

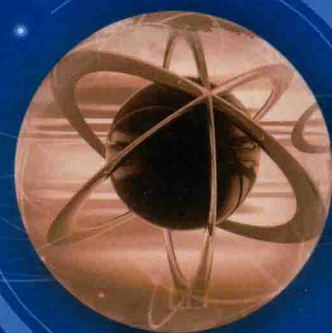


普通高等院校“十三五”规划实验教材

材料物理实验教程

● 主 编 陈木青 戴 伟

● 副主编 李 杰 陶军晖



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

通高等院校“十三五”规划实验教材

材料物理实验教程

主 编 陈木青 戴 伟

副主编 李 杰 陶军晖

参 编(按姓氏笔画排列)

艾 敏 祁红艳 李 睿

汪川惠 陈欣琦 靳海芹

华中科技大学出版社

中国·武汉

内 容 简 介

本书是材料物理专业实验课程的教材。全书主要包括:基本实验操作技术,粉体材料、薄膜材料、块体材料等的制备、提纯和分析鉴定,磁性、压电、铁电、光电等性质的分析。

本书可供高等院校化学、材料、环境、冶金、轻工等专业的师生及实验室人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料物理实验教程/陈木青,戴伟主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.2

普通高等院校“十三五”规划实验教材

ISBN 978-7-5680-3654-2

I. ①材… II. ①陈… ②戴… III. ①材料科学-物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①TB303-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 029514 号

材料物理实验教程

Cailiao Wuli Shiyān Jiāochéng

陈木青 戴 伟 主 编

策划编辑:汪 富

责任编辑:吴 晗

封面设计:刘 卉

责任校对:刘 竣

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:武汉华工鑫宏印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:5.5

字 数:136千字

版 次:2018年2月第1版第1次印刷

定 价:28.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究

普通高等院校“十三五”规划实验教材

编审委员会

(排名不分先后)

主 任 肖 明

副主任 戴 伟 罗 毅 王 筠 吴建兵

肖 飞 姚桂玲

委 员 谭 华 罗海峰 王怀兴 李 莎

肖 旻 伍家梅 李 杰 肖龙胜

胡 森 胡凡建 陶表达

编写委员会

(排名不分先后)

范锡龙 刘 明 邓永菊 皮春梅 王世芳 操小凤

来小禹 陈国英 谈伟伟 李志浩 冯国强 郑秋莎

刘 勇 刘 丹 童爱红 吉紫娟 艾 敏 王 茁

刘姜涛 徐 辉 李 丹 肖正安 王 娅 龙 芸

王 骐 王青萍 肖鹏程 罗春娅 刘金波 黄 靓

陈木青 汪川惠 靳海芹 祁红艳 李 睿 陈欣琦

陶军晖 王志民 王秋珍 孙 筠 张 庆 谭永丽

熊 伟 徐小俊 林柏林 彭玉成 曹秀英

前 言

“材料物理”是一门实验性较强的课程,实验教学是其教学环节的重要组成部分。在本课程教学实验中,学生借助仪器、试剂等实现材料的合成、改性、表征,从而理解材料结构和性质等的相互联系,加深对材料和物理领域基本理论的理解,掌握碳材料、磁性材料、杂化材料、陶瓷材料、光电活性材料等的基本性质,了解其一般制备、提纯和分析方法。重要的是,通过实验课,学生可以学习材料制备的基本操作,培养搜索科研文献和查阅文献的能力,以及设计实验方案的能力。

本书是针对材料物理专业的要求而编写的,可作为化工、材料及环境工程等专业的实验教材。本书在编写过程中注重以下几点:

(1)虽然材料物理专业实验与化学、物理等实验有密切的关系,但它是一门独立的实验课程。本书根据该课程的特点编写而成,可作为材料物理实验课教材独立使用。

(2)根据本专业科学实验的需要安排教学实验,而不以学科分割。

(3)为培养学生严谨的科学态度,对实验要求给出定量数据,以及数值的偏差等;注重实验内容和目前研究热点相结合,同时注重计算机在材料相关研究中的应用,鼓励开展自主创新性实验的设计。

