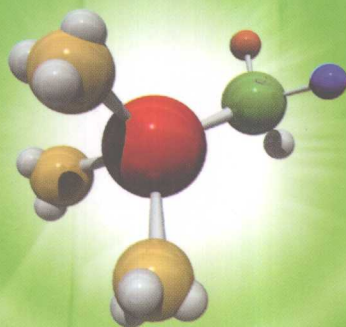




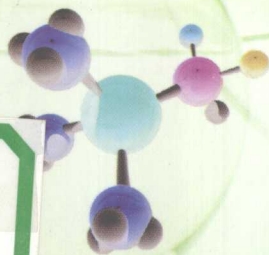
高等学校教材
TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



大学化学

(第2版)

王海荣 时清亮等 编



西北工业大学出版社

06
W206.1

高等学校教材

大学化学

(第2版)

王海棠 时清亮等 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书根据大学化学课程的性质和教学大纲编写,重视理论联系实际,突出化学知识的科普性和应用性,简要讲述了化学反应的基本原理、溶液、物质结构基础等化学基本理论知识;选编了化学与材料、化学与生命、化学能源与新能源的开发利用、环境的化学污染与保护、工业用油及化学改性等被社会普遍关注的重要学科相关的化学知识;注意了化学在工程技术中应用的新成就。通过本书的学习,使非化工类各专业学生对化学科学的特点及其重要作用有一概括了解,从而达到开拓视野、提高科学素养、增加解决复杂问题思路的目的。

本书可作为高等工业学校非化工类各专业的大学化学教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学化学/王海棠,时清亮等编. —2版. —西安:西北工业大学出版社,2005.9
(2006.7重印)

ISBN 7-5612-1539-8

I. 大… II. ①王… ②时… III. ①化学-高等学校-教材 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 050728 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029) 8493844

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:陕西丰源印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:16.25

字 数:390 千字

版 次:2002 年 9 月第 1 版 2006 年 7 月第 2 版第 3 次印刷

定 价:23.50 元

第2版前言

《大学化学》第一版出版以来,在河南科技大学机电、材料、车辆、建工等学院和洛阳工业高等专科学校使用,受到任课教师和学生的广泛好评,同时也提出一些意见和建议。根据教学需要和师生的建议,再版时对《大学化学》在原基本框架内作以下修改:

(1) 进一步优化整合第1,3,5等章的化学基本原理,删去一些与中学化学内容相重复的内容,增加一些理论说明,使化学原理的条理性更强。

(2) 加强化学在实际中的应用,补充近年来的一些新知识和新发现,如“天然气水合物”,“无机功能材料”等。增加了趣味性,同时更新了一些数据,使教材具有更强的时效性。

(3) 增加了人文化教育内容,如第8章增加“珍爱生命,远离毒品”一节,使学生从化学的角度进一步了解毒品的危害。

全书仍分为八章,王海棠和时清亮任主编,张永水和傅建杭详细审阅并提出许多宝贵意见。具体编写分工为王海棠(绪论,第1章)、张长水(第2,8章)、时清亮(第3章和第4章第2,3节)、全克勤(第5章)、张军(第6章的第1,2,3,4节和第7章)、李平(第4章第1节和第6章的第5,6节)。

修订本书时参考了兄弟院校的同类教材和公开出版的书刊中的有关内容,得到了河南科技大学教务处和化工与制药学院的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

虽经编者的不懈努力,但限于编者的学识和水平,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大师生和同行专家学者提出宝贵的批评和建议。

编者

2005年8月于洛阳

第1版前言

根据 21 世纪工程技术人才培养的需要,针对大学化学的课程教学大纲和工科非化工类专业学生学习化学的特点,汇集编者多年的教学经验,结合该课程教学学时少,内容涉及专业面广的具体情况,在广泛调查研究的基础上,我们编写了这本《大学化学》教材,供工科非化工类专业使用。

