

有机化学

〔英〕C·B·洪 特 著

A·K·霍立迪

牛瑞珍 温泽润 王淑霞 等译

杨葆昌 校

中央广播电视大学出版社

044589

有机化学

[英] C·B·洪特 著
A·K·霍立迪 著
牛瑞珍 温泽润 王淑霞 等译
杨葆昌 校

中央广播电视大学出版社

044589

有 机 化 学

[英] C·B·洪 特 著
A·K·霍立迪

牛瑞珍 温泽润 王淑霞 等译
杨葆昌 校

*

中央广播电视大学出版社出版
新华书店北京发行所发行
八九九二〇部队印刷厂印装

*

开本787×1092 1/16 印张 22 千字549
1985年2月第1版 1985年5月第1次印刷
印数 1—36,000
书号13300·25 定价3.00元

内 容 简 介

全书共二十二章，第一到第十四章分别按脂肪族与芳香族讨论以官能团为依据的最基本的有机化合物，叙述其结构和性质、用途以及基本反应原理。第十七到第二十章叙述生物分子——碳水化合物和蛋白质、来自煤和石油的化学制品、脂肪、油和蜡以及合成的高分子。最后两章介绍有机化合物分离和提纯的物理方法（主要是色谱法）以及分子结构的测定（质谱法和红外法）。每章末附有习题，全书末附有总复习题。

本书内容丰富，选材新颖，深广度适宜，是大专院校、电视大学等化工和化学系学生很有参考价值的基础读物，也可供从事化学工作的教师和科研人员参考。

译者前言

本书译自巴特沃斯公司(Butterworths)的中级化学丛书中的有机化学。

我们翻译此书的目的是考虑到目前国内适合大专程度的国外有机化学参考书尚不多。该《有机化学》从内容的深广度以及内容编排上比较适应具有大专水平的读者。本书取材新颖,既注意学科本身的系统性又考虑到读者学习的特点。广泛联系生活应用及近代科学技术来阐明有机化学的基本理论和概念,激发读者对有机化学的好奇心和学习兴趣。为了巩固所学知识和进一步发挥读者的想象力和创造精神,每章后面的问题分层次逐步加深,而且均选自英国大学招生委员会及各著名大学近年入学和奖学金试题。本书还选入了有机领域中的新内容,如生物分子、来自煤和石油的化学制品以及合成的高分子等。作者为了克服近年来有机化学学习中重理论轻实际的偏向,使读者对有机化合物有真实感,书中出现的绝大部分有机化合物都标出其物理常数。全书内容的安排也具有独特风格。

参加本书翻译工作的有牛瑞珍(序言、第五、十六、十七、二十二章及总复习)、陈灏(第一、七章)、温泽润(第二、十二章)、陈祖福(第三、四、二十章)、辛无名(第六、十四、十八章)、王淑霞(第八、九、十九、二十一章)、熊允升(第十章)、刘宝廷(第十一、十三、十五章)等同志。杨葆昌和牛瑞珍同志负责本书的校核。

杨葆昌教授在校阅时提出了宝贵意见,我们在此表示衷心谢意。

限于水平,误漏难免,敬希读者批评指正。

译者 1984年5月

序 言

本书旨在尽可能清楚和准确地讲授理论和描述性的有机化学课程，其编写大纲符合主要的几个考试委员会制订的大学入学水平大纲要求。学习本书对进修大学课程的学生也是有益的。我们没有采取“便于自学”的编写方法，而是在这门课程上对学生进行正规的训练。因此，我们对基本概念进行明确地解释并对读者可能经常遇到的有机化合物进行详细地描述。这种方法是传统的，但业已证明是信得过的。我们希望这将鼓励学生在课上集中精力于讲授的基本内容，并在课后参照本书整理笔记。

