



21 世纪课程教材

全国医学高职高专、成人大专教材

供临床、检验、影像、妇幼、护理、公共卫生管理类专业用

医用化学(下册)

主 编 王爱兰

副主编 夏淑贞 郑启芳

华中科技大学出版社

<http://press.hust.edu.cn>

21 世纪课程教材
全国医学高职高专、成人大专教材
供临床、检验、影像、妇幼、护理、公共卫生管理类专业用

医用化学

(下册)

主 编 王爱兰

副主编 夏淑贞 郑启芳

编 者 (以姓氏笔画为序)

万 宏(华中科技大学同济医学院)

王爱兰(华中科技大学同济医学院)

陈东红(华中科技大学同济医学院)

罗 虹(湖南南华大学化学化工学院)

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

医用化学(下册)/王爱兰 主编
武汉:华中科技大学出版社,2004年9月
ISBN 7-5609-3247-9

I. 医…

Ⅰ. ①王… ②夏… ③郑…

Ⅱ. 医用化学-高等学校-教材

N. R313

医用化学(下册)

王爱兰 主编

策划编辑:胡章成
责任编辑:胡章成
责任校对:封春英

封面设计:潘 群
责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:华中科技大学惠友文印中心
印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:16.5

字数:298 000

版次:2004年9月第1版

印次:2004年9月第1次印刷

定价:22.80元

ISBN 7-5609-3247-9/R·47

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 摘 要

本书是教育部“新世纪高职高专人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划”的研究成果。全书分为上、下两册。上册包括医用基础化学内容,下册包括医用有机化学内容。全书突出基础理论知识的应用和实践能力的培养,紧密结合高职高专等教育层次特点,注重与中学知识的衔接,将化学基本理论、基本知识与医学相关内容紧密结合,强化实验内容。本书既严格区别本科教材,又体现新世纪对该层次人才培养的要求,面广、实用。

本书可供高等医学专科学校高职高专、成人大专的临床、检验、影像、妇幼、护理、公共卫生管理等专业学生使用,也可供医学网络专科和其他医学专科学校的学生使用和参考。

前 言

本教材是根据教育部“高职高专化学课程教学内容体系改革、建设的研究与实践”重大教学改革研究课题的精神,针对医学类高职高专等教育层次的特点,结合多年来的教学经验和改革实践而编写的。

教材编写的指导思想是:提高教材的思想性、科学性、先进性、启发性和适用性。根据医学类该层次的培养目标,教材应突出基础理论知识的应用和实践能力培养;深度和广度应控制在以应用为目的,以必需和够用为尺度,并能体现21世纪对该层次人才素质培养的要求,面广、实用,利于自学。

《医用化学》下册主要包括理论和实验两部分。理论部分共有14章内容,前几章主要介绍必要的有机化学基本理论和基本知识,后几章介绍了氨基酸、蛋白质、核酸等一些与现代医学密切相关的基本知识,以适应21世纪医学发展的需要。同时每章配以相当数量的习题,题型多样,内容丰富,便于学生复习和巩固所学知识。实验部分共有九个实验,注重培养学生的基本操作技能和分析、解决问题的能力。

理论课的总参考学时为40~44学时,其中:绪论2学时,链烃4学时,环烃3~4学时,立体异构4学时,卤代烃1~2学时,醇酚醚3~4学时,醛和酮3~4学时,羧酸和取代羧酸4学时,氨和酰胺3学时,脂类2学时,杂环化合物和生物碱2学时,糖类4学时,氨基酸和蛋白质3学时,核酸2学时。各院校可根据实际情况选用具体内容。

