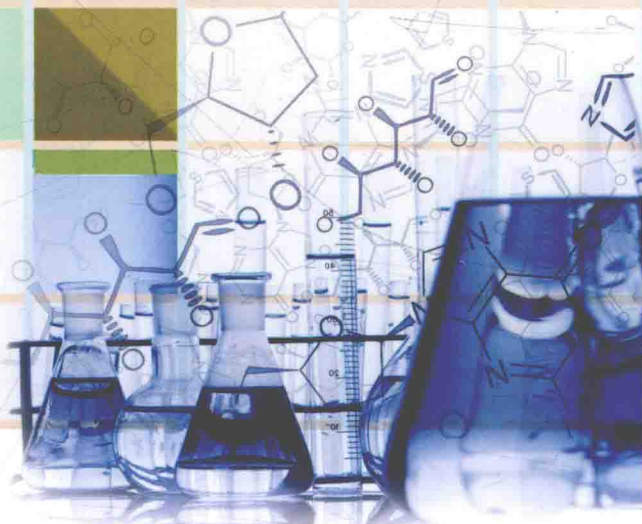


全国普通高等教育“十三五”重点建设规划教材



有机化学实验

熊万明 郭冰之 ⊙ 主编

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

全国普通高等教育“十三五”重点建设规划教材

有机化学实验

主 编	熊万明	郭冰之	
副主编	邓昌晞	商希礼	黄建平
参 编	王正辉	吴苏琴	延 永
	聂旭亮	熊志勇	

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

有机化学实验 / 熊万明, 郭冰之主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-5682-0466-8

I. ①有… II. ①熊… ②郭… III. ①有机化学-化学实验-高等学校-教材
IV. ①O62-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 005923 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 10

字 数 / 228 千字

版 次 / 2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 24.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

前 言

有机化学实验是有机化学的实践环节，是有机化学知识的延伸。本课程除了使学生系统掌握有机化学基本操作，学会使用相关实验仪器设备之外，还培养学生的动手能力和发现问题、分析问题及解决问题的能力；使学生养成严肃认真、实事求是的科学态度，严谨开展科学研究的作风；为进一步应用化学知识和实验技术解决实际问题打下坚实的基础。

为了适应 21 世纪化学及其他交叉学科的发展和普通高等院校教育的需要，提高学生的综合素质，编者结合多年的有机化学实验教学改革的经验与体会，精心设计编写了这本有机化学实验教材。

本书的特点是系统性与适用性相结合，构建了基础实验、开发实验、设计和研究型实验等不同层次的实验教学体系，既方便教师教学，又有利于学生自主学习与创新能力的培养。本书内容编排方面主要包括基础知识、基本操作和化合物的制备等 8 个部分，共选编了 43 个实验。编者对各实验内容力求做到原理叙述通俗易懂，操作切实可行。本书可供应用化学、化工、环境、药学各化学相关专业本科生、专科生使用，也可作为高等农林院校农、林、牧等专业学生的实验用书。

参加本书编写的有江西农业大学的熊万明、邓昌晞、黄建平、吴苏琴、聂旭亮老师，北京理工大学珠海学院郭冰之、熊志勇老师，华南农业大学的王正辉老师，滨州学院商希礼老师，商洛学院延永老师。

本书的编写和出版得到了各编者所在学校各级管理部门的大力支持，本书在编写过程中引用了其他学者的相关著作，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处难免，敬请批评指正。