编写中尤其注意了以下几点:

1. 针对非化工类专业学生不从事化工生产和化学研究的特点,大幅度精减了原普通化学中化学原理和物质结构的内容,着重阐明基本理论和基本概念,简化了化学计算和测量,增大了材料、环境、能源和生命等学科的内容,充实了应用性和科普性化学知识,使学生了解化学与其他学科相互交叉渗透和相互促进的密切关系,并了解化学在科技进步和社会发展中的贡献和作用。
2. 对全书内容进行了优化组合和科学编排。化学基础理论集中在第 1,3,5 三章中讲述,自成系统,相关的工程技术专题紧跟其后,形成化学理论和专业实际的有机结合,适当保持了化学知识的系统性和逻辑性。
3. 在内容取舍上,注意科技新进展,以开拓视野、启发创新。
4. 本书有较大的专业覆盖面,以供不同专业选讲,使教学更具有针对性和灵活性。
5. 内容由浅入深,语言通俗易懂,例题配合恰当。每章后编有适量习题和思考题,便于学生自学和复习掌握。
6. 采用我国法定计量单位与国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)的有关规定,选录了较新的数据和常数。

本书由河南科技大学王海棠和时清亮担任主编。各章执笔人分别是王海棠(绪论、第 1 章)、张长水(第 2,8 章),时清亮(第 3 章和第 4 章第 2,3 节),仝克勤(第 5 章),张军(第 6 章的无机材料部分和第 7 章),李平(第 4 章第 1 节和第 6 章的第 5,6 节)。全书由张永水和傅建杭详细审阅并提出许多宝贵的修改意见。

本书编写时曾参考了兄弟院校的同类教材和公开出版的书刊中的有关内容,在此向有关作者和出版社表示深切的谢意。

本书是在教学改革中的一种尝试,限于编者的学识和水平,书中难免有错误和不足之处,敬请同行批评指正,欢迎学者和读者多提宝贵意见和建议。

编者

2002 年 8 月于洛阳

目 录

绪论	1
第 1 节 化学在社会发展和科技进步中的贡献和作用	1
第 2 节 学习大学化学的目的和意义	2
第 3 节 大学化学课程的性质与基本内容	3
思考题	4
第 1 章 化学反应的基本原理	5
第 1 节 化学反应概述	5
一、表征化学反应的用语和概念	5
二、化学反应中的能量守恒	8
第 2 节 恒压热效应与焓变	9
一、焓与焓变	9
二、标准摩尔焓变	9
三、物质的标准摩尔生成焓	10
四、反应的标准摩尔焓变的计算	11
第 3 节 化学反应的方向	13
一、自发反应与非自发反应	13
二、自发反应方向的判据	13
三、吉布斯函数变的计算和反应自发性的判断	17
第 4 节 化学平衡	20
一、化学平衡常数	20
二、化学平衡的移动	23
第 5 节 化学反应速率	24
一、浓度的影响和反应级数	24
二、温度的影响和阿仑尼乌斯公式	25
三、活化能	26
四、催化剂对反应速率的影响	27
第 6 节 氧化还原反应的能量转化和电极电势	29
一、氧化还原反应的能量转化	29
二、电极电势及其应用	31
思考题	37
习 题	38

第2章 化学能源与新能源的开发利用	43
第1节 化石燃料能源	43
一、石油和天然气	43
二、煤炭	44
第2节 化学电源	46
一、干电池	47
二、蓄电池	49
三、燃料电池	51
第3节 氢能源	52
一、氢气的制备	52
二、氢的储存与输送	53
三、氢的用途	54
第4节 太阳能	54
一、太阳能热利用	54
二、利用太阳能制冷、空调	55
三、太阳能的光电转换	56
第5节 其他新能源	57
一、风能	57
二、海洋能	57
三、地热能	58
四、天然气水合物	58
思考题	59
习 题	59
第3章 溶液	61
第1节 溶液的通性	61
一、溶液的蒸汽压下降	61
二、溶液的沸点升高和凝固点降低	62
三、渗透压	62
四、稀溶液的依数性	63
第2节 弱酸、弱碱的解离平衡	64
一、酸和碱的概念	64
二、弱酸、弱碱在水溶液中的解离平衡及 pH 值的计算	65
三、缓冲溶液和 pH 值的控制	68
第3节 难溶电解质的多相离子平衡	70
一、溶度积	71
二、溶度积和溶解度的关系	71
三、溶度积规则及其应用	72