本书由华中科技大学同济医学院王爱兰、夏淑贞、郑启芳、袁红琳、唐乾、万宏,湖南南华大学化学化工学院罗虹,华中科技大学同济医学院卫校梅国鑫编写。

限于编者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,敬望同行和读者批评指正。

编 者

2004年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 有机化学	(1)
一、有机化合物和有机化学	(1)
二、有机化学与医学的关系	(1)
第二节 有机化合物的结构和性质	(2)
一、化学键与分子结构	(2)
二、共价键的键参数	(3)
三、碳原子的结构及轨道杂化	(5)
四、有机化合物的特点	(7)
第三节 有机反应的基本类型	(8)
第四节 有机化合物的分类	(9)
一、按碳骨架分类	(9)
二、按官能团分类	(10)
习题	(11)
第二章 链烃	(12)
第一节 烷烃	(12)
一、烷烃的结构	(12)
二、烷烃的命名	(14)
三、烷烃的性质	(17)
第二节 烯烃	(19)
一、烯烃的结构	(19)
二、烯烃的命名	(20)
三、烯烃的性质	(21)
四、诱导效应与马氏规则的解释	(24)
第三节 炔烃和二烯烃	(25)
一、炔烃	(25)
二、二烯烃	(28)
习题	(31)
第三章 环烃	(33)
第一节 脂环烃	(33)

一、脂环烃的分类和命名	(33)
二、脂环烃的结构	(33)
三、脂环烃的性质	(34)
第二节 芳香烃	(36)
一、芳香烃的分类和命名	(36)
二、苯的结构	(38)
三、芳香烃的性质	(39)
四、苯环亲电取代反应的定位效应	(41)
五、定位规律的应用	(42)
六、稠环芳香烃	(43)
习题	(46)
第四章 立体异构	(48)
第一节 构象异构	(48)
一、乙烷的构象	(48)
二、环己烷的构象	(50)
第二节 顺反异构	(52)
一、产生顺反异构的条件	(52)
二、顺反异构的命名	(53)
三、顺反异构的性质	(56)
第三节 对映异构	(57)
一、对映体	(57)
二、平面偏振光与旋光性	(59)
三、旋光度与比旋光度	(60)
四、对映异构体构型的表示方法	(61)
五、含两个手性碳原子化合物的对映异构	(63)
六、对映异构体的性质	(65)
习题	(65)
第五章 卤代烃	(67)
第一节 卤代烃的分类和命名	(67)
一、卤代烃的分类	(67)
二、卤代烃的命名	(67)
第二节 卤代烃的性质	(68)
一、卤代烃的物理性质	(68)
二、卤代烃的化学性质	(69)
第三节 重要的卤代烃	(72)

习题	(73)
第六章 醇、酚和醚	(75)
第一节 醇	(75)
一、醇的分类和命名	(75)
二、醇的物理性质	(77)
三、醇的化学性质	(78)
四、医学上常见的醇	(82)
五、硫醇	(83)
第二节 酚	(85)
一、酚的分类和命名	(85)
二、酚的结构	(86)
三、酚的物理性质	(87)
四、酚的化学性质	(88)
五、医学上常见的酚	(91)
第三节 醚	(92)
一、醚的分类和命名	(92)
二、醚的物理性质	(92)
三、醚的化学性质	(93)
四、硫醚	(93)
习题	(94)
第七章 醛和酮	(96)
第一节 醛、酮的分类和命名	(96)
一、醛、酮的分类	(96)
二、醛、酮的命名	(96)
第二节 醛、酮的结构和性质	(97)
一、醛、酮的结构	(97)
二、醛、酮的物理性质	(98)
三、醛、酮的化学性质	(98)
四、重要的醛和酮	(105)
习题	(106)
第八章 羧酸和取代羧酸	(108)
第一节 羧酸	(108)
一、羧酸的分类和命名	(108)
二、羧酸的结构	(109)
三、羧酸的物理性质	(109)

