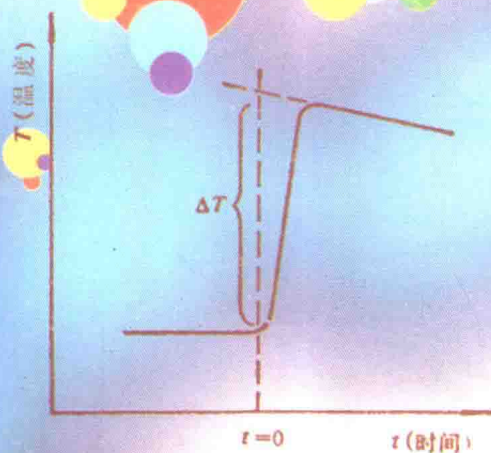
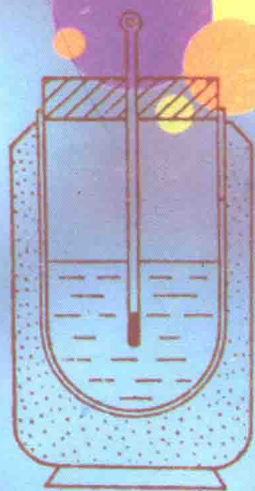


普通无机化学实验

(第二版)

陈秉垵 朱志良 刘艳生 顾金英 编



同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通无机化学实验/陈秉垵等编著. —上海: 同济大学出版社, 2000. 9
ISBN 7-5608-2184-7

I. 普… II. 陈… III. ①普通化学-化学实验-高等学校-教材②无机化学-化学实验-高等学校-教材
IV. 06-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 36444 号

普通无机化学实验(第二版)

作者 陈秉垵 朱志良 刘艳生 顾金英 编
责任编辑 王利 责任校对 司徒妙龄 装帧设计 李志云

出版 同济大学出版社
发行 (上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)
经销 全国各地新华书店
印刷 崇明晨光印刷厂印刷
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 9
字数 230400
版次 2000 年 9 月第 2 版 2000 年 9 月第 1 次印刷
书号 ISBN-7-5608-2184-7/O·182
定价 18.50 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

内 容 提 要

本书由普通无机化学实验课的基础知识和实验内容两大部分组成,基础知识主要讲述化学实验的科学意义、学习方法、实验室守则、常用仪器和基本操作技术以及关于化学实验文献查阅、实验方案设计、误差与数据处理、实验观察记录和报告写作方法等基本知识;实验内容由基本知识和操作 12 个实验、元素及其化合物性质 10 个实验、选做和提高 10 个实验组成。本书每个章节和实验的末尾都附有思考题,以帮助学生总结和巩固有关知识。

本书可作为非化学专业的工科无机化学实验教材或普通化学实验教材,也可供高等院校相关专业师生及其他工程技术人员参考。

前 言

(第二版)

《普通无机化学实验》一书自 1995 年 9 月出版至今已过去了近五年的时间。在这五年中,现代科学技术的发展日新月异,这同样也在化学这一学科领域中得到了充分的体现。为了使教材能适应化学学科不断发展的需要,在同济大学教务处和同济大学出版社的大力支持下,我们在第一版的基础上对教材进行了较大修改,例如,对有关常用仪器的使用进行了更新,对有关计算机处理数据部分作了改进,结合使用教材中所积累的经验 and 发现的问题,对许多实验内容作了进一步的修改和完善;并增附了实验报告。

第二版的编写分工如下:上篇由朱志良副教授及顾金英老师修改完成,下篇由陈秉垵教授、刘艳生副教授及顾金英老师修改完成,附录由刘艳生重新整理,所附实验报告由顾金英老师编写。感谢同济大学无机普化教研室的教师在使用第一版教材过程中提供的宝贵意见和经验。

编 者

2000 年 1 月于同济园

前 言

(第一版)

本教材以同济大学无机普化教研室所编的工科无机化学实验及普通化学实验为基础,考虑到二者之间的共性和区别,参阅了国内外有关教材和资料,在编写体系上进行了适当的调整,并作了以下努力和探索,以体现其特色。

