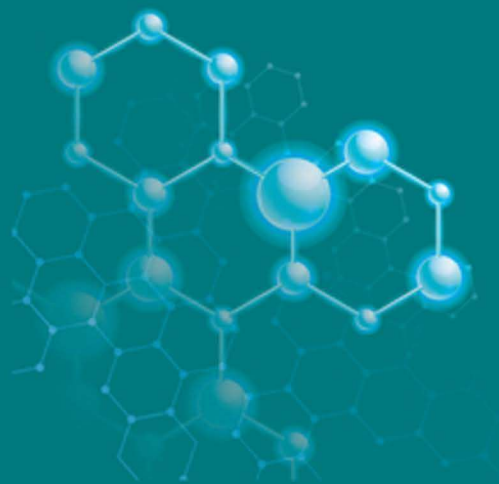


有机化学

——理论、实验与习题选编

主编 付尧 宗志远 王丹丹



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

普通高等院校化学应用类规划教材

有机化学

——理论、实验与习题选编

主 编 付 尧 宗志远 王丹丹

副主编 赵明雨 杨秀英

参 编 王 琪



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要分为三部分,分别为理论知识部分、实验部分及习题部分。其中,理论知识部分共分14章,主要内容包括有机化学概论,有机化合物的命名,同分异构体,饱和烃,不饱和烃,芳香烃,卤代烃,醇、酚、醚,醛、酮、醌,羧酸及其衍生物,含氮有机物,氨基酸、蛋白质、核酸,碳水化合物,类脂化合物。实验部分共分3章,主要内容包括有机化学实验基础知识、有机化学实验基本操作及27个实验项目。习题部分将各章考核内容打散,以综合性试题的形式帮助学生巩固知识。

本书可作为环境工程、食品工程、安全工程、特种能源技术与工程等相关专业的教材,也可作为其他专业学生、教师及科技工作者的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

有机化学:理论、实验与习题选编/付尧,宗志远,王丹丹主编. —北京:北京理工大学出版社,2018.8(2018.9重印)

ISBN 978-7-5682-6065-7

I. ①有… II. ①付… ②宗… ③王… III. ①有机化学—高等学校—教学参考资料 IV. ①O62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第182545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 /

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 21.25

字 数 / 500千字

版 次 / 2018年8月第1版 2018年9月第2次印刷

定 价 / 56.00元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

在高校转型发展的背景下，许多应用型大学的人才培养在要求学生提高实践能力的同时，需要学生对于本专业相关的交叉学科有更加深入的了解。本书主要针对非化学专业学生使用，如环境工程、食品工程、安全工程、特种能源技术与工程等。由于非环境专业对于有机化学的教学需求更多倾向于应用而非机理研究，因此本书的理论部分侧重于有机化合物的结构与性质、合成与分解等应用性较强的知识环节，而逐步弱化了反应机理、杂化轨道等较难理解的原理性知识。

本书主要分为三部分，分别为理论知识部分、实验部分及习题部分。其中，理论知识部分共分 14 章，主要内容包括概论（第 1~3 章）、烃及卤代烃（第 4~7 章）、含氧及含氮有机物（第 8~11 章）、生命有机化学（第 12~14 章）。考虑教学中的理实结合，在实验部分安排了有机化学实验相关内容，习题部分以搭配试题库的形式帮助学生夯实基础知识。其中理论知识部分在重点章节设置了归纳模块。

本书由沈阳工学院付尧、王丹丹和渤海船舶职业学院宗志远担任主编，沈阳工学院赵明雨、杨秀英担任副主编，沈阳工学院王琪参编。

在编写本书的过程中，沈阳大学王英刚教授、辽宁省环境科学研究院张国徽提出了宝贵意见。在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中的不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2018 年 4 月

