

经全国中小学教材审定委员会
2005年初审通过

普通高中课程标准实验教科书


化学

选修6

实验化学

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
化学课程教材研究开发中心



 人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书


化学

选修6

实验化学

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
化学课程教材研究开发中心



 人民教育出版社

主 编：宋心琦

副主编：王 晶 李文鼎

本册主编：宋心琦 周宁怀

副主编：冷燕平

编写人员：周宁怀 李文鼎 申敬红 冷燕平 宋心琦（按编写顺序）

责任编辑：李文鼎 冷燕平

美术编辑：李宏庆

摄 影：朱 京

绘 图：李宏庆 刘 菊

第一单元 从实验走进化学

| | |
|-----------------------------|----|
| 课题一 实验化学起步 | 1 |
| 实验 1-1 蓝瓶子实验 | 5 |
| 课题二 化学实验的绿色追求 | 7 |
| 实验 1-2 氯气的生成及其性质的微型实验 | 9 |
| 实验 1-3 污水处理——电浮选凝聚法 | 10 |
| 归纳与整理 | 12 |

第二单元 物质的获取

| | |
|-----------------------------|----|
| 课题一 物质的分离和提纯 | 14 |
| 实验 2-1 纸上层析分离甲基橙和酚酞 | 17 |
| 实验 2-2 海水的蒸馏 | 18 |
| 实验 2-3 从海带中提取碘 | 20 |
| 课题二 物质的制备 | 22 |
| 实验 2-4 硫酸亚铁铵的制备 | 25 |
| 实验 2-5 乙酸乙酯的制备及反应条件探究 | 27 |
| 实验 2-6 氢氧化铝的制备 | 28 |
| 归纳与整理 | 30 |

第三单元 物质的检测

| | |
|------------------------------|----|
| 课题一 物质的检验 | 32 |
| 实验 3-1 几种无机离子的检验 | 37 |
| 实验 3-2 几种有机物的检验 | 38 |
| 实验 3-3 植物体中某些元素的检验 | 39 |
| 课题二 物质含量的测定 | 41 |
| 实验 3-4 酸碱滴定曲线的测绘 | 49 |
| 实验 3-5 比色法测定抗贫血药物中铁的含量 | 52 |
| 实验 3-6 食醋中总酸量的测定 | 53 |
| 归纳与整理 | 55 |

| | |
|-----------------------------|----|
| 课题一 物质性质的研究 | 56 |
| 实验 4-1 纯净物与混合物性质的比较 | 57 |
| 实验 4-2 金属镁、铝、锌化学性质的探究 | 58 |
| 课题二 身边化学问题的探究 | 59 |
| 实验 4-3 含氯消毒液性质、作用的探究 | 60 |
| 实验 4-4 饮料的研究 | 62 |
| 课题三 综合实验设计(选学) | 63 |
| 实验 4-5 综合实验设计实践 | 65 |
| 归纳与整理 | 67 |

附录

| | |
|-----------------------------------|----|
| 附录 I 化学实验规则 | 68 |
| 附录 II 化学实验中的一些常用仪器 | 69 |
| 附录 III 部分盐、氧化物、碱溶解性表 | 72 |
| 附录 IV 常见离子和化合物的颜色 | 73 |
| 附录 V 实验室常用酸、碱溶液的配制方法 | 74 |
| 附录 VI 一些酸、碱溶液中溶质的质量分数和溶液的密度 | 75 |
| 附录 VII 几种仪器分析方法简介 | 77 |
| 一、质谱分析法简介 | 77 |
| 二、红外光谱分析法简介 | 78 |
| 三、核磁共振谱分析法简介 | 80 |
| 附录 VIII 元素周期表 | |

化学是一门实验科学，化学所取得的丰硕成果，是与实验的重要作用分不开的。归纳起来有以下几方面：

- 化学实验是人类认识自然、认识物质的有力工具；
- 化学的理论、规律及应用都是通过对大量实验事实、资料进行分析、概括、综合和总结而发现的；
- 化学家的设想、假说、理论都要求通过科学实验或实际生活的验证；

思考与交流

1. 在以前的化学课程中，你已经学过许多化学知识，做过一些化学实验，请举出几个通过化学实验认识物质性质的例子。

2. 在查阅资料，收集实例的基础上，交流对化学实验在促进社会、生产、科技发展方面重要作用的认识。以下是供选题目，你也可以自选课题来研究。

- (1) 科学家通过实验，发现并证实了门捷列夫预测的三种未知“元素”。
- (2) 科学家通过化学实验发明了合成氨技术。
- (3) 从乙烯到聚乙烯，从天然橡胶到合成橡胶，或其他有机合成技术的发展。

.....

实验化学不仅可以帮助我们学习一些新的化学知识，为正确认识物质及其变化规律提供实验事实，更重要的是通过学习和实践培养实验能力和科学素质。只有亲自动手实验，才能掌握实验的方法和技能，真实地体验实验探究的艰辛，真正感受发现的乐趣和科学的魅力。

课题一 实验化学起步

一、实验化学的目标、内容与学习方法

1. 实验化学的目标

(1) 认识化学实验是学习化学知识、解决生产和生活中的实际问题的重要途径和方法；

(2) 掌握基本的化学实验方法和技能，了解现代仪器在物质的组成、结构和性质研究中的应用；

(3) 了解化学实验研究的一般过程,初步形成运用化学实验解决相关问题的能力;

(4) 形成严谨求实的科学态度,具有批判精神和创新意识;

(5) 形成绿色化学的观念,强化实验安全意识。

2. 实验化学的内容

(1) 通过实验活动,获得一些化学事实,再经过思考、归纳、小结,进一步认识化学变化的本质;

(2) 初步掌握分离、提纯、制备、合成物质的方法;

(3) 认识反应条件的控制在化学研究中的作用与意义;

(4) 认识定量分析在化学研究中的重要性;

(5) 学习实验设计的基本方法和思路。

3. 实验化学的学习方法

每门课程都有自身的特点,也有适合该课程的不同学习方法。要学好实验化学,建议你理论联系实际,把实验和化学原理的学习结合起来,充分利用现有的实验条件,勤于思索,勇于实践,有条不紊地进行探究。学习中一定要重视以下三个环节。

(1) 预习

● 认真阅读教科书,复习或学习相关的化学知识,查阅有关参考资料、数据;

● 明确实验目的、基本原理和实验内容;

● 设计实验(包括设计步骤、选择用品、绘制装置图、设计记录用表等)。

(2) 实验

● 严格遵守实验规则,注意安全;

● 按预习时所作设计进行实验,在实验过程中,认真操作、仔细观察、积极思考,及时并如实地记录实验现象和数据;

● 实验中出现异常现象或发现新问题时,应认真分析和检查原因,必要时可对原设计进行修改,经指导老师同意后可重新实验;

● 实验后清洗仪器,整理实验台。

(3) 完成实验报告

● 认真分析实验现象及实验中出现的问題;

● 对实验数据进行处理(如计算、作图等),分析导致失败和产生误差的原因;

● 小结实验过程,完成“问题与讨论”;

● 进行自我评价,总结收获,对实验提出改进意见或建议;

学习格言

● “兴趣是最好的老师”,积极的态度是最有效的催化剂。

● “工欲善其事,必先利其器”,有了正确的学习方法,可以帮助你做到事半功倍。

● “胜不骄,败不馁”,成功固然令人兴奋,失败也不要气馁,要善于总结,从中汲取宝贵的经验教训。

● “Head + Hand + Hardworking = Success”这句话告诉我们成功是怎样得来的。



图 1-1 科学家的品质

● 独立完成实验报告，报告应实事求是、简明扼要。

思考与交流

阅读下面的科学史实，思考这段历史对我们有什么启示？科学家应具备哪些科技素质和优良品质？把你想到的填入图 1-1 的空白(网纹)处。

科学史话

第三位小数的胜利

1892 年，英国学者雷利发现从空气中除去氧气、二氧化碳和水蒸气得到的氮气的密度是 1.2572 g/L ；而从分解亚硝酸铵得到的氮气的密度为 1.2508 g/L 。为什么这两种不同来源的氮气会有不同的密度？他百思不得其解，便写了一封公开求助信。英国化学家拉姆塞认为，这种差异可能是由空气制得的氮气中还含有密度较大的不活泼气体引起的。于是他们相约进一步开展研究。拉姆塞把镁放在前者中燃烧，使镁与氮作用生成氮化镁 (Mg_3N_2) 以消除氮气，结果剩下一小部分气体；雷利用别的实验方法也证明了这剩下的气体占空气总体积的 $1/80$ 。通过对这种剩余气体进行光谱分析，确定该气体是一种新元素——氩。由于氩气的化学性质很不活泼，当时的元素周期表中还没有它的位置。这又启发他们去寻找氩的同族元素。经过 10 余年不懈努力，在众多化学家的协作下，终于发现了一整族的稀有气体元素，即周期表中的 0 族元素。0 族元素的发现以雷利利用实验探索两种不同来源氮气的密度差异为开端。这段史实被形象地称为化学史上“第三位小数的胜利”。



图 1-2 雷利

(J. W. S Rayleigh, 1842—1919)



图 1-3 拉姆塞

(W. Ramsay, 1852—1916)

二、保证实验安全

化学实验不仅要用到许多化学试剂(其中有些属于危险品)，而且要用到一些专门仪器(如易破裂的玻璃仪器和加热用的灯具)，它们有可能给使用者造成伤害。有毒气体的产生、实验废液的排放也会引发环境问题。所以正确使用各种仪器，避免身体与化学试剂直接接触，防止污染环境是科学实验工作者必须遵守的基本规则。对于初学者来说，则更应

重视实验安全。本书实验活动内容中将使用一些安全警示图标^①，用以提示在该活动中应当特别注意的安全问题。我们应当积极地理解并加强这种意识，认真学习和练习各种仪器的使用方法，安全地完成实验。

思考与交流

1. 根据你的经验，举例说明在实验活动中，哪些试剂(或实验)或哪些做法可能会导致事故。

2. 归纳在化学实验中保证安全的具体措施。例如，应如何使用有毒、有腐蚀性的试剂？怎样使用玻璃仪器？怎样闻气体的气味？点燃气体前应如何验纯？加热时应怎样保证安全？怎样防止污染环境？……

三、实验成功的关键

自然界中的变化或工业生产过程往往由多个因素所控制，在研究其变化规律时，为了避免各因素间相互作用带来的复杂性，在科学实验中，经常采取“逐个解决”的方法。如固定其他因素，只让一种因素变化的方法。例如，在必修化学的学习中，我们曾分别做过温度、催化剂、浓度等对化学反应速率影响的实验，综合考虑这些因素，我们对为什么化学反应进行的快慢不同有了初步的认识。这种控制一些条件不变，研究某一因素对反应影响的实验方法已经成为最常用的一种科学方法。

在以下科学探究活动中，你一定会有许多收获，也能初步体验控制实验条件的方法。对于每一个具体的化学实验而言，控制好实验的条件极其重要，是达到实验目标、完成实验的关键。

科学探究

一、铁的+2价化合物有较强的还原性，易被氧化。如 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 易被空气中的氧气氧化，甚至能被溶解于溶液中的氧气氧化。在必修化学课程中，我们曾做过 FeSO_4 溶液与 NaOH 溶液反应的实验，生成的灰白色沉淀迅速变成灰绿色，最后变成红褐色。

请根据以下提示，设法控制实验条件，制备较纯净的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 白色沉淀。

1. 确定研究问题的突破口时，可以从考虑以下问题入手。

(1) FeSO_4 溶液中的 Fe^{2+} 可能已有少量被氧化，要设法除去，如何实现？

^① 安全警示图标及含义：



- (2) NaOH 溶液中已溶解了少量氧气，如何除去？
 (3) 为了防止氧气参与反应，反应体系需隔绝空气，应如何操作？
 (4) 还应考虑哪些影响因素？
2. 设计实验步骤(可以用表格形式表示，下表供参考)。

实验方案设计与记录

| 编号 | 实验内容 | 操作 | 现象 | 结论 |
|-----|--|----|----|----|
| (1) | 除去 FeSO ₄ 溶液中的 Fe ³⁺ | | | |
| (2) | | | | |
| (3) | | | | |
| (4) | | | | |
| | | | | |

3. 进行实验探究，并把探究结果填入上表或你自己设计的表中。

二、回忆学习过的化学反应或化学实验，思考还有哪些因素可能对化学反应产生影响？举一些例子并对所举的例子分类，从中能否找出一些规律？

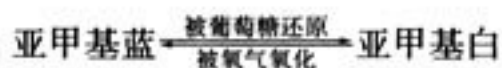
实验 1-1 蓝瓶子实验

实验目的

1. 了解控制化学反应条件的作用。
2. 通过观察亚甲基蓝和亚甲基白在不同条件下的相互转化，学习观察方法，体验对比实验法。

实验原理

亚甲基蓝^①是一种暗绿色晶体，溶于水和乙醇，在碱性溶液中，蓝色亚甲基蓝很容易被葡萄糖还原为无色亚甲基白。振荡此无色溶液时，溶液与空气的接触面积增大，溶液中氧气的溶解量就增多，氧气把亚甲基白氧化为亚甲基蓝，溶液又呈蓝色。



静置此溶液时，有一部分溶解的氧气逸出，亚甲基蓝又被葡萄糖还原为亚甲基白。若重复振荡和静置溶液，其颜色交替出现蓝色—无色—蓝色—无色……的现象，这称为亚甲基蓝的化学振荡。它是反应体系交替发生还原与氧化反应的结果。由蓝色出现至变成无色所需要的时间是振荡周期，振荡周期的长短受反应条件如溶液的酸碱度、反应物浓度和温度等因素的显著影响。当反应受到多个因素影响时，通常采用只改变某个因素，而维持其他因素不变的对照实验法来进行研究。

^① 一种碱性染料，除用于丝、毛染色外，还用作组织切片和细菌的染色剂。

实验用品

0.1%亚甲基蓝溶液、30% NaOH 溶液、葡萄糖、蒸馏水。

锥形瓶、试管、滴管、橡胶塞、烧杯、酒精灯、量筒、托盘天平、温度计、计时器。

实验步骤



1. 在锥形瓶中加入 50 mL 水，溶解 1.5 g 葡萄糖，逐滴滴入 8~10 滴 0.1%亚甲基蓝至溶液呈蓝色。振荡锥形瓶，观察并记录现象。

2. 加入 2 mL 30% NaOH 溶液，振荡、静置锥形瓶，观察并记录现象。再振荡锥形瓶至溶液变蓝，又静置锥形瓶，连续记录两次振荡周期。

3. 把锥形瓶中的溶液分别倒入两支试管：①号试管装满溶液并用橡胶塞塞紧；②号试管只装半试管溶液并用橡胶塞塞好。同时振荡两试管，观察现象，对有颜色变化的试管，连续观察并记录两次振荡周期。

4. 把①号试管中的溶液分一半到③号试管中，再向③号试管中滴加 2 滴 0.1%亚甲基蓝，塞好两支试管。同时振荡，静置试管，观察并记录现象和振荡周期。

5. 把①号、③号试管置于 40 °C 的水浴中，约 10 min 后，再振荡，静置试管于水浴中，观察并记录振荡周期的时间。

6. 实验结束时，集中回收反应溶液，留作以后使用。

问题与讨论

1. 实验步骤 1 和步骤 2 的目的是什么？

2. 本实验探究了哪些因素对亚甲基蓝振荡反应的影响？请设计探究其他因素对此反应影响的实验方案。

3. 通过实验，你对“控制实验条件对化学反应会产生影响”是否有了新的理解？简述你的体会与感受。

实验报告 1-1 蓝瓶子实验^①

班级_____ 实验者_____ 合作者_____ 日期_____

实验目的

实验原理

亚甲基蓝 $\xrightarrow[\text{振荡, 被氧气氧化}]{\text{静置, 被葡萄糖还原}}$ 亚甲基白

实验用品

实验步骤及记录^②

^① 这是一种形式的实验报告示例。不同类型、不同内容的实验，报告的形式、内容、记录表格也不相同。例如，有的实验报告还应包括“实验记录整理与分析”“实验数据处理”等栏目。

^② 实验目的、实验原理、实验用品、实验步骤及记录（表格设计）等栏目应在预习时完成。

| 步骤 | 操作 | 实验现象 | | 振荡周期 | | 结论 |
|----|---|------|----|------|-----|----|
| | | 静置 | 振荡 | (1) | (2) | |
| 1 | 锥形瓶中加入 50 mL 水, 1.5 g 葡萄糖, 逐滴滴入 8~10 滴 0.1% 亚甲基蓝, 振荡 | | | | | |
| 2 | 加入 2 mL 30% NaOH 溶液, 振荡、静置 | | | | | |
| 3 | 把溶液分别倒入两支试管, ①号试管装满, ②号试管只装半管, 都用塞子塞好, 振荡、静置 | ① | | | | |
| | | ② | | | | |
| 4 | 把①号试管中溶液分一半到③号试管中, 再向③号试管中滴加 2 滴 0.1% 亚甲基蓝, 塞好两支试管, 振荡、静置 | ① | | | | |
| | | ③ | | | | |
| 5 | 把①、③号试管置于 40 °C 水浴中, 约 2~3 min 后, 振荡、静置 | ① | | | | |
| | | ③ | | | | |

实验小结

问题与讨论

- 1.
- 2.
- 3.

课题二 化学实验的绿色追求^①

化学制品的广泛应用, 促进了社会进步与发展, 提高了人们的生活质量, 但化学制品的不合理使用也给环境带来一定影响, 甚至造成危害。为了实现科技、社会与生态环境和谐发展, 可持续发展战略已成为世界各国的基本国策, 绿色化学应运而生。

绿色化学 green chemistry

绿色化学又称环境友好化学或清洁化学, 是从源头上防止污染产生或把化学过程对环境的负面影响降低到最低程度的化学。绿色化学要求原料和产品无害, 在化学过程中不产生“三废^②”或使“三废”降低到最低程度。这些原则不仅适用于化工生产, 同样是化学实验与日常生活中使用化学品时所应遵循的原则。

① 本课题安排的实验或拓展实验中, 每个学生至少应选做一个。

② 指废气、废水和废渣。

使用化学品的 5R 原则

(1) 拒用危害品 (reject)。严禁生产和使用对环境有严重危害或长期危害的产品,如全国查禁毒鼠强,一些省份停止含磷洗涤剂的生产与销售等。

(2) 减量使用 (reduce)。在实验、生产与生活中,凡用到化学品时,都应在不影响效果的情况下,尽量减少其用量。这样,既节约资源又避免对环境造成污染。

(3) 再生 (regenerate)。要求在设计化工产品时,就应考虑到原材料、产品的再生利用,特别是高分子材料。再生是变废为宝,节省资源、能源,减少污染的有效途径。

(4) 循环利用 (recycle)。化学反应或化工生产中产生的副产物,排放物甚至是冷却水等,都应该回收循环使用,决不能不经处理就排放到环境中去。

(5) 再生利用 (reuse)。对化学家而言,世界上没有废物,只有未被利用的物质。本着这个原则,要尽可能地利用各种化学过程的“废物”。

化学实验的绿色化就是以绿色化学的理念和原则来指导实验工作,使实验室的“三废”排放降低到最低程度并能得到妥善的处理,实验室的安全性和环境质量得到提升,师生的绿色化学和环保意识得到强化。这对于 21 世纪人才的重要意义是不言而喻的。

化学实验绿色化的途径有以下几个方面:

(1) 开发绿色实验,如实验室以 H_2O_2 分解制氧取代氯酸钾分解法,实现原料和反应过程的绿色化;

(2) 防止实验过程中尾气、废物等对环境的污染,实验中有危害性气体产生时要加强尾气吸收,对实验产物尽可能再利用等;

(3) 在保证实验效果的前提下,尽量减少实验试剂的用量(如降低试剂浓度,减少用量等),使实验小型化、微型化;

(4) 对于危险或反应条件苛刻,污染严重或仪器、试剂价格昂贵的实验,可采用计算机模拟化学实验或观看实验录像等办法;

(5) 妥善处置实验产生的废物,防止污染环境。

实践活动

用塑料多用滴管吸入 5% NaOH 溶液,两侧各斜插入一个大头针(互不接触)作电极,弯曲滴管斜置于 6 孔井穴板上(如图 1-4),管口所在的井穴内加入 4~5 mL 水和 2 滴洗涤剂。把 9 V 电池两极与电极联通,电解开始。待井穴水面布满气泡时,用点着的火柴靠近气泡,可听到尖锐的爆鸣声。

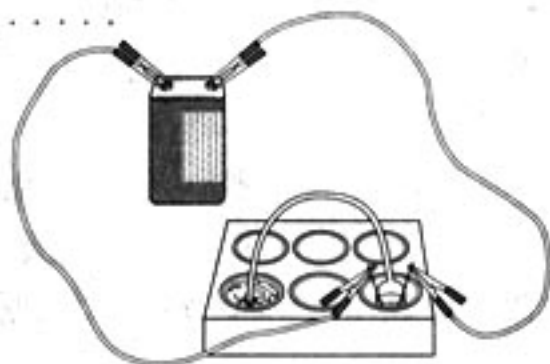


图 1-4 水的电解与氢氧混合气爆鸣的微型实验

思考与交流

上面活动中的实验是否体现了绿色化学的思想？与初中曾做过的电解水实验相比，有哪些优点？

实验 1-2 氯气的生成及其性质的微型实验

实验内容

氯气的生成与重要性质的微型实验。

实验目的

1. 通过微型实验复习 Cl_2 的制取并试验其性质。
2. 体验实验微型化与规范化的关系。
3. 培养进行化学实验创新设计的意识。

学 与 问

氯气有哪些物理性质和化学性质？它能与哪些物质发生反应？

实验原理提示

KClO_3 晶体与浓盐酸反应时，会立即产生氯气。

本实验利用表面皿与玻璃片之间形成的一个相对密闭的小气室，使生成的少量氯气在密闭空间扩散，与各试剂液滴迅速反应，现象明显，并可防止氯气泄漏。

实验用品

$0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ KBr 、 KI 、 NaOH 、 FeSO_4 溶液、 KClO_3 晶体、浓盐酸、淀粉液、酚酞、 KSCN 溶液、pH 试纸。

滴管、白纸、表面皿、玻璃片。

实验步骤



1. 在一块下衬白纸的玻璃片的不同位置上分别滴加浓度为 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KBr 、 KI （含淀粉溶液）、 NaOH （含酚酞）、 FeSO_4 （含 KSCN ）溶液各 1 滴，每种液滴彼此分开（应在下衬的白纸上编号，记清各液滴的位置），围成半径小于表面皿的圆形（如图 1-5 所示，你可以任意补充几种反应物，使各液滴排成圆形）。在圆心处放置 2 粒芝麻大小的 KClO_3 晶体。盖好表面皿。

2. 打开表面皿，向 KClO_3 晶体滴加一滴浓盐酸，

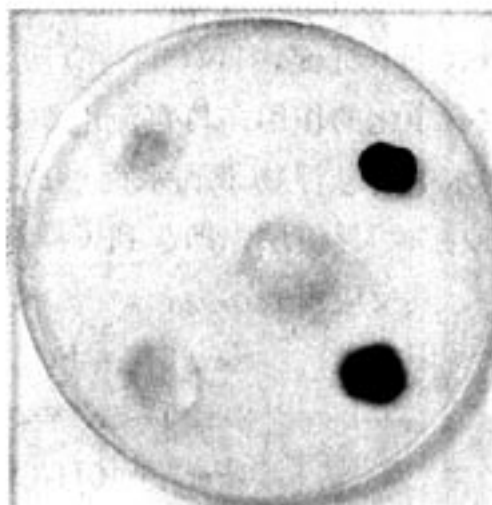


图 1-5 氯气生成及性质

立即用表面皿盖好。观察氯气的生成及其与各液滴反应的现象(约2分钟)。记录各液滴的变化,写出相应反应的化学方程式。

问题与讨论

1. 氯酸钾与浓盐酸的反应是一个氧化还原反应,请分析反应中的电子得失情况。
2. 利用这套简易装置,你设想还能进行哪些实验?请举出一些。它们之间有什么共同特点?

