

高等院校化学课实验系列教材

基础有机化学实验

武汉大学化学与分子科学学院实验中心 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等院校化学课实验系列教材

基础有机化学实验

武汉大学化学与分子科学学院实验中心 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基础有机化学实验/武汉大学化学与分子科学学院实验中心编著.
—武汉:武汉大学出版社,2014.7
高等院校化学课实验系列教材
ISBN 978-7-307-13509-3

I. 基… II. 武… III. 有机化学—化学实验—高等学校—教材
IV. O62-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 120900 号

责任编辑:黄汉平 责任校对:鄢春梅 版式设计:马 佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷:湖北省京山德兴印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张:11 字数:194 千字 插页:1

版次: 2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-13509-3 定价:25.00 元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

由于院校合并及校内资源重整，合校前在各院独立开设的有机化学实验课程，合校后均由武汉大学化学与分子科学学院实验中心承担。非化学类专业如医学、生命科学、环境科学、印刷与包装工程等，由于实验学时数较少(36、54或72学时)，且学生基础及专业背景各不相同，因此很有必要编写一本适合非化学类专业学生使用的实验教材。为此编写了这本《基础有机化学实验》教材，供医学、生命科学、环境科学等非化学类专业使用，也可以供化学类(实验学时数较少)及相关专业选用。

本教材是根据多年来医学、生命科学、环境科学等非化学类专业有机化学实验课的教学内容，在武汉大学化学与分子科学学院实验中心2004年出版的《有机化学实验》教材的基础上，经过重新编排、整理和修改而来的。全书分为有机化学实验基本知识、有机化学实验基本操作和技术、有机化合物的性质及官能团鉴定，以及基础实验四个部分。本教材第二部分将各种基本操作原理、操作方法及操作注意事项等放在一起集中介绍，便于学生自学及老师讲解和参考。本教材基础实验部分按照由易到难，从简单制备实验、天然产物提取到有机化合物官能团的定性实验的方式安排，注重基础性和实用性，便于组织教学。

参与本教材编写的有熊英(主编)(第二部分2.2、2.3、2.4、2.5、2.6、2.7、2.8、2.9；第四部分实验3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19)；邓媛(副主编)(第一部分；第二部分2.1、2.10、2.11、2.12)；王晓玲(副主编)(第三部分；第四部分实验1、2、20、21、22)。全书由熊英统稿。

本书在编写过程中得到了实验中心侯安新老师、龚淑玲老师、黄驰老师、田恒丹老师以及熊鸣老师的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中错误在所难免，敬请广大师生和读者批评指正。

编 者

2014年5月

目 录

第一部分 有机化学实验基本知识	1
1.1 有机化学实验及其分类	1
1.2 有机化学药品常识及材料安全性数据表(MSDS)	2
1.2.1 易燃性	2
1.2.2 爆炸性	3
1.2.3 化学毒性	3
1.2.4 材料安全性数据表(MSDS)	4
1.3 有机化学实验室中的常识性技能	5
1.3.1 塞子的选择、打孔和装配	5
1.3.2 加热	6
1.3.3 冷却	9
1.3.4 搅拌	10
1.3.5 有机试剂取用常识	13
1.4 常用仪器及洗涤、干燥和使用	14
1.4.1 有机化学实验室中常用仪器	14
1.4.2 玻璃仪器的洗涤、干燥和使用	17
1.5 有机化学实验室安全常识	18
1.5.1 着火	19
1.5.2 爆炸	20
1.5.3 中毒	20
1.5.4 割伤	21
1.5.5 烫伤和冻伤	21
1.5.6 药品灼伤	22
1.5.7 走水	22
1.6 有机化学实验室学生守则	22

