



高职高专“十一五”规划教材

医药卫生类
专业适用



Inorganic
Chemistry

无机化学

郭小仪 郭幼红 主编

黄晓英 副主编



化学工业出版社



高职高专“十一五”规划教材

医药卫生类
专业适用



Inorganic
Chemistry

无机化学

郭小仪 郭幼红 主编

黄晓英 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

无机化学、有机化学和分析化学是医学检验、药学和医学营养等专业的基础课,其中无机化学又是学习有机化学和分析化学的基础。本教材依据高职高专医药卫生类专业的现状以及后续专业课程对无机化学课程的需求进行编写。降低了无机化学理论的难度,减少了元素化学的内容,主要介绍物质结构、溶液和胶体溶液、化学平衡、氧化还原、电解质溶液、缓冲溶液和配位化合物等内容,教材后面附有溶液的配制、电解质溶液和缓冲溶液等实验内容。

本教材适用于高中后三年制高职高专医学检验、药学和医学营养等专业学生使用,初中后五年制高职相关专业学生也可选用。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/郭小仪,郭幼红主编. —北京:化学工业出版社, 2010.7

高职高专“十一五”规划教材. 医药卫生类专业适用
ISBN 978-7-122-08750-8

I. 无… II. ①郭… ②郭… III. 无机化学-高等学校: 技术学校-教材 IV. 061

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第101808号

责任编辑: 婁 臻 陶艳玲
责任校对: 周梦华

文字编辑: 康家铃
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张9¼ 字数227千字 2010年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

元素周期表

族	1	2											13	14	15	16	17	18																																																																																																																																		
周期	IA	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA																																																																																																																																		
1	H 氢 1s ¹ 1.00794(7)	He 氦 1s ² 4.002602(2)											B 硼 2s ² 2p ¹ 10.811(7)	C 碳 2s ² 2p ² 12.0107(8)	N 氮 2s ² 2p ³ 14.0067(2)	O 氧 2s ² 2p ⁴ 15.9994(3)	F 氟 2s ² 2p ⁵ 18.9984032(5)	Ne 氖 2s ² 2p ⁶ 20.1797(6)																																																																																																																																		
2	Li 锂 2s ¹ 6.941(2)	Be 铍 2s ² 9.012182(3)											Al 铝 3s ² 3p ¹ 26.981538(2)	Si 硅 3s ² 3p ² 28.0855(3)	P 磷 3s ² 3p ³ 30.973761(2)	S 硫 3s ² 3p ⁴ 32.065(5)	Cl 氯 3s ² 3p ⁵ 35.453(2)	Ar 氩 3s ² 3p ⁶ 39.948(1)																																																																																																																																		
3	Na 钠 3s ¹ 22.989770(2)	Mg 镁 3s ² 24.3050(6)											Ga 镓 4s ² 4p ¹ 69.723(1)	Ge 锗 4s ² 4p ² 72.64(1)	As 砷 4s ² 4p ³ 74.92160(2)	Se 硒 4s ² 4p ⁴ 78.96(3)	Br 溴 4s ² 4p ⁵ 79.904(1)	Kr 氪 4s ² 4p ⁶ 83.798(2)																																																																																																																																		
4	K 钾 4s ¹ 39.0983(1)	Ca 钙 4s ² 40.078(4)											In 铟 5s ² 5p ¹ 114.818(3)	Sn 锡 5s ² 5p ² 118.710(7)	Sb 锑 5s ² 5p ³ 121.760(1)	Te 碲 5s ² 5p ⁴ 127.60(3)	I 碘 5s ² 5p ⁵ 126.90447(3)	Xe 氙 5s ² 5p ⁶ 131.293(6)																																																																																																																																		
5	Rb 铷 5s ¹ 85.4678(3)	Sr 锶 5s ² 87.62(1)											Tl 铊 6s ² 6p ¹ 204.3833(2)	Pb 铅 6s ² 6p ² 207.2(1)	Bi 铋 6s ² 6p ³ 208.98038(2)	Po 钋 6s ² 6p ⁴ 209.99	At 砹 6s ² 6p ⁵ 210	Rn 氡 6s ² 6p ⁶ 222.02																																																																																																																																		
6	Cs 铯 6s ¹ 132.90545(2)	Ba 钡 6s ² 137.327(7)											La-Lu 镧系 5d ¹ 6s ² 178.49(2)	Ta 钽 5d ³ 6s ² 180.9479(1)	W 钨 5d ⁴ 6s ² 183.84(1)	Re 铼 5d ⁵ 6s ² 186.207(1)	Os 锇 5d ⁶ 6s ² 190.23(3)	Ir 铱 5d ⁷ 6s ² 192.217(3)	Pt 铂 5d ⁹ 6s ¹ 195.078(2)	Au 金 5d ¹⁰ 6s ¹ 196.96655(2)	Hg 汞 5d ¹⁰ 6s ² 200.59(2)	Cd 镉 4d ¹⁰ 5s ² 112.411(8)	Ag 银 4d ¹⁰ 5s ¹ 107.8682(2)	Cu 铜 3d ¹⁰ 4s ¹ 63.546(3)	Zn 锌 3d ¹⁰ 4s ² 65.409(4)																																																																																																																											
7	Fr 钫 7s ¹ 223.02	Ra 镭 7s ² 226.03											Ac-Lr 锕系 5f ¹ 7s ² 227.03	Db 𬬻 6d ³ 7s ² 262.11	Sg 𬬪 6d ⁴ 7s ² 266.12	Hs 𬬪 6d ⁶ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s ² 265.13	Uu 𬬻 6d ⁷ 7s