拓展实验

化学实验中要用到多种仪器,当实验条件尚可但又缺少规范的仪器时,也可以利用现有的或易得的仪器或材料来完成实验。下面介绍的利用计算机软盘盒作反应容器来研究气体的生成与性质的做法,就是其中一例。

1. 试利用计算机软盘盒进行气体的生成与性质的微型实验。

计算机软盘盒是用透明塑料制成的,它与一般无机试剂没有明显的反应,而且具有一定的封闭性,可用于进行气液反应的微型实验。

- (1) 在软盘盒盖的适当位置钻孔,以便滴加液体反应试剂。
 - (2) 在软盘盒底的适当位置滴加或放置反应试剂。
 - (3) 盖好盒盖,并通过小孔滴加试剂,反应即可在密闭空间内进行。
2. 请你利用该软盘盒,设计气体生成与性质的小实验。
 3. 再设计1~2种利用其他日常物品进行实验的方案。

实验 1-3 污水处理——电浮选凝聚法

实验目的

1. 了解电浮选凝聚法处理污水的原理及装置。
2. 培养保护环境意识。

实验原理

电浮选凝聚法是工业上采用的一种污水处理方法。图1-6是电解污水实验装置示意图。接通直流电源后,与直流电源正极相连的阳极铁失去电子生成 Fe^{2+} ,进一步被氧化,并生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 有吸附性,可吸附污物而沉积下来,具有净化的作用;与直流电源负极相连的阴极产生 H_2 ,气泡把污水中的悬浮物带到水面形成浮渣层,积累到一定厚度时刮去(或撇掉)浮渣层,即起到了浮选净化的作用。

其反应可表示为:

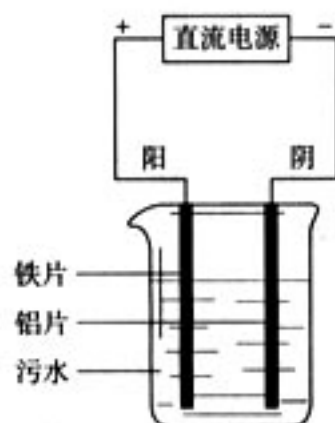
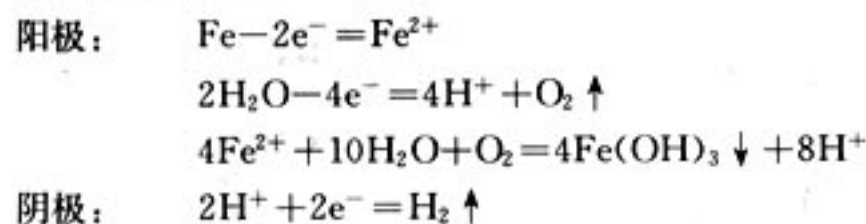


图 1-6 电解污水实验

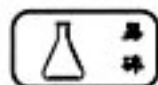
若污水导电性不良时，可加入适量硫酸钠溶液。本方法的缺点是电能消耗较高。

实验用品

污水^①、盐酸、氢氧化钠溶液、硫酸钠溶液。

烧杯、铝片、铁片、直流电源(含电压、电流表)、pH试纸、导线。

实验步骤



在 100 mL 烧杯中加入 80 mL 污水，调节 pH 至 5~6，平行悬置两个电极（铝片作阴极，铁片作阳极）接通直流电源（电压 6~9 V），调控电流，使电极上有气泡持续生成。电解一段时间后，污水表面逐渐形成一层浮渣，而在烧杯底部也积聚一层沉渣，中间层则为澄清的水。

问题与讨论

查阅有关污水处理的资料，交流并归纳污水处理的不同方法。

拓展实验

1. 利用塑料多用滴管或废旧透明小塑料瓶进行电解污水的微型实验。

提示：用塑料多用滴管吸入有色废水（其中加有少量 Na_2SO_4 溶液，想想为什么），用钢针（或大头针）作电极，联接 9 V 电池，电解约 5~10 min（如图 1-7）。

2. 自制小电池。

（1）在家利用铝易拉罐、废铁罐、铜片、锌片、小塑料瓶、塑料隔膜（带孔）、导线、小铁夹、小灯泡或发光二极管等物品，制作小型环保电池的外壳及电极。制作时尽量使两极的面积大些，相互靠得近些。

（2）用食盐、含氯消毒液，制成电池液。

（3）在实验室向小电池里加入电池液，并试验其是否能使灯泡发光。

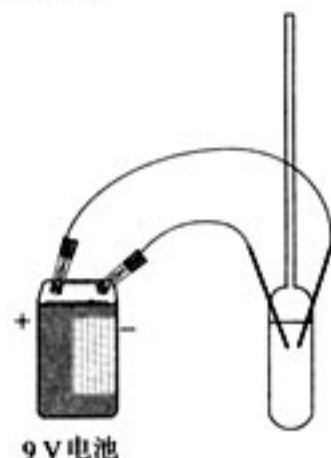


图 1-7 电解污水的微型实验

^① 可用加有着色物质（如水溶性染料等）的水溶液作为模拟有色废水，来替代污水进行本实验，以颜色是否消失来判断净化效果。

归纳与整理

化学是以实验为基础的科学。实验是学习化学的重要手段，通过实验不仅能学到第一手化学知识，训练动手能力和实验技能，受到科学方法和科学思维的训练，还能得到科学精神和品质的培养。

- 实验者必须具备实验安全知识，并严格遵守安全规则。
- 预习、按步骤完成实验、书写实验报告是学习实验化学的三个环节。
- 化学实验应按照实验的一般程序和实验室规则进行。
- 进行化学实验要重视实验条件的调控和现象的观察。
- 化学实验力求绿色化，如开发绿色实验、减少试剂用量、重视实验的后处理、防止污染等。

人类在长期的生产活动中，积累了很多从自然界直接或间接获取物质的经验，前者如食盐的晒制和提纯；后者如金属冶炼、酒的酿造等。随着科学技术水平的提高和对新物质需求的增长，人类在不断从自然界中发现和提取新的化学物质的同时，又根据需要合成出许多天然产物的替代品，或者合成出自然界中原来并不存在的物质。

在获取物质的过程中，无论是直接从原料中提取，还是经过化学反应过程合成制备，都需要利用分离、提纯等技术。

思考与交流

1. 在以前的化学课程中，我们做过水的净化和粗盐提纯的实验，其中使用了哪些分离方法？分别利用了物质的什么性质？如要进一步除去食盐中的钙、镁、硫酸盐等杂质，又需利用哪些反应，及哪些实验方法？

2. 据史实记载，酿酒（乙醇含量10%左右）始于新石器时代后期，烈性酒大约出现在11~12世纪，而酒精则直到16世纪才制得。你能推测其中的原因吗？

目前人类发现和合成的化学物质已经超过2 000多万种，并且新化学物质的数目正以每天5 000~7 000种的速度增加着^①。其中人工合成的化学物质所占的比例越来越大。

通过化学分析和仪器分析可以揭示物质的组成和结构，使我们对物质结构与性质的认识达到分子原子水平。通过化学合成可以获得与天然产物完全相同的物质，并为该物质的工业化生产奠定基础。如染料、药物和橡胶的认识与发展史就是这一过程的最好证明。更重要的是，这种分子原子水平上的认识，还提供了通过改变物质的组成和结构获得新物质的可能性。

根据物质的组成与化学性质，利用简单的仪器装置，经历或多或少的反应步骤，我们可以通过分子间的相互反应，得到我们所需要的物质。当我们将一堆废铁屑转变为晶莹美丽的莫尔盐晶体时，就可



图 2-1 侯德榜 (1890—1974)

1942年，我国化学家侯德榜通过实验成功改进了制备纯碱的方法，采用侯氏制碱法为化工行业的发展和祖国制碱工业做出了不朽的功绩。

^① 数字来源于美国2004 CAS Catalog (Access to the World's Scientific Research)。

以感受到科学的力量，而这种力量就掌握在你手中。

本单元我们除了要在以前所学基础上，再学习一些分离、提纯物质的技术之外，还要学习通过化学反应合成物质的思路和方法，并利用这些知识、方法和技术，探讨、解决一些实际问题。通过提取、合成，使物质由复杂变简单，或从简单到复杂，废物得到利用，化腐朽为神奇，这就是化学实验的魅力所在。



图 2-2 结晶牛胰岛素

1965 年，中国科学院生物化学研究所、有机化学研究所、北京大学化学系等单位协作，合成了具有生理活性的牛胰岛素结晶，这是世界上首次在实验室用化学方法合成的蛋白质。

课题一 物质的分离和提纯

获取纯净物的分离方法随着科学技术的进步而发展着。从酒的蒸馏到石油的分馏，从过滤分离到膜分离^①，尽管近代分离技术已经与传统的蒸馏、过滤、萃取等有很大的差异，所用设备的效率与功能也远非实验室简单仪器所能比拟，但是在原理上是相通的。

蒸馏 distillation

过滤 filtration

萃取 extraction

在前面的化学课程的学习中，我们已经接触过一些分离、提纯物质的方法。

思考与交流

1. 在下表中，请列举你所用过或知道的分离、提纯物质的方法，及该方法的适用条件、操作要点等。

表 2-1 分离、提纯物质的常用方法

| 分离方法 | 适用条件 | 所需仪器 | 操作要点 |
|------|------|------|------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

2. 从加热 KClO_3 和 MnO_2 混合物制取氧气的残渣中，如何获得纯净的 KCl 和 MnO_2 ?

^① 见本课题后“科学视野”。

3. 在设计上述混合物分离的实验方案时，你用到了哪些方法？选择这些方法的依据是什么？

选择分离、提纯的方法首先应掌握混合物中各物质的性质，包括物理性质和化学性质。不同物质在某些性质上的差异，如沸点、密度、溶解度、状态等是所有分离技术的基础。本课题中我们学习的层析和渗析两种分离方法，就分别利用了混合物不同组分溶解性和粒子大小上的差异。

一、层析法

层析法 chromatography

思考与交流

现有 FeCl_3 和 CuCl_2 的混合溶液，可以采用什么方法将他们分离？

层析法也称色层法，是分离、提纯和鉴定物质的重要方法之一，这种方法最初源于对有色物质的分离，因而又称为色谱法。后来，随着各种显色、鉴定技术的引入，其应用范围早已扩展到无色物质。

层析法有许多种类，但基本原理是一致的，即利用待分离混合物中各组分在某一物质（称作固定相）中的亲和性差异，如吸附性差异、溶解性（或称分配作用）差异，让混合物溶液（此相称作流动相）流经固定相，使混合物在流动相和固定相之间进行反复吸附或分配等作用，从而使混合物中的各组分得以分离。层析法可以进一步分为纸上层析、柱层析和薄层层析等。

纸上层析要求流动相溶剂对分离物质有适当的溶解度，太大，待分离物质会随流动相跑到前沿；太小，则会留在固定相附近，分离效果不好。因此，要根据待分离物质的性质选择合适的流动相。通常，对于能溶于 H_2O 的待分离物质，以吸附在滤纸上的 H_2O 作为固定相，以与 H_2O 能混合的有机溶剂（如醇类）作流动相。

实践活动

在一条滤纸离末端约 2 cm 处用铅笔画“×”作记号，用毛细管（玻璃管制而成）在记号处滴一滴饱和的 FeCl_3 和 CuCl_2 的混合溶液（体积比 1:1），晾干再滴，重复三次，要求试样留下的斑点直径保持在 0.5 cm 以内。将滤纸用大头针固定在橡胶塞上。

装置如图 2-3 所示，大试管中盛有 10 mL 丙酮和 6 mol/L 盐酸（体积比 9:1）的混合溶剂。把滤纸条末端浸入溶剂中，注意样品斑点不能接触溶剂。塞上橡胶塞，静置。待溶剂扩散到滤纸上端时，取下滤纸，放在一盛有浓氨水的试剂瓶口处，用氨气熏，观察实验现象。

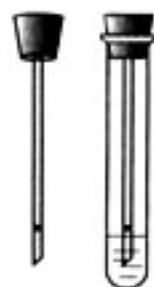


图 2-3 纸上层析分离 Fe^{3+} 和 Cu^{2+}

可以看到，滤纸上端出现红棕色，红棕色的下方出现蓝色。红棕色是 Fe^{3+} 与氨水作用生成的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 的颜色，蓝色是 Cu^{2+} 与氨水生成的铜氨络离子 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 的颜色。这说明混合物中的 Fe^{3+} 和 Cu^{2+} 已经分开了。

● 资料

利用纸上层析鉴定物质

在一定条件下，不同的化合物在滤纸上以不同的速度移动，通常用距离表示移动的位置，称之为比移率。比移率 (R_f) 的计算公式是：

$$R_f = \frac{\text{溶质最高浓度中心至原点中心的距离}}{\text{溶剂上升前沿至原点中心的距离}}$$

当温度、滤纸质量和流动相都相同时，每种化合物的 R_f 都是一个特定的常数，因此可用作物质鉴定的依据。由于影响 R_f 的因素很多，实验数据往往与文献记载不完全相同，鉴定未知物时，常用标准样品在同一张滤纸上点样，做对照实验。

二、渗析

如图 2-4 所示，海水通过高分子膜之后变成了淡水，是由于该高分子膜让水通过，而不让盐通过，从而使水与盐分离。这种有选择地让某些物质通过的膜叫半透膜。类似现象在生活中也能见到，如鸡蛋放在食盐水中浸泡一段时间后就会成为咸鸡蛋，这说明 NaCl 能通过蛋壳进入鸡蛋，而蛋白和蛋黄则不能通过蛋壳渗出来。实际上蛋壳的内膜也是一种有选择地让某些物质通过的半透膜。利用半透膜可以达到分离、提纯某些物质的目的。

渗析 dialysis

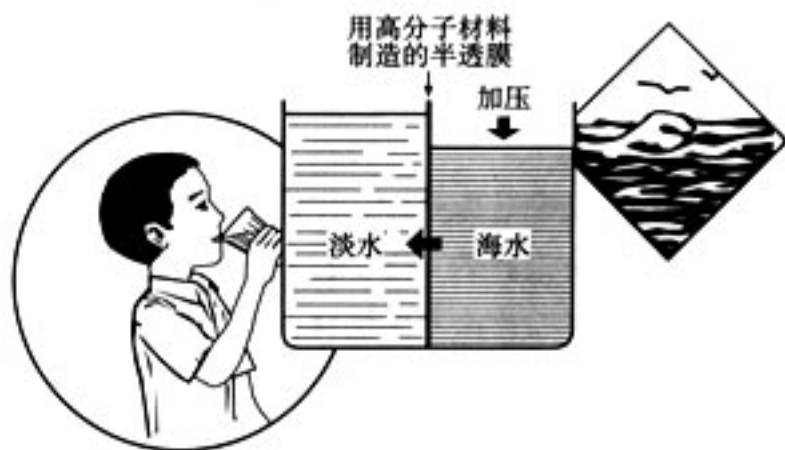


图 2-4 膜分离淡化海水示意图

实践活动

如图 2-5 所示,把 10 mL 淀粉胶体和 5 mL NaCl 溶液的混合溶液,加入用半透膜制成的袋内,将此袋浸入蒸馏水中。几分钟后,取烧杯中的少量液体分置于两支试管内,向两支试管里分别滴加硝酸银溶液和碘水。观察现象。



图 2-5 渗析分离实验

实验表明烧杯中的液体里含有氯离子,而不含有淀粉分子。为什么氯离子可以通过半透膜而淀粉分子不能通过半透膜呢?因为所用半透膜的孔径较小,只有小分子或离子才能通过,而胶粒或其他大分子不能通过。利用半透膜的性质,我们可以分离大分子与小分子组成的混合物,这种分离方法称之为渗析。

在生产和科学研究实践中,单独使用某一种方法往往不能很好地达到分离、提纯的目的,一般是几种方法配合使用。在选择分离、提纯物质的方法时,我们通常要注意以下几点:(1)不得引入新杂质;(2)不损失或很少损失被提纯的物质;(3)所涉及的反应要完全;(4)方法简单、所使用仪器常见;(5)所用试剂经济、易得。

随着科技水平的提高,新的特效分离、提纯方法不断出现,分离已成为一门跨越多个学科的新技术领域。

科学视野

新的分离技术——膜分离技术

膜分离技术是现代化学工业中常用的一种分离技术,它的基本原理是利用天然或人工合成的、具有选择透过性的薄膜,以外界能量或化学位差(浓度差、电位差、温度差、压力差等)为推动力,对两种组分或多种组分的混合物进行分离、提纯或富集的方法。膜的作用类似于筛子,它优先允许某种组分通过,而对其他组分起着类似于过滤一样的截留作用,从而达到分离或浓缩的目的。渗析就是一种利用浓度差进行分离的膜分离方法。膜分离技术既可应用于液体混合物的分离,也可应用于气体混合物的分离。

膜分离技术与传统分离技术相比,具有耗能低、适用对象广泛、分离过程和设备简单、选择性高等特点,能应用于液-固、液-液、气-气及溶液的分离。膜分离技术应用很广,例如分离氢和氦、污水处理,以及由空气制备富氧混合物等。膜分离是大有前途的分离技术之一。

实验 2-1 纸上层析分离甲基橙和酚酞

实验目的

1. 了解纸上层析的实验原理。
2. 掌握用纸上层析分离混合物的方法。

实验原理

甲基橙和酚酞是两种常用的酸碱指示剂，它们在水中和有机溶剂中的溶解度不同。当溶剂沿滤纸流经混合物的点样时，甲基橙和酚酞会以不同的速度在滤纸上移动，从而达到分离的目的。由色斑的形成与距离可判断分离的效果。

实验用品

甲基橙、酚酞、乙醇、浓氨水、饱和 Na_2CO_3 溶液。

培养皿、滴管、烧杯、量筒、毛细管、圆形滤纸、小喷壶。

实验步骤

1. 配制甲基橙和酚酞的混合溶液

把 0.1 g 甲基橙和 0.1 g 酚酞溶解在 10 mL 60% 的乙醇溶液里，备用。

2. 配制乙醇和氨水的混合溶液

取 10 mL 乙醇和 4 mL 浓氨水充分混合，备用。

3. 准备滤纸

在一张圆形滤纸的中心扎一小孔，用少量滤纸捻成细纸芯，插入圆形滤纸中央。

4. 点样

在距圆形滤纸中心约 1 cm 的圆周上，选择三个点，分别用毛细管将甲基橙和酚酞的混合溶液在该三点处点样。每个点样的直径约 0.5 cm。



图 2-6 纸上层析展开示意图

5. 展开

将滤纸覆盖在盛有乙醇和氨水混合溶液的培养皿上（如图 2-6），使滤纸芯与混合溶液接触，放置一段时间，点样会逐渐向外扩散，形成黄环。

6. 显色

待黄环半径扩散到滤纸半径的二分之一时，取下滤纸，拔除细纸芯。等滤纸稍干后，喷上饱和的 Na_2CO_3 溶液，观察现象。

问题与讨论

如果在滤纸上事先作点样标记，应选用钢笔还是铅笔？试解释原因。

拓展实验

1. 用粉笔对菠菜中的色素进行柱层析分离。

选择几片新鲜的菠菜叶，放在乙醇溶液中，轻轻研磨获得提取液，在提取液中竖直放置一枝白粉笔。经一段时间后，观察现象。

2. 用鸡蛋壳内膜（蛋壳浸入盐酸溶液中，可溶去外壳）分离出豆浆中的铁、钙等。

实验 2-2 海水的蒸馏

实验目的

1. 了解蒸馏操作的原理。
2. 掌握蒸馏分离混合物的方法。

实验原理

海水的化学成分复杂，含有较多盐类，如氯化钠、氯化钾、硫酸镁等。通过蒸馏的方法，可以将海水淡化。

盐溶液的浓度不同，密度也不同。不同温度、地域、深度的海水密度略有差别，其范围一般在 $1.022 \sim 1.025 \text{ g/cm}^3$ 之间。因此通过测量和比较海水和蒸馏水的密度，可知本实验蒸馏提纯的效果。

科学视野

淡水资源紧缺是人类面临的严重问题。目前，中国有几百个城市缺水，而海水淡化是解决中国沿海地区淡水严重短缺的有效途径之一。

据史料记载，人类很早就开始利用蒸馏法来除去海水中的盐类，以使海水淡化。海水淡化是一种脱除大部分盐类，使处理后的水达到生活用水标准的水处理技术。淡化方法主要有反渗透法和蒸馏法。我国研究海水淡化技术始于1958年，当时的起步技术为电渗透；1965年开始研究反渗透技术；1975年开始研究大中型蒸馏技术。蒸馏淡化技术又分成低温多效、多级闪蒸和压汽蒸馏三种。目前，天津大港发电厂利用余热淡化海水，每年可淡化海水200万吨。

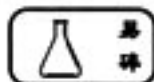
实验用品

海水（模拟海水）。

100 mL 蒸馏烧瓶、牛角管、锥形瓶（100 mL）、冷凝管、100 mL 量筒、沸石、铁架台、石棉网、酒精灯、温度计、密度计。

自行设计实验方案所需其他用品。

实验步骤



1. 海水的性质

(1) 观察海水^①的外观并测其密度。在100 mL量筒中加入50 mL海水，小心放入密度计，测量海水的密度，记录数据。用同样的方法测量蒸馏水的密度，记录数据。

(2) 设计实验检验海水中的某些离子

| 离子 | 检验方法 | 实验现象 | 结论（或化学方程式） |
|--------------------|------|------|------------|
| Na^+ | | | |
| K^+ | | | |
| Cl^- | | | |
| SO_4^{2-} | | | |

2. 蒸馏

(1) 在100 mL蒸馏瓶中加入50 mL海水，加入几粒沸石，以防止加热时暴沸。

^① 可由实验室配制含有氯化钠、氯化钾、硫酸镁等盐类的溶液来代替，也可用“人工快速海盐”来配制。

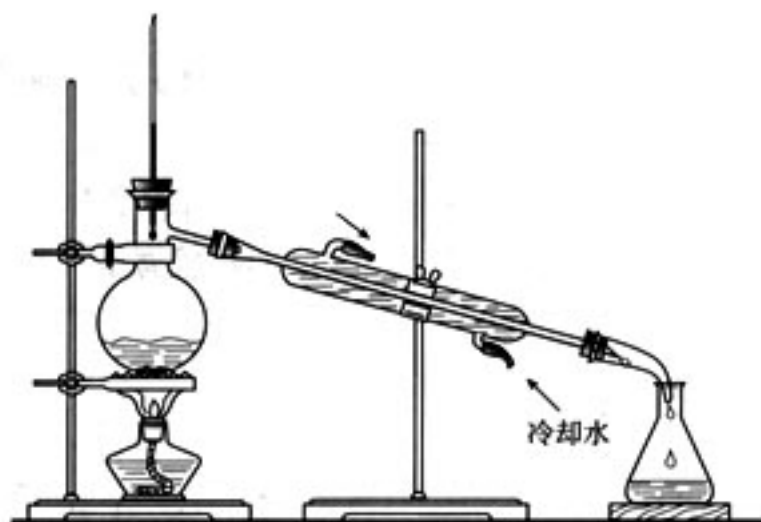


图 2-7 蒸馏海水

(2) 连接好蒸馏装置，在冷凝管中按图中所示方向通入冷水。

(3) 小心加热，观察蒸馏烧瓶中发生的现象以及温度计示数的变化。当蒸馏水从冷凝管进入锥形瓶时，记录此时的温度。待收集到约 10 mL 蒸馏水时，即停止加热，稍后关闭冷凝水。

3. 检验制得的蒸馏水

(1) 检验产物中的 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-}

| 离子 | 检验方法 | 实验现象 | 结论 |
|--------------------|------|------|----|
| Na^+ | | | |
| K^+ | | | |
| Cl^- | | | |
| SO_4^{2-} | | | |

(2) 将几组所得蒸馏水倒入 100 mL 量筒中，至 50 mL 左右时，小心放入密度计，测量其密度。

4. 分析本次蒸馏提纯的效果。

问题与讨论

1. 海水和蒸馏水的密度相同吗？
2. 在粗盐提纯的实验中，使用了蒸发方法；海水淡化的实验中，使用了蒸馏方法，试比较这两种方法有什么不同。
3. 查阅资料，小结海水淡化的方法及前景。

拓展实验

利用身边的一些物品，制取蒸馏水。

实验 2-3 从海带中提取碘

实验目的

1. 学习萃取、过滤的操作及有关原理。
2. 复习氧化还原反应的知识。

3. 了解从海带中提取碘的过程。

实验原理

海带中含有丰富的碘元素，其主要的存在形式为化合态（有机碘化物）。经灼烧后，灰烬中的碘可转化为能溶于水的无机碘化物。碘离子具有较强的还原性，可被一些氧化剂氧化生成碘单质。例如， $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{I}^- = \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，生成的碘单质在四氯化碳中的溶解度大约是在水中溶解度的 85 倍，且四氯化碳与水互不相溶，因此可用四氯化碳把生成的碘单质从水溶液中萃取出来。

实验用品

干海带、3% H_2O_2 、3 mol/L 硫酸、NaOH 溶液、酒精、淀粉溶液、 CCl_4 ^①、蒸馏水。

烧杯、试管、坩埚、坩埚钳、铁架台、三脚架、泥三角、玻璃棒、酒精灯、量筒、胶头滴管、托盘天平、刷子、剪刀、漏斗、滤纸。

实验步骤



1. 取 3 g 干海带，用刷子把干海带表面的附着物刷净（不要用水洗涤）。将海带剪成小块，用酒精润湿后，放在坩埚中。

2. 在通风橱中，用酒精灯灼烧盛有海带的坩埚，至海带完全成灰，停止加热，冷却^②。

3. 将海带灰转移到小烧杯中，向烧杯中加入 10 mL 蒸馏水，搅拌，煮沸 2~3 min，过滤。

4. 向滤液中滴加几滴硫酸，再加入约 1 mL H_2O_2 溶液。观察现象。

5. 取少量上述滤液，滴加几滴淀粉溶液。观察现象。

6. 向剩余的滤液中加入 1 mL CCl_4 ，振荡，静置。观察现象。

7. 回收溶有碘的 CCl_4 。

问题与讨论

1. 已知碘在酒精中的溶解度也大于在水中的溶解度，能否使用酒精萃取碘，说明理由。

2. 萃取实验中，若要使碘尽可能地完全转移到 CCl_4 中，应如何操作？

3. I^- 除了可以用 H_2O_2 氧化以外，还可以被浓硫酸、氯水、溴水等其他氧化剂氧化，当选用浓硫酸氧化 I^- 时，实验应如何设计？

4. 若要分离碘的 CCl_4 溶液，分别得到碘和 CCl_4 ，应采用什么样的方法和装置？

拓展实验

草木灰含有碳酸钾，试从草木灰中提取碳酸钾。

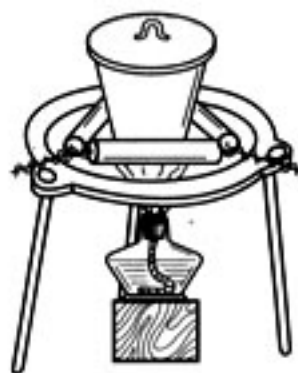


图 2-8 灼烧干海带

① 四氯化碳属于“有害”试剂，应避免与皮肤直接接触或大量吸入其蒸气。

② 海带灰也可由实验室提供。

物质的溶解性与物质的结构

物质的分离和提纯经常利用物质的溶解性。在长期的实践中，人们发现了一个经验规律：结构相似的物质，易于相互溶解。结构相似是指什么呢？

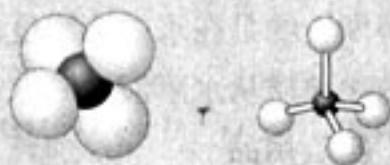
我们知道，构成物质的化学键根据其成键原子吸引电子能力是否相同，有非极性键和极性键之分。同样，根据物质分子中电荷分布是否均匀、对称，分子也有非极性分子和极性分子之别。

