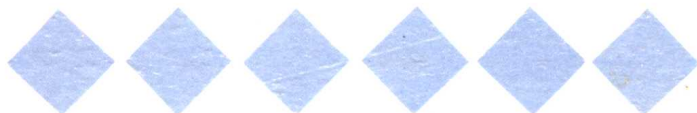


高等学校教学用书

基础元素化学



黄佩丽 田荷珍 编著

IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII			IB	IIB
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	¹⁰⁸ Uno	¹⁰⁵ Une	¹¹⁰ Uun		

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

北京师范大学出版社

高等学校教学用书

基础元素化学

黄佩丽 编著
田荷珍

北京师范大学出版社

(京)新登字 160 号

图书在版编目(CIP)数据

基础元素化学/黄佩丽,田荷珍编著. —北京:北京师
范大学出版社,1994.9

高等学校教学用书

ISBN 7-303-03465-X

I. 基… I. ①黄… ②田… II. 无机化学-高等学校-
教材 VI. 061

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 11089 号

北京师范大学出版社出版发行

(100875 北京新街口外大街 19 号)

全国新华书店经销

华艺激光照排中心排版

北京师范大学印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 17.25 字数: 380 千

1994 年 9 月北京第 1 版 1994 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2 000 册

定价: 19.00 元

写在前面

《基础元素化学》课程是在《普通化学》课程的基础上较系统地介绍元素及其化合物的基本性质和反应的规律性，运用化学基本原理来分析物质的性质及反应的规律，以使学生更好地掌握元素、化合物的基础知识，培养分析和解决问题的能力。

本书作者根据数十年教学实践的经验，所编写的是一本供大学生学习无机化学的教科书。因此，教材编写体现了“少而精”的原则，内容取舍是符合“加强基础、重视应用”的精神。

归纳本教材的特点有以下几点：

一、可读性：教材编写是以学生的可接受性为基础的，表现在内容取舍、教材的结构安排由浅入深、循序渐进，不盲目地追求大而全，力图从我国的国情出发，在加强基础知识和能力的前提下，所涉及元素及化合物的性质、制备等均能反映当代科学技术发展的水平，又符合我们的培养目标。可读性还表现在文字简练、图文并茂，并附有一定量的习题。

二、时代感：一般而言，教材是与科学的发展落后一段时差的。现在，九十年代受教育的大学生他们都将是21世纪的主人。如何为他们做为迎接新世纪的准备呢？这是当今化学教育所关注的议题。诸如：化学与环境、化学与能源、化学与材料、化学与生命……科学家预言：“未来的一个世纪将是由新材料支撑的新产业革命时代。”近些年来，材料科学正酝酿着较大的突破，如何将这些知识早期渗透在我们的教材中呢？我们在非金属部分，重点介绍了一些性能优异的新材料如 C_{60} 、分子筛、白石墨等，在金属部分介绍了“崛起的第三金属钛”“汽车工业的基础——钒”以

及超导材料，因为目前世界超导研究是一个热门课题。科学家还预言：“21世纪将是生化工程的时代”，因为生物界实现反应显著的特点是高效、专一，条件温和，其优越性比人工合成高明得多，譬如人工固氮省能源、省材料等。除此我们还在相关的章节中介绍一些元素的生物作用，以拓宽学生的知识面。

当今世界面临着第二次环境保护的浪潮，诸如臭氧层破坏、全球变暖、酸雨，为了保护人类仅有的一个地球，我们在教材中结合有关章节介绍了“酸雨”、“温室效应”、“破坏臭氧层的化学机理”，让学生建立起保护环境是全球的职责的观念。

三、探求反应的规律：迄今为止，人类已经发现的元素总数为110种，化合物已超过1000多万种，教材中选择了一些重要的元素和化合物的性质，引导学生重视反应的特性，并用相关的原理来加以分析，通过纵向、横向的对比，以寻找化学反应的规律性。在各章之后附有系统的小结，教会学生运用归纳法，以强化重点。在非金属之后安排有非金属元素小结一章；在金属之后安排有金属元素概要一章。

结合相关章节进行爱国主义教育和辩证唯物主义教育。为使我们的大学生具有良好的品德修养和心理素质，以科学家为楷模，启迪学生具有热爱祖国、热爱科学事业、培养自己具有艰苦求实、善于合作和勇于创新的科学精神，譬如在讲科学家如何合成最强的氧化剂——氟单质时，介绍法国青年化学家摩瓦桑的拼搏精神。这样，结合化学史实、科学家的生平轶事，引导学生刻苦钻研，努力攀登科学技术的高峰。

