

内 容 简 介

本教材分为两部分。理论部分内容包括：无机化学基本知识、农业中常见离子的鉴定、定量分析概述、滴定分析法、吸光光度法及无机化学中常用的分离方法；实训部分包括无机与分析化学基本操作、常见离子的检验、无机物的提纯、分析天平的操作、定量化学分析、常用仪器的使用（酸度计、分光光度计）及综合实验共 22 个。

本教材将无机化学与分析化学的知识重新优化组合，强化实验技能训练。可供农业高等职业技术学院及中等农业学校高职班学员使用，也可供其他大、中专水平的学员参考使用。

21

世纪农业部高职高专规划教材

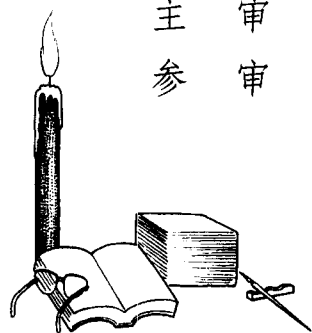
无机与分析化学

徐英岚 主编

农林类专业用

中国农业出版社

主	编	徐英岚		
参	编	王耀勇	夏	红
		张 龙	郭	峰
主	审	张坐省		
参	审	葛竹兴	董	宪武



出版说明

高 职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，近年来高职高专教育有很大的发展，为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类专门人才。当前，高职高专教育成为社会关注的热点，面临大好的发展机遇。同时，经济、科技和社会发展也对高职高专人才培养提出了许多新的、更高的要求。但是，通过对部分高等农业职业技术学院、中等农业学校高职班教学和教材使用等情况的了解，目前农业高职高专教育教材短缺，已严重影响了当前教学的开展和教育改革工作。针对上述情况，并根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》的精神，中国农业出版社受农业部委托，在广泛调查研究的基础上，组织有关专家在较短的时间内编写了第一批 21 世纪农业部高职高专规划教材。以后将根据各校有关专业的设置，陆续出版相关专业的教材。

此批教材的编写是按照教育部高职高专教材建设要求，紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才，即培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的，德、智、体、美全面发展的高等技术应用性专门人才。教材定位是：基础课程体现以应用为目的，以必须、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点；专业课加强针对性和实用性。相信

此批教材的出版将对培养高等技术应用性专门人才，提高劳动者素质，对建设社会主义精神文明，促进社会进步和经济发展起到重要的作用。

此批教材突出基础理论知识的应用和实践能力的培养，具有针对性和实用性。适用于全国农林各高等职业技术学院、农林大学成教学院、高等农林专科学院、农林中专学校的高职班师生和相关层次的培训及自学。

在此教材出版之际，对参与此批教材策划、主编、参编及审定工作的专家、老师以及支持教材编写的各高等职业技术学院、农业中专学校一并表示感谢！

中国农业出版社

2001年4月

编写说明

鉴于目前全国农林类高职院校缺乏适用的化学教材，中国农业出版社受农业部委托，组织和指导了这次高职化学教材的编写工作。

编写组在编写前，广泛征集和听取了全国各高职院校及有关学校的意见、建议，聘请了全国高职院校教学经验丰富的教师，制订了《无机与分析化学》教学大纲和编写提纲，编写出这本教材。

无机与分析化学课程是在原来无机化学和分析化学课程的基本理论、基本知识进行优化组合、有机结合而形成的一门课程。这门课程要求学生学习和掌握物质结构的基本理论、化学反应的基本原理及应用技能、元素及化合物的有关知识，并通过学习无机及分析化学的理论，培养解决一般无机与分析化学问题的能力。编写中，本着实用、够用的原则；强化了化学实验技能的训练，为学生学习后续的职业技术课程铺平道路，为学生毕业后，能适应更广泛的职业技术需要奠定坚实的基础。

《无机与分析化学》的基本教学时间为 72 学时，理论和实验技能比例为 4:6。在教学过程中，各校可根据情况灵活掌握。

本书的主编是徐英岚（第 1、第 3 章及实验一）；参编

有王耀勇（第2章及实验二至四、十五至十七、二十、二十一）；郭锋（第4章理论部分）；夏红（实验五至十四）；张龙（第5、第6章及实验十八、十九和二十二）。全书由徐英岚统稿，陕西杨凌职业技术学院张坐省主审，董宪武、葛竹兴参审。

