



普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材



全国高等农林院校“十三五”规划教材

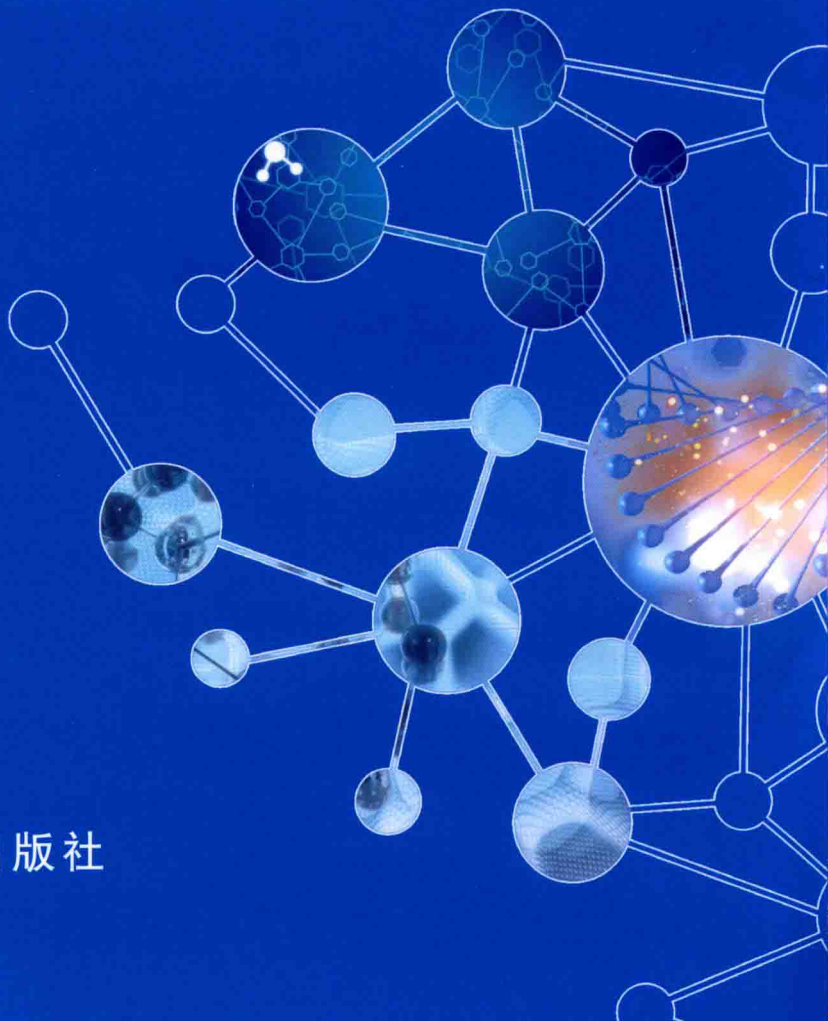
省级精品共享课程配套教材

有机化学

YOUJI HUAXUE

李铁汉 梁慧光 主编

 中国农业出版社



普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材
全国高等农林院校“十三五”规划教材
省级精品共享课程配套教材

内容简介

编者/作者/译者

有机化学

李铁汉 梁慧光 主编

中国农业出版社

图书在版编目(CIP)数据

有机化学 / 李铁汉, 梁慧光主编. —北京: 中国农业出版社, 2019.1

普通高等教育农业农村部“十三五”规划教材 全国
高等农林院校“十三五”规划教材 省级精品共享课程配
套教材

ISBN 978-7-109-25037-6

I. ①有… II. ①李… ②梁… III. ①有机化学-高等
学校-教材 IV. ①O62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 279237 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 曾丹霞

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2019 年 1 月第 1 版 2019 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 21.75

字数: 520 千字

定价: 47.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材编写依据全国“面向 21 世纪课程教材”有机化学教学研讨会制定的教学大纲，并结合当前高等农林院校有机化学课程体系和教学内容改革要求，以适应新时期农林高等教育的发展趋势。其主旨为创新有机化学教学思路，解决当前农林院校有机化学课时较少而课程内容多、难度大等问题。教材突出高等农林院校的特点，精选农林学科专业学生必须掌握的有机化学基本理论、基本知识和基本技能。重视内容的基础性、科学性、系统性和适用性，注重有机化学与农林学科专业的融合，强调有机化学在农业上的应用。