理论知识部分

第 1 章 有机化学概论	3
1.1 有机化合物与有机化学	3
1.1.1 概述	3
1.1.2 有机化合物的基本性质	3
1.1.3 有机化合物的结构表示方式	3
1.2 有机化合物的化学键	5
1.2.1 共价键的基本理论及特征	5
1.2.2 共价键的参数	5
1.2.3 共价键的断裂方式——均裂和异裂	7
1.3 有机化合物的分类	7
1.4 有机酸碱理论	8
1.4.1 路易斯酸	8
1.4.2 路易斯碱	8
第 2 章 有机化合物的命名	10
2.1 基团的概念	10
2.1.1 一价基团	10
2.1.2 亚基及次基	10
2.2 命名方法	11
2.2.1 普通命名法	11
2.2.2 系统命名法	12
2.3 有机化合物的命名	14
2.3.1 烃的命名	14
2.3.2 烃类衍生物的命名	16
第 3 章 同分异构体	18
3.1 构造异构	18
3.1.1 碳链异构	19

3.1.2	官能团异构	19
3.1.3	互变异构	19
3.2	立体异构	20
3.2.1	构型异构——顺反异构	20
3.2.2	构型异构——旋光异构	21
3.2.3	构象异构	27
第 4 章	饱和烃	30
4.1	开链烷烃	30
4.1.1	同系列和同分异构体	30
4.1.2	饱和烷烃的结构	31
4.1.3	饱和烷烃的物理性质	32
4.1.4	饱和烷烃的化学性质	33
4.2	饱和脂环烃	37
4.2.1	饱和脂环烃的稳定性	37
4.2.2	饱和脂环烃的同分异构	37
4.2.3	饱和脂环烃的物理性质	40
4.2.4	饱和脂环烃的化学性质	40
第 5 章	不饱和烃	42
5.1	烯烃	42
5.1.1	烯烃的结构	42
5.1.2	烯烃的物理性质	44
5.1.3	烯烃的化学性质	44
5.2	炔烃	50
5.2.1	炔烃的结构	50
5.2.2	炔烃的物理性质	51
5.2.3	炔烃的化学性质	51
5.3	共轭二烯烃	53
5.3.1	共轭二烯烃的结构	53
5.3.2	共轭二烯烃的化学性质	53
5.4	有机化合物分子中的电子效应	54
5.4.1	诱导效应	55
5.4.2	共轭效应	55
第 6 章	芳香烃	58
6.1	苯及其同系物	58
6.1.1	苯及其同系物的结构及芳香性的判定	59
6.1.2	苯及其同系物的物理性质	61
6.1.3	苯的化学性质	61
6.1.4	苯环上取代基的定位效应	67

6.2	稠环芳烃	70
第 7 章	卤代烃	73
7.1	卤代烃的物理性质	74
7.2	卤代烃的化学性质	74
7.2.1	亲核取代反应	75
7.2.2	消除反应	80
7.2.3	与金属的反应	82
第 8 章	醇、酚、醚	85
8.1	醇	85
8.1.1	醇的分类及结构	86
8.1.2	醇的物理性质	87
8.1.3	醇的化学性质	88
8.2	酚	93
8.2.1	酚的结构	93
8.2.2	酚的物理性质	94
8.2.3	酚的化学性质	95
8.3	醚	97
8.3.1	醚的物理性质	98
8.3.2	醚的化学性质	98
第 9 章	醛、酮、醌	102
9.1	醛和酮	102
9.1.1	醛(酮)的分类及结构	103
9.1.2	醛(酮)的物理性质	104
9.1.3	醛(酮)的化学性质	105
9.2	醌	115
第 10 章	羧酸及其衍生物	117
10.1	羧酸	117
10.1.1	羧酸的分类与结构	118
10.1.2	羧酸的物理性质	118
10.1.3	羧酸的化学性质	119
10.2	羧酸的衍生物	124
10.2.1	羧酸衍生物的物理性质	124
10.2.2	羧酸衍生物的化学性质	124
第 11 章	含氮有机物	127
11.1	胺	127
11.1.1	胺的分类及结构	127
11.1.2	胺的物理性质	128
11.1.3	胺的化学性质	129

