

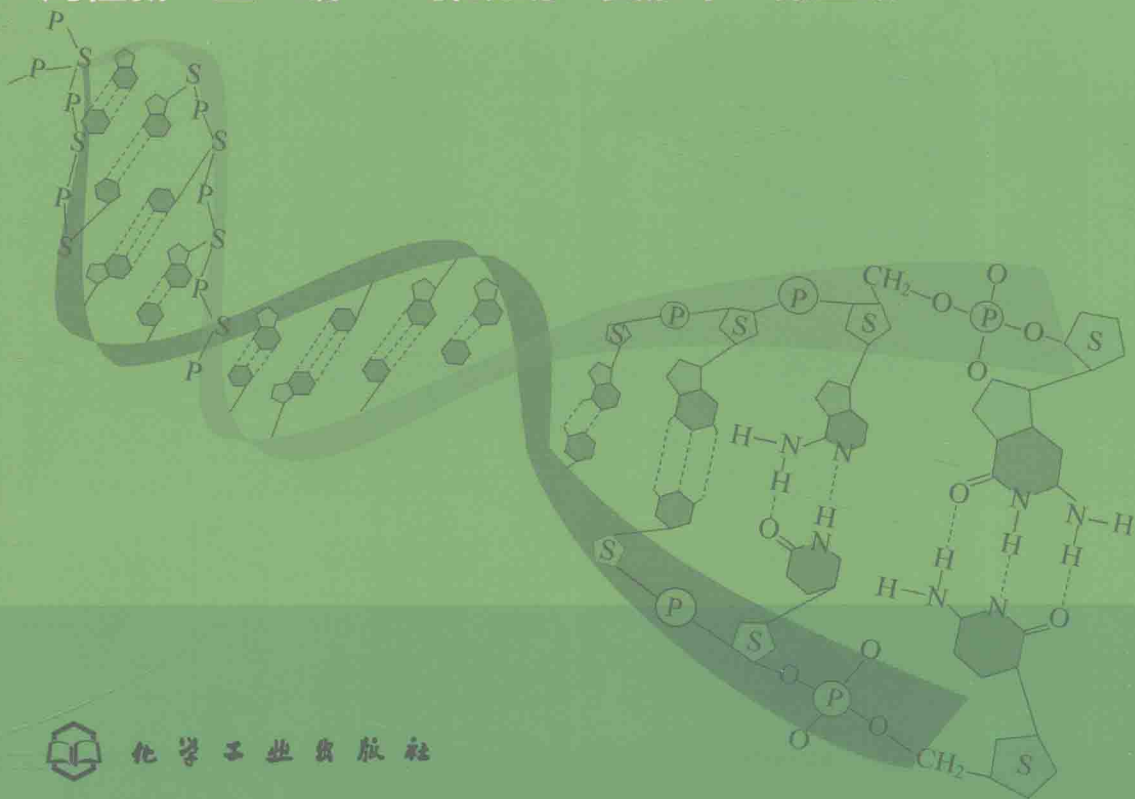
- 应用型本科化学化工系列丛书
- 普通高等教育“十三五”规划教材

无机化学

Inorganic chemistry

第二版

周祖新 主 编 郭晓明 黄莎华 副主编



化学工业出版社

应用型本科化学化工系列丛书
普通高等教育“十三五”规划教材

无机化学

第2版

周祖新 主编
郭晓明 黄莎华 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《无机化学》第2版是按照应用技术型高校无机化学教学基本要求编写的。理论部分以“必须”、“通俗易懂”、“够用”、“应用”为原则,讲解原理较多应用通俗的课堂语言和生
产实例;元素部分突出典型和通用元素及化合物知识的介绍以及部分产品的生产工艺,有助
于提高学生的生产意识、经济意识、生产安全意识、合理利用资源及环境保护意识。

《无机化学》第2版共分13章,基本原理和重要规律有:物质及其变化、化学热力学及
化学反应速率和化学平衡,这些原理具体应用的酸碱平衡和溶解沉淀平衡、氧化-还原反应、
配位化合物等;物质结构部分分为原子结构和元素周期律、分子结构和晶体两章;元素部分
有非金属两章和金属各三章。

《无机化学》第2版可作为应用技术型高校化工、材料、轻工、医药、生物类无机化学
或基础化学教材,也可作为其他高校非化学专业教材,并可供相关工厂、企业技术人员及自
学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/周祖新主编. —2版. —北京:化学工业
出版社, 2016. 6

(应用型本科化学化工系列丛书)

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-26280-6

I. ①无… II. ①周… III. ①无机化学-高等学校-
教材 IV. ①O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第027856号

责任编辑:刘俊之

装帧设计:刘丽华

责任校对:宋 玮

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 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张22¼ 彩插1 字数608千字 2016年10月北京第2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:48.00元

版权所有 违者必究

前 言

2014 年国务院发文加强职业教育, 要培养培训大批中高级技能型人才, 提高劳动者素质、推动社会经济发展和促进就业, 使我国由制造大国变为“智造大国”。按文件的要求, 实施力度非常大, 高等教育中的约一半要转为职业教育。特别强调产教融合、特色办学, 推动教育教学改革与产业转型升级衔接配套。本书第一版是在“卓越工程师教育培养计划”精神指导下编写的, 与职业教育思想已有不少共同之处。为了进一步符合国务院加强职业教育的要求, 第 2 版修订时作了改进, 为探索适应职业教育的教材做一些尝试。

1. 对概念、原理的描述和解释进一步形象化, 图表化, 减少抽象的、难理解的术语描述和理论推导。用常见的例子来描述、简单的图形来诠释概念和原理, 使学生容易看懂, 深刻理解。如用较高能量分子能否冲破阀门图来理解吉布斯自由能变和反应活化能的关系, 对应于反应的可能性和现实性; 电解质概念运用溶液是否导电及导电能力强弱的实验引入; 对缓冲溶液概念的引入是分别在水中和弱酸-弱酸盐混合液中滴加少量酸碱引起溶液的 pH 变化等等。

2. 元素化学向来是无机化学的中心内容, 但近年来由于学时数的不断缩减, 元素化学内容被逐渐边缘化。本教材力图扭转这种偏向, 编入了不少元素化学的内容。为提高学生所学内容在实际生产中学以致用, 对元素化学的处理不局限于物质的性质描述, 重点更多是物质的制备和提纯, 对典型工艺作了较细致的描述, 使学生所学理论在每一步工业操作中得到体现。

3. 减小习题难度, 增加应用性。对一些纯粹的理论性习题, 如从速率常数单位求反应级数、复杂的氧化还原方程式配平等给予删除, 增加一些溶液配制计算、物质合成、分离等应用性题目。

本教材内容对应的教学时数范围可以在 48~80 (不包括实验), 可根据具体学时数作适当增减。“阅读资料”及有“*”的部分可根据不同的教学要求作适当取舍, 也可作为学生开阔视野、增长知识、激发学习兴趣之用。思考题和作业题也可根据学时数作适当增减。

本书由王爱民 (第 11 章)、周祖新 (其余各章) 编写, 最后由周祖新、郭晓明、黄莎华统稿。教研室沈绍典教授、李向清教授、李忆平副教授、程利平副教授、王根礼老师、周义锋副教授、肖秀珍老师、李亮老师在本书编写过程中提出了很多宝贵意见, 并参加了校对, 在此表示衷心的感谢! 化学工业出版社的编辑对本书的出版工作给予很大帮助, 在此表示衷心的感谢!