本书共分 15 章，主要按照分类、命名、理化性质、重要化合物的顺序对各类有机化合物进行比较详细的介绍。在内容编排方面，以现代价键理论为主，辅以分子轨道理论和电子效应理论，来阐明各类有机化合物的结构与性质、主要反应历程与立体化学问题，适当介绍波谱学的基本内容。书中部分内容用小字印刷，是为了课程知识结构的完整性，便于教师在课程学时精减后的教学，同时也为报考研究生的学生提供全面的有机化学知识体系。每章安排了阅读材料，便于读者深入了解有机化学的部分前沿知识、生活中的有机化学以及化学对农林科学研究的影响。每章后附有习题，供学生练习。

编审人员名单

主 编 李铁汉 梁慧光

副主编 张志霞 杨继涛 巩海鹏

编 者(按姓氏拼音排序)

崔彦君 巩海鹏 李铁汉 梁慧光

乔海军 杨继涛 杨 晰 张志霞

主 审 高 坤

前 言

有机化学是高等农林院校一门重要的基础课。为适应教育事业的发展,本教材以1995年农林高校杭州会议制定的农林院校有机化学教学大纲为基础,按照教育部高等农林院校理科基础课程教学指导委员会制定的普通高等农林院校有机化学(少学时)教学要求,并结合编者多年教学实践经验编写。

在编写中,我们力求对有机化学基本理论和基础知识做全面阐述。在保持有机化学学科系统性、逻辑性与完整性的同时,努力联系农业科学的实际需要和发展,介绍了生命过程中产生的重要有机化合物。尽力做到叙述深入浅出,文字通俗易懂,内容既有可读性,又有参考性,便于自学。

在内容编排方面,以现代价键理论为主,辅以分子轨道理论和电子效应理论,来阐明各类有机化合物的结构与性质、主要反应历程与立体化学问题,适当介绍波谱学的基本内容。书中部分内容用小字印刷,是为了课程知识结构的完整性,便于教师在课程学时精减后的教学,同时也为报考研究生的学生提供全面的有机化学知识体系。增加阅读材料部分,简介有机化学新学科、新内容、新成果及其对农林科学研究的影响。

本书编写期间,中国化学会颁布了2017年版《有机化合物命名原则》,对1980年版《有机化学命名原则》做了修订与增补。本书根据新颁布的有机化合物命名原则介绍各类有机化合物的系统命名法,并增加了常见取代基名称的中英文对照等内容,便于读者查阅。对于有机化合物的习惯命名、俗名等则多数予以保留。

本书由李铁汉、梁慧光共同主编。参加编写的有(以章为序)李铁汉(第1章)、梁慧光(第2章、第3章、第10章)、张志霞(第4章、第5章、第11章)、巩海鹏(第6章、第15章)、杨晰(第7章、第13章、第14章)、乔海军(第8章、第9章)、杨继涛(第12章)。另外,崔彦君博士撰写了部分阅读材料内容。全书内容经编写人员多次会议集体研讨,并对初稿进行了多次修改,最后由主编负责统稿、定稿。

在本书编写出版过程中,得到了甘肃农业大学教务处的领导以及有关老师的关怀与支持。主审兰州大学高坤教授认真审阅了全书,对教材的编写提出了宝贵

意见，在此谨向他们表示衷心的感谢。

本教材可供高等农、林、水产院校相关专业有机化学教学使用，也可供生物、医学及民族院校各相关专业参考。

因编者水平以及对最新颁布的《有机化合物命名原则》的理解有限，书中难免有疏漏之处，诚望读者能提出宝贵意见，以便进一步修改。

编者

2018年9月

目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 有机化合物和有机化学	1
1.1.1 有机化学的发展	1
1.1.2 有机化合物的特性	2
1.2 有机化合物的结构	2
1.2.1 化学结构和化学键	2
1.2.2 共价键	3
1.2.3 共价键的属性	6
1.3 分子间作用力和氢键	8
1.3.1 分子间作用力	8
1.3.2 氢键	8
1.4 诱导效应	9
1.4.1 诱导效应的产生	9
1.4.2 诱导效应的特点	9
1.4.3 诱导效应的方向和强度	9
1.5 共价键的断裂方式和有机化学反应基本类型	10
1.5.1 共价键的断裂	10
1.5.2 有机化学反应基本类型	10
1.6 有机化学中的酸碱概念	11
1.6.1 质子酸碱	11
1.6.2 路易斯酸碱	11
1.7 有机化合物的分类	12
1.7.1 按碳架分类	12
1.7.2 按特性基团(官能团)分类	13
1.8 研究有机化合物的一般步骤	14
阅读材料 有机化学与农业科学的关系	15
习题	16
第 2 章 饱和烃	18
2.1 烷烃	18
2.1.1 烷烃的结构	18