(4)突出学生动手实践操作的重要性。基本仪器、基本操作技术作为基础知识被编排在第1章。

(5)全书采用法定计量单位。

本书由陈木青、戴伟任主编,李杰、陶军晖任副主编。参加本书编写工作的还有汪川惠、祁红艳、艾敏、陈欣琦、靳海芹等。肖明院长对本书的编写给予了热情支持,在此表示感谢。在本书的编写过程中,参考了国内外相关实验教材和专著,从中得到不少有益的启发,在此对相关教材和专著的作者一并表示感谢。

编 者

2017年10月于湖北第二师范学院

目 录

绪论	(1)
第一章 基本实验操作技术	(15)
实验 1 分析天平称量练习	(17)
实验 2 溶液的配制	(18)
第二章 材料的制备方法 & 表征	(21)
实验 1 配料与混合	(23)
实验 2 粉体的预烧合成	(27)
实验 3 造粒与干压成型及烧结	(29)
实验 4 水热法制备 $\text{Bi}_{3.15}\text{Nd}_{0.85}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 纳米结构	(31)
实验 5 溶胶-凝胶法制备纳米二氧化钛(TiO_2)	(35)
实验 6 熔盐法制备 $\text{Bi}_{3.15}\text{Nd}_{0.85}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 微米薄片	(37)
实验 7 多孔材料的制备及性能研究	(39)
实验 8 应用于光催化的纳米复合材料制备与性能研究	(41)
实验 9 过滤吸附膜的制备及性能研究	(43)
实验 10 活性氮化硼材料制备及环境处理应用	(45)
实验 11 设计和构建用于快速水净化的过滤系统	(47)
实验 12 纳米 TiO_2 光催化降解亚甲基蓝	(48)
实验 13 溶液吸附法测定固体比表面积	(50)
实验 14 偏摩尔体积的测定	(53)
实验 15 液相反应平衡常数	(56)
实验 16 压制钛酸钡铁电陶瓷片	(60)
实验 17 溶胶-凝胶法制备钛酸钡纳米粉体前驱体	(62)
实验 18 水浴法制备铜纳米线	(64)
实验 19 室温搅拌法制备硫化亚铜和硒化亚铜($\text{Cu}_{2-x}\text{S}/\text{Cu}_{2-x}\text{Se}$)	(66)
第三章 材料的光学及电学性质表征实验	(69)
实验 1 紫外-可见光谱原理与表征	(71)
实验 2 荧光光谱的原理及其表征	(73)
实验 3 高效液相色谱的原理和对富勒烯材料的分离	(76)
实验 4 LabVIEW 编程环境与基本操作实验	(78)
实验 5 X-射线衍射实验	(79)
参考文献	(82)

绪 论

1. 实验安全规范

1) 实验室安全要求

- (1) 熟悉实验室水阀、电闸的位置。
- (2) 用完电加热设备,应立即关闭开关,关闭电源。
- (3) 使用电器设备时,不要用湿手接触插座,以防触电。
- (4) 严禁在实验室内饮食。
- (5) 实验完毕,将仪器洗净,把实验桌面整理好。洗净手后,离开实验室。
- (6) 值日生负责实验室的清理工作,离开实验室时检查水阀、电闸是否关好。

2) 易燃、具腐蚀性药品及毒品的使用规则

- (1) 浓酸和浓碱等具有强腐蚀性的药品,不要洒在皮肤或衣物上。
- (2) 不允许在不了解化学药品性质时,将药品任意混合,以免发生意外。
- (3) 使用易燃、易爆化学品,例如氢气、强氧化剂(如氯酸钾)时,要首先了解它们的性质,使用中应注意安全。
- (4) 有机溶剂(如苯、丙酮、乙醚)易燃,使用时要远离火焰。
- (5) 制备有刺激性的、恶臭的、有毒的气体(如 H_2S 、 Cl_2 、 CO 、 SO_2 等),加热或蒸发盐酸、硝酸、硫酸时,应该在通风橱内进行。
- (6) 氰化物、砷盐、铋盐、可溶性汞盐、铬的化合物、镉的化合物等都有毒,不得进入口内或接触伤口。