一、精选内容,对实验进行适当分类,兼顾工科无机化学实验和普通化学实验的需要。

无机化学实验作为单独设立的一门基础课,其涉及范围很广,但为了避免实验教材篇幅过大,本书在保证达到高等工业学校无机化学课程教学基本要求的前提下尽量精选内容。根据本校历年的教学经验,结合教改成果,并参考国内外有关文献资料,对许多实验的编写作了改进,使其效果更明显,更富启发性,以真正锻炼学生的动手能力和分析解决问题的能力,同时提高实验的科学性。

普通化学实验就实验内容而言,在基本操作和技能训练、常数测定及基本理论验证等方面与无机化学实验要求相差不大;且从实验目的看,无论是培养学生独立操作、观察记录、分析归纳、撰写报告的能力,还是培养学生严谨的科学作风、科学的思维方法、分析解决问题的能力等诸多方面,与无机化学实验有许多共同之处。

故而我们尝试按以下体系编写兼顾工科无机化学实验和普通化学实验需要的普通无机化学实验教材。

整个教材分为两大部分。上篇为基础知识部分,着重介绍与普通无机化学实验有关的基本知识,并在阅读材料中对于误差及数据处理、化学实验文献的查阅、设计合理的实验方案及对化学反应的观察方法等也作了初步介绍。下篇为具体实验内容,分为基本操作训练和基础知识实验、元素及其化合物性质基础实验、选做和提高实验三个部分。其中第一部分着重于论述普通化学和无机化学实验可以共用的部分,包括基本操作训练、常用仪器使用、基本常数测定、基本理论验证等 12 个实验;第二部分主要是论述元素化合物性质实验部分;第三部分是选做和提高实验,主要是一些无机制备、综合设计实验和体现环境、材料等专业特色的一些实验。

二、重视对学生的能力培养和方法指导。无论是基础篇中的阅读材料,还是具体实验的编写,我们都力求使学生在学化学实验的同时受到更多的科学研究方法的训练和思想方法上的启迪。

三、本教材在实验结果数据处理中引入了微机计算程序,以提高学生的计算机应用能力并增加其学习兴趣。

四、根据同济大学化学系与德国高校多年来的教学经验交流,结合我国实验教学实际,在该教材中汲取了德国化学实验教学中的部分精华之处,为本教材增色。

书中上篇(基础知识)由朱志良编写,下篇中实验一至实验十二由刘艳生、章月珍编写,

实验十三至实验二十二由陈秉垵编写,选做和提高实验由朱志良、陈秉垵、刘艳生共同编写,附录由刘艳生整理。全书由陈秉垵主编,并由陈秉垵、朱志良最后修改定稿。同时,同济大学无机普化教研室全体同志为本书的编写出版作出了很大的贡献。

本书初稿承蒙陈与德教授审阅,并提出许多宝贵意见,谨表衷心感谢。

本教材可作为非化学专业的工科无机化学实验教材或普通化学实验教材使用,也可供有关专业的高等院校师生及其他工程技术人员参考。

限于编者水平,书中错误之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

编 者

1994年4月于同济大学

目 录

上篇 基础知识

1 绪论	(1)
1.1 普通无机化学实验的科学意义	(1)
1.2 普通无机化学实验的学习方法	(2)
1.3 实验室守则和注意事项	(3)
2 普通无机化学实验的常用仪器	(6)
2.1 反应容器	(8)
2.2 容量器皿	(8)
2.3 其他	(8)
3 普通无机化学实验的基本操作	(9)
3.1 煤气灯和酒精灯的使用方法	(9)
3.2 玻璃器皿的洗涤	(10)
3.3 器皿的干燥	(12)
3.4 加热方法和冷却方法	(12)
3.5 化学药品的取用	(13)
3.6 固液分离及蒸发、结晶	(15)
3.7 液体体积的量度及溶液的配制	(17)
3.8 气体的发生、净化和收集方法	(19)
3.9 称量	(20)
3.10 试纸的使用方法	(21)
4 阅读材料	(22)
4.1 误差与数据处理	(22)
4.2 化学实验文献查阅简介	(25)
4.3 实验方案的设计	(27)
4.4 化学反应的观察和记录	(29)

下篇 实验内容

5 基本操作训练和基础知识实验	(32)
5.1 实验一 基本操作训练	(32)
5.2 实验二 分析天平的使用和固体密度的测定	(35)
5.3 实验三 二氧化碳分子量的测定	(40)
5.4 实验四 硫酸亚铁铵的制备	(43)