在引言后接着将基础有机化学分为脂肪族（开链）化合物和芳香族（苯型，见 128 页）化合物（分别在第二到第十一章和第十二到第十四章）。这种分类现在可能颇嫌过时，但是我们认为从教学观点看它有优点。芳香化合物的分开处理，在复习官能团化学时（特别是如果这部份内容在传统的两年制六年级课程中讲授的）就更有价值。

讨论官能团化学时在介绍任何机理的细节之前，我们强调反应类型和基本的反应条件。我们认为指出反应产物的确切证据，并且建立化学计算方程式，要在（一般地）推测性较多的反应机理的描述之前。固然利用反应机理的方法来理解有机反应，对高等化学来说是必不可少的，但对初级水平来说就得失各半了。本书对反应机理的描述难免过于简化，这大大有损于这种方法的预见性，使其基本上成了对分子行为的一种推理手段，即“事后方知”。通过学习反应机理，能力强的学生当然会从中获益，而能力差的学生则可能感到困惑，从而加重负担。有机化合物活性的讨论的确需要考虑热力学和动力学的稳定性还要考虑导致生成物的过渡态性质。这些考虑在初期学习阶段显然是太复杂了。可是如果提出的解释太过于简单，那么除非予以注意，否则可能无意地播下造成后来很多混乱的种子。然而，应当给学生看一些由有机化学家在他的有机反应的研究中得到的新观点，这样做是很有好处的，同时大多数考试大纲都有对基本反应机理知识的要求。我们能做的只是接触到借以研究机理的方法（如第十六章）。但是应当给学生一些从基础上加强这些方法的实验工作的指导。

近年来在中学化学教学上重点多放在原理和概念方面，有时可能损害了问题的叙述部份。特别在有机化学方面有一种危险，就是学生可能将有机反应看成主要是利用弯箭头和部份电荷的图示在纸上做练习。为了防止这种偏向，除结构式外我们还在适当地方提供了物理数据如熔点、沸点等，希望这样做可给读者以真实印象，而不是抽象的化合物的性质。但在有机化合物的制备上我们却略去了许多实际的细节或方法，大多数教师是喜欢自己设计操作过程，若详述有关细节则将大大拉长本书的篇幅。本书对各种类型化合物的制备方法不在各章中讲述，只集中在第十五章，这对复习将是有益的。

第十七章至第二十章描述了基本有机反应和原理在生物分子、石油产品，脂肪和高分子的合成等重要领域的应用，这超过了一般大纲的规定。这样既能激发学习兴趣，同时也有助于那些致力于学以致用的大纲，如全国统一大学入学考试委员会的化学大纲 A，它的明确重点是以化学为基础的工业和技术。

关于有机化合物的分离和提纯以及结构测定的章节特意放在最后，这是因为只有借助于

以前各章的有关知识，才能更好地消化这部分内容。将光谱方法介绍到中学化学教学中曾引起一些争论和不同的意见；不论这种介绍是否得当，一些教学大纲〔例如伦敦(Londen)和纳菲尔德(Nuffield)大学出的大纲〕已涉及这种方法。因此将质谱与红外光谱学的概要列入本书。

在第一至第十四章的最后有总结，我们希望至少有一些读者会发现在复习时它们是有用的。我们还提供了从大学入学考试联合委员会和其它机构的试卷中挑选出的考题。我们热切希望读者通过解题检验自己对各章内容的理解与吸收的能力。有效地复习在很大程度上依赖于这种自我检验；靠自己重复阅读教材是不够的。而过多的死记硬背自然也不应当提倡。练习题未按严格体系而是按作者的意图进行分类。对未打墨号的问题，一般可直接在教科书中找到答案，这是最容易的部份。单墨号的问题需要将已学的原理和反应运用和扩展到不十分熟悉的条件和具体例子中。双墨号问题是最困难的、需要更多的理解力和想象力。