编 者

目 录

第一部分 有机化学实验的基础知识	1
一、有机化学实验室规则	1
二、有机化学实验室的安全知识	1
三、常用玻璃仪器	4
四、常见电器与设备	9
五、有机化学反应实施方法	16
六、计算机在有机化学实验中的应用	22
七、实验预习与实验报告	24
第二部分 有机化学实验的基本操作	26
一、蒸馏	26
二、萃取	32
三、升华	34
四、重结晶	35
五、色谱法	36
实验一 普通蒸馏和分馏	42
实验二 纸色谱法鉴定氨基酸	44
实验三 熔点和沸点的测定	46
实验四 重结晶提纯苯甲酸	51
实验五 折射率的测定	52
实验六 旋光度的测定	55
实验七 咖啡因和偶氮苯的紫外光谱	58
第三部分 有机化合物的性质实验	60
实验八 有机化合物的元素定性分析	60
实验九 有机化合物官能团性质实验	62
实验十 糖及蛋白质的性质实验	67
第四部分 有机化合物的制备	70
实验十一 环己烯的制备	70
实验十二 正溴丁烷的制备	71
实验十三 2-甲基-2-己醇的制备	73
实验十四 苯甲醇和苯甲酸的制备	75
实验十五 三苯甲醇的制备	76
实验十六 乙醚的制备	79
实验十七 正丁醚的制备	80
实验十八 乙酰水杨酸(阿司匹林)的制备	82

实验十九 乙酸乙酯的制备	84
实验二十 苯乙酮的制备	85
实验二十一 己二酸的制备	87
实验二十二 硝基苯的制备	89
实验二十三 苯胺的制备	90
实验二十四 苯亚甲基苯乙酮的制备	92
实验二十五 甲基橙的制备	93
实验二十六 肉桂酸的制备	95
实验二十七 呋喃甲醇与呋喃甲酸的制备	96
实验二十八 乙酰苯胺的制备	98
实验二十九 对氨基苯磺酰胺的制备	99
实验三十 安息香的辅酶合成	101
实验三十一 二苯乙二酮的制备	102
实验三十二 二苯乙醇酸的制备	103
实验三十三 扁桃酸的制备	105
实验三十四 氢化肉桂酸的制备	106
实验三十五 2,4-二氯苯氧乙酸	108
第五部分 天然有机化合物的提取	111
实验三十六 从茶叶中提取咖啡碱	111
实验三十七 从烟草中提取烟碱	114
实验三十八 油料作物中油脂的提取和油脂的性质	117
实验三十九 从橘皮中提取果胶	119
实验四十 食用色素辣椒红素的提取及鉴定	120
实验四十一 从牛奶中分离蛋白质和乳糖	122
实验四十二 植物叶蛋白的提取和纯化	123
第六部分 开放实验	124
实验四十三 有机化合物的分离、提纯与鉴别	124
第七部分 综合性设计实验	127
第八部分 附录	132
参考文献	149

第一部分 有机化学实验的基础知识

一、有机化学实验室规则

有机化学是一门实验性很强的学科，实验在有机化学的学习中占有重要的地位。有机化学实验教学的目的是不仅使学生掌握有机化学实验的基本技能和基础知识，还培养学生理论与实际相联系的能力，使学生能够验证有机化学中所学的理论，锻炼解决实验过程中所遇到问题的思维和动手能力。为了保证实验的正常进行、养成良好的实验习惯及培养严谨的科学态度，学生必须遵守下列实验室规则：

① 学生在进入实验室前必须认真阅读本部分（有机化学实验的基础知识）和附录十二（易燃、易爆、有毒、致癌物质）。了解实验室的安全、事故的预防和处理，以及常用药品的性质和仪器设备的应用范围。预习有关的实验内容，做好预习笔记。通过预习，明确实验目的和要求，了解实验的基本原理，清楚实验所需药品的性质和仪器装置的使用方法，牢记实验操作中的注意事项。

② 进入实验室后，必须遵守实验室的纪律和各项规章制度。实验中不要大声喧哗、不乱拿乱放仪器药品、不将公物带出实验室，借用公物要自觉归还，损坏东西要如实登记，出了问题要及时报告。

