

环境科学专业化学类实验教程

王 刚 编著

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

内 容 简 介

本书为环境科学专业所涉及化学类课程的实验教材,主要包括化学实验基本知识与基本操作、无机化学实验、分析化学实验、有机化学实验、物理化学实验和环境化学实验等6章,每章实验又分为基础类实验和拓展类实验两部分。实验项目的选取兼具经典性和实用性,旨在培养学生动手能力和解决问题能力等实验综合素质。

本书可作为环境科学专业本科生的实验教材,也可作为环境工程、应用化学等相关专业或相关领域技术人员的实验参考书。

图书在版编目(CIP)数据

环境科学专业化学类实验教程 / 王刚编著. — 北京:
中国铁道出版社有限公司, 2019. 8
ISBN 978-7-113-25874-0

I. ①环… II. ①王… III. ①环境化学 - 化学实验 -
高等学校 - 教材 IV. ① X13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 111289 号

书 名: 环境科学专业化学类实验教程
作 者: 王 刚

策 划: 曹艳芳
责任编辑: 曹艳芳
封面设计: 刘 莎
责任校对: 苗 丹
责任印制: 高春晓

编辑部电话: 010-51873162

出版发行: 中国铁道出版社有限公司(100054, 北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 三河市宏盛印务有限公司

版 次: 2019年8月第1版 2019年8月第1次印刷

开 本: 710 mm × 1 000 mm 1/16 印张: 14.5 字数: 267 千

书 号: ISBN 978-7-113-25874-0

定 价: 40.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。电话: (010) 51873174 (发行部)
打击盗版举报电话: 市电(010) 51873659, 路电(021) 73659, 传真(010) 63549480

前 言

环境科学是一门具有较强的交叉性、综合性和实践性的学科。在环境科学专业的教学中,化学课程占有重要的地位;对于培养学生的实践能力和创新能力,化学实验教学显得越来越重要。目前,环境科学专业所学的化学类课程实验没有统一的综合类配套实验教材,各类化学实验课程只强调自身的系统性和完整性,实验内容分散且又有相互交叉,实验系统性不强。此外,目前各类化学实验教材中选取的部分实验存在专业性不强、教学学时长、实验危险性大、实验操作难度高以及所用仪器设备昂贵等问题。因此,编写《环境科学专业化学类实验教程》,可以为环境科学专业提供一部系统性较强的化学类实验教材,用来指导相关实验的开设。

本教材涵盖了环境科学专业所学的无机化学、分析化学、有机化学、物理化学、环境化学等化学类课程实验,在内容选取上避免重复,且能体现环境科学专业对化学实验的自身要求,以便指导后续专业课的理论学习 and 实验操作。本教材编写遵循“兼顾经典性和专业性,兼顾安全性和实用性,兼顾基础性和拓展性”的原则,在每门化学课程的实验中分别设置了6个基础类实验和3个拓展类实验。基础类实验主要综合考虑实验学时数和实验操作性,所选实验尽可能让学生能够在2个学时内完成;且操作简便,在实验教师的指导下能够较容易完成相关实验内容。拓展类实验主要考虑实验的综合性,所选实验可能需花费较多的时间完成;实验操作难度增加,综合性强,可作为学生的开放性实验,利用学生的课外时间完成,以便进一步增强学生的实验动手能力、分析问题和解决问题能力。本教材实验内容的选取结合了环境科学专业后续的专业

课,如环境监测、环境工程学等,尽量选择这些专业课涉及的理论课内容,以便增强学生对后续专业课理论知识的认知;且尽量选取实验危险性小、操作性强以及实验基础条件要求不苛刻的实验。本教材内容编写上的主要特点为:实验原理介绍简要、实验试剂溶液配制方法详细、实验步骤操作性强以及实验注意事项指导性强。

在本教材编写过程中,得到了兰州交通大学实验室管理处实验教改项目的经费支持,研究生严亚萍、姜盛基、曾永昌和倪萍在内容录入方面做了一定工作,环境与市政工程学院刘鹏宇、刁静茹和钟金魁老师在部分实验内容的选取和试做等方面做了相关指导。此外,本教材还参阅了一些实验教材、实验手册以及部分网络资料,列在参考文献中。在此编者向他们表示衷心的感谢!限于编者的水平,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请各位读者批评指正。

