

高等院校教材

无机及分析化学

武汉大学分析化学教研室

高等教育出版社

13.41/52

高等学校教材



无机及分析化学

武汉大学分析化学教研室

高等教育出版社

本书是按照 1964 年 6 月高等教育部組織修訂的綜合性大学生物系无机及分析化学教学大綱(初稿)編写的,包括讲授和实验两部分。讲授部分主要内容包括:无机及分析化学的基本理論;某些元素的化合物的重要性质;定性分析、定量分析的方法及其原理。实验部分包括无机化学、定性分析及定量分析实验等。书末并有附录。

本书可作綜合性大学生物系一般专业(不包括生物化学专业)的教科书。

无机及分析化学

武汉大学分析化学教研室

北京市书刊出版业营业許可証出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号 K13010·1183 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 9 $\frac{2}{16}$ 插頁 2

字数 217,000 印数 0,001—4,500 定价(5) ¥0.90

1965 年 6 月第 1 版 1965 年 6 月北京第 1 次印刷

門 捷 列 夫 元 素 周 期 系

周期		元 素 的										各 类			
		I	II	III	IV	V					VI	VII	VIII	0	
1	1	H 氢 1.00797												2 He 氦 4.0026	
2	3	Li 锂 6.939	4 Be 铍 9.0122	5 B 硼 10.811	6 C 碳 12.01115	7 N 氮 14.0067					8 O 氧 15.9994	9 F 氟 18.9984		10 Ne 氖 20.183	
3	11	Na 钠 22.9898	12 Mg 镁 24.312	13 Al 铝 26.9815	14 Si 硅 28.086	15 P 磷 30.9738					16 S 硫 32.064	17 Cl 氯 35.453		18 Ar 氩 39.948	
4	19	K 钾 39.102	20 Ca 钙 40.08	21 Sc 钪 44.956	22 Ti 钛 47.90	23 V 钒 50.942					24 Cr 铬 51.996	25 Mn 锰 54.938	26 Fe 铁 55.847	27 Co 钴 58.9332	28 Ni 镍 58.71
	29	Cu 铜 63.54	30 Zn 锌 65.37	31 Ga 镓 69.72	32 Ge 锗 72.59	33 As 砷 74.9216					34 Se 硒 78.96	35 Br 溴 79.909		36 Kr 氪 83.80	
5	37	Rb 铷 85.47	38 Sr 锶 87.62	39 Y 钇 88.905	40 Zr 锆 91.22	41 Nb 铌 92.906					42 Mo 钼 95.94	43 Tc 锝 [99]	44 Ru 钌 101.07	45 Rh 铑 102.905	46 Pd 钯 106.4
	47	Ag 银 107.87	48 Cd 镉 112.40	49 In 铟 114.82	50 Sn 锡 118.69	51 Sb 锑 121.75					52 Te 碲 127.60	53 I 碘 126.9044		54 Xe 氙 131.30	
6	55	Cs 铯 132.905	56 Ba 钡 137.34	57 La 镧★ 138.91	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta 钽 180.948					74 W 钨 183.85	75 Re 铼 186.2	76 Os 锇 190.2	77 Ir 铱 192.2	78 Pt 铂 195.09
	79	Au 金 196.967	80 Hg 汞 200.59	81 Tl 铊 204.37	82 Pb 铅 207.19	83 Bi 铋 208.980					84 Po 钋 [210]	85 At 砷 [210]		86 Rn 氡 [222]	
7	87	Fr 钫 [223]	88 Ra 镭 [226]	89 Ac 锕★ [227]	(Th)	(Pa)					(U)				

★ 鐳 系 58-71

58 Ce 铈 140.12	59 Pr 镨 140.907	60 Nd 钕 144.24	61 Pm 钷 [147]	62 Sm 钐 150.35	63 Eu 铕 151.96	64 Gd 钆 157.25	65 Tb 铽 158.924	66 Dy 镝 162.50	67 Ho 钬 164.930	68 Er 铒 167.26	69 Tm 铥 168.934	70 Yb 镱 173.04	71 Lu 镥 174.97
----------------------	-----------------------	----------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	----------------------	----------------------