3) 实验室中一般伤害的救护

- (1) 割伤:先挑出伤口的异物,然后用红药水、紫药水等药物进行处理。
- (2) 烫伤:涂抹烫伤药(如万花油),不要把烫出的水泡挑破。
- (3) 酸伤:先用大量的水冲洗,再用饱和碳酸氢钠溶液或稀氨水冲洗,最后再用水冲洗。
- (4) 碱伤:先用大量的水冲洗,再用醋酸溶液($20\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)或硼酸溶液冲洗,最后用水冲洗。
- (5) 吸入了溴蒸气、氯气、氯化氢气体,可吸入少量酒精和乙醚混合蒸气。

4) 灭火常识

物质燃烧需要空气和一定的温度,所以通过降温或者将燃烧的物质与空气隔绝,便能达到灭火的目的。具体可采取以下措施。

- (1) 停止加热和切断电源,避免引燃电线,把易燃、易爆的物质移至远处。
- (2) 用湿布、石棉布、沙土灭火。
- (3) 要学会正确使用灭火器。

小火用湿布、石棉布覆盖在着火的物体上便可扑灭火焰;钠、钾等金属着火,通常用干燥的细沙覆盖,严禁使用某些灭火器如 CCl_4 灭火器,因 CCl_4 和钾、钠等发生剧烈反应,会强烈分解,甚至爆炸。

5) 实验规则

- (1) 实验前认真预习,明确实验目的和要求,了解实验的基本原理、方法、步骤,写好预习报告。
- (2) 实验中认真观察、记录现象,按照要求进行操作,保持实验室的安静。
- (3) 遵守实验室的各项制度,爱护仪器,节约药品、水、电。
- (4) 听从教师和实验室工作人员的指导。
- (5) 实验完毕,做好实验室的整理工作,及时完成实验报告。

2. 玻璃仪器的洗涤

玻璃仪器的洗涤方法概括起来有下面几种。

(1) 用水刷洗:可以洗去可溶性物质,又可使附着在仪器上的尘土等脱落下来。

(2) 用去污粉或合成洗涤剂刷洗:能除去仪器上的油污。

(3) 用浓盐酸洗:可以洗去附着在器壁上的氧化剂,如二氧化锰。

(4) 铬酸洗液:将 8 g 研细的工业 $K_2Cr_2O_7$ 加入到温热的 100 mL 浓硫酸中小火加热,切勿加热到冒白烟。边加热边搅动,冷却后储存于细口瓶中。洗涤方法:

① 先将玻璃仪器用水或洗衣粉洗刷一遍。

② 尽量把仪器内的水去掉,以免冲稀洗液。

③ 将铬酸洗液倒入玻璃仪器中进行洗涤,用毕将洗液倒回原瓶内,以便重复使用。

洗液有强腐蚀性,勿溅在衣物、皮肤上。铬酸洗液有强酸性和强氧化性,去污能力强,适用于洗涤油污及有机物。当洗液颜色变成绿色时,洗涤效能下降(高价铬离子被还原),应重新配制洗液。

(5) 含 $KMnO_4$ 的 $NaOH$ 水溶液:将 10 g $KMnO_4$ 溶于少量水中,向该溶液中注入 100 mL 10% $NaOH$ 溶液即成。该溶液适用于洗涤油污及有机物。洗后在玻璃器皿上留下 MnO_2 沉淀,可用浓 HCl 或 Na_2SO_3 溶液将其洗掉。

(6) 盐酸-酒精(1:2)洗涤液:适用于洗涤被有机试剂染色的比色皿。比色皿应避免使用毛刷和铬酸洗液洗涤。

洗净的仪器器壁应能被水润湿,无水珠附着在上面。

用以上方法洗涤后的仪器,经自来水冲洗后,还残留有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子,如需除掉这些离子,还应用去离子水洗 2~3 次。

