



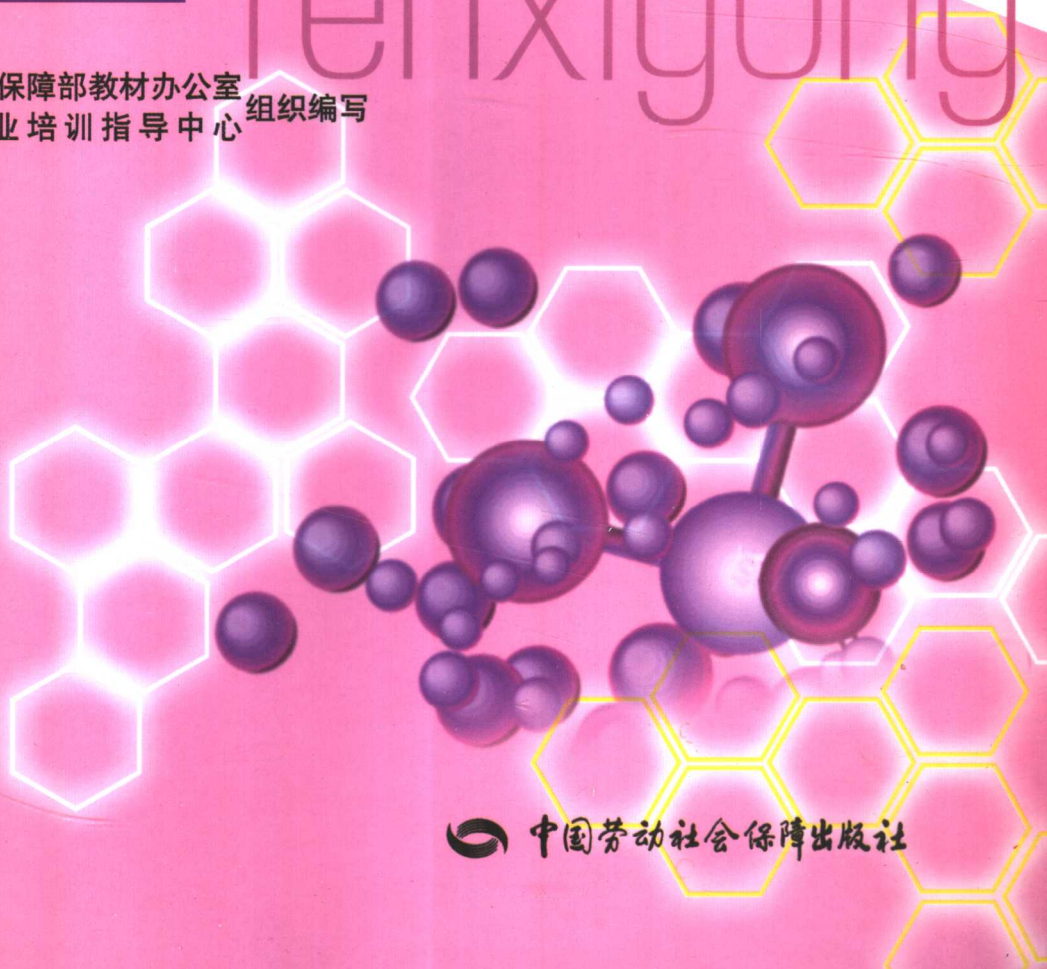
职业技术·职业资格培训教材

化学分析工

huaxue
fenxigong

【中级】

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业培训指导中心组织编写



 中国劳动社会保障出版社



职业技术·职业资格培训教材

化学分析工

huaxue
fenxigong

〔中级〕

主 编 张永清

编 者 张永清

黄 虹

主 审 盛晓东

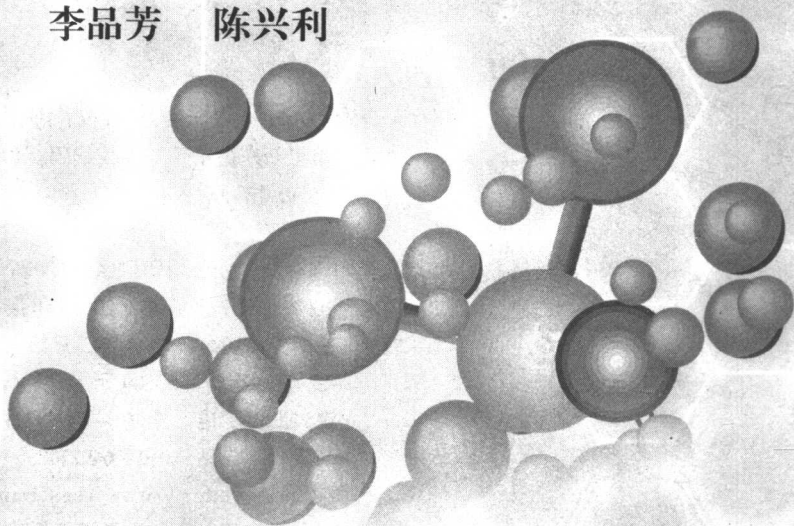
汪智先

翁宇静

范学超

李品芳

陈兴利



 中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

化学分析工：中级/张永清主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，2006

职业技术·职业资格培训教材

ISBN 7-5045-5404-9

I. 化… II. 张… III. 化学分析-技术培训-教材 IV. 065

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 157972 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出 版 人：张梦欣