一般以非极性键构成的分子都是非极性分子，以极性键构成的双原子分子都是极性分子，而以极性键构成的多原子分子是否有极

性，则取决于各键的极性和空间排列。例如，四氯化碳分子在空间呈正四面体结构（如图 2-9）。构成其分子的 C—Cl 键是极性共价键，但由于四个相同的极性键的空间排列对称，使得整个分子中的正负电荷分布均匀。所以， CCl_4 是非极性分子。

水分子中的两个 O—H 键是极性键，两键间夹角为 104.5° （如图 2-10），这种空间排列，整个分子电荷分布不均匀。所以，水是极性分子。

经验表明，一般说来，极性分子组成的溶质易溶于极性分子组成的溶剂，非极性分子组成的溶质易溶于非极性分子组成的溶剂。例如，碘在四氯化碳中的溶解度大于其在水中的溶解度。

图 2-9 CCl_4 分子结构示意图图 2-10 H_2O 分子结构示意图

课题二 物质的制备

科学研究、工业生产和日常生活都离不开物质的制备，例如新药物的合成、炼钢炼铁、氨的合成等。在实验室中，我们也有制备物质的经验，例如氧气、二氧化碳和乙酸乙酯等物质的制取等。

思考与交流

回忆初中化学课程中制取二氧化碳的实验，思考下列问题：

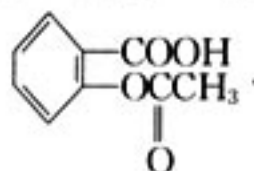
1. 能够通过化学反应产生二氧化碳气体的物质有哪些？
2. 制取二氧化碳的实验中，以什么物质为反应物(原料)？为什么？
3. 反应的装置是如何选择和安装的？
4. 如果要制备干燥的气体产物，应如何设计装置？

制备一种化合物，应根据目标产品的组成来确定原料（如制二氧化碳，可选用含碳酸根或碳酸氢根的物质，也可选用木炭、有机物等物质）及反应原理，设计反应路径，选择合

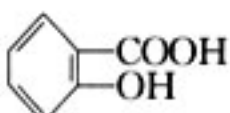
适的仪器和装置，最后，根据生成物的性质将产品分离提纯出来。整个过程如图 2-11 所示。

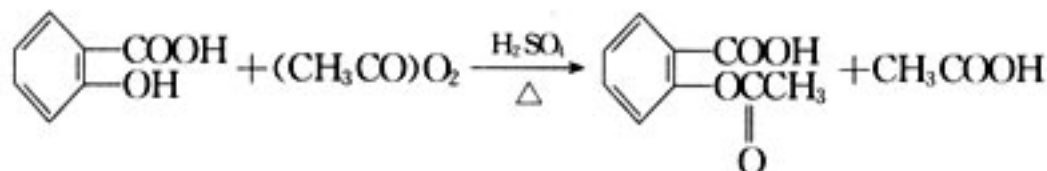
如果我们把制备物质的过程看成一个系统的话，那么上述过程中的每一个环节都会影响所制备物质的质和量。在设计制备一种物质的实验方案时，每一个环节都应该注意些什么呢？

选择的原料中必须含有目标产品中的组分或新化合物中的某个“子结构”（或可能转化为某个“子结构”）。例如，工业上生产氯气，选择含氯元素且自然界中易获得的氯化钠为原料。又如，乙酰水杨酸（阿斯匹林，一种常见的解热镇痛药）的结构简式为



。为了合成乙酰水杨酸，通常选择具有“子结构”

的邻羟基苯甲酸  为母体。根据有机物之间官能团的相互转化，需要发生邻羟基苯甲酸与乙酸酐的酯化反应，确定其合成原理为：



除了选用自然界中原有的物质为原料外，一些废弃物也可以成为原料。例如，以聚苯乙烯为主要成分的泡沫塑料，与汽油、煤油等燃料油具有相同的元素组成，所不同的是，聚苯乙烯是长链烃类物质且相对分子质量很大，汽油是含 $\text{C}_5 \sim \text{C}_{11}$ 的液态烃混合物，煤油是含 $\text{C}_{11} \sim \text{C}_{16}$ 的液态烃混合物。选择适当的催化剂和温度，可以使泡沫塑料降解（长链断裂为短链），得到燃料油和燃气。

实践活动

1. 将同种类型的泡沫塑料碎片在酒精灯上熔成颗粒后放入试管中，加入少量无水 AlCl_3 作为催化剂。
2. 按图 2-12 所示连接仪器装置，加热泡沫塑料。



图 2-12 利用废旧泡沫塑料制燃油、燃气

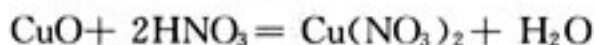
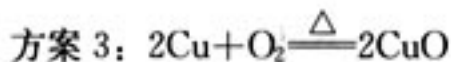
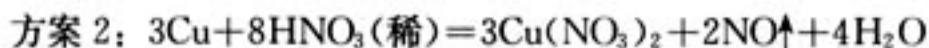
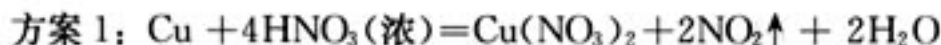
反应原理 principle of reaction
原料 raw material



图 2-11 制备物质的一般过程示意图

3. 待有连续的气泡产生时，点燃导管放出的气体。
4. 实验停止后，在试管中滴加酸性高锰酸钾溶液，观察现象。

原料确定后，应该根据原料性质、设备条件等设计反应路径。例如，用 Cu、浓 HNO₃、稀 HNO₃ 为原料制备 Cu(NO₃)₂，可有几种实验方案：



三个制备方案中，前两个方案均会产生对环境造成污染的物质，这一点是实验中应尽量避免的。要制得相同数量的硝酸铜，三个方案中所需硝酸的物质的量之比是 $4 : \frac{8}{3} : 2$ 。硝酸的利用率以方案 3 为最高。通过对比，方案 3 较为合理。

反应路径确定之后，实验条件的选择也非常重要。

实践活动

向一支盛有 2 mL 0.5 mol/L AlCl₃ 溶液的试管中逐滴加入 2 mL 0.5 mol/L NaOH 溶液，观察现象；向另一支盛有 2 mL 0.5 mol/L NaOH 溶液的试管中逐滴加入 2 mL 0.5 mol/L AlCl₃ 溶液，观察现象。

上述两个实验中所用的试剂及用量是相同的，但操作方法的不同导致发生反应的条件不同，因而观察到的现象不相同。由此可见，实验条件不同时，制备所得物质的状态、性质也可能会不相同。

因此，在设计物质制备的实验方案时，要优化上述流程中的每一个具体环节。我们遵循的优化原则是：原料廉价，原理绿色，条件优化，仪器简单，分离方便。

科学视野

组合化学

组合化学是由排列组合原理、自动化技术和化学合成原理结合而成的一种新技术，能产生多样化的结构相关但有序变化的化合物库，然后利用特殊手段进行筛选优化，挑选出有效化合物。组合化学在新药、新材料开发，筛选有效催化剂等领域已经得到广泛的应用。有人曾经用“从大草堆中找出一根绣花针”来比喻组合化学的技术。其实，它能够找出来的绣花针往往不止一根，而且包括生锈的针。

过去在开发新药(或催化剂)时，看重的是化合物的某个独特的功能，由于不具备有效的理论预测方法，只能采用合成大量组成或结构相似的化合物，然后进行筛选。此外，用于合成的方法和条件虽然大同小异，但习惯上却是逐个来完成的。巨大的工作量和漫长的

研究周期，严重地制约着新药的研究与开发工作。

运用组合化学，在原先用于制备一种化合物的时间内，就可以获得成百上千种相关的化合物。研制成本降低了，发现有效药物的效率却大为提高。在进行功能测试时，由于用组合化学方法制备的化合物阵列本身具有很高的有序性，所能提供的信息往往不限于发现新药物。

图 2-13 是组合化学的原理示意图，从中你能够很快地发现它的奥妙所在，也许还能给你一些启示。多想想，你能体会到科学是多么的有趣！

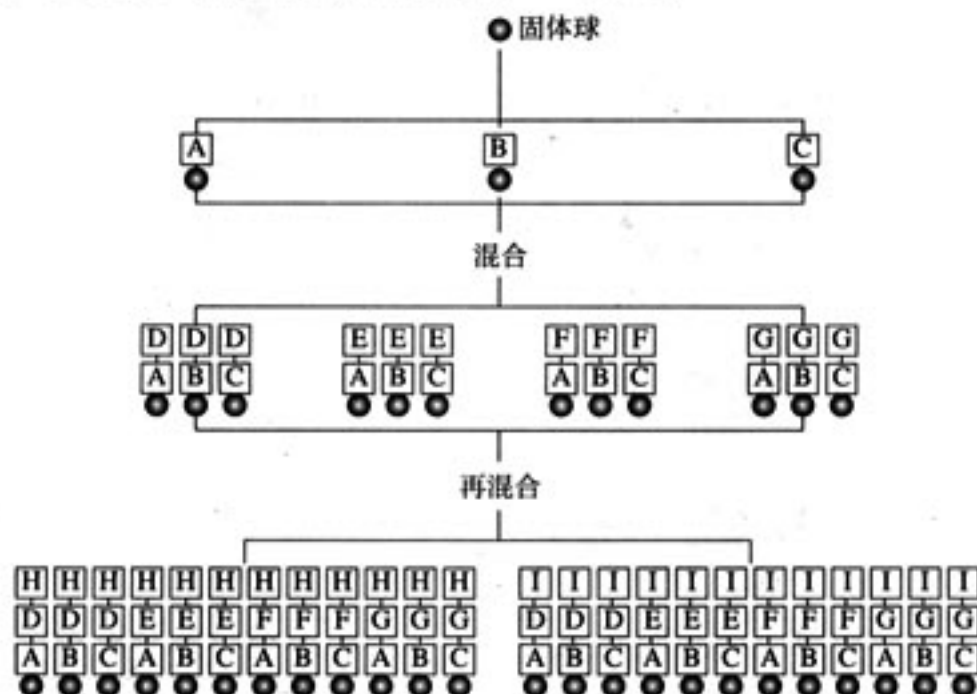


图 2-13 组合化学原理示意图^①

图 2-14 是一套组合化学实验装置。由 20 支取血试管、真空泵和旋转反应器组成。现在，组合化学实验装置已经高度自动化，可以同时得到 $10^2 \sim 10^3$ 量级的反应产物。



图 2-14 一种组合化学实验装置

实验 2-4 硫酸亚铁铵的制备

实验目的

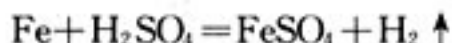
1. 以废铁屑制备硫酸亚铁铵为例，了解物质制备的过程。
2. 掌握过滤、蒸发、洗涤等基本操作。
3. 了解利用溶解度的差异制备物质的过程。

^① 图中的圆球代表上面接有能够和多种功能团发生反应的固体试剂的塑料小球。这是实现组合化学技术的关键之一。A、B、C、D、E、F、G、H、I 均为化学试剂。

图中只表示了 3 步反应，每步所用试剂种类分别为 3，4，2。反应种类为 $(3+4+2)$ ，即 9 种；反应产物数为 $(3 \times 4 \times 2)$ ，共 24 种。

实验原理

铁能与稀硫酸反应生成硫酸亚铁:



硫酸亚铁可与等物质的量的硫酸铵生成硫酸亚铁铵。硫酸亚铁铵的化学式为 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 商品名称为莫尔盐, 是一种复盐^①。一般亚铁盐在空气中易被氧气氧化, 形成复盐后就比较稳定。与其他复盐一样, 硫酸亚铁铵在水中的溶解度比组成它的每一种盐的溶解度都小(见表 2-2), 利用这一性质可以制取硫酸亚铁铵晶体。

表 2-2 三种盐的溶解度 (单位为 g/100 g H₂O)

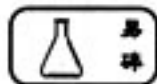
| 温度/℃ | FeSO ₄ · 7H ₂ O | (NH ₄) ₂ SO ₄ | (NH ₄) ₂ SO ₄ · FeSO ₄ · 6H ₂ O |
|------|---------------------------------------|---|---|
| 10 | 20.0 | 73.0 | 17.2 |
| 20 | 26.5 | 75.4 | 21.6 |
| 30 | 32.9 | 78.0 | 28.1 |

实验用品

10% Na₂CO₃ 溶液、Fe 屑、3 mol/L H₂SO₄、(NH₄)₂SO₄、蒸馏水、无水乙醇。

锥形瓶、蒸发皿、酒精灯、玻璃棒、烧杯、铁架台、漏斗、托盘天平、量筒、滤纸。

实验步骤



1. Fe 屑的处理和称量

称取 3 g 铁屑, 放入锥形瓶, 加入 15 mL 10% Na₂CO₃ 溶液, 小火加热 10 min 以除去 Fe 屑表面的油污, 将剩余的碱液倒掉, 用蒸馏水把 Fe 冲洗干净, 干燥后称其质量, 记为 $m_1(\text{Fe})$, 备用。

2. FeSO₄ 的制备

将称量好的 Fe 屑放入锥形瓶中, 加入 15 mL 3 mol/L H₂SO₄, 放在水浴中加热至不再有气体生成为止(有氢气生成, 用明火加热注意安全)。趁热过滤, 并用少量热水洗涤锥形瓶及滤纸, 将滤液和洗涤液一起转移至蒸发皿中。将滤纸上的固体干燥后称重, 记为 $m_2(\text{Fe})$ 。反应掉的 Fe 的质量 $m(\text{Fe}) = m_1(\text{Fe}) - m_2(\text{Fe})$, 进而可计算得生成 FeSO₄ 的物质的量。

3. (NH₄)₂SO₄ · FeSO₄ · 6H₂O 的制备

根据 FeSO₄ 的物质的量, 计算等物质的量的 (NH₄)₂SO₄ 的质量, 称取 (NH₄)₂SO₄ 并将其加入上面实验的蒸发皿中, 缓缓加热, 浓缩至表面出现结晶薄膜为止。放置冷却, 得到硫酸亚铁铵的晶体。过滤后用无水乙醇洗涤晶体, 除去其表面的水分, 观察生成的硫酸亚铁铵的颜色和状态。

^① 复盐: 两种不同的金属离子和一种酸根离子所形成的盐叫做复盐。复盐的溶解度通常小于构成它的每个组分。

4. 称量硫酸亚铁铵的质量

称量生成的硫酸亚铁铵的质量并保存硫酸亚铁铵晶体，以备在下一单元学习中测定其纯度。

问题与讨论

1. 哪些措施可保证使硫酸亚铁和硫酸铵之间的物质的量相等？
2. 浓缩 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 时能否浓缩至干，为什么？
3. 若要加快过滤速度，可采用什么方法？
4. 硫酸亚铁溶液在空气中容易变质，在操作时应注意什么？

拓展实验

自制明矾

1. 称取 3.5 g 硫酸钾，加适量水溶解，制得硫酸钾饱和溶液。
2. 称取 6.5 g 硫酸铝，加适量水溶解，制得硫酸铝饱和溶液。
3. 将两种溶液混合，在酒精灯上加热到 $80\text{ }^\circ\text{C}$ ，保温，搅拌片刻。
4. 溶液自然冷却后放置 24 小时，即有明矾晶体析出。
5. 过滤后，把晶体放在石棉网上，让它自然干燥，就得到明矾晶体。
6. 用制得的明矾晶体净水。

资料

加快过滤速度的一种方法——减压过滤

减压过滤也称吸滤或抽滤，是一种实验室常用的过滤方法，其装置如图 2-15。

减压过滤之所以能加快过滤，是因为通过气泵(或其他方法)使过滤器下方的压强降低，滤液上下形成压强差，从而加快过滤的速度。主要仪器有：布氏漏斗、吸滤瓶和气泵。

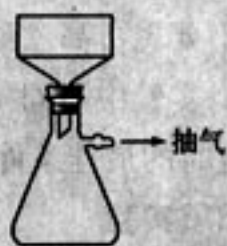


图 2-15 抽滤装置

实验 2-5 乙酸乙酯的制备及反应条件探究

实验目的

1. 制取乙酸乙酯。
2. 探究浓硫酸在生成乙酸乙酯反应中的作用。
3. 体验通过实验的方法获取知识的过程。

实验原理

乙酸乙酯是一种有机酸酯，它可以由乙酸与乙醇在一定条件下生成：



该反应为可逆反应。

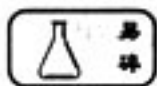
实验用品

无水乙醇、冰醋酸、浓硫酸、浓盐酸、饱和 Na_2CO_3 溶液、其他试剂。

大试管、量筒、导管、酒精灯、直尺、铁架台。

自行设计实验方案所需其他用品。

实验步骤



1. 乙酸乙酯的制取

在试管中加入 3 mL 乙醇，然后边振荡边缓慢加入 2 mL 浓硫酸和 2 mL 乙酸。按图 2-16 所示连接仪器，用酒精灯缓慢加热，将产生的气体经导管通到饱和碳酸钠溶液的液面上。反应停止后，用直尺测量有机层的厚度。

2. 设计实验，探究浓硫酸在生成乙酸乙酯反应中的作用

提示：可从下述几方面进行实验探究：

- (1) 比较有、无浓硫酸存在条件下酯化反应进行的快慢；
- (2) 比较在氢离子含量相同的稀硫酸、稀盐酸作用下，

酯化反应的快慢；

(3) 综合上述比较实验结果，根据酸的共性和浓硫酸的特性，分析、推测浓硫酸在合成乙酸乙酯中的作用。

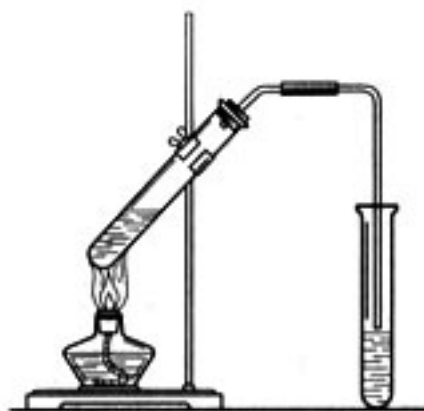


图 2-16 制取乙酸乙酯的简易装置

问题与讨论

1. 物质的量相等的乙酸和乙醇，是否可全部转化为乙酸乙酯？为什么？
2. 要想提高乙酸的转化率，可以采取哪些措施？
3. 实验中不同条件下酯化反应进行的快慢不同，这个结果对于探索乙酸乙酯发生水解反应时的最佳条件有什么启示？

拓展实验

1. 厨房中制胶水

将 20 mL 的脱脂牛奶倒入杯中，加入 5 mL 食醋，充分搅拌，过滤，取滤渣。在滤渣中加入绿豆大的小苏打，充分搅拌后即得胶水。用该胶水粘接纸张，看看效果如何。

2. 自制肥皂

(提示：油脂在加热和碱性条件下可完全水解，生成的不溶性高级脂肪酸盐，再经饱和食盐水中浸泡、静置，沥出、压缩并干燥可得肥皂。)

实验 2-6 氢氧化铝的制备

实验目的

1. 设计实验制备 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。
2. 探究实验室制备 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的最优条件。
3. 学习利用实验室或自然界易得原料，设计制备所需物质的实验。

实验用品

自行设计实验方案所需用品^①。

实验原理提示^②

铝或铝的化合物有关的反应（应根据自选原料和制备路径的不同选择不同的反应和反应条件，并写出有关反应的化学方程式）。

实验提示

1. 制备 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的原料应是含铝物质，如铝屑、氧化铝、明矾等，可来源于自然界、家中，或实验试剂。
2. 由于原料或反应路径不同，原料或最后产物可能需要提纯，应分别根据其性质选用合适的分离提纯方法。

实验步骤

1. 根据所选原料，设计实验室制备方案并制备 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。
2. 比较同一方案中不同实验条件下的反应，寻找最优制备条件。

问题与讨论

1. 与同学交流原料选择的原则和经验，了解并归纳同学们所选原料的种类和来源。
2. 了解其他同学的制备方案，通过实验方案及实验效果的比较，找出自己设计中的优、缺点。
3. 如何验证你所制备的产物是 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ？

拓展实验

1. 利用废铜屑制备硫酸铜

制备路径： $\text{Cu} \xrightarrow{\text{灼烧}} \text{CuO} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{CuSO}_4$ 。

产物除杂：在粗硫酸铜溶液中滴入几滴 H_2O_2 ，用 CuCO_3 调节 $\text{pH}=3$ ，加热至沸并趁热过滤，除去铁杂质。

2. 制金属镀件^③

如图 2-17 所示，在电流作用下，阳极的金属锌氧化为离子，进入电镀液（主要成分 ZnCl_2 溶液）；阴极处电镀液中的 Zn^{2+} 还原为 Zn 并附于铁钥匙上：

阳极 $\text{Zn} - 2\text{e}^- = \text{Zn}^{2+}$ （氧化反应）

阴极 $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$ （还原反应）

用这种方法可以将一种金属镀到另一种金属的表面上。

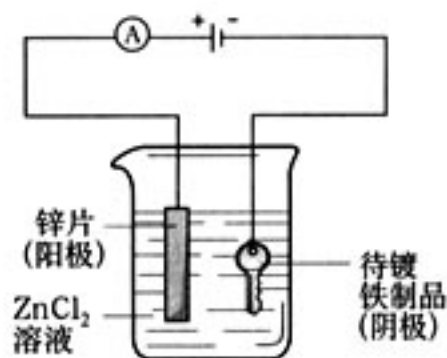


图 2-17 电镀锌装置示意图

① 根据自行设计的实验方案，列出所需物品的清单。

② 此栏目只是原理提示，预习时应写出具体实验的原理及相关反应的化学方程式。

③ 电镀是一种常用的金属表面处理方法，可用于防锈、改善器件外观等方面。电镀的原理在本套教科书选修 4《化学反应原理》第四章第三节有较详细的介绍。实验所需电镀液由实验室提供。电镀液中常含有重金属离子及其他有害化学物质，清洗镀件时所产生的废液是一种污染物。所以无毒和无污染电镀技术是该领域的绿色化目标之一。

归纳与整理

一、分离、提纯混合物的方法

| 方法 | 使用条件 | 实例 | 注意事项 |
|----|------|----|------|
| 蒸发 | | | |
| 过滤 | | | |
| 蒸馏 | | | |
| 萃取 | | | |
| 分液 | | | |
| 结晶 | | | |
| 层析 | | | |
| 渗析 | | | |

二、物质的制备

试从物质制备的一般过程、过程中每一环节之间的关系及优化原则等方面对课题二所学内容进行整理和归纳，建议以图表形式小结，最好能举例说明。

商品的质量如何,要由质量检测结果来判定,很多检测方法和指标都与化学有关。例如,食品的营养成分是否与所附说明相符?防腐剂含量是否超标?是否含有害元素?蔬菜、水果里农药残留量是否超标?药品的有效成分是否符合标准?室内装饰装修材料有害物质限量是否超过国家标准?化肥、农药的有效成分是否符合质量标准?等等。

环境如何,可以看环境监测结果。例如,空气中 SO_2 、 NO_2 等有害气体的含量是多少?水的酸碱度及水中是否含超标的有害元素或物质?等等。

人们是如何知道外观和性质迥然不同的金刚石和石墨的组成竟然是相同的?又如何鉴别古代瓷器和现代仿品呢?这些同样离不开物质的检测。

物质检测涉及国民经济、国防建设、资源开发、环境保护、新材料和新技术研发及人们的衣食住行各个领域。它是科学研究、工农业生产过程中的必要环节,也是成果、产品鉴定的重要依据之一。

物质的组成和结构不同,物理性质、化学性质也就不同。因此,物质组成和结构的检测都是从物质的性质入手的。可以直接通过化学实验,根据化学反应现象或结果,分析物质的组成、结构及含量,也可以借助仪器,利用待测物质的物理性质或化学性质测定其组成、结构及含量。

根据不同的检测目的,有时我们只需要知道某物质中是否存在哪些元素或结构(如官能团),而不必确定其含量多少,这是定性检测。有时则需要知道某组分的确切含量,例如食品中防腐剂的含量,这是定量检测。有时甚至还要进一步弄清物质的内部结构,例如石墨、金刚石中的碳原子之间分别是怎样结合的,这就涉及到结构的测定。

本单元我们将学习一些定性和定量检测的基本化学实验方法和思路,并尝试应用所学知识、技能探究生活中的实际问题(如实验 3-3 和实验 3-6),初步了解一些常用仪器的原理和方法。



图 3-1 国家粮油质量监督检验中心检验员正在检验食品

分析化学简介

分析化学是研究物质的组成、含量、结构和测量方法及相关理论的科学。其主要任务是：1. 鉴定物质的组成（包括元素、离子、基团、化合物等）；2. 检测物质中有关组分的含量；3. 测定物质的化学结构。

根据分析原理或物质性质，分析化学可分为化学分析法——依据物质的化学性质通过化学反应进行分析；仪器分析法——依据物质的物理或化学性质，借助仪器进行分析。

根据分析的目的和任务，又可以分为定性分析——确定某组分是否存在；定量分析——测定某组分的具体含量；结构分析——测定化学物质的分子结构或晶体结构。

思考与交流

1. 试从我们学习过的化学知识及生活常识中，举例说明物质的性质与物质的组成、结构、存在状态等有关。
2. 冬季供暖锅炉房里备有检测水质软化程度的仪器、试剂，你认为这种检测的目的何在，该检测是属于定性检测还是定量检测。