③ 实验操作要严格按照操作规程进行。进行实验时要思想集中、操作认真，不得擅自离开。同时，仔细观察实验现象、积极思考，及时准确、实事求是地做好实验记录。

④ 听从教师和实验室工作人员的指导，注意安全。若有疑难问题或发生意外事故，要镇静、及时地采取应急措施，同时必须报告指导老师。

⑤ 实验中和实验后都要保持实验室的整洁。实验时做到桌面、地面、水槽和仪器四净。实验完毕，必须及时做好整理工作。清洗仪器并放到指定位置，处理废物，检查安全，做好记录并交给教师。待教师签字后方可离开实验室。

⑥ 尽可能做到节约。严格控制药品的用量，节约水、电等。

⑦ 做好值日工作。轮到值日的同学要负责整理好公用仪器和药品，打扫实验室，清理废物桶，并检查和关好水、电及门窗。

⑧ 写好实验报告。每次做完实验，必须认真写好实验报告，并交给指导老师。

二、有机化学实验室的安全知识

在有机化学实验中，经常使用易燃试剂（如乙醚、丙酮、乙醇、苯、乙炔和苦味酸等），有毒试剂（如甲醇、硝基苯、氰化钠和某些有机磷化合物等），有腐蚀性的试剂（如浓硫酸、浓盐酸、浓硝酸、溴和烧碱等）。这些药品若使用不当或不加小心，很可能发生着火、烧伤、爆炸、中毒等事故。此外，玻璃仪器、煤气、电气设备等使用不当或处理不当也会发生事故。因此，为了防止意外事故的发生，使实验顺利进行，要求学生除了严格按照规程操作外，还必须熟悉各种仪器、药品的性能和一般事故的处理等实验室安全知识。

(一) 实验时注意的事项

① 实验开始前,应认真进行预习,掌握实验操作;仔细检查仪器是否完整,仪器装置安装是否正确、平稳。

② 熟悉实验室内水、电、煤气的开关,了解试剂和仪器的性能。

③ 实验中所用的药品,不得随意散失、遗弃,使用后必须放回原位。对反应中产生的有毒气体以及实验中产生的废液,应按规定处理。

④ 实验过程中不得擅离岗位。实验室内严禁吸烟、饮食。

⑤ 熟悉各种安全用具(如灭火器、急救箱等)的使用方法。

⑥ 实验进行中,要认真观察、思考,如实记录实验情况。

⑦ 进行有危险性的实验时,应使用防护眼罩、面罩和手套等防护用具。

(二) 事故的预防和处理

1. 火灾

为避免发生火灾,必须注意以下方面:

对易挥发和易燃物,切勿乱倒,应专门回收处理。处理易燃试剂时,应该远离火源,不能用烧杯等广口容器盛易燃溶剂,更不能用明火直接加热。实验室不得存放大量易燃物。仔细检查实验装置、煤气管道是否破损漏气。

实验室如果发生着火事故,应沉着镇静,及时采取措施。首先,应立即关闭煤气,切断电源,熄灭附近所有火源,迅速移开周围易燃物,再用沙或石棉布将火盖熄。一般情况下严禁用水灭火。衣服着火时,应立即用石棉布或厚外衣盖熄。火势较大时,应根据具体情况选用合适的灭火器材进行灭火。实验室常备灭火器有下面三种:

① 二氧化碳灭火器。主要用于扑灭油脂、电器及其他贵重物品着火。

② 四氯化碳灭火器。主要用于扑灭电器内或电器附近着火。使用此灭火器时要注意,四氯化碳在高温下生成剧毒的光气,且与钠接触会发生爆炸,故不能在狭小和通风不良的实验室中使用。

③ 泡沫灭火器。内含发泡剂的碳酸氢钠溶液和硫酸铝溶液。使用时,有液体伴随大量的二氧化碳泡沫喷出,因泡沫能导电,注意不能用于电器灭火。

无论使用何种灭火器灭火,都应从火的四周开始向中心灭火。

2. 爆炸

实验中,由于违章使用易燃易爆物,或仪器堵塞、安装不当及化学反应剧烈等,均能引起爆炸。为了防止爆炸事故的发生,应严格注意下面几点:

