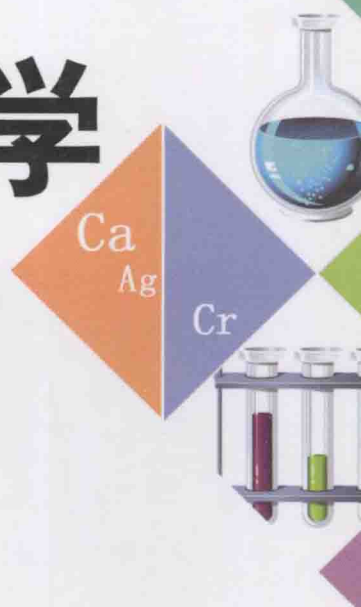




面向“十二五”高职高专规划教材

基础应用化学

黄志刚 主编



航空工业出版社

面向“十二五”高职高专规划教材

基础应用化学

主 编 黄志刚

副主编 张 凌 徐丹鸿

参 编 李大亮 孙 鑫 赵焕敏



航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书依据高职院校人才培养目标和专业需求,坚持“实用为主,够用为度,以应用为目的”的原则,将无机化学、分析化学、有机化学三门课程内容整合为一本教材。全书共 20 章,其中无机和分析化学部分主要介绍了物质结构、溶液和胶体、化学反应速率和化学平衡、分析化学基础知识、酸碱平衡与酸碱滴定法、沉淀溶解平衡与沉淀滴定法、氧化还原平衡与氧化还原滴定法、配位平衡与配位滴定法、分光光度法、电势分析法、重要元素及化合物等内容;有机化学部分主要介绍了各类有机化学物的结构、命名、性质及应用,如卤代烃、醇酚醚、醛酮醌、羧酸及其衍生物、有机含氮化合物、杂环化合物与生物高分子等。

本教材适用于食品、医药、生态、农林等高职高专院校相关专业,也可作为高职高专其他专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基础应用化学 / 黄志刚主编. — 北京: 航空工业出版社, 2010.9

ISBN 978-7-80243-602-2

I. ①基… II. ①黄… III. ①应用化学—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①069

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 162830 号

基础应用化学 Jichu Yingyong Huaxue

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010-64815615 010-64978486

北京忠信印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2010 年 9 月第 1 版

2010 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 24

字数: 599 千字

印数: 1—3000

定价: 42.00 元

出版说明

教材建设是高职院校内涵建设的重要内容，黑龙江生态工程职业学院组建之初，就十分重视这方面的工作。几年来，陆续出版了木材加工、多种经营、林产工业、森林养护和经济管理方面的多部教材。

由公共文化课和素质教育课组成的通识课程，不仅应服务于专业教学，更应服务于学生的后续发展。因此，按照高职教育的要求，着力改革使用量较大且使用频率较高的通识课教材，始终是学院教材建设的重点。

正是基于这样的想法，我们在采用校本教材进行通识课程教学的过程中，一直在根据教学实践对原教材的结构、内容、形式等进行持续修改，从而使其内容更加充实和完善。如今，我们在连续编写出版了园林类专业教材、计算机应用类系列教材后，对使用了几年的《生态伦理与节约型社会》、《应用数学》、《应用文写作与口语表达》、《实用英语教程》和《基础应用化学》校本教材进行了全面修订和完善，正式出版付印。

本次出版教材的特点：一是在确保内容实用、够用的基础上，去除了高、精、尖和抽象的理论，突出实用性，教材结构、教材内容与专业的结合更加紧密；二是充分考虑学生的实际学习能力，以发挥学生的表象思维能力为主，体现了以学生为本的思想；三是引入了生态文明的理念，助推学生对人与人、人与社会和人与自然之间关系的认识进程，促进学生情感、意志、人生观和价值观的正确形成，从而提高学生的道德素质；四是在注重学生专业能力培养的同时，更加注重学习方法、学习能力和社会能力的培养，体现了对学生职业素质形成和未来发展负责的态度。