第4节	配离子的解离平衡	74
一、	配离子的解离平衡	74
二、	配离子解离平衡的移动	75
第5节	表面活性剂	76
一、	表面张力与表面活性剂	76
二、	表面活性剂的特点和分类	76
三、	表面活性剂在溶液中的状态——界面吸附、界面定向和生成胶团	77
四、	表面活性剂的功能	78
五、	表面活性剂的应用	81
思考题		83
习 题		84
第4章	环境的化学污染与保护	87
第1节	大气污染与保护	87
一、	大气圈的结构与组成	87
二、	大气污染源与一次污染	88
三、	二次污染与四大环境问题	91
四、	大气污染的防治	94
第2节	水体污染及保护	96
一、	水中的污染物	96
二、	水体污染的控制与治理	99
第3节	土壤污染与保护	101
一、	土壤污染与污染源	102
二、	土壤治理与土壤保护	104
附:20世纪世界十大公害事件		105
思考题		106
习 题		106
第5章	物质结构基础	108
第1节	原子结构和元素的性质	108
一、	微观粒子的波粒二象性	108
二、	电子运动状态的近代描述	109
第2节	原子核外电子分布与周期系	114
一、	核外电子分布原理和电子分布式	114
二、	原子电子层结构与元素周期表的关系	119
三、	原子结构与元素性质的关系	120
第3节	分子结构和物质的性质	121
一、	化学键	121
二、	杂化轨道和分子结构	125

三、分子间力与氢键	129
第4节 晶体结构和性质	133
一、晶体的宏观特征	133
二、晶体的微观结构	134
三、晶体的基本类型	135
思考题	140
习 题	141
第6章 化学与材料	144
第1节 材料科学概述	144
一、材料与化学	144
二、材料分类	145
第2节 金属材料	146
一、钢铁	146
二、合金	147
三、金属材料的腐蚀与防护	148
第3节 传统无机非金属材料	151
一、陶瓷材料	152
二、玻璃材料	154
三、水泥材料	155
第4节 无机功能材料	156
一、形状记忆合金	156
二、超导材料	156
三、光导纤维	157
四、磁存储材料	157
五、吸声材料	158
六、光色材料	158
七、超细纳米材料	158
八、人工晶体	160
九、特种玻璃	161
第5节 高分子材料	162
一、高分子化合物概述	162
二、普通高分子材料	166
三、功能高分子材料	174
四、高分子材料的老化与防护	179
五、高分子材料的物理化学改性	182
第6节 复合材料	186
一、复合材料的类型和组成	186
二、高聚物基复合材料	187

思考题	188
习 题	188
第 7 章 工业用油及化学改性	190
第 1 节 石油概述	190
一、 石油的化学成分	190
二、 石油的炼制加工	191
第 2 节 燃料油	193
一、 汽油的使用性能及改良	193
二、 柴油的使用性能及改良	194
三、 燃料油添加剂	196
第 3 节 润滑油和润滑脂	197
一、 润滑油的作用、性能及改良	197
二、 齿轮油	199
三、 润滑脂	200
第 4 节 液压油	201
第 5 节 工艺油	203
一、 切削油	203
二、 防锈油	204
三、 其他工艺油	205
思考题	205
习 题	205
第 8 章 化学与生命	207
第 1 节 生物体中的化合物	207
一、 糖类	207
二、 蛋白质和氨基酸	209
三、 核酸	214
第 2 节 化学元素与人体健康	219
一、 组成生物体的化学元素	219
二、 几种必需元素的主要功能	220
三、 氧自由基的生理作用及消除	226
第 3 节 食品营养与科学保健	226
一、 营养素	227
二、 平衡营养与人体健康	229
三、 几种功能性食品简介	231
第 4 节 绿色食品	232
一、 绿色食品概述	232
二、 绿色食品的特点	233