11.2	酰胺.....	134
11.2.1	酰胺的结构	134
11.2.2	酰胺的物理性质	134
11.2.3	酰胺的化学性质	134
11.3	硝基化合物	135
11.3.1	硝基化合物的物理性质	135
11.3.2	硝基化合物的化学性质	135
第 12 章	氨基酸、蛋白质、核酸	137
12.1	氨基酸	137
12.1.1	氨基酸的分类和命名	139
12.1.2	氨基酸的结构	140
12.1.3	氨基酸的物理、化学性质	140
12.2	蛋白质	142
12.2.1	蛋白质的组成	142
12.2.2	蛋白质的结构	142
12.2.3	蛋白质的性质	144
12.3	核酸	145
12.3.1	核酸的分类	146
12.3.2	碱基	146
12.3.3	核苷	146
12.3.4	核苷酸	146
12.3.5	核酸的结构	147
第 13 章	碳水化合物	151
13.1	概述	151
13.2	单糖	152
13.2.1	单糖的结构	152
13.2.2	单糖的性质	159
13.2.3	重要的单糖及其衍生物	162
13.3	二糖	164
13.3.1	还原性双糖	165
13.3.2	非还原性双糖	166
13.4	多糖	167
13.4.1	淀粉	167
13.4.2	纤维素	168
13.5	糖的营养和生理功能	169
第 14 章	类脂化合物	171
14.1	蜡	171
14.2	油脂	171

14.2.1 物理性质	172
14.2.2 化学性质	172
14.3 磷脂	173
14.4 萜类化合物	176
14.4.1 结构	176
14.4.2 分类	176
14.4.3 萜类的生物合成途径	182
14.5 甾族化合物	184
14.5.1 基本骨架	184
14.5.2 基本骨架的编号	185
14.5.3 命名	185
14.5.4 甾族化合物的构型和构象	187
14.5.5 甾族化合物的构象分析举例	189
14.5.6 胆固醇(胆甾醇)	190

实验部分

第 15 章 有机化学实验的基础知识	195
15.1 实验室的安全守则	195
15.2 实验室事故的预防和处理	195
15.2.1 火灾	195
15.2.2 爆炸	196
15.2.3 中毒	196
15.2.4 玻璃割伤	197
15.2.5 灼伤、烫伤	197
15.3 有机化学实验基础	197
15.3.1 常规玻璃仪器	197
15.3.2 仪器的清洗、干燥和塞子的配置	200
15.3.3 有机化学实验常用装置	201
第 16 章 有机化学实验的基本操作	206
16.1 简单玻璃工	206
16.1.1 玻璃管的洁净和切割	206
16.1.2 玻璃管的弯曲	206
16.1.3 拉玻璃管	207
16.1.4 制备熔点管及沸点管	208
16.2 加热和冷却	208
16.2.1 加热	208
16.2.2 冷却	209
16.3 干燥与干燥剂的使用	210
16.3.1 基本原理	210

16.3.2	干燥的操作	211
16.3.3	注意事项	213
16.4	熔点的测定及温度计的校正	213
16.4.1	基本原理	213
16.4.2	测定方法	215
16.4.3	温度计校正	217
16.5	蒸馏及沸点的测定	217
16.5.1	基本原理	217
16.5.2	蒸馏操作	218
16.5.3	微量法测定沸点	219
16.5.4	注意事项	219
16.5.5	思考题	219
16.6	减压蒸馏	220
16.6.1	基本原理	220
16.6.2	减压蒸馏装置	221
16.6.3	减压蒸馏操作	222
16.6.4	注意事项	222
16.7	水蒸气蒸馏	223
16.7.1	基本原理	223
16.7.2	水蒸气蒸馏的装置	224
16.7.3	水蒸气蒸馏的操作	224
16.7.4	注意事项	225
16.7.5	思考题	225
16.8	液体化合物折射率的测定	225
16.8.1	基本原理	225
16.8.2	折射率的测定	226
16.8.3	注意事项	226
16.8.4	思考题	226
16.9	分馏	227
16.9.1	分馏装置与分馏柱	227
16.9.2	简单分馏操作	228
16.9.3	注意事项	228
16.10	重结晶及过滤	229
16.10.1	基本原理	229
16.10.2	重结晶操作	229
16.11	升华	233
16.11.1	基本原理	233
16.11.2	升华的操作	234
16.12	萃取	235

