

与“科学版”《有机化学》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)配套

有机化学质疑



考研指导

YOUJIHUAXUE ZHIYI JI KAOYAN ZHIDAO

李瀛 高坤 王清廉 达世俊 编著



兰州大学出版社

■ 有机化学质疑:

以质疑的方式提出学生学习有机化学过程中常见的疑难问题并做了解答。

■ 考研指导:

涵盖了本科学习和研究生入学考试的各个方面。

策划编辑 陈红升 责任编辑 龚 静 陈红升 封面设计 管军伟

上架建议: 考研辅导

ISBN 978-7-311-03626-3



9 787311 036263 >

定价: 49.00元

与“科学版”《有机化学》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)配套

有机化学质疑

暨 考研指导

YOUJIHUAXUE ZHIYI JI KAOYAN ZHIDAO

李瀛 高坤 王清廉 达世俊 编著

兰州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

有机化学质疑暨考研指导/李瀛等编著. —兰州:
兰州大学出版社, 2010. 11
ISBN 978-7-311-03626-3

I. ①有… II. ①李… III. ①有机化学—研究生—入
学考试—自学参考资料 IV. ①062

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 218347 号

策划编辑 陈红升
责任编辑 龚 静 陈红升
封面设计 管军伟

书 名 有机化学质疑暨考研指导
作 者 李 瀛 高 坤 王清廉 达世俊 编著
出版发行 兰州大学出版社 (地址:兰州市天水南路 222 号 730000)
电 话 0931-8912613(总编办公室) 0931-8617156(营销中心)
0931-8914298(读者服务部)
网 址 <http://www.onbook.com.cn>
电子信箱 press@lzu.edu.cn
印 刷 兰州人民印刷厂
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 26.75
字 数 641 千
版 次 2011 年 1 月第 1 版
印 次 2011 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-311-03626-3
定 价 49.00 元

(图书若有破损、缺页、掉页可随时与本社联系)

前 言

本书包括两大部分。第一部分“有机化学质疑”，以质疑的方式提出学生学习有机化学过程中常见的疑难问题并作了解答。内容编排参照现行的有机化学教材体系，一问一答，一题一议，文字简练流畅，叙述通俗易懂，有利于学生自学和加深其对有机化学的理解。第二部分“考研指导”，涵盖了本科生学习和研究生入学考试的各个方面，编排独特，选题典型，涵盖面广，包括了解题指导、实例分析、习题及解答等，旨在使读者在较短的时间内掌握考研的基本要求。本书是作者多年从事教学的体会和经验积累，希望能对学生学习有机化学课程和进一步深造有所裨益。书后还附有几套本科生和研究生入学考试试题，便于学生了解试题模式并进行自我测评。

本书由李瀛和王清廉共同策划，李瀛、高坤、王清廉、达世俊共同编写，王清廉负责全书的统稿。由于作者水平有限，疏漏错误之处在所难免，恳请读者不吝赐教。

编 者
2010.9

目 录

第一部分 有机化学质疑

第一章 绪论	3
1.1 什么是 Lewis 和 kekulé 结构式、缩写式和骨架式?	3
1.2 价键理论和分子轨道理论有何区别?	4
1.3 如何计算分子中原子的形式电荷(Formal Charges)?	5
1.4 如何理解碳原子的杂化轨道?	5
1.5 如何区别下列几组不同的概念?	6
第二章 化学反应——能学和动力学	8
2.1 如何确定一个反应进行的程度?	8
2.2 如何理解化学反应的活化能?	9
2.3 活化能如何影响化学反应的速率?	10
2.4 如何理解化学反应的过渡态?	11
2.5 何为反应的能线图?	12
第三章 烷烃和环烷烃	14
3.1 研究分子的物理性质意义何在?	14
3.2 何为分子间力?	14
3.3 影响化合物沸点和熔点的因素有哪些?	15
3.4 影响化合物溶解度的因素有哪些?	16
3.5 何为反应机理? 研究反应机理的意义何在?	16
3.6 如何理解自由基的构型和相对稳定性?	17
3.7 如何论证烷烃自由基取代反应的历程?	17
3.8 如何理解烷烃自由基溴化低的反应活性和高的选择性?	18
3.9 为什么氟代烷和碘代烷一般不用烷烃的氟化和碘化来制备?	18
3.10 如何理解乙烷分子旋转能垒的本质?	19
3.11 举例说明分子中存在着哪三种张力?	19
3.12 何为构象分析?	20
3.13 除了张力之外,还有哪些影响构象的因素?	20
3.14 如何推测脂环化合物的顺反异构体?	21
3.15 如何推导出桥环烃中双环和三环化合物的通式?	21