在本书的编写过程中，得到了农业部、江苏省农业厅、陕西省农业厅、北京农业职业学院、陕西杨凌职业技术学院、江苏省畜牧兽医职业技术学院、苏州农业职业技术学院和河南农业学校等的大力支持，在此谨致谢意！希望有关专家、同行对本书提出意见及建议，以期进一步修改和完善。

农林类高职《无机与分析化学》编写组

目 录

出版说明
编写说明

第 1 章	无机化学基本知识	1
▶ 本章教学目标		1
第一节 原子结构 元素周期系		1
一、原子结构		1
二、元素周期系		5
第二节 化学平衡		8
一、化学反应速率		8
二、化学平衡		9
第三节 溶液		11
一、稀溶液的依数性		12
二、同离子效应		15
三、缓冲溶液		15
▶ 本章小结		18
▶ 习题		19
第 2 章	常见离子的检验	20
▶ 本章教学目标		20
第一节 常见阴离子的检验		20
一、常见阴离子的初步检验		20

* 为选读内容



二、常见阴离子的个别鉴定反应	22
第二节 常见阳离子的检验	24
一、常见阳离子的初步检验	24
二、常见阳离子的个别鉴定反应	24
* 第三节 常见阳离子的系统定性分析法	26
一、硫化氢系统分组方案	26
二、两酸两碱系统分组方案	29
▶ 本章小结	32
▶ 习题	32

第3章 定量分析概述

▶ 本章教学目标	34
第一节 定量分析的任务和方法	34
一、定量分析的任务与作用	34
二、定量分析的分类	35
三、定量分析的程序	35
第二节 误差与分析数据的处理	36
一、定量分析的误差及减免方法	36
二、误差的表示方法	37
三、分析数据的处理	38
▶ 本章小结	39
▶ 习题	40

第4章 滴定分析法

▶ 本章教学目标	41
第一节 滴定分析法概述	41
一、滴定分析的反应条件及滴定方式	42
二、标准溶液	43
第二节 酸碱滴定法	44
一、酸碱质子理论	44
二、酸碱平衡	46
三、酸碱指示剂	48
四、指示剂的选择	49
五、酸碱滴定法的应用	52
第三节 氧化还原滴定法	54
一、氧化还原滴定法的分类	54



二、氧化还原滴定反应的指示剂	56
三、氧化还原滴定法的应用	57
第四节 沉淀滴定法	58
一、莫尔法	59
二、佛尔哈德法	60
三、法扬司法	61
第五节 配位滴定法	61
一、配位化合物	61
二、配位滴定法	63
三、配位滴定法的应用	66
▶ 本章小结	66
▶ 习题	68

第5章 吸光光度法

▶ 本章教学目标	71
第一节 吸光光度法的基本原理	71
一、光知识基础	71
二、光吸收曲线	72
三、光吸收定律——朗伯-比耳定律	73
第二节 比色法与分光光度法	73
一、目视比色法	73
二、光电比色法	74
三、分光光度法	74
四、分光光度计	75
第三节 显色反应和显色剂	76
一、显色反应	76
二、显色剂	76
三、吸光光度法的应用	77
▶ 本章小结	78
▶ 习题	79