2.7 重结晶	63
2.7.1 重结晶的基本原理	63
2.7.2 重结晶常用溶剂	65
2.7.3 重结晶的操作步骤	66
2.8 薄层层析	72
2.8.1 薄层层析的基本原理和用途	73
2.8.2 薄层层析的仪器和药品	74
2.8.3 薄层层析的操作	76
2.9 柱层析	79
2.9.1 吸附柱层析的作用原理	79
2.9.2 吸附柱层析的器材	80
2.9.3 吸附柱层析的操作	82
2.9.4 柱层析操作中应注意的问题	84
2.10 干燥	85
2.10.1 液体的干燥	86
2.10.2 固体的干燥	89
2.11 萃取	91
2.11.1 萃取的基本原理	91
2.11.2 液-液分次萃取	94
2.11.3 固-液连续萃取	97
2.11.4 化学萃取	98
2.12 升华	98
2.12.1 升华的基本原理	99
2.12.2 升华的装置及操作	99
第三部分 有机化合物的性质及官能团鉴定	101
3.1 烷、烯、炔的鉴定	101
3.2 卤代烃的鉴定	103
3.3 醇的鉴定	104
3.4 酚的鉴定	106
3.5 醛和酮的鉴定	107
3.6 乙酰乙酸乙酯的鉴定	112
3.7 硝基化合物的鉴定	114

1.7 实验预习、实验记录和实验报告	23
1.7.1 实验预习	23
1.7.2 实验记录	23
1.7.3 实验报告	24
第二部分 有机化学实验基本操作和技术	29
2.1 晶体化合物的熔点测定	29
2.1.1 基本原理(含有杂质的晶体的熔融行为)	30
2.1.2 测定熔点的装置和方法	33
2.2 简单蒸馏	37
2.2.1 简单蒸馏的基本原理	38
2.2.2 简单蒸馏的仪器选择	39
2.2.3 简单蒸馏的装置安装	40
2.2.4 简单蒸馏的操作程序	41
2.2.5 蒸馏中应注意的几个问题	42
2.3 减压蒸馏	43
2.3.1 减压蒸馏的基本原理	43
2.3.2 真空度的选择和测量	46
2.3.3 减压蒸馏装置	47
2.3.4 减压蒸馏的操作程序	51
2.3.5 减压蒸馏中应注意的问题	52
2.4 水蒸气蒸馏	52
2.4.1 水蒸气蒸馏的基本原理	53
2.4.2 水蒸气蒸馏的装置	55
2.4.3 水蒸气蒸馏的操作要点和注意事项	56
2.4.4 直接水蒸气蒸馏	57
2.5 分馏	57
2.5.1 分馏的基本原理	57
2.5.2 简单分馏装置	60
2.5.3 简单分馏操作	60
2.6 回流	61
2.6.1 回流的基本装置	61
2.6.2 回流操作	63

第一部分 有机化学实验基本知识

1.1 有机化学实验及其分类

有机化学是一门实验科学。它的理论是在大量实验的基础上产生的，并接受实验的检验而得到发展和逐步完善。在高校中，有机化学实验课始终与有机化学理论课并存。很难想象一个不具备实验技能的人会在有机化学的科学研究和有机化工的生产中有重大成就。有机化学实验课的基本任务在于：①印证有机化学理论并加深对理论的理解；②训练有机化学实验的基本操作能力；③培养理论联系实际、严谨求实的实验作风和良好的实验习惯；④培养学生的初步科研能力，即根据原料及产物的性质正确选择反应路线和分离纯化路线，正确控制反应条件，准确记录实验数据及对实验结果进行综合整理分析的能力。

有机化学实验种类很多，有不同的分类方法，若从实验目的考虑，可分为以下四大类：

第一类为有机分析实验。它又可分为：

- a. 常数测定实验，以确定化合物的某项物理常数为目的，一般不发生化学反应；
- b. 化合物性质实验，以确定化合物是否具有某种性质或某种官能团为目的；
- c. 元素定性分析实验，以确定化合物中是否含有某种元素为目的；
- d. 元素定量分析实验，以确定化合物中某种元素的含量为目的；
- e. 波谱实验，通过测定化合物的某种特征吸收或化合物分子受到高能量电子束的轰击时裂解出的碎片来确定化合物的结构特征。