① 某些化合物如过氧化物、干燥的金属炔化物等,受热或剧烈振动易发生爆炸。使用时必须严格按操作规程进行。

② 如果仪器装置不正确,也可能会引起爆炸。因此,常压操作时,安装仪器的全套装置必须与大气相通,不能造成密闭体系。减压或加压操作时,注意检查仪器装置能否承受其压力。装置搭建完毕后,应做空白实验,实验中应随时注意体系压力的变化。

③ 若反应过于剧烈,致使某些化合物因受热分解、体系热量和气体体积剧增而发生爆炸,通常可用冷冻、控制加料等措施缓和反应。

3. 中毒

化学药品大多有毒,因此,在实验中要注意以下几点,以防中毒:

① 不能用手直接接触药品，特别是剧毒药品。使用完毕，应将药品严密封存，并立即洗手。

② 进行可能产生有毒或腐蚀性气体的实验时，应在通风橱内操作，也可用气体吸收装置吸收有毒气体。

③ 所有沾染过有毒物质的器皿，实验完毕后，要立即进行消毒处理和清洗。

此外，装配仪器时，注意不要用力过猛；所用玻璃断面应烧熔，消除棱角，防止割伤。应避免皮肤直接接触高温和腐蚀性物质，以免灼伤。

常见化学危险品的标识如图 1-1 所示。



图 1-1 化学危险品的标识

(三) 急救处理

1. 玻璃割伤

若玻璃割伤为轻伤，应立即挤出污血，用消毒过的镊子取出玻璃碎片，再用蒸馏水洗净伤口，涂上碘酒或红药水，最后用绷带包扎或贴上创可贴药膏。如果伤口较大，应立即用绷带扎紧伤口上部（靠近心脏的一边），以防大量出血，并急送医院治疗。若玻璃碎片溅入眼中，应用镊子移去，或者用清水冲洗，然后送医院治疗，切勿用手揉动。

2. 烫伤

若为轻伤，应在伤处涂玉树油或蓝油烃油膏；重伤者，涂以烫伤药膏后立即送医院治疗。

3. 灼伤

灼伤后应立即用大量水冲洗患处，再根据具体情况选用下列方法处理后，立即送往医院。

① 酸、碱液或溴入眼中：若为酸液，水洗后用 1% 碳酸氢钠溶液冲洗；若为碱液，水洗后用 1% 硼酸溶液冲洗；对于溴液，则在水洗后用 1% 碳酸氢钠溶液冲洗，最后再用水冲洗。

② 皮肤被酸、碱或溴液灼伤：若为酸液，水洗后用 3%~5% 碳酸氢钠溶液冲洗；若为碱液，水洗后用 1% 醋酸冲洗。最后均再用水冲洗，涂上烫伤油膏。若为溴液，用石油醚或酒精擦洗，再用 2% 硫代硫酸钠溶液洗至伤处呈白色，然后涂上甘油按摩。

若为钠，可见的小块用镊子移去，其余与碱伤的处理方法相同。

4. 中毒

化学药品大都具有不同程度的毒性，如果溅入口中，尚未咽下者应立即吐出，再用大量水冲洗口腔；如果已吞下或者皮肤、呼吸道接触到有毒药品，则应视具体情况进行处理，并立即送医院。

① 腐蚀性毒物：不论强酸或强碱，都应先饮用大量的温开水。对酸，再服氢氧化铝胶、鸡蛋白；对碱，则服用醋、酸果汁或鸡蛋白。不论酸或碱中毒，都要灌注牛奶，不要吃呕吐剂。