四、羧酸的化学性质	(111)
五、重要的羧酸	(115)
第二节 取代羧酸	(116)
一、羟基酸	(117)
二、酮酸	(122)
三、酮式-烯醇式互变异构现象	(123)
四、重要的酮酸	(124)
习题	(126)
第九章 胺和酰胺	(128)
第一节 胺	(128)
一、胺的分类和命名	(128)
二、胺的结构和性质	(130)
三、重要的胺	(134)
第二节 酰胺	(135)
一、酰胺的结构和命名	(135)
二、酰胺的化学性质	(136)
三、碳酸衍生物	(137)
习题	(139)
第十章 脂类	(141)
第一节 油脂	(141)
一、油脂的组成、结构和命名	(141)
二、油脂的性质	(144)
第二节 磷脂	(147)
一、甘油磷脂	(147)
二、磷脂与细胞膜	(149)
第三节 甾族化合物	(150)
一、甾族化合物的基本结构	(150)
二、重要的甾族化合物	(152)
习题	(157)
第十一章 杂环化合物和生物碱	(158)
第一节 杂环化合物	(158)
一、杂环化合物的分类和命名	(158)
二、杂环化合物的结构和性质	(160)
三、重要的杂环化合物及其衍生物	(162)
第二节 生物碱	(166)

一、生物碱的概念	(166)
二、重要的生物碱	(167)
习题	(170)
第十二章 糖类	(171)
第一节 单糖	(171)
一、单糖的结构	(172)
二、单糖的性质	(175)
三、重要的单糖	(179)
第二节 二糖	(181)
一、还原性二糖	(182)
二、非还原性二糖	(183)
第三节 多糖	(183)
一、淀粉	(184)
二、糖原	(185)
三、纤维素	(186)
四、右旋糖酐	(187)
五、粘多糖	(187)
习题	(188)
第十三章 氨基酸和蛋白质	(190)
第一节 氨基酸	(190)
一、氨基酸的结构、分类和命名	(190)
二、氨基酸的性质	(194)
第二节 蛋白质	(197)
一、蛋白质的元素组成	(197)
二、蛋白质的分子结构	(198)
三、蛋白质的性质	(203)
习题	(207)
第十四章 核酸	(209)
第一节 核酸的分类和化学组成	(209)
一、核酸的分类	(209)
二、核酸的化学组成	(210)
第二节 核苷和核苷酸的结构和命名	(211)
一、核苷	(211)
二、核苷酸	(213)
第三节 核酸的结构	(214)

一、核酸的一级结构	(214)
二、DNA 的双螺旋结构	(215)
第四节 核酸的理化性质	(217)
一、物理性质	(217)
二、酸碱性	(217)
三、核酸的水解	(217)
第五节 细胞内重要的核苷酸	(217)
习题	(218)
实验部分	
I 有机化学实验的基本知识	(219)
一、有机化学实验目的	(219)
二、有机化学实验须知	(219)
三、有机化学实验室的安全知识	(220)
四、有机化学实验的预习、记录和实验报告的书写格式	(221)
II 基本操作及实验内容	(223)
实验一 苯甲酸的重结晶	(223)
实验二 苯甲酸熔点的测定	(226)
实验三 常压蒸馏和沸点测定	(229)
实验四 葡萄糖、果糖旋光度的测定	(231)
实验五 醇、酚、醛和酮的化学性质	(235)
实验六 羧酸、取代羧酸的化学性质	(237)
实验七 糖类、氨基酸和蛋白质的化学性质	(240)
实验八 乙酸乙酯的制备	(242)
实验九 乙酰水杨酸的制备	(244)
附录	
常用试剂的配制	(247)
元素周期表	(250)

第一章 绪 论

有机化学的主要研究对象是有机化合物。本章主要介绍有机化合物原子之间的主要结合形式——共价键及其本质、类型以及有机化合物的共同特点、有机反应的基本类型和有机化合物的分类,为后面章节的学习打下必要的理论基础,同时明确本课程的主要学习任务。

