

第二节 分析天平的计量性能和使用规则

一、分析天平的计量性能

天平的计量性能主要包括稳定性、灵敏性、正确性和示值不变性，这四种特性互相关联且不可分割。稳定性是指已经平衡的天平受到外力扰动，离开平衡位置后，能自动恢复到原来平衡位置的能力。天平稳定性的好坏取决于天平横梁重心的位置。当横梁重心位置在支点下方适中位置，天平越稳定（当然横梁重心位置在支点的下方要适中，并不是越低越好，否

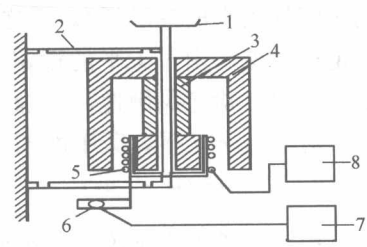


图 2-4 MD 系列电子天平结构示意图
1—秤盘；2—簧片；3—磁钢；4—磁回路体；5—线圈及线圈架；6—位移传感器；7—放大器；8—电流控制电路

则会破坏天平的灵敏性)。反之,横梁重心位置与支点重合或在支点上方,则天平越不稳定,稳定性越差。由于天平的稳定性是与灵敏性、示值不变性密切相关的,所以天平的计量检定,只要求检定灵敏性、正确性和示值不变性三大计量性能。

对于电子天平,天平的四大计量性能依然是判定天平优劣的依据。

(一) 稳定性

对于电子天平来说,其平衡位置总是通过模拟指示或数字指示的示值来表现的,所以,一旦对电子天平施加某一瞬时的干扰,虽然示值发生了变化,但干扰消除后,天平又能回到原来的示值,则称该电子天平是稳定的。

(二) 灵敏性

天平的灵敏性,就是天平能觉察出放在天平衡量盘上的物体质量改变量的能力。天平的灵敏性,可以通过角灵敏度或线灵敏度、分度灵敏度、数字(分度)灵敏度来表示。对于电子天平,主要是通过分度灵敏度或数字(分度)灵敏度来表示的。天平能觉察出来的质量改变量越小,则说明天平越灵敏。

(三) 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(约定)真值的能力。从误差角度来看,天平的正确性,就是反映天平示值的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在天平臂比的正确性。但是,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。

(四) 示值不变性

天平的示值不变性,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。对于电子天平,依然有天平示值的不变性,如对电子天平重复性、再现性的控制;零位及回零误差的控制;空载或加载时天平在规定时间(比如加载4h)的天平示值漂移的控制等。

二、分析天平的使用规则

(一) 单盘天平使用方法

(1) 准备工作:打开防尘罩,叠平后放在天平顶罩上;将电源开关向上扳动;检查天平盘是否干净;如果水平仪中的水泡偏离中心,则缓慢调节左边或右边的调整脚螺钉使水泡位于中心;如果减码数字窗口不为“0”,则调节相应的减码手轮使窗口都显示“0”字;旋动微读手钮,使微读轮上的“0”线对准微读数字窗口左边的指标线。

(2) 校正天平零点:停动手钮是天平的总开关,它控制托梁架和光源的微动开关,手钮位于垂直状态时,天平处于关闭状态。将停动手钮缓缓向前转动 90° (其尖端指向操作者),天平即处于开启状态,投影屏上显示出缓慢移动的标尺投影,待标尺稳定后,旋动天平右后方的零调手钮,使标尺上的“00”线位于投影屏右边的夹线正中,即已调定零点,关闭天平。

(3) 称量:推开天平侧门,放被称物于秤盘中心,关上侧门;将停动手钮向后(即背向操作者)转动约 30° ,此时天平处于“半开”状态,横梁可摆动15个分度左右,半开状态仅可调整砝码;先转动10~90g减码手轮,同时观察投影屏,当转动手轮至屏中标尺向上移动

并显示负值时,随即退回1个数(例如左边一个窗口的数字由2退为1),此时已调定10g组砝码;如此操作,再依次转动1~9g减码手轮和0.1~0.9g减码手轮以调定1g组和0.1g组砝码;将停动手钮缓缓向前转动至水平状态(天平由半开状态经关闭至全开),待标尺停稳后,再按顺时针方向转动微读手钮使标尺中离夹线最近的一条线移至夹线中央。重复一次关、开天平,若标尺的平衡位置没有改变即可读数。标尺上每一分度为1mg,微读轮转动10个刻度,则标尺准确移动1个分度,微读数字窗口只读1位数(0.1~0.9mg)。读数记录之后,随即关闭天平。

(4) 复原:取出被称物,关上侧门,将各数字窗口均恢复为“0”。当天第一次使用天平时,可检查零点有无变化,将电源开关关闭,盖上防尘罩。

(二) 电子天平

1. 使用方法

(1) 使用前检查天平是否水平,如不是水平,应调整水平。

(2) 称量前接通电源预热30min或按说明书要求。

(3) 校准。首次使用天平必须校准天平,特别是天平被移动位置或在使用一段时间(30d左右)后,应对天平重新校准,校准程序可按说明书进行。

(4) 称量。按下显示屏的开关,待显示稳定零点后,将物品放到秤盘上,关上防风门。显示稳定后即可读取称量值。操纵相应的按键可以实现“去皮”、“增重”、“减重”等称量功能。

(5) 清洁。污染时用含少量中性洗涤剂的柔软布擦拭,勿用有机溶剂和化纤布。样品盘可清洗,充分干燥后再装到天平上。

2. 注意事项

电子天平与传统的杠杆天平相比,称量原理差别较大,使用者必须了解它的称量特点,正确使用,才能获得准确的称量结果。

(1) 电子天平在安装之后,必须进行校准。这是因为电子天平是将被称物的质量产生的重力通过传感器转换成电信号来表示被称物的质量的。称量结果实质上是被称物重力的大小,故与重力加速度 g 有关,称量值随纬度的增高而增加。例如,在北京用电子天平称量100g的物体,到了广州,如果不对电子天平进行校准,称量值将减少137.86mg。另外,称量值还随海拔的升高而减小。因此,电子天平在安装后或移动位置后必须进行校准。

(2) 电子天平开机后需要预热较长一段时间(至少0.5h以上),才能进行正式称量。

(3) 电子天平的积分时间也称为测量时间或周期时间,有几挡可供选择,出厂时选择了一般状态,如无特殊要求不必调整。

(4) 电子天平的稳定性检测器是用来确定天平摆动消失及机械系统静止程度的器件。当稳定性检测器表示达到要求的稳定性时,可读取称量值。

(5) 在较长时间不使用的电子天平应每隔一段时间通电一次,以保持电子元器件干燥,特别是湿度大时更应经常通电。

(三) 天平的调整

天平安装好以后,应进行如下所述的调整过程:

(1) 零点调整:可借横梁上的平衡螺母来调节,较小的零点调节可通过拨动底板下的调零杆来进行。一般零点在 ± 2 个分度内即可。