② 刺激性及神经性毒物：可先服牛奶或鸡蛋白使之缓解，再用约 30 g 硫酸镁溶于一杯水中服用催吐。也可用手指按压舌根促使呕吐，随即送医院。

③ 有毒气体：先将中毒者移到室外，解开衣领和纽扣。对吸入少量氯气或溴者，可用碳酸氢钠溶液漱口。

为了及时处理事故，实验室中应备有急救药箱。箱内应置有下列物品：

① 绷带、白纱布、创可贴或止血膏、橡皮管、药棉或脱脂棉花、医用镊子、剪刀等。

② 玉树油或蓝油烃油膏、獾油、医用凡士林、碘酒、紫药水、酒精、磺胺药物、甘油和橡皮膏等。

③ 1%及 3%~5%的碳酸氢钠溶液、2%的硫代硫酸钠溶液、2%的醋酸溶液、1%的硼酸溶液和硫酸镁等。

三、常用玻璃仪器

有机化学所用的仪器多为玻璃仪器，一般可分为标准磨口仪器、微型磨口仪器和普通玻璃仪器。

(一) 标准磨口仪器

标准磨口仪器是带有标准内磨口的玻璃仪器，相同编号的标准内外磨口可以互相严密连接。标准磨口是根据国际通用的技术标准制造的，国内已经普遍生产和使用。现在常用的是锥形标准磨口，磨口部分的锥度为 1:10，即轴向长度 $H=10\text{ mm}$ ，锥体大端的直径与小端直径之差 $D-d=1\text{ mm}$ 。如图 1-2 所示。

由于玻璃仪器的容量及用途不同，标准磨口的大小也有不同。通常以整数数字表示磨口的系列编号，这个数字是锥体大端直径（以 mm 表示）的最接近的整数。表 1-1 是常用的标准磨口系列。

表 1-1 常用的标准磨口系列

编号	10	12	14	19	24	29	35
大端直径/mm	10.0	12.5	14.5	18.8	24.4	29.2	35.4

有时也用 D/H 两个数字表示磨口的规格，如 14/23，即大端直径为 14 mm，锥体长度为 23 mm。

使用磨口仪器时必须注意以下几点：

(1) 磨口处必须洁净，不得粘有固体杂物，否则对接不紧密，甚至损害磨口。

(2) 用后立即拆卸冲洗，各部件须分开存放。洗涤磨口时，可用合成洗衣粉或洗涤剂洗



图 1-2 有机化学实验用标准磨口玻璃仪器

漏。避免用去污粉等擦洗，以免损坏磨口。带活塞或塞子的磨口玻璃仪器，活塞或塞子不能随意调换，且存放时应在活塞和磨口之间垫上纸片或涂凡士林，以防粘住。

(3) 常压下使用，无须涂润滑油，以免沾污反应物或产物。但反应中有强碱时，应涂润滑剂，以免磨口连接处受碱液腐蚀粘牢。减压操作时，磨口处应涂上一层薄薄的润滑脂（凡士林、真空油脂或硅酯）。

(4) 安装时，仪器装置要整齐、正确，使磨口连接处受力均匀，以免折断仪器。

(5) 一旦发生磨口黏结，可采取以下措施：

① 将磨口竖立，往上面缝隙滴几滴甘油，待甘油慢慢渗入磨口，最终可使磨口打开；

② 用热风对着磨口外部吹一会儿（仅使外部受热膨胀，内部还未热起来），再试试能否将磨口打开；

③ 将黏结的磨口仪器放在水中逐渐煮沸，常常也能将磨口打开。

如果磨口表面已被碱性物质腐蚀，由于产生了硅酸钠一类黏结物质，黏结的磨口就很难打开了。

(二) 微型磨口仪器

微型制备仪器通常用 14/10 标准口连接在一起，接口之间不能使用润滑剂。微型化学实验仪器的大部分为常规仪器的缩放，其组合装置的操作规范仍与常规实验一致，所用的特殊仪器如图 1-3 所示。