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷、装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 450 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

定价：33.00 元

读者服务部电话：010-64929211

发行部电话：010-64927085

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64911344

元素周期表

族 周期	I A 1	II A 2	元素周期表										电子层										
1	1 H 1s ¹ 1.008	原子序数 90 Th 钍 6d³7s² 232.0 元素符号，红色表示 放射性元素 外层电子排布 非金属 金属												3 He 1s ² 4.003	K								
2	3 Li 2s ¹ 6.941	4 Be 2s ² 9.012	过渡元素										5 B 2s ² 2p ¹ 10.81	6 C 2s ² 2p ² 12.01	7 N 2s ² 2p ³ 14.01	8 O 2s ² 2p ⁴ 16.00	9 F 2s ² 2p ⁵ 19.00	10 Ne 2s ² 2p ⁶ 20.18	K L				
3	11 Na 3s ¹ 22.99	12 Mg 3s ² 24.31	相对原子质量，括号内的 数为放射性元素半衰期最 长的同位素的质量数										13 Al 3s ² 3p ¹ 26.98	14 Si 3s ² 3p ² 28.09	15 P 3s ² 3p ³ 30.97	16 S 3s ² 3p ⁴ 32.06	17 Cl 3s ² 3p ⁵ 35.45	18 Ar 3s ² 3p ⁶ 39.95	K L M				
4	19 K 4s ¹ 39.10	20 Ca 4s ² 40.08	VIII										21 Sc 3d ¹ 4s ² 44.96	22 Ti 3d ² 4s ² 47.87	23 V 3d ³ 4s ² 50.94	24 Cr 3d ⁵ 4s ¹ 52.00	25 Mn 3d ⁵ 4s ² 54.94	26 Fe 3d ⁶ 4s ² 55.85	27 Co 3d ⁷ 4s ² 58.93	28 Ni 3d ⁸ 4s ² 58.69	29 Cu 3d ¹⁰ 4s ¹ 63.55	30 Zn 3d ¹⁰ 4s ² 65.41	K L M N
5	37 Rb 5s ¹ 85.47	38 Sr 5s ² 87.62	VIII										39 Y 4d ¹ 5s ² 88.91	40 Zr 4d ² 5s ² 91.22	41 Nb 4d ⁴ 5s ¹ 92.91	42 Mo 4d ⁵ 5s ¹ 95.94	43 Tc 4d ⁵ 5s ² [98]	44 Ru 4d ⁷ 5s ¹ 101.1	45 Rh 4d ⁸ 5s ¹ 102.9	46 Pd 4d ¹⁰ 106.4	47 Ag 4d ¹⁰ 5s ¹ 107.9	48 Cd 4d ¹⁰ 5s ² 112.4	K L M N O
6	55 Cs 6s ¹ 132.9	56 Ba 6s ² 137.3	VIII										57-71 La-Lu 镧系	72 Hf 5d ² 6s ² 178.5	73 Ta 5d ³ 6s ² 180.9	74 W 5d ⁴ 6s ² 183.8	75 Re 5d ⁵ 6s ² 186.2	76 Os 5d ⁶ 6s ² 190.2	77 Ir 5d ⁷ 6s ² 192.2	78 Pt 5d ⁹ 6s ¹ 195.1	79 Au 5d ¹⁰ 6s ¹ 197.0	80 Hg 5d ¹⁰ 6s ² 200.6	K L M N O P
7	87 Fr 7s ¹ [223]	88 Ra 7s ² [226]	VIII										89-103 Ac-Lr 锕系	104 Rf 5f ¹⁴ 6d ² 7s ² [261]	105 Db 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ² [262]	106 Sg 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ² [266]	107 Bh 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ² [264]	108 Hs 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ² [277]	109 Mt 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ² [268]	110 Ds 5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ² [271]	111 Rg 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ² [272]	112 Uue 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ² [273]	K L M N O P Q

原子序数

元素符号，红色表示放射性元素

外层电子排布

相对原子质量，括号内的是放射性元素半衰期最长的同位素的质量数

过渡元素

金属

非金属

铜系	57 La 5d ¹ 6s ² 138.9	58 Ce 4f ¹ 5d ¹ 6s ² 140.1	59 Pr 4f ³ 6s ² 140.9	60 Nd 4f ⁴ 6s ² 144.2	61 Pm 4f ⁵ 6s ² [145]	62 Sm 4f ⁶ 6s ² 150.4	63 Eu 4f ⁷ 6s ² 152.0	64 Gd 4f ⁷ 5d ¹ 6s ² 157.3	65 Tb 4f ⁹ 6s ² 158.9	66 Dy 4f ¹⁰ 6s ² 162.5	67 Ho 4f ¹¹ 6s ² 164.9	68 Er 4f ¹² 6s ² 167.3	69 Tm 4f ¹³ 6s ² 168.9	70 Yb 4f ¹⁴ 6s ² 173.0	71 Lu 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² 175.0
镧系	89 Ac 6d ¹ 7s ² [227]	90 Th 6d ² 7s ² 232.0	91 Pa 5f ² 6d ¹ 7s ² 231.0	92 U 5f ³ 6d ¹ 7s ² 238.0	93 Np 5f ⁴ 6d ¹ 7s ² [237]	94 Pu 5f ⁶ 7s ² [244]	95 Am 5f ⁷ 7s ² [243]	96 Cm 5f ⁷ 6d ¹ 7s ² [247]	97 Bk 5f ⁹ 7s ² [247]	98 Cf 5f ¹⁰ 7s ² [251]	99 Es 5f ¹¹ 7s ² [252]	100 Fm 5f ¹² 7s ² [257]	101 Md * [258]	102 No * [259]	103 Lr * [262]