第四章 立体化学	22
4.1 何为手性、手性分子和手性中心?	22
4.2 何为相对构型和绝对构型?	22
4.3 如何理解对映体的性质?	24
4.4 何为外消旋体混合物、化合物和固熔体?	24
4.5 为什么手性分子会产生旋光性?	25
4.6 如何根据对称因素判断手性分子?	25
4.7 如何方便地判断含不对称碳原子的化合物的构型?	27
4.8 如何理解构型和构象之间的关系?	27
4.9 如何确定全氢菲(菲烷)的所有立体异构体及稳定的构象式?	28
4.10 手性化合物包括哪些类型?	30
4.11 如何测定手性化合物的构型?	32
第五章 卤代烷	33
5.1 何为溶剂解? 研究亲核取代反应的机理为何要用溶剂解?	33
5.2 研究饱和碳上的亲核取代反应机制时,为什么要选用溴甲烷和叔丁基溴作为研究对象?	33
5.3 反应级数和反应分子数有何联系与区别?	33
5.4 碱性与亲核性有何区别与联系?	34
5.5 为什么说 S_N2 和 S_N1 机制分别是溴甲烷和叔丁基溴水解反应最合适的反应途径?	35
5.6 何为溶剂化效应? 溶剂对亲核取代反应有何影响?	36
5.7 底物的结构如何影响亲核取代反应?	37
5.8 如何判断离去基团的难易和好坏? 离去基团对亲核取代反应有何影响?	40
5.9 何为双位离子? 双位离子亲核取代的产物与反应机制有何联系?	42
5.10 何为 S_N1' 和 S_N2' 反应?	42
5.11 S_N1 反应和 S_N2 反应对比有哪些异同?	43
5.12 如何理解烷基给电子的诱导(+I)效应?	44
5.13 有机金属化合物有哪些类型? 它们的反应活性有哪些差别?	44
第六章 烯烃	46
6.1 σ 键和 π 键有何区别?	46
6.2 如何理解有机化合物的稳定性与反应活性?	46
6.3 何为消去反应? 消去反应有哪几种机制?	47
6.4 何为同位素效应? 如何证明卤代烷在强碱作用下的消去反应为 E2 机制?	47
6.5 如何理解 E2 反应的立体化学特征?	48
6.6 影响到卤代烷 E2 反应取向的有哪些因素?	52
6.7 E1 反应和 E2 反应有哪些异同?	53
6.8 如何判断卤代烷发生取代还是消去?	53
6.9 烯烃的氢化为什么常用 Pt、Pd、Ni 等金属作催化剂?	55
6.10 何为亲电试剂? 烯烃为什么容易发生亲电加成?	55