5.5	实验五	化学反应焓变的测定	(44)
5.6	实验六	化学反应速率	(47)
5.7	实验七	酸碱滴定	(50)
5.8	实验八	弱酸电离度与电离常数的测定	(52)
5.9	实验九	氯化钠的提纯	(58)
5.10	实验十	氧化还原与电化学	(59)
5.11	实验十一	化学平衡及其移动	(63)
5.12	实验十二	磺基水杨酸铜配合物的组成及稳定常数的测定	(66)
6	元素及其化合物性质基础实验		(71)
6.1	实验十三	碱金属和碱土金属	(71)
6.2	实验十四	铬和锰	(73)
6.3	实验十五	铁、钴、镍	(78)
6.4	实验十六	铜、锌、银、镉、汞	(83)
6.5	实验十七	锡、铅、铋、铊	(88)
6.6	实验十八	几种常见阳离子的分离和鉴定	(91)
6.7	实验十九	氯、溴、碘的化合物	(91)
6.8	实验二十	氧和硫	(94)
6.9	实验二十一	氮和磷	(98)
6.10	实验二十二	常见阴离子的分离和鉴定	(102)
7	选做和提高实验		(106)
7.1	实验二十三	从废电解液中回收铜盐	(106)
7.2	实验二十四	石灰中活性氧化钙含量的测定	(106)
7.3	实验二十五	锌钡白的制备	(108)
7.4	实验二十六	铁氧体法处理含铬废水	(110)
7.5	实验二十七	水的净化及硬度测定	(112)
7.6	实验二十八	水样化学耗氧量(COD)的测定	(115)
7.7	实验二十九	硅酸盐材料的分解制样及SiO ₂ 含量测定	(116)
7.8	实验三十	硫酸胍的制备	(118)
7.9	实验三十一	过氧化锂的制备	(120)
7.10	实验三十二	从钛铁矿中提取二氧化钛	(120)
	附录 I	关于计算机处理实验数据	(122)
	附录 II	不同温度下水的饱和蒸气压	(126)
	附录 III	弱电解质的电离常数	(127)
	附录 IV	难溶电解质的溶度积(18~25℃)	(129)
	附录 V	某些离子和难溶化合物的颜色	(131)
	附录 VI	中华人民共和国法定计量单位	(133)
	实验报告册(另册)		

上篇 基础知识

1 绪论

1.1 普通无机化学实验的科学意义

当代青年人正以敏锐的目光时刻注视着周围瞬息万变的世界。他们在观察中思考,在思索中实践,为了实现自己的远大理想,注重设计自身的知识结构。从高温超导的进展,现代生物技术发展的日新月异,多种新型功能材料的不断涌现,大气、海洋的污染和环境保护,新一代抗癌药物的研制……到光子计算机、分子计算机的应用前景,核能的和平利用,甚至日常生活中令人目不暇接的化妆品广告,奥运会、世界田径锦标赛中兴奋剂检测的幕后新闻等等,无一不在他们的目光注视之下。然而,作为一名当代大学生,你是否能在这后面看到一个共同的东西,那就是化学在这些领域中的地位和作用。作为一名新世纪的大学生,作为一名未来的高级工程师技术人员,很难想象没有现代化学的基本知识而能成为一个全面发展的出色人才。可以这么说,现代科学技术的发展一日千里,各门学科间的交叉渗透日益增加。一个人要想在科学事业上有所建树,就必须有广阔的视野、渊博的学识。化学是自然科学的基础学科之一,无论是作为基础知识,还是作为其他学科的基础,或是研究问题的方法,给人的启迪,以及作为解决各类难题的特殊手段等,都是其他任何学科无法替代的,现代社会几乎所有的领域都离不开化学。

化学作为研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的科学,其本身的发展极其迅速。时至今日,由于量子力学计算理论的渐趋完善,随着计算能力的不断提高,使得人们已能从理论上对分子、原子的结构参数,光谱数值,反应中的能量变化,反应速率常数,新分子的合成可能性等作出相当可信的计算、说明和预言。

但从总体而言,化学仍然是一门实验性很强的学科,从新元素的发现,新化合物的合成,化学反应规律的研究到新理论、新假设的证实,都离不开实验的方法。同时,实验也是自然科学中研究问题的最重要最基本的方法之一。它可以借助于科学仪器设备所创造的条件,排除各种偶然、次要因素的干扰,使要研究的问题更为明了简化。它还可以造就自然界中无法直接控制而在生产过程中又难于实现的特殊条件(例如超高温、超低温、超高压、超高真