由于编者水平所限, 书中不当之处在所难免, 诚望广大读者指正。

编者

2016 年 5 月于上海应用技术大学

第一版前言

随着 20 世纪末高校的大规模扩招，大学教育由精英教育变为大众教育以来，高校学生剧增，毕业生、尤其是应用技术型高校毕业生的定位也发生了很大的变化，由科研人员变为科研及生产型人员，毕业生将在第一线直接参加操作与管理。因此，要求学习的知识有更鲜明的学以致用的特色。

无机化学是高等学校化学、化工及相关专业本科生的第一门化学必修基础课，它对本科生后续课程的学习和综合素质的培养起着非常重要的作用。由于历史原因，高校教材一般由重点高校教师编写。由于他们对应用技术型高校学生的学习基础、能力、毕业后工作情况了解不够，故这些教材对应用技术型高校学生有些不适应。近期，教育部提出了“卓越工程师教育培养计划”，我们在此精神指导下尝试编写了《无机化学》教材，以期教材很好地符合“卓越一线工程师”要求，适应应用技术型高校学生的学习要求，本书有以下特色。

1. 起点低，对相关的中学化学知识有简单回顾，与大学化学知识进行了较好的衔接。对于中学化学成绩不太突出的同学比较容易着手学习，不至于一开始就感到无所适从，以致严重影响到后续课程的学习。

2. 语言课堂化，易于自学、易于理解。理论叙述简单明了，对理论或公式的不同情况应用做较多讨论，以利于培养学生分析问题和解决问题的能力。有些公式做了一些证明，这并非要学生会证明这些公式，而是使学生在本质上理解这些公式，更好地记忆、应用这些理论。

3. 加强联系实际，注意与人才培养目标的一致性。本书的主要编者曾长期在化工生产一线工作，具有较丰富的化工生产经验。在基础理论和元素部分都编进了不少生产实例，包括生产流程、生产工艺甚至某些生产细节。力图使学生在较好地掌握无机化学基础理论和基本知识的基础上，多注入生产意识，同时提高学生的经济意识、安全生产意识、合理利用资源及环境保护意识。

本教材教学学时数范围可由 48 至 80（不包括实验），可根据具体学时数做适当增减。“阅读资料”部分不做教学要求，只是作为学生开阔视野、增长知识、激发学习兴趣之用。思考题和作业题也可根据学时数做适当增减。

本书由王爱民副教授（第 11 章）、周祖新副教授（其余各章）编写，由周祖新副教授统稿。教研室康诗钊教授、郭晓明副教授、李向清教授、李忆平副教授、程利平副教授、王根礼老师、黄莎华老师、沈绍典副教授、周义锋副教授在本书编写过程中对本书提出了很多宝贵意见，并校核了书稿，在此表示衷心的感谢！化学工业出版社的编辑对本书的编写和出版给予很大帮助，在此作者表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中不当之处在所难免，诚望广大读者指正。

编者

2011 年 4 月

目 录

绪论	1	第3章 化学反应速率和化学平衡	45
0.1 化学的研究对象	1	3.1 化学反应速率	45
0.2 化学发展简史	1	3.1.1 反应速率的表示方法	45
0.3 化学在国民经济中的作用	5	3.1.2 反应速率理论	46
0.4 化学学科的体系	6	3.1.3 反应物浓度与反应速率的关系	48
0.5 学习无机化学的方法	6	3.1.4 反应速率与温度的关系	51
【阅读资料】我国最早的化学研究机构	7	3.1.5 催化剂与反应速率的关系	53
第1章 物质及其变化	8	3.1.6 其他因素对化学反应速率的影响	56
1.1 一些化学的基本概念	8	3.2 化学平衡	56
1.1.1 物质的组成	8	3.2.1 可逆反应和化学平衡	56
1.1.2 物质的量及其单位	8	3.2.2 化学平衡的特点	57
1.2 气体及其分压定律	9	3.2.3 经验平衡常数	57
1.2.1 理想气体状态方程	9	3.2.4 标准平衡常数	57
1.2.2 气体分压定律	10	3.2.5 平衡常数的推导*	58
1.2.3 气体的扩散定律	12	3.2.6 平衡常数的意义	59
1.3 化学反应中的质量关系	13	3.2.7 $K^\ominus$ 与 $\Delta_r G_m^\ominus$ 的关系	59
1.3.1 应用化学反应方程式的计算	13	3.2.8 多重平衡规则	60
1.3.2 化学计量数与反应进度	14	3.3 化学平衡的移动	60
【阅读资料】生物芯片和生物计算机	15	3.3.1 浓度对平衡的影响	60
思考题	16	3.3.2 压力改变对平衡的影响	61
习题	17	3.3.3 温度改变对平衡的影响	62
第2章 化学热力学初步	19	3.3.4 催化剂对化学平衡的影响	63
2.1 基本概念	19	3.3.5 平衡移动原理——吕·查德里原理	63
2.1.1 系统与环境、组分与相	19	3.4 有关化学平衡及其移动的计算	64
2.1.2 状态与状态函数	20	3.4.1 平衡常数的求得	64
2.1.3 热力学能	21	3.4.2 平衡转化率	64
2.1.4 热和功	21	3.5 反应速率与化学平衡的综合应用*	66
2.1.5 过程与途径	21	【阅读资料】光合作用及其应用	68
2.1.6 热力学第一定律	22	思考题	69
2.2 热化学	23	习题	71
2.2.1 化学反应热与焓变	23	第4章 酸碱平衡和溶解沉淀平衡	74
2.2.2 化学反应热的计算	25	4.1 电解质的分类及其解离	74
2.3 化学反应进行的方向	29	4.1.1 电解质的分类	74
2.3.1 化学反应自发性的判断	29	4.1.2 酸碱的分类	75
2.3.2 吉布斯自由能变与化学反应的方向	30	4.1.3 复分解反应的实质	75
2.3.3 吉布斯自由能变在无机化学中的应用*	35	4.1.4 强电解质溶液简述	76
【阅读资料】新世纪的绿色能源	40	4.2 弱酸、弱碱的解离平衡	76
思考题	41	4.2.1 一元弱酸、弱碱的解离平衡	76
习题	42	4.2.2 多元弱电解质的解离	79
		4.2.3 水的解离和溶液的 pH 值	81