图 1-3 微型化学制备仪器示意图

(三) 普通玻璃仪器

尽管磨口仪器已普遍使用，但也不能完全取代普通的玻璃仪器，常见的普通玻璃仪器如图 1-4 所示。

(四) 有机化学实验常用装置

有机化学实验中常见的实验装置如图 1-5~图 1-11 所示。



图 1-4 普通玻璃仪器示意图

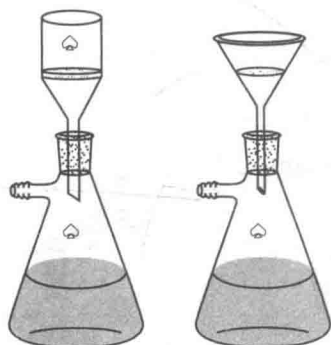


图 1-5 减压过滤装置

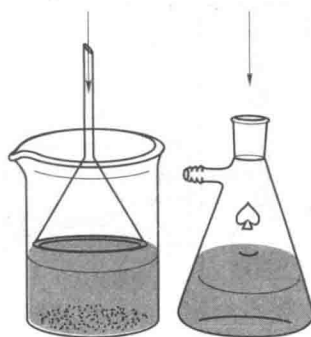


图 1-6 气体吸收装置

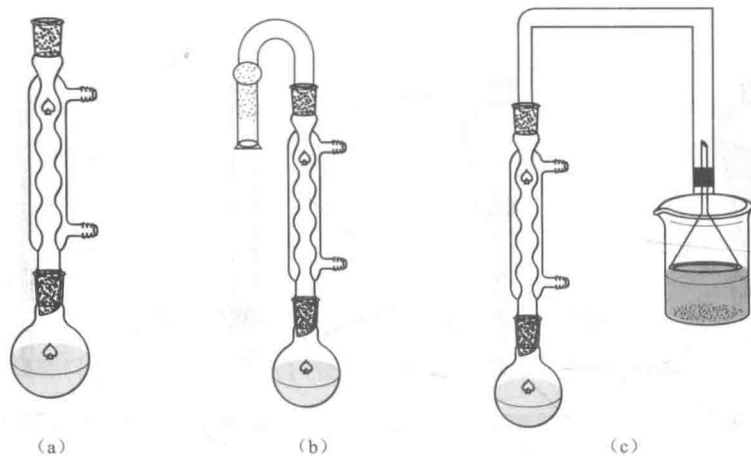


图 1-7 常见的回流装置

(a) 简单回流装置；(b) 带干燥管的回流装置；(c) 带气体吸收装置的回流装置



图 1-8 带分水器的回流装置

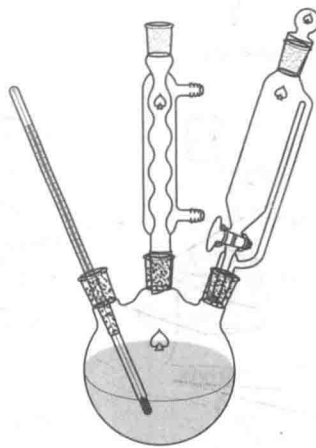
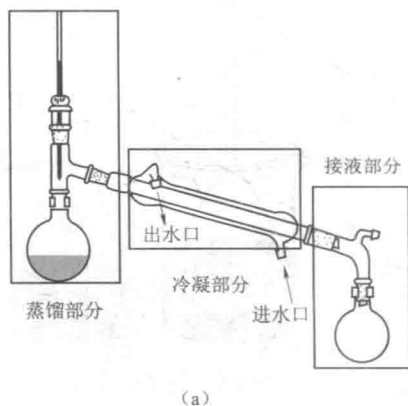
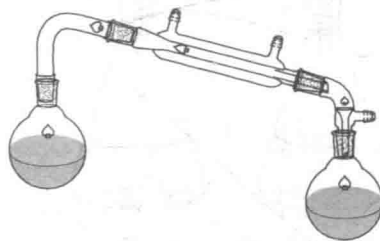


图 1-9 带有滴加装置的回流装置



(a)



(b)