第二类为有机合成实验，以通过化学反应获取反应产物为目的。

第三类为分离纯化实验，以从混合物中获得某种预期成分为目的，一般不发生化学变化。被分离的混合物可以来自矿物（如石油）、动物、植物或微生物。

3.8 胺的鉴定	114
3.9 糖的鉴定	117
3.10 氨基酸和蛋白质的鉴定	121
第四部分 基础实验	125
实验 1 工业乙醇的简单蒸馏	125
实验 2 熔点测定和温度计的校正	127
实验 3 工业苯甲酸粗品的重结晶	129
实验 4 乙醇-水混合溶剂重结晶粗萘	130
实验 5 叔氯丁烷的制备	131
实验 6 乙酰苯胺的合成及重结晶(方法一)	134
实验 7 乙酰苯胺的合成及重结晶(方法二)	136
实验 8 正溴丁烷的合成	137
实验 9 呋喃甲醛的水泵减压蒸馏	140
实验 10 呋喃甲醇和呋喃甲酸的制备	142
实验 11 正丁醚的制备	144
实验 12 环己烯的制备	146
实验 13 环己酮的制备	148
实验 14 苯甲酸的制备	150
实验 15 苯甲酸乙酯的制备	152
实验 16 乙酰水杨酸的制备	153
实验 17 肉桂酸的制备	155
实验 18 偶氮苯与邻-硝基苯胺的柱层析分离	157
实验 19 偶氮苯和邻-硝基苯胺的薄层分离和检测	159
实验 20 从茶叶中提取咖啡因	161
实验 21 烟碱的提取和检验	164
实验 22 有机化合物官能团的定性反应	165
主要参考文献	167

第一部分 有机化学实验基本知识

1.1 有机化学实验及其分类

有机化学是一门实验科学。它的理论是在大量实验的基础上产生的，并接受实验的检验而得到发展和逐步完善。在高校中，有机化学实验课始终与有机化学理论课并存。很难想象一个不具备实验技能的人会在有机化学的科学研究和有机化工的生产中有重大成就。有机化学实验课的基本任务在于：①印证有机化学理论并加深对理论的理解；②训练有机化学实验的基本操作能力；③培养理论联系实际、严谨求实的实验作风和良好的实验习惯；④培养学生的初步科研能力，即根据原料及产物的性质正确选择反应路线和分离纯化路线，正确控制反应条件，准确记录实验数据及对实验结果进行综合整理分析的能力。

有机化学实验种类很多，有不同的分类方法，若从实验目的考虑，可分为以下四大类：

第一类为有机分析实验。它又可分为：

- a. 常数测定实验，以确定化合物的某项物理常数为目的，一般不发生化学反应；
- b. 化合物性质实验，以确定化合物是否具有某种性质或某种官能团为目的；
- c. 元素定性分析实验，以确定化合物中是否含有某种元素为目的；
- d. 元素定量分析实验，以确定化合物中某种元素的含量为目的；
- e. 波谱实验，通过测定化合物的某种特征吸收或化合物分子受到高能量电子束的轰击时裂解出的碎片来确定化合物的结构特征。

第二类为有机合成实验，以通过化学反应获取反应产物为目的。

第三类为分离纯化实验，以从混合物中获得某种预期成分为目的，一般不发生化学变化。被分离的混合物可以来自矿物（如石油）、动物、植物或微生物。

物发酵液，但大多数情况下则是化学反应后得到的反应混合物。

第四类是理论探讨性实验，如对反应动力学、反应机理、催化机理、反应过渡态的研究等。此类实验在基础课教学实验中涉及较少。

以上第二、三两类实验有时合称为制备实验或合成实验。制备实验在有机化学实验中占多数。但一次具体的实验又往往涉及两类或三类实验，例如，通过有机合成得到的是产物、副产物、未反应的原料、溶剂、催化剂等的混合物，需进行分离纯化才能得到较纯净的产物，最后还需通过适当的有机分析实验来鉴定产物。

有机化学实验中所用到的操作技能是多种多样的，其中那些反复使用的、具有固定规程和要点的操作单元称为基本操作。复杂的实验是基本操作的不同组合。因此，基本操作能力训练是有机化学实验课程的核心任务。为训练基本操作能力而专门设计的实验称为基本操作实验，其中多数是分离纯化实验。