第6章 无机及分析化学中常用的分离方法

▶ 本章教学目标	81
第一节 沉淀分离法	81
一、无机沉淀剂	82
二、有机沉淀剂	82

* 第二节 萃取分离法	82
一、萃取的基本原理	83
二、萃取条件	83
三、萃取操作方法	83
第三节 层析分离法	83
一、柱层析	84
二、纸层析	84
三、薄层层析	84
第四节 离子交换分离法	85
一、离子交换树脂	85
二、离子交换法的操作方法	86
三、离子交换法的应用	86
* 第五节 挥发和蒸馏分离法	87
* 第六节 一般无机化合物试样的制备	87
第七节 一般物质的分析步骤	88
一、初步观察及溶样	88
二、阳离子的分析	89
三、阴离子的分析	89
四、分析结果的判断	89
▶ 本章小结	89
▶ 习题	90
 实验部分	 91
实验一 无机及分析化学实验基本操作	91
实验二 常见阴离子的个别鉴定	95
实验三 粗食盐的提纯	97
实验四 常见阳离子的个别鉴定	99
实验五 分析天平的构造与使用	101
实验六 试样的称量	108
实验七 酸度计的使用	110
实验八 滴定仪器的使用	115
实验九 盐酸标准溶液的标定	124
实验十 氢氧化钠标准溶液的标定	125
实验十一 铵盐中氮含量的测定	126
* 实验十二 果蔬中总酸度的测定	127
实验十三 重铬酸钾法测定亚铁离子	129
实验十四 高锰酸钾标准溶液的标定	131



实验十五	罐头食品中食盐(氯化钠)的测定	133
实验十六	EDTA 标准溶液的配制与标定	134
实验十七	水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量及水总硬度的测定	135
实验十八	磷的定量测定	137
* 实验十九	邻二氮菲光度法测定铁	139
实验二十	污水化学耗氧量的测定	141
实验二十一	钙片中钙含量的测定	142
* 实验二十二	二价镍、二价钴、三价铁离子交换层析 分离测定	144

附 录		145
------------	--	-----

附录一	弱酸和弱碱的电离常数表	145
附录二	常用的酸溶液和碱溶液的相对密度和浓度表	147
附录三	我国化学药品等级的划分	148
附录四	常用缓冲溶液的配制方法	148
附录五	某些试剂溶液的配制	149
附录六	元素周期表	151

参考书目		152
-------------	--	-----

第 1 章 无机化学基本知识

► 本章教学目标

- 知识：1. 了解原子核外电子的运动状态及排布规律，进一步理解元素周期律与原子结构的关系。
- 2. 认识化学反应速率和化学平衡的概念，理解影响化学反应速率和化学平衡的因素。
- 3. 了解分散系的知识，联系农业实际理解稀溶液的依数性及缓冲溶液的缓冲作用原理。
- 技能：掌握无机与分析化学实验的基本操作。

化学是自然科学中的一门重要学科，是在分子、原子或离子等水平上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的一门科学。

无机化学是化学科学最早发展起来的一门分支学科。它的研究对象是元素及其化合物。19 世纪 60 年代，元素周期律的发现为现代无机化学的形成和发展奠定了基础。20 世纪 40 年代以来，随着原子能工业、半导体材料工业的崛起，无机化学又取得了新的进展。本章，我们将学习和了解一些无机化学的基本知识。

第一节	原子结构 元素周期系
-----	------------

一、原子结构

原子是由一个中心带正电荷的原子核以及一群环绕在核周围的带负电荷的电子组成。原子核非常之小，直径在 10^{-5}nm 左右，但却几乎占有原子的全部质量。原子核又是由质子和中子组成的。在

通常情况下，原子核并不参与物质的化学变化，在化学变化中实际上只是核外电子的运动状态发生了改变，所以，研究核外电子运动的规律就成为化学中的重要问题。

我们把质量和体积都很小的电子、质子、中子、原子等组成物质的结构微粒，称之为微观粒子；而汽车、火车、轮船、飞机、人造卫星及日常生活中的一些物体，其质量和体积都比较大，运动速度比光速小得多，我们称之为宏观物体。微观粒子及其运动与宏观物体及其运动在本质上有很大的差别。

(一) 核外电子运动状态

电子是带负电荷的质量 ($9.1095 \times 10^{-31} \text{kg}$) 很小的微粒，它在原子的空间（直径大约 10^{-10}m ）内运动，速度很快（约为 10^6m/s ），接近光速 ($3 \times 10^8 \text{m/s}$)。电子的运动和宏观物体的运动不同，没有确定的轨道，不能用经典力学来描述。但我们可以用统计的方法，即对一个电子多次的行为或对许多电子的一次行为进行总的研究，统计出电子在核外空间某区域出现机会的多少，这个机会数学上称为几率。