★ 镧系	La 镧 5d ¹ 6s ² 138.9055(2)	Ce 铈 4f ¹ 5d ¹ 6s ² 140.116(1)	Pr 镨 4f ³ 6s ² 140.90765(2)	Nd 钕 4f ⁴ 6s ² 144.24(3)	Pm 钷 4f ⁵ 6s ² 144.91	Sm 钐 4f ⁶ 6s ² 150.36(3)	Eu 铕 4f ⁷ 6s ² 151.964(1)	Gd 钆 4f ⁷ 5d ¹ 6s ² 157.25(3)	Tb 铽 4f ⁹ 6s ² 158.92534(2)	Dy 镝 4f ¹⁰ 6s ² 162.500(1)	Ho 钬 4f ¹¹ 6s ² 164.93032(2)	Er 铒 4f ¹² 6s ² 167.259(3)	Tm 铥 4f ¹³ 6s ² 168.93421(2)	Yb 镱 4f ¹⁴ 6s ² 173.04(3)	Lu 镥 4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ² 174.967(1)	★ 镧系	Ac 锕 6d ¹ 7s ² 227.03	Th 钍 6d ² 7s ² 232.0381(1)	Pa 镤 5f ² 6d ¹ 7s ² 231.03588(2)	U 铀 5f ³ 6d ¹ 7s ² 238.02891(3)	Np 镎 5f ⁴ 6d ¹ 7s ² 237.05	Pu 钚 5f ⁶ 7s ² 244.06	Am 镅 5f ⁷ 7s ² 243.06	Cm 锔 5f ⁷ 6d ¹ 7s ² 247.07	Bk 锫 5f ⁹ 7s ² 247.07	Cf 锎 5f ¹⁰ 7s ² 251.08	Es 锿 5f ¹¹ 7s ² 252.08	No 镎 5f ¹⁴ 7s ² 259.10	Lr 镥 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² 260.11
------	--	---	---	--	---	--	---	--	---	--	--	--	--	---	--	------	---	--	---	--	---	---	---	---	---	--	--	--	--

编写说明

无机化学、有机化学和分析化学是医学检验、药学和医学营养等专业的专业基础课，本系列教材包括《无机化学》、《有机化学》、《分析化学》三个分册。教材编写组根据“遵循培养目标，紧扣课程标准，适应读者对象，贯穿医学检验、药学和医学营养理念，突出能力培养，融入人文教育和关爱生命理念，反映学科前沿，体现创新特色”的具体要求，组织教材内容，在编写过程中，力求做到科学性、新颖性、趣味性和发展性相结合。

根据“化学直接为医学检验、药学和医学营养等专业课程奠定必要的理论和实践基础，同时体现化学在人们日常生活中指导科学饮食、预防疾病、环境保护等方面的重要作用”的课程定位，突出为专业服务思想，在内容编排上增加了与专业有关的内容，并密切联系社会和日常生活实际；在遵循专业培养目标的前提下，教材内容体现“够用”和“实用”的原则。在编写过程中遵循“浅、宽、新”的原则，由浅入深、循序渐进，即降低化学理论的难度和要求，知识面适当放宽，教材内容体现时代气息，融入医学检验、药学和医学营养等专业最新理念，体现国际化学学科发展的新概念、新理论、新知识。

根据三个贴近（贴近专业、贴近学生、贴近生活）原则，本系列化学课教材主要有以下四方面的特色：

第一，根据化学发展动态，及时更新教学内容，注重课程内容的整体性、适用性、为专业的服务性，删减偏深的化学理论知识，使教材更贴近目前学生的水平，对必要的基础理论尽量做到深入浅出，以利于学生对综合知识的理解和掌握。

第二，教材是教本，更是学本。为了更好贯彻“学生为主体，教师为主导”的原则，将“演示实验”改为“观察与思考”，以培养学生观察和分析问题的能力，充分发挥学生的主观能动性。

第三，与苏州大学化学化工学院王伟群教授和其研究生研究的课题“化学与生命科学”合作，教材中融入了“珍惜生命、关爱生命”的理念和内容。

第四，教材后面附有实验内容，并进行了精选，减少了性质实验，增加了一些与专业关系密切的实验，强化了规范化操作训练和动手能力的培养，学生通过无机—有机—分析实验的过程训练，逐步提高基本操作水平，最后完成专业实验的前期准备，以达到进行专业实验操作的能力要求。