第一节 有机化学

一、有机化合物和有机化学

早在几千年前,人类就有利用化学物质为人类服务的知识,例如冶炼技术、酿酒、制醋、利用中草药医治疾病、用茜素和石蕊作染料等。但当时人们还不能从本质上认识化学物质。最初人们把从矿物中得到的物质称为无机化合物,如盐类、金属等;而从动植物等有机体内得到的物质称为有机物,如酒、醋、糖类等。在化学史发展的相当长的一段时间内,人们一直错误地认为有机物只能从有生命的动植物体中获得,而不能用人工方法合成,直到 1828 年德国青年化学家魏勒在实验室中浓缩无机化合物氰酸铵时,得到了有机化合物——尿素,打破了只能从有生命的有机体中得到有机物的错误观念。此后人们相继合成了成千上万种有机化合物,从而开辟了人工合成有机化合物的时代,“有机”二字不再反映它的原有含义,只是习惯沿用至今。通过大量研究证明,有机化合物都含有碳元素,大多数含有氢,除此之外,有的还含有氧、卤素、磷及某些金属元素。因此现在一般把含碳的化合物或含碳氢的化合物及其衍生物称为有机化合物,但并不是所有含碳化合物都是有机物,如二氧化碳、碳酸、碳酸盐及金属氰化物等虽然也含有碳元素,因其具有典型的无机化合物的性质而不属于有机化合物。有机化学是研究有机化合物的来源、组成、结构、性质、制备和应用的一门学科。

二、有机化学与医学的关系

有机化学对国民经济各个部门和科学技术的发展都起着非常重要的作用,人们的衣、食、住、行及工农业、国防和尖端科学领域都与有机化学密切相关。

有机化学是医学科学的一门重要的基础理论课程。医学科学研究的主要对象是复杂的人体,组成人体的物质除了水和一些无机盐以外,绝大部分是有机化合物,它们在人体内发挥着不同的功能并进行着一系列的化学变化,这些就构成了复杂的生命现象。21 世纪是生命科学的世纪,人们已经从分子和原子水平上来认识

许多生命现象,特别是2000年6月国际基因组宣布第一幅基因草图绘制成功,标志着生命科学的发展已经跨入基因时代的门槛。在这个时代生命科学将进一步解决生命现象中更深层次的疑难问题,如构成生命的复杂分子间的相互作用、蛋白质的结构与功能的关系等。这些疑难问题的解决只有生命科学与化学、物理学等其他学科相互结合才能完成,其中有机化学将承担极其重要的任务,所以掌握好有机化学是学习医学科学必备的基础。

第二节 有机化合物的结构和性质

一、化学键与分子结构

化学键是分子或晶体中相邻两原子或离子间的强烈作用力。化学键的成键能量通常在每摩尔几十到几百千焦,而存在于分子间的作用力通常比化学键小一到两个数量级。因此可以看出,物质的性质,包括物理性质和化学性质主要由化学键和分子间的作用力决定,而分子的性质主要由分子内部的化学键决定。

化学键按照成键时电子运动状态的不同,可以分为离子键、共价键(包括配位键)和金属键。由于碳元素处在周期表中的第二周期ⅣA族,在与其他原子成键时不易得失电子,这就决定了有机化合物中的化学键主要是共价键。共价键是元素电负性相差不大时的一种成键方式,通常有两种类型: σ 键和 π 键。轨道沿着键轴方向(即成键两原子核之间的连线)相互重叠形成的共价键称为 σ 键,常称为“头碰头”,轨道的重叠部分沿键轴方向呈圆柱状对称,电子云密度在两核之间最大。若由两个相互平行的p轨道从侧面重叠所形成的共价键称为 π 键,常称为“肩并肩”,其重叠部分具有一个对称面,由C—C键所在平面的上、下两部分组成,如图1-1所示。

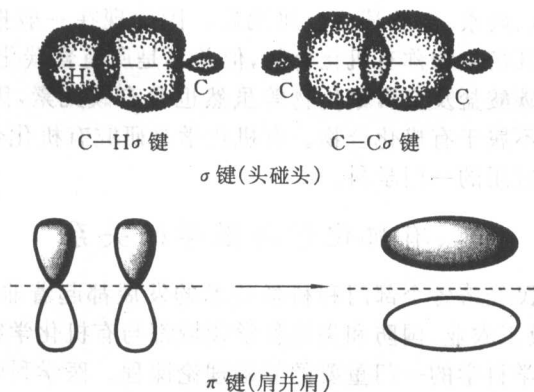


图 1-1 σ 键与 π 键的形成

不难看出,对于“头碰头”的 σ 键,其重叠程度比较大,键结合紧密,键能较大,

不易断裂,它构成分子的骨架。而 π 键的电子云垂直地分布于 σ 键键轴所在平面的上下两方,电子云重叠程度比较小,键能较小,而且处于分子的外沿,受原子核的约束力较小,电子云流动性较大,在外电场影响下易被极化而发生化学反应。同时 π 键不能单独存在于分子中,它只能依附于 σ 键而存在。 σ 键和 π 键的特点见表 1-1。