1. 电子云 为了形象化地表示核外电子运动的几率密度^①，习惯上用小黑点分布的疏密来表示电子出现的几率密度的相对大小。小黑点较密的地方，表示几率密度较大，单位体积内电子出现的机会多。用这种方法来描述电子在核外出现的几率密度分布所得的空间图像称为电子云。图 1-1 是通常状况下氢原子的电子云示意图。

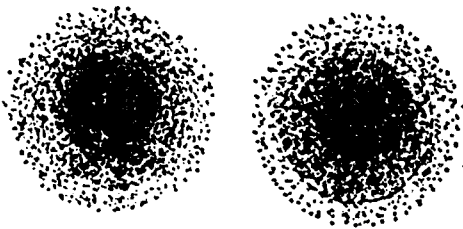


图 1-1 氢原子电子云图

从图 1-1 中可以看出，在氢原子中，电子的几率密度随离核距离的增大而减小，也就是电子在单位体积出现的概率以接近原子核处为最大。电子云是没有确切边界的，在离核较远的地方，电子仍有出现的可能。

2. 核外电子运动状态 电子在原子中不仅围绕原子核运动，而且还有自旋运动。电子的运动状态，需要从四个方面来描述^②，即：电子层，电子亚层和电子云的形状，电子云的伸展方向，电子的自旋。这样才能比较全面地反映电子在核外空间的运动情形。

(1) 电子层（主量子数 n ）。在含有多个电子的原子中，电子的能量高低不同，能量低的，通常在离核较近的区域运动（处于较低的能级）；能量高的，通常在离核较远的区域运动（处于较高的能级）。根据电子的能量差异和通常运动区域离核的远近不同，将核外电子分成不同的电子层，并按照它们的能量由低到高（即由里向外）的顺序，把电子层的序数 n 依次用 1、2、3、…等数字表示。相应地也可用 K、L、M、N、O、P 等符号表示。主量子数 n 是决定原子中电子能量的主要因素， n 值越大，电子能量越高。

主量子数 (n)	1	2	3	4	5	6	…
电子层	K	L	M	N	O	P	…

① 电子运动的几率密度也叫“电子云密度”，是指电子在原子核外空间某处单位体积内呈现的几率。

② 电子层、电子亚层、电子云伸展方向和电子的自旋分别称为主量子数 n 、角量子数 l 、磁量子数 m 和自旋量子数 m_s 。四个量子数可以说明电子在原子中的运动状态。



(2) 电子亚层和电子云的形状 (角量子数 l)。科学研究发现, 电子在同一电子层中运动, 电子云的形状也不相同, 能量也稍有差别。根据这个差别, 又可以把一个电子层分成一个或几个亚层, 即 $l=0、1、2、3、\cdots、(n-1)$, 可分别用 $s、p、d、f$ 等符号表示。K 层只有一个亚层, 即 s 亚层; L 层有两个亚层, 即 s 亚层和 p 亚层; M 层有三个亚层, 即 $s、p、d$ 亚层; N 层有四个亚层, 即 $s、p、d、f$ 亚层。不同亚层的电子云形状不同, s 亚层的电子云呈球形对称, p 亚层的电子云呈哑铃形, d 亚层的电子云呈花瓣形, f 亚层的电子云形状比较复杂, 这里不介绍。

角量子数 (l) 0 1 2 3 4 5 $\cdots$

亚层符号 s p d f g h $\cdots$

为了清楚地表示出某个电子处于核外哪个电子层和亚层, 可将电子层的序数 n 标在亚层符号的前面。如处于 K 层的 s 亚层的电子标为 $1s$; 处于 L 层的 $s、p$ 亚层的电子标为 $2s$ 和 $2p$; 处于 M 层的 d 亚层的电子标为 $3d$; 处于 N 层的 f 亚层的电子标为 $4f$ 。

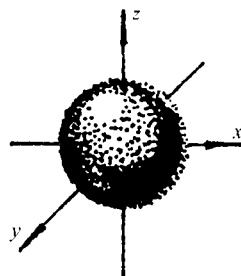


图 1-2 氢原子的 $1s$ 电子云

(3) 电子云的伸展方向 (磁量子数 m)。电子云不仅有确定的形状, 还有一定的伸展方向。 l 确定后, m 可有 $2l+1$ 个。 s 电子云是球形对称的, 在空间各个方向上伸展的程度相同, 如图 1-2 所示。 $2p$ 电子云在空间有三种互相垂直的伸展方向, 如图 1-3 所示。 d 电子云有五种伸展方向, f 电子云有七种伸展方向。