空、超强磁场等),按照人们的设想,能动地控制研究体系,去获取生产实践中不易或不可能得到的新发现。科学史表明,近代自然科学的重大发现,一般不是直接来自生产实践,而往往是来自于实验这个环节。

因此,化学实验教学不仅仅是传授知识,让你去验证、巩固和扩大课堂上学过的知识,掌握一些实验操作的基本技术,提高学习的兴趣;同时还是在学习化学实验过程中,培养自己创造性的思维能力以及进行科学研究和发明创造的基本方法,为自己将来从事科学研究打下基础,也为你日后工作中分析解决问题提供更多的思路和途径。

普通无机化学实验作为一门基础实验课程,若要在有限时间内要求学生达到很高的实验水平是不现实的。但万丈高楼平地起,通过实验基础知识的学习,通过一个个具体的实验,同学们可以在亲自动手、实际训练的过程中,去掌握它的基本操作方法和技能,并在实验过程中获得有关物质的性质、变化、反应规律等大量感性认识,巩固课堂知识、验证有关理论,同时学会一些分析解决问题的思维方法。这正是学习普通无机化学实验的目的之所在。

1.2 普通无机化学实验的学习方法

要达到实验的目的,必须有正确的学习态度和学习方法。学习普通无机化学实验大致分为三个步骤:

1) 预习

为了使实验能够获得良好的结果,实验前必须进行预习。预习应达到下列要求:

- (1) 认真阅读实验教材,明确本次实验的目的,搞懂实验原理及操作要求;
- (2) 对于设计实验要写出详细的操作步骤,对同一实验内容应尽量多考虑几种方案。

对各项实验应预测可能出现的现象;

- (3) 对于仪器的使用,在实验前要熟悉操作使用的要领;
- (4) 写好预习报告,不写好预习报告切勿进入实验室进行实验。

2) 实验

根据实验教材及自己的预习报告进行实验操作,并应该做到下列几点:

- (1) 认真操作,细心观察,并把观察到的现象,如实地详细记录在实验记录本或预习报告中;
- (2) 如果发现实验现象和理论不相符,应认真检查其原因,并细心地重做实验;
- (3) 实验中遇到疑难问题,应提请教师解答;
- (4) 在实验过程中应该保持安静,严格遵守实验室守则。

3) 实验报告

做完实验后要写出符合要求的实验报告。

实验报告是一次实验的完整总结,实验报告的内容、格式及要求将视实验内容的不同而不同。实验报告必须字迹工整(绝不允许涂涂改改、勾勾画画)、步骤简明、记录实验现象完整、数据真实、解释明确、计算无误、结论正确。

实验报告要按时交,不允许拖延。

下面是几种不同类型的实验报告的写法,供参考:

(1) 利用仪器测定常数或物质的某些性质以验证某一化学原理

对于这类实验,实验报告中一般先简述测定的原理和方法,然后是数据记录及其处理,再后是实验结果,最后是对本次实验的得失进行的讨论。

(2) 无机物性质实验

这类实验,多为试管反应。反应物浓度的差别,试剂加入先后次序的不同,都会引出反应现象及反应结果的改变。故而实验报告中一般先叙述实验内容,包括项目与步骤,对应观察到的现象以及对反应现象作简单说明并写出相应的主要化学反应方程式;然后对实验所得到的现象进行归纳小结,得出结论;最后也应对实验中所遇到的有关问题进行讨论。

(3) 无机制备类实验

一般先简述基本原理,然后写出实验所采用的简单流程和主要反应条件,描述实验过程中主要的现象,并对实验结果作出明确的评价,包括产量和产率及产品的纯度鉴定项目、方法和结果。最后进行问题讨论。