本系列教材适用于高中后三年制高职高专医学检验、临床检验、卫生检验、药学、药物制剂和医学营养等专业学生；初中后五年制高职相关专业学生也可选用。

本系列教材的三个分册既有一定的联系，在内容编排上又具有各自的完整性与独立性，各学校可以整体配套使用，也可以根据不同专业课程设置的需单独选择使用。

前言

FOREWORD

随着高等职业教育的普及与深入发展,作为高职高专类医学检验、药学、医学营养等专业的一门重要的基础课程——无机化学课程建设也面临着新的挑战。高职高专类的医学检验、药学、医学营养等专业,既不同于本科类专业,也不同于中专类专业,与它们相比,不仅学生的知识水平发生了变化,教学的内容和要求也有了重要变化。针对这一情况,我们在江苏省卫生厅卫生职业技术教育研究课题“三年制检验、药学、营养专业化学类课程标准定位与教学方法研究”成果的基础上,成立了由具有多年丰富教学经验的一线教师组成的《无机化学》教材编写组,对职业教育课程模式进行全面和深入的调查,在充分了解相关医药专业的现状、水平、发展趋势,以及后续专业课程对无机化学课程需求的基础上,依据无机化学课程标准,编写了本教材。

本教材的编写降低了无机化学理论的难度,减少了元素化学的内容,主要介绍物质结构、溶液和胶体溶液、化学平衡、氧化还原、电解质溶液、缓冲溶液、配位化合物、常见非金属元素及其化合物和常见金属元素及其化合物等知识。教材后面附有溶液的配制、电解质溶液、同离子效应和缓冲溶液等实验内容。除了在编写说明中介绍的特点外,本教材还设计了“主副篇”框架,“主篇”是对学生的基本要求,严格按照课程标准精选内容,适当增加与专业有关的知识,删减偏深的化学理论知识,使教材更贴近目前学生的水平;“副篇”以“知识拓展”的形式延伸“主篇”的内容,供学生选读和教师选用,以满足一部分学有余力的学生的需要。

无机化学课程一般在新生入学后第一学期开设,各学校可根据不同专业的课程标准和教学课时数,对教材内容进行选择讲授。

本教材由苏州卫生职业技术学院郭小仪、泉州医学高等专科学校郭幼红任主编,苏州卫生职业技术学院黄晓英任副主编,苏州卫生职业技术学院宋素英、泉州医学高等专科学校罗婉妹、鞍山师范学院附属卫生学校范春红参加了编写工作。

为方便教学,本书配有PPT课件以及思考与练习参考答案,使用本教材的学校可以与化学工业出版社联系(cipedu@163.com),免费索取。

教材在编写过程中,得到了苏州卫生职业技术学院检验药学系的老师和临床专家的大力帮助和支持,在此表示衷心感谢!对本书所引用文献资料的作者表示深深的谢意!

限于编者水平,疏漏和不当之处在所难免,恳请使用本书的师生批评指正,以便不断修改,更臻完善。

编者

2010年4月

目 录

CONTENTS

第一章 物质结构 1

第一节 原子结构 1

一、原子的组成 1

二、同位素 2

三、原子核外电子的运动状态 3

四、原子核外电子的排布 5

第二节 元素周期律和元素周期表 8

一、元素周期律 8

二、元素周期表 10

三、元素周期律和元素周期表的应用 15

第三节 化学键 15

一、离子键 15

二、共价键 16

第四节 分子的极性 18

一、极性共价键和非极性共价键 18

二、极性分子和非极性分子 18

第五节 分子间作用力和氢键 19

一、分子间作用力 19

二、氢键 20

思考与练习 21

第二章 溶液和胶体溶液 22

第一节 溶液组成的表示方法 22

一、溶液组成的表示方法 22

二、溶液的配制、稀释和有关计算 24

三、溶液浓度的换算 26

第二节 分散系 27

一、概念及分类 27

二、三类分散系的特点 28

三、乳浊液在医学上的应用 28

第三节 稀溶液的依数性 28

一、溶液的蒸气压降低 28

二、溶液的沸点升高 29

三、溶液的凝固点降低 29

四、溶液的渗透压 31

第四节 胶体溶液	33
一、胶体溶液的性质	33
二、胶团的结构	35
三、胶体溶液的稳定性和聚沉	37
四、高分子化合物溶液	38
思考与练习	39
第三章 化学反应速率和化学平衡	41
第一节 化学反应速率	41
一、化学反应速率的概念及表示方法	41
二、影响化学反应速率的因素	42
三、有效碰撞理论	44
第二节 化学平衡	45
一、化学平衡的概念	45
二、化学平衡常数	47
三、化学平衡的移动	48
思考与练习	52
第四章 氧化还原和电极电势	53
第一节 氧化还原反应的基本概念	53
一、氧化数	53
二、氧化还原	54
三、氧化剂和还原剂	56
四、氧化还原反应方程式的配平	58
五、氧化还原反应的应用	60
第二节 原电池和电极电势	61
一、原电池	61
二、电极电势	62
三、电极电势的应用	65
思考与练习	67
第五章 电解质溶液	69
第一节 弱电解质的电离平衡	69
一、强电解质和弱电解质	70
二、弱电解质的电离度和电离平衡	70
三、多元弱酸的分步电离	74
第二节 酸碱理论	74
一、酸碱电离理论	74
二、酸碱质子理论	75
三、酸碱电子理论	76
第三节 水的电离和溶液的 pH	76