3. 化学试剂的取用

1) 固态试剂的取用

固态试剂一般都用药匙取用。药匙的两端为大小两个匙,分别取用大量固体和少量固体。试剂一旦取出,就不能再倒回瓶内,可将多余的试剂放入指定容器。

2) 液态试剂的取用

液态试剂一般用量筒量取或用滴管吸取。下面分别介绍它们的操作方法。

(1)量筒量取。量筒有 5 mL、10 mL、50 mL、100 mL 和 1000 mL 等规格。取液时,先取下瓶塞并将它放在桌上。一手拿量筒,一手拿试剂瓶(注意别让瓶上的标签朝下),然后倒出所需量取的试剂。最后斜瓶口在量筒上靠一下,再使试剂瓶竖直,以免留在瓶口的液滴流到瓶的外壁。

(2)滴管吸取。用手指紧捏滴管上部的橡皮头,赶走其中的空气,然后松开手指,吸入试液。将试液滴入试管等容器时,不得将滴管插入容器。滴管只能专用,用完后放回原处。一般的滴管一次可取 1 mL,约 20 滴试液。如果需要更准确地量取液态试剂,可使用滴定管和移液管等。

4. 加热方法

1)酒精灯加热

酒精易燃,使用时注意安全,不要用另外一个燃着的酒精灯来点火,否则会把灯内的酒精洒在外面,使大量酒精着火引起事故。酒精灯不用时,盖上盖子,使火焰熄灭,不要用嘴熄灭。盖子要盖严,以免酒精挥发。当需要往灯内添加酒精时,应把火焰熄灭,然后借助漏斗把酒精加入灯内,加入酒精量为 $1/2 \sim 1/3$ 壶。

2)酒精喷灯加热

酒精喷灯如图 0-1 所示,其使用方法如下。

①添加分析型乙醇,加酒精时关好下口开关,灯内贮酒精量不能超过酒精壶的 $2/3$ 。

②预热:在引火碗中加少量酒精点燃,预热后有酒精蒸汽逸出,便可将灯点燃。若无蒸汽,用探针疏通酒精蒸汽出口后,再预热,点燃。

③调节:旋转空气调节棒调节火焰。

④熄灭:可盖灭,也可旋转空气调节棒熄灭。

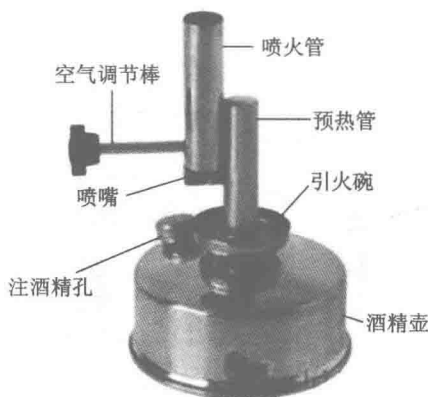


图 0-1 酒精喷灯

3)水浴加热

水浴的要求是不断往水浴锅中补充水(由于热水的挥发性),来保持水量占水浴锅总容

量 $2/3$ 左右。当要求被加热的物质受热均匀,而温度不超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,先把水浴中的水煮沸,用水蒸气来加热。当不慎把水浴锅中的水烧干时,应立即停止加热,等水浴锅冷却后,再加水继续使用。在用水浴加热试管、离心管中的液体时,常用的是 250 mL 烧杯,内盛蒸馏水(或去离子水),将水加热至沸。

4) 油浴加热

当要求被加热的物质受热均匀,温度又需高于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可选用油浴加热。用油代替水浴中的水,即为油浴。注意油浴的加热温度限制;注意加入的硅油是否黏稠变质,周期性更换新油。油浴的加热温度不宜高于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,不宜过长时间加热。为安全起见,在实验过程中,需要实验人员在场观察。

5) 电热套或盐浴加热

当加热温度要求高于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,可以使用电热套或盐浴加热。盐浴加热是在铁容器内装入食盐,在反应前,将烧瓶放置在食盐上,稍微没入部分,然后打开电源开始加热。若要测量盐的温度,可把温度计插入食盐中。高温加热装置中,电热套(图 0-2)、管式炉(图 0-3)和马弗炉(图 0-4)等设备在实验室中也经常用到。通常,管式炉和马弗炉都可加热到 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。