本套教材可作为高职院校公共基础课教材和教学参考书。由于认知水平有限，不足之处难免，敬请批评指正。

高职高专公共基础课新课改教材编委会

主 任 张化疆

副主任 陈贵军 李永喜

编 委 刘永昌 殷敏红 黄志刚 卢 勇 刘崇华

新课改教材编委会



《基础应用化学》是高职高专教育相关专业的专业基础课。本教材按教育部制定的高职高专基础课程教学基本要求编写，并本着根据就业岗位群需要，突出职业能力的培养，突出应用性、实践性和针对性的原则组织和安排教材内容，力求反映高职教学内容体系的改革方向，贴近岗位、淡化学科，打破学科的“系统性”和“完整性”。

本教材在体系上依照职业教育的“工作过程导向”原则，以应用为目的，以“必须、够用”为度，以实践技能培养为中心，尽量体现新知识、新技术和新方法。在教学内容的组织和编写上，则根据职业岗位（群）的任职要求，参照相关的职业资格标准，剖析职业、岗位群对专业能力和技能的需求——关键能力、关键技能、围绕技能的关键基本理论，减少原理论证，力求让学生轻松学到对职业岗位有用的知识。

在具体内容的安排上，本教材具有两个特点：（1）综合了无机化学、分析化学和有机化学的基础知识、基本理论和基本技能，将无机化学与分析化学、有机化学整合成一门课程，内容紧凑、合理、连贯，并且深浅适宜，能够满足不同层次学生的需要；（2）紧密联系相关专业对化学知识的需求，增加了众多实例，并对这些实例进行了详尽分析，从而让教师教得轻松，学生学得愉快，并能将学到的知识直接应用到实践中去。

本教材适用于食品、医药、生态、农林等高职高专院校相关专业，也可作为高职高专其他专业的教学参考书。

本教材由黄志刚任主编，编写第2章、第4章、第5章和第7章；张凌任副主编，编写第1章、第11章、第13章和第15章；徐丹鸿任副主编，编写第3章、第6章、第16章和第19章；李大亮编写第8章、第12章、第14章和第17章；孙鑫编写第10章和第18章；赵焕敏编写第9章和第20章。

本教材在编写过程中得到院领导及教师的大力支持，在此表示衷心感谢；另外在编写过程中参考了相关教材和著作，在此也向相关作者表示感谢。

编者
2010年8月



目 录

第 1 章 物质结构	1
1.1 原子结构与元素周期系	1
1.1.1 原子核外电子运动状态	1
1.1.2 多电子原子轨道的能级	5
1.1.3 原子核外电子的排布	6
1.1.4 原子中电子层结构与元素周期表	8
1.2 化学键和分子结构	12
1.2.1 共价键理论	12
1.2.2 杂化轨道理论与分子几何构型	16
1.2.3 分子间力和氢键	17
本章小结	19
习题	20
第 2 章 溶液和胶体	23
2.1 分散系及其分类特性	23
2.2 溶液的浓度	24
2.2.1 溶液浓度的表示方法	24
2.2.2 溶液浓度的有关计算	26
2.3 稀溶液的依数性	27
2.3.1 溶液的蒸气压下降	27
2.3.2 溶液的沸点上升	28
2.3.3 溶液的凝固点下降	28
2.3.4 溶液的渗透压	29
2.4 稀溶液的依数性应用	31
2.4.1 溶液的沸点升高、凝固点下降的应用	31
2.4.2 渗透现象(渗透压)的应用	31
2.5 胶体	32
2.5.1 溶胶的基本性质	32
2.5.1 溶胶的结构	33
本章小结	35
习题	35
第 3 章 化学反应速率和化学平衡	38
3.1 化学反应速率	38
3.1.1 化学反应速率表示方法	38
3.1.2 反应速率理论简介	40



3.2 影响化学反应速率的因素	40
3.2.1 浓度对化学反应速率的影响	41
3.2.2 温度对反应速率的影响	42
3.2.3 催化剂对反应速率的影响	42
3.3 化学平衡	42
3.3.1 化学反应的可逆性和化学平衡	42
3.3.2 化学平衡常数	43
3.3.3 化学平衡的有关计算	46
3.3.4 化学平衡的移动	47
本章小结	49
习题	50
第4章 分析化学基础知识	53
4.1 误差和分析数据的处理	53
4.1.1 准确度与误差	53
4.1.2 精密度与偏差	55
4.1.3 准确度与精密度的关系	56
4.1.4 提高分析结果准确度的方法	56
4.2 有效数字及应用	57
4.2.1 有效数字	57
4.2.2 有效数字的运算规则	59
4.2.3 可疑值的取舍	59
4.3 滴定分析法	60
4.3.1 滴定分析法的相关概念	60
4.3.2 滴定分析对化学反应的要求	60
4.3.3 滴定分析法的特点及分类	61
4.3.4 滴定分析法的滴定方式	61
4.3.5 基准物质与标准溶液	62
4.3.6 滴定分析的误差要求	63
本章小结	64
习题	64
第5章 酸碱平衡与酸碱滴定法	66
5.1 酸碱的质子理论	66
5.1.1 酸碱的定义	66
5.1.2 酸碱反应的实质	67
5.1.3 酸碱强度	67
5.2 电解质溶液	68
5.2.1 强弱电解质溶液	68
5.2.2 弱电解质的离解平衡	68
5.2.3 同离子效应	70