图 1-10 常见的蒸馏装置

(a) 普通蒸馏装置；(b) 低沸点液体蒸馏装置

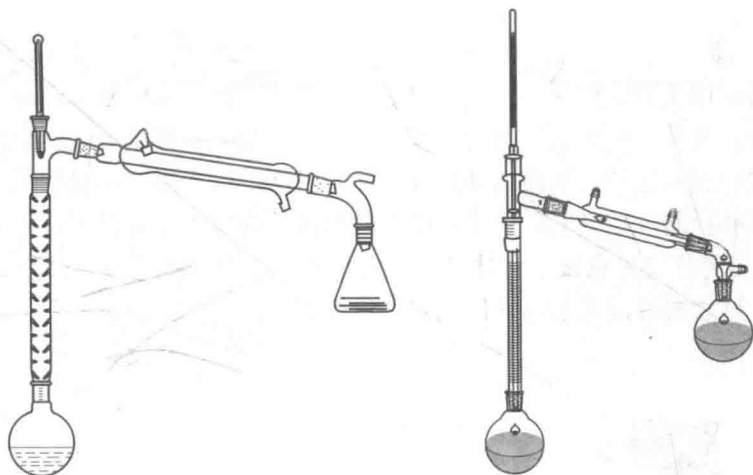


图 1-11 分馏装置

(五) 玻璃仪器的清洗

1. 仪器的清洗

实验中所用仪器必须保持洁净，实验台面放置的仪器、用具必须整齐。实验者应养成实验完毕后立即洗净仪器的习惯，因为当时对残渣的成因和性质是清楚的，容易找出合适的处理方法。如酸性或碱性残渣，可分别用碱液和酸液处理。

最简单的清洗方法是用毛刷和去污粉或合成洗衣粉洗刷，再用清水冲洗；对于金属氧化物和碳酸盐，可用盐酸洗；银镜和铜镜可用硝酸洗；对于一些焦油和炭化残渣，若用强酸或强碱洗不掉，可采用铬酸洗液浸洗，有时也可用废弃有机溶剂（回收的有机溶剂）清洗。

一般实验中所用仪器洗净的标准是：仪器倒置时，器壁不挂水珠。

2. 仪器的干燥

① 晾干：洗净的仪器，在规定的地方倒置一段时间，任其自然风干。这是最简单的干燥方法。

② 烘干：一般用电烘箱。洗净的仪器，倒尽其中的水，放入烘箱。箱内温度保持在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。烘干后，停止加热，待冷却至室温取出即可。分液漏斗和滴液漏斗，要拔掉活塞或盖子后，才可以加热烘干。

③ 吹干：对冷凝管和蒸馏瓶等，可用电吹风将仪器吹干。

④ 用有机溶剂干燥：对小体积且急需干燥的仪器可用此法。将仪器洗净后，先用酒精或丙酮漂洗，然后用电吹风吹干。用过的溶剂应倒入回收瓶。

四、常见电器与设备

1. 电动搅拌器

电动搅拌器在有机化学实验中，通常用于非均相或生成固体产物的反应。搅拌器的主要组成部分为：电动机、轴承座、机架、联轴器、搅拌轴、叶轮（转速 760 r/min 以下，配减速装置，转速如需可调，还可使用变频电动机+变频器（图 1-12））。使用时应注意接上地线，不能超负荷。轴承每学期加一次润滑油，经常保持电动搅拌器清洁干燥，注意

防潮、防腐蚀。

2. 磁力搅拌器

磁力搅拌器是用于混合液体的实验室仪器，主要用于搅拌或同时加热搅拌低黏稠度的液体或固液混合物。其基本原理是磁场的同性相斥、异性相吸，使用磁场推动放置在容器中带磁性的搅拌子进行圆周运转，从而达到搅拌液体的目的。配合温控加热系统，可以根据具体的实验要求加热并控制样本温度，维持实验条件所需的温度条件，保证液体混合达到实验需求（图 1-13）。使用时应注意接上地线，不能超负荷。使用时间不宜过长，不搅拌不加热。保持清洁干燥，严禁溶液流入机内，以免损坏机器。