16.12.1 萃取装置	235
16.12.2 萃取的操作	236
16.12.3 注意事项	236
16.12.4 思考题	237
第 17 章 有机化学实验	238
17.1 无水乙醇的制备	238
17.2 丙酮的制备	239
17.3 乙酸正丁酯的制备	240
17.4 乙酰苯胺的制备及提纯	241
17.5 邻硝基苯酚和对硝基苯酚的制备与分离	242
17.6 正溴丁烷的制备	244
17.7 甲基橙的制备	246
17.8 阿司匹林的合成	247
17.9 肉桂酸的制备	248
17.10 苯乙酮的制备	250
17.11 环己烯的制备	251
17.12 苯胺的制备	252
17.13 乙醚的制备	254
17.14 乙酰乙酸乙酯的制备	255
17.15 烃及卤代烃的性质	256
17.16 醇、酚、醚的性质	259
17.17 醛、酮的性质	262
17.18 羧酸和羧酸衍生物的性质	264
17.19 胺的性质	266
17.20 碳水化合物性质	268
17.21 氨基酸和蛋白质的性质	270
17.22 立体模型组合	273
17.23 烟叶中烟碱的提取	275
17.24 茶叶中咖啡因的提取	277
17.25 胆汁中胆红素的提取	278
17.26 从奶粉中分离乳蛋白、乳糖和脂肪	280
17.27 黑胡椒中胡椒碱的提取	281

习题部分

有机化学习题选编	285
参考文献	325



理论知识部分



有机化学概论

1.1 有机化合物与有机化学

1.1.1 概述

有机化学是研究有机化合物的来源、制备、结构、性能、应用及有关理论和方法学的科学，是化学学科的一个重要的分支。有机化学的研究对象是有机化合物。早期化学家把从生物体（植物或动物）中获得的物质定义为有机化合物。虽然现在绝大多数有机物已不是从天然的有机体内取得，但是由于历史和习惯的关系，仍保留着“有机”这个名词。

1.1.2 有机化合物的基本性质

(1) 对热不稳定，容易燃烧。除了四氯化碳等极少数物质例外，有机化合物一般不很稳定，受热容易分解，也很容易燃烧，而且大多数有机化合物燃烧后变成气体。

(2) 熔点较低。

(3) 难溶于水，易溶于有机溶剂。

除乙醇等少数例外，大多数有机化合物难溶或不溶于水，易溶于乙醇、乙醚、丙酮、汽油或苯等有机溶剂。

(4) 化学反应速率比较慢，副反应较多。

有机化学反应时常采用加热、加催化剂等手段加速反应。一般来讲，温度每增加 10°C ，反应速率快 1~2 倍。与无机化学反应相比，有机化学反应速率一般比较慢。有机化学反应常伴随有副反应的发生。若一个有机化学反应的产量能达到理论产量的 60%~70%，就算是比较高产了。

1.1.3 有机化合物的结构表示方式

有机化合物的结构是指有机化合物分子中各原子的结合方式、连接次序、空间排布，它包括构造、构型和构象三层含义。

1. 有机化合物结构的平面表示方式

多样性是有机化合物结构的主要特点。有机化合物中普遍存在同分异构现象。同分异构

现象（简称异构现象）是指不同化合物分子组成相同（即分子式相同），但分子结构和性质都不相同的现象。因此，仅用分子式表示有机化合物是不够的，一般用构造式表示有机化合物，构造式是用短线和元素符号表示分子中各原子的结合方式和连接顺序的化学式。