四、教学手段的现代化：先进的教学内容，必须配合现代化教学手段。结合教材章节配合有电视录相及与之相配套的计算机辅助教学软件(CAI)等，使学生的学习寓于兴趣之中，提高学生学习的积极性，启发学生创新精神。

总之，本书是一本较为全面、系统的基础元素化学教材，除重点元素外，还概要介绍了第二、三过渡系列元素的基本性质和反应。镧系、锕系的有关内容，略作介绍。并将当今高科技发展中的有关“热点”以“小资料”的形式编入。

本书适用面宽，可适合师范、理、工科各类化学专业元素化学教学的需要。为了符合跨世纪人才的培养，特别注重应用意识的早期渗透，和理论联系实践。

全书共分十一章，绪论、第一、二、四、五章由北京师范大学系田荷珍副教授撰写；第三、六、七、八、九、十、十一章由化学系黄佩丽副教授撰写。化学系赵新华副教授为第四章的成稿，提供了大量素材，并撰写了部分“小资料”。

配合各章教材的教学媒体：全部TV电教软件由田荷珍副教授编导，其中钛、钒分族由黄佩丽副教授编导；CAI计算机辅助软件由臧威成副教授设计和编制，全部拟题由田荷珍、黄佩丽副教授完成。

在这里，作者要诚挚地感谢北京师范大学无机教研室的全体同仁，他们在确立本课程的教学目标、考试大纲等过程中，曾贡献过极其宝贵的建议。值得一提的是，本教材在发行前曾在本系90、91、92及93级化学专业、生化专业的学生中进行了多次使用，学生普遍反映时代感强、可读性好，不少同学也提出了具体的修改意见。

本书稿撰写完后特请北京大学严宣申教授为主审，北京师范大学吴国庆教授也参加了审阅。他们都提出了极其宝贵的意见。作者在此表示衷心的感谢。

促使本书能早日问世，与读者见面，责任编辑李郁颖副编审付出了辛勤的劳动。作者也在此表示谢意。

本书所采用的单位为 SI 制。全部数据源出于：

The Elements John Emsley 1989

Chemistry of the Elements 1984

N. N. Greenwood & A. Earnshaw

Advanced Inorganic Chemistry 5th Edition 1988

F. A. Cotton & G. Wilkinson

基于书作者的水平有限，书中错误在所难免，恳请广大读者
斧正。

作者谨识于北京师范大学

1994. 5

元素周期表

17 18
VIIA O

																1		2			
																1			2		
																H			He		
																1.0079			4.00260		
																3		4			
																Li			Be		
																6.941			9.01218		
																11		12			
																Na			Mg		
																22.989771			24.305		
																19		20			
																K			Ca		
																39.0983			40.08		
																3		4			
																Sc			Ti		
																44.9559			47.88		
																39		40			
																Y			Zr		
																88.9058			91.22		
																56		57			
																Rb			Sr		
																85.4678			87.62		
																55		56			
																Cs			Ba		
																132.9054			137.33		
																87		88			
																Fr			Ra		
																223			226.0254		
																3		4			
																V			Cr		
																50.9415			51.996		
																23		24			
																Mn			Fe		
																54.9380			55.847		
																21		22			
																Nb			Mo		
																92.9064			95.94		
																25		26			
																Tc			Ru		
																(98)			101.07		
																27		28			
																Co			Ni		
																58.9332			58.70		
																29		30			
																Cu			Zn		
																63.546			65.38		
																31		32			
																Ga			Ge		
																69.72			72.59		
																33		34			
																As			Se		
																74.9216			78.96		
																13		14			
																Al			Si		
																26.98154			28.0855		
																15		16			
																P			S		
																30.97376			32.06		
																7		8			
																N			O		
																14.0067			15.9994		
																13		14			
																B			C		
																10.81			12.011		
																5		6			
																Li			Be		
																6.941			9.01218		
																11		12			
																Na			Mg		
																22.989771			24.305		
																11		12			
																IB			IIB		
																8		9			
																VIII			VIII		
																9		10			
																IB			IIB		
																29		30			
																Cu			Zn		
																63.546			65.38		
																47		48			
																Ag			Cd		
																107.868			112.41		
																79		80			
																Au			Hg		
																196.9665			200.59		
																81		82			
																Tl			Pb		
																204.37			207.2		
																83		84			
																Bi			Po		
																208.9804			(209)		
																110		110			
																Uun			Uun		
																(266)			(272)		