注：相对原子质量录自2001年国际原子量表，并全部取四位有效数字。

内 容 简 介

本教材由劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心依据上海 1+X 职业技能鉴定考核细目——化学分析工（国家职业资格四级）组织编写。本教材从强化培养操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握中级化学分析工的核心知识与技能有很好的帮助和指导作用。

本教材在编写中根据本职业的工作特点，以能力培养为根本出发点，采用模块化的编写方式。全书内容分为七个单元，主要包括：化学基础知识、物理常数的测定、滴定分析法、沉淀重量法、分光光度法、色谱分析法、电化学分析法等。每一单元着重介绍相关专业理论知识与专业操作技能，使理论与实践得到有机的结合。

为方便读者掌握所学知识 with 技能，每单元后附有单元测试题及答案，全书最后附有知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷，供巩固、检验学习效果时参考使用。

本教材可作为化学分析工（国家职业资格四级）职业技能培训与鉴定考核教材，也可供中高等职业院校相关专业师生，以及相关从业人员参加职业培训、岗位培训、就业培训使用。

前 言

职业资格证书制度的推行,对广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能,提高就业能力、工作能力和职业转换能力有着重要的作用和意义,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

随着我国科技进步、产业结构调整以及市场经济的不断发展,特别是加入世界贸易组织以后,各种新兴职业不断涌现,传统职业的知识和技术也愈来愈多地融进当代新知识、新技术、新工艺的内容。为适应新形势的发展,优化劳动力素质,上海市劳动和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面做了积极的探索和尝试,推出了1+X的鉴定考核细目和题库。1+X中的1代表国家职业标准和鉴定题库,X是为适应上海市经济发展的需要,对职业标准和题库进行的提升,包括增加了职业标准未覆盖的职业,也包括对传统职业的知识 and 技能要求的提高。

上海市职业标准的提升和1+X的鉴定模式,得到了国家劳动和社会保障部领导的肯定。为配合上海市开展的1+X鉴定考核与培训的需要,劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照1+X鉴定考核细目进行编写,教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的最新核心知识与技能,较好地体现了科学性、先进性与超前性。聘请编写1+X鉴定考核细目的专家,以及相关行业的专家参与教材的编审工作,保证了教材与鉴定考核细目和题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现我会做什么,而不只是我懂什么。每个模块单元所附单元测试

前 言

题和答案用于检验学习效果，教材后附本级别的知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷，使受培训者巩固提高所学知识与技能。

本教材结合上海市对职业标准的提升而开发，适用于上海市职业培训和职业资格鉴定考核，同时，也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作，由于时间紧迫，不足之处在所难免，欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业培训指导中心

目 录

第一单元 化学基础知识	(1)
第一节 无机化学基础知识	(1)
第二节 有机化学基础知识	(31)
第三节 分析数据的处理及其误差	(81)
第四节 政策法规	(91)
单元测试题	(95)
单元测试题答案	(99)
第二单元 物理常数的测定	(102)
第一节 熔点和凝固点的测定	(102)
第二节 沸点和沸程的测定	(108)
第三节 密度与相对密度的测定	(112)
第四节 折射率的测定	(116)
第五节 比旋光度的测定	(119)
第六节 黏度的测定	(123)
第七节 操作技能训练	(127)
单元测试题	(129)
单元测试题答案	(131)
第三单元 滴定分析法	(133)
第一节 酸碱滴定	(133)
第二节 氧化还原滴定法	(139)
第三节 配位滴定法	(154)
第四节 沉淀滴定法	(172)
第五节 操作技能训练	(176)
单元测试题	(183)
单元测试题答案	(185)
第四单元 沉淀重量法	(188)
第一节 概述	(188)
第二节 重量分析对沉淀的要求	(190)

目 录

第三节 影响沉淀的因素.....	(191)
第四节 沉淀的形成和沉淀的条件.....	(194)
第五节 沉淀剂.....	(195)
第六节 沉淀重量法的操作.....	(196)
第七节 操作技能训练.....	(200)
单元测试题.....	(202)
单元测试题答案.....	(204)
第五单元 分光光度法	(205)
第一节 可见—紫外分光光度法.....	(205)
第二节 原子吸收分光光度法.....	(213)
第三节 操作技能训练.....	(229)
单元测试题.....	(231)
单元测试题答案.....	(234)
第六单元 色谱分析法	(236)
第一节 气相色谱法.....	(236)
第二节 高效液相色谱法.....	(254)
第三节 操作技能训练.....	(265)
单元测试题.....	(268)
单元测试题答案.....	(271)
第七单元 电化学分析法	(272)
第一节 电化学分析法概述.....	(272)
第二节 电导分析法.....	(275)
第三节 电位滴定法.....	(286)
第四节 操作技能训练.....	(290)
单元测试题.....	(293)
单元测试题答案.....	(295)
知识考核模拟试卷 (一)	(297)
知识考核模拟试卷 (二)	(303)
知识考核模拟试卷 (一) 答案.....	(309)
知识考核模拟试卷 (二) 答案.....	(310)
技能考核模拟试卷 (一)	(311)
技能考核模拟试卷 (二)	(318)