表 1-1 σ 键与 π 键的特点

	σ 键	π 键
存在	可单独存在,存在于任何共价键中。	不能单独存在,只能与 σ 键同时存在。
形成	成键轨道沿键轴方向重叠,重叠程度大,电子云呈圆柱形对称。	p 轨道平行侧面重叠,重叠程度小,电子云分布在平面的上下两方。
性质	1. 键能较大,键较稳定; 2. 电子云受核约束大,键的极化度小; 3. 成键的原子可沿键轴自由旋转。	1. 键能小,键不稳定; 2. 电子云受核约束小,键的极化度较大; 3. 成键的两碳原子不能沿键轴旋转。

二、共价键的键参数

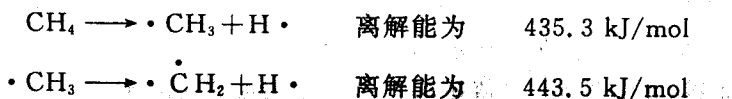
不同的化合物其化学键存在着差异,这些差异用键长、键角、键能以及键的极性来衡量,一般把这些物理量称为键的键参数。

1. 键长

键长是形成共价键的两个原子的原子核之间的距离。键长的单位常用 pm 或 nm 表示。它取决于电子云的重叠程度,重叠程度越大,键长越短。同一化学键在不同化合物中键长相差很小,例如, C—C 键在环丙烷中为 154 pm,在环己烷中为 153 pm。

2. 键能

键能是从能量的角度来衡量化学键强度的物理量。对于双原子分子,键能就是分子的离解能。所谓离解能是在一个标准大气压下,在 298.15 K 时,1 mol 的理想气体分子 AB 离解成理想气态的 A 和 B 两原子所需要的能量。对于多原子分子,键能和离解能是不完全相同的,可用分子中相同化学键离解能的平均值作为该键的键能。例如,将 1 mol 甲烷离解为 4 个氢原子和 1 个碳原子所需要的能量为 1 661 kJ,那么打开 1 个 C—H 键所需要的平均能量为 $1\,661/4\text{ kJ}=415.2\text{ kJ}$,即 C—H 键的键能为 415.2 kJ/mol。但实际上每打开 1 个 C—H 键所需要的能量是不相同的:



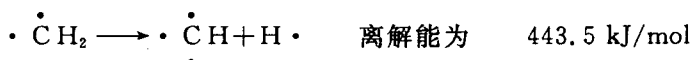


表 1-2 一些双原子分子的键能和某些键的平均键能 $E/\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

分子名称	键能	分子名称	键能	共价键	平均键能	共价键	平均键能
H_2	436	HF	565	$\text{C}-\text{H}$	413	$\text{N}-\text{H}$	391
F_2	165	HCl	431	$\text{C}-\text{F}$	460	$\text{N}-\text{N}$	159
Cl_2	247	HBr	366	$\text{C}-\text{Cl}$	335	$\text{N}=\text{N}$	418
Br_2	193	HI	299	$\text{C}-\text{Br}$	289	$\text{N}\equiv\text{N}$	946
I_2	151	NO	286	$\text{C}-\text{I}$	230	$\text{O}-\text{O}$	143
N_2	946	CO	1071	$\text{C}-\text{C}$	346	$\text{O}=\text{O}$	495
O_2	493			$\text{C}=\text{C}$	610	$\text{O}-\text{H}$	463
				$\text{C}\equiv\text{C}$	835		