编者

2019年5月于兰州

目 录

第一章 化学实验基本知识与基本操作	1
第一节 化学实验基本知识	1
第二节 化学实验基本操作	5
第二章 无机化学实验	28
第一节 基础类实验	28
实验一 化学反应速率与活化能的测定	28
实验二 乙酸解离度与解离常数的测定	34
实验三 氢氧化镍溶度积的测定	38
实验四 碘溶液平衡常数的测定	42
实验五 氧化还原反应的影响因素	46
实验六 配位化合物的性质	50
第二节 拓展类实验	55
实验七 粗食盐的提纯	55
实验八 银氨配离子配位数的测定	58
实验九 硫酸亚铁铵的制备	62
第三章 分析化学实验	65
第一节 基础类实验	65
实验一 滴定分析基本操作练习	65
实验二 混合碱的测定	70
实验三 自来水硬度的测定	75
实验四 过氧化氢含量的测定	80
实验五 自来水中氯含量的测定	84
实验六 铁含量的测定	88
第二节 拓展类实验	91
实验七 自来水中硫酸盐含量的测定	91
实验八 自来水中溶解氧的测定	94

实验九 水样中六价格的测定·····	98
第四章 有机化学实验·····	101
第一节 基础类实验·····	101
实验一 蒸馏与沸点的测定·····	101
实验二 苯甲酸的精制·····	106
实验三 烃类化合物性质的鉴定·····	109
实验四 醇、酚性质的鉴定·····	114
实验五 醛、酮性质的鉴定·····	118
实验六 乙酰苯胺的合成·····	123
第二节 拓展类实验·····	126
实验七 无水乙醇的制备·····	126
实验八 对甲苯磺酸的制备·····	129
实验九 乙酰水杨酸的合成·····	132
第五章 物理化学实验·····	135
第一节 基础类实验·····	135
实验一 水饱和蒸气压的简易测定·····	135
实验二 弱电解质溶液电导的测定·····	139
实验三 溶胶的制备及其性质·····	143
实验四 固体在溶液中的吸附·····	148
实验五 液体黏度的测定·····	153
实验六 乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定·····	158
第二节 拓展类实验·····	162
实验七 表面活性剂临界胶束浓度的测定·····	162
实验八 黏度法测定高聚物的相对分子质量·····	166
实验九 高分子化合物对溶胶的絮凝与保护作用·····	172
第六章 环境化学实验·····	175
第一节 基础类实验·····	175
实验一 空气中氮氧化物的测定·····	175
实验二 絮凝法处理水中胶体颗粒物·····	179
实验三 螯合沉淀法去除水中镍离子·····	184
实验四 水体富营养化评价指标总磷的测定·····	190

实验五 水中苯系物的挥发速率·····	194
实验六 苯酚的光降解速率常数·····	201
第二节 拓展类实验·····	205
实验七 水体自净程度的指标·····	205
实验八 有机物的正辛醇-水分配系数·····	212
实验九 底泥对苯酚的吸附作用·····	216
参考文献·····	221

第一章 化学实验基本知识 与基本操作

第一节 化学实验基本知识

一、实验室学生守则

在化学实验室,学生需遵守以下学生守则:

1. 必须遵守实验室的各项规章制度,实验时不得大声喧哗,实验室内禁止吸烟和饮食,防止化学试剂入口。
2. 不能穿拖鞋、背心、短裤等暴露过多的服装进入实验室,实验中不得擅自离开实验室。
3. 实验中严格按操作规程进行,若要改变实验步骤时,必须经指导教师同意后方可进行。
4. 实验中随时注意保持实验台面和仪器的整洁,保持水槽畅通。
5. 公用仪器使用后应放回原处,并保持原样;如有损坏,必须及时登记补领。
6. 爱护仪器,节约试剂和水、电等;按规定用量取用药品,药品自瓶中取出后,不能再放回原瓶中;称取药品后,应及时盖好瓶盖,不得擅自将药品拿走。
7. 实验完成后,应将自己所用的仪器洗净,整齐摆放在实验台上;将实验台和试剂架整理、擦拭干净,拔掉电源插头;离开实验室前要洗手。
8. 经指导教师检查、签字后方可离开实验室,值日生负责打扫卫生,离开实验室前应检查水、电、气、门窗是否关闭。