* 镧系元素

58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71	
Ce		Pr		Nd		Pm		Sm		Eu		Gd		Tb		Dy		Ho		Er		Tm		Yb		Lu	
140.12		140.9077		144.24		(145)		150.4		151.96		157.25		158.9254		162.50		164.9304		167.26		168.9342		173.04		174.967	

* 锕系元素

90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103	
Th		Pa		U		Np		Pu		Am		Cm		Bk		Cf		Es		Fm		Md		No		Lr	
232.0381		231.0359		238.029		237.0482		(244)		(243)		(247)		(247)		(251)		(252)		(257)		(256)		(259)		(260)	

注意: 原子量值为 1977 年 IUPAC 值。

目 录

绪 论	(1)
第一章 VI A(17)族元素:氟、氯、溴、碘和砹	(6)
1.1 卤族元素通性	(7)
1.2 卤素单质的化学性质	(16)
1.3 卤化氢的性质	(20)
1.4 卤素的氧化物	(25)
1.5 卤素含氧酸及其盐	(28)
1.6 歧化反应与元素电势图	(38)
1.7 氯、溴、碘的自由能——氧化态图	(47)
1.8 卤化物,多卤化物,卤素互化物,拟卤素	(50)
1.9 本章小结	(57)
第二章 VI A(16)族元素:氧、硫、硒、碲和钋	(63)
2.1 氧族元素概述	(64)
2.2 臭氧(Ozone)	(70)
2.3 过氧化氢(Hydrogen peroxide) 和过氧酸(Peroxo acid)	(77)
2.4 硫·硫化氢·硫化物(Sulfur Hydrogen sulfide and Sulfide)	(84)
2.5 硫的氧化物、含氧酸及其盐	(88)
2.6 硫的其它含氧酸及其盐	(96)
2.7 硒和碲	(103)
第三章 V A(15)族元素:氮、磷、砷、锑和铋	(115)

3.1	氮(Nitrogen)	(116)
3.2	氮的氢化物	(120)
3.3	氮化物和硫—氮化物	(126)
3.4	氮的氧化物	(128)
3.5	氮的含氧酸及其盐	(133)
3.6	氮氧化物、亚硝酸盐的毒性及环境保护	(141)
3.7	磷(Phosphorus)	(146)
3.8	磷的二元化合物	(150)
3.9	磷的含酸及其盐	(154)
3.10	磷的生物作用	(164)
3.11	砷、锑、铋	(166)
3.12	氮族元素的性质递变和非规则性	(176)
第四章	碳·硅·硼	(187)
4.1	概述	(188)
4.2	碳	(191)
4.3	碳的氧化物、含氧酸及其盐	(198)
4.4	硅及其化合物	(205)
4.5	硼及其化合物	(212)
第五章	非金属元素小结	(230)
5.1	非金属元素单质的性质、键型、对角线规则	(231)
5.2	氢化物(Hydride)	(238)
5.3	含氧酸及其盐的性质递变	(241)
5.4	非金属元素的反应类型	(249)
5.5	非金属元素及其化合物在高科技的应用	(253)
第六章	主族金属元素碱金属、碱土金属、铝、锡、铅	(259)
6.1	碱金属、碱土金属	(260)
6.2	铝	(282)

6.3	锡、铅	(291)
6.4	铝、锡、铅的生物作用	(303)
6.5	本章小结	(305)
第七章	I B(11)铜族元素和 II B(12)锌族元素	(311)
7.1	概述	(312)
7.2	单质	(313)
7.3	铜的化合物	(320)
7.4	银的化合物	(331)
7.5	锌、镉、汞化合物性质比较	(335)
7.6	锌、汞的重要化合物	(339)
7.7	多重平衡的应用	(344)
7.8	铜族、锌族元素的生物作用	(345)
第八章	第一过渡系列元素	(358)
8.1	过渡元素通性	(358)
8.2	钛	(366)
8.3	钒	(374)
8.4	铬	(381)
8.5	锰	(391)
8.6	铁系元素	(402)
第九章	第二、三过渡系列元素	(429)
9.1	第二、三过渡系元素与第一过渡系元素的比较	(429)
9.2	锆与铪	(436)
9.3	铌与钽	(442)
9.4	钼与钨	(445)
9.5	铼与铱	(454)
9.6	铂系元素	(458)