以上是几类常见实验报告的写法,除此之外,在每一份实验报告中均应写明实验名称,实验日期,实验地点,气温条件,实验者班级及姓名。

1.3 实验室守则和注意事项

1.3.1 学生进入实验室后应注意的事项

- (1) 遵守纪律,保持安静,集中思想,认真操作。
- (2) 仔细观察各种现象,并如实地详细记录于实验记录本中。
- (3) 实验后,废纸、火柴梗和废液等应倒在废物缸内,严禁倒入水槽内,以防水槽淤塞和腐蚀;碎玻璃应放在废玻璃箱内回收。
- (4) 爱护国家财物,小心使用仪器和实验室设备,注意节约水、电和煤气。
- (5) 使用药品时应注意下列几点:
 - ① 药品应按规定量取用,如果书中未规定用量,应注意节约,尽量少用。
 - ② 取用固体药品时,注意勿使其撒落在实验台上。
 - ③ 药品自瓶中取出后,不应倒回原瓶中,以免带入杂质而引起瓶中药品变质。
 - ④ 试剂瓶用过后,应立即盖上塞子,并放回原处,以免与其他瓶上的塞子搞错而混入杂质。
 - ⑤ 同一滴管在未洗净时,不应在不同的试剂瓶中吸取溶液。
 - ⑥ 实验教材中规定在实验结束后要回收的药品,都应倒入回收瓶中。
- (6) 使用精密仪器时,必须严格按照规程进行操作,细心谨慎,避免粗枝大叶而损坏仪器。如发现仪器有故障,应立即停止使用,并报告指导教师,及时排除故障。
- (7) 实验后,应将仪器洗刷干净,把实验台用抹布揩净。最后检查煤气开关和水龙头是否关紧。

1.3.2 实验室安全守则

注意安全是集体的事情。发生事故不仅使国家财产受到损失,影响工作的正常进行,还会损害个人的健康和危及到周围的人。因此,首先必须从思想上重视安全工作,绝不能麻痹大意。其次,在实验前,应了解仪器的性能和药品的性质,在实验过程中,应集中注意力,认真仔细进行操作和观察现象,严格遵守以下操作规程:

(1) 能产生有刺激性或有毒气体的实验(如 H_2S , HF , HCl , Cl_2 , SO_2 , NO_2 , Br_2 等),必须在通风橱内进行。

(2) 可燃性气体有一定的爆炸极限,操作时严禁接近明火,如在点燃氢气前,必须先检验其纯度。银氨溶液久置后易爆炸,故不宜保存。氯酸钾、硝酸钾、高锰酸钾等强氧化剂或者氯酸钾与硫磺或红磷的混合物不能研磨,否则易引起爆炸。

(3) 钾、钠和白磷暴露在空气中易燃烧,所以钾、钠应保存在煤油中,白磷则可保存在水中。对于易燃的有机溶剂,使用时必须远离明火,用毕立即用盖盖紧。

(4) 加热试管时,不要将试管口指向自己或别人,也不要俯视正在加热的液体。闻气体时不能用鼻子直接对着气体逸出的瓶口或试管口,而应用手把少量气体轻轻扇向自己。

(5) 浓酸、浓碱具有强腐蚀性,切勿洒在皮肤或衣服上。稀释它们时(特别是浓硫酸),应将它们慢慢倒入水中,而不能相反进行,以免溅沸溶液导致危险。

(6) 有毒药品,如可溶性钡盐、镉盐、铅盐、砷、汞、铬(VI)的化合物,特别是氰化物,不得进入口内或接触伤口,其废液也不能倒入下水道,应统一回收、处理。金属汞易挥发,会引起人慢性积累中毒,一旦落到地上,应尽量收集,并用硫磺粉盖在洒落的地方,使之转变成硫化汞。盛汞的容器中须加水将汞封盖。

(7) 实验室内严禁饮食,绝不允许任意混合各种化学药品,以免发生意外事故。

(8) 酒精灯或煤气灯应随点随用。用完煤气灯后,或遇临时中断煤气供应时应立即把煤气阀门关闭。发现煤气泄漏,应立即进行检查或报告有关人员。

(9) 实验完毕后,需洗净双手再离开实验室。

1.3.3 实验室中意外事故的处理

(1) 烫伤

可用高锰酸钾或苦味酸稀溶液措洗灼伤处,再搽上凡士林或烫伤油膏。

(2) 受强酸腐伤

应立即用大量水冲洗,然后搽上碳酸氢钠油膏或凡士林。

(3) 受浓碱腐伤

应立即用大量水冲洗,然后用柠檬酸或硼酸饱和溶液洗涤,再搽上凡士林。

(4) 割伤

应立即用药棉擦净伤口,搽上红药水,再用纱布包扎。如果伤口较大,应立即到医务室医治。

(5) 吸入刺激性或有毒气体

如吸入氯、氯化氢等刺激性气体或有毒气体,可吸入少量酒精和乙醚的蒸气解毒;吸入硫化氢气体则应立即到室外呼吸新鲜空气。当毒物进入口内,可速将 10 毫升稀硫酸铜溶液(约 5%)加入一杯温水中内服,然后用手指催吐,并及时送医院治疗。