键能是衡量化学键强度的主要标志之一,在一定程度上反映了键的稳定性,相同类型的键中,键能越大,键越稳定。

3. 键角

分子中同一原子形成的两个共价键间的夹角称为键角,它是反映分子空间构型的一个重要参数。例如甲烷分子中 $\text{H}-\text{C}-\text{H}$ 键角都是 $109^\circ 28'$,表明甲烷的构型为正四面体;而 CO_2 分子中键角为 180° ,表明 CO_2 是线性分子。一般而言根据分子的键长和键角数据可以确定分子的空间构型。

4. 键的极性

共价键的极性是由于成键原子的电负性不同引起的,当两个成键原子的电负性相同时,其电子云呈对称地分布于两个原子中间,所形成的共价键没有极性,为非极性共价键。但是当两个原子的电负性不相同,成键电子在键轴方向的分布显然是不对称的,这时电子云必然偏向于电负性较大的原子,使其带部分负电荷,用 δ^- 表示;而电负性小的原子则相应的带上等量的正电荷,用 δ^+ 表示,所形成的共价键具有极性,称为极性共价键。组成化学键的两种原子的电负性相差越大,其键的极性也越大。一般成键的两元素电负性差值等于或大于 1.7 为离子键,小于 1.7 为共价键,其中电负性差值在 0.7~1.6 者为极性共价键。

此外在外界电场作用下,共价键的电子云也会发生改变,从而使键的极性发生改变,这种现象称为键的极化。在外电场作用下,键极化的难易程度称为键的极化度。键的极化度取决于成键原子的种类以及键的类型。

三、碳原子的结构及轨道杂化

价键理论比较简要地阐明了共价键的本质、共价键的饱和性和方向性,但在解释分子的空间结构方面却遇到了困难。例如,经实验测知,甲烷分子具有正四面体的空间构型,如图 1-2 所示,图中实线代表 C—H 键,虚线表示 CH_4 分子的正四面体空间构型。碳原子位于四面体的中心,与四个氢原子形成四个等同的 C—H 键,指向四面体的顶点,两个 C—H 键间的夹角($\angle\text{HCH}$)均为 $109^\circ28'$ 。

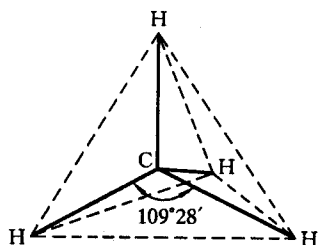


图 1-2 CH_4 分子构型

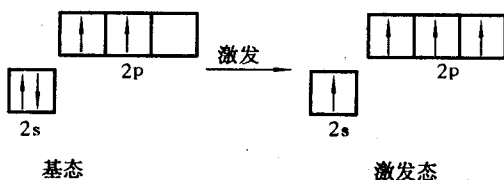


图 1-3 碳原子外层电子的激发

碳原子的外层电子排布是 $2s^2 2p_x^1 2p_y^1$, 有两个未成对的 p 电子, 按照价键理论, 碳只能与两个氢原子形成两个共价键。如果考虑将碳原子的一个 2s 电子激发到 2p 空轨道上去, 则碳原子有四个未成对电子(一个 s 电子和三个 p 电子), 如图 1-3 所示, 可与四个氢原子的 1s 电子配对形成四个 C—H 键。由于碳原子的 2s 电子和 2p 电子的能量不同, 形成的四个 C—H 键也应当不同, 这与实验事实不符。为了解决这个矛盾, 1931 年鲍林(Pauling)和斯莱特(Slater)提出了杂化轨道理论, 进一步发展和丰富了现代价键理论。

(一) 杂化轨道理论的基本要点

在成键过程中, 由于原子间的相互影响, 同一原子中参加成键的几个能量相近的原子轨道可以进行混合, 重新分配能量和空间方向, 组成数目相等、能量相同的新原子轨道。这种轨道重新组合的过程称为轨道杂化, 简称杂化, 所组成的新原子轨道叫做杂化轨道。