第5节 珍爱生命 远离毒品	233
一、毒品的危害	233
二、毒品的分类	234
思考题	235
习 题	235
附录	237
附录1 我国法定计量单位	237
附录2 一些基本物理常数	239
附录3 一些物质的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯函数和 标准摩尔熵的数据	240
附录4 一些水合离子的标准摩尔生成焓、标准摩尔生成吉布斯函数和 标准摩尔熵的数据	243
附录5 一些弱电解质在水溶液中的解离常数	244
附录6 一些共轭酸碱的解离常数	244
附录7 一些配离子的稳定常数和不稳定常数	245
附录8 一些物质的溶度积(25℃)	245
附录9 标准电极电势	246
附录10 标准电极电势(碱性介质)	248
附录11 元素周期表	249
参考文献	250

绪 论

第 1 节 化学在社会发展和科技进步中的贡献和作用

世界是由物质构成的,世界上的一切物质,都在永不停息地运动着、变化着。一切动植物都难以抗拒生长、壮大、衰老、死亡的自然规律。各种工农业产品、原材料、仪器、设备,都经历着产生、损耗、老化、报废的变化过程。变化是一切物质的根本属性。化学变化是物质变化的主要形式,也是化学学科研究的主要内容。人类利用化学变化的原理,把空气、煤炭和水制成化肥;用矿石生产了钢铁、铝镁合金等金属材料;从石油中提炼出各种化学成分,并通过化学加工生产出塑料、纤维、橡胶等数以千计的化工产品,为提高人类的生活和生产水平创造了物质条件。

人类在逐步认识物质世界的过程中,建立和发展了自然科学。不同学科在不同层次、不同范畴研究物质和物质的变化。化学学科是在原子、分子的层次上研究物质的组成、结构、性质、来源和化学变化规律的科学,它可以使原子进行重新排列组合,从而制造新分子和具有非凡活性的化合物。因此,在创制新物质、新产品方面,化学具有巨大的潜力和独特的本领,这是其他学科难以比拟的。因此,化学被认为是一门“核心的、有用的和具有创造力的科学”。

化学的发展改变着人们的生活。化学合成纤维把人们打扮得更加多姿多彩,使用化学助剂使衣着更加舒适,而且还可以有抗静电、阻燃等功能。在食品加工过程中添加的化学物质——食品添加剂,改善了食品质量和结构,增加了食品的功能和作用,提高了食品的加工效率,人们的饮食不再仅仅是维持生存的初级食品,而是更加品质优良,种类多样,营养丰富,方便易用,从而满足了人们适应快节奏现代生活的要求。由多种化学物质配合而成的油漆、涂料以及各种新型建筑材料在美化着家庭居室,装扮着城市建筑。由煤化工、石油化工炼制出来的燃料油、润滑油、沥青等,满足了各种交通工具和工业生产的能源动力需求,铺平了一条条公路大道。用于美化生活的各种洗涤剂、化妆品以及其他日常生活用品,如炊具、餐具等等无一不是化学的最终产品。尤其是 20 世纪 60 年代以来,彩色荧光粉 $Y_2O_3:S:Eu^{3+}$ (红粉)、 $Y_2O_3:Tb^{3+}$ (绿粉) 和 $(Ca,Sr)_{10}(PO_4)_6Cl_2:Eu^{3+}$ (蓝粉) 的发现,带动了彩色电视的产生和发展,极大地丰富了人们的现代文化生活。氟氯烃化合物(CFC)的应用推动了电冰箱、空调机的问世,新型致冷剂又成功地取代了 CFC,使环保冰箱和空调机进入家庭。由此可见,没有化学的发展就没有现代生活。