课题一 物质的检验

在以往化学课程中，我们已经做过一些物质的检验或鉴别实验，例如 O_2 、 H_2 、 CO_2 等气体的检验， Fe^{3+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 CO_3^{2-} 等离子的鉴别，化肥的简易鉴别，焰色反应和葡萄糖、淀粉、蛋白质的特征反应等；了解了许多物质的物理、化学性质，例如硫酸铜溶液的颜色，氨、乙醇的气味，烯烃的氧化和加成；等等。我们可以通过物质的物理、化学性质来分析和判断某组分是否存在，也可以利用不同物质在物理、化学性质上的差异进行鉴别，这样的检验属于定性检测。

科学探究

1. 利用已学知识和技能设计并完成下述实验。
 - (1) 市售胃舒平药片的辅料中含淀粉，试用实验证明。
 - (2) 有四种白色粉末，已知它们分别是 $NaCl$ 、 $BaCl_2$ 、 Na_2CO_3 和无水 $CuSO_4$ 。试设计实验鉴别它们。

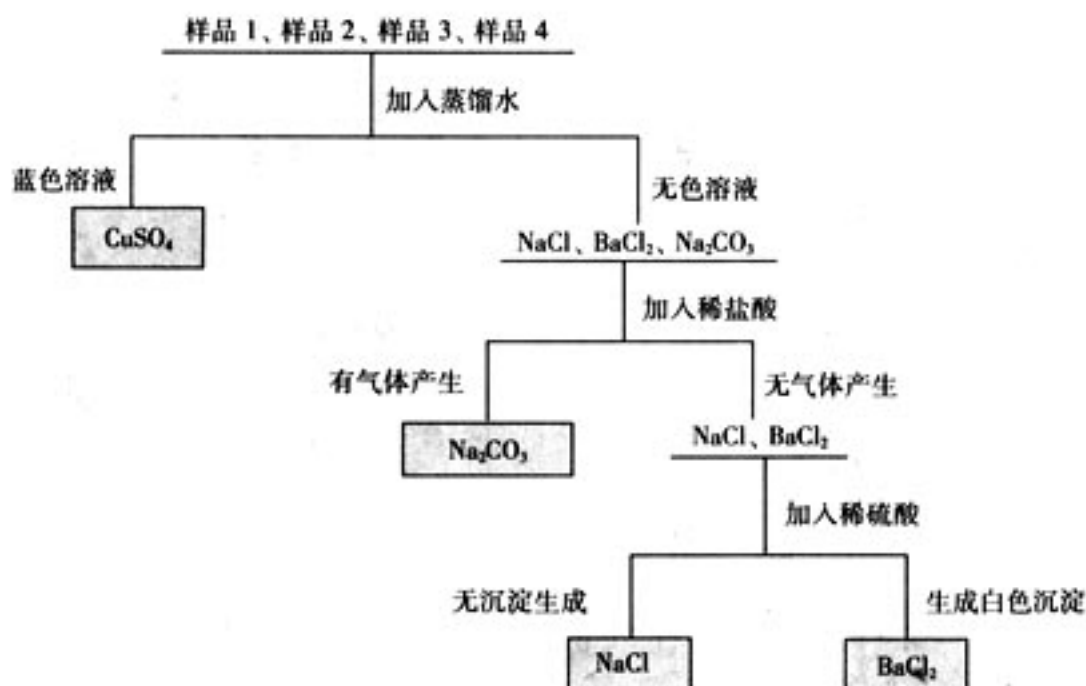
实验方案设计与记录

| 编号 | 实验用品及操作 | 操 作 | 现 象 | 结 论 |
|-----|---------|-----|-----|-----|
| (1) | | | | |
| (2) | | | | |

2. 同学之间交流各自的实验方案与结果，比较不同方案的特点。

3. 试着说出设计上述实验的体会(思路)。

进行物质的定性检测时，着眼点在于某物质区别于另一种或一些物质的性质——特征性质或反应，例如物质的形态、颜色、气味、溶解性、焰色、酸碱性，颜色的改变、沉淀的生成和溶解、气体或异味的释放等。如果需要检验的是几种不同的物质，要利用它们的共性、特性进行分组，并逐一检出。例如上述科学探究中第二个鉴别实验，将四种固体编号后各取少量溶解于水，首先根据它们水溶液的颜色鉴别出 CuSO_4 ；对于其余的三种，再根据其共性、特性进行分组，然后加以鉴别，可以根据盐酸盐与碳酸盐分组，也可以根据钠盐和钡盐分组。下面是其中的一种设计方案示例(根据实验现象确定的原样品用方框标出)。



如果待检测的是含有多种不同离子的混合物，在物质中各离子间的特征反应相互间不存在干扰的情况下，可以把待测溶液分成几份后，用与上例类似的方法逐一鉴定。如果各离子间的特征反应相互间存在干扰，则需要先设法使离子分离，例如利用沉淀反应，按性质相近与否将离子逐次分组分离，再分别逐一检测。

表 3-1 中所列出的几种阳离子与盐酸、硫酸及氢氧化钠溶液的特征反应，常用于阳离子的分离或鉴别。

表 3-1 几种阳离子与盐酸、硫酸及氢氧化钠溶液的反应特征

| | HCl | H ₂ SO ₄ | NaOH 溶液 |
|------------------------------|------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Fe ³⁺ | — | — | Fe(OH) ₃ ↓ (红褐) |
| Cu ²⁺ | — | — | Cu(OH) ₂ ↓ (蓝) |
| Al ³⁺ | — | — | Al(OH) ₃ ↓, 溶于过量 NaOH |
| NH ₄ ⁺ | — | — | NH ₃ ↑ |
| Ba ²⁺ | — | BaSO ₄ ↓ (白) | — |
| Ag ⁺ | AgCl ↓ (白) | — | AgOH ↓ (白, 很快变成黑色 Ag ₂ O) |

“—”表示特征不明显。

上述科学探究中, 我们通过化学实验, 利用物质在化学反应中所表现出的性质来检测、鉴别物质。在科研和生产实际中, 常常使用特定的仪器, 通过检测物质的某种物理性质或化学性质达到检出、鉴别的目的。例如, 色谱分析仪利用混合物中不同组分在同一固定相中溶解、吸附、分配、交换等作用的不同, 以电信号反映出来, 从而达到检出混合物中各组分的目的。红外光谱基于不同结构的物质对红外光吸收情况的不同, 通过测试和记录物质的红外吸收光谱曲线, 达到检测物质的目的。质谱仪利用分子受高能电子流轰击时裂解为具有不同质量的分子离子、碎片离子, 测得相对分子质量和分子结构信息。核磁共振谱仪则记录下磁场中样品的原子核与电磁波相互作用产生的核磁共振信号(如图 3-2), 信号的位置和强度提供了分子结构、分子运动等信息。红外光谱、质谱和核磁共振谱常用于有机物的结构分析^①(如图 3-3)。图 3-4 所示仪器装置将混合物分离、各组分鉴定和结果处理结合在一起, 便捷、高效, 是一种比较先进的仪器分析技术。

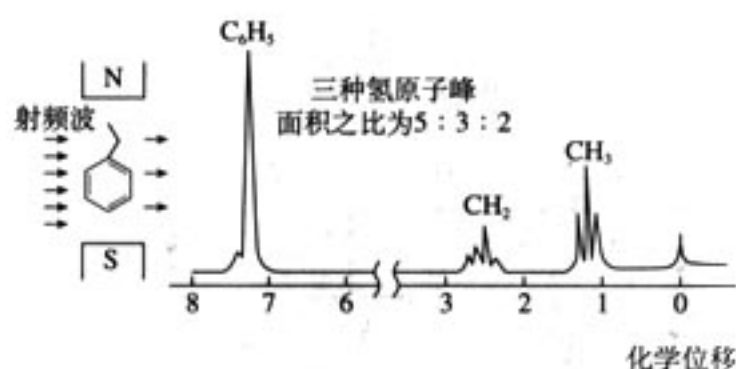


图 3-2 磁场中的乙苯与电磁波相互作用形成核磁共振氢谱示意图

红外光谱法

infrared spectroscopy (IR)

质谱法

mass spectroscopy (MS)

核磁共振波谱法

nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR)

仪器分析

instrumental analysis

^① 这三种谱的有关知识, 在本书附录及本套教科书选修 5《有机化学基础》第 1 章第 4 节中有较具体的介绍。

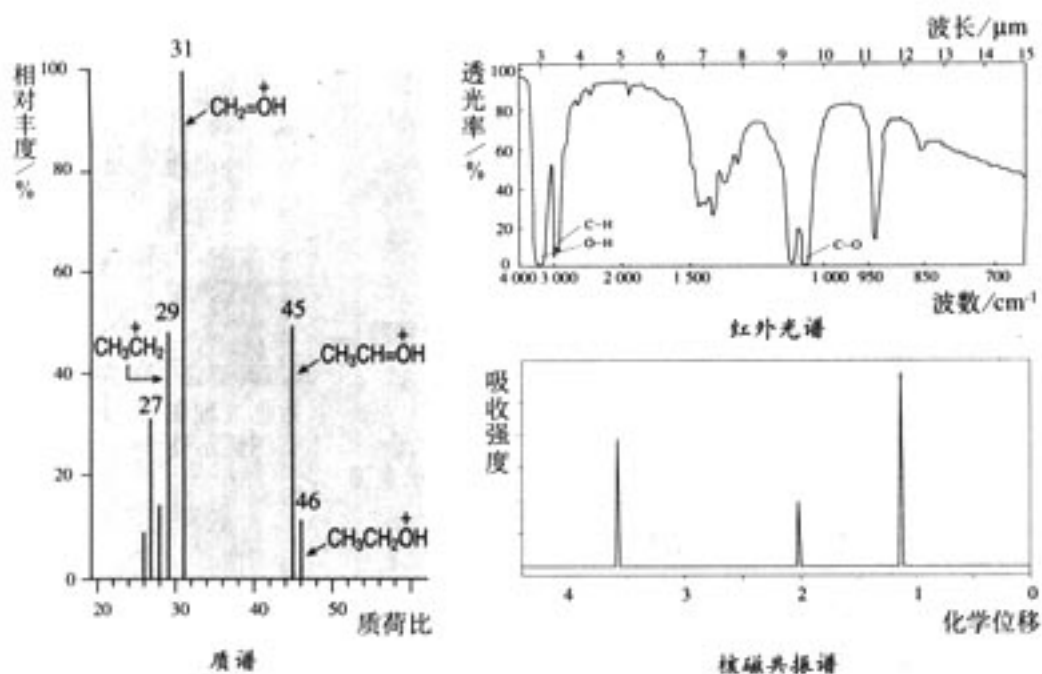


图 3-3 乙醇的几种谱图

利用物理性质对物质进行分析的方法，属于物理方法，例如红外光谱、质谱和核磁共振谱等谱学方法。其中光谱法依据的是分子或原子对光的吸收或发射特征^①，经过适当的装置处理后，获得相应的吸收或发射光谱。谱图上峰的位置、强度等，提供了物质的结构、含量等信息，可对物质进行定性检测和结构分析及定量测定等。

光谱仪一般由光源、单色器(光栅型或棱镜型)、样品池、检测器、数据处理和谱图显示器组成(如图 3-5)。由于每种谱仪所依据的性质不同，通常要对各种谱图所提供的信息进行分析、推断，才能得出结论。



图 3-4 气相色谱—质谱—计算机联用装置

^① 分子、原子与光作用的有关知识，在本套教科书选修 3《物质结构与性质》第 1 章第 1 节中有较具体的介绍。

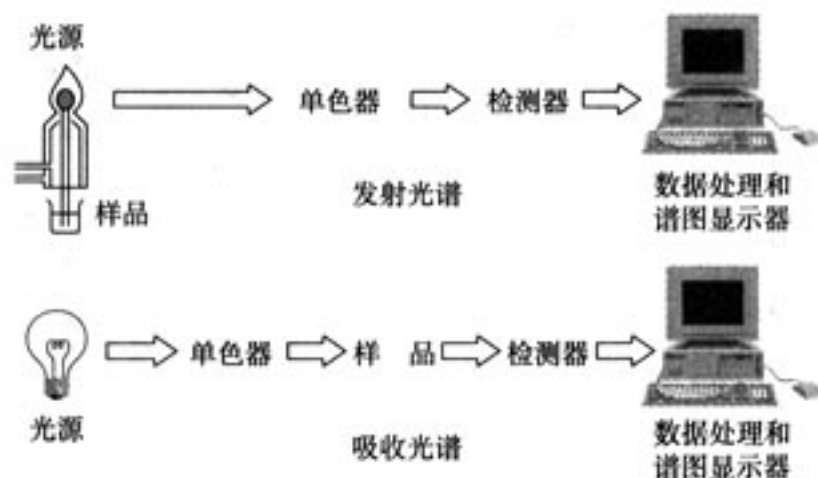


图 3-5 各类光谱仪部件示意图

思考与交流

归纳整理你学过的可用于检验物质的有关知识(可以试试在物质分类的基础上进行整理,例如固、液、气态物质;有机物、无机物;阳离子、阴离子等,下表可供参考),与同学交流后进一步完善。整理所得将成为你学习本课程的有益资料。

| 可检物质 | 有关性质 | 检测实验操作 | 主要现象 |
|---------------|--|----------------------|------|
| Cl^- | $\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ = \text{AgCl} \downarrow$ | 向用稀硝酸酸化后的待检液中滴加硝酸银溶液 | 白色沉淀 |
| | | | |

科学史话

光谱分析发展简介

19世纪20年代末,英国物理学家泰尔包特(W. H. F. Talbot, 1800—1877)观察了大量盐火焰的光谱,他发现铯盐和锂盐的焰色几乎完全相同,但光谱不同。在实验报告中激动地写到:“我能毫不含混地说,借助分光分析,即使极小量的锂和铯混在一起,我也能把它们区分开来,与其他方法比较,这种方法绝不逊色。”他是意识到某一特征光谱线对应某种元素的第一人。

1854年,美国物理学家阿尔特(D. Alter, 1807—1881)在大量研究工作的基础上,正式提出光谱定性分析建议,指出:“一种元素的发射光谱与其他元素的发射光谱比较,谱线的数目、强度和位置都不相同。因此对发射光谱的观测,可以简便地检出某种元素……利用一块棱镜就可能将星球和地球上的元素检验出来。”在目视可以观察到的光谱中,他确定了检定个别元素可选用的特征谱线。

德国化学家本生是本生灯(煤气灯)的发明人。他在使用煤气灯时,常常看到火焰被盐类染成各种颜色,萌生了通过焰色信号检测元素的想法。1859年,在挚友、物理学家基尔霍夫的建议和协助下,他们发明了看谱仪(分光镜),提高了检验的可靠性。这是光谱分析技术的开端。

利用这一技术,基尔霍夫检出了太阳的元素组成;两人还共同发现了铯和铷两种新元

光谱分析
spectrometric analysis



图 3-6 本生
(R. W. Bunsen, 1811—1899)

素。此后，发现铷、铯、镓、铊、锗等新元素利用的也是光谱分析方法。

时至今日，不断完善的各种发射光谱与吸收光谱等光学分析仪器与计算机技术结合，早已发展为不仅能定性、定量检测元素，而且可提供物质结构、价态、化学反应有关参数等信息的自动化程度很高的现代技术。这种技术不仅是化学家的重要研究手段，而且在物理学、天文学、地质地理学、生物学、环境科学和医学等领域及生产部门均已获得广泛的应用。随着计算机技术、真空技术、微电子技术、激光技术与信息处理技术的发展，这种技术不断更新，发展日新月异。



图 3-7 基尔霍夫
(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)

实验 3-1 几种无机离子的检验

实验内容

1. 设计实验，鉴别 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2SO_4 、 NaCl 、无水 CuSO_4 五种固体。
2. 设计实验，检验可能含有 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Ag^+ 、 Ba^{2+} 的混合溶液。

实验目的

1. 鉴别几种无机物。
2. 检验混合溶液中的几种离子。
3. 学习鉴别和检验不同无机化合物、混合物的思路和方法。
4. 体验综合利用化学知识和实验技能，探究未知物质的过程和乐趣。

实验原理提示

本实验中的内容 1 是鉴别几种不同的物质，可直接利用它们所含阴、阳离子的特征反应进行分组鉴别。内容 2 是混合溶液中几种阳离子的检出，由于检出这些离子的特征反应中，有的相互间存在干扰，需要先利用沉淀反应将它们分离后再检出。

实验用品

无标签（已编号）的 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2SO_4 、 NaCl 、无水 CuSO_4 固体。

含有 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Ag^+ 、 Ba^{2+} 中三或四种离子的混合溶液。

自行设计实验方案所需其他用品。

问题与讨论

1. 对于上述两个实验，你可以各设计出几种方案？你认为最佳的方案是哪个，为什么？
2. 实验内容 1 中检测的是纯净物，实验内容 2 中检测的是混合物，检测它们的依据和方法是否因此而不同？

拓展实验

1. 设计实验，检出明矾 $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ 中的阴、阳离子或证明硫酸亚铁铵晶体 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 中含有 H_2O 、 Fe^{2+} 、 NH_4^+ 和 SO_4^{2-} 。
2. 设计实验，鉴别 FeCl_3 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 Na_2CO_3 、 CaCO_3 五种固体。
3. 某固体混合物中含有 AlCl_3 、 NaCl 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 、 K_2SO_4 五种物质

中的三种，设计检验该混合物的方案并实施。

实验 3-2 几种有机物的检验

实验内容



设计实验，检验下列几组物质：

1. 鉴别酒精、白醋、香蕉水三种液体。
2. 检验某汽油样品中是否含有不饱和烃。
3. 鉴别某白色粉末是葡萄糖还是淀粉。
4. 鉴定几种织物（不同花色的毛线或布条）的成分（纯毛、纯棉或化纤）。

实验目的

1. 鉴别几种有机物。
2. 检验不同类的有机物。
3. 初步学习鉴别或检验几种有机物质、官能团的思路和方法。
4. 体验综合利用化学知识和实验技能，解决实际问题及探究未知物质的过程和乐趣。

实验原理提示

有机物的检验通常可以先观察其外部特征，例如颜色、气味、液体的黏度、固体的形状、灼烧时发生的现象等，初步了解待测物质的类别，然后再利用不同类别官能团的特性，通过化学反应进行验证。本实验的原理涉及下列几个方面：

- (1) 乙醇、乙酸、乙酸乙酯在物理性质、化学性质上的区别；
- (2) 饱和烃和不饱和烃，单糖和多糖所含官能团(结构)的特性；
- (3) 不同成分的有机物燃烧时产生的气味和燃烧后的灰烬不尽相同。

实验用品

酒精、白醋、香蕉水；某标号汽油；葡萄糖、淀粉；三种不同成分、花色的织物若干。

自行设计实验方案所需其他用品。

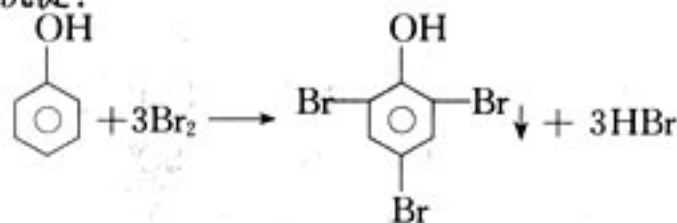
问题与讨论

如果你所需检测的是乙醇和乙酸乙酯的混合物、淀粉和葡萄糖的混合物，你怎样检出它们？需要分离吗？说明原因。

拓展实验

检测工业废水中是否含有苯酚。

(提示：苯酚是重要的化工原料，有毒性和腐蚀性，属于污染物。苯酚与溴水反应生成白色三溴苯酚沉淀；



该反应非常灵敏，常用于苯酚的检测。)

实验 3-3 植物体中某些元素的检验

实验目的

1. 应用已学和资料提供的检验离子的反应, 检验生活里常见物质中的某些元素。
2. 学习利用检验离子的反应探究身边物质成分元素的一般思路和方法。

实验原理提示

溶液中的阴、阳离子大多能发生特征的化学反应, 根据反应现象, 我们可以推知其是否存在, 达到定性地检测物质中某种元素的目的。在表 3-1 中, 我们归纳了已学过的一些离子检验方法, 常用的检验方法还有许多, 在化学实验书籍或手册中都能查到。

资料

表 3-2 几种离子的常用检验方法

| 离子 | 检验方法 | 现象 | 注意事项 |
|--------------------|--|----------------------|---|
| Ca^{2+} | 在点滴板孔穴中滴 2 滴 Ca^{2+} 试液、2 滴 6 mol/L HAc, 再滴入饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ 溶液 | 生成白色沉淀 | |
| Mg^{2+} | 在点滴板孔穴中依次滴加 2 滴 Mg^{2+} 试液、2 滴 6 mol/L NaOH 和 2 滴镁试剂 ^① | 生成天蓝色沉淀 | 反应必须在碱性条件下进行; 常需加 EDTA 溶液 ^② 以掩蔽其他氢氧化物沉淀的干扰 |
| Fe^{2+} | 在点滴板孔穴中依次滴加 1 滴 Fe^{2+} 试液、1 滴 2 mol/L HCl 和 1 滴 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 试剂 | 生成蓝色沉淀 | |
| Al^{3+} | 在离心试管中依次滴加 2 滴 Al^{3+} 试液、5 滴水、2 滴 2 mol/L HAc 和 2 滴铝试剂 ^③ , 振荡后在水浴中加热片刻, 再加入 2 滴氨水 | 生成红色絮状沉淀 | |
| Zn^{2+} | 在小试管中依次滴加 2 滴 Zn^{2+} 试液、5 滴 NaOH 溶液和 10 滴二苯硫脲 ^④ , 振荡后在水浴中加热 | 水溶液呈粉红色 | |
| Pb^{2+} | 在点滴板孔穴中依次滴加 2 滴 Pb^{2+} 试液、2 滴 2 mol/L HAc 和 2 滴 0.5 mol/L K_2CrO_4 溶液 | 生成黄色沉淀 | Ba^{2+} 、 Ag^{+} 等有类似反应, 但溶于 HAc |
| PO_4^{3-} | 于滤纸上同一点处依次滴加 1 滴 PO_4^{3-} 试液、1 滴 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ 的硝酸溶液、1 滴联苯胺试剂和 1 滴 NaAc 溶液 | 出现蓝色斑点或轮圈 | |
| I^- | 在试管中加 2 滴 I^- 试液和 6 滴 CCl_4 , 再逐滴加入氯水, 边加边振荡 | CCl_4 层出现紫色 | |

注: ①③④分别为三种有机染料;

② 乙二胺四乙酸。

上述这些离子检验的反应都是在溶液中进行的，而生活中的物质并不都是溶液，因此要检验某物质所含有的成分元素，常需对被检验物进行预处理，使目标元素转移到溶液中。对植物等有机物，一种常用的预处理方法就是灼烧使之灰化，然后用酸溶解。

实验提示

1. 检验金属离子混合溶液时，常需先进行分离，以避免干扰。
2. 待测样品溶液在预处理过程中加入了一定量的酸，设计实验时，注意考虑检验反应对酸碱条件的要求。

实验用品

2 mol/L HCl、浓 HNO₃、5% HAc、蒸馏水、干柏树叶、茶叶、干海带。

托盘天平、坩埚、电炉、烧杯、量筒、研钵、漏斗、铁架台、玻璃棒、药匙、滤纸、剪刀。

自行设计实验方案所需其他用品。

实验步骤

1. 待测物溶液的制备



(1) 取 20 g 干柏树叶，剪碎后放入坩埚中，在电炉上加热灰化。所得灰分移至研钵中研细^①。

在烧杯中加入一药匙研细的灰分，再加入 15 mL 2 mol/L HCl，搅拌后，浸泡 15 min，过滤，所得浸出液编号为“柏叶 1”。

在另一烧杯中加入一药匙研细的灰分，用 2 mL 浓 HNO₃ 使其溶解，再加入 30 mL 蒸馏水稀释，过滤取清液，编号为“柏叶 2”。

(2) 用同样方法处理茶叶，取得试样“茶叶 1”和“茶叶 2”。

(3) 取 10 g 海带放入坩埚中，在电炉上加热灰化^②。在烧杯中加入一药匙海带灰，再加入 10 mL 5% HAc 溶液，稍加热使其溶解，过滤得滤液编号为“海带”。

2. 待测物中某些成分元素的检验

根据下述要求，自行设计实验方案：

- (1) 检验试样“柏叶 1”和“茶叶 1”中的 Ca²⁺、Fe³⁺、Al³⁺；
- (2) 检验试样“柏叶 2”和“茶叶 2”中的 PO₄³⁻；
- (3) 检验“海带”试样中的碘。

问题与讨论

本实验在制备待测物溶液时，根据欲测元素的不同，选用不同的酸溶解灰分，试推测其中的原因。

拓展实验

1. 检验其他海藻类物质(如海白菜、裙带菜、紫菜等)中是否含碘。
2. 检验不同蔬菜或水果中是否含 Ca、Fe、Zn、Na、K(可自行增减)等人体所需

^{①②} 灰分最好由实验室统一提供。

元素。

3. 选定一种标明补充某元素的“保健食品”，检验其中是否含有该元素。
4. 检验市售松花蛋是否含铅元素，或检验油条中是否含铝元素。
5. 根据你居住地周边的资源或环境情况，自拟检验物质成分元素的其他研究课题。

课题二 物质含量的测定

通过观察化学反应现象可以判断某物质是否存在。当需要进一步弄清楚某物质或组分的含量时，这就需要运用定量的方法进行测量。例如， KMnO_4 水溶液、 Fe^{3+} 溶液等有颜色的物质，其溶液颜色的深浅与溶液的浓度有关。通过比较溶液颜色的深浅可以测出该有色物质的浓度，这种通过比较或测量有色物质溶液颜色深度来确定待测组分含量的方法叫比色法。定量分析中更多的测定方法需要利用化学反应的计量关系，通过相应的化学反应方程式的计算，求得待测物质的含量。例如，利用生成沉淀的反应使待测组分沉淀出来，转化为可称量物质，经称量、计算得待测组分含量。再如，使已知浓度的酸与一定量未知浓度的碱发生中和反应，测得反应完全时酸的用量，可以计算出所测碱的浓度；反之亦然。这种测定酸、碱浓度的分析方法叫酸碱中和滴定。本课题中我们将学习酸碱中和滴定和比色两种方法。