6.11	如何理解卤素对烯烃亲电加成反应的历程?	56
6.12	如何预测溴与环己烯及衍生物加成反应产物的立体化学?	57
6.13	何为区域选择性反应? 如何理解马氏(Markovnikov)规则?	58
6.14	取代基对亲电加成反应的速率有何影响? 烯烃可以进行亲核加成吗?	59
6.15	如何理解烯烃与 HBr 加成的过氧化物效应?	60
6.16	丙烯高温卤化为什么主要生成取代产物,而不是发生双键上的加成反应? ...	61
6.17	何为立体有择和立体专一性反应? 烯烃有哪些反应具有上述特征? 产物 有何规律?	61
6.18	卡宾具有什么样的结构? 其加成反应有何特征?	62
6.19	异丁烯在硫酸催化下二聚,为什么主要生成 2,4,4-三甲基-1-戊烯?	63
第七章	炔烃和二烯烃	65
7.1	如何判断链状多烯烃顺反异构体的数目?	65
7.2	如何理解炔烃亲电加成反应活性小于烯烃?	65
7.3	如何理解 Brønsted 和 Lewis 的酸碱理论?	66
7.4	如何判断酸碱的强度?	67
7.5	影响有机化合物酸性的因素有哪些?	68
7.6	由链状邻二卤代物制备末端炔烃时,为什么要用 NaNH ₂ 作为消去试剂?	69
7.7	反-1,2-二溴环己烯进行消去反应时,为什么生成的是 1,3-环己二烯而不是 环己炔?	69
7.8	何为共振论和共振式?	69
7.9	书写共振结构式时必须遵循哪些规则?	70
7.10	如何判断共振式的相对稳定性?	71
7.11	诱导效应和共轭效应有何区别?	71
7.12	何为动力学控制和热力学控制? 如何理解温度对丁二烯 1,2-加成和 1,4-加 成产物比例的影响?	72
7.13	共轭双烯可以进行自由基加成吗?	73
7.14	共轭双烯和亲双烯的结构和取代基对 Diels-Alder 反应的活性有何影响? ...	73
7.15	如何理解 Diels-Alder 反应的立体专一性和其生成的内型的反应产物?	75
第八章	芳烃	76
8.1	何为芳香性?	76
8.2	如何根据 Hückel 规则判断化合物的芳香性?	77
8.3	何为 π -络合物和 σ -络合物? 取代反应中 σ -络合物的存在有何证据?	80
8.4	如何理解硝化反应的机理?	81
8.5	二取代苯的亲电取代反应定位效应有何规律?	83
8.6	如何理解卤素的定位效应?	83
8.7	烷基化和酰基化反应有何区别?	84
8.8	除了定位效应之外,影响邻/间/对产物比例与反应活性的因素还有哪些?	86
8.9	芳环在什么情况下发生亲核取代? 如何理解芳环亲核取代反应历程?	88
8.10	苯炔存在和其反应历程的实验证据是什么?	89

8.11 如何判断取代卤苯形成苯炔时产物的反应取向?	91
第九章 醇、酚和醚	92
9.1 为什么叔丁醇能与水完全混溶?	92
9.2 伯醇和仲醇被铬酸氧化的机理如何?	92
9.3 磺酸酯和硫酸酯在合成中有何用途?	93
9.4 如何理解频哪重排反应的机制并判断重排反应的产物?	95
9.5 如何预测邻二醇等被高碘酸氧化断裂的产物?	97
9.6 使用威廉姆森(Williamson)法合成醚时,底物结构对反应有何影响?	97
9.7 环氧化合物在酸碱催化下开环反应的机制如何?	99
9.8 如何理解酚的酸性? 取代基对酚的酸性有何影响?	100
9.9 何为弗瑞斯(Fries)重排? 温度对反应产物有何影响?	102
9.10 如何理解和配平有机氧化还原反应?	103
第十章 醛和酮	105
10.1 羰基为什么容易发生亲核加成? 醛和酮的结构对反应有何影响?	105
10.2 生成缩酮时为什么常使用二元醇? 为什么缩醛(酮)在合成中能被用来 保护羰基?	108
10.3 羰基与 NaHSO_3 的加成反应是如何进行的? 影响反应的主要因素是 什么?	108
10.4 工业上丙酮氰醇的制备为什么要在酸性介质中进行?	109
10.5 醛和酮与格氏试剂反应的历程是怎样的?	110
10.6 醛和酮与胺(氨)的反应产物有什么不同? 与氨的衍生物反应为什么要 在弱酸性介质中进行?	111
10.7 什么是羰基亲核加成的“Cram 规则”?	112
10.8 氢化锂铝还原羰基的机制是什么? 如何判断醛和酮还原产物的结构?	113
10.9 何为贝克曼(Beckmann)重排? 其反应机理有何特征?	114
10.10 为什么说醛和酮存在着酮式与烯醇式的平衡? 如何将羰基化合物转变 为烯醇盐?	115
10.11 醛和酮的卤化反应酸催化和碱催化有什么不同?	117
10.12 羟醛缩合反应有什么特点? 不对称酮在酸碱催化下缩合产物有什么 不同?	118
10.13 何为法沃斯基(Favorsky)重排?	119
10.14 二苯羟乙酸重排反应的机理是什么?	120
10.15 苯偶姻缩合反应为什么要用氰化钠(钾)作催化剂?	122
10.16 如何理解不饱和醛和酮的 1,2-加成和 1,4-加成?	123
10.17 何为自动氧化反应?	123
第十一章 羧酸	126
11.1 溶剂对分子的酸碱性有何影响?	126
11.2 如何理解乙酸和甲酸酸性的差别?	126
11.3 分子结构对羧酸的酸性有何影响?	127