2.1.2	烷烃的命名	22
2.1.3	烷烃的物理性质	25
2.1.4	烷烃的化学性质	27
2.1.5	自由基取代反应历程	28
2.1.6	自然界的烷烃	30
2.2	环烷烃	30
2.2.1	环烷烃的分类和命名	30
2.2.2	环烷烃的物理性质	32
2.2.3	环烷烃的化学性质	33
2.2.4	环烷烃的结构	34
2.2.5	重要化合物	37
阅读材料	六六六异构体的稳定性与生物活性	37
习题		37
第3章 不饱和烃		39
3.1	烯烃	39
3.1.1	烯烃的结构和同分异构	39
3.1.2	烯烃的命名	41
3.1.3	烯烃的物理性质	43
3.1.4	烯烃的化学性质	44
3.1.5	马尔可夫尼可夫规则的解释	49
3.1.6	重要的烯烃举例	50
3.2	炔烃	51
3.2.1	炔烃的结构和命名	51
3.2.2	炔烃的物理性质	52
3.2.3	炔烃的化学性质	53
3.2.4	重要的炔烃——乙炔	55
3.3	二烯烃	55
3.3.1	二烯烃的分类和命名	55
3.3.2	共轭二烯的结构与共轭效应	56
3.3.3	共轭二烯烃的化学性质	59
3.4	萜类化合物	60
3.4.1	萜类化合物的结构	60
3.4.2	萜类化合物概述	60
阅读材料	番茄红素	61
习题		62
第4章 芳香烃		64
4.1	单环芳烃	64

4.1.1	苯的结构	64
4.1.2	单环芳烃的异构和命名	66
4.1.3	单环芳烃的物理性质	69
4.1.4	单环芳烃的化学性质	70
4.1.5	亲电取代反应历程	73
4.1.6	苯环上亲电取代反应的定位规律	75
4.1.7	重要的芳烃	79
4.2	稠环芳烃	79
4.2.1	萘	80
4.2.2	蒽和菲	82
4.2.3	其他稠环芳烃	82
4.3	非苯芳烃	83
4.3.1	休克尔规则	83
4.3.2	非苯芳烃	83
	阅读材料 富勒烯和碳纳米管	84
	习题	85
第5章 旋光异构		88
5.1	旋光性和比旋光度	88
5.1.1	物质的旋光性	88
5.1.2	旋光度和比旋光度	89
5.2	手征性分子和对映异构体	90
5.2.1	手性和对称性	90
5.2.2	对映异构体和外消旋体	92
5.3	构型的表示方法和构型的确定	93
5.3.1	费歇尔投影式	93
5.3.2	构型的标记	94
5.3.3	构型和旋光性的关系	96
5.4	旋光异构体的数目和内消旋体	96
5.4.1	含两个不同手性碳原子的化合物的旋光异构体	97
5.4.2	含两个相同手性碳原子的化合物的旋光异构体	97
5.4.3	不含手性碳原子化合物的旋光异构体	98
5.4.4	外消旋体的拆分	99
5.5	烯烃亲电加成的立体化学	99
	阅读材料 手性药物	100
	习题	101
第6章 卤代烃		103
6.1	卤代烃的分类、命名及同分异构	103