有机实验的成功与否包括两个方面，一是实验结果(如预期的现象是否出现，预期的产品是否得到以及产品的质量和收率等)；二是实验过程中操作条件控制的准确性和记录的完整性。一般说来后者更为重要，因为实验结果不理想可以通过改变实验条件而逐步达到成功，而条件控制不准确则是一笔糊涂账，无法再现实验结果。

1.2 有机化学药品常识及材料安全性数据表(MSDS)

认识所接触的化学品的危险特性、安全使用化学品是保障实验室安全的重要因素。实验中用到的有机化学药品称为有机化学试剂，它与一般的无机试剂在性质上有较大的差别，主要表现为：

1.2.1 易燃性

绝大多数有机化学药品是可燃的，一部分是易燃的，其中有少数还会由于燃烧过快而发生燃爆。对于起火燃烧危险性大小的标度方法，常见的有以下几种：

①闪点(Flash Point)。指液体或挥发性固体的蒸气在空气中出现瞬间火苗或闪光的最低温度点。若温度高于闪点，药品随时都可能被点燃。药品闪点在 -4°C 以下者为一级易燃品；在 $-4\sim 21^{\circ}\text{C}$ 之间者为二级易燃品；在 $21\sim 93^{\circ}\text{C}$ 之间者为三级易燃品。测定闪点有开杯和闭杯两种方式，文献中大多注明。查阅相关文献即可推测某种具体的有机试剂起火燃烧的危险性大小。实验室中常

用的有机溶剂大多为一级易燃液体。

②火焰点。在开杯试验中若出现的火苗能持续燃烧，则可持续燃烧 5s 以上的最低温度称为火焰点，也叫着火点。当药品的闪点在 100℃ 以下时，火焰点与闪点相差甚微；当闪点在 100℃ 以上时，火焰点一般高出闪点 5~20℃。

③自燃点。分为受热自燃和自热自燃两种情况。前者指样品受热引起燃烧的最低温度；后者指样品在空气中由于氧化作用产生的热量积累，自动升温，终致起火燃烧的最低温度。自燃点越低，起火燃烧的危险性越大。

1.2.2 爆炸性

①燃爆。燃爆指易燃气体或蒸气在空气中由于燃烧太快，产生的热量来不及散发而导致的爆炸。易燃气体或易燃液体的蒸气与空气混合，在一定的浓度范围内遇到明火即发生爆炸，而低于或高于这个浓度范围则不会爆炸。这个浓度范围称为爆炸极限或燃爆极限。爆炸极限通常以体积百分浓度来表示，其浓度范围越宽广，则发生爆炸的危险性就越大。

②自爆。亚硝基化合物、多硝基化合物、叠氮化合物在较高温度或遇到撞击时会自行爆炸；金属钾、钠在遇水时会猛烈反应而发生爆炸；重氮盐在干燥时自行爆炸；过氧化物在浓缩到一定程度或遇到较强还原剂时会剧烈反应而发生爆炸。此外，氯酸、高氯酸、氮的卤化物、雷酸盐、多炔烃等类化合物在一定的条件下也易发生爆炸。

1.2.3 化学毒性

实验室中所用的有机化学药品除葡萄糖等极少数之外都是有毒的。药品的化学毒性有急性毒性、亚急性毒性、慢性毒性和特殊毒性之分，此处只介绍急性毒性和慢性毒性的常识。

①急性毒性。急性毒性指以饲喂、注射、涂皮等方式对试验动物施药一次所造成的伤害情况。最常见的标度方法是 LD_{50} (Lethal Dose, 半(数)致死量)，单位是 mg/kg。其物理意义是施药一次造成半数(50%)试验动物死亡时，平均每公斤体重的试验动物所用的药品的毫克数，一般都同时注明动物种类和施毒方式。例如，三乙胺的 LD_{50} 为 460mg/kg (Orally in mice)。不同种动物，不同的施药方式，则有一些近似的折算方法，可参看相关专著。根据半致死量的大小将急性毒性分为五个等级(表 1-1)。