第一单元 化学基础知识

第一节 无机化学基础知识

一、原子结构

1. 原子的组成

原子虽是化学变化中不可再分的微粒，但原子是由更小的微粒原子核和核外电子构成的。原子核位于原子的中心，它是由带正电荷的质子和不带电荷的中子组成。中子和质子的质量近似相等，都约等于一个原子量单位，绝对质量约为 1.7×10^{-24} g。原子核几乎集中了原子的全部质量。每个质子带一份正电荷，它的电量约为 1.6×10^{-19} C。核外电子围绕着原子核不断地运动，每个电子带一份负电荷。在原子中，核外电子数和原子核内的质子数相等，所以整个原子是呈电中性的。电子的质量约为质子或中子的 $1/1840$ ，可忽略不计。原子核虽几乎集中了原子的全部质量，但从体积上看，原子核只占整个原子体积的极小一部分。

2. 原子核外电子的运动

电子的运动极为复杂，它在一个极小的空间（一个原子内）做高速运动。这种运动和普通物体的运动不同，有它的特殊规律。

当一颗炮弹射出去或一颗人造卫星在天上运行时，都可以根据一定的数据计算出某一时刻它们所在的位置及运动的速度，并描绘出它们的运动轨迹。但核外电子的运动，有时离核近，有时离核远，不能确定它某一时刻所在的位置，也无法描绘出它运动的轨迹，只能指出它在原子核外空间某处出现的机会是多少。围绕着原子核做高速运动的电子，在核

外各处出现的几率看起来就好像一团云,故称为电子云。电子云在离核近的地方颜色深一些,表示电子出现的机会大一些;在离核远的地方颜色浅一些,表示电子出现的机会少一些。所以可以说电子云是对核外电子运动形象化的描述,如图 1—1 所示。另外,将电子云的形状称为电子运动的轨道。

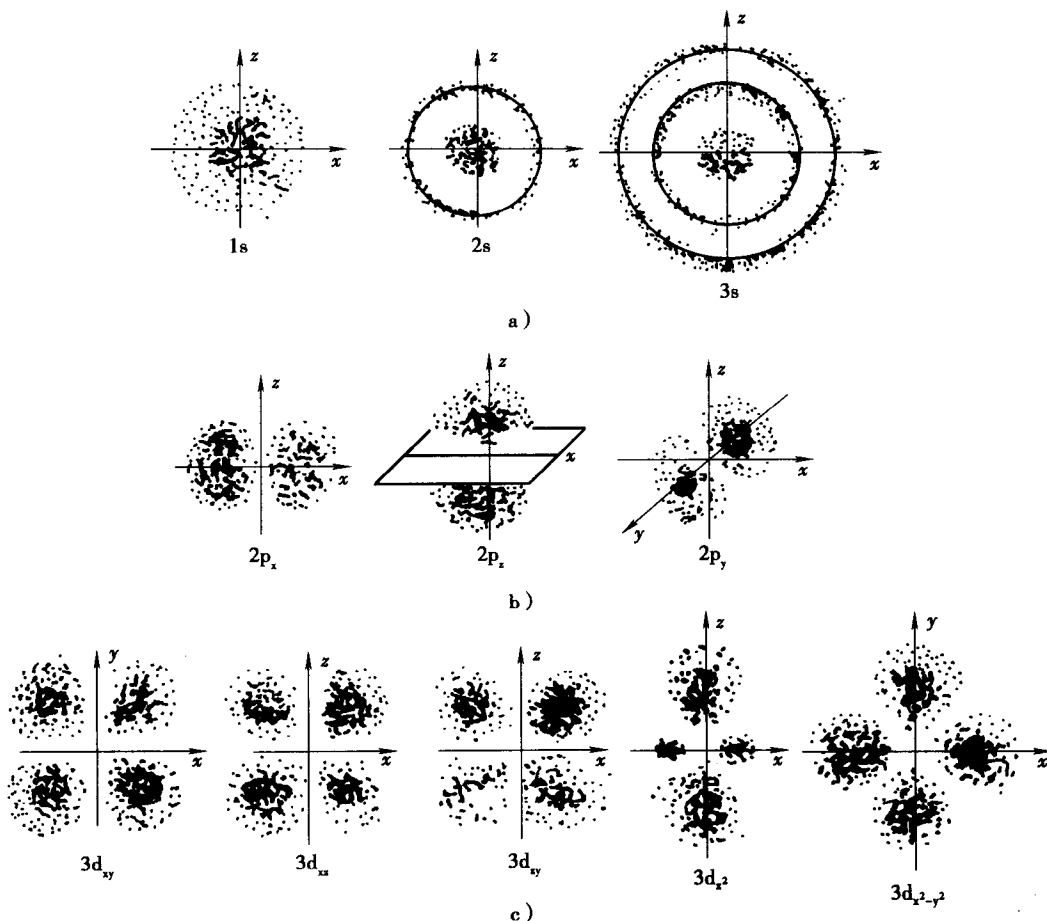


图 1—1 s, p, d 电子云空间分布示意图

a) s 电子云 b) p 电子云 c) d 电子云

二、原子核外电子

1. 电子在原子内的运动

据近代原子结构理论,核外电子的运动状态可以用 4 种量子数来描述。

(1) 主量子数 n 。 n 的物理意义是电子层,表示电子在哪一层原子轨道中运动,表示电子离核的距离,表示电子的能量高低。离核近,能量低;离核远,能量高。核外电子只能在一定的能量状态下,也就是一定的电子层中运动。 n 的取值范围为: $n=1, 2, 3, \dots$,

n 是正整数。 n 表示电子层的序数, $n=1$, 第一层; $n=2$, 第二层……依次类推, 也可用 K, L, M, N……来表示第一、第二、第三、第四……电子层。