杂化轨道之间互相排斥, 力图在空间取得最大的夹角, 使体系能量降低。原子轨道杂化以后所形成的杂化轨道更有利于成键, 因为杂化后原子轨道的形状发生了变化, 如 s 轨道和 p 轨道杂化形成的杂化轨道使本来对称平分在两个方向上的 p 轨道比较集中在一个方向上, 变成一头大一头小, 成键时在较大一头重叠, 有利于最大重叠。因此杂化轨道的成键能力比单纯原子轨道的成键能力强。

(二) 杂化轨道类型

根据原子轨道的种类和数目的不同,可以组成不同类型的杂化轨道。有机化学中较常见的是 s 轨道和 p 轨道之间的杂化。

1. sp^3 杂化

一个 s 轨道和三个 p 轨道杂化形成四个 sp^3 杂化轨道,每个 sp^3 杂化轨道含有 $s/4$ 和 $3p/4$ 成分。杂化轨道之间的夹角为 $109^\circ 28'$ 。四个 sp^3 杂化轨道的取向是指向正四面体的四个顶角,如图 1-4 所示。在形成 CH_4 分子时,碳原子的一个 2s 电子先激发到空的 2p 轨道上去,然后一个 2s 轨道和三个 2p 轨道杂化组成四个等同的 sp^3 杂化轨道。四个氢原子的 1s 轨道分别与碳原子的四个 sp^3 杂化轨道重叠,组成四个 C—H (sp^3-s) σ 键,形成 CH_4 分子。甲烷分子中四个 C—H 的键长、键能和键角都完全相等。

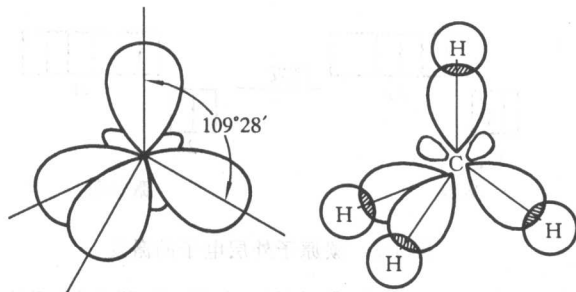


图 1-4 碳原子的 sp^3 杂化轨道及甲烷分子的结构

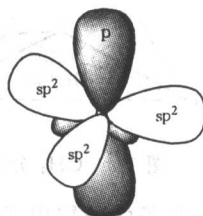


图 1-5 sp^2 杂化轨道及 p 轨道

2. sp^2 杂化

一个 s 轨道和两个 p 轨道杂化可组成三个 sp^2 杂化轨道。每个 sp^2 杂化轨道有 $s/3$ 成分和 $2p/3$ 成分。两个 sp^2 杂化轨道间的夹角为 120° 。三个 sp^2 杂化轨道的取向是指向平面三角形的三个顶角。碳原子中剩下的一个未杂化的 p 轨道,其轨道轴垂直于三个 sp^2 杂化轨道所形成的平面(见图 1-5)。

在乙烯分子中,两个碳原子各以一个 sp^2 杂化轨道沿着键轴方向重叠,形成一个 C—C σ 键,余下的 sp^2 杂化轨道分别与四个氢原子的 1s 轨道重叠形成四个 C—H σ 键。两个碳上未参与杂化的 p 轨道从侧面互相平行重叠,形成一个 π 键。所以, C—C 双键是由一个 σ 键和一个 π 键组成的(见图 1-6)。

3. sp 杂化

一个 s 轨道和一个 p 轨道杂化可组成两个 sp 杂化轨道。每个 sp 杂化轨道各含有 $s/2$ 和 $p/2$ 成分。两个杂化轨道间的夹角为 180° 。两个 sp 杂化轨道的对称轴在同一条直线上,只是方向相反(见图 1-7)。

乙炔分子中,两个碳原子采取 sp 杂化,形成两个等同的 sp 杂化轨道,两个碳原子各以一个 sp 杂化轨道形成 C—C σ 键。每个碳的另一个杂化轨道分别与两个氢