表 1-1 急性毒性的五个等级

毒性级别 名称	大鼠一次经口 LD ₅₀ (mg/kg)	6 只大鼠吸入 4h 死亡 2~4 只时浓度 (ppm)	兔涂皮时 LD ₅₀ (mg/kg)	对人的可能致死量	
				(g/kg)	总量, g, 60kg 体重
剧毒	<1	<10	<5	0.05	0.1
高毒	1~	10~	5~	0.05~	3
中等毒	50~	100~	44~	0.5~	30
低毒	500~	1000~	350~	5~	250
微毒	5000~	10000~	2180~	>15	<1000

②慢性毒性。慢性毒性指长期反复接触化学药品对人体所造成的伤害情况，用 TLV 来标度。这是 Threshold Limit Value 的缩写，一般译为极限安全值或阈值，通俗说就是车间空气允许浓度，即在工作环境的空气中含有此毒物的蒸气或粉尘所能允许的最大浓度。在此浓度以下，操作者长期反复接触（以每天 8h，每周 5d 计）而不造成危害。其单位是 mg/m^3 ，即每立方米空气中含有此毒物的毫克数。其数值越小，则慢性毒性越大。

③酸碱性和腐蚀性。有机强酸如磺酸、冰醋酸等具有相当强的酸性和腐蚀性；有机强碱如胺类等具有很强的碱性并往往带有强烈的刺激性恶臭；许多有机化合物可以透过皮肤被吸收。

1.2.4 材料安全性数据表 (MSDS)

化学品的危险特性可以从专业的试剂手册中查取，也可以让试剂供货商提供材料安全性数据表（或从网上资源获得）。材料安全性数据表 (Material Safety Data Sheet, MSDS) 是一个较全面描述某种化学品危害信息的重要文件。它不仅包含了这种物质的一些物理和化学数据如熔点、沸点、闪点、毒性、反应、燃爆性能，还包含了对健康的影响、急救、储存、处置、防护设备、泄漏处理等。为安全起见，在实验前查阅所要接触的各种化学品的 MSDS 信息是十分必要的。对于不同厂商生产的和不同供货商提供的同类化学品，MSDS 一般是不同的，因此使用同一种商品名的不同商品的危害程度也有可能不同。

1.3 有机化学实验室中的常识性技能

1.3.1 塞子的选择、打孔和装配

软木塞、橡皮塞具有两种功能：一是将容器密封起来，二是将分散的仪器连接起来装配成具有特定功能的实验装置，而玻璃塞、塑料塞则一般只具有前一种功能。软木塞密封性较差，表面粗糙，会吸收较多的溶剂，其优点是不会被溶胀变形，在使用前需用压塞机压紧密，以防在钻孔时破裂。橡皮塞表面光滑，内部疏密均匀，密封性好，其缺点是易被有机溶剂的蒸气溶胀变形。在实验室中橡皮塞的使用远比软木塞广泛，特别在密封程度要求高的场合下必须使用橡皮塞。玻璃塞、塑料塞应使用仪器原配的或口径编号相同的。软木塞和橡皮塞的选择原则是将塞子塞进仪器颈口时，要有 $1/3 \sim 2/3$ 露出口外。

标准磨口玻璃仪器的普及使用为仪器的装配带来极大的方便，但仍有少数场合需要通过软木塞或橡皮塞来连接装配，这就需要在塞子上钻孔。为了使玻璃管或温度计既可顺利插入塞孔，又不至松脱漏气，需要选择适当直径的打孔器。对于橡皮塞，应使打孔器的直径等于待插入的玻璃管或温度计的直径；对于软木塞，则应使打孔器稍细于待插入的玻璃管或温度计。钻孔时在塞子下垫一木块，在打孔器的口上涂少许甘油或肥皂水，左手握塞，右手持打孔器从塞子的小端垂直均匀地旋转钻入。钻穿后将打孔器旋转拔出，用小一号的打孔器捅出所用打孔器内的塞芯。必要时可用小圆锉将钻孔修理光滑端正。