(2) 角量子数 (副量子数) l 。 l 的物理意义是原子轨道的形状, 也就是电子云的形状, 也称为亚层。 l 的取值范围为 $0 \leq l < n$ 的整数。例如, $n=1$, $l=0$ 时, 第一电子层中只有一个亚层, 只有一种形状的轨迹; $n=2$, $l=0$ 和 1 时, 第二电子层中有两个亚层, 有两种形状的轨道。可以推出第 n 电子层中有 n 个亚层, 有 n 种形状的轨道。常将 $l=0$ 的轨道称为 s 轨道, $l=1$ 的轨道称为 p 轨道, $l=2$ 的轨道称为 d 轨道, $l=3$ 的轨道称为 f 轨道。s 轨道的形状是球形的; p 轨道的形状是哑铃形或双桃形的。注意: 原子轨道的形状都是立体的, 而 d 轨道、f 轨道的形状就很复杂了, 如图 1—2 所示。

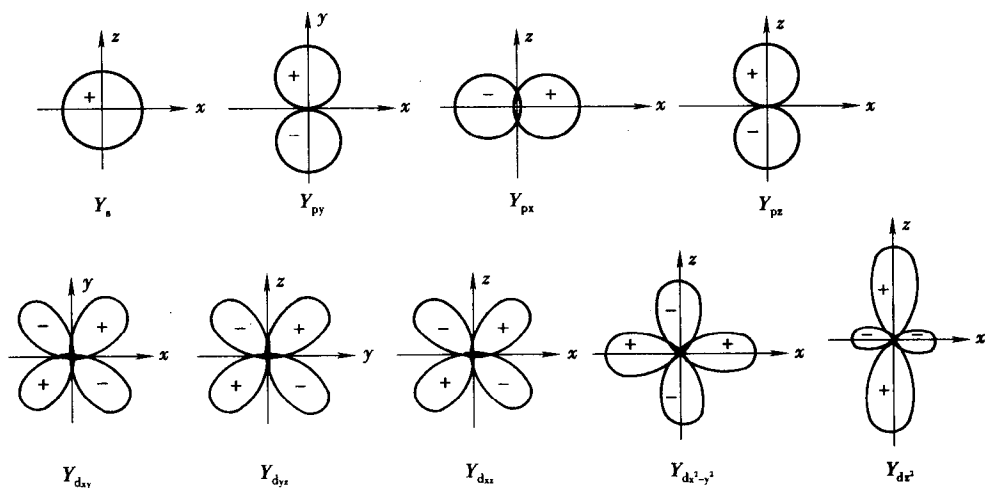


图 1—2 s, p, d 轨道角度分布图

电子在不同的亚层中运动, 对单电子原子, 只要电子层相同, 电子运动的能量就是相同的, 例如 ns , np , nd ……原子轨道的能量是相同的。但对多电子原子, 在不同亚层运动的电子能量会有所不同。因 s 电子离核近的机会较多, p 电子离核近的机会较少, 所以即使在同一电子层的 s 电子和 p 电子, p 电子会受到 s 电子的屏蔽, 受到核的引力较小, 因而能量较高。我国学者徐光宪提出了一个原子中外层电子能量高低的经验公式:

$$E = n + 0.7l$$

式中 E ——电子能量;

n ——电子层;

l ——电子亚层。

(3) 磁量子数 m 。 m 的物理意义是原子轨道在空间的伸展方向, m 的取值为: $|m| \leq l$ 。即 $l=0$, $m=0$; 如 $l=1$, $m=-1, 0, +1$, 可推出在一个亚层内轨道的伸展方向数为 $2l+1$, 即每个亚层中有 $2l+1$ 个轨道。如 $l=0$, s 轨道, $m=0$, 可推出 s 轨道只有一

个方向,即只有一个轨道; $l=1$,p轨道, $m=-1,0,+1$,表示p轨道有3种伸展方向,有3个相互垂直的轨道。依次类推,d轨道有5个伸展方向,f轨道有7个伸展方向。

当一个电子的 n, l, m 三个量子数决定后,一个电子的运动轨迹就确定了,并且根据 n, l, m 的取值规则,还可以推出第 n 层的电子有 n 个亚层,有 n^2 个轨道。见表1—1。

表 1—1 n, l, m 可能组合成的轨道

主量子数 n	轨道角动量量子数 l	磁量子数 m_l	轨道名称	n 相同的轨道总数 n^2
1	0	0	1s	1
2	0	0	2s	1
	1	-1, 0, +1	2p	3
3	0	0	3s	1
	1	-1, 0, +1	3p	3
	2	-2, -1, 0, +1, +2	3d	5
4	0	0	4s	1
	1	-1, 0, +1	4p	3
	2	-2, -1, 0, +1, +2	4d	5
	3	-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3	4f	7