化学不仅对满足人们的现代物质文化生活功不可没,而且也推动了科学技术的发展和进步。20 世纪 30 年代, $ZrO_2(YSZ)$ 以及 $Na-\beta-Al_2O_3$ 的合成,开发出了燃料电池等新类型的化学能源。20 世纪 60 年代发展起来的新型工程材料聚氨酯弹性体,具有耐油、耐磨、耐低温和耐老化等特殊性能,广泛用作飞机、汽车、拖拉机和纺织工业的高速传动部分。1986 年, $YBa_2Cu_3O_{7-8}$ 的合成开创了高温超导技术。对信息技术来讲,化学可谓微电子技术的基础,以制造集成电路板为例,从制板、晶体生长、晶体取向附生、扩散到蚀刻等,要运用很多化学处理

工序,才能达到亚微米级精度,同时还要为之提供超纯试剂、高纯气体、光刻胶等精细化学品。

20 世纪 70 年代,化学家利用石灰与水的反应原理,研制成功“静破碎剂”,可在短时间内将高山岩石和钢筋混凝土等高大建筑物无声安全拆除。20 世纪 80 年代化学家开发的片状碳酸钙,创造出中性造纸法新工艺,不仅使纸张的白度高达 99% 以上,百年不泛黄,而且大大提高了纸的不透明度、手感和印刷质量。由于表面活性剂的开发利用,使肥皂发展成洗涤剂,不仅方便了衣物的清洗,也使机械行业清洗由单纯使用汽油擦洗,改用金属清洗剂喷洗,大大提高了除油率。化肥、农药、植物生长调节剂等农用化学品的使用,使农、林、牧、渔业高产增收,而且大大降低了农民的劳动强度。

20 世纪高分子化学得到迅速发展,具有高强度、高绝缘性的特种高分子材料,满足了现代航天、军工、计算机等技术发展对特种材料的需求。具有分离功能的高分子材料被广泛用于电子工业,用于超纯水的制备,气、液体混合物的分离,各种贵金属和稀有金属的富集回收,血液中有毒物质的离析等。医用高分子材料如假牙、假肢、人造血管、人工心脏、接触眼镜、液体手套、人工心肺机、血液透析机等给病人带来了新的生命和活力。高分子药物的合成,实现了药物在人体内施药的部位定向和逐步释放的长效性。运载火箭、人造卫星、航天飞机、中继站等大量采用蜂窝结构、泡沫塑料、玻璃钢、高强高模的复合材料、密封材料等。材料的制备或连接,都离不开化学粘合剂。

化学的成果、化学的突破数不胜数。从最古老的化学工艺(酿酒、造醋、制药、染色、烧制陶瓷),到现代最先进的科学技术,处处都记载着化学的功绩。

21 世纪将是化学进一步施展才能的黄金时代。它将在生物探秘,创制新材料,解决全球最迫切解决的环境、能源、人口、粮食、资源等重大问题中做出贡献。新世纪对化学的最大挑战是探索生命现象的奥秘和进而“制造生命”。即将出现的神经化学,将认清大脑的功能、记忆的特性,从而能够积极处理诸如吸毒上瘾、精神病、嗜好、发怒、紧张、人类智慧和学习过程等方面的问题。材料技术、能源技术、电子技术、生物技术被列为未来的经济支柱,其中材料是发展能源、电子、生命技术的物质基础,而化学对材料具有非凡的开发创造能力。无论金属、非金属或是复合材料,化学科学可以根据需要设计新分子,修饰或合成新物质,加工成新材料。化学家正在加紧开发新的化学电源和新的太阳能利用技术,这些新能源的开发利用将会减轻温室效应加剧、光化学烟雾、酸雨和臭氧层破坏四大环境问题。绿色化学将致力于发展不产生污染的新化学反应和化学产品,实现污染物的“零排放”和无毒无害的生产条件。化学将通过基因工程发展可用海水灌溉的植物品种,使之能在地球上更广阔的地区内种植,为人类提供丰富的食品。化学还将把植物的光合作用变成实验室及工厂中的反应,彻底改变粮食的生产方式,免除农药对环境的污染。总之,化学将在发展中再创辉煌,为人类做出更多的贡献。