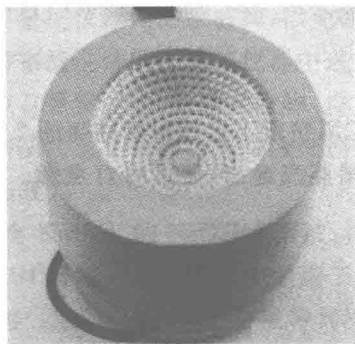


图 0-2 电热套

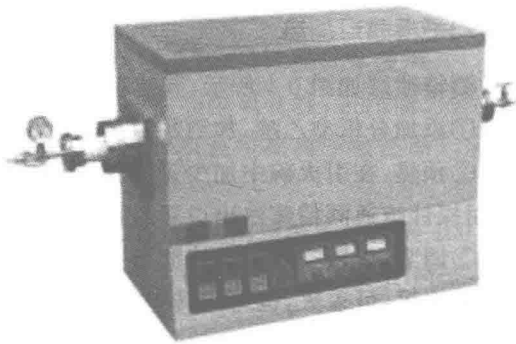


图 0-3 管式炉

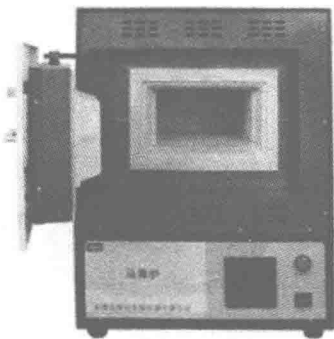


图 0-4 马弗炉

5. 气体钢瓶

在实验室还可以使用气体钢瓶直接获得各种气体。

气体钢瓶是储存压缩气体的特制的耐压钢瓶。使用时,通过减压阀(气压表)有控制地放出气体。由于钢瓶的内压很大(有的高达 15 MPa),而且有些气体易燃或有毒,所以在使用钢瓶时要注意安全。

使用钢瓶的注意事项:

(1)钢瓶应存放在阴凉、干燥、远离热源(如阳光、暖气、炉火)处。可燃性气体钢瓶必须与氧气钢瓶分开存放。

(2)绝不可使油或其他易燃性有机物沾在气瓶上(特别是气门嘴和减压阀处)。也不得用棉、麻等物堵漏,以防燃烧引起事故。

(3)使用钢瓶中的气体时,要用减压阀(气压表)。各种气体的气压表不得混用,以防爆炸。

(4)不可将钢瓶内的气体全部用完,一定要保留 0.05 MPa 以上的残留压力(减压阀表压)。可燃性气体如 C_2H_2 应剩余 0.2~0.3 MPa。

(5)为了避免各种气瓶混淆而用错气体,通常在气瓶外面涂以特定的颜色以便区别,并在瓶身上写明瓶内气体的名称。表 0-1 为我国气瓶常用的颜色标记。

表 0-1 我国气瓶常用颜色标记

气体类别	瓶身颜色	标字颜色	气体类别	瓶身颜色	标字颜色
氢气	黑色	黄色	氨气	黄色	黑色
氧气	天蓝色	黑色	二氧化碳	黑色	黄色
空气	黑色	白色	乙炔	白色	红色

6. 气体的干燥和净化

通常制得的气体都带有酸雾和水汽,使用时要先净化和干燥。酸雾可用水或玻璃棉除去;水汽可用浓硫酸、无水氯化钙或硅胶吸收。一般情况下使用洗气瓶(图 0-5)、干燥塔(图 0-6)或 U 形管等设备进行净化。液体(如水、浓硫酸)装在洗气瓶内,无水氯化钙、玻璃棉和硅胶装在干燥塔或 U 形管内。气体中如还有其他杂质,则应根据具体情况分别用不同的洗涤剂或固体吸收。