5.2.4 水的离解和溶液的 pH 值	70
5.3 缓冲溶液	73
5.3.1 缓冲溶液的概念	73
5.3.2 缓冲溶液的 pH 值计算	74
5.3.3 缓冲溶液的缓冲能力和配制	76
5.4 酸碱指示剂	77
5.4.1 指示剂的变色原理及变色范围	77
5.4.2 影响指示剂变色的因素	78
5.5 酸碱滴定类型及指示剂的选择	78
5.5.1 强酸强碱间的滴定	78
5.5.2 强碱(酸)滴定弱酸(碱)	81
5.6 滴定方式与应用	83
5.6.1 酸碱标准溶液的配制与标定	83
5.6.2 应用实例	84
本章小结	85
习题	85
第 6 章 沉淀溶解平衡与沉淀滴定法	87
6.1 沉淀和溶解平衡	87
6.1.1 溶度积常数	87
6.1.2 溶度积与溶解度的关系	87
6.1.3 溶度积规则	88
6.2 沉淀滴定法	90
6.2.1 莫尔法(Mohr)	91
6.2.2 佛尔哈德法	91
6.2.3 法扬司(Fajans)法	92
6.3 沉淀滴定法的应用	93
本章小结	93
习题	94
第 7 章 氧化还原平衡与氧化还原滴定法	97
7.1 氧化还原反应的基本概念	97
7.1.1 氧化还原反应	97
7.1.2 原电池和电极电势	99
7.2 影响电极电势的因素	101
7.2.1 能斯特(Nernst)方程式	101
7.2.2 电极电位的应用	103
7.3 常见的氧化还原滴定法	104
7.3.1 指示剂	104
7.3.2 常见的氧化还原滴定法	105
7.4 氧化还原滴定法的应用	108



本章小结	109
习题	110
第 8 章 配位平衡与配位滴定法	112
8.1 配位化合物的基本概念	112
8.1.1 配位化合物的组成及命名	113
8.1.2 螯合物	116
8.2 配位离解平衡	120
8.2.1 配离子的稳定常数	120
8.2.2 配位平衡的移动	122
8.3 配位滴定法	126
8.3.1 配位滴定的基本原理	126
8.3.2 配位滴定方式和应用	130
本章小结	132
习题	133
第 9 章 分光光度法	135
9.1 分光光度法的基本原理	135
9.1.1 物质的颜色和对光的选择性吸收	135
9.1.2 光的吸收定律	136
9.1.3 吸收光谱	137
9.2 显色反应及测量条件的选择	138
9.2.1 显色反应和显色条件	138
9.2.2 测量条件的选择	138
9.3 分光光度法应用	139
9.3.1 单组分的定量分析	139
9.3.2 多组分的定量分析	140
本章小结	141
习题	141
第 10 章 电势分析法	143
10.1 电势分析法概述	143
10.1.1 参比电极	143
10.1.2 指示电极	144
10.2 电势分析法的应用	146
10.2.1 直接电势法	146
10.2.2 电势滴定法	148
本章小结	149
习题	149
第 11 章 元素及重要的化合物	151
11.1 S 区元素	151
11.1.1 S 区元素用途概述	151