第 2 节 学习大学化学的目的和意义

化学是人类生活、生产活动中十分活跃、积极的学科,其应用渗透到生活、生产和现代高新技术开发的各个领域。工科大学生学习大学化学,是现实生活、学习的需要,也是时代发展和未来工作的需要。

日益提高的现代化生活,要求我们必须懂得化学,以便合理使用各种化学制品,科学地安排生活,提高生活质量。例如:如何正确选用医药、油漆、涂料、粘合剂、清洗剂、化妆品等等,以

提高生活的安全性;如何科学地进行饮食,以保证营养平衡、增力增智、健康长寿;如何有效防止金属器皿的锈蚀、塑料制品的老化,以延长物品使用期;等等。这些都需要丰富的化学基本知识和素养。

现代科学技术在高层次上走向综合化和整体化,交叉科学不断涌现,化学将更加广泛深入地同各个工程技术学科相互渗透,并相互促进发展。现代社会发展的三大支柱:材料、能源和信息、以及生命科学和环境科学,都涉及十分广泛的化学知识。例如:用化学加工代替机械加工可获得精美的工程材料和零部件;用化学方法可以改变原材料的内部组成,从而提高工程材料的强度、韧性、塑性等性能;使用少量化学活性物质可以使润滑油、燃料油等各种工业用油获得优良的使用性能,等等。学习大学化学,就是为了掌握物质发生化学变化的规律,改变物质的性能,甚至使一些物质变无用为有用,变一用为多用,变废为宝,化害为利,从而充分利用自然资源,创造出更多更好的新产品来。化学是全面发展的工程技术人才知识、素质和能力结构中必不可少的重要组成部分。

工科大学生学习大学化学的目的在于:使非化工类大学生了解现代化学语言,树立全面正确的化学观点,在中学化学基础上进一步了解或掌握化学基本理论、知识和技能,了解化学科学技术与其他科学技术的交叉渗透和相互促进关系,能以化学观点观察、解释工程技术实际和现代生活实际中出现的物质变化现象,懂得利用化学方法改进物质的性能,开发利用新资源和新能源,改善人类生存环境和条件,对一些涉及化学的工程技术问题有初步分析解决的能力。初步了解化学在科技进步和社会持续发展中的作用,建立工程技术领域必备的化学知识结构,为今后继续学习和工作打下必要的化学基础。

第3节 大学化学课程的性质与基本内容

大学化学是高等工程教育中实施化学教育的基础课程,是培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高”的现代高级工程技术人才所必须的高等化学教育,是高等院校非化工类专业必修的一门公共基础课。

大学化学的教学对象是非化工类专业的大学生,今后不从事化工生产和化学研究。在具体内容取舍上,只要求了解现代化学语言和观点,明确化学基本概念和理论,熟悉与几大重要学科关系密切的主要知识点和应用原理,注重现代化学的先进性、科学性、新颖性和实用性。应该说,通过本课程的学习,能使学生受到良好的化学素质教育,并为今后创新发展拓开新的思路。具体内容可分为下述3个方面。

1. 化学基础理论

化学反应原理:通过热力学的简单计算,明确化学反应中的能量关系,判断化学反应自发进行的方向和程度;外界条件对反应方向、程度及速率的影响;水溶液中几种化学反应规律及电化学基础。