图 0-5 洗气瓶



图 0-6 干燥塔

7. 气体的收集

- (1) 在水中溶解度很小的气体(如氢气、氧气),可用排水集气法收集。
- (2) 易溶于水而比空气轻的气体(如氨),注意使用合适的排气集气法收集。
- (3) 易溶于水而比空气重的气体(如氯气和二氧化碳),用排气集气法收集。

8. 溶液与沉淀的分离

溶液与沉淀的分离方法有 3 种:倾析法、过滤法和离心分离法。

1) 倾析法

当沉淀的密度较大或结晶的颗粒较大,静置后能沉降于容器底部时,可用倾析法进行沉淀的分离和洗涤。

具体做法是把沉淀上部的溶液倾入另一容器内,然后往盛着沉淀的容器内加入少量洗涤液,充分搅拌后,沉降,倾去洗涤液。如此重复操作 3 遍以上,即可把沉淀洗净,使沉淀与溶液分离。

2) 过滤法

分离溶液与沉淀最常用的操作方法是过滤法。过滤时沉淀留在过滤器上,溶液通过过滤器而进入容器中,所得溶液称为滤液。过滤法共有 3 种:常压过滤、减压过滤和热过滤。

(1) 常压过滤。此法最为简便和常用,使用孔隙最大的玻璃漏斗(图 0-7)。过滤时,把圆形滤纸或四方滤纸折叠成 4 层。然后将滤纸撕去一角,放在漏斗中。滤纸的边缘应略低于漏斗的边缘。用水润湿滤纸,并使它紧贴在玻璃漏斗的内壁上。这时如果滤纸和漏斗壁之间仍有气泡,应该用手指轻压滤纸,把气泡赶掉,然后向漏斗中加蒸馏水至几乎达到滤纸边。这时漏斗颈应全部被水充满,而且当滤纸上的水已全部流尽后,漏斗颈中的水柱仍能保留。如形不成水柱,可以用手指堵住漏斗下口,稍稍掀起滤纸的一边,向滤纸和漏斗间加水,直到

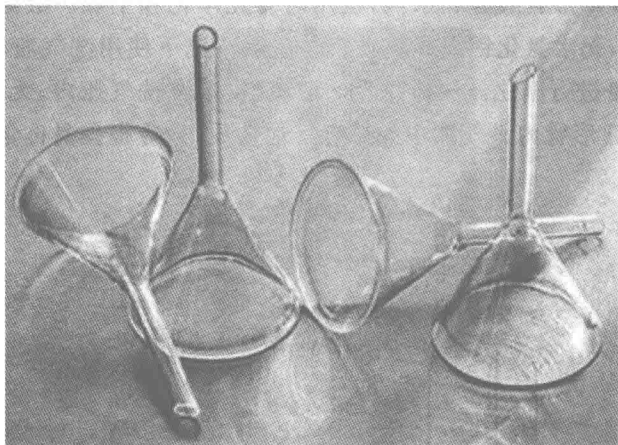


图 0-7 普通玻璃漏斗

漏斗颈及锥体的大部分全被水充满,并且颈内气泡完全排出。然后把纸边按紧,再放开下面堵住出口的手指,此时水柱即可形成。在全部过滤过程中,漏斗颈必须一直被液体所充满,这样过滤才能迅速。

过滤时应注意以下几点:调整漏斗架的高度,使漏斗末端紧靠接收器内壁。先倾倒溶液,后转移沉淀,转移时应使用搅棒。倾倒溶液时,应使搅棒指向3层滤纸处。漏斗中的液面高度应低于滤纸高度的 $2/3$ 。如果沉淀需要洗涤,应待溶液转移完毕,用少量洗涤剂倒入沉淀,然后用搅棒充分搅动,静止放置一段时间,待沉淀下沉后,将上方清液倒入漏斗,如此重复洗涤2~3遍,最后把沉淀转移到滤纸上。