测定 determination

一、酸碱中和滴定法

酸碱中和滴定是以中和反应为基础的。



定量分析

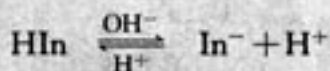
quantitative analysis

滴定法 titration

资料

酸碱指示剂的变色范围

酸碱指示剂是一些有机弱酸或弱碱，其分子在溶液中部分电离，存在电离平衡，而其分子与电离出的离子呈不同的颜色。当 pH 改变时，由于分子、离子含量的变化，引起溶液颜色的变化。例如，石蕊（以 HIn 表示）的电离平衡和颜色变化：



红色(酸性) 蓝色(碱性)

指示剂的颜色变化是在一定 pH 范围内发生的，几种常用指示剂的变色范围如下：

| 指示剂 | 变色范围/pH | 颜色 | |
|-----|----------|----|----|
| | | 酸性 | 碱性 |
| 甲基橙 | 3.1~4.4 | 红 | 黄 |
| 石蕊 | 5.0~8.0 | 红 | 蓝 |
| 酚酞 | 8.2~10.0 | 无 | 红 |

酸碱中和滴定中的常用仪器如图 3-8 所示。滴定管中装有已知物质的量浓度的碱(或酸)溶液,锥形瓶中盛放一定量未知浓度、待测定的酸(或碱)溶液,待测液中预先加有几滴酸碱指示剂,如甲基橙(或酚酞)。把滴定管中溶液逐滴加入锥形瓶,酸碱中和反应完全时,溶液的 pH 会发生明显变化,此时指示剂通过明显的颜色变化表示反应已完全,即反应到达终点。这时根据滴定管中用去碱(或酸)的量,利用化学方程式所表示的酸碱之间的计量关系,可以算出待测酸(或碱)的物质的量浓度。

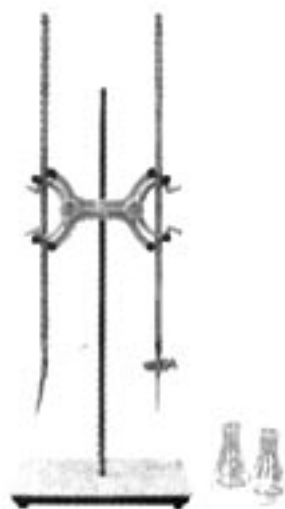


图 3-8 酸碱中和滴定的仪器和装置

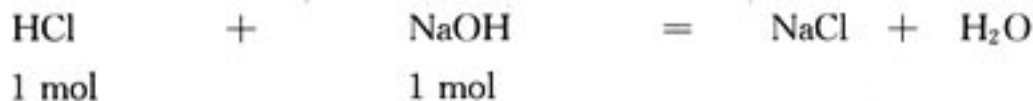
【例题】 用 0.1032 mol/L HCl 溶液滴定未知浓度的 NaOH 溶液,重复三次的实验数据如下表所示。计算滴定所测 NaOH 溶液的物质的量浓度是多少。

| 实验序号 | $0.1032 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ HCl 溶液体积/mL | 待测 NaOH 溶液体积/mL |
|------|--|-----------------|
| 1 | 27.84 | 25.00 |
| 2 | 27.83 | 25.00 |
| 3 | 27.85 | 25.00 |

【解】 三次滴定用去 HCl 溶液体积的平均值为:

$$\frac{27.84 \text{ mL} + 27.83 \text{ mL} + 27.85 \text{ mL}}{3} = 27.84 \text{ mL}$$

反应完全时,参加反应的酸、碱的物质的量有如下比例关系:



$$0.1032 \text{ mol/L} \times 0.02784 \text{ L} = c(\text{NaOH}) \times 0.02500 \text{ L}$$

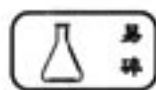
$$\begin{aligned} c(\text{NaOH}) &= \frac{c(\text{HCl}) \times V(\text{HCl}) \times n(\text{NaOH})}{V(\text{NaOH}) \times n(\text{HCl})} \\ &= \frac{0.1032 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.02784 \text{ L} \times 1 \text{ mol}}{0.02500 \text{ L} \times 1 \text{ mol}} \end{aligned}$$

$$=0.1149 \text{ mol/L}$$

答：所测 NaOH 溶液的物质的量浓度是 0.1149 mol/L。

实践活动

用中和滴定法测定 NaOH 溶液的浓度



1. 练习使用滴定管

(1) 控制滴定管

将洁净的滴定管固定在滴定管夹上，观察酸、碱滴定管的不同结构。练习用左手控制滴定管的活塞（酸式滴定管如图 3-9 所示，轻轻转动活塞；碱式滴定管轻轻挤压玻璃球）。

(2) 滴定管中加入液体

向滴定管中注入水至滴定管刻度“0”以上 2~3 mL 处，并将滴定管垂直固定在滴定管夹上（如图 3-10 所示）。在滴定管下放一烧杯，调节活塞，使滴定管尖嘴部分充满水（如滴定管内部有气泡，应快速放液以驱赶气泡；碱式滴定管胶管中气泡的除去如图 3-11 所示），并使液面处于某一刻度，以读取量筒内液体体积刻度类似的方法，准确读取滴定管中液体体积的刻度并记录在表 3-3 中。



图 3-9 控制酸式滴定管

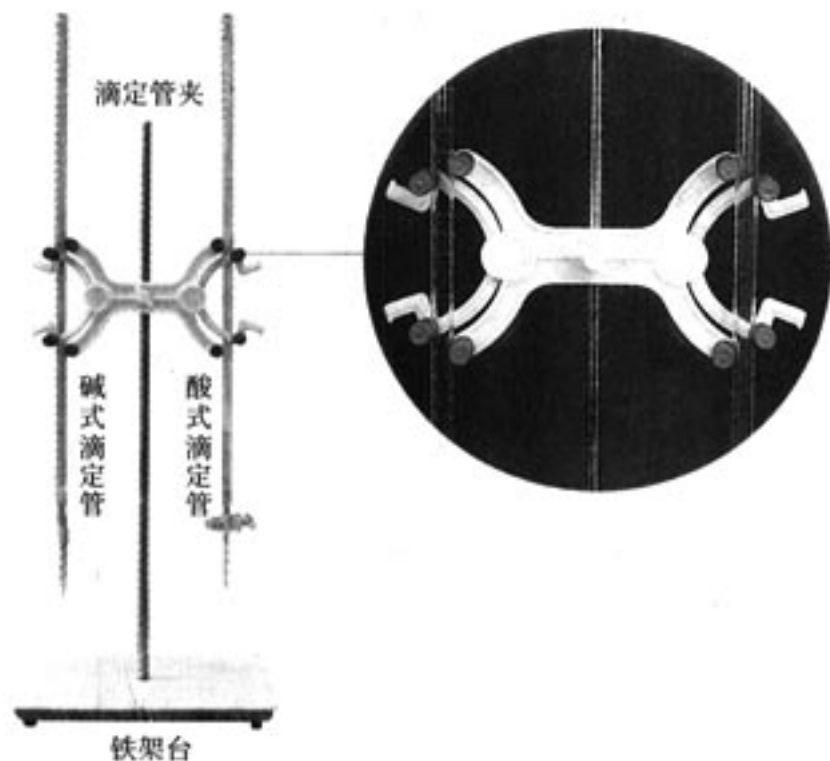


图 3-10 固定滴定管



图 3-11 除去碱式滴定管胶管中气泡的方法

(3) 量取和滴定操作

分别用酸式滴定管和碱式滴定管量取 10.00 mL 水。注意开始时放出速度可以稍快，接近需要量时要放慢速度，逐滴放出至 10.00 mL。

分别用酸式滴定管和碱式滴定管向烧杯中滴液，测出 25 滴水的体积。

表 3-3 滴定管量取水体积记录

| | 酸式滴定管 | 碱式滴定管 |
|------------|-------|-------|
| 初始体积/mL | | |
| 25 滴水体积/mL | | |

2. 实验准备

(1) 润洗滴定管

分别用 0.2 mol/L 左右(保留 4 位有效数字)的 HCl 溶液^①和未知浓度的 NaOH 溶液润洗洁净的酸式滴定管和碱式滴定管各 2~3 遍。方法是:从滴定管上口加入 3~5 mL 所要盛装的酸或碱溶液,倾斜着转动滴定管,使液体润湿全部滴定管内壁。然后,一手控制活塞将液体从滴定管下部放入预置的烧杯中。

(2) 加入酸、碱溶液

分别将酸、碱溶液加入到酸式滴定管和碱式滴定管中,使液面位于滴定管刻度“0”以上 2~3 mL 处,并将滴定管垂直固定在滴定管夹上。

在滴定管下放一烧杯,调节活塞,赶走滴定管内的气泡,使尖嘴部分充满酸或碱溶液,并使液面处于某一刻度,准确读取读数并记录在表 3-4 中。

3. 量取未知浓度的 NaOH 溶液

从碱式滴定管中向锥形瓶准确放出 25.00 mL NaOH 溶液,再滴入 2 滴酚酞溶液,摇匀,溶液呈红色。

4. 滴定测量

把上述锥形瓶放在酸式滴定管下方,轻轻转动活塞使酸溶液滴入锥形瓶,边滴边摇动锥形瓶,直至因加入一滴酸后,溶液刚好变为无色为止。此时即达滴定终点(反应“恰好”完全),将滴定管液面的刻度读数记入表 3-4。

用同样方法重复滴定 2~3 次,结果记入表 3-4。

表 3-4 标准 HCl 溶液滴定未知浓度 NaOH 溶液实验记录

标准 HCl 溶液浓度: mol/L

| 滴定 序号 | 待测 NaOH 溶液体积 | | | 标准 HCl 溶液体积 | | |
|----------|--------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| | 量取前刻度 | 量取后刻度 | 体积/mL | 滴定前刻度 | 滴定后刻度 | 体积/mL |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |

5. 计算 HCl 溶液的平均用量及待测 NaOH 溶液的浓度

^① 酸碱中和滴定中所使用的已知浓度的滴定液(酸或碱)是浓度很准确的标准溶液。标准溶液的配制对定量仪器的精密度要求比较高,例如称量要用分析天平,量取液体要用移液管;对于空气中不很稳定的物质,例如易吸收空气中水蒸气和 CO₂ 的 NaOH,易挥发的盐酸等,配制后的溶液要用稳定物质如草酸、无水碳酸钠等来标定其准确浓度。在中学阶段此项实验技能不作要求,相应实验中的标准溶液由实验室提供。

思考与交流

1. 与定性检验相比, 定量测定有什么特点?

2. 中和滴定实验中, 滴定管为什么要预先用待装酸或碱溶液润洗? 锥形瓶要不要作类似处理? 为什么?

3. 用强酸滴定强碱, 达到滴定终点(反应“恰好”完全)时, 溶液碱性逐渐减小至呈中性, pH 由大于 7 渐变为 7, 此时只要再滴入一滴酸, 溶液就会转而呈酸性, pH 变为小于 7, 指示剂的作用就是于此时使溶液颜色突变, 此后如果继续滴加酸, 颜色不再有明显变化^①。据此, 你认为中和滴定的关键是什么? 操作时应注意什么?

4. 阅读本课题中资料“测量误差与有效数字”, 结合上述实践活动, 思考下列问题:

(1) 重复同样的滴定操作的意义是什么? 通常多次重复测量的数据应较接近, 个别偏离较大的要舍弃, 不能用于计算测量平均值。试解释原因。

(2) 能否换用量筒量取 NaOH 溶液? 说明原因。

(3) 你测定结果的准确度如何?

资料

测量误差与有效数字

任何一种测量, 由于仪器、试剂或方法、操作等方面的原因, 都不可避免地会产生误差。误差是指实验测量值与客观真实值之差, 有绝对误差和相对误差之分:

绝对误差 = 测量值 - 真实值

相对误差 = $\frac{\text{绝对误差}}{\text{真实值}} \times 100\%$

一般用相对误差表示测量值与真实值之间的偏离, 误差越小说明测量结果的准确度越高, 准确度是指测定值与真实值之间的接近程度。

由于被测物的真实值通常是未知的, 分析结果是否准确又往往需要用分析结果的精密度来判断。精密度是指几次分析结果相互接近的程度, 通常用偏差来衡量。偏差是单次测定与多次重复测量结果的平均值之间的偏离。在分析测量中, 对有限次测量可用平均值代替真实值, 用相应的偏差表示精密度。

检测确定某物质或组分的含量, 一般都要求测得的结果有一定的准确度, 不同情况下, 对准确度的要求不尽相同, 所用测量仪器的精确程度也不同, 这在测量值数据上表现为数值位数的不

绝对误差 absolute error

相对误差 relative error

精密度 precision

准确度 accuracy

^① 滴定过程中的 pH 变化, 详见本课题实验 3-4 实验原理中的滴定曲线。

同。例如，分别用25 mL量筒和滴定管量取同一体积的溶液，得16.2 mL和16.21 mL，前一数据中的16和后一数据中的16.2，分别根据量筒刻度和滴定管刻度读得，是准确可靠的，两数据中的最后一位数字是估计的，由不同的测量者读取时可能会有±1单位的误差，是可疑数字。一般实验测得的数据中，前几位数都是准确的，最后一位数是估计的，所记录的几位数字都是有效数字。可见精确度不同的仪器其测量值的有效数字位数是不同的。在定量分析实验中，要减少误差，不仅要选择精确度相匹配的测量仪器，记录时所保留的有效数字也要与仪器的精确度相符合。

二、比色法

如果有两杯体积相同、颜色深浅不同的红糖水，无需品尝你就能分辨出哪一杯含糖多。生活经验告诉人们，有色物质溶液的深浅，与该物质的浓度相关。早在公元初60年代，古希腊就曾有人根据经验，通过比色估定醋中的铁。19世纪三四十年代，比色法已成为一种普遍应用的分析方法，主要利用的是一些金属离子本身的颜色和无机显色剂，例如用硫氰酸盐或黄血盐测定铁，用 MnO_4^- 形式测定锰等。虽然当时人们所掌握的可用于比色测定的反应不多，有些灵敏度也不高，但这种方法简便、迅速，因而引起了人们的注意，并不断进行研究和改进。

比色法 colorimetry

比色法主要有显色和比色两个步骤，人们对比色法的研究也是向两个方向发展。一方面，人们寻求更多、更理想的显色反应，深入研究显色反应原理及其规律，以及物质的分子结构与其吸收光谱间的关系。另一方面，以提高比色测定的灵敏、精确性为目的，不断研制、改进用于测量有色化合物对光吸收程度的仪器。借助这些仪器，比色法几乎已可以测定全部金属元素和大部分非金属元素，还可用于有机物的鉴定和结构测定，已广泛应用于冶金、化工、地球化学、农业、生物化学、药物学、医学和环境监测等领域。

思考与交流

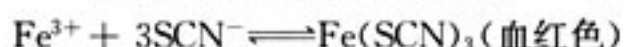
滴定法是适用于常量组分测定的分析方法，与比色法相比，它有哪些特点？

比色法的优点是灵敏度高，缺点是误差较大。因此，比色法适于微量组分的测定，不适于常量组分的测定。

最初用眼睛来观察、比较，这叫做目视比色法。以后虽然有了测量仪器，使比色更为精确、灵敏，适用范围也更加广泛，但目视比色法设备简单、操作方便的优势，使其在要

求不高的常规分析中仍占有一席之地。下面，我们以测定前面实验中自制的硫酸亚铁铵的纯度为例，学习目视比色法。

一般的亚铁盐在空气中易被氧化成铁盐，但形成硫酸亚铁铵(复盐)后就比较稳定。由于 Fe^{3+} 与硫氰酸根(SCN^-)可生成较稳定的血红色物质——硫氰化铁：



血红色的 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 很易通过比色来测定，因此常以硫酸亚铁铵中的含 Fe^{3+} 量来衡量硫酸亚铁铵的纯度，产品溶液中加入 SCN^- 后，如果含 Fe^{3+} 较多，呈较深的红色，表明纯度较低；反之则表明纯度较高。硫酸亚铁铵的试剂纯度级别标准如下：

表 3-5 硫酸亚铁铵试剂级别与 Fe^{3+} 含量

| 试剂级别 | | 1 | 2 | 3 |
|------------------------|--|-------|------|------|
| Fe^{3+} 含量 | 质量比/ $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ | 0.05 | 0.10 | 0.20 |
| | 质量分数/% | 0.005 | 0.01 | 0.02 |

用比色测定 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 溶液的浓度时，通常要先配制一系列与待测浓度相近的 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 溶液，作为比色的标准溶液(也叫标准色阶)。然后使待测样品与 SCN^- 反应，所得反应液与标准比色溶液比较，可测得该待测样品的 Fe^{3+} 浓度。表 3-5 所列不同 Fe^{3+} 含量的 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 溶液即是比色的标准溶液。将自制硫酸亚铁铵配制成一定浓度的溶液，与上述三个级别的 Fe^{3+} 的标准溶液作目视比色，可知其含 Fe^{3+} 的范围，即产品等级。

实践活动

用比色法测定自制硫酸亚铁铵的纯度

1. 配制标准溶液^①

(1) 按照滴定管使用要求，将 0.10 g/L Fe^{3+} 标准溶液(硫酸亚铁铵溶液)加入滴定管中，待用。

(2) 从滴定管中量取 $0.50 \text{ mL } 0.10 \text{ g/L Fe}^{3+}$ 标准溶液至一支 25 mL 比色管中，加入 $2 \text{ mL } 3 \text{ mol/L HCl}$ 溶液和 $1 \text{ mL } 25\% \text{ KSCN}$ 溶液，用去离子水稀释至刻度，摇匀，得一级试剂的标准溶液。

(3) 依照上述方法，分别量取 1.00 mL 和 $2.00 \text{ mL } 0.10 \text{ g/L Fe}^{3+}$ 标准溶液于另外两支 25 mL 比色管中，配制成二级和三级试剂的标准溶液。

2. 配制待测产品溶液

称取自制硫酸亚铁铵晶体 1.0 g ，放入 25 mL 比色管中，用 15 mL 去离子水溶解后，分别

^① 标准溶液可由实验室预先配制。

加入 2 mL 3 mol/L HCl 溶液和 1 mL 25% KSCN 溶液，再用去离子水稀释至刻度，摇匀。

3. 比色确定产品纯度

用待测产品溶液与标准色阶比较，确定产品纯度范围。你自制的硫酸亚铁铵的纯度属于几级？

思考与交流

1. 本实验中，标准溶液的配制对仪器的精确度要求较高，而待测溶液的配制对仪器精确度要求较低，你能解释其中的原因吗？

2. 硫酸亚铁铵不易被空气氧化成铁盐，试推测用氧化剂能否使其氧化，并设计实验证明你的推测。

科学史话

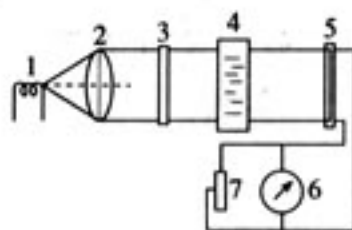
比色分析发展重要纪事

• 比尔定律：1852 年，德国数学家比尔（A. Beer, 1825—1863）研究各种无机盐溶液对红光的吸收，根据光度测量得出结论：光的吸收与光所遇到的吸收分子的数目有关，如果吸收物质溶于非吸收溶剂中，则吸光率与吸收物质的浓度成正比，该结论称为比尔定律，它奠定了比色分析及其后发展起来的分光光度法的理论基础。

• 目视分光光度计：1873 年德国化学家维洛尔特（C. Vierordt, 1818—1884）根据比尔定律设计制造了最初的可测定溶液吸光率的目视分光光度计。在此基础上，人们不断对其加以改进，如以有色玻璃作滤光片来代替分光镜，使之简化。不断完善、精密的目视分光光度计，直至 20 世纪 50 年代仍在实验室中普遍应用。

• 光电比色计：利用光电池测量透射光强度，可以测定有色溶液吸光率及其浓度。1874 年俄国人叶戈洛夫（H. Г. Егоров）设计制作出光电比色计，后经不断研究、改进，1925 年这类仪器得以在生产和实验室中大量使用。光电比色操作简单、测量准确、仪器价格相对便宜，适应了当时冶金、化学、地矿等工业对金属、矿物等物料中少量或微量组分进行测定的需求，大大推动了比色分析的发展。

• 分光光度计：原理类似于光电比色计，不同的是用棱镜加狭缝代替比色计中的滤光片，来获得波长范围较窄的单色光。各种类型的分光光度计于 20 世纪 30 年代陆续制造出来，大大扩展了比色分析的应用范围。这种分析方法的优点在于：第一，较窄的电磁辐射波长可同时测出溶液中的数个组分，而无需分离；第二，对吸收光谱的范围不局限于比色计的可见光，可应用到近紫外和近红外光区，从而可测量更多种紫外或红外光区存在吸收



1—光源，2—凸透镜，3—滤光片，
4—比色皿，5—光电池，6—检流计，
7—电阻

图 3-12 光电比色计结构示意图

峰的无色化合物；第三，可应用于有机物吸收光谱的研究，以及有机物的鉴定和结构测定。

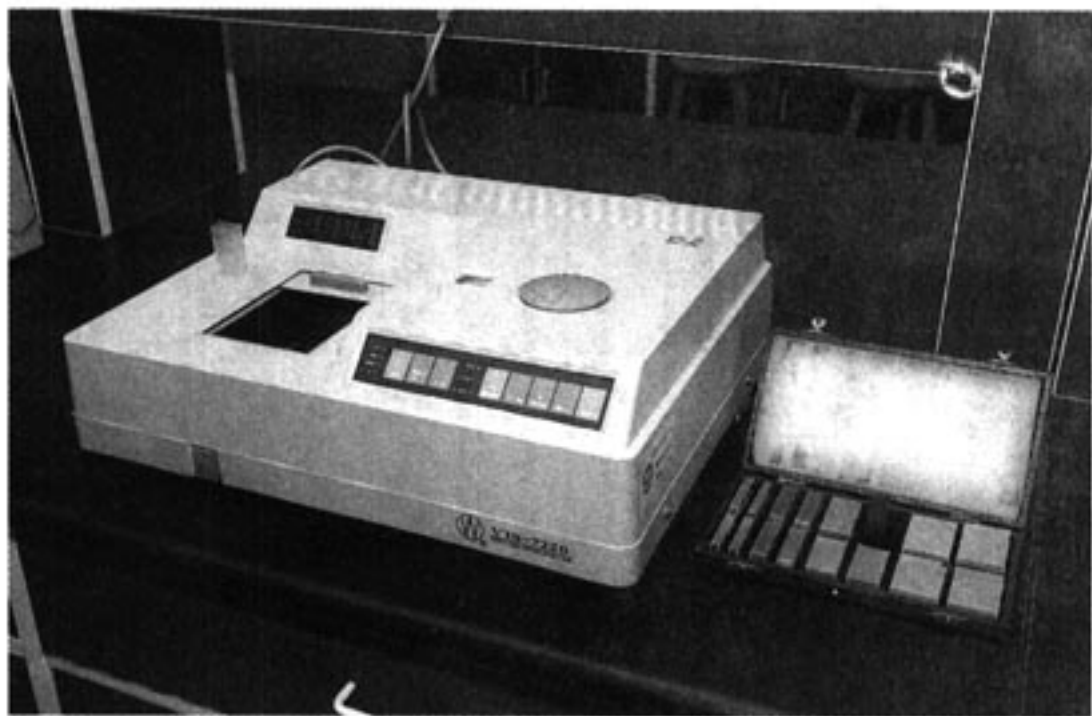


图 3-13 分光光度计

实验 3-4 酸碱滴定曲线的测绘

实验要求

实验前仔细阅读实验室所备 pH 计的使用说明，并在教师指导下熟悉仪器及使用方法。

实验目的

1. 学习 pH 计的使用。
2. 练习滴定操作。
3. 学习实验数据的图示处理方法。
4. 深入了解中和反应原理和过程。
5. 培养认真、严谨的科学态度。

实验原理

1. pH 计

pH 计^①是一种用于测量溶液 pH 的仪器，也叫酸度计。pH 计的种类和型号很多，但主要都是由一对电极和一个电位计组成，工作时两个电极插入待测溶液，组成一个原电池，该原电池与一个精密电位计连接，用以测量其电动势。待测溶液所产生的电动势随溶液 pH 的不同而变化，所测溶液的电动势在电表上直接转换成 pH 显示出来。