★★ 錒 系 89-103

90 Th 钍 232.038	91 Pa 镤 [231]	92 U 铀 238.03	93 Np 镎 [237]	94 Pu 钚 [242]	95 Am 镅 [243]	96 Cm 钷 [245]	97 Bk 锫 [247]	98 Cf 锎 [251]	99 Es 镱 [254]	100 Fm 钔 [253]	101 Md 镨 [256]	102 No 鐳 [254]	103 Lw 鐳 [257]
-----------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

目 录

讲授部分

第一章	緒論	1
1-1	研究化学的目的和方法	1
1-2	化学在发展国民經济中的作用	2
1-3	化学和生物学的关系	4
第二章	溶液的濃度	6
2-1	重量百分濃度	6
2-2	重量克分子濃度	7
2-3	克分子濃度	7
2-4	当量和当量定律	8
2-5	当量濃度	13
2-6	溶液濃度的换算	13
第三章	化学反应速度和化学平衡	17
3-1	化学反应速度	17
3-2	影响化学反应速度的因素	18
3-3	化学平衡	23
3-4	化学平衡的移动	26
第四章	电离和水解	31
4-1	弱电解质溶液中的电离平衡	31
4-2	分步电离	34
4-3	强电解质在溶液中的状况	35
4-4	离子反应式	36
4-5	水的电离	38
4-6	盐的水解	40
第五章	緩冲溶液	46
5-1	緩冲溶液的重要性	46
5-2	緩冲溶液的作用原理	46
5-3	緩冲溶液的选择和配制	50
第六章	沉淀和溶解	54
6-1	溶度积原理	54

6-2	溶度积和溶解度的换算	55
6-3	沉淀的生成	57
6-4	沉淀的溶解	59
第七章	络合物	64
7-1	络合物的概念	64
7-2	配价键	65
7-3	络合物的稳定性	66
7-4	螯合物	67
第八章	氧化和还原	69
8-1	氧化还原反应	69
8-2	氧化还原反应式的配平	70
8-3	氧化还原当量	72
8-4	标准氧化还原电位	73
8-5	能斯特方程式	75
8-6	氧化还原反应的方向与条件	77
第九章	若干主族元素的氢化物和卤化物	81
9-1	氢化物	81
9-2	卤化物	85
第十章	若干主族元素的含氧化合物	89
10-1	氯的重要含氧酸及其盐	89
10-2	过氧化氢和过氧化钠	91
10-3	硫的氧化物、含氧酸及其盐	93
10-4	氮的氧化物、含氧酸及其盐	98
10-5	磷的重要含氧酸及其盐	102
10-6	砷的氧化物、含氧酸及其盐	104
10-7	碳的氧化物、碳酸及其盐	106
10-8	二氧化硅、硅酸及其盐	109
10-9	锡、铅的氧化物、氢氧化物及其盐	110
10-10	硼、铝的氧化物、氢氧化物及其盐	112
第十一章	若干过渡元素的重要化合物	116
11-1	过渡元素的通性	116
11-2	铬的重要化合物	117
11-3	锰的重要化合物	119
11-4	铁的重要化合物	121
11-5	铜、银的重要化合物	124
11-6	锌、汞的重要化合物	128

第十二章 定性分析	132
12-1 分析化学的任务	132
12-2 定性分析概述	133
12-3 阳离子分組	135
12-4 盐酸組离子的分析	136
12-5 硫化氢組离子的分析	139
12-6 硫化銨組离子的分析	143
12-7 碳酸銨組离子的分析	147
12-8 易溶組离子的分析	148
12-9 各組阳离子混合物的分析	149
12-10 檢驗物质的一般方法	150
第十三章 重量分析	153
13-1 定量分析概述	153
13-2 分析天平及称量方法	158
13-3 重量分析概述	162
13-4 沉淀的溶解度	162
13-5 沉淀的純度	164
13-6 重量分析結果的計算	166
第十四章 容量分析	169
14-1 容量分析概述	169
14-2 中和法	174
14-3 氧化还原法概述	181
14-4 高錳酸鉀法	182
14-5 重鉻酸鉀法	185
14-6 碘量法	187
第十五章 比色分析	193
15-1 比色分析概述	193
15-2 朗伯-比尔定律	194
15-3 目視比色法	195
15-4 光电比色法	196
15-5 比色分析的应用	199