11.4	用羧酸制备相应酰氯时,为什么不用 HCl/ZnCl_2 , 而用 PCl_3 、 PCl_5 或 SOCl_2 作为氯化试剂?	131
第十二章	羧酸衍生物	132
12.1	酰基化合物的亲核反应与醛及酮有什么不同? 为什么?	132
12.2	如何理解羧酸衍生物的相对活性?	133
12.3	酯的水解有哪些可能的机制? $\text{B}_{\text{Ac}}2$ 历程有哪些实验证据?	134
12.4	酮的双分子还原和酯用金属钠—醇还原以及醇酮缩合反应的机理如何? 有什么相同点?	136
12.5	酰氯的醇解为什么常在吡啶的存在下进行?	138
12.6	何为邻基参与? 对反应有何影响?	138
12.7	邻基参与有哪些类型?	140
12.8	何为非经典碳正离子?	142
第十三章	1,3-二羰基化合物	145
13.1	影响碳负离子稳定性的因素有哪些? 如何生成碳负离子?	145
13.2	Claisen 酯缩合与羟醛缩合有何不同? 何为逆向的 Claisen 酯缩合?	147
13.3	何为互变异构? 结构和溶剂对酮—烯酮平衡位置有何影响?	149
13.4	为什么 β -酮酸和 1,3-二羧酸化合物容易脱羧? 影响化合物脱羧的还有哪些因素?	151
13.5	β -酮酯的酮式分解和酸式分解可用来合成哪些类型的化合物?	152
13.6	丙二酸酯可以用来合成哪些类型的化合物?	153
13.7	烯醇盐的烷基化为什么通常发生在碳上而不是氧上?	153
13.8	何为迈克尔(Michael)加成反应,它在合成上有何重要用途?	154
13.9	何为烯胺? 烯胺在合成上有何用途? 制备烯胺时为什么要用环状的二级胺?	155
13.10	何为 Mannich 反应? 它在合成上有何用途?	156
第十四章	胺	159
14.1	如何理解脂肪胺碱性的大小顺序? 影响碱性强弱的因素有哪些?	159
14.2	为什么芳胺的碱性比脂肪胺弱得多? 如何判断芳胺及取代芳胺的碱性?	161
14.3	季铵碱的消去有什么特点和用途? 如何理解反应的取向?	162
14.4	如何鉴别 1° , 2° 和 3° 胺?	164
14.5	制备胺的方法有哪些?	165
14.6	如何理解芳香族重氮盐的稳定性与活泼性?	167
14.7	何为芳基化反应? 其机理如何?	168
14.8	偶联反应有何用途? 苯酚和芳胺与重氮盐的偶联反应为什么要在弱碱性与弱酸性的介质中进行?	169
14.9	重氮盐与芳胺及酚类的偶联在位置上有什么不同?	170
第十五章	杂环化合物	172
15.1	具有芳香性的杂环化合物与苯环相比较,有何异同点?	172
15.2	如何理解吡咯与吡啶的碱性?	173

15.3	吡啶为什么难发生亲电取代而容易发生亲核取代? 如何理解吡啶 α -和 β -烷基取代吡啶的酸性?	175
第十六章	碳水化合物、氨基酸和蛋白质	177
16.1	如何根据 Fischer 投影式方便的写出单糖的哈武斯(Haworth)式和构象式?	177
16.2	葡萄糖的结构是如何证明的?	178
16.3	如何鉴别醛糖和酮糖?	180
16.4	氨基酸有哪些物理特性?	181
16.5	何为等电点? 等电点对氨基酸有何意义?	181
第十七章	周环反应	183
17.1	何为周环反应? 这类反应有什么特点?	183
17.2	何为前线轨道理论? 用这一理论预测反应时应注意什么?	183
17.3	何为 1,3-偶极加成反应?	184