(6) 白磷灼伤

可用 1% 硝酸银溶液,1% 硫酸铜溶液或 0.5% 高锰酸钾溶液洗涤,然后进行包扎。若被溴腐蚀,则应先用苯或甘油洗,再用水洗。

(7) 触电

首先切断电源,然后在必要时进行人工呼吸。

(8) 起火

一旦起火,要立即一面灭火,一面防止火势扩展。一般的小火可用湿布、石棉布或砂子覆盖燃烧物,即可灭火。火势大时可使用泡沫灭火器。但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。当然这两种灭火器也适用于扑灭其他火灾。实验人员衣服着火时,切勿惊乱,应赶快脱下衣服,或用石棉布覆盖着火处(就地卧倒打滚,也可起到灭火的作用)。切断电源、关闭煤气阀、移走易燃药品、停止通风等,都是必须采取的措施。

以上系伤害较轻或火势较小的应急救护措施。若伤势较重,则应立即送医院;火势较大,则应立即报火警。

2 普通无机化学实验的常用仪器

部分常用仪器如图 2-1 和图 2-2 所示。

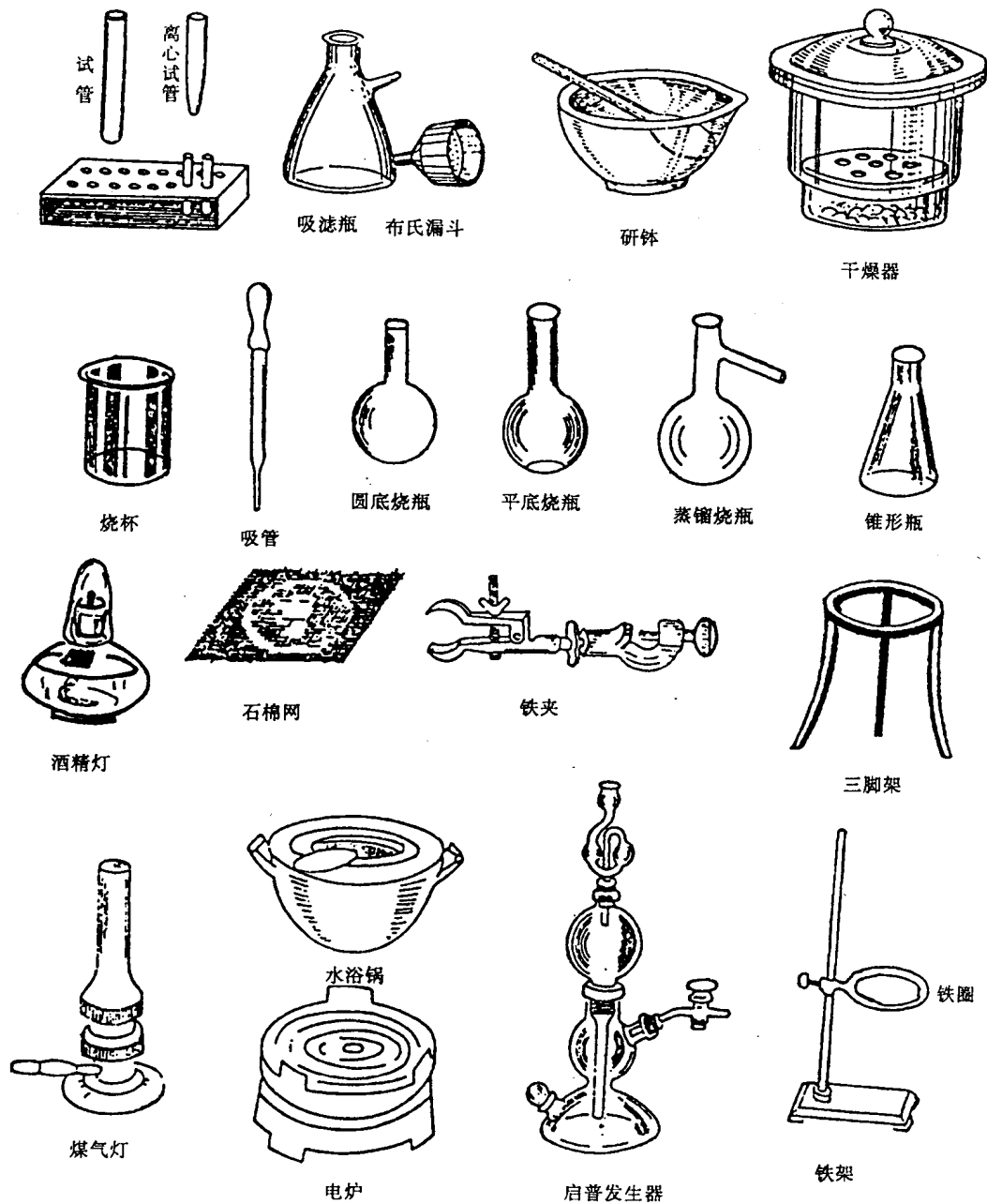


图 2-1 化学实验常用仪器图(一)

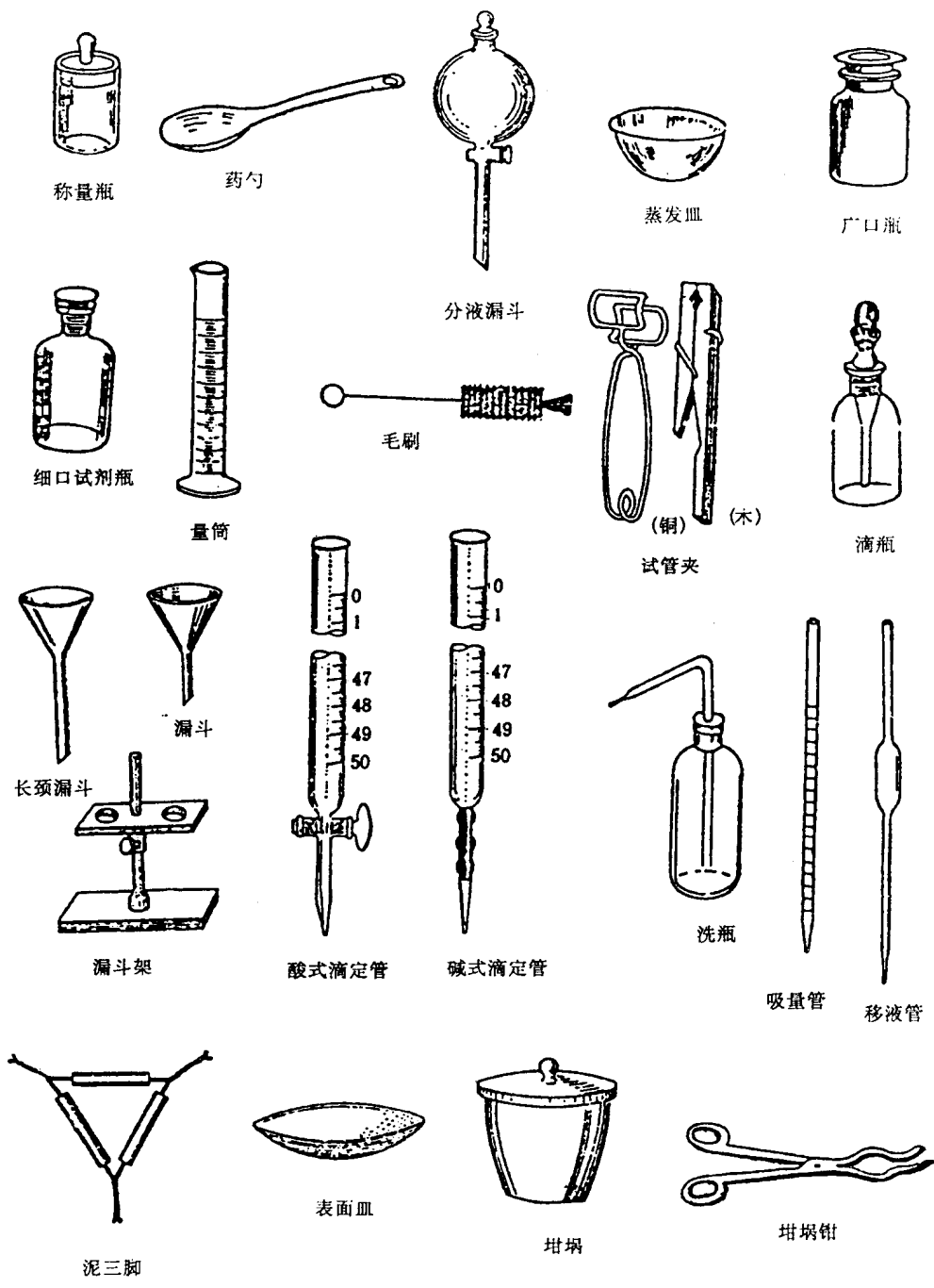


图 2-2 化学实验常用仪器图(二)