11.1.2 S 区元素单质性质	152
11.1.3 S 区元素重要化合物	153
11.2 P 区元素	157
11.2.1 P 区元素概述	157
11.2.2 卤族元素	158
11.2.3 氧族元素	164
11.2.4 氮族元素	170
11.2.5 碳族和硼族化合物	175
11.3 ds 区和 d 区元素及重要的化合物	182
11.3.1 过渡元素通性	182
11.3.2 ds 区元素	182
11.3.3 d 区元素	185
本章小结	188
习题	189
第 12 章 烃	191
12.1 有机化合物概述	191
12.1.1 有机化合物与有机化学	191
12.1.2 有机化合物的结构	192
12.1.3 有机化合物的特点	193
12.1.4 有机化合物的分类	194
12.1.5 有机化学和医药、环境、农业等的关系	195
12.2 烷烃	196
12.2.1 烷烃的命名	197
12.2.2 烷烃的异构现象	199
12.2.3 烷烃的性质	201
12.2.4 重要的烷烃	205
12.3 烯烃	205
12.3.1 单烯烃的命名	206
12.3.2 烯烃的异构现象	206
12.3.3 单烯烃的性质	208
12.3.4 二烯烃	210
12.4 炔烃	211
12.4.1 炔烃的命名	212
12.4.2 炔烃的性质	212
12.5 环烃	215
12.5.1 脂环烃	215
12.5.2 芳香烃	217
本章小结	226
习题	226



第 13 章 对映异构	229
13.1 异构现象的分类	229
13.2 旋光性与比旋光度	230
13.2.1 偏振光与旋光物质	230
13.2.2 旋光仪、旋光度与比旋光度	231
13.3 手性分子与对映异构	232
13.3.1 旋光性与分子结构的关系	232
13.3.2 对映体与外消旋体	234
13.4 构型的表示方法	234
13.5 构型的标记方法	235
13.5.1 D/L 标记法	235
13.5.2 R/S 标记法	236
13.6 含两个手性碳原子化合物的对映异构	238
本章小结	239
习题	240
第 14 章 卤代烃	241
14.1 卤代烃的分类和命名	241
14.1.1 卤代烃的分类	241
14.1.2 卤代烃的命名	242
14.2 卤代烃的性质	242
14.2.1 卤代烃的物理性质	242
14.2.2 卤代烃的化学性质	243
14.3 重要的卤代烃及应用	247
本章小结	248
习题	248
第 15 章 醇、酚、醚	250
15.1 醇	250
15.1.1 醇的分类	250
15.1.2 醇的命名	251
15.1.3 醇的物理性质	252
15.1.4 醇的化学性质	253
15.1.5 重要的醇及应用	256
15.2 酚	257
15.2.1 酚的分类和命名	257
15.2.2 酚的物理性质	257
15.2.3 酚的化学性质	258
15.2.4 重要的酚及应用	261
15.3 醚	262
15.3.1 醚的结构和命名	262



15.3.2 醚的物理性质	263
15.3.3 醚的化学性质	263
15.3.4 重要的醚及应用	264
15.4 硫醇、硫酚和硫醚	265
本章小结	265
习题	266
第 16 章 醛、酮、醌	268
16.1 醛和酮	268
16.1.1 醛和酮的分类、命名	269
16.1.2 醛、酮的物理性质	271
16.1.3 醛和酮的化学性质	271
16.1.4 重要的醛和酮	277
16.2 醌	278
16.2.1 醌的结构和命名	278
16.2.2 醌的性质	278
本章小结	280
习题	280
第 17 章 羧酸及其衍生物	282
17.1 羧酸	282
17.1.1 羧酸的分类和命名	282
17.1.2 羧酸的性质	283
17.1.3 重要的羧酸	286
17.2 羧酸衍生物	287
17.2.1 羧酸衍生物的分类和命名	287
17.2.2 羧酸衍生物的性质	289
17.2.3 重要的羧酸衍生物	291
17.2.4 油脂	293
17.2.5 磷脂	295
17.3 取代羧酸	296
17.3.1 羟基酸	296
17.3.2 羧基酸	299
本章小结	302
习题	304
第 18 章 有机含氮化合物	306
18.1 硝基化合物	306
18.1.1 硝基化合物的分类和命名	306
18.1.2 硝基化合物的性质	306
18.2 胺	307
18.2.1 胺的分类和命名	307