我们感谢下列大学和考试委员会允许转载近年的成套试题。这些单位是：

全国统一大学入学考试委员会

全国统一牛津剑桥中专考试委员会（牛津，剑桥）

全国统一伦敦大学入学与中专考试委员会（伦敦，纳菲尔德）

剑桥大学，剑桥各学院考试（剑桥），牛津大学各学院奖学金与入学联合考试（牛津）

帝国理工学院，皇家奖学金与入学考试（帝国学院）

圣安德鲁大学，入学奖学金与助学金考试（圣安德鲁）

在第二十一章叙述的熔点和沸点的测定方法是由帕里-琼斯(R. L. Parry-Jones)和斯汤布尔斯(A. M. Stumbles)首次发表在**学校科学评论** [(School Science Review)58.473 (1977)]上的。第二十二章叙述的雄尼格(Sehöniger)氧瓶技术是由雄尼格提供的，并在**学校科学评论**54.718(1973)上由施密特(H. G. Schmidt)全面叙述发表。

最后我们向阅读手稿、作出有帮助的评论以及提出建设性批评的利物浦(Liverpool)大学有机化学主讲彼尔(R. J. S. Beer)博士表示衷心感谢，当然书中的内容由作者本人负责。

C·B·洪 特

A·K·霍立迪

目 录

第一章 有机化合物的结构和活性	3
1.1 引言	3
1.2 分子式、结构和异构现象	4
1.3 轨道和成键	6
1.4 偶极矩和分子间力	10
1.5 共振或中介现象	12
1.6 反应和机理	13
1.7 酸和碱	14
1.8 官能团和同系列	15
问题	16
第二章 烷烃	17
2.1 烃: 引言	17
2.2 烷烃的同系列	18
2.3 烷烃的物理性质	19
2.4 烷烃的化学性质	20
2.5 烷烃的用途	24
问题	25
第三章 烯烃	27
3.1 烯烃的同系列	27
3.2 烯烃的物理性质	28
3.3 烯烃的化学性质	28
3.4 二烯烃	38
3.5 烯烃的制造和用途	39
问题	41
第四章 炔烃	43
4.1 炔烃的同系列	43
4.2 炔烃的物理性质	43
4.3 炔烃的化学性质	43
4.4 炔烃加成反应的机理	48
4.5 炔烃的制备和应用	49
问题	50
第五章 卤代烷	52
5.1 卤代烷的同系列	52
5.2 卤代烷的物理性质	53

5.3	卤代烷的化学性质	53
5.4	卤代烷的制造和用途	59
问题		62
第六章	醇	64
6.1	醇的同系列	64
6.2	醇的物理性质	65
6.3	醇的化学性质	66
6.4	醇的制造和用途	73
问题		75
第七章	醚	77
7.1	醚的同系列	77
7.2	醚的物理性质	77
7.3	醚的化学性质	78
7.4	醚的制造和用途	80
问题		80
第八章	醛和酮	81
8.1	醛和酮的同系列	81
8.2	醛和酮的物理性质	82
8.3	醛和酮的化学性质	82
8.4	醛和酮的制造和用途	93
问题		95
第九章	羧酸	98
9.1	羧酸的同系列	98
9.2	羧酸的物理性质	99
9.3	羧酸的化学性质	99
9.4	甲酸的特殊性质	103
9.5	羧酸盐	103
9.6	二元酸	104
9.7	羧酸的制法和用途	104
问题		106
第十章	羧酸衍生物	108
10.1	酯的化学	108
10.2	酰氯的化学	109
10.3	酸酐的化学	112
10.4	酰胺的化学	113
10.5	腈的化学	116
问题		118