6.1.1	卤代烃的分类	103
6.1.2	卤代烃的命名	103
6.1.3	卤代烃的异构现象	105
6.2	卤代烃的物理性质	105
6.3	卤代烷烃的结构和化学性质	106
6.3.1	卤代烷烃的结构	106
6.3.2	卤代烷烃的化学性质	107
6.4	卤代烃的亲核取代反应历程	110
6.4.1	单分子亲核取代反应(S_N1)	111
6.4.2	双分子亲核取代反应(S_N2)	113
6.4.3	影响亲核取代反应的因素	114
6.5	卤代烷烃的消除反应历程	117
6.5.1	单分子消除反应(E1)	117
6.5.2	双分子消除反应(E2)	118
6.5.3	影响消除反应的因素	119
6.6	卤代烯烃和卤代芳烃的结构对卤原子活性的影响	120
6.6.1	乙烯基型和苯基型卤代烃	120
6.6.2	烯丙基型和苄基型卤代烃	120
6.6.3	隔离型卤代烯烃和卤代芳烃	121
6.7	常见的卤代烃	122
	阅读材料 卤代烃参与的偶联反应简介	123
	习题	124
第7章 醇、酚、醚		127
7.1	醇	127
7.1.1	醇的分类、命名和结构	127
7.1.2	醇的物理性质	129
7.1.3	醇的化学性质	130
7.1.4	几种重要的醇	135
7.2	酚	136
7.2.1	酚的结构和命名	136
7.2.2	酚的物理性质	137
7.2.3	酚的化学性质	138
7.2.4	重要的酚	141
7.3	醚	143
7.3.1	醚的结构和命名	143
7.3.2	醚的物理性质	144
7.3.3	醚的化学性质	145
7.3.4	环醚	146

7.4 硫醇和硫醚	147
7.4.1 硫醇	147
7.4.2 硫醚	149
阅读材料 杯芳烃	149
习题	150
第8章 醛、酮、醌	152
8.1 醛、酮	152
8.1.1 醛、酮的分类和命名	152
8.1.2 醛、酮的物理性质	154
8.1.3 醛、酮的化学性质	154
8.1.4 重要的醛、酮化合物	161
8.2 醌	162
8.2.1 醌的结构和命名	162
8.2.2 醌的化学性质	163
阅读材料 视觉的有机化学	163
习题	164
第9章 羧酸及其衍生物和取代酸	167
9.1 羧酸	167
9.1.1 羧酸的分类、命名和结构	167
9.1.2 羧酸的物理性质	169
9.1.3 羧酸的化学性质	170
9.1.4 重要的羧酸	173
9.2 羧酸衍生物	175
9.2.1 羧酸衍生物的命名	175
9.2.2 羧酸衍生物的物理性质	176
9.2.3 羧酸衍生物的化学性质	176
9.2.4 重要的羧酸衍生物	178
9.3 取代酸	179
9.3.1 羟基酸	179
9.3.2 羧基酸	183
9.3.3 乙酰乙酸乙酯	184
阅读材料 青霉素的合成	186
习题	186
第10章 含氮和含磷有机化合物	189
10.1 胺	189
10.1.1 胺的分类、命名和结构	189

10.1.2	胺的物理性质	191
10.1.3	胺的化学性质	192
10.1.4	重要化合物	195
10.2	酰胺	197
10.2.1	酰胺的结构和命名	197
10.2.2	酰胺的物理性质	197
10.2.3	酰胺的化学性质	198
10.2.4	碳酸酰胺	199
10.3	其他含氮化合物	200
10.3.1	硝基化合物	200
10.3.2	重氮盐和偶氮化合物	201
10.3.3	腈和异腈	203
10.4	含磷有机化合物	203
10.4.1	有机磷化合物的结构和命名	203
10.4.2	有机磷化合物的反应	205
10.4.3	有机磷化合物的生化作用	205
	阅读材料 偶氮化合物(AZO)的危害及限制	206
	习题	206
第 11 章 杂环化合物和生物碱		209
11.1	杂环化合物	209
11.1.1	杂环化合物的分类和命名	209
11.1.2	杂环化合物的结构与芳香性	211
11.1.3	杂环化合物的化学性质	213
11.1.4	重要杂环化合物	215
11.2	生物碱	220
11.2.1	生物碱概述	220
11.2.2	生物碱选述	220
	阅读材料 生物碱与抗肿瘤药物	222
	习题	222
第 12 章 脂类化合物		225
12.1	油脂	225
12.1.1	油脂的组成、结构和命名	225
12.1.2	油脂的性质	227
12.1.3	表面活性剂	231
12.1.4	蜡	233
12.2	磷脂	234
12.2.1	甘油磷脂	234