一、水的电离	76
二、溶液的 pH	76
三、酸碱指示剂	78
第四节 离子反应和盐类的水解	80
一、离子反应	80
二、盐类的水解	81
第五节 难溶电解质的沉淀溶解平衡	83
一、沉淀溶解平衡和溶度积	83
二、沉淀的生成和溶解	85
三、溶度积规则的应用	87
思考与练习	87

第六章 缓冲溶液

第一节 同离子效应	89
第二节 缓冲溶液	89
一、缓冲溶液的概念	89
二、缓冲溶液的组成	90
三、缓冲作用的原理	90
四、缓冲溶液 pH 的计算	92
五、缓冲溶液的配制	95
六、缓冲溶液在医药上的意义	96
思考与练习	97

第七章 配位化合物

第一节 配合物	98
一、配合物的概念	98
二、配合物的组成	99
三、配合物的命名	100
四、配合物的价键理论	100
五、配合物的性质	101
六、配合物的稳定性和配位平衡	101
七、配合物的应用	102
第二节 螯合物	102
一、螯合物的概念	102
二、螯合物的形成条件	103
三、医学上常见的螯合剂	103
思考与练习	104

第八章 常见非金属元素及其化合物

第一节 卤族元素	105
一、卤素的单质	106

二、卤化氢及氢卤酸	108
三、卤化物	109
四、卤素的含氧酸及其盐	110
五、类卤化合物	111
第二节 氧族元素	112
一、氧族简介	112
二、氧的单质及其化合物	113
三、硫及其化合物	114
第三节 氮和磷的化合物	117
一、氨和铵盐	117
二、亚硝酸及医学上常见的亚硝酸盐	117
三、硝酸及医学上常见的硝酸盐	118
四、磷酸及医学上常见的磷酸盐	119
思考与练习	119

第九章 常见金属元素及其化合物 121

第一节 金属的通性	121
第二节 碱金属和碱土金属	122
一、碱金属和碱土金属的概述	122
二、碱金属和碱土金属的性质与用途	122
三、碱金属和碱土金属的氧化物、氢氧化物及盐类	123
第三节 水的净化	126
一、饮用水的净化	126
二、硬水及其软化	126
三、水的纯化	127
第四节 人体中的化学元素	127
一、人体中元素的分类	127
二、必需元素的生理功能	127
三、某些有害微量元素	129
思考与练习	130

实验部分 131

实验一 溶液的配制	131
实验二 电解质溶液	132
实验三 同离子效应和缓冲溶液	134

参考文献 137

附 录 元素周期表

第一章 物质结构

自然界的物质种类繁多，其性质各不相同，而物质在性质上的差异是由物质的内部结构不同引起的。因此要了解物质的性质、深刻地认识物质世界的变化规律，就必须进一步了解物质的内部结构。

第一节 原子结构

一、原子的组成

19 世纪初，英国科学家道尔顿 (J. Dalton) 提出了原子论，认为物质是由不可再分的原子组成，以致 19 世纪的人们几乎都认为原子是不能再分的。直到 19 世纪末，电子和放射性的发现，才使人们舍弃原子不能再分的传统观念，打开了原子结构的大门。20 世纪初，英国物理学家卢瑟福 (E. Rutherford) 利用 α 粒子散射实验确认了原子核的存在，建立了原子结构的行星模型：电子绕原子核运动，好似太阳系中的行星运动。通过众多科学家的不断探索，使人们认识了原子的内部结构：原子 (atom) 是由带正电荷的原子核和核外带负电荷的电子构成。原子核位于原子的中心，电子在核外作高速运动。由于原子核所带的正电量和核外电子所带的负电量相等，因此，整个原子是电中性的。原子很小，其直径约为 10^{-10}m ，而原子核的直径更小，约为原子直径的万分之一，而它的体积只占原子体积的几千亿分之一。

原子核 (atomic nucleus) 由质子和中子构成。每个质子 (proton) 带 1 个单位的正电荷，中子 (neutron) 是电中性的，因此，核电荷数由质子数决定。按核电荷数由小到大的顺序给元素编号，所得的序号称为该元素的原子序数 (atomic number)。显然，原子序数在数值上等于这种原子的核电荷数，在原子中存在以下关系：

$$\text{原子序数} = \text{核电荷数} = \text{核内质子数} = \text{核外电子数}$$

例如，6 号碳元素，碳原子的核电荷数为 6，原子核内有 6 个质子，核外有 6 个电子。

质子的质量为 $1.6726 \times 10^{-27}\text{kg}$ ，中子的质量为 $1.6748 \times 10^{-27}\text{kg}$ 。由于质子、中子的质量都很小，计算不方便，所以通常用它们的相对质量进行计算。相对原子质量衡量的标准为 ^{12}C 原子质量的 $\frac{1}{12}$ ，其质量为 $1.6606 \times 10^{-27}\text{kg}$ 。质子和中子对它的相对质量分别为 1.007 和 1.008，取近似整数值为 1。由于电子的质量很小，约为质子质量的 $\frac{1}{1836}$ ，所以在原子的质量中，电子的质量可以忽略不计，因此原子的质量主要集中在原子核上。将原子核内所有的质子和中子的相对质量取近似整数相加，所得的数值称为原子的质量数 (mass number)。用符号 A 表示质量数，用符号 N 表示中子数，用符号 Z 表示质子数，则：

$$\text{质量数}(A) = \text{质子数}(Z) + \text{中子数}(N)$$

如以 A_ZX 代表一个质量数为 A 、质子数为 Z 的原子，则构成原子的粒子间的关系可以表示如下：



例如， ${}^{23}_{11}\text{Na}$ 表示钠原子的质量数为 23，质子数为 11，中子数为 12，核外电子数为 11，钠是第 11 号元素； ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ 表示氯原子的质量数为 37，质子数为 17，中子数为 20，核外电子数为 17，氯是第 17 号元素。