(2)减压过滤。此法可加速过滤,并使沉淀抽吸得较干净,但不宜过滤胶状沉淀和颗粒太小的沉淀,因为胶状沉淀易穿透滤纸,颗粒太小的沉淀易在滤纸上形成一层密实的沉淀,溶液不易透过。装置如图0-8所示,循环水真空泵使抽滤瓶内减压,由于瓶内与布氏漏斗液面上形成压力差,因而加快了过滤速度。安装时应注意使漏斗的斜口与抽滤瓶的支管相对。布氏漏斗上有许多小孔,滤纸应剪成比漏斗的内径略小,但又能把瓷孔全部盖没的大小。用少量水润湿滤纸,开泵,减压使滤纸与漏斗贴紧,然后开始过滤。当停止抽滤时,需先拔掉连接抽滤瓶和泵的橡皮管,再关泵,以防倒吸。为了防止倒吸,一般在抽滤瓶和泵之间,装上一个安全瓶。

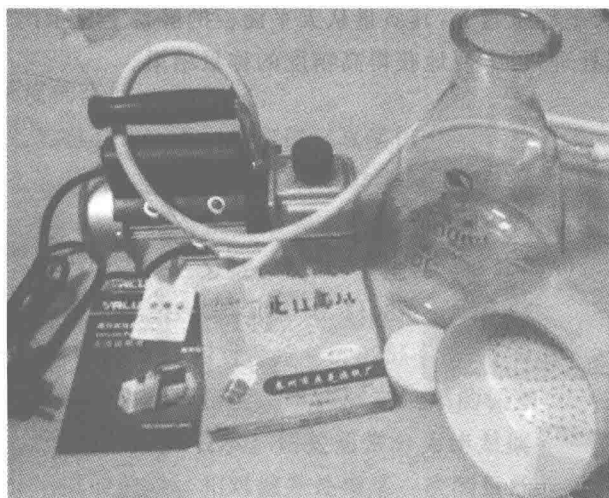


图 0-8 布氏漏斗抽滤装置

(3)热过滤。为保证滤纸与漏斗密合,第二次对折时先不要折死,把滤纸展开成锥形,用食指把滤纸按在玻璃漏斗(漏斗应干净而且干燥)的内壁上,稍微改变滤纸的折叠程度,直到滤纸与漏斗密合为止,此时可把第二次折边折死。某些物质在溶液温度降低时,易结晶析出,为了滤除这类溶液中所含的其他难溶性杂质,通常使用热滤漏斗进行过滤,防止溶质结晶析出。过滤时,把玻璃漏斗放在铜质的热滤漏斗内,热滤漏斗内装有热水以维持溶液的温度。

3)离心分离法

当被分离的沉淀的量很小时,可把沉淀和溶液放在离心管内,放入电动离心机中进行离心分离。使用离心机时,将盛有沉淀的离心试管放入离心机的试管套内,在与之相对称的另

一试管套内也放入盛有相等体积水的试管,然后缓慢启动离心机,逐渐加速。停止离心时,应让离心机自然停止。

9. 实验室常用称量仪器

1) 台秤

台秤(图 0-9)用于精度不高的称量,一般只能精确到 0.1 g。称量前,首先调节托盘下面的螺旋,让指针在刻度板中心附近等距离摆动,即调零。称量时,左盘放称量物,右盘放砝码(10 g 或 5 g 以下是通过移动游码添加的),增减砝码,使指针也在刻度板中心附近摆动,砝码的总质量就是称量物的质量。称量时应注意以下问题:

- ①不能称量热的物体;
- ②称量物不能直接放在托盘上,依情况将其放在纸上,表面皿中或容器内;
- ③称量完毕,一切复原。

2) 电子分析天平

电子分析天平(图 0-10)为较先进的称量仪器,此类天平操作简便。将天平开启,调零后,可将被称物放于天平称量盘上,其质量从天平面板的屏幕上显示出来。这类天平还可与计算机连接进行数据处理,可方便地获得高精度的称量结果。