二、实验室安全规则

在进行化学实验时,经常使用腐蚀性、易燃、易爆或有毒的化学试剂,大量使用易损的玻璃仪器和某些精密的分析仪器,为确保实验的正常进行和人身安全,必须严格遵守以下实验室安全规则:

1. 使用浓酸、浓碱等强腐蚀性试剂时需小心,以免溅在皮肤、衣服和鞋袜上,一旦溅上应立即用水冲洗,然后擦净。

2. 使用HF、HCl、HNO₃、H₂SO₄、HClO₄、NH₃·H₂O等试剂溶解样品时,应在通风橱中进行操作。

3. 使用有机溶剂要注意防火、防爆、防中毒;使用CCl₄、苯、甲苯等有毒或易燃有机溶剂时要远离火源和热源;低沸点、低闪点的有机溶剂不得在明火或电炉上加热,应在水浴、油浴或可调压电热套中加热;称量药品时应使用工具,不得直接用手接触;使用和处理有毒或腐蚀性物质时,应在通风橱中进行,并戴好防护用品。

4. 保持水槽的清洁和通畅,切勿将固体物品投入水槽中;废纸和废屑应投入垃圾桶内,废液应小心倒入废液桶内(易燃液体除外)集中收集和处理,切勿随意倒入水槽中,以免堵塞或腐蚀下水道以及污染环境。

5. 如果在实验过程中发生着火,应尽快切断电源和燃气源,并选择合适的灭火器材扑灭之;如果着火面积较大,在尽力扑救的同时应及时报警。

三、实验室意外事故处理

在实验过程中如果发生意外事故,可按以下操作进行处理:

1. 割伤:伤口处不能用手抚摸,也不能用水洗涤;若是玻璃割伤,应先把碎玻璃从伤口处挑出;轻伤可贴上“创可贴”,也可涂以紫药水,必要时撒些消炎粉,再用绷带包扎。

2. 烫伤:不要用冷水洗涤伤处;伤口处皮肤未破时,可涂些饱和碳酸氢钠溶液,也可涂烫伤膏或万花油;如果皮肤已破,可涂些紫药水或高锰酸钾溶液。

3. 酸腐伤:先用大量水冲洗,再用饱和碳酸氢钠溶液(或稀氨水、肥皂水)清洗,最后再用水冲洗;如果酸液溅入眼内,立即用大量水长时间冲洗,再用2%硼砂溶液洗眼,最后用水冲洗。

4. 碱腐伤:先用大量水冲洗,再用2%乙酸溶液或饱和硼酸溶液洗涤,然后再用水冲洗;如果碱液溅入眼内,立即用大量水长时间冲洗,再用3%硼酸溶液洗眼,最后用水冲洗。

5. 吸入刺激性或有毒气体:吸入氯气、氯化氢气体时,可吸入少量酒精和乙醚混合气体来解毒;吸入硫化氢或一氧化碳气体而感到不适时,应立即到室外呼吸新鲜空气;氯气、溴中毒不可进行人工呼吸。

6. 火灾:发生火灾后不要惊慌,要立即一边灭火,一边防止火势蔓延,可采取切断电源、移走易燃药品等措施;灭火时要根据起火的原因选用合适的方法,一般小火可用湿布、石棉布或沙子覆盖燃烧物,火势大时可使用泡沫灭火器;电器设备所引起的火灾只能使用二氧化碳或四氯化碳灭火器灭火,不能使用泡沫灭火器,以免触电。

四、实验课要求

为了完成实验教学任务,对学生提出以下要求:

1. 认真做好实验课前的预习,认真阅读有关教材和参考资料,理解实验原理,熟悉实验步骤,明确实验注意事项;做好预习报告,无预习报告,不能进入实验室。

2. 在实验过程中既要动手,更要动脑;认真操作,仔细观察,积极思考;并如实记录实验现象和实验数据,原始实验数据必须记录在专用的实验报告上。

3. 严格遵守操作规程,在使用不熟悉的仪器和试剂以前,应查阅有关书籍或请教指导教师,以免发生意外事故。

4. 自觉遵守实验室规则,保持实验室内安静、整洁,实验台上清洁、有序,要树立环保意识,注意节约实验资源(如试剂、实验用水等),废液要按规定处理或排放。

5. 实验结束后应仔细清理和洗涤所用的实验仪器和器皿,关闭电、水、气闸(阀),经指导老师签字后方可离开实验室;实验后应及时整理、计算和分析实验数据和实验现象,认真书写实验报告。