实验部分

实验一 常用仪器及其使用	203
实验二 电解质溶液	210
实验三 沉淀和絡合物	212

实验四	氧化和还原	214
实验五	若干主族元素化合物的重要性质(一)	216
实验六	若干主族元素化合物的重要性质(二)	219
实验七	定性分析基本操作	222
实验八	盐酸组离子的分析	227
实验九	硫化氢组离子的分析	229
实验十	硫化铵组离子的分析	233
实验十一	碳酸铵组与易溶组离子的分析	236
实验十二	阳离子系统分析	240
实验十三	称重练习	242
实验十四	重量分析基本操作	244
实验十五	钨的测定(重量法)	252
实验十六	容量分析基本操作	254
实验十七	酸碱溶液的配制及其相互滴定	260
实验十八	酸碱溶液的标定	262
实验十九	工业碱纯度的测定	265
实验二十	高锰酸钾溶液的配制与标定	267
实验二十一	硫酸亚铁铵中亚铁的测定(高锰酸钾法)	270
实验二十二	硫代硫酸钠溶液的配制与标定	271
实验二十三	胆矾中铜的测定(碘量法)	274
实验二十四	磷的测定(目视比色法)	276

附 录

附录一	定性分析试剂配方	278
附录二	弱电解质的电离常数	282
附录三	难溶化合物的溶解度和溶度积	282
附录四	络合物的不稳定常数	283
附录五	标准氧化还原电位	284
附录六	对数表	285

讲授部分

第一章 緒論

1-1 研究化学的目的和方法

化学是研究物质及其变化的科学。它所研究的对象包括：物质的存在、提取、制备和用途，物质的組成、結構、性质、变化，以及有关的現象、規律和原因等。

物质永远是处在不断的运动、变化和发展过程中，运动是物质存在的形式，而物质运动的形式是多种多样的。毛主席在《矛盾論》中說道：“人的認識物质，就是認識物质的运动形式，因为除了运动的物质以外，世界上什么也沒有，而物质的运动則必取一定的形式。”^①因此，我們学习和研究化学必須了解物质的运动形式，既要注意物质及其变化的普遍性，又要注意物质及其变化的特殊性。只有深刻地認識了物质的本性和掌握物质的变化規律之后，才能充分地利用自然为人类服务。

为了深入地認識和掌握物质的变化規律，必須通过生产实践和科学实验。毛主席在《实践論》中指出：“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理。从感性認識而能动地发展到理性認識，又从理性認識而能动地指导革命实践，改造主观世界和客观世界。实践、認識、再实践、再認識，这种形式，循环往复以至无穷，而实践和認識之每一循环的内容，都比較地进到了高一級的

^① 毛澤东著作选讀(甲种本)，第 79 頁，人民出版社，1964 年。

程度。”^①毛主席的这一論断反映了客观的真理，为我們学习和研究化学指出了正确的途徑。

研究化学的方法和研究其他自然科学的方法一样，理論必須联系实际。首先从观察現象开始，为了深入地了解現象及其內在原因，就必须进行实验，根据多次的观察和实验結果，經過分析、綜合之后，就总结成为理論，如定律、定理和学說等。理論是从实践中产生的，所以理論必須經受得住实践的考驗。有了理論，又可以用来指导实践，在实践过程中，理論又会获得不断的完善和发展。因此，整个化学的研究过程就是实践、認識、再实践、再認識的过程，也就是从感性認識到理性認識，从理性認識到实践这样不断的循环往复、提高和发展的过程。