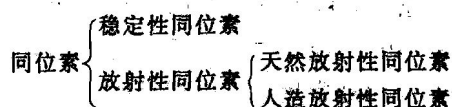
原子失去电子成为阳离子，原子得到电子成为阴离子。因此，同种元素的原子和离子间的区别只是核外电子数目不同。例如， ${}^{23}_{11}\text{Na}^+$ 表示带一个单位正电荷的钠离子的质量数为 23，质子数为 11，中子数为 12，核外电子数为 10，钠是第 11 号元素； ${}^{37}_{17}\text{Cl}^-$ 表示带一个单位负电荷的氯离子的质量数为 37，质子数为 17，中子数为 20，核外电子数为 18。

二、同位素

元素是具有相同核电荷数（即质子数）的同一类原子的总称。具有一定数目质子和一定数目中子的一种原子称为核素。同种元素原子都具有相同的质子数。若在同种元素的原子核里含有不同数目的中子时，就形成多种核素。如氢元素有三种不同的原子，即有三种核素，分别为氕（ ${}^1_1\text{H}$ ）、氘（ ${}^2_1\text{H}$ ）、氚（ ${}^3_1\text{H}$ ），它们的原子核内都只有 1 个质子，但中子数不同，分别为 0、1、2，是质量不同的三种氢原子。像这种质子数相同而中子数不同的同种元素的一组核素互称为同位素（isotope）。

大多数元素都有同位素，氢元素的同位素有 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ ；碳元素的同位素有 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 和 ${}^{14}_6\text{C}$ ，其中 ${}^{12}_6\text{C}$ 就是人们把它质量的 $\frac{1}{12}$ 作为相对原子质量标准的碳原子，通常表示为 ${}^{12}\text{C}$ ；碘元素的同位素有 ${}^{127}_{53}\text{I}$ 、 ${}^{131}_{53}\text{I}$ ；钴元素的同位素有 ${}^{59}_{27}\text{Co}$ 、 ${}^{60}_{27}\text{Co}$ 等。同一元素的各种同位素原子，它们的核电荷数（质子数）相同，核外电子数相同，而中子数不同，质量数不同，它们物理性质有差异，但化学性质几乎完全相同。

同位素可分为稳定性同位素和放射性同位素两类。放射性同位素能自发地放出不可见的 α 、 β 或 γ 射线，这种性质称为放射性。稳定性同位素没有放射性。放射性同位素又分为天然放射性同位素和人造放射性同位素：



放射性同位素的原子放出的射线，可以用灵敏的探测仪器测定出它们的踪迹，所以放射性同位素的原子又称为“示踪原子”。放射性同位素在科学研究和医学上被广泛应用。例如， ${}^{131}_{53}\text{I}$ 用于甲状腺功能亢进的诊断和治疗； ${}^{60}_{27}\text{Co}$ 放出的射线能深入组织，对癌细胞有破坏作用； ${}^{14}_6\text{C}$ 含量的测定可推算文物或化石的“年龄”；用放射性同位素作示踪原子，用于研究药物的作用机制，药物的吸收和代谢等。近年来，放射性同位素的应用得到迅速发展，如放射性同位素扫描，已成为诊断脑、肝、肾、肺等病变的一种安全简便的方法。

三、原子核外电子的运动状态

(一) 电子云

电子是质量很小的粒子，它像光一样，既具有波动性，又具有粒子性。电子的运动规律与宏观世界物体的运动规律完全不同，电子在原子核外运动没有固定的运动轨迹，人们不可能同时准确地测定一个核外电子在某一区域所处的位置和运动速度，但能用统计的方法来判断电子在核外空间某一区域内出现的机会。这种机会的多少，在数学上称为概率。例如氢原子核外只有一个电子，这个电子在核外空间各处都有可能出现，但出现的概率不同。如果用单位体积内小黑点的数目来表示电子出现概率的大小，则氢原子核外电子的运动状态如图 1-1 所示。

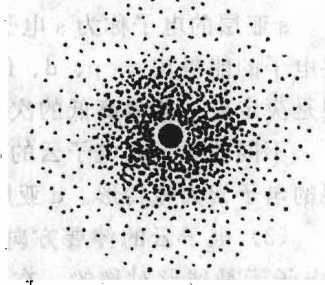


图 1-1 氢原子的电子云示意

图中小黑点密集的地方，表示电子出现的概率大，黑点稀疏的地方，表示电子出现的概率小，其形象犹如笼罩在原子核周围的一层带负电荷的云雾，故称为电子云 (electron cloud)。但要注意，氢原子核外只有一个电子，所以决不能将电子云图中每一个小黑点理解为一个电子。电子云只是原子核外电子行为统计结果的一种形象化的比喻。