4.3 同离子效应和缓冲溶液	83	5.6.2 元素电势图的应用	130
4.3.1 同离子效应	83	5.7 化学电源与电解	132
4.3.2 缓冲溶液	84	5.7.1 化学电源	132
4.4 盐类的水解	89	5.7.2 电解过程简介	135
4.4.1 各类盐的水解	90	【阅读资料】电化学电容器——新型储能 装置	137
4.4.2 影响水解平衡的因素	93	思考题	138
4.4.3 盐类水解的应用	93	习题	139
4.5 酸碱质子理论	94	第6章 原子结构和元素周期律	142
4.5.1 酸碱的定义	94	6.1 玻尔理论与微观粒子特性	142
4.5.2 酸碱共轭关系	94	6.1.1 光谱及氢原子光谱	142
4.5.3 酸碱的强弱	95	6.1.2 玻尔理论	143
4.5.4 酸碱反应	95	6.1.3 玻尔理论的成功和缺陷	144
4.6 沉淀溶解平衡	96	6.1.4 微观粒子的特性	144
4.6.1 沉淀溶解平衡与溶度积	96	6.2 核外电子运动状态描述	146
4.6.2 溶度积规律及其应用	98	6.2.1 薛定谔方程	146
4.6.3 沉淀的溶解和转化	104	6.2.2 波函数、原子轨道和电子云	146
【阅读资料】室温离子液体——绿色替代 溶剂	107	6.2.3 四个量子数的物理意义	150
思考题	108	6.3 核外电子排布	153
习题	109	6.3.1 多电子原子的能级	153
第5章 氧化还原反应	112	6.3.2 核外电子排布原则与基态原子的 电子构型	154
5.1 氧化还原反应的基本概念	112	6.3.3 原子结构和元素周期的关系	157
5.1.1 氧化数	112	6.4 原子结构和元素某些性质的周期性 变化	158
5.1.2 氧化还原反应方程式的配平	113	6.4.1 有效核电荷	159
5.2 原电池与电极电势	115	6.4.2 原子半径	159
5.2.1 原电池	115	6.4.3 电离能 (I)	160
5.2.2 原电池的组成	116	6.4.4 电子亲和能 (Y)	161
5.2.3 原电池的符号	117	6.4.5 电负性 (X)	162
5.3 电极电势	118	6.4.6 金属性和非金属性	163
5.3.1 电极电势的产生	118	【阅读资料】微观物质的深层次剖析	163
5.3.2 标准电极电势	118	思考题	164
5.4 影响电极电势的因素	121	习题	165
5.4.1 Nernst 方程式	121	第7章 分子结构和晶体	167
5.4.2 浓度对电极电势的影响	122	7.1 离子键	167
5.4.3 实际电对物质不为标准态时的 标准电极电势	124	7.1.1 离子键的形成	167
5.5 电极电势的应用	125	7.1.2 离子键的特点	167
5.5.1 计算原电池的电动势	125	7.1.3 离子的特征	168
5.5.2 判断氧化还原反应能否进行或 方向	126	7.2 共价键	169
5.5.3 比较氧化剂和还原剂的相对 强弱	127	7.2.1 路易斯理论	169
5.5.4 氧化剂或还原剂的选择	128	7.2.2 现代价键理论	169
5.5.5 确定氧化还原反应进行的程度	128	7.2.3 共价键的形成	169
5.5.6 计算一系列平衡常数	129	7.2.4 共价键理论要点	170
5.6 元素电势图	130	7.2.5 共价键的特征	170
5.6.1 元素标准电势图	130	7.2.6 共价键的类型	171
		7.2.7 几个重要的键参数	172

7.3 价层电子对互斥理论简介*	174	8.3 配位平衡	213
7.3.1 价层电子对互斥理论要点	175	8.3.1 配合物的不稳定常数与稳定常数	213
7.3.2 推断分子或离子空间构型的步骤	175	8.3.2 稳定常数的应用	214
7.4 杂化轨道理论	176	8.4 配位化学的制备和应用	217
7.4.1 价键理论的局限性	176	8.4.1 配合物的制备	217
7.4.2 杂化轨道理论的基本要点	177	8.4.2 配位化合物的应用	218
7.4.3 杂化类型与分子几何构型	177	【阅读资料】我国配位化学进展	220
7.5 分子轨道理论	179	思考题	221
7.5.1 分子轨道理论基本要点	179	习题	223
7.5.2 形成分子轨道的原则	179	第9章 非金属元素(一)	
7.5.3 分子轨道的能级	181	氢 稀有气体 卤素	225
7.5.4 分子轨道中电子填充的原理	181	9.1 氢	225
7.5.5 分子轨道理论的应用实例	182	9.1.1 氢的性质	225
7.6 金属键和键性过渡	183	9.1.2 氢气的制备	226
7.6.1 金属键理论	183	9.1.3 氢的用途	226
7.6.2 键型过渡	184	9.2 稀有气体	226
7.7 分子间作用力和氢键	184	9.2.1 稀有气体的存在与制备	227
7.7.1 分子的极性和变形性	185	9.2.2 稀有气体的性质和用途	227
7.7.2 分子间作用力	186	9.2.3 重要稀有气体化合物	228
7.7.3 范德华力与物理性质的关系	187	9.3 卤族元素	228
7.7.4 氢键	188	9.3.1 在自然界中的存在	228
7.8 晶体结构	190	9.3.2 卤素的通性	229
7.8.1 晶体的概念	190	9.3.3 卤素单质	230
7.8.2 晶体的基本类型	190	9.3.4 卤素的氢化物	234
7.8.3 离子晶体	191	9.3.5 卤化物	236
7.8.4 原子晶体	192	9.3.6 卤素的含氧酸及其盐	238
7.8.5 分子晶体	192	9.4 拟卤素	240
7.8.6 金属晶体	192	9.4.1 拟卤素与卤素性质的对比	240
7.8.7 混合型晶体	193	9.4.2 含氟废水的处理	241
7.8.8 离子极化对物质性质的影响	193	9.5 分子型氢化物的结构及其性质变化的规律性	242
7.8.9 其他一些固体物质	195	9.5.1 分子结构	242
【阅读资料】软物质	196	9.5.2 热稳定性	242
思考题	198	9.5.3 还原性	242
习题	199	9.5.4 水溶液性质	242
第8章 配位化合物	201	【阅读资料】碘在人体中的作用	244
8.1 配位化合物的基本概念	201	思考题	245
8.1.1 配位化合物的定义	201	习题	245
8.1.2 配合物的组成	201	第10章 非金属元素(二)	
8.1.3 配位化合物的命名	203	氧 硫 氮 磷 碳	
8.2 配位化合物的化学键理论	204	硅 硼	247
8.2.1 配合物的价键理论	204	10.1 氧	247
8.2.2 外轨型配位化合物和内轨型配位化合物	206	10.1.1 氧族元素的通性	247
8.2.3 价键理论的应用	207	10.1.2 氧及其化合物	247
8.2.4 晶体场理论	207	10.2 硫及其化合物	251
8.2.5 螯合物	213	10.2.1 单质硫	251