通常 pH 计的测定范围为 pH1~9。

^① 根据学校条件及学生情况，可对内容要求等做些调整，如用 pH 试纸代替 pH 计。

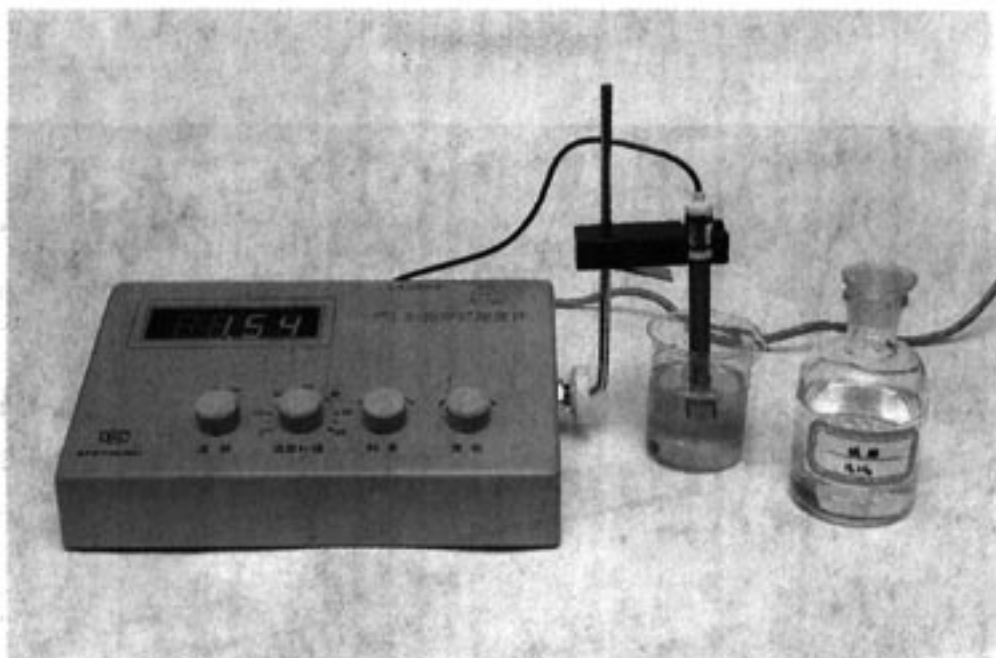


图 3-14 pH 计

不同型号的 pH 计，使用方法不尽相同，实验前一定要仔细阅读实验室所备 pH 计的使用说明，了解使用方法和操作步骤。

2. 滴定曲线

酸碱滴定曲线是以酸碱滴定过程中滴加碱(或酸)的量或中和百分数为横坐标，以溶液 pH 为纵坐标，绘出溶液 pH 随碱(或酸)的滴加量而变化的曲线。它描述了滴定过程中溶液 pH 的变化情况，特别是滴定终点附近溶液 pH 的突变情况。对于酸碱滴定中选择合适的酸碱指示剂具有重要意义。

在酸碱中和滴定过程中，随着酸碱中和百分数的上升，溶液的 pH 会发生变化，对于强酸强碱的滴定，开始时由于被滴定的酸或碱浓度较大，滴入少量的碱或酸对其 pH 的影响不大。当滴定接近终点(pH=7)时，很少量(一滴，约 0.04 mL)的碱或酸就会引起溶液 pH 突变(如图 3-15 所示)。酸、碱的浓度不同，pH 突变范围不同。

实验用品

0.1 mol/L 左右的 HCl 溶液、0.1 mol/L 左右的 NaOH 溶液^①、蒸馏水、滤纸。

pH 计、酸式滴定管、碱式滴定管、滴定管夹、烧杯、铁架台、玻璃棒。

实验步骤

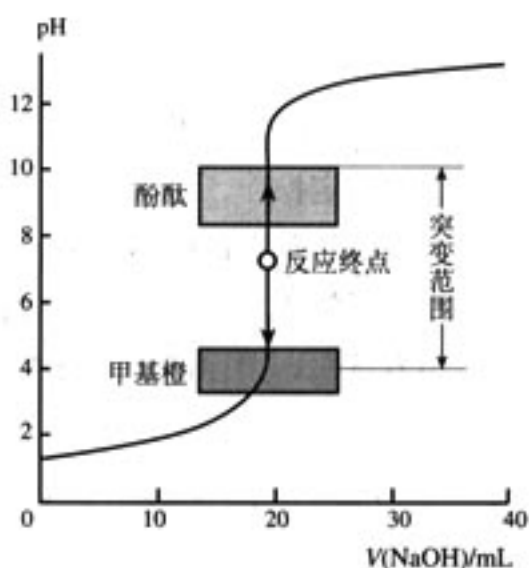
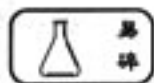


图 3-15 用 0.100 0 mol/L NaOH 滴定 20.00 mL 0.100 0 mol/L HCl 的滴定曲线

^① HCl 溶液和 NaOH 溶液的浓度以实验室提供的为准，保留 4 位有效数字，应于预习前告知学生，以利预习。

1. 按照酸碱中和滴定实验要求准备好滴定装置及滴定管中的酸、碱溶液，调节好液面并记录读数。

2. 在本次实验中，建议采用向一定量的 HCl 溶液中逐渐加入 NaOH 溶液的方法。用酸式滴定管量取一定量(如 20.00 mL)的 HCl 溶液放入烧杯中。

3. 按照 pH 计使用说明校准 pH 计(本实验中可以用 HCl 溶液作为标准溶液)，将电极插入待滴定的 HCl 溶液中，如图 3-16 所示，准备滴定。

4. 用碱式滴定管逐渐向盛有 HCl 溶液的烧杯中滴加 NaOH 溶液，每加入一定量，用玻璃棒小心搅拌(不要碰到玻璃电极，以免损坏)均匀后，读取并记录 pH 计显示的数据和加入 NaOH 溶液的体积。开始时和滴定终点之后，每次滴加 NaOH 溶液的量可稍大些，如每次加入 5~10 mL；在滴定终点附近，每次滴加 NaOH 溶液的量要小，每次一滴。

5. 清洗玻璃仪器和玻璃电极，妥善保存电极，整理实验台。

6. 根据实验数据，以 NaOH 溶液的用量或中和反应百分数为横坐标，以溶液 pH 为纵坐标，绘制溶液 pH 随 NaOH 溶液加入量而变化的曲线。

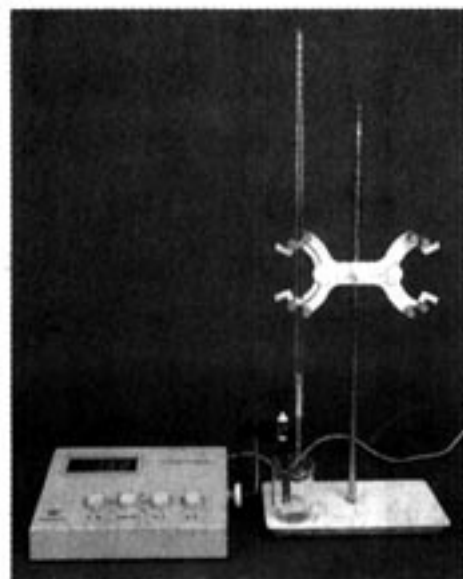


图 3-16 pH 滴定装置

问题与讨论

1. 如果上述实验改为向一定量的 NaOH 溶液中逐渐加入 HCl 溶液，所得酸碱滴定曲线会有什么不同？

2. 根据你绘制的酸碱滴定曲线，运用你知道(或查找有关资料)的几种常用酸碱指示剂的变色范围等知识，分析选用哪种酸碱指示剂能比较准确地指示出上述酸碱滴定的终点？

3. 比较 pH 计与 pH 试纸的不同特点。

拓展实验

1. 用 pH 试纸代替 pH 计完成本实验。预先设计出实验方案和实验记录表格。

2. 试验不同类型的酸、碱的滴定(如弱酸滴定强碱或强酸滴定弱碱；一元强碱滴定多元弱酸等)，探究滴定曲线与强酸强碱的滴定曲线有无不同。可自选实验酸、碱类型。

3. 利用 pH 传感器和数据采集器研究酸碱滴定过程中 pH 的变化，绘出酸碱滴定曲线。要求预先阅读相关仪器使用说明并设计出实验方案和实验记录表格。

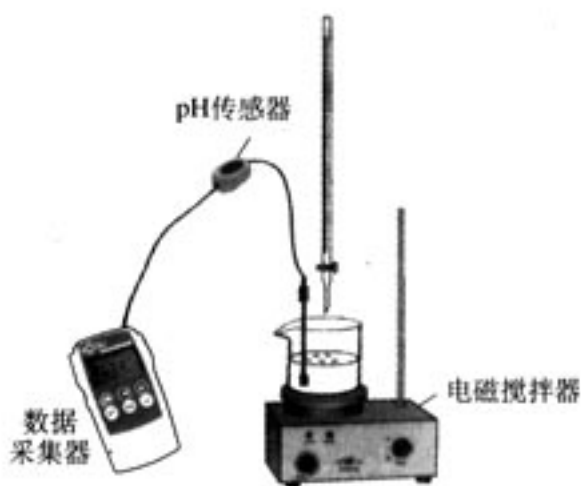


图 3-17 应用 pH 传感器的酸碱滴定装置

上述实验 3-4 中的 pH 计如果换成与数据采集器相连的 pH 传感器, 可以提高实验的自动化程度。该传感器可以“感触”溶液的酸碱度信息, 并将其转换成数据采集器(根据现代电子数码技术组装的)能识别和分析的电信号, 传送到数据采集器中, 经过数据采集器处理之后, 以时间—pH 曲线形式在其屏幕上显示并储存于内存中。

数据采集器可同时与多个传感器连接, 例如, 在酸碱滴定实验中再加一个温度传感器, 就可同时得到酸碱中和反应过程中的时间—温度曲线。

数据采集器可以与装有相应软件的计算机连接, 使人们更便捷地把握实验动态及分析、推测实验结果。

实验 3-5 比色法测定抗贫血药物中铁的含量

实验目的

1. 练习用比色管配制一定物质的量浓度的溶液, 并用目视比色法测定待测溶液某组分的含量。

2. 进一步练习利用滴定管、容量瓶量取、配制一定物质的量浓度的溶液。

实验原理

某些抗贫血药物里含有铁元素, 如硫酸亚铁、葡萄糖酸亚铁等。

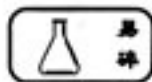
利用 Fe^{3+} 与 SCN^- 生成较稳定的血红色 $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ 的性质, 可将含铁药物经必要处理后(如溶解、氧化使 Fe^{2+} 转化为 Fe^{3+}), 与 SCN^- 反应, 而后用比色法测定 Fe^{3+} 浓度, 再经必要的计算、推导, 确定药物的铁含量。

实验用品

2.00×10^{-2} mol/L 左右的 Fe^{3+} 标准溶液、5% KSCN 溶液、pH=4 的 HAc—NaAc 溶液、1:1 HNO_3 溶液、抗贫血药(如硫酸亚铁)、蒸馏水。

分析天平、酸式滴定管、滴定管夹、100 mL 容量瓶、滴管、量筒、烧杯、25 mL 比色管(5 支)、三脚架、石棉网、玻璃棒、pH 试纸。

实验步骤



一、配制系列标准溶液(色阶)^①

1. 用 2.00×10^{-2} mol/L Fe^{3+} 标准溶液润洗酸式滴定管并装入该标准溶液, 调节并记录液面刻度后, 用 4 支 25 mL 比色管分别量取 6.00 mL, 6.50 mL, 7.00 mL, 7.50 mL 上述溶液。

^① 本实验的色阶是根据硫酸亚铁药片中 Fe^{2+} 含量配制的。如果选用其他抗贫血药, 应根据其说明书标明的铁含量配制色阶, 并使其处于色阶浓度范围之内。色阶可由实验室提供。

2. 在上述比色管中各加入 1.0 mL 5% KSCN 溶液和 2.5 mL HAc—NaAc 溶液。(调节溶液的 pH, 使呈酸性, 以防止 Fe^{3+} 与水作用生成氢氧化铁。)

3. 向上述各比色管中加入蒸馏水稀释至刻度, 摇匀, 配制成 4 种不同浓度的标准溶液。为这 4 种浓度的溶液顺序编号并分别计算出它们的物质的量浓度。

二、配制待测样品的溶液

1. 用分析天平准确称量一片抗贫血药片, 记录其质量。

2. 将称量过的抗贫血药片放入 50 mL 烧杯中, 加入少量(1~2 mL) 蒸馏水使药片溶解, 加入 2 mL 1:1 的 HNO_3 溶液, 小心加热 2~3 min, 放置。待液体冷却至室温, 移入 100 mL 容量瓶中, 用蒸馏水冲洗烧杯, 洗液并入容量瓶中。

3. 向容量瓶中加入 4.0 mL 5% KSCN 溶液和 10.0 mL HAc—NaAc 溶液, 再加蒸馏水稀释至刻度, 配制成 100 mL 一定物质的量浓度的待测样品溶液。

4. 将上述待测样品溶液移入 25 mL 比色管中。

三、比色测定

1. 将待测样品溶液与 4 种浓度的标准溶液进行比较, 确定待测物质的溶液中 Fe^{3+} 浓度的范围。

2. 根据药片质量和所测溶液中 Fe^{3+} 的含量, 计算该抗贫血药片的铁含量(质量分数)。

问题与讨论

1. 抗贫血药片溶于水后, 为什么要加 HNO_3 并加热?

2. 本实验中, 量取标准溶液用滴定管, 量取 HNO_3 、KSCN 溶液和 HAc—NaAc 溶液是否也必须用滴定管? 为什么?

实验 3-6 食醋中总酸量的测定

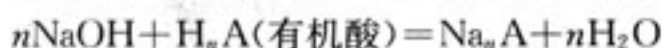
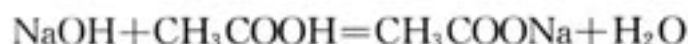
实验目的

1. 学习用 NaOH 溶液滴定醋酸的反应原理。

2. 应用酸碱滴定法测定食醋的含酸量, 学习用化学定量分析方法解决实际问题。

实验原理

食醋中含醋酸(HAc)3%~5%(质量/体积), 此外还有少量乳酸等有机弱酸。它们与 NaOH 溶液的反应为:



用 NaOH 溶液滴定时, 实际测出的是总酸量。分析结果用含量最多的醋酸表示。由于是强碱滴定弱酸, 滴定的 pH 突变在碱性范围内, 理论上滴定终点的 pH 在 8.7 左右。通常选用酚酞为指示剂, 滴至溶液呈粉红色且 30 s 内不褪色, 表明滴定达终点。

利用活性炭脱色

在试样中加入少量活性炭，振荡后过滤。如果溶液没有完全脱色，需重复上述操作。

根据 NaOH 溶液的浓度 $c(\text{NaOH})$ 和滴定时所消耗的体积 $V(\text{NaOH})$ ，可计算食醋的总酸量 $\rho(\text{HAc})$ (用每升食醋原液所含醋酸的质量表示，单位 g/L)。

实验提示

1. 最好用白醋。如果用一般食醋，滴定前必须稀释，一般需稀释 5 倍以上。
2. 稀释食醋所用蒸馏水需要煮沸(驱赶 CO_2)冷却后再用。
3. 若食醋颜色很深，影响滴定终点的判断。如果经稀释或活性炭脱色后颜色仍较深，则此品牌食醋不适于用酸碱指示剂滴定法测定酸含量。
4. 平行滴定 3 次。

实验用品

10.00 mL 食用白醋原液、0.1% 酚酞指示剂、0.1 mol/L 左右的 NaOH 溶液^①、去 CO_2 的蒸馏水。

自行设计实验方案所需用品。

实验要求

1. 自行设计实验方案和步骤，并进行实验和记录。
2. 整理实验记录，计算食醋的醋酸含量。

问题与讨论

1. 稀释食醋所用的蒸馏水为什么要先煮沸驱赶 CO_2 ?
2. 你所测结果与食醋商标上所注是否一致? 如果不一致，试分析可能的原因。
3. 如果所测食醋的颜色较深且难以除去，不宜用指示剂酸碱滴定法测定，想一想可以用你所了解的哪种方法来滴定。

拓展实验

1. 胃药中抑酸剂含量的测定。(提示：抑酸剂的有效成分为碱性物质，如氢氧化铝、氢氧化镁等；实验前应阅读药品说明，初步了解药品成分、作用等。)
2. 测量不同土壤样本的 pH。〔要求：至少取三份不同土壤的样本；测量后应提出其适宜种植的物种或土壤改良建议(农林地区)，或分析造成土壤酸碱性的可能原因(城区)。〕
3. 蛋壳主要成分的检测。

^① NaOH 溶液的浓度以实验室提供的为准，保留 4 位有效数字。

归纳与整理

通过本单元的学习，我们了解了某些定性检验和定量测定物质成分的方法，例如通过化学实验进行分析的化学方法和利用现代仪器(物理性质)进行分析的物理方法等，并通过具体实验学习了一些化学分析方法和思路。我们可以按下列提示将本单元所学主要内容进行梳理，也可以根据学习体会，自己归纳学习要点。

一、物质的检验——根据检验对象的特点归纳

1. 无机物、有机物的检验在原理、方法上的异同

| 被检物 | 原理 | | 方法 | |
|-----|----|---|----|---|
| | 同 | 异 | 同 | 异 |
| 无机物 | | | | |
| 有机物 | | | | |

2. 混合物、纯净物检验方法上的区别

二、物质的测定——根据测定方法的不同小结

| 测定方法 | 原理 | 方法简述 | 适用范围 |
|------|----|------|------|
| 滴定法 | | | |
| 比色法 | | | |

思考与交流

根据我们以往学习和探究各种物质性质及其规律的经验,思考并举例说明下列问题:

1. 我们通常通过物质的哪些性质来了解或介绍某一种物质?
2. 我们通常从哪些方面研究某一类物质(金属、非金属,有机物、无机物等)的性质?

实验 4-1 纯净物与混合物性质的比较

实验目的

1. 研究比较纯水与水溶液的凝固点的不同。
2. 设计实验,比较合金与成分金属的密度、硬度、熔点及抗腐蚀能力上的区别。
3. 通过实验,比较研究不同类物质性质的方法,并运用这一方法研究、获得某些物质性质的知识。

实验研究思路

两种以上纯净物混合之后,往往会表现出不同于任一成分纯净物的新性质。当纯净物质不能满足需要时,人们常常通过将物质混合来达到目的。例如,各种合金材料,毛涤等各种混纺织物,汽水等各种饮料都是混合物。不同成分、配比的混合,使它们具有了任一单纯物质所不具备的性能、作用或味道。不难理解,人们研究混合物的性质与研究纯净物的性质同样重要。

在初中化学中,我们曾通过实验比较,研究过合金与成分金属在硬度、熔点上的不同,现在我们将进一步比较合金与成分金属在抗腐蚀性上的区别,还要用类似的方法探讨纯溶剂与溶液性质上的不同。

实验用品

甘油溶液、粗盐、蒸馏水、冰块、沸水、铜片、铁片、锡片、黄铜制品、不锈钢制品、焊锡条。

温度计、玻璃棒、试管、药匙、烧杯、细木条、标签纸。

自行设计实验方案所需其他用品。

实验步骤

一、比较水和水溶液的凝固点

1. 向预先编好号的两支小试管中分别加入甘油溶液和蒸馏水各约半试管(等量),再各插入一支细木条,备用。

2. 向盛有冰水混合物(冰中加少量水)的烧杯中加入 4~5 药匙粗盐,搅拌,使其温度下降至 $-5\sim-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后

学 与 问

本实验利用冰融化吸热制冷。冰从哪里吸热?采取什么措施可以使试管温度更快下降?

将上述两支试管同时放入冰水中冷却。6~7 min 后，同时取出两支试管，观察现象，动一动两支试管中的木条，有什么不同？

二、比较单质金属与合金的某些性质

利用实验室提供的样品和条件，设计实验比较单质金属和合金的下列性质：

1. 密度；
2. 硬度；
3. 熔点；
4. 抗腐蚀能力。

问题与讨论

1. 物质的性质与哪些因素有关？请举例说明。
2. 在凉开水中加点糖，水变甜了，若再加点醋或盐等，味道如何？回家试一试，记下感觉味道最好的调配方案，与同学交流，你发现了什么？
3. 通过本实验，对甘油水溶液可作汽车防冻液、氯化钠可作融雪剂及本实验中以冰盐水作制冷剂等事实，你是否有了进一步的认识？

拓展实验

1. 比较蔗糖溶液与纯水的凝固点。
2. 自制等体积的纯水冰棍和糖水冰棍，观察、比较、分析它们的结晶状况有什么不同，并试解释其中的原因。（提示：与凝固点、溶解度或密度有关。）
3. 酸的性质研究。（提示：比较不同酸，如盐酸、醋酸、柠檬酸的物理性质、化学性质。）
4. 不同金属形成阳离子倾向比较。（提示：比较不同活泼金属与铜组成原电池的电压。）

实验 4-2 金属镁、铝、锌化学性质的探究

实验目的

1. 通过实验直接获取镁、铝、锌的一些化学性质或反应规律方面的知识。
2. 学习通过实验研究同类不同种物质的性质的思路、方法。

实验研究思路

在我们开始研究新问题时，通常先要作两方面的思考：一是对于研究对象已经知道些什么；二是在此基础上还想了解什么。在此基础上，再综合考虑条件等可行性因素，才能实施实验探究。

我们对镁、铝、锌已有不同程度的了解，例如，它们都是活泼金属，能与酸（如盐酸）及盐（如硫酸铜）溶液反应；在一定条件下能与氧气反应；铝能与强碱反应；等等。此外，我们还知道，不同金属与同一物质反应，所需条件不同，例如，钠常温下即能与水剧烈反应；在加热的条件下，铁粉与水蒸气能发生反应，而铁块与冷水、热水都不发生反应。对这些知识的回顾与归纳，既能够帮助我们确定进一步探究的问题，对如何进

行实验探究也会有所启发。例如，在我们现有知识的基础上，可以提出一些问题或假设：镁、铝、锌与盐酸的反应速率一样吗？镁、锌是否像铝一样都能与强碱反应？它们与氨水反应吗？它们是否像钠一样能与水反应？像铁一样在一定条件下能与水蒸气反应？等等。

针对这些问题或假设，可以设计各种实验，亲自试一试，实验探究得越全面，我们从中获得的新知识就越多。

实验用品

镁条、铝片、锌粒或锌片。

自行设计实验方案所需其他用品。

实验要求

1. 每人(或组)至少应设计、进行两项有关性质的研究。
2. 自行设计实验方案，并进行实验和记录。

问题与讨论

1. 与不同实验小组的同学交流实验结果之后，小结通过实验探究，同学们对镁、铝、锌的化学性质有了哪些新的了解。

2. 回顾以往化学课程中你所学习过的各种金属的有关性质，结合本实验的体验，概括小结人们通常从哪些方面研究金属的性质。

拓展实验

1. $\text{Zn}(\text{OH})_2$ 性质研究。
2. 其他金属或金属氧化物性质研究。
3. 盐的性质研究。(提示：盐的酸碱性与其组成的关系，盐的热稳定性，盐与酸、碱、单质的反应等。)

课题二 身边化学问题的探究^①

通过前面化学课程的学习，我们对“生活处处有化学”，一定有了较深刻的领会，能举出许多生动的例子，甚至能以此为题作个化学演讲。不仅如此，我们还可以像科学家一样，研究生活中一些与化学有关的简单问题。例如，西红柿是酸性食物还是碱性食物？饮料的酸碱性及其与牙齿保健的关系，不同洗涤剂的性能、价格比，不同药物的主要成分、价格比等等。只要我们在生活中留心观察、勤于思考，就能发现身边有许多上述这样的可探究的化学问题。

在确定了探究的问题之后，首先要弄清有关的原理、概念等。遇到我们不了解的概念、原理时，需要查找相关的资料。例如，要探究西红柿是酸性食物还是碱性食物，先要

^① 本课题安排的实验或拓展实验中，每位学生至少应选做一个。

清楚酸性食物与碱性食物的概念。通过查找有关食品营养的书籍、资料^①，可以知道，食物的酸碱性与其化学上通常所指溶液的酸碱性不同，通常是指摄入的某些食物经过消化、吸收、代谢后变成酸性或碱性“残渣”。这里的酸性、碱性实际上是指食物的成酸作用或成碱作用。成酸食物中含有较多碳、氮、硫、磷等成酸元素，成碱食物中则含有较多钾、钠、钙、镁等成碱元素。在实际测定食物的酸碱度时，可以用 100 g 食物灰化后的水溶液，所需 0.1 mol/L 酸或碱中和的体积（单位：mL）来表示。酸度取负值，碱度取正值。

在了解相关的概念、原理之后，就可以确定通过实验我们要观察或测试什么，进而选择、设计合适的实验方案。例如，在上面的例子里，我们需要了解的是食物灰化后水溶液的酸碱性。较简单的方法是：将西红柿烧成灰后用水溶解、浸泡，然后测其水溶液的 pH。也可以用酸碱滴定的方法定量测定该水溶液的酸碱度。

资料

酸性食物可降低血液等体液的 pH，碱性食物能抑制血液等向酸性方面变化，食用适当比例的酸碱性食物，有利于维持机体的酸碱平衡。

人体内的成碱物质只能从食物中摄取，而成酸物质既可以来自食物，也可以直接以食物代谢的中间产物和终产物的形式提供。

通常，蔬菜、水果、豆制品等为碱性食物，例如，菠菜、苹果、豆腐的碱度分别为 12.00、8.20、2.00；肉类、粮食等为酸性食物，例如，蛋黄、大米、鸡肉的酸度分别为 -18.80、-11.67、-7.60。

思考与交流

1. 上述有关西红柿是酸性食物还是碱性食物的探究，你认为其中最关键的是哪一步？
2. 你认为在实际问题的探究中遇到未知概念或原理是否是一种普遍现象？结合你所了解的科学史实及自己已有的探究经验，想一想探究之后所得的结论中，是否常常蕴藏新问题，并常诱发深入的探究愿望？谈谈你对这一现象的理解和认识。

实验 4-3 含氯消毒液性质、作用的探究

实验目的

1. 通过实验探究消毒液的性质、作用。
2. 综合运用已学化学、生物学知识、实验技能和方法，研究生活中的常用物质，培

^① 普通高中课程标准实验教科书化学选修 1《化学与生活》第二章第一节中有相关知识介绍。

养科学探究的实践能力。

3. 学习制定课题研究计划。

实验研究思路

1. 初步了解研究对象

仔细阅读市售含氯消毒液外包装上的说明，了解该产品的组成、作用、使用方法、注意事项和生产厂家等。

询问家人或亲朋是否使用过这类消毒液及使用的目的和经验。

2. 确定要研究的问题

在初步了解产品的基础上，提出可以进一步了解的问题。例如，

(1) 了解了主要成分，探究它有哪些主要性质或有效成分的含量。

(2) 了解了它的作用，验证一下消毒效果。

(3) 了解了某一品牌消毒液的性质，其他品牌的如何？

(4) 该产品对棉织品有漂白作用，它能否用于有色化纤织物的消毒？

(5) 产品有保质期，那么过期后是否完全没有消毒作用了？

(6) 产品保存要求避光，不避光将会怎样？

(7) 用于去油污的洗涤液多呈碱性，用于消毒、灭菌的消毒液的酸碱性如何？

(8) 消毒液的作用在不同条件下(温度、时间或水质等)效果是否一样？

.....