五、实验报告书写要求

实验结束后完成实验报告的过程是对实验进行提炼、归纳和总结的过程,能进一步消化所学的知识,培养分析问题的能力。因此,要重视实验报告的书写。

实验报告一般应包括:实验名称、实验目的、实验原理、简要步骤、实验现象和数据记录、数据处理、实验结果分析与讨论、思考题解答等内容。具体要求如下。

1. 预习报告

主要完成实验名称、实验目的、实验原理、简要步骤、数据记录表格,并在表格旁留有空白处记录实验现象。记录实验数据时应注意以下事项:

(1) 实验中直接观察得到的数据称为原始数据,它们应该直接记录在实验预习报告上,不允许随意更改和删减。

(2) 数据记录的格式一般采用表格式,记录数据的有效位数应与所用仪器的最小读数相一致。

(3) 实验结束后,应将实验数据仔细复核后并报指导教师核查签字后方能离开实验室。

2. 实验报告

主要完成实验数据的处理、实验结果的分析与讨论、思考题的解答等。实验数据处理时应注意以下事项:

(1) 实验结果应以多次测定的平均值表示。

(2) 以何种形式表示实验结果要与实验要求相一致,必要时给出实验结果计算公式;如果在测试前曾对样品进行过稀释,则最后结果应折算为未稀释前原试样中的含量。

(3) 实验结果数据的有效数字位数要与实验中测量数据的有效数字相一致。实验报告的书写格式可参见以下模板。

_____化学实验报告

班级: _____ 姓名: _____ 学号: _____ 组号: _____

同组人姓名: _____ 实验时间: _____ 指导教师: _____

实验名称:

实验目的:

仪器与试剂(简要列出):

实验原理:

实验内容与步骤:

实验数据记录与处理:

思考题:

第二节 化学实验基本操作

一、实验试剂的存放与取用

化学试剂存放的一般原则为：固体试剂应装在广口瓶内，液体试剂应盛放在细口瓶或滴瓶内；见光易分解的试剂应装在棕色瓶内，盛放碱液的试剂瓶要用橡皮塞；每个试剂瓶上都要贴上标签，标明试剂的名称、浓度和配制日期。

试剂的取用一般分为液体试剂的取用和固体试剂的取用。

1. 液体试剂的取用

向试管中滴加液体试剂时，必须注意保持滴管垂直，避免倾斜，切勿倒立，防止试剂流入橡皮头内而将试剂弄脏。滴加试剂时，滴定的尖端不可接触容器内壁，应在容器口上方将试剂滴入；也不得把滴管放在原滴瓶以外的任何地方，以免被杂质污染。具体操作如图 1.1 所示。

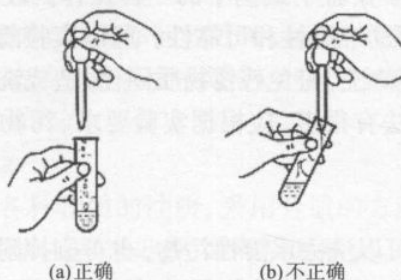


图 1.1 向试管中滴加液体试剂操作

用倾注法取用液体试剂时，应取出瓶盖倒放在桌上，右手握住瓶子，使试剂标签朝上，让瓶口靠住容器壁，缓慢倾出所需液体，让液体沿着杯壁往下流。若所用容器为烧杯，则倾注液体时可用玻璃棒引流。用完后，即将瓶盖盖上。具体操作如图 1.2 所示。

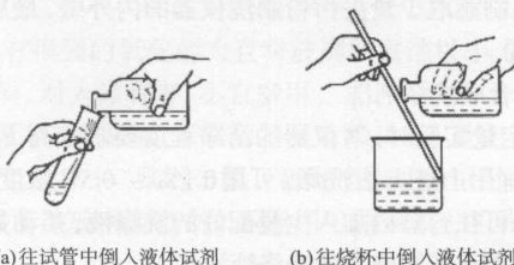


图 1.2 从试剂瓶中取用液体试剂操作

加入反应器内所有液体的总量不得超过总容量的 $2/3$,若用试管不能超过总容量的 $1/2$ 。

2. 固体试剂的取用

(1) 固体试剂要用干净的药匙取用。

(2) 药匙两端分别为大小两个匙,取较多的试剂时用大匙,取少量的试剂时用小匙。取试剂前首先用吸水纸将药匙擦拭干净。取出试剂后,一定要把瓶塞盖严,并将试剂瓶放回原处,再次将药匙洗净和擦干。