把温度计插入塞孔中时需在塞孔口处涂上少量甘油，左手持塞，右手握温度计，缓慢均匀地旋转插入。右手的握点应尽量靠近塞子，不可在远离塞子处强力推进，否则会折断温度计并割伤手指。如果塞孔过细而难以插入，可以将温度计缓缓旋转拔出，用小圆锉将塞孔修大一点再重新插入。如塞孔过大而松脱，应另取一个无孔塞，改用小一号的打孔器重新打孔，而不可用纸衬、蜡封等方法凑合使用。玻璃管、玻璃棒插入塞子的方法与温度计相同，且在插入之前需将管口或棒端烧圆滑，在插入时不可将玻璃管(棒)的弯角处当做旋柄用力。

如需从塞子中拔出玻璃管(棒)，可在玻璃管(棒)与橡皮的接合缝处滴入甘油，按照插入时的握持方法缓缓旋转退出。如已粘结，可用小起子或不锈钢铲沿玻壁插入缝中轻轻松动，然后按上述方法退出。若实在退不出来，不要强求，可用刀子沿塞的纵轴方向切开，将塞子剥下。若退下的塞子仍然完好，可洗净收存供下次使用。

1.3.2 加热

在有机化学反应中加热反应物，温度每上升 10°C ，一般可提高反应速度一倍。在分离纯化实验中为实现保温、溶解、升华、蒸馏、蒸发、浓缩等目的也要加热。实验室中的热源有酒精灯、煤气灯、电炉、电热套、电热磁力搅拌器和红外灯等，加热的方式应根据具体情况确定。

由于许多有机化合物特别是一些低沸点溶剂易燃、易爆，明火易导致实验室起火甚至爆炸，因此在做有机实验时，应尽量避免使用酒精灯、煤气灯。在必须使用明火时，也应使易燃、易爆物远离热源。可调式封闭电炉、电热套和电热磁力搅拌器由于使用安全、方便，目前被广泛用于有机实验室中。

1. 明火加热

酒精灯或煤气灯等明火，一般只有在被加热物质沸点较高且不易燃烧(如水或水溶液等)或做玻璃加工时适用。

加热试管中的水和少量固体的混合物时，可直接用酒精灯或煤气灯加热(图 1-1)。加热时，应使试管夹夹在试管中部偏上的位置，并使试管略倾斜(管口不要对着人)，小火缓慢加热。先加热液体的中上部，再慢慢往下移动，同时不停地上下移动，不要集中加热某一部分，否则将使液体局部受热骤然产生蒸气，液体被冲出管外。

用煤气灯加热烧杯、锥形瓶、烧瓶等玻璃器皿中的水或水溶液时，可在火焰与受热器皿之间垫一层石棉网，以扩大受热面积且使加热较为均匀，否则容易因受热不均而破裂。烧杯、锥形瓶等平底容器可直接放在石棉网上加热(图 1-2)，圆底瓶、梨形瓶等容器的瓶底应与石棉网之间有 $1\sim 2\text{mm}$ 间隔。非封闭式电炉也可代替煤气灯加热。

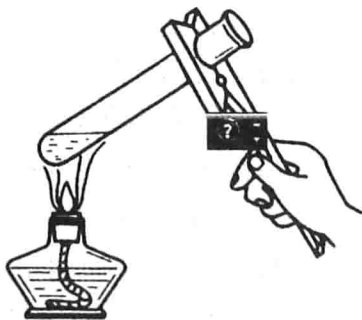


图 1-1 加热试管中的少量溶液

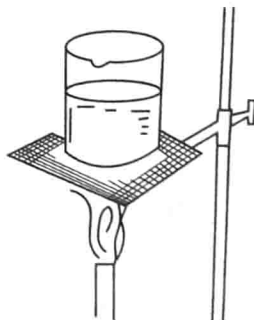


图 1-2 加热烧杯中的溶液

2. 水浴加热

当被加热物质要求受热均匀而温度不超过 100°C 时,可采用水浴加热。水浴锅可为铜质或铝质,通过产生的热水或水蒸气加热盛在容器中的物质。实验室常用恒温水浴箱进行加热(图 1-3)。恒温水浴箱用电加热,可自动控制温度、同时加热多个样品。水浴箱内盛水不要超过 $2/3$,被加热的容器不要碰到水浴箱底。凡涉及金属钠、钾的反应都不宜用水浴加热。