第二部分 考研指导

第一章	有机化合物的命名、异构、物性及有机化学的基本知识	189
§1	有机化合物的命名	189
§2	异构现象和立体化学	192
§3	分子的物理性质	195
§4	有机化合物的酸碱性	197
§5	Hückel 芳香性	198
§6	共振论	199
§7	互变异构	199
§8	中间体的稳定性和反应活性	200
	习题解答	205
第二章	完成反应式	215
§1	自由基取代和加成	215
§2	饱和碳上的亲核取代和邻基参与	216
§3	消去反应	217
§4	亲电加成及卡宾的反应	220
§5	催化氢化(还原)、硼氢化及烯烃的氧化	222
§6	周环反应	223
§7	芳环的亲电取代、亲核取代及有关反应	226
§8	重排反应	230
§9	醛和酮的有关反应	234
§10	羧酸及羧酸衍生物的有关反应	237
§11	1,3-二羧基化合物及共轭加成	240
§12	含氮化合物的有关反应	242

§13 杂环化合物	244
习题解答	246
第三章 有机反应机理	263
§1 内容提要	263
§2 实例分析	265
§3 练习题	270
习题解答	279
第四章 有机合成	302
§1 内容提要	302
§2 实例分析	306
§3 练习题	314
习题解答	323
第五章 有机化合物的结构推导	347
§1 内容提要	347
§2 实例分析	349
§3 练习题	366
习题解答	374
附录 考题汇编	389
有机化学试题一	389
有机化学试题二	393
有机化学试题三	397
有机化学试题四	401
研究生有机化学试题一	405
研究生有机化学试题二	410
主要参考书目	415

第一部分
有机化学质疑



第一章 绪 论

1.1 什么是 Lewis 和 Kekulé 结构式、缩写式及骨架式?

结构式是表明分子中所有原子间键合的式子,有机化学中最常见的有 Lewis 结构式、Kekulé 结构式、缩写式和骨架式(如表 1-1-1 所示)。

Lewis 结构式是表明所有价电子的结构式,式中用圆点代表价电子,用一对圆点代表一对成键电子。氧、氮、卤素等杂原子在稳定的化合物中通常有孤对电子,在 Lewis 式中必须表示出来。Kekulé 结构式用一根短线代替 Lewis 结构式中的成键电子对,且省去孤对电子。

缩写式(Condensed Structure)也称结构简式,是不表明所有单个化学键的结构式,式中将每个中心原子及与它成键的原子写在一起,成键原子通常写在中心原子之后(乙烷应写为 CH_3CH_3 而非 H_3CCH_3),如果分子中含有两个以上的结构单元,可用括号括住,并在括号右下角用数字表示单元数目,缩写式通常不表明非键电子。

骨架式(Skeletal Structure)也称线角式或键线式,是一种不表明碳和氢原子的简化结构式。两线相交处或线的开头和尾端代表一个碳原子,以及按照碳的四价计算应相连的氢原子数。碳架上的其他原子或官能团必须表示出来。

表 1-1-1 有机化合物的结构式

化合物	Kekulé 结构式	缩写式	骨架式
丁烷	$ \begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ 或 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_3$	
2-丁烯	$ \begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & & \text{H} & \text{H} \end{array} $	$\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$	
乙醚	$ \begin{array}{ccccccc} \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \text{H} & & \\ & & & & & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & & & & & \\ \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \text{H} & & \end{array} $	$(\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$ 或 $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	
异丙醇	$ \begin{array}{ccc} & \text{H} & \\ & & \\ \text{H} & \ddot{\text{O}} & \text{H} \\ & & \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} $	$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	

续表 1-1-1

化合物	Kekulé 结构式	缩写式	骨架式
2-环己烯酮			
2-甲基环己醇			
菸酸			

1.2 价键理论和分子轨道理论有何区别?