(3) 要求称取一定质量的固体时,可先把固体放在称量纸上或表面皿上,再在天平上称量。具有腐蚀性或易潮解的固体不能放在纸上,而应放在玻璃容器内进行称量。要求准确称取一定质量的固体时,可在分析天平或电子天平上用直接法或减量法称取。

二、玻璃仪器的洗涤与干燥

1. 玻璃仪器的洗涤

玻璃仪器洗涤是化学实验中最基本的一种操作。玻璃仪器的洗涤是否符合要求,直接影响实验结果的准确性和可靠性。所以实验前必须将玻璃仪器洗涤干净,仪器用过之后要立即清洗,避免残留物质固化,造成洗涤困难。

玻璃仪器的洗涤方法有很多,应根据实验要求、污物的性质和沾污程度来选择相应的洗涤方法。

(1) 水洗

直接用自来水刷洗可以洗去水溶性污物,也可刷掉附着在仪器表面的灰尘和不溶性物质,但该方法不能洗去玻璃仪器上的有机物和油污。洗涤方法是:在拟洗的仪器中加入少量水,用毛刷轻轻刷洗,再用自来水冲洗几次。注意刷洗时不能用秃顶的毛刷,也不能用力过猛,否则会戳破仪器。

(2) 用去污粉、肥皂刷洗

去污粉由碳酸钠、白土、细砂等组成,能除去油污和一些有机物。由于去污粉中细砂的摩擦作用和白土的吸附作用,洗涤效果更好。洗涤时,可用少量水将要洗的仪器润湿,用毛刷蘸取少量去污粉刷洗仪器的内外壁,最后用自来水冲洗,以除去仪器上的去污粉。

(3) 用洗衣粉、合成洗涤剂洗

在进行精确的定量实验时,对仪器的洁净程度要求较高,一些具有精确刻度、形状特殊的仪器不宜用上述方法洗涤,可用 0.1% ~ 0.5% 浓度的洗衣粉或合成洗涤剂洗涤。洗涤时,可往容器内加入少量配好的洗涤液,摇动数分钟后,把洗涤液倒回原瓶,然后用自来水把器壁上的洗涤液洗去。

(4) 用铬酸洗液洗

铬酸洗液是将等体积的浓硫酸和饱和重铬酸钾混合配制而成,它的强氧化性足以除去器壁上的有机物和油污。对于用上述方法仍洗不净的仪器可加铬酸洗液采用先浸后洗的方法进行清洗。对一些管细、口小、毛刷不能刷洗的仪器,采取这种洗法效果很好。用铬酸洗液清洗时,先用洗液将仪器浸泡一段时间,对口小的仪器可先向仪器内加入体积为仪器容积 $1/5$ 的洗液,然后将仪器倾斜并慢慢转动仪器,目的是让洗液充分浸润仪器内壁,然后将洗液倒出。如果仪器污染程度很严重,采用热洗液效果会更好些;但加热洗液时,要防止洗液溅出,洗涤时也要格外小心,防止洗液外溢,以免灼伤皮肤。铬酸洗液具有强腐蚀性,使用时千万不能用毛刷蘸取洗液刷洗仪器;如果不慎将洗液洒在衣物、皮肤或桌面时,应立即用水冲洗。废的洗液应倒在废液缸里,不能直接倒入水槽,以免腐蚀下水道和污染环境。

使用铬酸洗液时要注意以下几点:①被洗涤的仪器内不宜有水,以免洗液被冲稀而失效;②洗液吸水性很强,应随时把洗液瓶的盖盖紧,以防洗液吸水而失效;③六价铬有毒,清洗残留在仪器上的洗液时,第一、二遍洗涤水不要倒入下水道,以免腐蚀管道和污染环境,应作回收处理;④洗液用完后,应倒回原瓶,反复多次使用;多次使用后,铬酸洗液会变成绿色,此时洗液已不具有强氧化性,不能再继续使用。