10.2.2 硫化氢和硫化物	252	12.3.3 氧化物及其水合物	307
10.2.3 硫的含氧化合物和含氧酸	255	12.3.4 含砷废水的处理	308
10.2.4 硫的含氧酸盐	257	【阅读资料】 铅对人体健康的影响	308
10.3 氮族元素及其化合物	261	思考题	310
10.3.1 氮族元素通性	261	习题	311
10.3.2 氮气	261	第 13 章 过渡金属元素	313
10.3.3 氨和铵盐	262	13.1 过渡元素的通性	313
10.3.4 氮的含氧化合物	264	13.1.1 过渡元素原子结构特征	313
10.3.5 含氮氧化物废气的处理	269	13.1.2 氧化态	313
10.3.6 磷及其化合物	269	13.1.3 单质的物理性质	314
10.4 碳、硅、硼及其化合物	273	13.1.4 单质的化学性质	314
10.4.1 碳及其化合物	274	13.1.5 配位性	314
10.4.2 硅的化合物	278	13.1.6 离子的颜色	314
10.4.3 硼的化合物	280	13.1.7 磁性及催化性	315
【阅读资料】 一氧化氮——一种重要的 生物活性分子	282	13.2 钛和钛的重要化合物	315
思考题	283	13.2.1 单质钛	315
习题	284	13.2.2 钛的化合物	316
第 11 章 主族金属元素(一) 碱金属 和碱土金属	286	13.3 铬和铬的重要化合物	317
11.1 碱金属和碱土金属的通性	286	13.3.1 铬单质	317
11.2 s 区元素的单质	287	13.3.2 铬(Ⅲ)的化合物	317
11.2.1 物理性质	287	13.3.3 铬(Ⅵ)的化合物	319
11.2.2 化学性质	287	13.3.4 含铬废水的处理	320
11.2.3 单质的制备	288	13.4 锰及其化合物	321
11.3 碱金属和碱土金属的氧化物	288	13.4.1 金属锰	321
11.4 氢氧化物	289	13.4.2 Mn(Ⅱ)的化合物	322
11.5 碱金属和碱土金属的盐类	291	13.4.3 Mn(Ⅳ)的化合物	323
11.6 硬水软化和纯水制备	294	13.4.4 Mn(Ⅶ)的化合物	323
11.7 R—O—H 规则	295	13.5 铁系元素的重要化合物	324
【阅读资料】 膜分离技术	297	13.5.1 铁系元素的单质	324
思考题	298	13.5.2 铁系元素的氧化物和 氢氧化物	325
习题	299	13.5.3 铁、钴、镍的盐类	326
第 12 章 主族金属元素(二) 铝 锡 铅 砷 锑 铋	300	13.5.4 铁系元素的配位化合物	328
12.1 铝及其重要化合物	300	13.6 铜副族元素	329
12.1.1 单质铝	300	13.6.1 铜副族元素的单质	329
12.1.2 氧化铝和氢氧化铝	301	13.6.2 铜的重要化合物	330
12.1.3 铝盐	302	13.6.3 银的重要化合物	333
12.2 锡、铅及其重要化合物	303	13.7 锌副族元素	334
12.2.1 锡、铅的单质	303	13.7.1 锌副族元素的单质	334
12.2.2 锡、铅的氧化物及其水化物	304	13.7.2 锌、镉的重要化合物	335
12.2.3 锡、铅的盐类及其水解	305	13.7.3 汞的重要化合物	336
12.2.4 含铅废水的处理	306	13.7.4 锌副族元素的配合物	337
12.3 砷、锑、铋及其化合物	306	13.7.5 含镉和含汞废水的处理	337
12.3.1 砷、锑、铋的单质	306	13.8 稀土元素和镧系元素简介	338
12.3.2 氢化物	306	13.8.1 镧系元素的通性	339
		13.8.2 稀土元素的应用	339
		【阅读资料】 铜、锌的生物化学	340

思考题	341	(298.15K)	346
习题	342	附录 5 常见配离子的稳定常数	
附录	344	(298.15K)	347
附录 1 一些基本物理量	344	附录 6 常见氧化还原电对的标准电极电势	
附录 2 一些物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成自由能和标准摩尔熵的数据		(298.15K)	347
(298.15K, 100kPa)	344	附录 7 某些物质的商品名或俗名	349
附录 3 常见弱酸或弱碱的解离常数		附录 8 主要的化学矿物	350
(298.15K)	346	附录 9 有害物质的排放标准	353
附录 4 常见难溶电解质的溶度积		参考文献	354

绪 论

0.1 化学的研究对象

(1) 化学上物质的概念我们周围充满着物质，如呼吸的空气、吃的食物、穿的衣服、住的房屋、使用的各种工具等，我们居住的地球、天空中的月亮、星星、太阳及整个宇宙都是物质，以至我们人类本身也是物质。即使在真空中，也有各种形式的场如电磁场、重力场等。微观世界的“基本”粒子，如电子、中子、光子、夸克等也是物质。

随着科学研究分类的细致化和化学的发展，现在化学上的物质指由原子、分子、生物大分子、超分子和物质凝聚态（晶体、非晶体、流体、等离子体以及介观凝聚态、溶胶）等组成的聚集体。

在日常生活中经常听到化学物质这个词，实际上人们一般认为经过化学加工的物质为化学物质，未经过化学加工的物质为天然物质。按照科学的物质概念，都应是化学物质。另外在食品或蔬菜上经常有绿色食品或有机食品的叫法，实际上常见食品中除了水和调味品食盐外，其他物质在化学物质分类上都是有机物，绿色或有机是指在动植物繁育（非转基因种）、生长、食品生产过程中所使用的物质基本为天然物质，即不施化肥、不用农药、不用合成添加剂。

(2) 化学的研究对象 化学是研究化学反应（变化）的学科。而要从根本上研究化学反应，必须在原子、分子水平上研究参与反应的物质的组成、结构、性能、变化规律以及变化过程中的能量关系等。故目前一般认为化学的研究对象是：物质，物质的组成、结构、性能，相互关系，变化规律以及在变化过程中的能量转换关系。