图像表明氢原子的电子云呈球形对称，在核附近电子出现的概率大，在离核 53pm ($1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$) 附近的一薄层球壳内电子出现的概率最大，而在球壳以外的地方，电子出现的概率极小。因此把电子出现概率相等的地方连接起来，作为电子云的界面，这个界面所包括的空间范围称为原子轨道。由此可见，原子轨道实际上就是电子经常出现的区域，与宏观的轨道有着完全不同的含义。

(二) 核外电子的运动状态

电子在原子核外一定区域内作高速运动，都具有一定的能量。实验证明，电子离核越近，能量越低；离核越远，能量越高。电子离核的远近，反映出电子能量的高低。对于多电子原子，其核外电子的运动状态比较复杂，需要从电子层、电子亚层、电子云的伸展方向和电子的自旋四个方面来描述。

(1) 电子层 在含有多电子的原子中，电子的能量并不相同。能量低的电子，通常在离核近的区域运动；能量较高的电子，通常在离核较远的区域运动。根据电子的能量差异和通常运动区域离核的远近不同，可以将核外电子分成不同的电子层：

电子层 (n)	1	2	3	4	5	6	7
电子层符号	K	L	M	N	O	P	Q

电子层 n 值越大，电子离核越远，电子的能量越高。因此，电子层数 n 不仅表示电子离核距离的远近，也是决定电子能量高低的主要因素。

必须指出，电子层并不是指电子固定地在某些地方运动，只不过表示电子在这些地方出现的概率较大而已。

(2) 电子亚层和电子云的形状 科学研究发现，在同一电子层中，电子的能量还稍有差别，电子云的形状也不相同。根据这个差别，又可以把一个电子层分成一个或几个亚层，分

别用 s、p、d、f 等符号来表示。每一电子层中所包含的亚层数等于其电子层数。

$n=1$ 有一个亚层, 称 1s 亚层;

$n=2$ 有两个亚层, 称 2s 亚层和 2p 亚层;

$n=3$ 有三个亚层, 称 3s 亚层、3p 亚层和 3d 亚层;

$n=4$ 有四个亚层, 称 4s 亚层、4p 亚层、4d 亚层和 4f 亚层;

.....

s 亚层的电子称为 s 电子, p 亚层的电子称为 p 电子, 以此类推。在同一电子层中, 亚层电子的能量按 s、p、d、f 的顺序依次增大, 即 $E_{ns} < E_{np} < E_{nd} < E_{nf}$ 。由此可知, 电子亚层是决定电子能量高低的次要因素。

不同的亚层其电子云的形状也不相同。s 亚层的电子云是以原子核为中心的球形, p 亚层的电子云为哑铃形。d 亚层、f 亚层的电子云形状比较复杂, 这里不作介绍。

(3) 电子云的伸展方向 电子云不仅有一定的形状, 而且在空间有一定的伸展方向。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 (见图 1-2)。p 电子云在空间有三种互相垂直的伸展方向 (见图 1-3)。d 电子云有五种伸展方向, f 电子云有七种伸展方向。

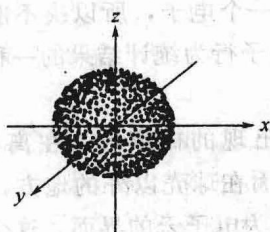


图 1-2 s 电子云

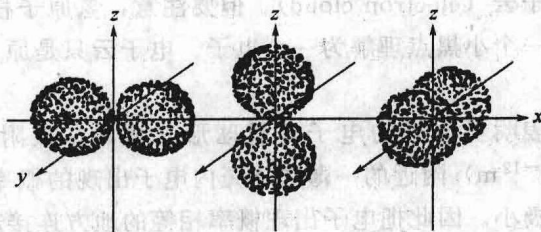


图 1-3 p 电子云的三种伸展方向

把在一定电子层上、具有一定形状和伸展方向的电子云所占据的空间称为一个原子轨道 (orbital), 则 s、p、d、f 四个亚层就分别有 1、3、5、7 个原子轨道。这样各电子层可能有的最多轨道数如下:

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

由此可知, 每个电子层中可能有的最多原子轨道数为 n^2 。

(4) 电子的自旋 原子中的电子在围绕原子核旋转的同时, 还在作自旋运动。电子自旋有两种状态, 即顺和反两种方向。通常用向上箭头 “ $\uparrow$ ” 和向下箭头 “ $\downarrow$ ” 表示。实验证明, 自旋方向相同的两个电子相互排斥, 不能在同一个原子轨道内运动。自旋方向相反的两个电子相互吸引, 能在同一个原子轨道内运动。由此可得, 每个原子轨道最多可以容纳自旋方向相反的两个电子。

综上所述, 原子核外每个电子的运动状态都要由它所处的电子层、电子亚层、电子云在空间的伸展方向和自旋状态四个方面来决定。



知识拓展

四个量子数

原子核外电子的运动状态比较复杂,不仅可以用电子层、电子亚层、电子云在空间的伸展方向和自旋状态来描述,还可用四个量子数(quantum number)来描述。这四个量子数是主量子数(n)、角量子数(l)、磁量子数(m)和自旋量子数(m_s)。它们的物理意义和取值如下。