(5) 特殊污物的去除

应根据沾在器壁上各种物质的性质,采用合适的方法或试剂来处理。例如,沾在器壁上的二氧化锰用浓盐酸来处理,就很容易除去。

根据上述洗涤方法,玻璃仪器的洗涤一般遵循以下原则:

①一般的器皿如烧杯、锥形瓶、试剂瓶、表面皿等,可用刷子蘸取去污粉或洗涤剂直接刷洗内外壁。

②移液管、容量瓶等量器内壁的清洗不用刷子,以免受机械磨损而影响容积的准确性,也不宜用强碱性洗涤剂来洗涤。

③量器内壁若有自来水无法洗去的污物时,可选用合适洗涤剂浸泡,必要时可将洗涤剂加热。

④铬酸洗液具有很强的氧化能力且对玻璃的腐蚀极小,洗涤效果好;但因六价铬是环境污染物质,对人体有害,不宜多用。

⑤称量瓶、容量瓶、碘量瓶、干燥器等具有磨口塞、盖的器皿,在洗涤前最好用线拴好塞、盖,以免洗涤中“张冠李戴”,破坏磨口处的密封性。

⑥比色皿是用光学玻璃制作的,不能用毛刷刷洗,可采用热水浸泡的方法洗涤。

采用上述各种方法洗涤后的仪器,经自来水多次、反复地冲洗后,还会留有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 等离子,只有在实验中不允许存在这些杂质离子时,才有必要用蒸馏水或去离子水将它们洗去,否则用蒸馏水或去离子水冲洗仪器是不必要的。用蒸馏水或去离子水洗涤仪器时,应遵循“少量多次”的原则,一般以洗3次为宜。已洗干净的仪器应清洁透明,当把仪器倒置时,可观察到器壁上只留下一层均匀的水膜而不挂水珠。凡已经洗净的仪器内壁,绝不能再布或纸去擦拭,否则,布或纸的纤维将会留在器壁上,反而沾污了仪器。

2. 玻璃仪器的干燥

根据不同情况,可采用下列方法将洗净的玻璃仪器进行干燥。

(1) 晾干

实验结束后,可将洗净的仪器倒置在干燥的实验柜内(倒置后不稳的仪器应平放)或放在仪器架上晾干,以供下次实验使用。

(2) 烤干

烧杯和蒸发皿可以放在石棉网上用小火烤干;试管可直接用小火烤干,操作时应将管口向下,并不时来回移动试管,待水珠消失后,将管口朝上,以便水汽逸去。

(3) 烘干

将洗净的仪器放进烘箱中烘干,放进烘箱前要先把水沥干,放置仪器时,仪器的口应朝下;也可将仪器套在“气流烘干机”的杆子上进行烘干。量器不可采用烘干的方法。

实验室一般使用的烘箱是恒温干燥箱,主要用于干燥玻璃仪器或无腐蚀性、热稳定性好的药品。使用时应先调好温度(烘玻璃仪器一般控制在 $100 \sim 110^\circ\text{C}$)。刚洗好的仪器应将水沥干后再放入烘箱中。烘仪器时,将烘热干燥的仪器放在上边,湿仪器放在下边,以防湿仪器上的水滴到热仪器上造成仪器炸裂。热仪器取出后,不要马上碰冷的物体,如冷水、金属用具等。带旋塞或具塞的仪器,应取下塞子后再放入烘箱中烘干。

(4) 用有机溶剂干燥

在洗净仪器内加入少量有机溶剂(最常用的是酒精和丙酮),转动仪器使容器中的水与其混合,倒出混合液(回收),晾干或用风吹风将仪器吹干,不能放在烘箱内干燥。

(5) 综合法

带有刻度的容器不能用加热的方法进行干燥,一般可采用晾干或有机溶剂干燥的方法,吹风时宜用冷风。

三、常用玻璃仪器的使用

定量分析常用的仪器中大部分为玻璃制品,根据其性能可分为可加热的(如各类烧杯、烧瓶、试管等)和不宜加热的(如量筒、容量瓶、试剂瓶等);按用途可分为容器类(烧杯、试剂瓶等)、量器类(如滴定管、移液管、容量瓶等)和特殊用途类(如干燥器、漏斗等)。化学实验中常用仪器如图1.3所示。



图1.3 定量分析中常用仪器