第十一章 胺	121
11.1 胺的同系列	121
11.2 胺的物理性质	122
11.3 胺的化学性质	122
11.4 胺的制造和用途	126
问题	126
第十二章 芳香烃	128
12.1 引言	128
12.2 苯的结构	128
12.3 苯衍生物的命名	131
12.4 苯的化学	133
12.5 苯的烃基衍生物	142
12.6 芳烃的制造和用途	145
问题	148
第十三章 苯的衍生物	151
13.1 引言	151
13.2 芳香族卤化物	151
13.3 苯酚和羟基衍生物	155
13.4 醛和酮	161
13.5 芳香羧酸及其衍生物	162
问题	170
第十四章 芳胺	174
14.1 引言	174
14.2 芳胺的制备和化学性质	174
14.3 重氮盐	180
14.4 芳胺的制造和用途	184
问题	187
第十五章 制备方法和有机合成	190
15.1 烷烃	191
15.2 烯烃	193
15.3 炔烃	194
15.4 卤代化合物	195
15.5 醇和苯酚	197
15.6 醚	199
15.7 醛和酮	199
15.8 羧酸	201
15.9 酯	203
15.10 羧酸衍生物	204

15.11 胺	204
15.12 有机合成	205
问题	207
第十六章 立体异构现象	212
16.1 异构现象	212
16.2 立体异构现象: 几何异构	212
16.3 立体异构现象: 光学异构	215
16.4 立体化学和反应机理	218
问题	221
第十七章 生物分子: 碳水化合物和蛋白质	224
碳水化合物	224
17.1 引言	224
17.2 单糖	224
17.3 双糖	228
17.4 多糖	230
17.5 醇发酵	232
17.6 纤维素纤维	232
蛋白质	233
17.7 引言	233
17.8 氨基酸的化学	234
17.9 蛋白质的结构	236
17.10 酶	238
17.11 核酸和蛋白质的生物合成	242
17.12 生命的起源	245
问题	245
第十八章 石油和煤的化学制品	252
18.1 石油和天然气	252
18.2 石油的精炼	252
18.3 石油馏份的加工	254
18.4 石油的化学制品	256
18.5 煤	257
18.6 煤的加工	257
问题	259
第十九章 脂肪、油和蜡	262
19.1 引言	262
19.2 甘油酯的化学	263
19.3 人造黄油的制造	264
19.4 肥皂和洗涤剂	265

问题	267
第二十章 合成聚合物	270
20.1 引言	270
20.2 塑料	272
20.3 合成纤维	279
20.4 合成橡胶	283
20.5 聚硅氧烷	285
问题	288
第二十一章 分离和提纯的物理方法	292
21.1 纯化的标准	292
21.2 分离的方法	295
问题	308
第二十二章 分子结构的测定	311
22.1 引言	311
22.2 实验式的测定	311
22.3 分子式的测定	313
22.4 官能团的鉴定	317
22.5 合成	321
问题	321
复习题	326

命名、符号和单位

一般说在本教科书中有机化合物的命名都依照科学教育协会报告**化学命名、符号和术语在学校科学教育中的应用**第二版(1979)所推荐的方法。系统命名的设计是要用明确、清楚及更好的方法代替许多习惯但不系统或通俗的命名。例如氯仿称为三氯甲烷，枯烯称为(1-甲基-乙基)苯。但必须承认系统命名可能是很繁琐的(特别是讲起来不方便，如向商店要罗谢尔盐，或酒石酸钾钠比称为2,3-二羟基丁二酸钾钠要方便得多)。偶而有一些名字是很令人不满意的，它们是不能事实上也不可能存在的母体化合物衍生出来的，例如乙酰基苯(acetophenone)现在叫苯乙酮(phenylethanone)，尽管不可能有乙酮(见81页)。然而衡量起来优点还是大于缺点的。

但是，不可忽略的事实是：许多简单通俗的名称广泛地应用在化学和与之相关联的工业中。如乙酸俗称醋酸，而且很可能就这样保留着。(例如运化学药品的载重车不很可能用苯-1,2-二酸酐来代替通用的酞酐作标志)。人们不能忽略大量的化学文献中仍保留着许多通俗名称。因此要在名词的使用上权衡轻重，最好让学生熟悉重要而广泛应用的有机化学药品的双重名称。因本教科书是为教学用的，所以强调系统命名，将通俗名称用斜体字放在圆括弧里。