例如，汽车已大量进入家庭，汽车尾气 NO 是大气的主要污染源之一。它是内燃机工作时，来自空气的 N_2 和 O_2 在较高温度的汽缸中反应生成的。治理的方法之一就是使生成的 NO 变成无害的物质。那么，NO 变成什么物质才是无害的呢？当然变成 O_2 和 N_2 是最合适的，相当于回归自然。这样，我们就要研究 $2\text{NO} \longrightarrow \text{O}_2 + \text{N}_2$ 这一化学反应在给定的条件下能否自发进行，此时需要化学的重要理论——化学热力学知识。通过化学热力学的理论分析可知（同学们学完了这一部分知识以后就可以判断了），该反应可以自发进行，而且可以进行得很完全。但实际上并没有看到这一反应进行（如能很快进行就不用治理了）。这是为什么呢？

这是因为化学反应速率太慢。有关化学反应速率问题是化学的另一重要理论——化学动力学的研究内容。为什么这一反应速率太慢呢？化学动力学研究表明，是因为该反应进行的门槛——活化能太高。那么如何使反应物达到这一门槛呢？或是升温，使反应物增加能量达到反应的门槛，或是加催化剂，降低门槛高度使反应进行。采用升温的方法一是不方便，二是对反应不利（需要另外的加热升温系统，发动机要承受更高的温度）。因此最好采用催化剂。那选用什么做催化剂呢？这就要了解为什么该反应的活化能非常高，采用什么物质能降低该反应的活化能。要解决这一问题，则要用到化学的第三个重要理论——物质结构的知识，了解 NO、 O_2 、 N_2 等分子的结构特点。

0.2 化学发展简史

(1) 火的使用和人类自身的发展 借助于火，人类掌控了巨大的能量，并且开始初步地

利用它来改造自然世界。这是人类第一个有意使用的化学反应，有机物在点燃下进行剧烈的氧化反应，放出光和热，人类借以驱寒和驱逐其他野兽。为了保存火种，人类开始分工，开始了社会化，使人类在恶劣自然条件下得以生存并得到较大的发展。火的使用，扩大了人类食物的种类和范围，许多过去不能食用之物变成可食之物，如一些坚硬的植物根茎，经火加工后变软，某些含有毒素的食物经过加工后毒素消失；另外，火的使用，使食物的成分发生化学变化，向有利于人体吸收的方向转化，如动物的肉烤熟后蛋白质更容易转化为氨基酸，脂肪更容易转化为酸和醇，植物的淀粉变成蓬松状，易在人体中降解成糖类，改善了食物的消化和营养的吸收，为人类的生长发育以及脑髓的发展提供了物质基础，熟食促进了大脑的进化，使人类的智力不断发展（猿脑仅重 350g，而人脑重约 1400g），人类在改造自然的复杂进程中，大脑逐渐产生了能适应新环境的化学物质，这些新化学物质部分遗传给后代，并不断发展完善，这就是人类大脑发展的简单的社会化学模式。

(2) 化学促进材料的发展

① 陶瓷的产生和发展 人们在漫长的用火实践中，发现火炕周围原本可塑性很强的黏土往往被烧得十分坚硬，即使泡在水里也不易变软和变形。由此得到启示，人们逐渐有意识地把黏土捣碎，用水调匀，揉捏成型（比打制石器容易得多），再以火焙烧，经过不断实践，终于掌握了烧制粗陶器的技术。随着制陶技术的发展，对原料配方的改进，烧出的陶器硬度更高，吸水率更低且表面光滑明亮，这就是釉层，随着釉层的出现，窑温的提高和白色瓷土的采用，瓷器就产生了。陶瓷生产的发展，为人们造房定居创造了条件，使人类告别了岩洞和穴居，使城镇得以兴起。考古发现，在距今五六千年的中国古代仰韶文化时期，就有了烧制很精美的陶器，在距今三千多年的古埃及，就制成了玻璃器皿。直到今天，我们还在使用“秦砖汉瓦”。

② 金属的冶炼 陶瓷工艺的改进发展获得了保持摄氏 1000 多度高温的能力，为金属冶炼工艺的发展做了充分的准备。六七千年前，古人发现某些“石头”经火煅烧后可得到坚硬而且可以铸造的材料，最早发现的是所需冶炼温度较低的铜、锡、铅等。出土文物显示，距今三千六百年前，我国的铜冶炼技术已相当成熟，最初使用的是火法炼铜，以木炭为燃料加热冶炼孔雀石，最初得到的是天然铜——红铜，后人们为了降低铸造温度，提高硬度，加入了另一用相似方法冶炼得到的金属——锡，便得到了功能更好的青铜，青铜被广泛用来制造工具、武器及生活用品，成了一个时代的象征——这就是历史上的青铜器时代，人类社会也由原始社会进入了奴隶制社会。

炼铜的原料在自然界较少，限制了青铜的进一步使用，但在冶炼过程中，能够得到 1000℃ 的高温，人们把另一种矿石（铁矿）与木炭装在陶制容器中，利用木炭不完全燃烧产生的一氧化碳将铁矿石还原为铁，这就是炼铁，由于铁矿石比孔雀石多得多，铸铁制品非常坚硬，铁的冶炼得以迅速发展，铁制工具取代了青铜工具并得到了更加广泛的使用，生产获得迅速发展，生产关系随之变革，人类逐渐进入封建社会。

(3) 炼丹术和炼金术对化学的发展 我国是最早出现炼丹术的国家，到汉武帝时，在帝王的支持下炼丹术盛行。炼丹术的初衷是为了求得长生不老之药，从现代化学的现点来看，当时的炼丹活动主要是将汞、铅和硫等物在炼丹炉中烧制成含汞或铅的化合物，即所谓的仙丹。

公元 7~9 世纪，相当于我国的隋唐时期，中国的炼丹术传入阿拉伯，并通过阿拉伯传入欧洲许多国家，现在的化学一词“chemistry”就是由阿拉伯语中炼金术一词“alkimiya”演化而来的。由于受亚里士多德（Aristotle）“一种元素能变成另一种元素”学说的误导，许多人试图将普通金属冶炼成黄金，因此进行了大量的化学实践活动，其内容涉及矿物冶炼、金属成分分析、无机盐制备等。当然，炼金术士的愿望是不会实现的。

但这种旷日持久,范围极广的炼金、炼丹活动,在客观上极大地丰富了人类对金属、对矿物乃至对整个物质世界的认识。如东晋炼丹人士葛洪记录了水银与硫黄生成硫化汞,硫化汞加热又分解为水银和硫黄,这些为人们积累了大量的实践经验,对后来化学学科的建立起到了重要的作用。

(4) 医药化学 到了我国明代,著名医药学家李时珍在他的巨著《本草纲目》中记载的药物达 1892 种,其中包括无机药物 266 种,该书还对这些药物进行了较系统的分类。特别值得一提的是,该书记载着一些较为复杂的无机药物的加工制作过程,有的可算得上是典型的无机合成反应。