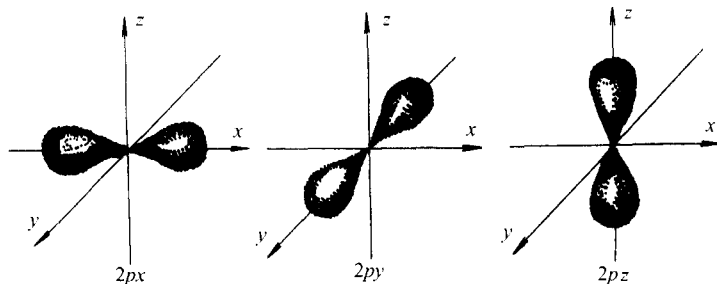


图 1-3 $2p$ 电子云的三种伸展方向

在一定的电子层上, 具有一定的形状和伸展方向的电子云所占据的空间称为一个轨道。 $s、p、d、f$ 四个亚层就分别有 1、3、5、7 个轨道。这样, 各电子层可能有的轨道数如下:

电子层 (n)	亚层 (l)	轨道数
$n=1$	s	$1=1^2$
$n=2$	$s、p$	$1+3=4=2^2$
$n=3$	$s、p、d$	$1+3+5=9=3^2$
$n=4$	$s、p、d、f$	$1+3+5+7=16=4^2$
n		n^2

即每个电子层可能有的最多轨道数为 n^2 。

(4) 电子的自旋 (自旋量子数 m_s)。原子中电子不仅绕核旋转,同时还作自旋运动。自旋运动有两个相反的方向,我们分别用向上箭头 $\uparrow$ 和向下箭头 $\downarrow$ 来表示不同的自旋状态。“ $\uparrow\downarrow$ ”则表示自旋方向相反的两个电子。

综上所述,电子在原子核外的运动状态是相当复杂的,必须由它所处的电子层、电子亚层、电子云的空间伸展方向和电子自旋状态四个方面 (四个量子数) 来决定。四个量子数是相互联系、相互制约的。因此,当我们要说明一个电子的运动状态时,也必须同时从这四个方面一一指明。

(二) 核外电子排布

了解了核外电子的运动状态后,我们要讨论核外电子的排布情况。对于氢以外的其他元素的原子,核外不止一个电子,这些原子统称为多电子原子。根据原子光谱实验和量子力学理论,原子核外电子排布遵循以下原则:

1. **保里^①不相容原理** 原子核外电子的运动状态是由它所处的电子层、电子亚层、电子云的伸展方向以及电子的自旋状态这四个方面来决定的。科学实验证明,在同一个原子中,没有这四个方面完全相同的两个电子存在。也就是说,在同一个原子中,不可能有运动状态完全相同的两个电子。这个结论称为保里不相容原理。根据这一原理,可以推算出每个电子层最多容纳的电子总数是 $2n^2$ 个。

2. **能量最低原理** 在核外电子的排布中,通常状况下,电子总是尽先占有能级最低的轨道,使原子处于能量最低的状态;只有当这些轨道占满后,电子才依次进入能级较高的轨道,这个规律称为能量最低原理。