普通无机化学实验的常用仪器可粗略分为以下几类：

2.1 反应容器

反应容器有试管、蒸发皿、坩埚、烧杯、烧瓶、锥形瓶等。其中,试管、蒸发皿、坩埚可以直接置于火焰上方加热,而烧杯、烧瓶、锥形瓶等在加热时均应在底部垫上石棉网,以保证受热均匀,不致破裂。需注意的是,离心试管是不能在火焰上直接加热的。

2.2 容量器皿

这类仪器有量筒、容量瓶、移液管、滴定管等,它们均不能受热,否则将影响原有刻度的准确性,也极易受热破裂。

2.3 其他

广口瓶用于装盛固体药品,细口瓶及滴瓶用于盛放液体药品,这些试剂瓶的瓶塞均不得相互调换,以免污染试剂。普通漏斗、布氏漏斗以及吸滤瓶可用于不同场合的固液分离;分液漏斗则用于不相混溶的两相液体间的分离,也用于反应中需逐滴加入液体反应物的场合。干燥器中不能放入过热的物品。当加热不需超过 100℃ 时,可用水浴锅加热。三角架、试管架、铁架、泥三角、漏斗架等分别用于支撑起各类容器。

3 普通无机化学实验的基本操作

3.1 煤气灯和酒精灯的使用方法

煤气灯是化学实验室常用的加热器具,使用十分方便。它的式样虽多,但构造原理是一样的。它由灯管和灯座所组成(图 3-1)。灯管的下部有螺旋,可与灯座相连,灯管下部还有几个圆孔,为空气的入口,旋转灯管,即可完全关闭或不同程度地开启圆孔,以调节空气的进入量。灯座的侧面有煤气的入口,可接上橡皮管把煤气导入灯内,灯座下面(或侧面)有一螺旋形针阀,用以调节煤气的进入量。

当灯管圆孔完全关闭时,点燃进入煤气灯的煤气,此时的火焰呈黄色(系碳粒发光所产生的颜色),煤气的燃烧不完全,火焰温度并不高;逐渐加大空气的进入量,煤气的燃烧就逐渐完全。

煤气火焰分为三层(图 3-2):内层为焰心(无色),煤气未燃烧,温度 300℃左右;中层为还原焰,由于氧气不足,燃烧不完全,火焰呈淡蓝色,具有还原性,温度较高,可达 1500℃左右;外层为氧化焰,这里氧气充足,煤气充分燃烧,火焰呈淡紫色,具有氧化性,温度最高可达 1600℃左右,通常都是利用氧化焰来加热。

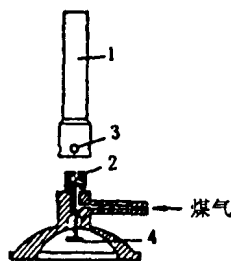


图 3-1 煤气灯的构造

1—灯管;2—煤气出口;3—空气入口;4—螺旋

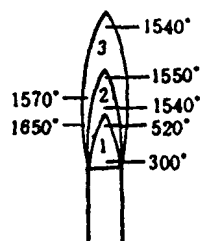


图 3-2 正常火焰的各部分

1—焰心;2—还原焰;3—氧化焰

当空气或煤气的进入量调节得不合适时,会产生不正常的火焰(图 3-3)。当煤气和空气的进入量都很大时,火焰就临空燃烧,称临空火焰,待引燃用的火柴熄灭时,它也立刻自行熄灭。当煤气进入量很小,而空气进入量很大时,煤气会在灯管内燃烧,而不是在灯管口燃烧,这时还能听到特殊的嘶嘶声和看到一根细长的火焰,这种火焰叫做“侵入火焰”;它将烧热灯管,一不小心就会烫伤手指。有时在煤



a) 正常火焰 b) 临空火焰 c) 侵入火焰

图 3-3 三种不同的火焰