15、16 世纪以后,欧洲进入了文艺复兴时期,自然科学受其影响也出现了一批革新的科学家,炼金术进入了一个新的研究方向,即所谓“医药化学”。这一时期,一些医生不再相信炼金术中由普通金属制贵金属的说法,而是研究用化学方法制成药剂来医病,取得了很多成果,涉及许多无机物和一些有机物的制备和性质。医药化学的发展进一步丰富了人们的化学知识。

(5) 现代化学的建立和发展

① 原子论的建立 到了 18 世纪中期至 19 世纪前期,欧洲出现了一批著名的化学学科的先驱人物,如罗蒙诺索夫 (М. В. Ломоносов, 1711—1765 年)、波义耳 (R. Boyle, 1627—1691 年)、普里斯特莱 (J. Priestley, 1733—1804 年)、拉瓦锡 (A. Lavoisier, 1733—1804 年) 和道尔顿 (J. Dalton, 1766—1844 年) 等。由于他们采用了精细严密的科学方法和衡量仪器,借助于数学工具,发现了许多化学上的基本定律,如质量守恒定律、物质的定组成定律等等,终于建立了“原子说”、“分子说”等。这些重要规律是现代化学的基础。道尔顿发表原子论文并附了第一张原子量表是在 1803 年,我们一般把 1803 年作为现代化学的开始。从此,化学有了正确、坚实的基础,真正成了一门科学。

② 元素周期律的发现 在原子论理论的指导下,从 18 世纪中叶到 19 世纪中叶的大约 100 年间新元素不断被发现。到了 1869 年,人们已经知道了 63 种元素,而且对元素单质及其化合物的性质也积累了相当丰富的资料,然而这些资料杂乱无章,缺乏系统性。在这种情况下,迫使人们思考这样的问题:地球上究竟有多少种元素? 各种元素之间有什么关系或规律? 针对这些问题,化学家们依照元素的性质进行分类、对比、归纳和总结,逐渐认识了元素性质的周期性变化规律。1869 年,俄国化学家门捷列夫在欧洲多国化学家研究的基础上发表了他的第一张元素周期律表,并且明确指出:“按照相对原子质量大小排列起来的元素,在性质上呈现明显的周期性”,后来的一次科学发现(特别是新元素的发现)证实了元素周期律的正确性,对后人的化学研究工作有很好的指导作用。

③ 原子结构理论和化学键理论的建立 门捷列夫虽然创立了元素周期律,但其中的内在原因他并不清楚。19 世纪末,物理学中电子、放射性和 X 射线等重大发现,打开了原子和原子核的大门,使化学家通过研究电子在分子、原子中的分布和运动规律,更深刻地认识了化学的本质。原先摆在化学家面前的一些疑难问题都迎刃而解。如波尔的核外电子轨道及后来的量子力学很好地解释了原子光谱问题;核外电子排布的周期性解释了元素周期律;鲍林的价键理论(包括杂化轨道理论)及后来的分子轨道理论解释了分子的形成、分子的几何构型和稳定性等关系分子性质的问题。

在结构理论的指导下,按照结构和性质的关系,人们能够按照需要的性质来“按图索骥”或“量体裁衣”式地大量合成各种物质,物质(以 CA 登记号为准)的数量呈几何级数般增长(见表 0-1),现在仍以每年 100 万种的速度增加。

表 0-1 20 世纪后新分子和新材料的增长情况

年 份	已知化合物数量	年 份	已知化合物数量
1900	55 万种	1985	785 万种
1945	110 万种, 大约 45 年翻一倍	1990	1057.6 万种, 大约 10 年翻一倍
1970	273 万种, 大约 25 年翻一倍	1999	超过 2000 万种
1975	414.8 万种	2006	3016.88 万种
1980	593 万种, 大约 10 年翻一倍	2012	6494 余万种

④ 现代化学新领域

a. 飞秒化学 大多数化学反应, 即使是一些我们非常熟悉的化学反应, 我们现只知道反应物与产物, 其内在机理我们并非都清楚, 中间好像经过了一个“黑箱”。因为大多数化学反应并非是单一步骤的反应, 而是由多个单一步骤串联或并联而成, 其中有些步骤进行得速度很快, 某些中间产物即过渡态物质的存在不到 1 皮秒 (ps, 10^{-12} s), 要研究这类分子反应动力学需要飞秒 (fs, 10^{-15} s) 级的时间分辨率。飞秒化学就是研究以飞秒作为时间尺度的超快化学反应过程的一门分支学科。具有美国和埃及双重国籍的化学家泽维尔教授, 使用超短激光技术记录反应过程, 如同使用高速摄影机一般, 把即使只发生在短短的“一刹那”的反应步骤“全程拍下”, “化作永恒”, 然后再以“慢镜头”回放, 让人们慢慢欣赏“瞬间”反应过程。随着反应过渡态这个“黑箱”的门被打开, 从反应物经过过渡态到产物的全过程的图画就展现了出来, 化学反应的机理也就昭然若揭了。如光合作用的反应机理若被揭开, 按此机理对农副产品进行大规模的工厂化生产, 人类不但可很轻松地解决粮食棉花问题, 同时也解决了温室气体问题。泽维尔用飞秒光谱打开了研究化学反应过渡态的大门, 给化学和相关学科带来了一场革命, 但里面还有许多未知的、重要的和有趣的问题有待化学家们去深入研究。

b. 超分子化学 长期以来, 人们认为保持物质性质的最小微粒是分子, 分子是原子间通过化学键结合在一起的集团。但在实际的应用功能体系中总是研究众多分子的聚集体, 它们通过定向的分子间相互作用可以呈现出单个分子所不具有的特性。就像砖块能构筑形形色色的建筑群一样, 按照分子组装的思想, 成千上万种分子能被设计组装出更多的具有各种性能的超分子体系。例如众多单个中性分子本身并不表现出电性能, 但它们在按一定的方式有序地发生电荷转移后, 就可能呈现导电或超导性。另一方面, 我们熟知的很多体系中的分子只有采取一定的几何方式取向和排列, 并在电子能量匹配下才能在外界光电作用下, 发挥一定的信息存储、传递和交换功能。

超分子体系中分子间的相互作用力是强度较微弱的分子间力或氢键, 也称弱相互作用力, 因此, 超分子化学可定义为分子间弱相互作用和分子组装的化学。弱相互作用力要形成稳定的复合物——超分子, 只有当主体和客体分子在空间的位置取得某种构象, 以保持较多的弱作用和较多的结合点协调时, 分子间才能形成较强结合力或选择性。因此分子间相互作用是形成高度选择性识别、反应、传递、调节以及发生在生物中过程的基础。大自然把生物分子安排得竟如此有序: DNA 链组成右手双螺旋, 蛋白质链形成 α 螺旋、 β 折叠和 β 转角; 酶和底物、抗体和抗原的结合均显示出这种分子识别互补性。超分子化学与生命科学、材料科学和信息科学有着密切的关系, 必将成为 21 世纪优先发展的研究方向。

c. 组合化学 每种新药的产生, 常常要经过一个烦琐和冗长的合成和筛选过程。由于目前对所谓的构效关系的了解还比较粗浅, 所以在设计药物分子时由于存在着许多尚不确定的因素, 不得不同时把类似物和衍生物一并考虑在内, 然后进行逐一的筛选。为了提供足够的供筛选的对象, 往往要合成多达上千个基本相似但组成不同的化合物, 尽管其中包含着大