通常使用的构造式有短线式、缩简式和键线式。以丙烷为例，其短线式、缩简式和键线式的表达方式如表 1-1 所示。

表 1-1 有机物结构的平面表示方法

短线式	缩简式	键线式
$ \begin{array}{ccccc} & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \\ & & & & & \\ \text{H} & - \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & - \text{H} \\ & & & & & \\ & \text{H} & & \text{H} & & \text{H} \end{array} $	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	

2. 有机化合物结构的立体表示方式

(1) 球棍模型：一种空间填充模型，用来表现化学分子的三维空间分布。在这种表示方式中，线代表共价键，可连接以球形表示的原子中心。

(2) 楔形式：有机分子立体结构表达方式之一。这种表示方式假设中心原子在纸面上，其中虚线代表连接的基团或原子指向纸平面的后方，远离观察者；粗实线代表连接的基团或原子指向纸平面的前方，朝向观察者。

(3) 费歇尔投影式：将立体结构投影成为平面结构的一种方法。这种方法使手性碳原子上连接的两个不同的原子或原子团处于横向（水平方向），指向纸平面的前方，朝向观察者；使另外两个原子或原子团处于竖向（垂直方向），指向纸平面的后方，远离观察者。即横外竖内的原则，然后朝纸平面投影。这样得到的平面结构式，手性碳原子处于两条直线交叉点（手性碳原子一般不写出）。

以乳酸分子为例，它的结构表示方式如图 1-1 所示。

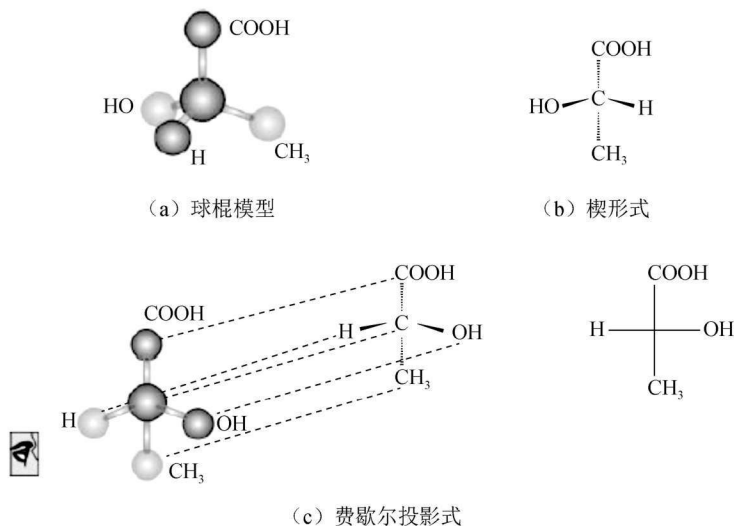


图 1-1 乳酸结构表示方式

(4) 锯架式：从分子的侧面观察，实线表示位于纸平面的价键，楔形线表示纸平面前的价键，虚线表示纸平面后的价键。这种表示方式的优点是能直接反映出碳原子和氢原子的空间排布情况，如乙烷的两种锯架式结构如图 1-2 所示。

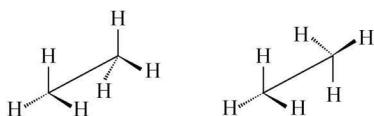


图 1-2 乙烷的两种锯架式结构

(5) 纽曼投影式：沿碳碳单键的方向做空间投影，并以“ $\odot$ ”表示纸面前的原子、基团及价键，以“ $\ominus$ ”表示纸面后的原子、基团及价键的空间结构表达方式。这种表示方式常用来表达有机物的构象异构，如乙烷的两种纽曼投影式结构如图 1-3 所示。