(4) 自旋量子数 m_s 。 m_s 的物理意义是电子的自旋方向。电子自旋方向只有两个:顺时针方向和逆时针方向,分别用 $+\frac{1}{2}$ 和 $-\frac{1}{2}$ 来表示,即每个轨道里的电子有两种运动状态。所以第 n 层电子中,电子的运动状态有 $2n^2$ 个。

2. 原子核外电子的排布

(1) 基态原子核外电子排布的规律。基态原子就是能量处于最低状态的原子,它的核外电子的排布有3条规律。

1) 能量最低原理。即电子进入轨道时,最先进入能量最低的轨道,当能量低的轨道充满后,再依次进入能量较高的轨道。如图1—3所示为鲍林近似能级图。

2) 鲍林不相容原理。在一个轨道中不能容纳两个自旋方向相同的电子,即在一个轨道中只能容纳2个电子,所以第 n 层电子中能容纳的电子数最多有 $2n^2$ 个。

3) 洪特规则。从上述讨论可知,p轨道有3个能量相同的轨道,电子进入p轨道的方式是以自旋平行的方式分占不同的轨道。电子在轨道里分布的表示方法有电子排布式和轨道式两种。

① 电子排布式。先将原子轨道按能量高低写出,然后电子顺着轨道的能量高低依次进入轨道。例如,氧原子核外有8个电子,轨道的能量高低依次为1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 氧原子的8个电子进入轨道 $1s^2, 2s^2, 2p^4$,表示1s轨道2个电子,2s轨道2个电子,2p轨道4个电子。根据洪特规则2p轨道的4个电子可写成 $2p_x^2, 2p_y^1, 2p_z^1$ 。

② 轨道式。电子排布式不能很好地反映洪特规则,洪特规则要用轨道式表示,采用

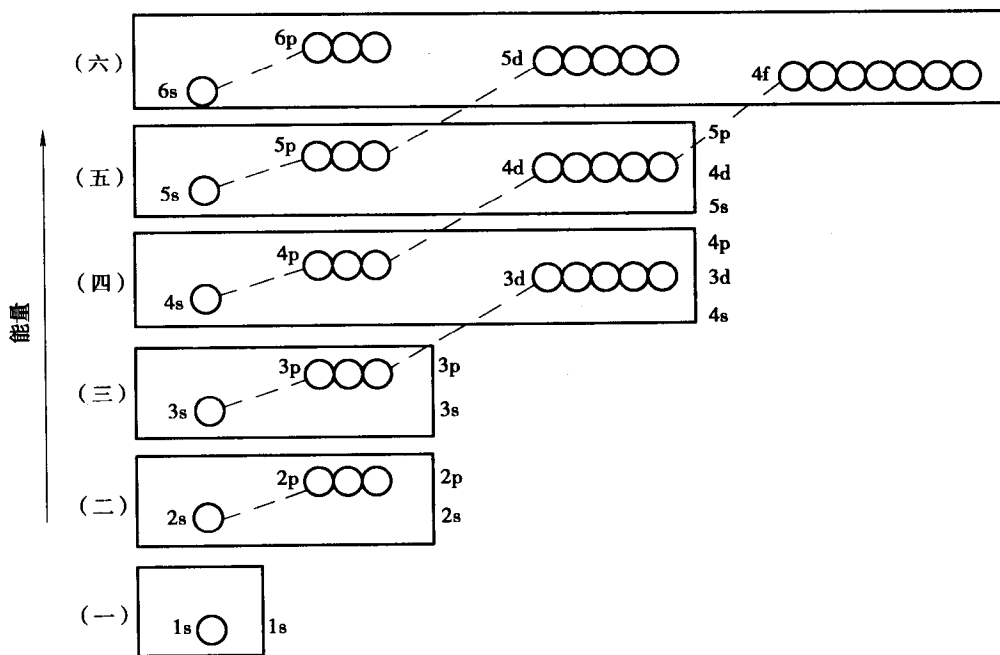


图 1—3 鲍林近似能级图

圆圈或小方格表示原子轨道。如： $\square \quad \square \quad \square \quad \square \quad \square$ ，如果 N 原子有 7 个核外电子，它们进入轨道的次序是 $\uparrow\downarrow \quad \uparrow\downarrow \quad \uparrow\uparrow\uparrow$ ，1s 轨道中 2 个电子，2s 轨道中 2 个电子，3 个 p 电子以自旋相同的状态分占 3 个能量相等的 3p 轨道，这就是洪特规则。

(2) 激发态。核外电子排布不符合能量最低原理。例如，氢原子的一个电子应处于 1s 轨道，如果电子处于 2s 轨道中运动，这种运动状态就称为激发态。基态原子受外界各种条件（如电火花）激发后电子会跃迁到激发态。如 $1s^2, 2s^1, 2p^3$ 这种电子排布形式是允许存在的，可称它为激发态，但这种状态是不稳定的，它放出能量（以光的方式）后电子跃迁回基态。