在本教科书中所采用的单位一般是国际单位制(SI)或从它导出的，

质量	克g (国际单位制单位千克, kg)
体积	厘米 ³ cm ³ 或升l (国际单位制单位立方米m ³) 1升是10 ⁻³ 米 ³ 或1分米 ³ (dm ³)
温度	摄氏度°C或有时用凯尔文(热力学温度的国际单位制单位凯尔文K)
波长	米m
时间	秒s
能	焦耳J (即kgm ² s ⁻²)
力	牛顿N (即kgms ⁻²)
压力	Nm ⁻² , 有时称帕斯卡Pa(即kgm ⁻¹ s ⁻²) 1大气压(atm)=101325帕(≈10 ⁵ Nm ⁻²)
物质的量	克分子mol; 摩尔

下面的前缀用于指出国际单位制的基本单位和从它导出的单位的倍数和约数，

纳(nano)	n	10 ⁻⁹
微(micro)	μ	10 ⁻⁶
毫(milli)	m	10 ⁻³
厘(centi)	c	10 ⁻²
分(deci)	d	10 ⁻¹
千(kilo)	k	10 ³
兆(mega)	M	10 ⁶

另外本教科书中也用了下列符号：

A_r 相对原子量

M_r 相对分子量

ΔH 热函（焓）变化

ΔH^\ominus 标准热函（焓）变（温度298K）

R 理想气体常数（即 $8.314\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ）

缩写m.p.和b.p.分别代表熔点和沸点。

下面资料在计算时可能需要：

相对原子质量：H=1.0 C=12.0 N=14.0 O=16.0 Cl=35.5

在标准温度和压力(273k和 101.3kNm^{-2})下理想气体的克分子体积=22.4升

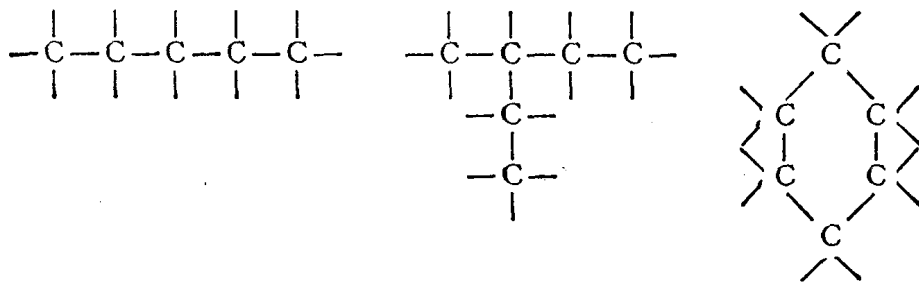
第一章 有机化合物的结构和活性

1.1 引言

历史上,有机化学是和有机生命体的化学物质的分离和研究相联系的——因此形容其为“有机”。有一个时期曾经普遍认为,这些总是包含碳元素的物质在本质上与从无生命的物质如岩石、矿物中所获得的无机物根本不同。人们假设有有机物起源于生命物质中一些不明确的“生命力”,并且用一般实验方法不容易合成。

德国化学家维勒(Friedrich wöhler)反驳了这种信条,他于1828年在他的实验室中蒸发氰酸铵溶液(本质上是一种无机物),并且制出了从前只能从尿中分离出来的尿素。从那时起,化学家们逐渐意识到,有机化合物的性质和反应与其它化合物一样完全服从同一化学原理和规律。这点正如格梅林(Gmelin)在1848年所写,有机化学可以定义为**碳化合物的化学**。这样,有机化学即包括自然存在的物质如蛋白质、碳水化合物、脂肪及“香精油”,又包括一些合成的物质如塑料、染料、药品和洗涤剂等。目前已经知道碳化合物的数目超过所有其它元素化合物数目的总和。因此,仅仅是为了方便,有机和无机化学之间的区别被保持下来。事实上,这两个化学领域已由一个更新、而且非常重要的**金属有机化学**联系在一起,金属有机化学主要研究含有与金属键合的碳的化合物。