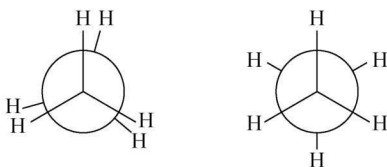


图 1-3 乙烷的纽曼投影式结构

1.2 有机化合物的化学键

1.2.1 共价键的基本理论及特征

在有机化合物中，原子和原子是依靠共价键结合在一起的。由一对电子形成的共价键称为单键（以一条短直线表示），如果两个原子各用两个或三个未成键电子构成共价键，则构成的共价键为双键或三键。一般来说，原子核外未成对的电子数就是该原子可能形成的共价键的数目，这也体现了共价键的第一个特征——饱和性。

量子力学的价键理论认为，共价键是由参与成键原子的电子云重叠形成的，电子云重叠得越多，则原子间的共价键越稳定。因此两个电子云必须在各自密度最大的方向上重叠，体现了共价键的第二个特征——方向性。

1.2.2 共价键的参数

在描述某一共价键的特性时，常常从以下四个方面进行表征，因此也将以下四个物理量称为共价键的参数。

1. 键长

键长是指以共价键结合的两个原子核心的距离。由于成键的两个原子间同时存在着吸引力和排斥力，因此两个原子核的间距时近时远，而键长则是表征两个原子核间距的平均值。

2. 键角

键角是指相邻的两个共价键之间的夹角。例如，甲烷（ CH_4 ）分子中，四个 C—H 键中，每两个键的键角都为 109.5° ，如图 1-4 所示。

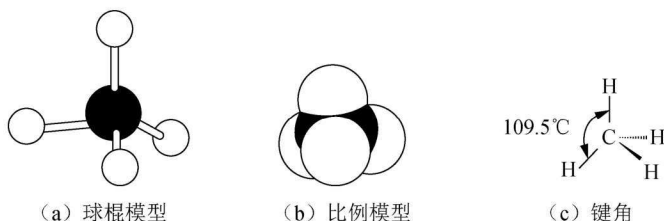


图 1-4 甲烷的立体模型及键角表达

3. 键能

下面引入键能和键的解离能两个概念。

若某个有机化合物为双原子分子 AB ，则将 1mol 气态 AB 拆开所需的能量称为共价键 A—B 的解离能，也称 A—B 的键能，单位用 kJ/mol 表示；若某个有机化合物为多原子分子（原子数大于两个），则原子间的相互影响会造成即使相同的多个共价键，其解离能也都不相同，此时将所有相同的共价键解离能的平均值称为平均键能，简称键能。

键能是衡量化学键强度的主要标志之一，它在一定程度上反映了共价键的稳定性。一般来说，键能越大，代表拆开共价键需要的能量越高，键也就越稳定。常见共价键的键能如表 1-2 所示。

表 1-2 常见共价键的键能

键的类型	键能/(kJ/mol)	键的类型	键能/(kJ/mol)
C—H	0.110	C—F	0.183
C—C	0.154	C—Cl	0.176
C=C	0.134	C—Br	0.193
C—N	0.147	C—I	0.213
C—O	0.143	O—H	0.096
C—S	0.181	N—H	0.104

4. 键的极性

一种元素吸电子的能力大小用这个元素的电负性来衡量，吸电子能力越强，电负性越大。

对于有机化合物的共价键，当键由两个相同的原子形成时，由于其电负性相同，可认为成键电子云在两原子间对称分布，这样的共价键没有极性。但当两个不同的原子结合成共价键时，由于其电负性不同，成键电子云会偏向电负性大的原子，这种由于电子云的不对称而显现极性的共价键称为极性共价键。

共价键极性的大小用偶极矩 μ 代表。需要注意的是，偶极矩是具有方向性的，通常规定其方向由正指向负，单位为 D （德拜）。由若干共价键组成的有机化合物，其分子的偶极矩是分子中所有共价键偶极矩的向量和（非极性共价键偶极矩为零）。