(3) 不可能的状态。核外电子运动状态不允许违反鲍林不相容原理，核外电子排布也不允许违反鲍林不相容原理，违反鲍林不相容原理的电子排布形式是错误的，它所代表的电子运动的状态是不存在的。

3. 原子结构与化学元素周期律

(1) 化学元素周期律。化学元素及其化合物的性质随原子序数（核电荷数）的增加而呈现周期性的变化，这就是化学元素的周期律。每个周期的元素从活泼金属逐渐变为活泼

的非金属, 然后经过稀有气体再返回到活泼的金属, 呈现周而复始的变化, 且每一族中随元素周期的增加, 元素的金属性逐渐增强, 非金属性逐渐减弱。

(2) 化学元素周期表。周期表(见封三)是周期律的表格形式。

1) 周期。周期表上有 7 个横行, 称为 7 个周期。第一行称为第一周期, 第二行称为第二周期, 依次类推。第一周期中只有 H, He 两种元素, 称为特短周期, 第二、三周期中各有 8 种元素, 称为短周期。第四、五周期中各有 18 种元素, 称为长周期。第六周期中有 32 种元素, 称为超长周期。第七周期称为未完成周期, 因为到现在为止, 人们发现的元素还未将第七周期填满, 所以称为未完成周期。

2) 族。周期表上有 18 个纵行, 纵行称为族。但 18 个纵行只有 16 个族, 把它们分为主族和副族。主族有 8 个, 从 I A~VII A, 再加上零族——稀有气体; 副族也有 8 个, 从 I B~VII B, 再加上 VIII 族。但每个周期的第 VIII 族有 3 种元素, 占据了 3 行, 所以 18 个纵行只有 16 个族。

在元素表的下方有两个横行, 每个横行有 15 种元素, 分别是镧系和锕系元素。这是因为第六、七周期太长, 有 32 种元素, 列表不方便, 并且这两行元素性质非常相似, 从结构和性质上看都应属于第三副族的元素, 故将这些元素在周期表下方另列 2 行。

(3) 周期表和原子结构。原子序数, 即原子核内的质子数或核电荷数。

元素的周期数, 该元素的原子核外有 n 层电子, 该元素就属于第 n 周期。而每个周期能容纳多少种元素与每个周期中元素的最高能级组中能相容的电子数相等。能级组, 即外层电子能量相近的原子轨道。即: $E = n + 0.7l$, 整数部分相同的轨道编为一个能级组。第一能级组中只有 1s 轨道, 只能容纳 2 个电子, 所以只有 2 种元素。第二能级组包括 2s, 2p 轨道, 4 个轨道容纳 8 个电子。第三能级组包括 3s, 3p 轨道, 所以有 8 种元素。其中 3d 轨道 $E = 3 + 0.7 \times 2 = 4.4$, 故应属第四能级组。第四能级组 E 的整数部分为 4, 包括 4s, 3d, 4p 9 个轨道, 能容纳 18 个电子, 所以有 18 种元素, 电子进入次序根据 $E = n + 0.7l$ 知: 4s 电子 $n=4, l=0, E=4$; 4p 电子 $n=4, l=1, E=4.7$ 。能量次序为 4s, 3d, 4p, 电子先进入 4s, 再进入 3d, 最后进入 4p。所以, 各周期中元素的数目等于新填充的相应能级组中各亚层所能容纳的电子总数见表 1—2。

表 1—2 各周期元素的数目与新填充亚层的关系

周期	能级组	新填充的亚层 (能级组)	元素数目
1	一	1s	2
2	二	2s, 2p	8
3	三	3s, 3p	8
4	四	4s, 3d, 4p	18
5	五	5s, 4d, 5p	18
6	六	6s, 4f, 5d, 6p	32
7	七	7s, 5f, 6d, 7p	32 (现发现 25, 未完)

族：主族，次外层没有未充满的电子层。最外层的 s 电子数和 p 电子数之和定义为该族的族数。但将最外层电子数为 8 个电子的称为零族（第一周期的元素除外），最高能级组中的电子称为价电子。副族较复杂，副族元素的价电子构型中，最外层无 p 电子，次外层有 d 电子。例如，Mn 的价电子构型为 $3d^5 4s^2$ ，Zn 的价电子构型为 $3d^{10} 4s^2$ 。

（4）周期表的分区。周期表上的元素按其价电子构型分区，共分为 4 个区。

1) s 区元素。价电子构型为 $ns^{1\sim 2}$ 、次外层无 d 电子的元素称为 s 区元素，为 I A 和 II A 族元素，都是活泼金属。

2) p 区元素。价电子构型为 $ns^2 np^{1\sim 6}$ 的元素称为 p 区元素，随着 p 电子的增多，由活泼金属逐渐过渡到活泼非金属。

3) d 区元素。价电子构型为 $(n-1)d^{1\sim 10} ns^{1\sim 2}$ 的元素称为 d 区元素，都是副族元素，副族元素都是金属元素，并且在同一周期中性质变化较慢，其中价电子构型为 $(n-1)d^{10} ns^{1\sim 2}$ 的元素称 ds 区元素，是周期表上的 I B ~ II B 族。

4) f 区元素。价电子构型为 $(n-2)f^{1\sim 14} (n-1)d^{0\sim 1} ns^2$ 的元素称 f 区元素，是周期表下方 2 个横行中的元素，称为镧系元素和锕系元素。镧系元素又称为稀土元素，性质极为相近，难以分离。锕系元素都是放射性元素，且其中多数元素在自然界中还没有发现，是人工元素。