研究化学的目的是为了征服自然和改造自然，使自然为人类服务。毛主席在《实践論》中明确地指出：“馬克思主义的哲学认为十分重要的問題，不在于懂得了客观世界的規律性，因而能够解釋世界，而在于拿了这种对于客观規律性的認識去能动地改造世界。”^②这就是說，科学必須为政治服务，为生产服务。因此，我們学习化学，必須結合生产和专业，为祖国的社会主义革命和社会主义建設服务。爭取在不太长的历史时期內，把我国建設成为一个具有現代农业、現代工业、現代国防、現代科学技术的社会主义强国。

1-2 化学在发展国民經济中的作用

化学和其他自然科学一样，基本任务是为了发展生产，同自然界作斗争。自然界所供給我們的各种原材料，如空气、水、矿石、

① 毛澤东著作选讀(甲种本)，第 65 頁，人民出版社，1964 年。

② 毛澤东著作选讀(甲种本)，第 58 頁，人民出版社，1964 年。

煤、石油、盐类,等等,大多需要经过化学处理,才能成为各种有用的物质,如金属、合金、酸、碱、盐、化学肥料、农药、橡胶、染料、塑料、合成纤维、汽油、炸药、药剂、高能燃料,等等。因此,化学和国民经济的各个部门几乎都有密切的关系。

1. 在农业方面 例如,化学肥料、农药的制造和使用,土壤的研究和改良,农林副产品的加工和综合利用等,都和化学有密切的关系。

2. 在工业方面 地质、钢铁、有色金属、煤炭、石油、食品等各个工业部门,都与化学有密切的关系。至于基本化学工业和化学的关系,那就更加密切了。

例如,在勘探矿产资源时,为了摸清地壳中元素的成份、含量及其分布情况,需用化学方法进行鉴定,以确定其开采价值;采矿时需要炸药;由矿石冶炼钢铁、有色金属和稀有金属的过程本身就是化学反应的过程;无论是原材料的检查、生产过程的控制以及产品质量的鉴定,都要用到化学分析方法;经过化学研究,可以改进金属的提炼和加工的方法,并寻找出它的新的用途,等等。

3. 在国防方面 例如,原子能、喷气技术上需要稀有元素、超纯物质、能耐高温和高压的合成材料、高能燃料等,这些原材料的制造和使用,是与化学的研究分不开的。

总之,化学在农业、工业、国防和科学技术等各个方面,都占有重要的地位,许许多多的实际问题和理论问题,都需要通过化学研究而求得解决。

解放以前,由于帝国主义的侵略、封建主义和官僚资本主义的反动统治,我国的化学和化学工业长期处于落后的状态,丰富的资源得不到充分的利用。建国以来,在党的领导下和人民群众的积极努力下,化学和化学工业在国民经济建设中发挥了它应有的作用,取得了巨大的成绩。譬如,稀有金属、煤炭、石油、抗菌素、纤维

維、农药、染料、高分子化学、仪器分析等方面，在解放前是空白点或薄弱环节，經過十幾年来的努力，特别是1958年大跃进以来，在党的社会主义建設总路綫的指引下，广泛地开展科学研究，填补了空白点和加强了薄弱的环节，过去我們沒有的学科，現在建立起来了，过去我們不能制造的东西，現在我們能够自己生产了。我們建立了許多規模巨大的鋼铁、机械、肥料等工厂，能够制造出各种金屬和非金屬材料、潤滑剂、塑料、纖維、橡胶制品、半导体材料、工业用品、化学試剂、抗菌素药品、肥料、农药、染料、紙張和日用品，等等。产品的品种和数量日益增多，产品的质量不断提高。石油过去是依靠国外进口，現在已能基本自給。我們已經取得的这些成績，为我国国民經济的进一步发展奠定了坚实的基础。

1-3 化学和生物学的关系

生命現象是物质运动的高級形式，其中包括着許多复杂的化学反应，为了揭露生命現象的本质和掌握生命現象的規律，往往需要确定生物机体的化学成分、結構和反应机能，这就必須运用化学的原理和技术。因此，化学和生物学的关系是非常密切的。