第十章 镧系元素与锕系元素	(469)
10.1 镧系元素.....	(469)
10.2 锕系元素.....	(489)
第十一章 金属元素概要	(498)
11.1 金属元素的电子构型和氧化态.....	(499)
11.2 金属的性质.....	(501)
11.3 金属的提取与纯制.....	(510)
11.4 金属元素在水溶液中的反应类型.....	(516)
附录一	(531)
附录二	(533)
附录三	(539)
附录四	(541)

绪 论

无机化学 (Inorganic Chemistry) 是以元素周期系与近代化学理论为基础, 研究元素及其化合物 (烃及其衍生物除外) 的组成、性质、结构与反应的一门科学。一氧化碳、二氧化碳和碳酸盐等 C_1 化学仍属于无机化学的研究范畴。

无机化学是化学学科中最古老的分支。中国古代的炼丹术和阿拉伯的炼金术是化学的先驱。金丹术是化学的幼稚阶段并没有演变为科学。然后近代化学始于欧洲。值得一提的是: 英国的物理学家兼化学家玻义耳 (R. Boyle) 将化学确立为科学; 法国的化学家拉瓦锡 (A. L. Lavoisier) 提出了第一个化学元素分类表和新的化学命名法, 并在他的实验中采用了天平, 奠定了近代化学的基础。但是, 近代化学之父是道尔顿 (J. Dalton) 而不是拉瓦锡, 这是因为道尔顿的原子学说的提出, 抓住了化学学科的核心和最本质的问题, 这一理论无论从深度和广度上都超过了燃烧的氧化学说。

近一个多世纪, 无机化学经历了令人难忘的复兴时期。无机化学复兴的业绩归纳为以下四点:

1. 配位化学成为无机化学的带头学科;
2. 经典的无机化学内容的现代化;
3. 新型化合物的涌现以及对无机化合物的结构和反应机理的研究;
4. 无机化学新兴分支学科的形成。

0.1. 历史上的无机化学

在历史上, 化学学科的体系, 经历了三次革命性的飞跃: 首

先在1803年道尔顿创立了原子学说,经历了原子学说创立的革命性飞跃,揭示了“什么是物质”。接着,在1869年门捷列夫的元素周期律的发现,门氏周期系是一把几乎横跨一个世纪寻找新元素的钥匙。时至今日,它仍具有预见性,是认识物质世界的锐利武器,如同军事家的作战图。化学在本世纪初,在感性材料急剧增加的基础上并经过长期的剧烈酝酿,经历了第三次质的飞跃。预计这次飞跃将在化学键的研究上突破,估计将会更深刻地揭示化学键的本质,从而导致对化学物质的组成、结构和性能关系的全面阐明。其意义远比前两次飞跃更深远、更伟大。譬如在化学键理论的指导下,英国化学家柏莱特(N. Bartlett)于1962年合成了具有历史意义的第一个惰性气体化合物—— XePtF_6 ,打破了化学界七十年之久的惰性气体不能参加反应的说法。

同样,在化学史上,无机化学家解决了三大难题,其一是法国青年化学家摩瓦桑(H. Moissan)合成、分离无机化学最活泼的氟单质,使得三百多年来笼罩这个元素的神奇的面纱终于被揭开,自然界最活泼的非金属元素终于被征服了。

其二是惰性气体的发现,那是“第三位小数”的胜利。拉姆塞(W. Ramsay)和瑞利(J. W. Rayleigh)发现了氩,产生了惊人的后果,致使在十九世纪末发现了元素周期元素系零族元素。

其三是稀土元素的分离和提纯,对稀土元素的分离和提纯和对稀土元素的研究自十八世纪开始,经历了180年的历史,直到1947年人们在核反应的生成物中发现了61号元素钷(Pm)。

0.2 二十世纪以来的无机化学

无机化学扫清了前进途上的障碍,重振旗鼓,冲出萧条时期,获得新生。到20世纪的末期,化学家已发现的元素有110种,化合物总数超过1000万余种,人类究竟还能发现多少种元素?仍是一个世界性的难题。二十世纪以来,化学进入了大发展的时代。在