图 1-12 电动搅拌器示意图



图 1-13 恒温磁力搅拌器示意图

3. 电热套

电热套是实验室通用加热仪器的一种，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，多用于玻璃容器的精确控温加热。具有升温快、温度高、操作简便、经久耐用的特点，是做精确控温加热实验的最理想仪器。

4. 烘箱

电热鼓风干燥箱又名“烘箱”，顾名思义，采用电加热方式进行鼓风循环干燥实验。分为鼓风干燥和真空干燥两种，鼓风干燥就是通过循环风机吹出热风，保证箱内温度平衡；真空干燥是采用真空泵将箱内的空气抽出，让箱内大气压低于常压，使产品在一个很干净的状态下做实验（图 1-14）。一般分为镀锌钢板和不锈钢内胆的，指针的和数显的，自然对流和鼓风循环的，常规烘箱和真空类型的。烘箱是一种常用的仪器设备，主要用来烘干玻璃仪器或者干燥样品，也可以提供实验所需的温度环境。切忌将挥发性、易燃易爆物品放入烘箱烘烤。橡皮塞、塑料制品不能放入烘箱烘烤。从烘箱中取样品时，一定要戴绝缘手套，以免烫伤。

5. 气流烘干机

气流烘干机是实验室快速干燥玻璃仪器的设备。使用时将仪器洗干净后，甩掉多余的水分，然后将仪器套在烘干机上的多孔金属管上（图 1-15）。使用时间不宜过长，以免烧坏电动机和电热丝。

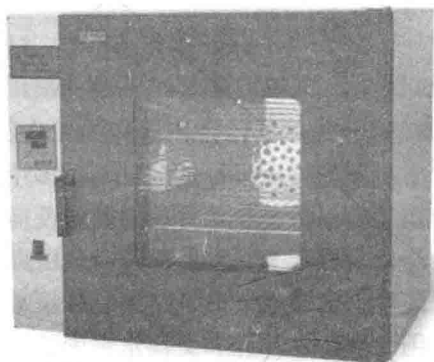


图 1-14 电热鼓风干燥箱示意图

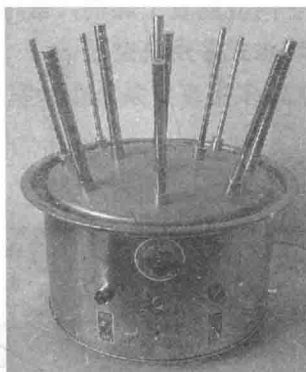


图 1-15 气流烘干器示意图

6. 电吹风

电吹风是实验室快速干燥玻璃仪器的设备。吹风机手柄上的选择开关一般分为三挡，即关闭挡、冷风挡、热风挡，并附有颜色为白、蓝、红的指示牌。有些吹风机的手柄上还装有电动机调速开关，供选择风量的大小及热风温度高低时使用。使用吹风机时，其进风口必须保证畅通无阻，否则不但达不到使用效果，还会造成过热而烧坏器具。

7. 电子天平

电子天平是实验室用于称量物体质量的仪器。电子天平是用电磁力平衡被称物体重力的天平，一般采用应变式传感器、电容式传感器、电磁平衡式传感器（图 1-16）。其特点是称量准确可靠、显示快速清晰，并且具有自动检测系统、简便的自动校准装置以及超载保护等装置。



图 1-16 电子天平示意图

电子天平是一种比较精密的仪器，因此，使用时应注意维护和保养：

- ① 将天平置于稳定的工作台上，避免振动、气流及阳光照射。
- ② 在使用前调整水平仪气泡至中间位置。
- ③ 称量易挥发和具有腐蚀性的物品时，要盛放在密闭的容器中，以免腐蚀或损坏电子天平。
- ④ 操作天平不可超载使用，以免损坏天平。