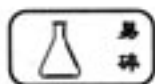
在这许多问题中，根据可能条件确定你要研究的问题。你也可以自己再进一步思考打算研究哪些问题。

3. 设计相应的实验方案

4. 实施实验探究

5. 小结并与同学交流研究结果

实验用品



含氯消毒液，装有培养基的培养皿(经高温灭菌)，培养箱^①。

自行设计实验方案所需其他用品。

实验要求

1. 每组应至少完成消毒液的灭菌作用和化学性质方面的各一项研究，在此基础上，根据情况可自选或自定另外的实验研究内容。

2. 根据实验预习中设计的实验方案依次进行下列实验并记录：

(1) 研究消毒液的灭菌作用；

(2) 研究消毒液的性质；

(3) 自选有关消毒液的其他问题研究。

^① 如果没有培养箱，在室内温暖的地方也可以。

问题与讨论

1. 与同学交流研究结果，归纳本次研究的消毒液的性能，查阅相关书籍、资料等，验证你的研究成果。
2. 从消毒液的使用及保存注意事项中，能否得到消毒液性质方面的信息？
3. 完成本实验研究之后，你是否又发现了值得进一步研究的问题？

拓展实验

其他日常洗涤或消毒用品的相关研究。

实验 4-4 饮料的研究

实验目的

1. 通过实验，比较饮料的 pH 或测含酸量，比较维生素 C(Vc)含量。
2. 综合运用已学化学知识、实验技能和方法，自主研究生活中简单的化学问题，培养科学探究的实践能力。
3. 学习制定课题研究计划。

实验研究思路

1. 选择研究对象

供选择的饮料品种：

果汁类：橙汁、椰汁、苹果汁，含果粒果汁等。

汽水类：可乐、雪碧等。

2. 确定研究的问题

下面提供几个参考研究题目，相关研究既可以设计成对某一种饮料的定量测试，也可以设计成几种饮料的比较。

(1) 饮料的 pH 或酸性

原理：许多饮料中含有酸性物质，有些是天然的，有些是为提味或作为防腐剂加入的。可以用 pH 试纸直接测得饮料的 pH；也可以利用酸碱滴定测得饮料中的总酸含量。

方法一：用 pH 试纸测试、比较几种饮料的 pH。在此基础上，要求根据产品说明并通过查找资料、咨询专家等方式，进一步比较饮料中酸的功能(常同时具有多种功能)、酸的来源(是否天然)，并从健康的角度提出选择和饮用建议。

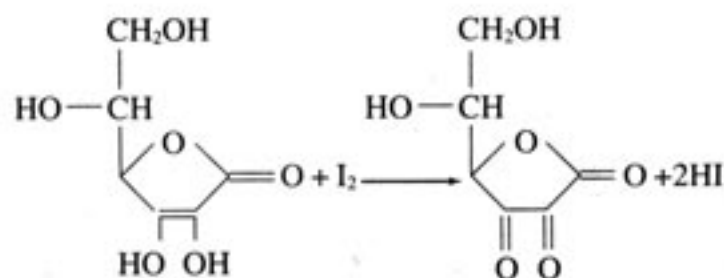
方法二：用酸碱滴定法定量测定某一种饮料的总酸含量。

提示：设计方案可参考实验 3-6。如果用酸碱滴定法测定饮料的酸含量，多数可以选酚酞作指示剂。对有色饮料要预先做脱色处理，对某些很难脱色的饮料，如可乐，不宜用指示剂法，需用 pH 计法。

(2) 饮料中的 Vc 含量

原理：Vc 又称抗坏血酸，在人体中有重要的生理作用，是人体必需的一种维生素。人体自身不能合成 Vc，只能通过食用蔬菜、水果或相关饮料、药物来摄入。Vc 分子是具有 6 个碳原子的烯醇式己糖内酯，具有较强的还原性，可被 I_2 、 O_2 等氧化剂氧化，例如，

Vc 与 I_2 的反应:



利用上述反应,可以直接用 I_2 的标准溶液滴定待测含 Vc 的溶液,测知 Vc 的含量。

Vc 易被空气氧化,特别是在碱性条件下。滴定时加入 HAc 使溶液呈弱酸性,可减少 Vc 的副反应。但滴定操作仍应尽快进行,以防 Vc 被氧化。

方法:

取 20 mL 饮料,移入锥形瓶,加 30 mL 新煮沸并冷却的蒸馏水稀释(提示:要使饮料转移完全),加入 10 mL 6 mol/L HAc 及 3 mL 0.5% 淀粉溶液,立即用酸式滴定管中的 0.05 mol/L I_2 标准溶液滴定至呈稳定的蓝色。用同样方法滴定不同饮料,比较它们所消耗 I_2 标准溶液的量,可得知它们含 Vc 的量的差别。

实验用品

根据选定的研究题目及所设计的实验,确定所需试剂和仪器。

实验要求

1. 每组可以只选择研究饮料的 pH 或 Vc 含量。如果工作量太大,可减少所研究饮料的品种。
2. 根据实验预习中设计的实验方案进行实验并记录。

问题与讨论

1. 你的研究结果与你的预期或产品说明中的标注一致吗?如果不一致,试分析原因。
2. 在研究过程中,你学到了哪些新知识和技能?(包括生活常识)

拓展实验

市售 Vc 片相关性质的研究。(提示:组成、含量、溶解性、还原性等。)

课题三 综合实验设计^①

美国“阿波罗登月计划”总指挥韦伯在“阿波罗”登月成功后曾说:“‘阿波罗计划’中没有一项新发明的技术,都是现成的技术,关键在于综合”。综合也是创新,在本课题中,你会发现综合利用我们现已掌握的各种知识和技能,也可以尝试实验设计上的“创新”。

思考与交流

仔细观察图 4-1 中的两个气体发生装置和图 4-2、图 4-3 所示两个实验,思考下列问题:

^① 本课题供学有余力并对实验特别有兴趣的同学课外选学。

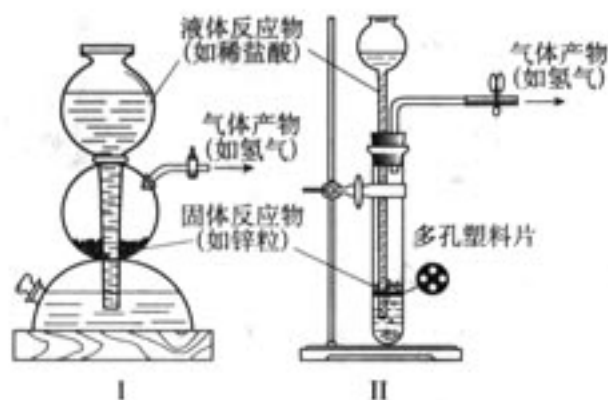


图 4-1 气体发生装置

I. 荷兰化学家启普 (P. J. Kipp, 1806—1864) 1862 年设计的启普发生器, 适用于不需加热的固液反应

II. 简易气体发生装置



图 4-2 彩色喷泉



图 4-3 空瓶生烟

1. 图 4-1 中两个气体发生装置有什么异同? 各有什么特点?
2. 图 4-2、图 4-3 两个实验所涉及的实验原理分别是什么? 所用仪器是否很普通?
3. 启普发生器和这两个实验的设计巧在哪里? 你认为设计中综合了哪些方面的知识、技能?

实践活动

1. 按图 4-4 所示, 准备好装置和试剂, 确信烧瓶塞紧后, 将滴管内水滴入烧瓶, 观察现象。

解释所观察到的现象, 分析实验设计原理, 想一想它与你熟悉的哪个实验有异曲同工之妙?

| | |
|------|--|
| 现象 | |
| 设计原理 | |



图 4-4 气球自胀



图 4-5 自制 U 形气压计

2. 用玻璃管弯制成的 U 形管、T 形管、软胶管、弹簧夹等连接成如图 4-5 所示装置，U 形管中加入适量红色水溶液，即得简易 U 形气压计。如果将此气压计用于上述实验中，应怎样连接装置？可观察到什么现象？它还能用于哪些实验？

| | |
|--------|--|
| 连接方式 | |
| 实验时现象 | |
| 设计原理 | |
| 适用实验类型 | |

3. 利用废旧圆珠笔、发光二极管、纽扣电池、导线等，制成如图 4-6 所示的微型导电测试笔，用此笔分别测试电解质溶液、非电解质溶液，导体、非导体。效果如何？

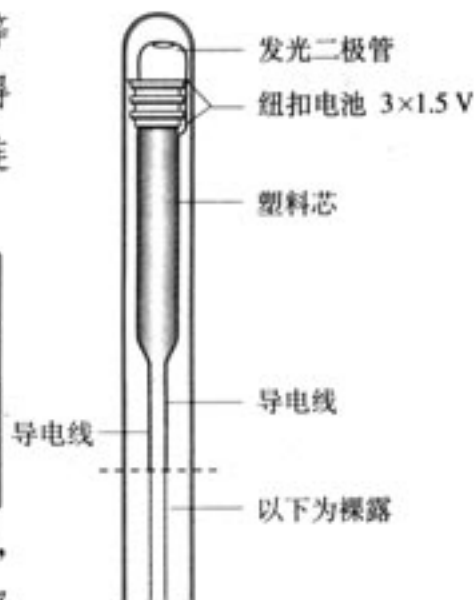


图 4-6 微型导电测试笔

分析该测试笔的设计思路，试从实用性、制作工艺、原料来源等方面给出评价。

| | |
|------|--|
| 设计思路 | |
| 评价 | |

思考与交流

“实践活动”中的三个实验或装置，在设计上有无不够完善(不够简便、美观等等)并需要改进之处？提出你的建议并试行之。

实验 4-5 综合实验设计实践

实验要求

1. 实验设计的内容、形式不限，最好能综合运用化学、物理、生物、美术等多学科知识和技能或联系生活实际。

2. 实验设计中最好有自己的想法。

实验目的

综合运用已有知识、技能，充分调动潜能，培养创新思维，体验创新乐趣。

实验设计内容建议

你可以从本课题的“思考与交流”“实践活动”中所展示的实验设计里寻找灵感，设计不同形式的“异曲同工”实验，或改进、拓展原设计中的某一部分。也可以从下列供参考的研究内容中选择一项，还可以自拟内容。力争设计出与众不同的实验。

供参考的研究内容：

1. 利用常规仪器或生活中易得物品自制气体发生装置或气体储存装置。要求气体取用方便。

2. 利用图 4-5 所示 U 形气压计，设计一个能表示出反应中能量变化(吸热或放热)的

实验。

3. 参考前面实验 1-2 中拓展实验的装置, 利用气体扩散性质, 设计演示氨气和氯化氢性质的实验。

4. 利用电子音乐卡或小电动马达等, 设计一个演示原电池的趣味实验装置。

5. 在图 4-7 所示装置基础上接入一个能启动开关的传感装置, 用以展示化学现象(如电离、反应热等)。

6. 利用有颜色变化的反应(如碘遇淀粉、铁离子遇硫氰化钾溶液、指示剂遇酸碱等), 设计可用于联欢会上作魔术表演的实验。

.....

实验用品

自行设计实验方案所需用品。

实验设计程序

1. 确定设计项目

根据自己的兴趣、特长和知识、技能储备及实验室设备等条件, 选定合适的实验设计项目。

2. 前期准备工作

针对所选项目相关的知识、仪器、技术等问题查阅资料, 做好理论、技术和装置上的准备。

3. 提出设计方案初稿

在与同组同学讨论、交流的基础上, 写出实验设计方案的初稿。

4. 检验设计实验的效果

设计初稿经同学互评后, 交教师审阅, 获得准许后, 到实验室进行试探性实验, 必要时修改设计(修改方案需经教师批准)。

5. 写出实验设计报告

报告中应包括实验名称、实验目的、实验原理、实验用品、实验安全、实验装置图、实验步骤和实验现象记录、对记录的整理分析及实验结论等。

问题与讨论

谈谈进行综合实验设计的感受。

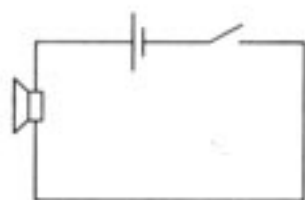


图 4-7 电铃装置示意图

归纳与整理

在本单元中，我们亲身体验了应用所学知识和技能，研究物质的性质，并对生活中的未知问题进行综合性研究，有的还尝试了综合性实验的设计。这个过程检验和提高了我们运用知识和技能的能力，增长了见识，也使我们如何通过探究性实验获取新知有所感悟。请整理、归纳你的收获（可按下列形式归纳，也可以对本单元几个课题的学习收获分别进行小结，或综合对比等），巩固学习成果。

一、研究过程的整理、归纳

| 课题 | 对象 | 过程和方法 | 学到的知识、技能 | 体会 |
|----|----|-------|----------|----|
| | | | | |
| | | | | |

二、收获和感悟

附录 I 化学实验规则

实验规则是人们从长期实验室工作中总结出来的，是保证实验良好环境和秩序，保证安全，及实验顺利进行的前提，在初中我们首次进入实验室时就已经知道了实验室规则。根据本课程的特点，有必要进一步明确化学实验规则。

1. 实验前认真预习，明确实验目的，了解实验原理、方法和过程。应将自行设计实验所需实验用品提前报告教师，以便实验室准备。教师审阅预习部分并批准后，学生方可进入实验室。

2. 实验中遵守操作规则和安全注意事项，确保实验安全。

3. 实验时认真操作，仔细观察，积极思考，在记录表(预习时设计好的)中如实、详细地记录实验现象和数据。

每人须准备一个实验记录本，用来记录实验步骤和实验中观察到的现象，及实验前后所有有关的事情，如查过的资料，有关设想、感想或尝试，偶然的发现，过失与错误的原因及教训，甚至争论。其中也许就蕴涵着新发现的萌芽，要好好保存。

4. 随时注意保持实验室的整洁，实验台上的实验用品应摆放整齐，火柴梗、废纸等废品应放入废物缸，不要随意乱丢。实验废弃物应按教师要求处理。

5. 按规定的量取用试剂，注意节约。取用后盖好试剂瓶，并放回原位置。使用过的试剂按教师要求处理。

6. 实验后应清洗所用仪器，整理实验台，检查确认水、电、气的开关已关闭。值日生在离开实验室之前应检查实验室的所有电源、水源及气源开关和门窗，确认已经全部关好方可离开。

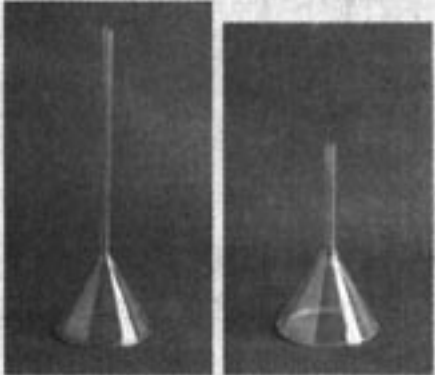

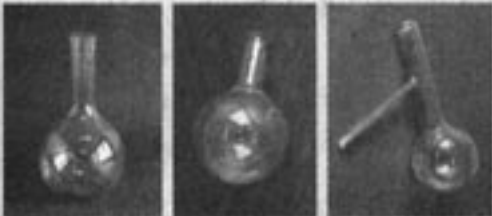

7. 及时整理实验记录，认真完成实验报告。



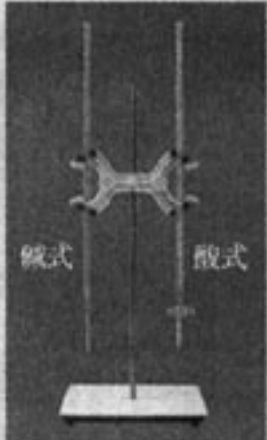


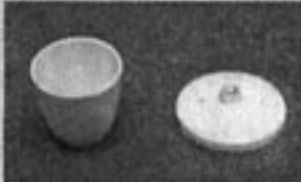
8. 如发生意外事故应保持镇静，及时处理。如伤及人身时，应立即报告教师，针对情况采取必要措施。



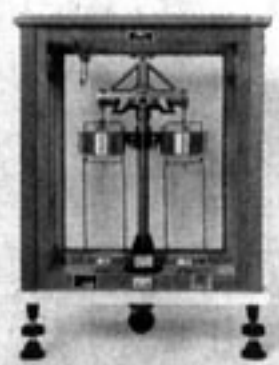
附录 II

化学实验中的一些常用仪器

我们已经认识和使用了一些化学实验仪器，本课程中会用到更多的仪器，下面择要介绍几种：

| 仪器 | 主要用途 | 使用方法和注意事项 |
|---|---|--|
|  漏斗 | <ol style="list-style-type: none">1. 用于分离固-液混合物2. 向细口容器中倾注较大量液体3. 长颈漏斗常在气体发生装置中用来加注液体 | <ol style="list-style-type: none">1. 不能直接加热2. 过滤时漏斗下端管口要紧靠烧杯内壁3. 在气体发生装置中，长颈漏斗下端必须插入液面以下 |
|  分液漏斗 | <ol style="list-style-type: none">1. 用于分离互不相溶的液-液混合物2. 用作气体发生装置中的加液漏斗 | <ol style="list-style-type: none">1. 不能加热2. 分液时，下层液体从漏斗下端管口放出，上层液体从上口倒出3. 配套活塞和旋塞，不能调换4. 旋塞处不能漏液 |
|  烧瓶 | <ol style="list-style-type: none">1. 圆底烧瓶用作常温(或加热)条件下的反应器2. 平底烧瓶用于代替圆底烧瓶3. 蒸馏烧瓶用于液体蒸馏 | <ol style="list-style-type: none">1. 盛放液体的量不能超过烧瓶容积的2/3，也不能太少2. 加热前外壁要擦干，加热时要下垫石棉网3. 蒸馏液体时，要加几粒沸石或碎瓷片，以防暴沸 |
|  冷凝管 | 在蒸馏装置中用来冷凝馏出物 | <ol style="list-style-type: none">1. 适用于冷凝沸点在 130~140 °C 的液体2. 上水管接在下方，下水管接在上方，使水流逆馏出物方向流动 |

| 仪器 | 主要用途 | 使用方法和注意事项 |
|--|--|---|
|  <p>锥形瓶</p> | <p>反应容器，由于振荡方便，特别适于滴定操作</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 盛放液体不能太多 2. 加热时要下垫石棉网 |
|  <p>容量瓶</p> | <p>用于配制准确浓度的溶液</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 不能受热，不能用于储存溶液，以免影响容积的精确度 2. 不能在其中溶解固体，以免影响配制准确度 3. 配套瓶塞，不能互换，以免漏液 |
|  <p>滴定管</p> | <p>滴定或量取准确体积的溶液</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 洗净的滴定管用前要用待装液体润洗三次，以保证溶液浓度不变 2. 滴出或量取液体之前要赶尽玻璃尖嘴处的气泡，以保证读数准确 3. 不能受热，以免影响容积精确度 4. 酸、碱滴定管不能对调使用，碱式滴定管不能盛氧化剂，以防腐蚀仪器 |
|  <p>比色管</p> | <p>用于目视比色分析</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 要使用一套质量、大小、形状相同的 2. 不能用硬毛刷和去污粉洗涤，以免擦伤壁管，影响透光效果 |
|  <p>蒸发皿</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 蒸发浓缩溶液 2. 用作反应容器 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 能耐高温，可直接加热，但不能骤冷，以防破裂 2. 加热浓缩溶液时，要不断搅拌，以防暴沸以致液体溅出 |
|  <p>坩埚</p> | <p>用于灼烧物质</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 置于泥三角上直接加强热，忌骤冷 2. 强热后用预热过的坩埚钳取下，放在石棉网上冷却，以防骤冷导致坩埚破裂或烧坏台面 |

| 仪器 | 主要用途 | 使用方法和注意事项 |
|--|--------------------|---|
|  <p>泥三角</p> | <p>灼烧坩埚时放置坩埚</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用前检查铁丝是否断裂 2. 坩埚底应横着斜放在泥三角的一个瓷管上 |
|  <p>坩埚钳</p> | <p>夹持坩埚或其他高温器皿</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 不要接触试剂 2. 夹持前应预热，夹持高温仪器后应放在石棉网上冷却 |
|  <p>分析天平</p> | <p>精确称量</p> | <p>不同天平，使用方法不尽相同，用前要熟悉实验室所备天平的构造，并仔细阅读相应的使用说明。使用时严格按照规定操作</p> |

附录 III

部分盐、氧化物、碱溶解性表

| | CO ₃ ²⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | F ⁻ | Cl ⁻ | Br ⁻ | I ⁻ | 醋酸盐 | 草酸盐 | O ²⁻ | OH ⁻ |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------|------------------|------------------|------------------|
| Ag ⁺ | HNO ₃ | 微溶于水 | 水 | 水 | 不溶 | 不溶 | 不溶 | 微溶于水 | HNO ₃ | HNO ₃ | HNO ₃ |
| Pb ²⁺ | HNO ₃ | 不溶 | 水 | HNO ₃ | 沸水 | 不溶 | HNO ₃ | 水 | HNO ₃ | HNO ₃ | HNO ₃ |
| Cu ²⁺ | HCl | 水 | 水 | HCl | 水 | 水 | 微溶于水 | 水 | HCl | HCl | HCl |
| Al ³⁺ | — | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | HCl | HCl | HCl |
| Fe ³⁺ | — | 水 | 水 | HCl | 水 | 水 | 水 | — | HCl | HCl | HCl |
| Fe ²⁺ | HCl | 水 | 水 | HCl | 水 | 水 | 水 | HCl | HCl | HCl | HCl |
| Zn ²⁺ | HCl | 水 | 水 | HCl | 水 | 水 | 水 | HCl | HCl | HCl | HCl |
| Ba ²⁺ | HCl | 不溶 | 水 | HCl | 水 | 水 | 水 | HCl | HCl | HCl | 水 |
| Ca ²⁺ | HCl | 微溶于水 | 水 | 不溶 | 水 | 水 | 水 | HCl | HCl | HCl | HCl |
| Mg ²⁺ | HCl | 水 | 水 | HCl | 水 | 水 | 水 | HCl | 水 | HCl | HCl |
| K ⁺ | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 |
| Na ⁺ | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 |
| NH ₄ ⁺ | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | 水 | — | 水 |

* 水, HCl, HNO₃ 分别表示易溶于水, 盐酸, 硝酸;

微溶于水: 微溶于水 (100 mL 水中溶解约 0.1 g);

不溶: 不溶于酸;

—: 不存在。

附录 IV

常见离子和化合物的颜色

表 1 常见离子的颜色

| | |
|-----------|---|
| 无色 阳离子 | Ag^+ , K^+ , Ca^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , Ba^{2+} , Hg^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Sn^{2+} , Sn^{4+} |
| 有色 阳离子 | Mn^{2+} 浅玫瑰色, 稀溶液无色; $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 淡紫色, 常见 Fe^{3+} 盐溶液为黄色或红棕色; Fe^{2+} 浅绿色, 稀溶液无色; Cr^{3+} 绿色或紫色; Co^{2+} 玫瑰色; Ni^{2+} 绿色; Cu^{2+} 浅蓝色 |
| 无色 阴离子 | SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , F^- , SCN^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, SO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- , S^{2-} , Br^- , NO_2^- , ClO_3^- , CO_3^{2-} , SiO_3^{2-} , I^- , Ac^- , BrO_3^- |
| 有色 阴离子 | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 橙色; CrO_4^{2-} 黄色; MnO_4^- 紫色; MnO_4^{2-} 绿色; $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ 黄绿色; $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ 黄棕色 |

表 2 有特征颜色的常见无机化合物

| | |
|-----|---|
| 黑色 | CuO , FeO , Fe_3O_4 , MnO_2 , FeS , CuS , Ag_2S , PbS |
| 蓝色 | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ |
| 绿色 | 镍盐, 亚铁盐, 铬盐, 某些铜盐如 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、碱式碳酸铜 |
| 黄色 | PbO , AgI , 铬酸盐 (如 BaCrO_4 , K_2CrO_4) |
| 红色 | Fe_2O_3 , Cu_2O , HgO , Pb_3O_4 |
| 粉红色 | $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 等锰盐 |
| 紫色 | 高锰酸盐 |

附录 V

实验室常用酸、碱溶液的配制方法

| 名称 | 密度 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | 物质的量浓度 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ | 溶液中溶质的质量分数 % | 配制方法* |
|------|---------------------------------------|--|-----------------|--|
| 浓硝酸 | 1.42 | 16 | 69.80 | |
| 硝酸 | 1.20 | 6 | 33.0 | 将密度 1.42 g/cm^3 的浓硝酸与等体积水混合 |
| 浓盐酸 | 1.19 | 12 | 37.23 | |
| 盐酸 | 1.10 | 6 | 20.0 | 将密度 1.19 g/cm^3 的浓盐酸与等体积水混合 |
| 浓硫酸 | 1.84 | 18 | 95.60 | |
| 硫酸 | 1.18 | 3 | 24.9 | 将密度 1.84 g/cm^3 的浓硫酸 165 mL 慢慢倾入 835 mL 水中 |
| 冰醋酸 | 1.06 | 17 | 99.5 | |
| 醋酸 | 1.047 | 6 | 35.0 | 将密度 1.06 g/cm^3 的冰醋酸 348 mL 与 652 mL 水混合 |
| 浓磷酸 | 1.69 | 15 | 85 | |
| 浓氨水 | 0.90 | 13~14 | 25~27 | |
| 氨水 | 0.96 | 6 | 9.9 | 将 400 mL 密度 0.9 g/cm^3 的浓氨水与 600 mL 水混合 |
| 氢氧化钠 | 1.22 | 6 | 19.7 | 溶解 240 g 固体氢氧化钠于水中, 稀释到 1 L |
| 氢氧化钾 | 1.14 | 3 | 15 | 溶解 168 g 固体氢氧化钾于水中, 稀释到 1 L |