18.2.2 胺的性质	308
18.2.3 季铵盐和季铵碱	311
18.2.4 重要的胺	312
18.3 重氮和偶氮化合物	313
18.3.1 重氮化合物	313
18.3.2 偶氮化合物	314
本章小结	314
习题	315
第 19 章 杂环化合物与生物碱	317
19.1 杂环化合物	317
19.1.1 杂环化合物的分类和命名	317
19.1.2 杂环化合物的性质	320
19.1.3 重要的杂环化合物及衍生物的应用	324
19.2 生物碱	327
19.2.1 生物碱概述	327
19.2.2 生物碱的一般性质	328
19.2.3 几种重要的生物碱	328
本章小结	330
习题	331
第 20 章 生物高分子	333
20.1 糖类	333
20.1.1 单糖	333
20.1.2 二糖	339
20.1.3 多糖	341
20.2 氨基酸和蛋白质	343
20.2.1 氨基酸	343
20.2.2 肽	346
20.2.3 蛋白质	346
20.2.4 酶	348
20.2.5 相关知识和应用	349
本章小结	350
习题	352
附录	354
附录 1 常用元素国际相对原子质量表	354
附录 2 难溶电解质的溶度积 (298.15K)	355
附录 3 标准电极电势表 (298.15)	358
附录 4 一些配离子的标准稳定常数 (298.15K)	366
附录 5 弱酸弱碱在水中的离解常数 (25℃)	367
附录 6 元素周期表	370

第 1 章 物质结构

【知识教学目标】

1. 了解微观粒子运动的特殊性，并初步了解关于电子运动状态的描述方法。
2. 掌握核外电子排布与元素周期律，能够熟练地书写原子的电子层结构，并能根据电子层结构特征判断元素在周期表中的位置。
3. 理解现代价键理论基本要点，共价键的形成本质及其基本特征，熟悉杂化轨道理论对分子空间构型的解释。
4. 掌握分子间作用力，以及范德华力和氢键对物质性质的影响。

【能力培养目标】

1. 能解释原子的电子层结构与元素周期表、元素性质间的关系。
2. 能应用杂化轨道理论解释某些分子的空间构型。
3. 能用分子间力和氢键等概念解释某些物质的性质。

不同的物质性质各不相同，这是由物质的结构所决定的。科学研究发现，大部分物质都是由极微小的粒子组成的，我们把其中保持物质化学性质的最小微粒叫做分子。分子由原子构成，原子是指化学反应的基本微粒，在化学反应中原子的数量和种类都不会发生变化。

原子学说最初由约翰·道尔顿（John·Dalton，1766~1844，英国化学家和物理学家）创立。1869年，阴极射线发现以后，科学家们又证实了电子的存在。原子能释放出带负电的电子，这就说明原子内部还有结构，即原子核，它能和电子所带的负电中和，使原子呈中性。那么，电子是以什么状态存在于原子内部的？带负电的电子和带正电的原子核是怎样相互作用的？分子内部的结构式什么样的？带着这些问题，让我们一起学习本章的内容。



道尔顿 1801 年提出道尔顿气体分压定律，1803 年发现了化合物的倍比定律，1804 年系统地提出了原子学说。道尔顿最先从事测定原子量的工作，提出了元素的原子量概念，并制成最早的原子量表。他被称为“近代化学之父”，是近代化学的奠基人。

1.1 原子结构与元素周期系

1.1.1 原子核外电子运动状态

1. 电子云的概念

化学反应是以原子反应为基础的，在化学反应中，通常原子核是不发生变化的，主要是

原子核外电子在运动。电子带负电荷，质量很小，仅为 $9.1095 \times 10^{-31} \text{kg}$ ，它在原子这样大小的空间（直径约为 10^{-10}m ）内运动，速度很快，接近光速。

电子的运动情形与质量大的宏观物体不同，它不是沿着一定的轨道绕核运转，而是在原子核周围空间的各区域里无序地运动着，犹如笼罩在核外周围的一层带电云雾，我们形象地称其为电子云。

另外，由于电子在原子核外不同区域出现的几率不同，我们通常用小黑点来表示核外电子在某处出现的几率大小。小黑点密，说明电子云密度值大，即电子在该处出现的几率大；小黑点疏，说明电子云密度值小，即电子在该处出现的几率小。

电子出现机会最大的区域，就是电子云密度最大的地方。把电子出现的几率相等的地方联接起来的线，称为等密度线，亦称电子云的界面，这个界面所包括的空间范围称为原子轨道。

2. 原子核外电子运动状态

1924 年，法国物理学家德布罗意根据光的波粒二象性（wave-particle duality，指某物质同时具备波及粒子的特质）规律提出了实物粒子如电子、原子等微粒也像光一样，也具有波粒二象性的假设，后来科学家证实了这一假设。由于微观粒子具有波粒二象性的特点，因此不能同时准确测定其位置和动量。要描述一个电子的运动状态，需要用到四个量子数（ n, l, m, m_s ）。