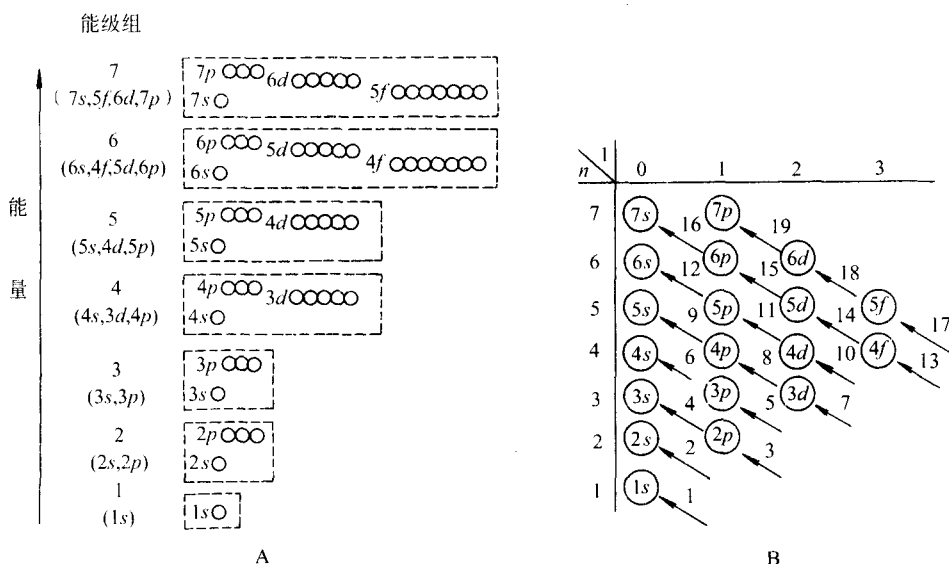


图 1-4 多电子原子的近似能级图 (A) 和电子填充顺序 (B)

① 保里 (W. Pauli, 1900—1958), 奥地利物理学家。



所谓能级,就是把原子中不同的电子层和亚层按能量高低排列成序,像台阶一样,如 $1s$ 能级、 $2s$ 能级、 $2p$ 能级,等等。图 1-4 为多电子原子的近似能级图和电子填充顺序。图中圆圈代表原子轨道,其位置的高低表示了各轨道能级的相对高低。此图也称为鲍林^①近似能级图,它反映了核外电子填充的一般顺序。

根据原子中各轨道能量大小相近的情况,把原子轨道划分为七个能级组(图中用虚线方框表示)。不难看出,相邻两个能级组之间的能量差比较大,而同一能级组中各轨道的能量差较小或很接近。

3. 洪特^②规则 洪特从大量的光谱实验中发现,电子在能量相同的轨道上分布时,总是尽可能以自旋相同的方向分占不同的轨道。这样的排布方式,原子的能量较低,体系较稳定,这就是洪特规则。

例如,碳元素、氮元素原子的电子层排布可表示为: $1s^2 2s^2 2p^2$ 和 $1s^2 2s^2 2p^3$, 此式称为电子排布式。

洪特规则的特例是等价轨道(同一亚层中的轨道)上的电子排布在半充满、全充满、全空的状态是比较稳定的。

半充满: p^3 或 d^5 或 f^7 ;

全充满: p^6 或 d^{10} 或 f^{14} ;

全 空: p^0 或 d^0 或 f^0 。

二、元素周期系

元素周期律是门捷列夫 1869 年首先提出的,当时电子尚未被发现。现在,我们对原子电子层结构的研究,才揭示了周期律的本质。元素性质的周期性来源于原子电子层结构随原子序数递增而呈现的周期性,元素周期律正是原子内部结构周期性变化的反映,元素在周期表中的位置和它们的电子层结构有直接关系。

1. 元素周期系

(1) 周期与能级组。原子具有的电子层数与该元素所在的周期序数相对应。每一个能级组就对应于一个周期,元素周期表中的七个周期与七个能级组的划分是一致的。周期划分的本质是原子轨道能量关系的体现。由于有能级交错,也就有长短周期之分。

(2) 族。元素原子的价电子层结构决定该元素在周期表中所处的族的序数。原子的价电子是原子参加化学反应时能够用于成键的电子。主族元素的价电子数等于最外层 s 和 p 电子的总数。副族元素的情况比较复杂,它们的价电子有时与次外层或倒数第三层的电子有关。

(3) 区。根据电子排布的情况及元素原子的外层电子构型,可以把周期表中的元素所在的位置划分为 s 、 p 、 d 、 ds 和 f 五个区,如图 1-5 所示。

2. 元素基本性质的周期性变化规律

(1) 原子半径。原子核周围是电子云,它们没有确切的边界。我们通常所说的原子半

① 鲍林 (L. Pauling, 1901—1990), 美国化学家。

② 洪特 (F. Hund, 1896—?), 德国物理学家。