这一时期，人们经历着；从宏观到微观、从描述到推理、从定性到定量、从静态到动态的认识过程，特别是 40 年代末，由于原子能工业和半导体材料工业的兴起，无机化学又取得了新的进展。70 年代以来，随着宇航、能源、催化及生化等研究领域的飞跃发展，无机化学不论在实践还是在理论方面有了许多重大的突破，当代在无机化学学科领域中最活跃的方面有以下几方面：

1. 无机材料化学

材料是人类进步的里程碑，是现代文明的重要支柱。具有应用前景的多功能信息材料不断涌现出来，新型的结构材料向着高温、高比强度的方向发展，如铝合金、钛合金、高温超导材料，工程陶瓷，新型的复合材料等。譬如光导纤维信息量大，一对光导纤维可容 3 万门电话通讯，不受电磁干扰，保密性强，重量轻而且易施工。目前，我国已有 3 万公里通话。运用光导纤维的优点是省材料，每公里省 1.1 吨铜，或省 2~3 吨铝。

各种新材料的结构及其内部成键的方式等方面的研究，正在促进化学理论的发展，同时在研究新型材料的过程中，高温、高压、强磁、低温及等离子体等各种实验技术层出不穷。

2. 生物无机化学

生物无机化学是建立在生物与无机化学基础上的一门新兴的边缘学科。它是在分子能级、乃是原子能级水平上，研究与生命有关的元素。根据资料获悉：生命必需的元素有 28 种之多，绝大多数生命必需元素处于 1—4 周期中，目前被重点研究的共有 10 种。如钠、钾、镁、钙、锌、锰、钴、铜、铁和钼。这些金属离子与蛋白质、核酸、维生素、激素、代谢物质等生物配位体，形成生物配合物金属蛋白、金属酶等。它们在生命运动过程中，具有重要生化及生理功能。倘若没有化学变化，地球就将是一个无生命的行星。众所周知，豆科植物从空气中吸收二氧化碳、从土

壤中吸收水分；经过一系列奇妙的化学反应生成碳水化合物，这就是光合作用。所以，有人说生命过程都是生物和化学的关系，已构成现代生命科学中一个极富活力的领域。美国医学教授，诺贝尔奖金获得者 A. Kornberg 疾呼，“要把生命理解成化学”。

3. 有机金属化学

早在十八~十九世纪初，人们认为无机物质是无生命的物质，如岩石、土壤、矿物和水等，而有机物质则是由有生命的动物和植物产生如蛋白质、油脂、淀粉、纤维素、尿素等。无机物与有机物之间存在着不可逾越的鸿沟。1829年德国化学家 F·武勒从无机氰酸铵制得了尿素，突破了无机化合物和有机化合物之间的绝对界线。20世纪以来，无机化学家与有机化学家共同感兴趣的是有机金属化合物，这类化合物是在—C—C—链中含—C—M—键的一类化合物。（M代表金属）。自从1951年发现二茂铁 $(C_5H_5)_2Fe$ ——一种“夹心”式的化合物，至今陆续合成的有机金属化合物的总数已超过100万种，这类化合物分别在催化剂、半导体、药物、能源等方面有着重要的用途。

0.3 我们的目标

当我们达古通今地领略了无机化学研究的演变，从中获得启示。目前，我们处于打基础阶段，我们学习应从何下手？

F. A. 科顿说：“我们确信，象其它教科书那样没有或几乎没有包含实际内容的无机化学，就象是没有乐器演奏的一张乐谱”。Humphreys 说：“真正的化学是叙述性化学 (descriptive Chemistry) 即元素化学，只有理论没有性质那就不是化学”。因此，我们的学习就是要掌握重要元素及其化合物的重要性质。因为诸多化合物的性质均由它的特定结构所决定；同样，物质的性质决定了它的制备途径、分离方法等。同时要抓住重要反应规律性。学习中要以元素周期系为纲。从异中求同，同中求异，掌握周期系变化

的规律性与非规律性,并注意适用结构与热力学的原理分析化学现象和变化,尽量在理解的基础上进行记忆,为学习后续课打下一个扎实的元素化学的基础。

新的一个世纪即将来临,“21 世纪是化学的时代”。让我们在学习元素化学的全部过程中把握住理论联系实践这把金钥匙,时刻思考着“化学与人类”、“化学与我们”、“化学与我”,以一个崭新的面貌去迎接高新技术的挑战吧。