4. 元素及其化合物性质的变化规律（主要讨论主族元素）

（1）元素的金属性和非金属性。金属性与非金属性主要表现在元素原子得失电子的能力与原子半径大小上。

1) 原子半径。同周期元素电子层数相同，从左到右随核电荷数的增加，核对外层电子的引力增大，原子半径变小，对同族的元素价电子数相同，周期表从上到下，元素原子的电子层数增多，半径增大。

2) 金属性和非金属性。半径大，核对外层电子的引力小，易失电子，金属性强；半径小，金属性弱。同一周期从左到右，金属性减小；同一族从上到下，金属性增强。

（2）元素的电负性。原子在分子中吸引电子的能力称为电负性。电负性越大，在分子中吸引电子的能力越大，越易得电子，非金属性强。元素氟的电负性最大，而非放射性元素中铯的电负性最小。

（3）元素的化合价。元素的原子参加化学反应时，通常通过得失电子或共用电子等方式，达到最外层电子数为 2 个、8 个或 18 个电子的较稳定结构。反应中参与化学键形成的电子称为价电子，而价电子的数目则决定于原子的外围电子构型（以 j 表示），则主族元素的最高正价与主族元素的族数相同，在周期表上从 I A 族的 +1 价到 VII A 族的 +7 价，然后经过稀有气体零价，再返回到 I A 族 +1 价。而 P 区元素最低氧化态为 $-(8-j)$ ，即获得 $(8-j)$ 个电子，使最外层达到 $ns^2 np^6$ 构型。

（4）最高价氧化物的水合物的酸碱性。同周期元素最高价氧化物的水合物从左到右碱性减弱，酸性增强；同族元素从上到下碱性增强，酸性减弱。例如：第三周期中 NaOH，

$\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, H_2SiO_3 , H_3PO_4 , H_2SO_4 , HClO_4 , 从左到右, 酸性增强; 以 II A 族为例, $\text{Be}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Sr}(\text{OH})_2$, $\text{Ba}(\text{OH})_2$, 碱性依次增强, $\text{Be}(\text{OH})_2$ 是两性氢氧化合物, $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 是强碱。

三、分子结构

在分子中, 原子之间强烈的相互吸引作用力被称为化学键。分子中的原子就是通过化学键结合在一起的。

1. 化学键的类型

化学键有金属键、离子键和共价键 3 类。

(1) 金属键。存在于金属或合金中, 通过自由电子在金属原子间产生的强烈吸引作用, 将金属原子结合在一起的力称为金属键。

(2) 离子键。存在于离子化合物中, 是依靠正、负离子间的静电作用将正、负离子结合在一起的力, 称为离子键。

1) 离子键的形成。任何元素的原子都有使其最外层电子达到像稀有气体那样的稳定结构(第一周期元素除外)的倾向, 称为八隅规则, 一般最外层电子少于 3 个的元素容易失去外层电子形成 8 电子稳定结构, 成为带正电荷的阳离子, 而最外层电子数大于 4 个的元素容易得电子, 形成 8 电子稳定结构, 成为带负电荷的阴离子, 而阴阳离子因静电引力形成离子键, 如: $\text{Na}-\text{e}=\text{Na}^+$, $\text{Cl}+\text{e}=\text{Cl}^-$, $\text{Na}^++\text{Cl}^-=\text{Na}^+\text{Cl}^-$ 。

2) 离子键的特征。第一个特征是无方向性, 因阴阳离子的相互吸引力是库仑引力, 一个正电荷可以与任何方向的负电荷相吸引, 所以离子键无方向性; 第二个特征是无饱和性, 即一个离子能和几个电性相反的离子相结合。原则上只要离子表面能容纳就可以, 所以称为无饱和性, 但并非一个离子可和无限多个带相反电荷的离子形成离子键, 因离子的大小是有限的, 容纳带相反电荷的离子数量也是有限的, 这种一个阳离子和几个阴离子结合, 及一个阴离子和几个阳离子结合的称为配位比, 例如 NaCl , 在一个 Na^+ 周围有 6 个 Cl^- , 而一个 Cl^- 周围也有 6 个 Na^+ , 所以 NaCl 晶体的配位比是 6:6。故在 NaCl 晶体中, Na^+ 和 Cl^- 总数比为 1:1, 它的化学式为 NaCl 。

3) 离子的结构特征

① 离子的电荷。离子具有的电荷数, 也是原子或原子团得到或失去电子的电荷数, 离子的带电量越大, 离子间的吸引力越大, 离子键越强。

② 离子半径。单个离子的半径很难确定, 但在离子晶体中, 在离子化合物、阴阳离子之间的距离是可以确定的, 这个距离 $=r_++r_-$, 即阳离子半径加阴离子半径, 所以离子半径是通过测定许多离子化合物的阴阳离子间距离最后确定下来。

③ 影响离子半径的因素

a. 当核外电子数相等时, 核电荷数越多, 离子半径越小, 对离子的吸引力越大。 S^{2-} , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} 原子核外都是 18 个电子, 而核电荷数分别为 +16, +17, +19, +20, 所以离子半径 S^{2-} 最大, Ca^{2+} 最小。