12.2.2	鞘磷脂	236
12.2.3	磷脂的性质	237
12.3	甾族化合物	238
12.3.1	甾族化合物的结构	238
12.3.2	重要的甾体化合物	239
阅读材料	必需脂肪酸	243
习题		244
第 13 章 碳水化合物		245
13.1	单糖	245
13.1.1	单糖的分类与命名	245
13.1.2	单糖的结构	246
13.1.3	单糖的物理性质	250
13.1.4	单糖的化学性质	251
13.1.5	重要的单糖及其衍生物	257
13.2	低聚糖	259
13.2.1	还原性双糖	259
13.2.2	非还原性双糖	260
13.3	多糖	261
13.3.1	淀粉	262
13.3.2	糖原	264
13.3.3	纤维素	264
13.3.4	甲壳素	266
13.3.5	其他多糖	267
阅读材料	环糊精	268
习题		269
第 14 章 蛋白质和核酸		271
14.1	α -氨基酸	271
14.1.1	α -氨基酸的分类和命名	271
14.1.2	α -氨基酸的结构和构型	273
14.1.3	α -氨基酸的物理性质	274
14.1.4	α -氨基酸的化学性质	275
14.2	蛋白质	277
14.2.1	蛋白质的分类	278
14.2.2	蛋白质的结构	279
14.2.3	蛋白质的理化性质	285
14.3	核酸	289
14.3.1	核酸的分类与组成	289

14.3.2	核苷和单核苷酸	289
14.3.3	核酸的结构	292
14.3.4	核酸的性质	295
阅读材料	蛋白质分子结构与功能的关系	296
习题		296
第 15 章 有机波谱知识简介		298
15.1	紫外光谱	299
15.1.1	电子跃迁与紫外光谱	299
15.1.2	紫外光谱常用术语	301
15.1.3	紫外光谱与有机化合物分子结构的关系	301
15.1.4	紫外光谱解析及应用	303
15.2	红外光谱	304
15.2.1	红外光谱的基本原理	304
15.2.2	红外光谱图的表示	306
15.2.3	红外特征吸收区和指纹区	307
15.2.4	红外光谱的解析及应用	312
15.3	核磁共振谱	313
15.3.1	核磁共振氢谱基本原理	313
15.3.2	化学位移	315
15.3.3	积分曲线和峰面积	319
15.3.4	自旋偶合与自旋裂分	319
15.3.5	核磁共振氢谱解析	321
15.4	核磁共振碳谱	324
15.5	质谱	325
15.5.1	质谱的基本原理	325
15.5.2	质谱图的表示	326
15.5.3	质谱解析	326
阅读材料	天然产物曼诺内酯的结构表征	330
习题		330
参考文献		333

第1章 绪论

1.1 有机化合物和有机化学

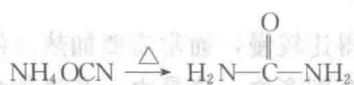
1.1.1 有机化学的发展

有机化学是化学学科的一个重要分支，是研究有机化合物的化学。但什么是有机化合物呢？要回答这个问题，就必须了解有机化学的发展史。

虽然远在古代人类就知道加工各种天然有机物，如酿酒、制醋、制糖、造纸，以及利用天然染料等，但当时没有对这些化合物加以系统研究，并不理解这些过程的实质。到了18世纪末期，人们开始了纯有机化合物的提取工作，如由尿获得了尿素，由葡萄汁获得了酒石酸，由柠檬汁获得了柠檬酸，由酸牛奶获得了乳酸等。由于这些化合物均为从有生命的动植物体中获得，因此认为这些化合物是在生物体内生命力的影响下生成的，是有生机的，称为有机化合物，它们有别于从没有生命的矿物中得到的无机化合物。

当时在生物学中正盛行着一种生命力学说，认为生命现象是由一种超自然的生命力所引起的。这种唯心的观点也对化学界产生了影响，著名的化学家贝齐里乌斯(J. J. Berzelius)就是化学界生命力学说的代表。他首先引用了有机化学这一名词，认为有机化学的研究对象就是在生命力影响下生成的化合物。生命力是超自然的，在它的影响下生成的化合物当然也是无法由人工合成的。这样也就在有机化学和无机化学间人为地设置了一道不可逾越的鸿沟。这一生命力学说一直持续到19世纪中叶。