价键理论和分子轨道理论都是描述共价键形成的理论。

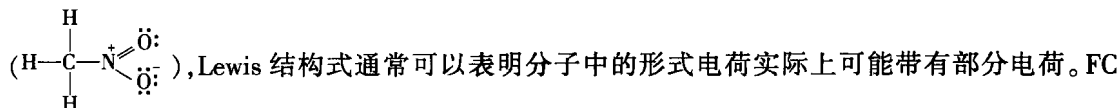
价键理论认为:共价键是各含一个电子的原子轨道相互交盖的结果。成键的电子必须自旋相反,且可以偶合起来,构成电子对,即形成共价键。两个原子之间可以各以一个、两个或三个电子相互偶合,分别形成单键、双键或叁键。一个原子的未偶合电子一经配对,则不能再与其他原子的未偶合的电子偶合,这就是共价键的饱和性。轨道交盖愈多,或者说电子云重叠程度愈大,形成的共价键愈强。因此成键要求尽可能多的轨道交盖,这就是共价键的方向性。根据价键理论,能量相近的原子轨道可以进行杂化,组成能量相同的杂化轨道,以增大成键能力,降低体系能量,形成最稳定的分子。

分子轨道(MO)是用来描述分子中电子的运动状态,特定大小,形状和能级的。分子轨道是由原子轨道(AO)线性组合形成的,轨道数目与形成的原子轨道相同。成键的分子轨道能级低于原子轨道,反键的分子轨道能级高于原子轨道,与原子轨道能量相同的称为非键轨道。成键轨道的电子云重心集中在成键原子核之间的区域内,受到更多的原子核吸引而对分子起到稳定作用;反键轨道的电子云在核—核之间有一个节面,波节面上的电子云密度为零,其能量高于原子轨道而不能形成稳定的分子。在基态时,分子中的电子总是先进入能量低的成键轨道,而且只有在激发态,才进入反键轨道。

价键理论更为直观,分子轨道理论数学计算较为复杂,在解释共轭分子形成时显得更为成功。

1.3 如何计算分子中原子的形式电荷(Formal Charges)?

与键的极性和偶极矩有关的一个概念是有时需要指出分子中某个原子的形式电荷(FC),特别是那些具有非正常价键数目的原子。例如在 CH_3NO_2 中,氮原子连有四个键,而正常的是三个,因而具有 FC,即具有单位形式正电荷,与氮相连的一个氧原子带有负电荷



有助于我们确定在极性分子中原子的电荷分布状况,因为整个分子是电中性的。

FC 的计算方法如下:

$$\text{FC} = \text{原子的价电子数} - \text{成键电子数的一半} - \text{非键电子数}$$

例如, CH_3NO_2 ($\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}:\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}:\overset{\cdot\cdot}{\text{N}}:\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}} \\ | \\ \text{H} \end{array}$) 中的氮:

N 的价电子数=5,成键电子数=8,非键电子数=0

$$\text{FC} = 5 - (8/2) - 0 = +1$$

对于 CH_3NO_2 中 N—O 中的氧:

O 的价电子数=6,成键电子数=2,非键电子数=6

$$\text{FC} = 6 - 2/2 - 6 = -1$$

常见的 FC 与成键情况可总结如表 1-1-2 所示:

表 1-1-2 原子形式电荷总结

原子	C			N			O		
结构	$\overset{+}{\text{C}}$	$\overset{\cdot\cdot}{\text{C}}$	$\overset{-}{\text{C}}$	$\overset{+}{\text{N}}$	$\overset{\cdot\cdot}{\text{N}}$	$\overset{-}{\text{N}}$	$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$	$\overset{-}{\text{O}}$	$\overset{\cdot\cdot}{\text{O}}$
成键电子数	3	4	3	4	3	2	3	2	1
孤对电子	0	0	1	0	2	2	1	2	3
FC	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1

1.4 如何理解碳原子的杂化轨道?

杂化轨道是碳原子成键的主要形式。一个碳原子与其他四个原子的共价键显然不是用碳原子的一个 $2s$ 和三个 $2p$ 轨道形成的,那样会导致生成三个有方向性的互为直角的键(三个 $2p$ 轨道)和另一个没有方向性的(球形的 $2s$ 轨道)键。事实上,甲烷为正四面体结构,四个 C—H 键是等同和对称的,相互成 $109^\circ 28'$ 的夹角,这一现象可以被解释为碳原子的 $2s$ 轨道和三个 $2p$ 轨道重新部署产生了四个新的相同的轨道,称为 sp^3 杂化原子轨道。而获得这些轨道的过程称为杂化,即混杂起来重新分配。需要指出的是,杂化只是处理问题的一种数学手段,并不是物理现实。