* 为一般实验室常用的酸、碱溶液的简便配制方法。

附录 VI

一些酸、碱溶液中溶质的质量分数和溶液的密度

| 溶质的质量分数 % | 密度/(g·cm ⁻³)(20℃) | | | | |
|--------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|-----------------|
| | HCl | HNO ₃ | H ₂ SO ₄ | NaOH | NH ₃ |
| 2 | 1.008 | 1.009 | 1.012 | 1.021 | 0.990 |
| 4 | 1.018 | 1.020 | 1.025 | 1.043 | 0.981 |
| 6 | 1.028 | 1.031 | 1.039 | 1.065 | 0.973 |
| 8 | 1.038 | 1.043 | 1.052 | 1.087 | 0.965 |
| 10 | 1.047 | 1.054 | 1.066 | 1.109 | 0.958 |
| 12 | 1.057 | 1.066 | 1.080 | 1.131 | 0.950 |
| 14 | 1.068 | 1.078 | 1.095 | 1.153 | 0.943 |
| 16 | 1.078 | 1.090 | 1.109 | 1.175 | 0.936 |
| 18 | 1.088 | 1.103 | 1.124 | 1.197 | 0.930 |
| 20 | 1.098 | 1.115 | 1.139 | 1.219 | 0.923 |
| 22 | 1.108 | 1.128 | 1.155 | 1.241 | 0.916 |
| 24 | 1.119 | 1.140 | 1.170 | 1.263 | 0.910 |
| 26 | 1.129 | 1.153 | 1.186 | 1.285 | 0.904 |
| 28 | 1.139 | 1.167 | 1.202 | 1.306 | 0.898 |
| 30 | 1.149 | 1.180 | 1.219 | 1.328 | 0.892 |
| 32 | 1.159 | 1.193 | 1.235 | 1.349 | |
| 34 | 1.169 | 1.207 | 1.252 | 1.370 | |
| 36 | 1.179 | 1.221 | 1.268 | 1.390 | |
| 38 | 1.189 | 1.234 | 1.286 | 1.410 | |
| 40 | 1.198 | 1.246 | 1.303 | 1.430 | |
| 42 | | 1.259 | 1.321 | 1.449 | |
| 44 | | 1.272 | 1.338 | 1.469 | |
| 46 | | 1.285 | 1.357 | 1.487 | |
| 48 | | 1.298 | 1.376 | 1.507 | |
| 50 | | 1.310 | 1.395 | 1.525 | |
| 52 | | 1.322 | 1.415 | | |
| 54 | | 1.334 | 1.435 | | |
| 56 | | 1.345 | 1.456 | | |

| 溶质的质量分数 % | 密度/(g·cm ⁻³)(20℃) | | | | |
|--------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|------|-----------------|
| | HCl | HNO ₃ | H ₂ SO ₄ | NaOH | NH ₃ |
| 58 | | 1.356 | 1.477 | | |
| 60 | | 1.367 | 1.498 | | |
| 62 | | 1.377 | 1.520 | | |
| 64 | | 1.387 | 1.542 | | |
| 66 | | 1.396 | 1.565 | | |
| 68 | | 1.405 | 1.587 | | |
| 70 | | 1.413 | 1.611 | | |
| 72 | | 1.422 | 1.634 | | |
| 74 | | 1.430 | 1.657 | | |
| 76 | | 1.438 | 1.681 | | |
| 78 | | 1.445 | 1.704 | | |
| 80 | | 1.452 | 1.727 | | |
| 82 | | 1.459 | 1.749 | | |
| 84 | | 1.466 | 1.769 | | |
| 86 | | 1.472 | 1.787 | | |
| 88 | | 1.477 | 1.802 | | |
| 90 | | 1.483 | 1.814 | | |
| 92 | | 1.487 | 1.824 | | |
| 94 | | 1.491 | 1.831 | | |
| 96 | | 1.495 | 1.836 | | |
| 98 | | 1.501 | 1.836 | | |
| 100 | | 1.513 | 1.831 | | |

几种仪器分析方法简介

一、质谱分析法简介

质谱分析法是指在电场和磁场作用下，将运动的离子(带正电荷的原子、分子或分子碎片)按它们的质荷比(质量与电荷比 m/z)进行分离，并记录成谱后进行检测分析的方法。质谱分析法能提供化合物的相对分子质量、化学结构、裂解规律及由单分子分解形成的某些离子间存在的某种相互关系等信息。主要应用于测定稳定同位素和化合物的相对分子质量、气体的分析、推测有机物的结构以及测定混合物中各组分的含量等，也可用于确定相对原子质量。

质谱仪的结构原理简图如下：

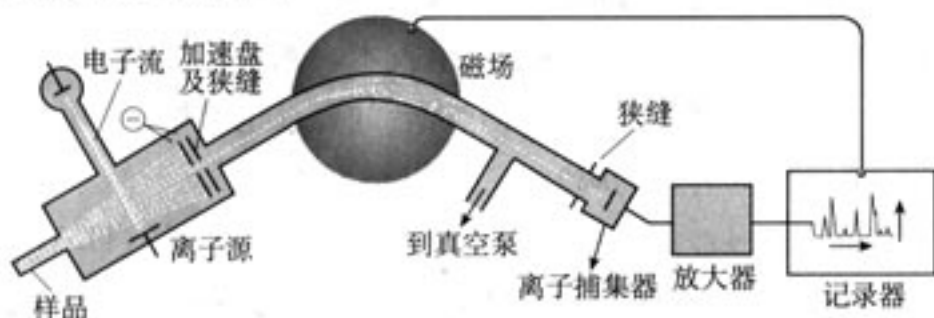


图1 质谱仪工作原理示意图

质谱仪的工作原理并不复杂。试样分子由进样口进入高度真空的电离室，在电子束的轰击下，分子失去电子(通常是1个电子)变为正离子，继而裂解变为碎片(包括不带电荷的自由基和带正电的正离子)。它们经过外磁场或电场加速后，经由飞行管道通过狭缝进入离子捕集器。质点的飞行轨迹与其 m/z (m : 相对质量; z : 电荷, 通常为+1) 有关, 也可以认为与质点的质量相关。通过改变外磁场或电场的强度, 可以精密地控制荷正电的质点的飞行轨迹, 从而严格地控制通过狭缝并到达捕集器的质点质量。质点数则以信号强度的方式记录下来。通过逐步改变外磁场或电场, 可以改变进入捕集器的质点的质量, 并以谱图形式得到所有质点的质量和它们在体系中所占据比重的信息。纯净化学物质分子的相对质量信息(m/z)可以从谱图的最右方(即 m/z 值最大者)找到。在由碎片推测分子结构时, 碎片质量之和应当小于它或和它相等。大量已知化合物的质谱已编成数据库, 并已赋予计算机辅助查对的功能, 从而使得质谱分析方法成为一种方便而可靠的仪器分析方法。

例如, 图2是丙酸甲酯的质谱图, A、B、C、D、E等峰中, E为分子离子峰, 由此可知, 丙酸甲酯分子的相对分子质量为88。其他的峰为碎片离子峰, 它们附近的强度很小的离子峰和样品分子中所包含的同位素(如 ^{13}C 、 ^{18}O)有关, 它们的强度由样品分子中的同位素丰度所决定。

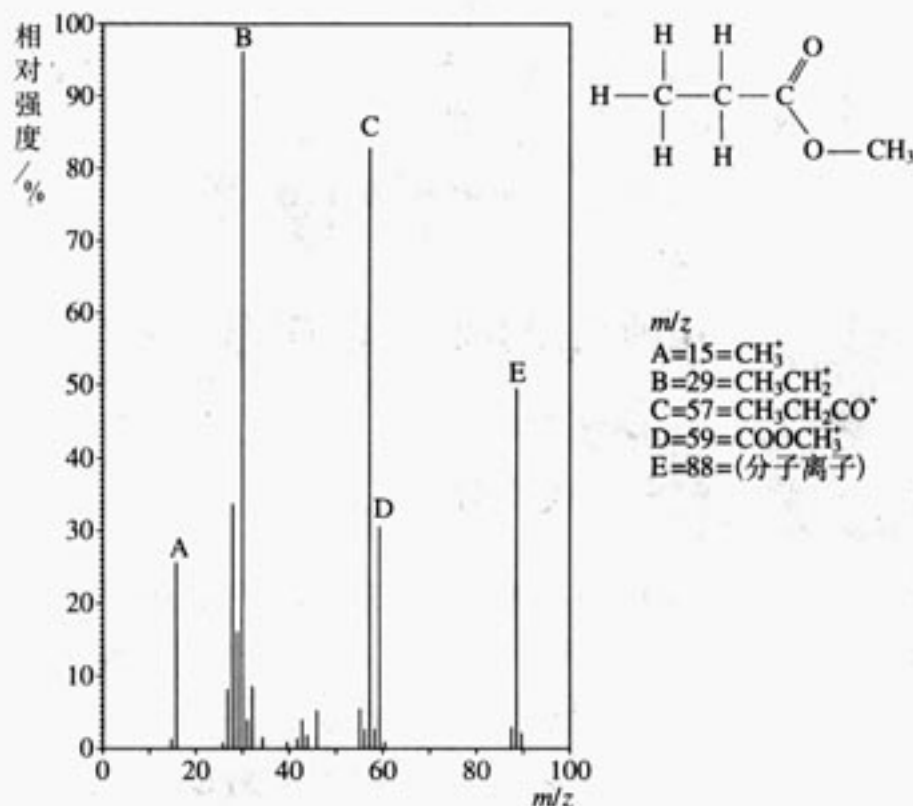


图2 丙酸甲酯的质谱图和主要碎片的归属

再如，过去分析水样中的重水含量时，多采用密度分析法。不仅要有高精度的分析天平，而且要求有精湛的实验技术。自从有了质谱技术，测量水样中重水含量的问题已经成为一种常规分析工作，不仅迅速而精确，对分析者的要求也降低了。你能否想出水样的质谱图是如何提供其中重水含量信息的吗？

1985年，柯尔(R. F. Curl)，斯莫利(R. E. Smalley)和克罗托(H. W. Kroto)在利用强激光轰击石墨靶时，从混在氦气流中的产物中发现了 C_{60} (富勒烯)，因而获得了1996年的诺贝尔化学奖。它是由产物的质谱图发现的。你能想出来 C_{60} 在质谱图上的位置与它的 m/z 之间的关系吗？如果你有兴趣，设法把这三位科学家发现 C_{60} 的故事找来读一遍，将会给你很多有益的启示。

二、红外光谱分析法简介

红外光谱法是一种分析化学的技术，对于有机化学的发展起了重要作用。它主要用来测定物质分子中存在着的官能团，也可以用来测定化学物质的纯度。此外，红外光谱对于研究物质结构也很重要，因为大多数分子和晶体中的原子的固有振动频率恰好位于红外区。用于红外光谱测定的样品，可以是固体、液体或溶液。

组成共价键的原子都处于振动运动之中，并且各有自己的本征振动频率。当包含整个红外区的辐射光通过某种物质时，与分子本征振动频率相同的光就会产生共振吸收。这时探测器所接收到的透射光经光栅或棱镜展开成为光谱后，谱图上就可以观察到相应的吸收峰。吸收峰的频率与化学键的强度及成键原子的质量有关。化学键越强，原子的质量越小，吸收峰的频率越高。

红外光谱由红外光谱仪获得，简易红外光谱仪的结构示意图如下：

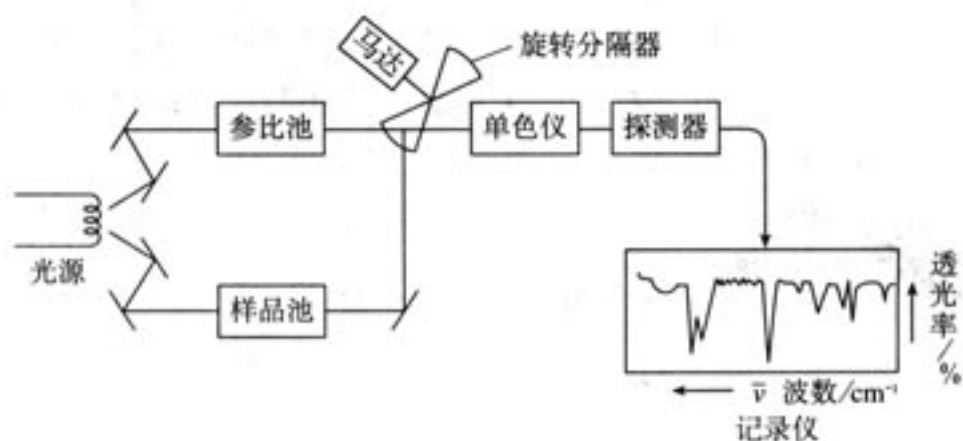


图3 简易红外光谱仪的结构示意图

用两束相同的红外光，分别通过样品池和参比池（空白或纯溶剂）后，经由旋转分隔器使它们交替通过，先后进入单色仪。单色仪把入射光按频率展开，使探测器能够检测到按照频率高低顺序透射过样品池和参比池的红外光的强度。然后把它们在同一频率下的透射强度之差作为信号传递给记录仪。记录仪以波数（ cm^{-1} ）为横轴，透光率为纵轴，同步地把所获得的信号记录下来，便成为与样品相对应的红外光谱。已知化合物的红外谱图已建成数据库，通过对比便可以得到确定的结论。

下面是2张红外光谱谱图，分别代表醇、酮。

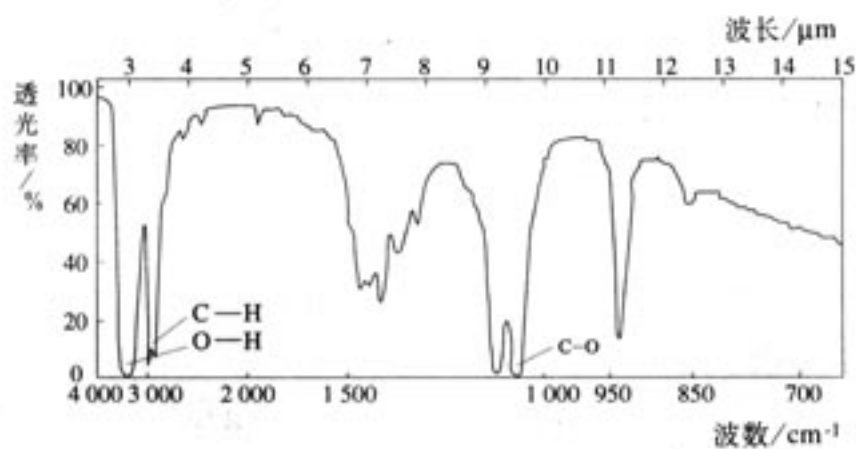


图4 乙醇 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 的红外光谱^①

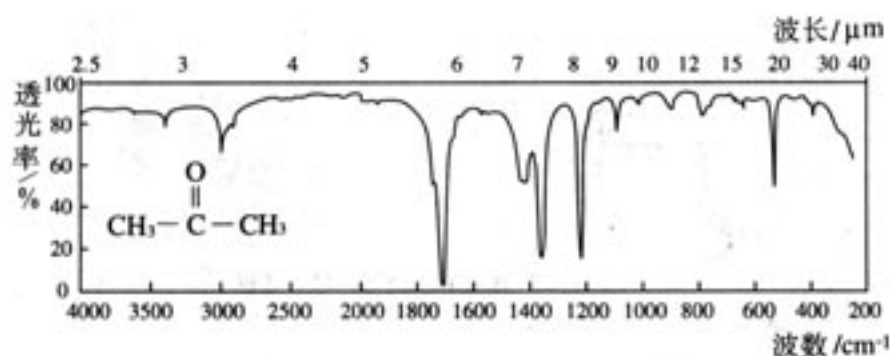


图5 丙酮 CH_3COCH_3 的红外光谱^②

读了上述简介，试对下述相关现象给予解释：

1. 在红外光谱中，同一种官能团或化学键的吸收峰的位置和强度并不完全相同。你认为产生这种现象的原因可能是什么？[提示：在高于绝对0度(0 K)的条件下，分子中所

① 3350 cm^{-1} 左右的吸收来自O—H基。C—O键的吸收在 $1000\sim 1300\text{ cm}^{-1}$ 。

② C—H的吸收在 2950 cm^{-1} 左右。C=O的吸收在 $1680\sim 1750\text{ cm}^{-1}$ 。

有原子处于振动运动之中，而且分子中的许多共价键是互相连接在一起的。]

2. 当人们在劳动或运动时不慎发生扭伤或肌肉拉伤时，用红外光照射是一种常用的理疗方案。你认为它的原理是什么？

3. 在海边沙滩进行日光浴时，不仅会感到全身暖洋洋，而且会把皮肤晒黑。但是用红外光灯照射身体时，只会产生局部暖洋洋的感觉，而不会被晒黑。这是为什么？

三、核磁共振谱分析法简介

核磁共振谱学是一门发展极为迅速的学科。质量数为奇数的原子核，例如 ^1H 、 ^{13}C 、 ^{15}N 、 ^{19}F 和 ^{31}P 的核自旋所产生的弱磁场，在强外磁场中可以对某个特定频率的电磁波发生共振吸收，吸收频率和吸收强度可以提供分子结构的重要信息，从而发展成为核磁共振谱学。在所有核中， ^1H 的核磁矩最大，吸收信号最强。 ^1H 的天然丰度很大，又是有机物的重要组分，而且 ^{12}C 和 ^{16}O 恰好核质量数为偶数，没有磁矩，所以 ^1H NMR(质子核磁共振谱或核磁共振氢谱)已经成为测定有机分子结构时所不可或缺的一种技术，并在医学诊断技术中获得应用。

原子核外的电子对于核有电磁屏蔽作用，作用的大小取决于质子在分子中的位置、数量和它邻近的基团或键的极性。在核磁共振技术中，人们用化学位移 δ ^①来表示每个质子被屏蔽的程度。TMS[(CH_3)₄Si，四甲基硅烷]是常用的参比物(也叫标准物)，因为它的4个甲基中的12个质子都受到高度屏蔽，是完全等价的，所以在核磁共振谱图上，它的吸收峰是一根很强的峰，并且远离其他化合物的质子峰。把它的化学位移 δ 定为0。以它为基准，从谱图上得到样品分子的质子峰的 δ 值。TMS无毒、化学性质不活泼、沸点很低，需要时可以很容易地从样品中除去。常用的样品溶剂是无质子溶剂，如 CDCl_3 或 CCl_4 等。

下图是简易核磁共振谱仪的结构示意图：

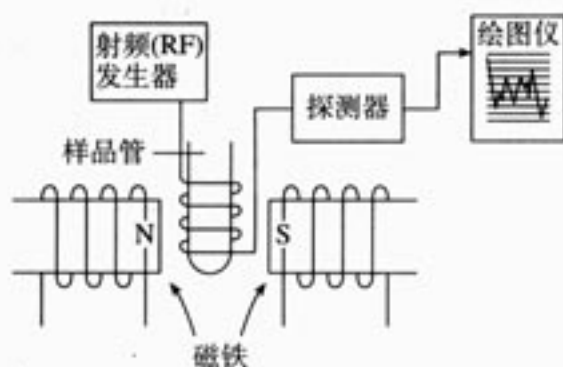


图6 简易核磁共振谱仪的结构示意图^②

① 质子的化学环境改变，会使得质子发生共振吸收的有效外磁场强度改变($\Delta B = B_0 - B_1$ ， B_0 与 B_1 为使参比核和氢核发生共振吸收的外场强度)，在核磁共振谱学中，定义化学位移 $\delta = (\Delta B/B_0) \times 10^6$ ，以百万分之一表示，也有的用百万分之一的英文缩写ppm表示。

② 简易核磁共振谱仪由以下几个部分组成：

1. 配有精密调控装置的高质量磁铁，使场强能够精密地调制；
2. 射频发生器(RF)。发射频率确定的电磁波；
3. 测量样品对所吸收的RF能量的探测器；

4. 记录仪。 x 轴为场强， y 轴为吸收强度。场强高的一方称为高场，低的一方称为低场。TMS的质子峰处于高场的最右端。

核磁共振氢谱能够提供以下信息：

- (1) 由吸收峰的数目可知有几种类型的氢；
- (2) 由吸收峰的位置(化学位移)可知各类型氢在分子中所处的位置；
- (3) 由吸收峰的强度(峰面积)可知各类氢的相对数目；
- (4) 由吸收峰的裂分数(只见于高分辨谱图)可知相邻碳上的氢的数目(裂分数=邻碳上的氢数+1)。

图 7 和图 8 是乙醇的高分辨和低分辨谱图。

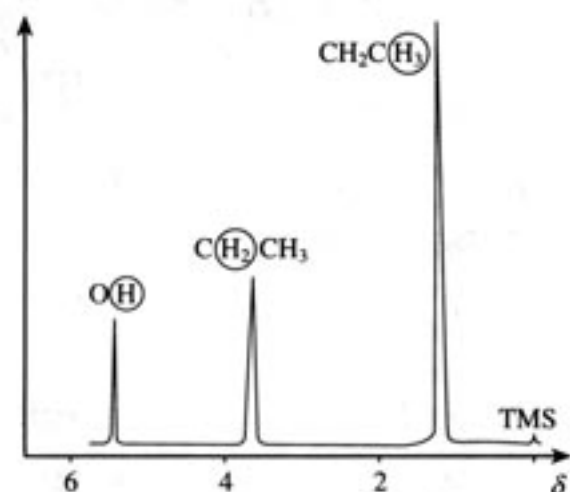


图 7 乙醇的低分辨谱图

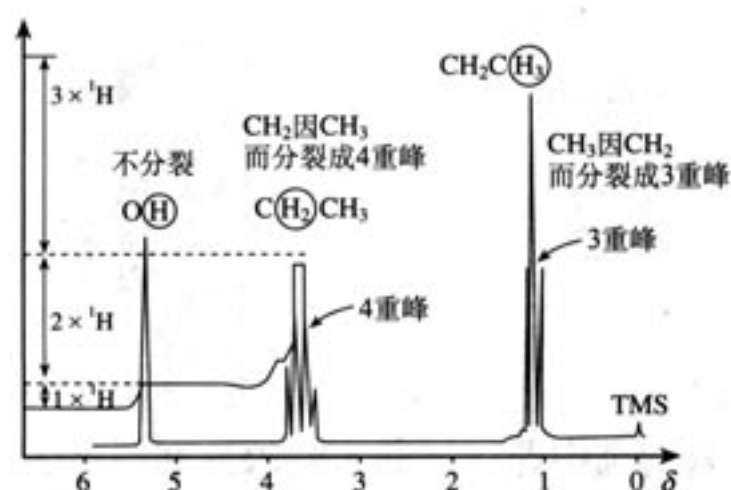


图 8 乙醇的高分辨谱图

由乙醇的低分辨氢谱可以看出：

- (1) 图中有 3 个吸收峰，对应于 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 中的 3 种类型的氢；
- (2) 图中亚甲基氢峰的位置比甲基氢峰更靠近羟基峰，对应于分子结构中 $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_3$ 的位置；
- (3) 图中 3 个峰的面积之比为 1 : 2 : 3，对应于各类氢的相对数目，即 $1 \times \text{OH}$ ， $2 \times \text{CH}_2$ ， $3 \times \text{CH}_3$ 。

由乙醇的高分辨氢谱除可以看出上述三点外，还可以看出：

图中亚甲基氢峰分裂为 4 重峰，说明其相邻碳上有 3 个氢，甲基氢峰分裂为 3 重峰，说明其相邻碳上有 2 个氢。

后 记

根据教育部制订的普通高中各科课程标准（实验），人民教育出版社课程教材研究所编写的各学科普通高中课程标准实验教科书，得到了诸多教育界前辈和各学科专家学者的热情帮助和大力支持。在各学科教科书终于同课程改革实验区的师生见面时，我们特别感谢担任教科书总顾问的丁石孙、许嘉璐、叶至善、顾明远、吕型伟、王梓坤、梁衡、金冲及、白春礼、陶西平同志，感谢担任教科书编写指导委员会主任委员的柳斌同志和编写指导委员会委员的江蓝生、李吉林、杨焕明、顾泠沅、袁行霈等同志。感谢担任学科顾问的张青莲、唐有祺、白春礼、武永兴、张健如同志，感谢对本教科书中所有实验的可行性进行研究和验证的北京大学附中化学组，感谢对本教科书的编写提出修改意见、提供过帮助和支持的严宣申、郑忠斌、王作民、金仲鸣、黄明建、何凤楼等专家、学者和教师及社会各界朋友。

我们还要感谢使用本套教材的实验区的师生们。希望你们在使用本套教材的过程中，能够及时把意见和建议反馈给我们，对此，我们将深表谢意。让我们携起手来，共同完成教材建设工作。我们的联系方式如下：

电话：010-58758376

E-mail: jcfk@pep.com.cn

人民教育出版社 课程教材研究所
化学课程教材研究开发中心
2005年12月

《普通高中课程标准实验教科书 化学》

化学1（必修）

化学2（必修）

化学与生活（选修1）

化学与技术（选修2）

物质结构与性质（选修3）

化学反应原理（选修4）

有机化学基础（选修5）

实验化学（选修6）