1. 主量子数 n

主量子数 n 描述的是原子中电子出现几率最大区域离核的远近，它是决定电子能量高低的主要因素。在多电子原子中，各个电子所具有的能量并不相同。能量较高的电子通常在离核较远的区域内运动；能量较低电子通常在离核较近的区域内运动。根据电子能量的高低和运动区域离核远近的不同，可以将核外电子分成不同的电子层，电子就在相应的电子层上运动。

主量子数 n 的取值为 1, 2, 3... 等正整数。离核最近的为第一层， $n=1$ ；第二层 $n=2$ ；第三层 $n=3$... 在光谱学上还使用大写字母来表示电子层数，对应如表 1-1 所示。

表 1-1 用大写字母来表示电子层数

主量子数	1	2	3	4	5	6	7
电子层符号	K	L	M	N	O	P	Q

电子云形状相同时，电子所处电子层数越大，说明电子离核越远，电子的能量也就越高。由于 n 只能取正整数，所以电子的能量是不连续的，或者说能量是量子化的。

2. 角量子数 l

角量子数 l 描述的是电子在原子核外出现的概率密度随空间角度的变化，它决定了原子轨道或电子云的形状。处在同一电子层的电子，其能量也不完全相同，通过角量子数我们可以确定某一电子所处的电子亚层及电子云的形状。换句话说，角量子数和主量子数一起决定了电子的能级。

l 只能取小于 n 的正整数，即 0, 1, 2, ..., $n-1$ 。每一个 l 的取值代表一个亚层，由内向外依次用 s, p, d, f 等表示，如表 1-2 所示。当 n 的取值相同时，不同亚层的电子能量按

s, p, d, f 的顺序逐渐增大。不同的电子亚层有不同的电子云形状: s 亚层电子云是以原子核为中心的球形, p 亚层的电子云是纺锤形 (或哑铃形), d 亚层的电子云是四瓣梅花形 (或十字花瓣形), f 亚层电子云形状比较复杂, 本书不做讨论。

表 1-2 n 、 l 与亚层符号对应情况

n	1	2	3	4
l	0	0, 1	0, 1, 2	0, 1, 2, 3
亚层符号	s	s, p	s, p, d	s, p, d, f

3. 磁量子数 m

磁量子数规定电子运动状态 (或电子云) 在空间的伸展方向。电子云在空间的每一个伸展方向称作一个轨道。同一电子亚层中磁量子数不同不影响电子的能量。

m 的数值受角量子数限制, 可取 0, ± 1 , ± 2 , $\cdots$, $\pm l$, 共 $2l+1$ 个值。也就是说, l 亚层共有 $2l+1$ 个原子轨道。例如: 第一电子层 $n=1$, l 的取值只能是 0, 即只有一个亚层 s 层, m 的取值也只能有一个数值 0, 即只有 1 个轨道。第三电子层 $n=3$, l 可以取 0、1、2 三个数值, 也就是说有三个电子亚层, 分别对应 s 亚层、p 亚层、d 亚层。 l 取 0 时 m 的取值也只能有一个数值 0, 说明电子云只有一个伸展方向, 即 s 亚层只有 1 个轨道; l 取 1 时 m 的取值可以是 0, +1, -1 三个数值, 说明电子云有三个伸展方向, 也就是对应了 3 个轨道, 即 p 亚层有 3 个轨道; l 取 2 时 m 的取值可以是 0, +1, -1, +2, -2 五个数值, 说明电子云有五个伸展方向, 也就是对应了 5 个轨道, 即 d 亚层有 5 个轨道, 最终第三电子层共有 $1+3+5=9$ 九个轨道。每个电子层可能有最多原子轨道数应为 n^2 。各电子层的原子轨道数如表 1-3 所示。