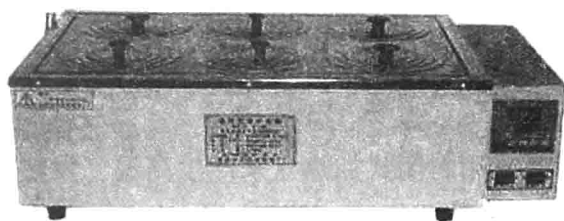


图 1-3 六孔电热恒温水浴箱

当加热少量低沸点液体时,也可用烧杯代替水浴锅,可用封闭式电炉或电热磁力搅拌器加热烧杯中的水(图 1-4)。将装有待加热物料的烧瓶浸于水中,使水面略高于瓶内液面,瓶底不触及烧杯底部,然后调节电压将温度控制在所需的温度范围之内。

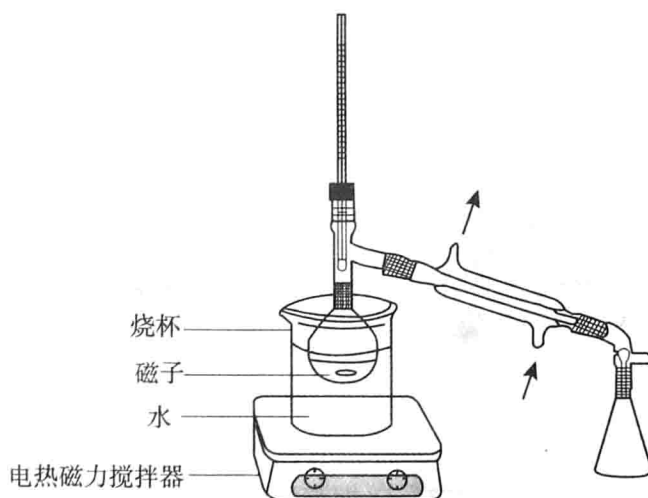


图 1-4 水浴加热蒸馏少量低沸点液体

3. 油浴加热

当被加热物质要求受热均匀，温度又高于 100°C 时，可用油浴加热。油浴加热与水浴加热方法相似。油浴所能达到的温度因所用油的种类不同而不同。甘油和邻苯二甲酸二丁酯适用于加热至 160°C 左右，过高则易分解。石蜡和液体石蜡都可加热至 220°C ，再升温虽不分解，但易冒烟燃烧；硅油加热至 250°C 仍然稳定，目前实验室中应用较多，但价格昂贵。

油浴的使用方法与水浴类似，但久用会变黑，高温会冒烟，混入水珠会造成爆溅。油的膨胀系数较大，若浴锅内装得较多，受热时会溢出锅外，造成污染或引起燃烧。所以在人数众多的学生实验室中使用油浴不方便。

4. 封闭电炉加热

封闭电炉(图 1-5)采用封闭式加热盘来产生高温，发热体被全封闭在绝缘耐高温材料中，具有加热无明火，加热效率高和便于清洗的特点。同时具备无极式调温功能，适用于不同温度的加热，使用温度一般不超过 500°C 。

烧杯、锥形瓶等平底容器可直接放在封闭电炉上加热，使用方便。

5. 电热套加热

电热套(图 1-6)也是实验室常用的加热仪器，由无碱玻璃纤维和金属加热丝编制的半球形加热内套和控制电路组成，不见明火，使用安全。由于采用球形加热，可使容器受热面积达到 60% 以上，适用于梨形瓶和圆底烧瓶的加热。同时具备无极式调温功能，使用温度一般不超过 400°C 。



图 1-5 可调式封闭电炉



图 1-6 电热套

第一次使用电热套时，套内有白烟和异味冒出，颜色由白色变为褐色再变成白色属于正常现象，因玻璃纤维在生产过程中含有油质及其他化合物，应放在通风处，数分钟后消失即可正常使用。不慎将液体溢入套内时，应迅速关闭电源，将电热套放在通风处，待干燥后方可使用，以免漏电或电器短路发生