1828年，武勒(F. Wöhler)加热氰酸铵制得了尿素，即从无机物合成了有机物。



这一事实说明了有机物是可以不借助于所谓生命力而由无机物合成的。这一发现是对生命力学说的一大冲击，但生命力学说并没有很快消失。之后由于许多有机物，包括脂肪、糖这样复杂的有机物都陆续由无机物合成出来，生命力学说才逐渐被摒弃。

生命力学说虽然被推翻，而有机化合物这一名称仍被保留并沿用到今天。不过有机化合物的含义已不同，有机化合物指的是碳化合物或者更确切地说是碳氢化合物及其衍生物。有机化学就是研究碳化合物或碳氢化合物及其衍生物的化学。

当然，有机化学发展成为一门独立的、系统的学科则是在有机化学结构理论建立以后。1858年凯库勒(A. Kekulé)和库柏(A. S. Couper)提出有机化合物分子中碳原子是四价及碳原子之间相互连接成碳链的概念，成为有机化合物分子结构最原始和最基础的理论；1861年布特列洛夫(A. M. Butlerov)对有机化合物的结构提出了较完整的概念，提出原子之间存在着相互影响；1874年范特荷夫(J. H. Van't Hoff)和勒贝尔(J. A. Le Bel)提出碳的四面体构型学说，建立了分子的立体概念，开创了以立体观点来研究有机化合物的立体化学；1874

年拜尔(A. Von Baeyer)提出了环状化合物的张力学说,至此有机化学建立了经典结构理论。20世纪20年代以来,随着量子力学原理和方法在化学中的应用,有机化学结构理论在经典结构理论的基础上不断发展,提出了价键理论、分子轨道理论和分子轨道对称性守恒原理,人们对有机分子结构的认识更加深入。从20世纪50年代开始,现代物理方法介入有机化学,使有机化学得到迅速发展。有机化学结构理论的发展以及实验技术的不断进步促使它成为一门系统的学科。

1.1.2 有机化合物的特性

有机化合物基本上都是共价化合物,这就使它与主要是离子化合物的无机化合物具有不同的特性。有机化合物的特性主要表现在下列几方面。

1.1.2.1 种类繁多、分子组成复杂

组成有机物的元素不多,主要是碳、氢,其次是氧、氮、卤素等。但是有机物的种类繁多、数量庞大。目前已知无机物只有几十万种,而有机物却有上千万种之多。很多有机物在组成上与无机物相比要复杂得多。

1.1.2.2 容易燃烧

大多数有机化合物都可以燃烧,生成二氧化碳和水等。这是由于有机化合物分子中的碳比二氧化碳中的碳处于较低的氧化态,所以能进一步氧化成二氧化碳。

1.1.2.3 熔点较低

有机化合物的挥发性较大,通常都是气体、液体或低熔点的固体。对固态有机化合物来说,大多数的熔点在400℃以下。这是由于共价化合物分子间的力要比离子间的静电引力弱得多。

1.1.2.4 难溶于水

有机化合物大多数难溶于水,而易溶于有机溶剂,这是由于有机化合物的分子结构与有机溶剂更为相似。

1.1.2.5 反应速度慢且副反应多

有机化合物的反应一般进行得比较慢,通常需要加热、催化剂等条件;反应的产物也比较复杂,除一种主产物外,还常有副产物。这是由于有机化合物的反应是分子间的反应,涉及分子中原有共价键的断裂和新的共价键的形成,这往往需要一定的条件和一定的过程。同时,一个有机化合物分子往往具有多个反应中心,其反应产物也就比较复杂。

1.2 有机化合物的结构

1.2.1 化学结构和化学键

化学结构是指分子中原子相互结合的顺序和方式。结构理论认为分子是由原子组成的,但不是原子的杂乱堆积而是各原子依照着一定的分布顺序,相互影响、相互作用而结合起来的整体,这种分布顺序和相互关系就称为化学结构。由于这种相互影响和作用的结果,分子的性质不仅取决于组成元素的性质和数量,而且也取决于分子的化学结构。如乙醇和二甲醚虽然组成相同,分子式都是 C_2H_6O ,但化学结构不同,因此性质各异,是两种不同的化合物。