量的“无效劳动”。这样，从设计药物到动物试验，生理毒理试验，临床试验，一般需十几年或更长的时间，许多医药化学家毕其一生也只能做出一两种可用药物。

组合化学的出现大大加速了化合物的合成与筛选速度，组合化学最早称为同步多组合成，传统的方法一次只得到一批产物，而组合方法由于同时使用 n 个单元和另外 m 个单元反应，得到所有组合的混合物，通过先进的分离鉴别手段，得到 $n \times m$ 批产物。有人做过这样的统计：1 个化学家用组合化学方法 2~6 周的工作量，就需要 10 个化学家用传统化学方法花费一年的时间来完成。由此，组合化学的出现是药物合成化学上的一次革新，是近年来药物领域最显著的进步之一。由于具有简便、快速、高效和易于自动化等特点，组合化学已迅速扩展到材料合成领域、催化学科以及蓬勃发展的芯片技术中。

0.3 化学在国民经济中的作用

将物质发生化学变化的客观规律运用于工农业生产的化学工业，与国民经济各部门，尖端科学技术各个领域和人民日常生活都有着密切的关系，可以说化学工业在国民经济中起到了支撑的作用。

(1) 化学与能源 随着我国工业生产的不断发展和汽车保有量的不断增加，能源已成了进一步发展的瓶颈。化学虽不能直接产生能源，但能够改变能源形式，更有效更环保地使用能源。如石油炼制中轻组分（炼油厂火炬）的回收利用，重油裂解催化重整成汽油，煤变油和煤变气技术，用单晶硅和多晶硅收集太阳能，研究燃料电池使燃料的效率从直接燃烧的 30%~40% 提高到 90% 并减少环境污染等。对于主要燃料为煤炭、石油超过一半需进口的我国，煤的液化和气化尤为重要。目前，全国已有 30 余家煤化企业投巨资发展煤变油生产，并已取得较好效益，为缓解高价石油进口做了很好的尝试。在核能利用、核浓缩和核安全中也用到大量的化学知识。

(2) 化学与农业 在人力和畜力时代，一个农民生产的粮食只够 4 个人吃；在机械化时代，一个农民可养活 7 个人；到了化学工业发达的化学时代，由于化学工业提供了大量的化肥、农药、塑料薄膜、排灌胶管和植物生长激素，加上使农业增产的其他因素，一个农民可养活六七十个人。更重要的是，石油化工发展以后，生产了大量的合成材料，可以节省大面积的耕地，较好地解决人多地少的矛盾。例如，生产 1 万吨合成纤维，相当于 30 万亩棉田所产的棉花；建设 1 万吨人造羊毛工厂（腈纶），相当于 250 万只羊所产的羊毛，而放牧这些羊群需要牧草地 1 亿多亩。可见在当今世界人口增加很多，而耕地面积日益减少的情况下，化学工业对农业的重要性。

我国化肥产量居世界前三位，在我国农业增产中有 40% 是依靠化肥的作用。我国农药生产近百万吨，减少了约 20% 的农产品损失。一些高残留农药如六六六、滴滴涕已经停产，高效、低残留农药不断增加，特别是无公害的生物农药及利用生物间相克作用而发展起来的生物防治技术近几年发展很快，逐渐适应了我国农作物防治病虫害的需要。

(3) 化学与材料

① 化工产品可以代替天然物质和补充天然物质的不足 化学工业特别是石油化工提供的三大合成材料，合成塑料、合成橡胶、合成纤维具有质轻、易加工、耐磨损、耐腐蚀等优良性能，广泛应用于许多特殊领域，为其他物质所不及。世界合成橡胶的年产量已超过天然橡胶产量的一倍多；世界化学纤维的年产量也已经与天然纤维的产量持平；世界塑料的年产量已超亿吨，在生产和生活及其他领域起到了重要作用。轻、纺织工业原材料已经越来越多地采用化学合成的办法生产。含天然纤维较少且纤维较短的秸秆，可通过化学方法制成“人造纤维”——“府绸”。许多原来以农产品为原料的轻、纺织工业产品，诸如呢绒布匹、皮

革皮毛、洗涤用品等，现已经可以用合成材料代替，并且还大量生产出性能相似甚至更好的适应多种用途的产品。

② 大量合成材料在国民经济其他部门的应用 化学合成材料不仅代替和补充天然物质的不足，还制造了大量自然界里没有的而又需要的特殊性能的材料。不仅支持了国民经济建设，也支持促进了其他学科的发展。如光导纤维使通信发生了革命性变化，使电话、有线电视的普及变成可能；单晶硅的大量生产使清洁能源——太阳能的使用迅速增加；形状记忆材料做的卫星天线使现在的卫星通信和卫星定位变得百姓都能享受；高温超导材料的使用能使磁悬浮列车更节能，跑得更快，使发电热效率更高，输电损耗更小；储氢材料使环保的氢能汽车成为可能；各种复合材料的使用使得飞机的重量变轻，载货更多，飞得更远。

(4) 化学与环境科学 化学工业在带给人们大量有用物质的同时，也产生了大量的副产物，即废渣、废液、废气，俗称三废，环境污染，影响人们的身体健康。煤的燃烧发电产生的大量二氧化碳引起全球温度升高的温室效应，产生的二氧化硫引起了酸雨；冰箱和空调制冷剂氟里昂破坏了大气臭氧层，引起臭氧层空洞，若无臭氧层，大量紫外线直射到地面，就会给地球生命带来灾难性的后果；大量汽车排出的废气及微小颗粒引起光化学污染，PM_{2.5}持续严重超标，使人呼吸困难；化工厂的废液排入水体，引起了大量地表水甚至地下水的严重污染，我国80%的地表水被污染，华北地区大量地下水也遭污染，被污染水不仅严重影响人们的健康，还严重影响生态平衡；各种废旧塑料的随意丢弃，形成了“白色污染”甚至是“白色恐怖”……

虽然三废如此恶劣，但我们也不能不使用化学制品，三废的处理，大部分还是要用化学的方法解决。如用二氧化碳在催化下与氢气生成甲醇，燃煤产生的二氧化硫用来制硫酸；用绿色制冷剂代替氟里昂；化工厂的废液经过严格处理，有时还能通过化学方法变废为宝，如有毒的重金属离子通过沉淀反应或配位反应回收，有机物通过萃取或其他方法提取有用的原料；用易降解的玉米塑料代替难降解塑料；大量有机废渣用水热法重新变为煤炭。总之，化学是解决环境问题的重要途径。