碳的化合物存在如此之多,是由于碳元素几种特性所造成的。第一,碳—碳键特别强,键能大约为 $350\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。这就意味着碳原子与其它碳原子显然能无限多地相连以形成分子结构,它们可以组成直链、支链或闭环,例如:



其它元素如氮和氧的键能弱得多($\text{N}-\text{N}$ 键大约为 $160\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, $\text{O}-\text{O}$ 键大约为 $146\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$),所以它们所形成的链或环的结构很不稳定,而且容易破碎成较小的碎片(事实上,在大多数化合物中发现只有三个氮原子和两个氧原子键合在一起)¹⁾。

第二,碳原子的四个共价键可表示为多种形式:(1)与其它碳原子(如以上结构式中表示的那样)或与氢、氧、卤素及其它元素形成单键;(2)形成重键(双键或是三键)。如

1) 此数值可看做是由共价单键结合的两个碳原子比分离为单独的原子时更为稳定的能量数值,可以用每摩尔键表示,即 $2\text{C}(\text{g})\rightarrow\text{C}-\text{C}(\text{g}); \Delta H=-350\text{kJ}$ 。

2) 硅是周期表中第IV族内紧接在碳下面的元素,也可以形成四个共价键,但 $\text{Si}-\text{Si}$ 键能为 $226\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$,比碳弱得多,而较强的 $\text{Si}-\text{O}$ 键在硅化学中处于支配地位。不过,已知的硅烷 $\text{Si}_n\text{H}_{2n+2}$ 中的 n 可以达到10—12。

(>C=C< 、 $\text{—C}\equiv\text{C—}$ 、 $\text{—C}\equiv\text{N}$ 、 >C=O ，等等)。这些特点与以碳为基础的化合物惊人的多样性有关。地球上所有的生命形式建立在以碳化合物及其变化的基础上。从这种意义看，碳在所有元素中是非常重要的。

1.2 分子式、结构和异构现象

定量分析化合物的纯样品能够得到其中各个元素的原子比例。例如，对一种化合物分析得到的数值是碳92.4%和氢7.6%，表明在100g样品中有92.4/12.0摩尔碳原子和7.6/1.0摩尔氢原子结合在一起（取碳和氢的相对原子量¹⁾分别为12.0和1.0）。碳氢的摩尔比即原子数之间的比是7.7比7.6，就是说，在实验误差范围内比值为1:1，因为没有其它原子存在，所以化合物的实验式是CH。然而，用实验式来表示一个化合物的特性是不够的，因为可能不止一个化合物具有同一个实验式，例如苯和乙炔都具有上面刚导出的式子。如果化合物的相对分子量²⁾能够测定，则分子式可以得到，即一个分子式表示存在于化合物分子中每类原子的真实数目。根据实验发现苯的相对分子量是78。因此苯的分子式是(CH)₆，更习惯地写成C₆H₆，[因为(6×12)+(6×1)=78]。同样，乙炔的相对分子量是26，因此它的分子式是(CH)₂或C₂H₂，[因为(2×12)+(2×1)=26]。

分子式并不能表示组成一个分子的原子是如何结合在一起的，即它的结构如何。这是结构式所要解决的问题，如表1.1所示。

表1.1

化合物名称	实验式	分子式	结构式
甲烷	CH ₄	CH ₄	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$
乙烷	CH ₃	C ₂ H ₆	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
丙烷	C ₃ H ₈	C ₃ H ₈	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$