此外, 如果 n , l 相同, 则轨道具有的能量相同, 这样的轨道称为等价轨道或简并轨道。

表 1-3 各电子层的原子轨道数

电子层 n	电子亚层 l	亚层符号	磁量子数 m	轨道数
1	0	s	0	1
2	0	s	0	4
	1	p	0, +1, -1	
3	0	s	0	9
	1	p	0, +1, -1	
	2	d	0, +1, -1, +2, -2	
4	0	s	0	16
	1	p	0, +1, -1	
	2	d	0, +1, -1, +2, -2	
	3	f	0, +1, -1, +2, -2, +3, -3	

由以上 3 个量子数就可以确定一个原子轨道离核的远近、形状和在空间的伸展方向, 如氢原子的 1s、2p、3d 电子云分别如图 1-1、图 1-2 和图 1-3 所示。

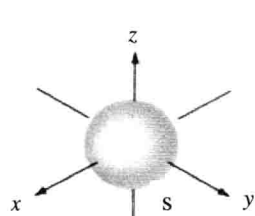


图 1-1 1s 电子云

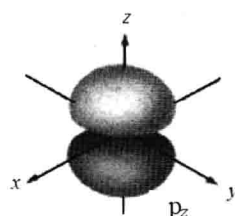
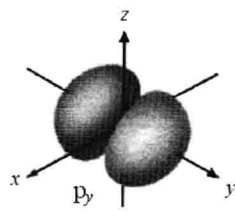
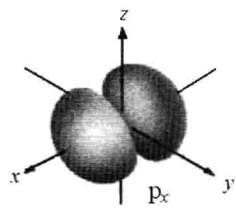


图 1-2 2p 电子云

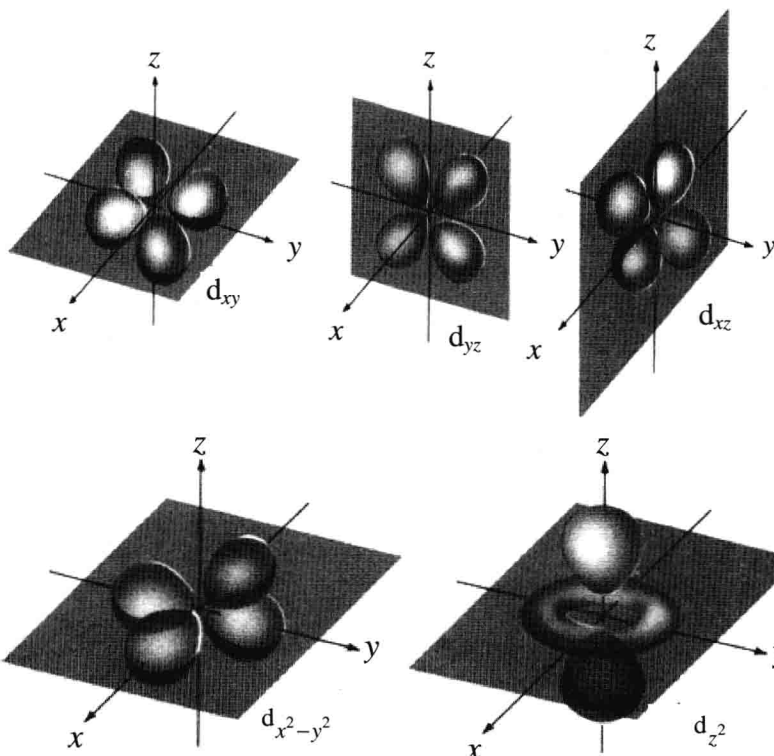


图 1-3 3d 电子云

4. 自旋量子数 m_s

用以上 3 个量子数就可以确定原子轨道的波函数表达式。但根据科学家的进一步研究表明, 电子除了做轨道运动外, 还做自旋运动, 因此, 还需要第 4 个量子数——自旋量子数 m_s , 来描述电子的自旋状态。

电子在核外的自旋运动有两个相反的方向, 因此自旋量子数只能取两个值, 即 $m_s = \pm 1/2$ 。通常用“↑”和“↓”来表示电子的两种自旋状态, 即顺时针自旋和逆时针自旋。每个轨道最多只能容纳 2 个电子且这 2 个电子的自旋方向是相反的。这是由于自旋方向相同的两个电子相互排斥, 不能在同一轨道内运动, 而自旋方向相反的两个电子相互吸引, 可以在同一个原子轨道内运动。

表 1-4 展示了电子运动的各量子数和原子轨道, 以及电子层可容纳的电子数。