0.4 化学学科的体系

随着化学研究不断深化和领域的不断扩大，化学产生了许多分支。按研究内容或方法的不同可把化学分为四大分支，无机化学以研究无机物和无机反应规律为主，研究有机化合物性质和有机物反应的分支为有机化学，分析化学是对各种物质进行分析、分离、鉴定的实验科学，物理化学是用数学和物理方法来研究物质性质和反应规律的学科。化学与其他学科的不断融合，产生了许多新的分支，如与生物学的融合产生了生物化学，与环境学交叉产生了环境化学，与海洋学的交汇产生了海洋化学等，化学的分支已有几百门乃至千门。

无机化学和其他化学分支一样，已从描述性的科学向推理性科学过渡，从主要是定性的科学向定量的科学发展，从宏观结构向微观结构深入。无机化学的发展还表现在与其他学科进行交叉渗透，如向生物学渗透形成生物无机化学，和有机化学交叉形成金属有机化学等。

0.5 学习无机化学的方法

无机化学可分为理论部分和元素及化合物部分。学习方法有所不同。对宏观理论，如化学反应的自发性、化学反应速率、化学平衡，先要弄清基本概念、定律的意义、条件和适用范围，然后进行分析推理、计算，最后得出结论；对于酸碱平衡、沉淀-溶解平衡、配位平衡、氧化还原平衡，是化学平衡等理论在溶液中的应用，要用化学平衡的观点来理解四大平衡；对微观理论，要有丰富的、合理的想象力，在自己头脑中建立一套崭新的微观体系模

型，使通常难以弄懂的原子结构理论迎刃而解。对元素及化合物的学习，并不要求把每种物质的性质，方程式都背下来，最重要的是用理论部分学到的知识、规律，特别是原子结构和元素周期律的知识来解释元素、化合物的性质，注意规律性，使之变成有规律、有条理、相互关联的知识。

【阅读资料】

我国最早的化学研究机构

黄海化学工业研究社的前身是久大精盐公司的化工研究室。1920年实业家范旭东先生为拓展事业的需要，打破欧美国家的技术封锁，在久大精盐厂附近辟地数亩，投资10万银元，营造一所化工研究室，其中设置定量分析、定性分析、化学实验室、动力室等，并附有图书馆。

范旭东先生为加强这个研究机构，充分发挥出它的效能，1922年8月把研究室从久大分离出来，成为独立的单位，改名“黄海化学工业研究社”。它是我国第一所私立化工研究机构。

当时，永利碱厂仍在建设之中，经济十分困难，要办研究机构，必定要多一份开支，而范旭东先生对学术研究不仅有很大的决心，而且气度不凡，愿意拨巨资进行创建。并率先将久大应得的酬金全部捐出作为黄海社的经费，受其影响，永利碱厂全体发起人都表示，全体创办人所得酬金悉数永远捐作黄海社学术研究之用。并经其兄范源濂先生介绍，得知开滦煤矿有位饱墨之士、著名的化学家孙学悟博士，能胜任研究所主持之职。

孙学悟为了中国自己的化学工业，毅然辞去英办开滦矿务局总化验师的高薪职务，欣然接受范旭东先生的邀请，出任黄海化学工业研究社社长。学识渊博的张子丰先生任副社长。后来，留美归来的张克思、卞伯年、卞松年、区嘉伟、江道江等博士，留法归来的徐应达博士，留德归来的聂汤谷、肖乃镇博士，以及国内的大学毕业生方心芳、金培松等助理研究员，也先后来到了“黄海”。著名的侯德榜博士当时也在“黄海”。一时，黄海化学工业研究社成了我国当时化学人才的聚集地。

为什么化学工业研究社以“黄海”为名？这是因为它诞生于塘沽。塘沽濒临渤海，而渤海汇合百川，朝宗于黄海。海洋蕴蓄着无尽的宝藏，是化学工业的广阔天地，也是大好的实验场所。范旭东先生说：“我们把研究机构定名为‘黄海’，表明了我们对于海洋的深情。我们深信中国未来的命运在海洋。”黄海成立时还制定了一个社徽。社徽为圆形，外圈为齿轮，代表工业的动力，内圈是互相涵抱的三个部分，一是致知，二是穷理，三是应用，互相涵抱表示彼此不可分割的紧密联系。

黄海化学工业研究社在成立之初，主要是协助久大、永利调查和分析原材料，试验长芦盐卤的应用，其次是探讨研究方向，为今后永利碱厂开拓新产品打下基础。1928年起，用广东沿海的藻类为原料试制钾肥和碘。同年5月，又采集山东博山铝土页岩矿石为原料，试炼出我国第一块金属铝样品，并用以铸成飞机模型，以志纪念。1931年，经过7年的艰苦努力，终于生产出第一批“永利纯碱”，在美国费城举办的万国博览会上，该产品获得金质奖章。1931年，成立菌学室，开展对酒精原料和酵母的开拓、选择、研究，推动了我国菌学及酒精工业的发展。研究社不但开展广泛的研究工作，而且还代为海关检查食品。“黄海”当时在世界上享有很高的信誉，经它检验的食品和商品，只要有“黄海”的印章，全世界均予承认。

1937年“七七事变”后，津沽沦陷，黄海社随久大、永利迁入四川，先长沙，后在五通桥购地建房继续研究。由于五通桥没有海盐，制碱遇到困难。在这关键的时候，侯德榜博士挺身而出，他说：“外国人能搞的，我们也能搞，而且一定要比他们干得更好”。范旭东听后大为振奋，立即拍案决定，由多名研究员做试验，侯博士在美国遥控（侯德榜当时在美国）。经过500多次试验，历时一年多，震惊世界的侯氏制碱法诞生了，“黄海”又东山再起（本书第11章会讲到）。

1952年10月，政府决定将黄海化学工业研究社的发酵与菌学研究室划入中国科学院，其他部分改组为“中央人民政府重工业部综合工业试验所第三部”。后来几经变迁，前者演化为中国科学院的微生物研究所，后者演化为化工研究院。

永利碱厂创办人尊重科学，重视人才培养。他们广招贤士，延揽人才，潜心科学研究，并与久大、永利的生产实践紧密结合，解决生产中的难题，这在80多年前的旧中国不能不说是慧眼独具，高瞻远瞩之举，以致后来受到周恩来总理的赞誉：“永利是一个技术篮子。”黄海学社为我国培养了一大批化学工业专家，高心芳、张子丰、吴冰颜、谢光遽、萧积建、赵博泉、高福远、魏文德等化工骄子，为我国化学工业的发展做出了巨大贡献。