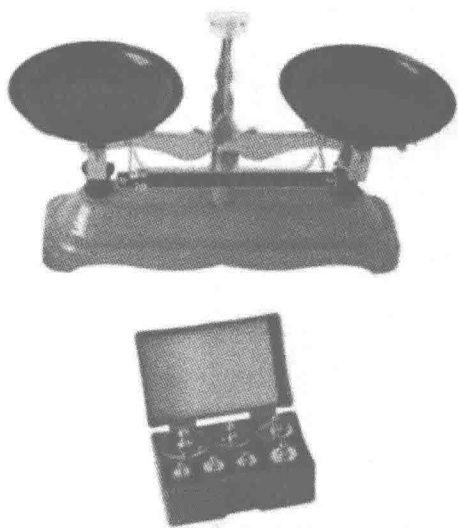


图 0-9 台秤

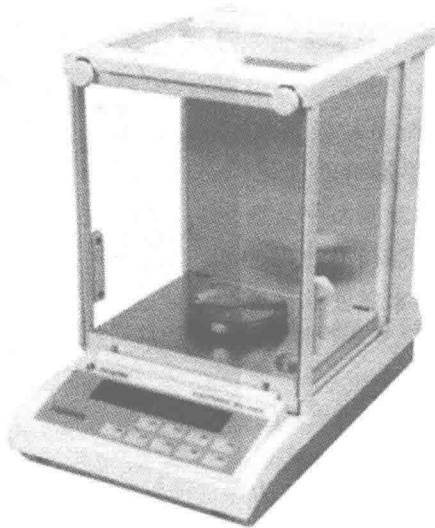


图 0-10 电子分析天平

10. 误差与偏差

1) 准确度与精密度

绝对准确的实验结果是无法得到的。准确度表示实验结果与真实值接近的程度。精密

度表示在相同条件下,对同一样品平行测定几次,各次分析结果相互接近的程度。如果几次测定结果数值比较接近,说明测定结果的精密度高。精密度高不一定准确度高。例如甲、乙、丙 3 人,同时分析测定一瓶盐酸溶液的浓度(应为 0.1108),测定 3 次的结果如表 0-2 所示。

表 0-2 盐酸溶液的测定结果

	甲	乙	丙
平均值	0.1122	0.1121	0.1106
真实值	0.1108	0.1108	0.1108
差值	0.0014	0.0013	0.0002
精密度	高	低	高
准确度	低	低	高

从表 0-2 可以看出,精密度高不一定准确度高,而准确度高一定要精密度高,否则,测得的数据相差很多,根本不可信。由于实际上真实值不知道,通常是进行多次平行分析,求得其算术平均值,以此作为真实值,或者以公认的手册上的数据作为真实值。

2) 误差与偏差

误差(E)表示准确度的高低。

$$E = \text{测定值} - \text{真实值}$$

当测定值大于真实值时,误差为正值,表示测定结果偏高;反之,误差为负值,表示测定结果偏低。误差可用绝对误差和相对误差来表示。绝对误差表示测定值与真实值之差,相对误差是指误差在真实值中所占的百分数。例如,上述丙测定盐酸的误差为:

$$\text{绝对误差} = 0.1106 - 0.1108 = -0.0002$$

$$\text{相对误差} = 0.02\%$$

偏差用来衡量所得分析结果的精密度。单次测定结果的偏差($d = x - x'$),用该测定值(x)与其算术平均值(x')之间的差来表示。偏差通常分为绝对偏差和相对偏差。绝对偏差是指某一次测量值与平均值的差异。相对偏差是指某一次测量的绝对偏差占平均值的百分数。平均偏差是指单项测定值与平均值的偏差(取绝对值)之和,除以测定次数所得的结果。分析结果的精密度,可用平均偏差和相对平均偏差表示。

11. 有效数字

1) 有效数字的概念

实验中,我们使用的仪器所标出的刻度的精确程度总是有限的。例如 50 mL 量筒,最小刻度为 1 mL,在两刻度间可再估计一位,所以,实际测量能读到 0.1 mL。如 34.5 mL 等。若为 50 mL 滴定管,最小刻度为 0.1 mL,再估计一位,可读至 0.01 mL。如 24.78 mL 等。总之,在 34.5 mL 与 24.78 mL 这两个数字中,最后一位是估计出来的,是不准确的。通常