物质结构基础:明确物质内部原子、分子晶体结构及其与物质性质的关系;了解电子运动的规律及物质发生化学变化的本质。

2. 与化学密切相关的重大科技论题

着重介绍化学在当今世界普遍关注、迅速发展的重大学科(材料、能源、环境、生命、工业用油等)中的交叉渗透和应用,反映化学在社会发展和科技进步中的地位和作用。

3. 化学实验(化学技能训练)

大学化学实验是培养工科学生科学素质和能力的一个重要环节(另编写有《大学化学实验指导书》)。通过开设水的净化与水质检测、氧化还原与电化学、材料装饰与保护、粘合剂的性能及选用等实验,不仅可以加深、巩固学生对所学理论知识的理解,还可以训练基本操作技能,培养观察和记录现象、理论分析总结、撰写实验报告等多方面的科学素养。

思考题

1. 为什么说化学是一门富有创造力的自然科学?
2. 为什么说化学改变了人们的生活?举例说明。
3. 化学研究的对象和目的是什么?
4. 非化学、化工专业的大学生为什么也要学习化学?
5. 大学化学的基本内容有哪些?

第 1 章 化学反应的基本原理

化学反应是物质发生化学变化的本质原因,是用于改善物质性质或创制新物质、新能源的理论根据。本章着重讨论表征化学反应的用语和概念、化学反应中的能量转换形式及其计算、化学反应进行的方向及其判据、化学平衡常数及平衡的移动、电化学基础等。

第 1 节 化学反应概述

一、表征化学反应的用语和概念

1. 物质的量

化学反应中,反应物的量和生成物的量都要发生变化,需要选择一个基本量来进行化学计量。1971 年,第 14 届国际计量大会(CGPM)选择物质的量作为基本物理量,用以计量原子、分子、电子等微粒的“物质的量”。国际单位制(SI)中规定物质的量单位为摩尔,符号为 mol,其定义为:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的微粒数目与 12g 碳(^{12}C)的原子数目相等,则这个系统物质的量称为 1 摩尔(1mol)。

在中学化学中已经知道,物质的质量(符号 m ,单位 g)、物质的量(符号 n ,单位 mol)与摩尔质量(符号 M ,单位 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)之间的关系为: $m/M=n$,即

$$\frac{\text{物质的质量(g)}}{\text{摩尔质量(g} \cdot \text{mol}^{-1})} = \text{物质的量(mol)}$$

物质的量的应用为化学计算带来了很大方便。例如下列化学反应,从反应方程式中各物质的量的关系和它们的摩尔质量,就很容易看到 34 kg 过氧化氢完全分解时可产生 16 kg 氧气(过氧化氢是一种火箭燃料的高能氧化剂):



物质的量/mol	1	1	0.5
摩尔质量/($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	34	18	16

因此,在工业生产和科学实验中,经常用物质的量计算原料配比和理论产量。

在使用物质的量时,必须注意:

(1)物质的量不能用“摩尔数”来代替。因为 mol 是单位,物质的量是基本量,量与数值和单位的关系是:量=数值 $\times$ 单位。显然,物质的量 $\neq$ 摩尔数,因此不能用“摩尔数”这个词来代替物质的量,例如,在理想气态方程 $pV=nRT$ 中, n 不能称为“摩尔数”,而只能说是“气体的物质的量”。

(2)在使用“物质的量”或“摩尔”这个单位时,必须指明它所对应的基本单元,并用化学式表示。基本单元可以是自然存在的粒子,如分子、原子、电子、基团及其他粒子,也可以是这些粒子的特定组合,如 H_2O_2 , $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}_2$, FeSO_4 , $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $(\text{Ag} + \frac{1}{2}\text{O}_2)$ 等等。所以,不能笼