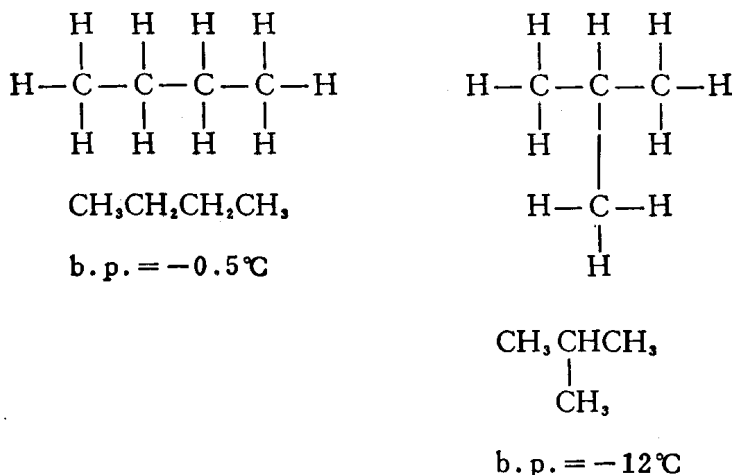
在结构式中，一条单线一代表一个共价键或是一个电子对键。当原子的特征排列很快就可以清楚地辨认出来，并允许用比较简明的表达方式时，常常不必写出这种详细结构式。甲烷中，一个氢原子与一个CH₃基团相连，因此该基团称为甲基。乙烷中，一个氢原子与一个

1) 相对原子量简称原子量，下同。——译者注

2) 相对分子量简称分子量，下同。——译者注

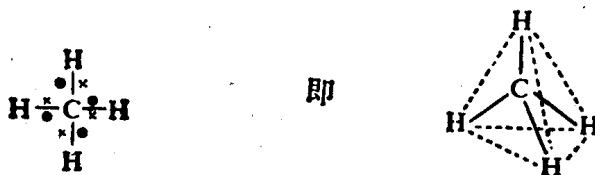
CH₃CH₂ 基团相连, 该基团称为**乙基**, 依此类推, 一般称这种原子团为**烷基**, 当氢原子连接一烷基时, 所得结构就是相应的**烷烃** (见第二章)。这样, 乙烷分子是由键合在一起的两个甲基组成的, 比较简单的结构式可以写成 CH₃-CH₃, 或者只写成 CH₃CH₃。同样, 丙烷可以写成 CH₃-CH₂-CH₃, 或简化为 CH₃CH₂CH₃。

在乙烷分子中, 所有的六个氢原子处于同等地位, 而对于丙烷分子则并不如此。这里有两类氢原子——一类是甲基中的氢原子, 另一类是与中心碳原子键合的氢原子。如果一个甲基取代了丙烷中的一个氢原子生成 C₄H₁₀, 那么, 依照被取代的氢原子类型可能有两种不同的结构:



在上面的直链结构式中, 链端的两个碳原子各与另一个碳原子相连, 称为**伯 (一级) 碳原子**。中间的两个碳原子各与另两个碳原子相连, 称为**仲 (二级) 碳原子**。在上面的支链结构式中, 中心碳原子和三个其它碳原子相连, 相应地称为**叔 (三级) 碳原子**。这两种结构表明可能存在两个或多个有着同一分子式而具有不同的化学和物理性质的化合物, 此化合物叫**异构体**, 这种普遍的现象称为**同分异构现象**。在上述例子中, 由于结构的不同引起性质上的不同, 这种类型的异构为**结构异构**。当化合物的分子式变得更复杂时, 结构异构体可能存在的数目会增加 (虽然结构不一定全部与已知的化合物相对应)。

在书写结构式时, 平面的结构式实际上代表的是分子的立体结构, 理解这一点是很重要的。由碳原子形成的四个共价键是有方向性的, 实验证明, 当碳与四个其它原子或原子团形成共价单键时, 这四个键围绕中心碳原子以正四面体形式排列:



这种结构与价电子层电子对排斥理论 (VSEPR) 是一致的, 此理论认为四个成键电子对以电子之间静电排斥力最小的状态围绕中心原子排列。在正四面体排列中, 已经发现外层电子对相互之间完全是等距离的。因此像甲烷分子的形状或**立体化学**不是用平面结构式表示的正方形, 而是正四面体。在初级课程中没有必要画出有机分子的立体形状 (虽然这些分子