在生物学中，为了控制和促进植物的生长发育和提高产量，需要研究植物新陳代謝的各种过程；需要明确糖、脂肪、蛋白质、維生素、生物碱以及其他化合物在植物体内合成的規律；培育新品种时，需用快速、准确的方法測定各种成分的含量；研究植物的生存环境时，需要研究土壤的性质；在植物所需的营养中，就包括化学肥料以及其他无机盐类；防治植物的病虫害，需要各种农药和除莠剂；促进植物的生长发育，需要各种激素，等等。所有这些，都和化学有关。

畜牧业的增产和新品种的培育，以及兽病防治等，也需要化学。

和化学药物。

为了增进人类的健康和防治疾病，需用生物化学的研究方法制造出各种维生素、抗菌素等药物。

化学对于微生物的研究，也是很重要的。例如，研究生物的活动，微生物在农业、酿造和药物方面的应用以及病理等，都离不开化学。

总之，在生物学的各个领域里，几乎都要用到化学的基本理论、知识和技能。

无机及分析化学这门课程的主要任务是：使学生初步掌握电离平衡理论，并能运用平衡概念解释一般的分析化学反应；了解某些化合物及某些离子的重要性质；掌握经典的重量分析、容量分析及比色分析的基本原理和正确的操作技术。

第二章 溶液的濃度

在一定量的溶液或溶剂中所含溶质的量,叫做溶液的濃度。

溶液的濃度标志着溶液中溶质和溶剂的相对量的大小。

溶液的濃度可用各种方法来表示,这里着重介紹重量百分濃度、体积克分子濃度和当量濃度,至于重量克分子濃度,只作简单的介紹。当量的概念和当量定律的应用非常重要,也作为本章的主要内容。

2-1 重量百分濃度

100 克溶液中所含溶质的克数,叫做重量百分濃度,用符号 % 表示。例如, 10% NaCl 溶液就是 100 克溶液中含有 10 克氯化鈉和 90 克水的溶液。

溶液的比重和重量百分濃度之間的关系,可在有关手册中的“溶液的比重与濃度对照表”內查到。

溶液的重量百分濃度 $x\%$ 、比重 d 、体积 V (毫升)和溶质的重量 W (克)之間的关系,可用下式表示:

$$W = dVx\% = \frac{dVx}{100} \quad (1)$$

例如,在 500 毫升比重为 1.42, 含 HNO_3 70% 的硝酸溶液中,所含 HNO_3 的重量是:

$$W = 1.42 \times 500 \times 70\% = 497 \text{ 克}$$

使用重量百分濃度时,計算簡便。在工业生产上和實驗室中常用这种方法来表示溶液的濃度。

2-2 重量克分子濃度

1000 克溶剂中所含溶质的克分子数, 叫做重量克分子濃度, 用字母 m 表示。例如, 在 1000 克水中溶解 34.2 克蔗糖(分子量为 342)时, 溶液的重量克分子濃度是 $0.1m$ 。

溶液的重量克分子濃度不受溫度变化的影响, 用在稀溶液通性^①的研究中。

2-3 克分子濃度

1000 毫升(1 升)溶液中所含溶质的克分子数, 叫做克分子濃度, 用字母 M 表示。例如: 1 升溶液中含有 98 克 H_2SO_4 (分子量为 98.08), 溶液的克分子濃度是 $1 M$; 如果 1 升溶液中含有 588 克 H_2SO_4 , 溶液的克分子濃度是 $6 M$ 。

溶液的克分子濃度 M 、克分子量 G_M 、体积 V (毫升)和溶质的重量 W (克)之間的关系, 可用下式表示:

$$W = \frac{MV G_M}{1000} \quad (2)$$

利用(2)式, 可以进行有关克分子濃度方面的計算, 例如, 欲配制 $2 M$ $NaOH$ 溶液 500 毫升时, 所需固体 $NaOH$ (分子量为 40)的重量是 $\frac{2 \times 500 \times 40}{1000} = 40$ 克。