统地说“氧的物质的量”、“氧化铁的物质的量”，因为基本单元不明确。氧的基本单元可以是 O_2 ，也可以是 O 或 $(2O)$ ；氧化铁的基本单元可以是 FeO ，也可以是 Fe_2O_3 或 (Fe_3O_4) 等。

对于化学反应，一个实际完成的反应方程式可以作为特定组合的一个基本单元，如铁的氧化反应，以 $(4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3)$ 为特定组合的一个基本单元，当 4 mol Fe 和 3 mol 的 O_2 反应生成 2 mol 的 Fe_2O_3 时，称为“ 1 mol 反应”；如果以 $(2Fe + \frac{3}{2}O_2 = Fe_2O_3)$ 为基本单元，仍然是 4 mol Fe 和 $3 \text{ mol } O_2$ 反应生成 $2 \text{ mol } Fe_2O_3$ 时，则称该反应为 2 mol 反应。

2. 化学反应进度

在研究化学反应时，常需要描述和表征化学反应是否进行或进行的程度，对于一般的化学反应，由于各物质的计量系数不同，反应物的消耗量与生成物的生成量在数值上是不等同的。例如，在铁的氧化反应中：



如果 Fe 损耗了 0.4 mol ，则 O_2 必消耗 0.3 mol ，而 Fe_2O_3 则增加 0.2 mol ，这给描述反应进行的程度带来了困难。为统一表示某一反应进行的程度，1982 年，我国国家标准中将“反应进度”作为化学反应的最基础的量，大大方便了对化学反应进行程度的定量描述。

以铁的氧化反应为例，在上述化学计量方程式中，各物质的化学式前的系数称为化学计量数，用符号 ν_B 表示，是无量纲的纯数，规定： ν_B 对于反应物取负值，生成物取正值，则上述化学计量方程式可作如下变换：

$$0 = 2Fe_2O_3 + (-4Fe) + (-3O_2)$$

若以 B 表示物质，可表示为如下的反应通式，即

$$0 = \sum_B \nu_B B$$

式中， $\sum_B \nu_B B$ 表示各项加和。反应进度 ξ 的定义是：对于 $0 = \sum_B \nu_B B$ 的某一反应，某一物质的量的变化量除以其化学计量数 ν_B 。即

$$\xi = \frac{\Delta n(B)}{\nu_B}$$

因 ν_B 是个纯数，故 ξ 的单位是 mol 。同一化学反应中任一物质的 $\Delta n(B)/\nu_B$ 数值都相同，所以，无论选用何种物质的量的变化来进行计算，反应进度的值都一样。例如反应 $4Fe + 3O_2 = 2Fe_2O_3$ 在进行中，当 Fe 消耗了 0.4 mol ， O_2 消耗了 0.3 mol ，生成了 0.2 mol 的 Fe_2O_3 时，按定义式计算反应进度为

$$\xi = \frac{\Delta n(Fe)}{\nu(Fe)} = \frac{-0.4 \text{ mol}}{-4} = 0.1 \text{ mol}$$

$$\xi = \frac{\Delta n(O_2)}{\nu(O_2)} = \frac{-0.3 \text{ mol}}{-3} = 0.1 \text{ mol}$$

$$\xi = \frac{\Delta n(Fe_2O_3)}{\nu(Fe_2O_3)} = \frac{+0.2 \text{ mol}}{2} = 0.1 \text{ mol}$$

可见，无论用反应系统中哪种物质来表示该反应的反应进度 ξ 均为 0.1 mol 。也就是说，此反应已进行到消耗掉 0.4 mol Fe 和 $0.3 \text{ mol } O_2$ ，生成 $0.2 \text{ mol } Fe_2O_3$ 的程度。

应当注意，反应进度 ξ 的数值与反应式的写法有关。因为同一化学反应，反应式写法不同， ν_B 数值就不同，那么进行 1 mol 反应对应各物质的量的变化就有差别，必导致 ξ 的数值有别。例如，铁氧化为三氧化二铁的反应式写为