(1) 主量子数(n)——电子层 描述电子在核外空间出现概率最大的区域离核的远近。主量子数 n 可以取非零的任意正整数,即1、2、3、 $\dots$ 、 n ,每个 n 值对应着一个电子层,所以 n 也可称为电子层数。

(2) 角量子数(l)——电子亚层 角量子数 l 决定电子云的形状(或原子轨道的形状),也表示电子亚层。角量子数 l 的取值受主量子数的限制,可取0、1、2、 $\dots$ 、 $(n-1)$,共 n 个整数值。

(3) 磁量子数(m)——电子云的伸展方向 描述原子轨道在空间的伸展方向。磁量子数 m 的取值受角量子数的限制, m 可取0、 ± 1 、 ± 2 、 $\dots$ 、 $\pm l$ 等整数,即 m 可以取 $+l \sim -l$ 并包括0在内的整数值,每一个数值代表一个原子轨道。因此,每一电子亚层所具有的原子轨道的总数为 $(2l+1)$ 个。

(4) 自旋量子数(m_s)——电子的自旋 描述电子的自旋方向。自旋量子数 m_s 可能的取值只有两个,即 $m_s = +\frac{1}{2}$ 和 $-\frac{1}{2}$ 。这说明电子的自旋有两种相反方向,即顺和反两种方向。

四、原子核外电子的排布

(一) 原子核外电子的排布规律

人们根据原子光谱实验和量子力学理论,总结出原子核外电子的排布遵循以下三个规律。

(1) 泡利(Pauli)不相容原理 1925年奥地利物理学家泡利(W. Pauli, 1900~1958)提出,每个原子轨道最多只能容纳2个自旋方向相反的电子。或者说,在同一原子中,没有运动状态完全相同的电子存在,这就是泡利不相容原理。

根据这个原理,可以推算出各电子层中最多可容纳的电子数为 $2n^2$ 。1~4电子层可容纳电子的最大数目见表1-1。

表 1-1 1~4 电子层可容纳电子的最大数目

电子层(n)	K(1)			L(2)			M(3)			N(4)			
电子亚层	s	s	p	s	p	d	s	p	d	f			
亚层中的轨道数	1	1	3	1	3	5	1	3	5	7			
亚层中的电子数	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14			
每个电子层中可容纳电子的最大数目($2n^2$)	2	8			18			32					

(2) 能量最低原理 在不违背泡利不相容原理的前提下,核外电子总是尽先占有能量最低的轨道,只有当能量最低的轨道占满后,电子才依次进入能量较高的轨道,这个规律称为

能量最低原理。即电子在原子中所处的状态总是要尽可能使体系的能量最低，这样的体系最稳定。

鲍林 (Pauling) 根据光谱实验的结果，总结出多电子原子中原子轨道能量由低到高的顺序 (见图 1-4)，图中一个方框代表一个原子轨道。

根据能量最低原理，基态的多电子原子中，随着原子序数的递增，核外新增加的电子逐个按图 1-5 中箭头所指顺序填充，以保证原子体系能量最低。

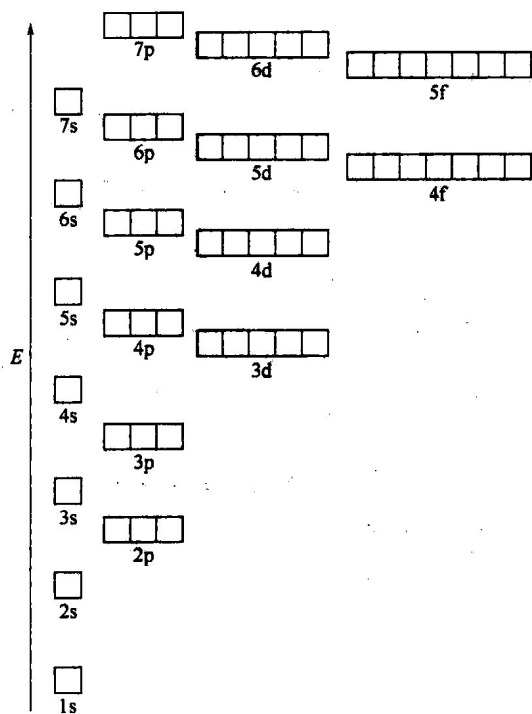


图 1-4 原子轨道近似能级示意

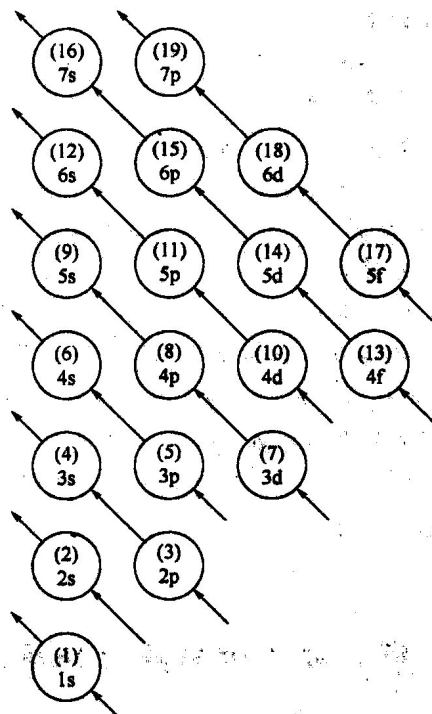


图 1-5 电子填入原子轨道的顺序

(3) 洪特 (Hund) 规则 原子中能量相等的轨道称为简并轨道或等价轨道，如同一亚层的 3 个 p 轨道或 5 个 d 轨道。德国科学家洪特根据光谱实验总结出一条规则：在同一亚层的各个轨道 (即简并轨道) 中，电子尽可能分占不同的轨道，且自旋方向相同，这个规则称为洪特规则。