将一定体积的溶液稀釋时, 其中所含溶质的重量不变, 而溶质的克分子量又总是一定的, 因此, 由(2)式可知, 溶液的克分子濃度和它的体积成反比, 即

① 稀溶液的通性, 在本課程中不予討論。

$$M_{\text{濃}}V_{\text{濃}} = M_{\text{稀}}V_{\text{稀}} \quad (3)$$

在(3)式中, $M_{\text{濃}}$ 和 $M_{\text{稀}}$ 分別表示稀釋前後溶液的克分子濃度, $V_{\text{濃}}$ 和 $V_{\text{稀}}$ 分別表示稀釋前後溶液的體積(毫升)。例如, 由 2 M NaOH 溶液配製 0.1 M NaOH 溶液 500 毫升時, 所需 2 M NaOH 溶液的體積是 $\frac{0.1 \times 500}{2} = 25$ 毫升, 即將 2 M NaOH 溶液 25 毫升用水稀釋至 500 毫升, 便可得到 0.1 M 的 NaOH 溶液。顯然, 在 25 毫升 2 M NaOH 溶液中與在 500 毫升 0.1 M NaOH 溶液中所含 NaOH 的重量相等, 即

$$W = \frac{2 \times 25 \times 40}{1000} = \frac{0.1 \times 500 \times 40}{1000} = 2 \text{ 克}$$

因此, 量出一定體積的已知克分子濃度的溶液時, 就可知道其中所含溶質的量。如果溶液的克分子濃度相同, 則在等體積的溶液中所含溶質的克分子數必然相等。

克分子濃度表示的溶液常用於化學反應速度、化學平衡以及各種平衡常數的研究中。

2-4 當量和當量定律

一、當量

1. 當量的定義 物質(元素或化合物)總是按一定的重量比例進行反應的, 換句話說, 物質是以相當的量相互作用的。化學上常用當量來表示物質相互作用時的重量關係。

當量的標準是, 以氫的當量為 1 (精確的數值是 1.00797), 或以氧的當量為 8 (精確的數值是 7.9997)。1 份重的氫叫做 1 當量的氫, 8 份重的氧叫做 1 當量的氧。

某元素与 1 份重的氢或 8 份重的氧相化合时，或者是从化合物中置换出 1 份重的氢或 8 份重的氧时，所需元素的重量，称为该元素的当量。

元素的当量可以从它和氢或氧作用时的重量关系中直接求得；如果元素与氢或氧不直接发生作用，也可以间接地求出来。例如：

35.45 份重的氯恰与 1 份重的氢化合成氯化氢，所以氯的当量是 35.45；

22.99 份重的钠恰与 8 份重的氧化合成氧化钠，所以钠的当量是 22.99；

22.99 份重的钠恰与 35.45 份重的氯化合成氯化钠，同样求得，钠的当量是 22.99，氯的当量是 35.45；

24.32 份重的镁与稀硫酸作用时，能置换出 2 份重的氢，所以镁的当量是 $\frac{24.32}{2} = 12.16$ 。

某化合物和 1 当量的氢，或 1 当量的氧，或 1 当量的其他任何物质相互作用时所需的重量，称为该化合物的当量。例如：

氯化氢的当量是 36.46；

氢氧化钠的当量是 40.00；

氯化钠的当量是 58.44；

硫酸镁的当量是 $\frac{120.38}{2} = 60.19$ 。

必须注意，元素或化合物的当量是随它所参加的化学反应不同而不同的，同一元素或同一化合物可能有不同的当量。例如，一氧化碳中碳的当量是 6，而二氧化碳中碳的当量是 3；硫酸与碱溶液中和成酸式硫酸盐时，硫酸的当量是 98.08，而中和成硫酸盐时，硫酸的当量是 49.04。

2. 当量和原子量的关系 元素的当量除它的原子量即等于元