【例 1-1】 以一个方框表示一个原子轨道，写出碳原子、氮原子核外电子排布的轨道式。

解：碳原子核外有 6 个电子，其中 2 个先填入 1s 轨道，2 个填入 2s 轨道，最后两个电子根据洪特规则，应分占 2p 亚层的两个能量相等的轨道，且箭头方向相同，则碳原子轨道

式为： $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\uparrow \\ \hline \end{array}$ ，而不是： $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ \hline \end{array}$ 或 $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow \\ \hline \end{array}$ 。

同理氮原子轨道式为： $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow\downarrow & \uparrow\uparrow\uparrow \\ \hline \end{array}$ 。

洪特规则还指出，在简并轨道 (等价轨道) 中，当电子全充满 (p^6 、 d^{10} 、 f^{14})、半充满 (p^3 、 d^5 、 f^7) 或全空 (p^0 、 d^0 、 f^0) 的状态都是能量较低的稳定状态。这就解释了 24 号元素铬的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$ ，而不是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$ ，也说明了 29 号铜的电子排布式为 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ ，而不是 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^9 4s^2$ 。

根据上述规律, 将核电荷数为 1~36 的元素原子的核外电子排布情况列入表 1-2 中。

表 1-2 核电荷数为 1~36 的元素原子的电子层排布

核荷 电数	元素 符号	电 子 层				核荷 电数	元素 符号	电 子 层			
		K	L	M	N			K	L	M	N
		1s	2s 2p	3s 3p3d	4s 4p			1s	2s 2p	3s 3p3d	4s 4p
1	H	1				19	K	2	2 6	2 6	1
2	He	2				20	Ca	2	2 6	2 6	2
3	Li	2	1			21	Sc	2	2 6	2 6 1	2
4	Be	2	2			22	Ti	2	2 6	2 6 2	2
5	B	2	2 1			23	V	2	2 6	2 6 3	2
6	C	2	2 2			24	Cr	2	2 6	2 6 5	1
7	N	2	2 3			25	Mn	2	2 6	2 6 5	2
8	O	2	2 4			26	Fe	2	2 6	2 6 6	2
9	F	2	2 5			27	Co	2	2 6	2 6 7	2
10	Ne	2	2 6			28	Ni	2	2 6	2 6 8	2
11	Na	2	2 6	1		29	Cu	2	2 6	2 6 10	1
12	Mg	2	2 6	2		30	Zn	2	2 6	2 6 10	2
13	Al	2	2 6	2 1		31	Ga	2	2 6	2 6 10	2 1
14	Si	2	2 6	2 2		32	Ge	2	2 6	2 6 10	2 2
15	P	2	2 6	2 3		33	As	2	2 6	2 6 10	2 3
16	S	2	2 6	2 4		34	Se	2	2 6	2 6 10	2 4
17	Cl	2	2 6	2 5		35	Br	2	2 6	2 6 10	2 5
18	Ar	2	2 6	2 6		36	Kr	2	2 6	2 6 10	2 6

(二) 原子核外电子排布的表示方法

原子核外电子排布有几种不同的化学表示方法。

(1) 原子结构示意图 用小圆圈表示原子核, 圆圈内的 +X 表示核电荷数, 弧线表示电子层, 弧线上的数字表示该电子层上的电子数。图 1-6 是四种元素原子结构示意图。

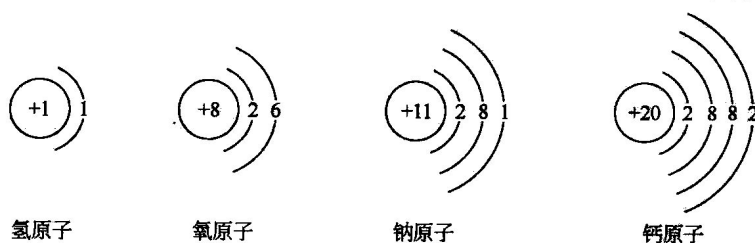


图 1-6 四种元素原子结构示意图

(2) 电子式 用元素符号表示原子核和内层电子, 并在元素符号周围用 · 或 × 表示原子最外层的电子。第 11~18 号元素原子的电子式如下:



(3) 轨道表示式 用方框表示原子轨道, 方框内箭头的数目表示该轨道中的电子数, 箭头的指向表示电子的自旋方向, 并在轨道的上方标明相应的亚层。电子填充的顺序按原子核外电子的排布规律进行。如: