



# 化学在科学与社会发展中的基础性地位与作用\*

化学科学学科发展战略研究组

(国家自然科学基金委员会化学科学部 北京 100085 中国科学院化学部 北京 100190)

**摘要** 文章对化学科学在认识自然中的重要地位,在满足国家重大需求中的战略地位以及在推动其他学科发展和技术进步中的重要作用进行了系统评述。

**关键词** 化学,认识自然,国家重大需求,学科发展,技术进步

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2011.07.004

化学是研究物质变化和化学反应的科学,是与材料、生命、信息、环境、能源、地球、空间和核科学等密切交叉和相互渗透的中心科学,是发现和创造新物质的主要手段。化学作为一门“核心、实用、创造性”科学,在人类认识自然和改造自然、提高人类生活质量和健康水平、促进其他学科发展、推动社会进步等方面已发挥且正在发挥着巨大的、不可替代的作用。现代化学科学倡导绿色和可持续发展的理念,在追求物质资源利用最大化、环境影响最小化的同时,不断为建设经济可持续发展、环境友好的人类社会开辟新的能源、创造新的物质。

## 1 化学科学在认识自然中的重要作用

一个多世纪以来,现代化学科学已为人类认识物质世界和促进文明进步做出了巨大贡献。化学研究物质结构的多样性和分子多样性,合成制备了数以千万计的新分子和化合物,发展了化学合成理论和技术,为探究生命起源、创造生物活性物质、新材料及新药物奠定了坚实的理论和实验基础。化学研

究物质之间的转化规律,探究化学反应的机理,为在真实时空认识物质转化过程,揭示物质转化本质奠定了基础。化学创立了研究物质结构和形态的理论、方法和实验手段,认识了物质性能对物质结构的依赖性,为设计制备各类特种化学物质提供了有效的方法和手段。化学科学研究正在向分子以上层次拓展,以期认识超分子、分子聚集体及其更高级结构的形成、构筑、性能及其内部分子间相互作用的本质,从而为理解生命过程、不断提高人类的生存质量和健康水平提供保障。化学不断建立和完善各种用于分析和检测物质形态、结构、含量及其理化特性的原理、方法和技术,满足原位、在线、高灵敏度监测环境质量的需要,与此同时,化学还对环境污染的有效控制提供技术和手段。

现代化学科学更加关注学科的绿色和可持续发展,不断发展对环境友好的化学反应和化学过程,从源头上解决化学过程对生态环境的污染问题。化学科学重视对复杂化学体系的研究,从实验和理论两方面探索体系的结构与功能的关系,如分离-功能筛选-性质一体化,研究化学中的尺度效应和多尺度化学过程,建立复杂体系的多层次结构

\* 收稿日期:2011年3月4日

研究的实验和理论方法。化学科学还十分注重信息技术在化学中的应用。总之,化学科学为推动当代社会进步提供了必要的物质流、能量流和信息流,是当代自然科学最重要的支柱之一。

## 2 化学科学在满足国家重大需求中的战略地位

化学科学面对来自生命科学、材料科学、信息科学等其他学科发展的挑战,应对人类认识自然提出的新要求,在不断开拓新的研究领域和思路的同时,不断地创造新物质来满足人民的物质文化生活需要,造福人类。当前,针对能源与资源的有效开发利用、环境保护与治理、人口与健康,开发具有不同性能的新材料成为摆在化学科学工作者面前的重大的挑战,需要化学工作者在更深层次上进行化学学科的基础和应用基础研究,提出新的理论,建立新的方法和手段。经济社会的发展对化学科学不断提出新的更高要求,主要体现在以下几个方面。

### 2.1 化学是人类解决粮食问题的重要学科之一

我国是农业大国,农业是国民经济的基础,是人民健康、经济可持续发展和社会长期稳定的决定因素。我国人口在本世纪中叶将达到16亿左右,保持农业的可持续发展是我们面临的艰巨任务。农业发展的首要问题是确保全国人民的食物供给,其次是不断提高食物的品质,还要保护并逐步改善农业生态环境,为农业可持续发展奠定基础。化学将在开发高效肥料、高效农药、农膜,特别是环境友好的生物肥料、绿色农药和生物可降解的农用材料及开发新型生产资料等方面发挥巨大作用。例如,尿素是历史上第一个由无机物合成得到的有机物,是最主要的氮肥之一,对农作物的丰产发挥了重要作用。近20年来,化学家合成和发展了一系列高效、低毒、生物可降解的绿色农药,这些农药必将在未来建设环境友好型农业中发挥重要作用。

科学家在光合作用研究方面走过了漫长岁月,目前对光合作用已有较详细的了解。在不远的将来,通过综合利用各种先进手段,有望揭示光合系

统高效吸能、传能和转能的机理,建立反应中能量转化的动力学模型和能量高效传递的理论模型,从而达到高效利用太阳光能为农业增产服务的目的。

### 2.2 化学是提高人类生存质量的有效保障

不断提高生存质量和健康水平是人类的基本要求,也是社会进步的重要标志。在此方面,时代和社会赋予了化学科学工作者重要责任。人的生长、繁衍、衰老、疾病和死亡等所有生命过程都包含着复杂的化学过程,人类的生活质量也取决于天然的和合成的化学物质。目前,对于这些复杂生物过程的研究正处于分子水平的关键阶段,急需化学家和其他科学工作者共同努力,从而设计合成新的疾病诊断、治疗与预防的药物和医用材料,以减轻各种疾病带给人类的痛苦,促进生命科学、医学的发展,提高人类的生活质量。

化学科学为人口与健康做出了重要贡献。各类药物、人造骨骼、血管、血液等的制造都需要合成化学的技术。化学科学与传统中医药结合,正推进中药现代化,为继承和发展中医药这一祖国悠久文化遗产发挥重要作用。现代化学科学快速、简便的分析测试方法和技术为生命科学研究提供了先进的研究手段,为人类基因组计划以及方兴未艾的蛋白质组学和代谢组学等研究奠定了基础,同时为疾病的早期诊断和预警提供了新方法和技术。

### 2.3 化学在能源和资源的合理开发和高效利用中发挥关键作用

能源是国民经济、社会发展和人民生活水平提高的重要基础。能源工业在很大程度上依赖于化学过程,能源消费的90%以上依靠化学和化学工程技术。控制低品位燃料的化学反应,提高能源转化率,是化学科学实现既保护环境又降低能源成本所面临的一大难题。煤、石油、天然气等化石能源,因储量有限且不能再生,故其消耗殆尽已成不可逆转的趋势。因此,具有重要战略意义的新能源的开发,包括太阳能、生物质能、核能、天然气水合物及次级能源(氢能和燃料电池)等均急需化学家提出新思想、创造新概念、发展新方法。

煤化工、石油和天然气工业过程中的许多重要



过程都是化学科学的重要研究内容。传统化石燃料能源体系的高效利用离不开化学科学。在催化材料及其表/界面控制、化石能源和生物质的均相/非均相高效催化和绿色过程、氢和甲烷等燃料分子的存储和输运、新能源开发和利用(光/电及电/光转化、热/电及电/热转化等),以及水的催化裂解等绿色转化及应用领域,化学科学将扮演无法替代的关键角色。同样,化学科学在核能、太阳能和风能的利用过程中同样起着重要作用。

化学科学在煤炭、石油和天然气资源的开采利用,天然动植物资源和海洋资源的利用,战略金属和非金属元素资源的高效开采利用等方面也发挥着不可替代的作用,为合理利用资源并把资源优势转化为技术优势提供保障。

#### 2.4 化学是先进材料、信息技术和产业的基础

化学创制新的物质以代替传统或稀缺的物质,赋予材料光、电、声、磁等物理性能和化学反应性能,给人类带来半导体材料、光学材料、磁性材料、超导材料、超高温耐热材料、超硬材料等。化学科学是先进材料的“源泉”。一方面,材料的合成与制备中的科学问题、材料的组成、结构及其与性能之间的关系是化学研究的主要内容之一;另一方面,半导体材料、光学材料、磁性材料、超导材料、超高温耐热材料、超硬材料等合成与制备,组成、结构与性能的关系等研究均依赖于化学科学的原理和方法。

化学科学为先进信息技术和产业提供了新型材料和新的概念,发展了一大批存储材料、导电材料、显示材料等。例如,有机发光二极管以及有机液晶材料已经被分别应用于各类照明、大屏幕显示以及各类手机、电脑和电视机液晶显示器中,创造了良好的经济和社会效益。电子通讯、计算等技术的发展,对更复杂、更小巧的电子器件以及电子器件的集成度提出了更高的要求。然而,基于在单晶硅片生产大规模集成电路器件的技术已不能满足要求,新的化学方法将为超大规模集成电路提供新的物质基础。器件的小型化莫过于实现分子水平的器件功能化,开发和研制分子纳米器件已成为当今分

子电子学领域的重大课题。

#### 2.5 化学为解决环境问题提供方法和手段

作为经济高速增长的发展中国家,我国目前正面临比发达国家更加复杂的环境问题,而环境问题的妥善解决是社会经济可持续发展的保证。化学科学不仅可以提供在线的高灵敏度环境监测方法,同时可以提供控制、治理环境污染的手段和途径。

化学科学在降低污染物排放,修复污染环境,改善生态环境和保障人类健康等方面都发挥着不可替代的作用。例如,化学科学为重金属、持久性有机污染物等重要污染物的富集、分离和检测提供关键技术和材料,为污染物的削减和水资源的保护提供方法和物质基础;通过发展可持续发展的绿色有机化学与有机化工,如开发低毒试剂、原子经济性反应、无溶剂反应、水相反应、离子液体中的反应、高效催化反应等,可以从源头上预防和降低化工过程对环境污染的风险。

#### 2.6 化学在满足经济社会发展需要、支撑产业结构调整方面发挥重要作用

我国过程工业技术和生产装备落后,普遍存在资源利用率低、能耗高、污染严重等问题。某些行业的资源利用率仅为10%,单位产值能耗是世界平均水平的2—4倍,空气、水和固体废弃物污染严重。作为化学科学的重要内容,化学工程科学是多学科交叉结合形成的应用于物质转化过程的工程科学分支之一,是支撑占我国制造业产值约50%,涉及资源、能源、化工、冶金、环境、制药、化肥、食品等众多行业的过程工业发展的应用基础科学。实现核心技术的源头创新、节能降耗,创建高效、清洁、节能及安全、经济的物质转化工艺、过程和系统,进而实现产业结构的调整,需要化学工程科学的指导。

进入21世纪,以“三传一反”为核心基础的化学工程科学,以化学过程工程和化学产品工程的面貌出现,正在向更为宏观的过程生态系统和更为微观的原子/分子和纳微尺度延伸,并致力于建立跨尺度的统一理论体系和方法,以进一步满足传统化学工业产业结构的调整和以生物、纳米、信息和材料为代表的高新技术产业的迅速发展的重大需求。



## 2.7 化学为国家安全提供保障

化学科学在国防、军工产品开发和生产等方面发挥重要作用。化学科学为研制和开发航空、航天、火箭、导弹、潜艇等急需的特种材料提供新的制备方法和加工原理。这些尖端军用材料具有重要的战略地位,直接关系国防安全。

化学科学为食品安全、空间探测和国土安全等提供关键的检测技术。许多危害公共安全的毒品、爆炸物、易燃物等的检控需要丰富的化学科学的原理和技术。目前,机场、车站、码头、景区等公共场所的安全检查装置大多采用了化学检测技术。由于恐怖主义的潜在威胁及新传染病的不断出现,研究建立快速灵敏的分析方法与预警系统至关重要。化学科学将在这些方面发挥不可替代的作用。

## 3 化学科学极大地推动其他学科的发展和相关技术的进步

### 3.1 化学的发展与物理、数学等科学密切相关

现代化学科学的形成和发展得力于物理、数学等基础科学的基本理论和技术,同时反过来也促进它们的发展,丰富了它们的内涵。热力学、物质结构理论、量子力学等学科的形成和发展无不是最好的例证。从总体上看,当代科学的发展表现出分化和综合并存的趋势。一个很好的例证就是,远离平衡态的耗散结构理论的研究、前线轨道理论及分子轨道对称守恒原理的研究以及分子反应动力学的交叉分子束的研究,影响深远并都获得了诺贝尔化学奖。另一个例证是,原子簇、分子簇、光物理与光化学、激光化学、表面科学、新材料的研究等成为物理学家和化学家共同关注的课题。现代化学科学在材料合成、制备和加工等方面取得的成就推动了物理科学在高温超导和巨磁阻等领域的重大突破。

### 3.2 化学为生命科学提供了新的研究理论、方法和手段

化学科学为阐明自然界最高级形态中物质的结构与功能,研究生命过程中的物质、能量转化规律等奠定了基础。如,无机化学对金属酶的结构和

生物作用的研究,金属对核酸、蛋白质等生物大分子的调控研究及无机药物治疗与诊断药物的发展等,大大促进了生命科学和现代医学的发展。物理化学、有机化学等的原理和方法为现代生物化学和分子生物学等的发展提供了理论支撑,为揭示生理、病理过程奠定了理论基础。有机化学在蛋白质和核酸的组成与结构方面的研究,序列测定方法的建立,合成方法的创建等为分子生物学的建立和发展奠定了基础,同时为医药卫生事业提供了有效的工具。分析化学为生物分子高效灵敏检测、药物作用机理研究等提供了有力手段,也为疾病的早期诊断与预警提供了方法学上的可能。高分子科学在生物医用材料、药物控释体系及高性能仿生器件等的研究成果极大地促进了生物医学领域的发展。

### 3.3 化学是材料科学发展的重要源泉

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。我国国民经济的发展、工业和国防现代化的实现,均依赖于各种不同性能材料的开发与应用。化学在原子、分子和分子以上层次上研究材料组织结构的设计、控制及制造,创制新的物质以代替传统或稀缺的物质,为人类社会提供各种功能材料。化学科学为材料的合成与制备、揭示材料的组成、结构及其与性能之间的关系提供核心支撑和指导。例如,无机材料的优化和新型功能材料的开发,离不开无机合成化学和构效关系规律的发展;自由基化学和金属有机化学等的发展,促进了高分子材料的研究;对芳香杂环化合物以及相关的共轭体系的研究,大大推动了有机光电功能材料的发展。

### 3.4 化学是纳米科学和技术发展的基础

纳米技术是近 10 年来最富有活力、发展最为迅速的研究领域,将为工业技术的提升带来了新的机遇,将成为 21 世纪主流的科学技术,并引发新的工业革命。纳米科技涉及多学科领域,是高度交叉的综合性学科,也是一个融前沿科学和高技术于一体的完整体系。它不仅包含以观测、分析和研究为主线的基础学科,同时还有以纳米工程与加工学为主线的技术科学,包括纳米物理学、纳米化学、纳米材料学、纳电子学、纳米生物与医学、纳米环境



学、纳米能源学及纳米表征测量学等。纳米科技的最终目标是以原子、分子为起点,“自下而上”,从纳米材料或纳米结构出发,或利用纳米加工技术,制造出具有特殊功能的材料、新型器件和系统。化学家所创造的新分子及其自组装结构为纳米科学研究提供了丰富的研究对象,化学科学的理论对纳米结构、纳米材料的制备和性能研究起着重要的指导作用,表面、界面化学的研究成果将为纳米器件的构筑提供新的设计思想,同时现代化学科学的研究方法和手段促进了纳米技术的快速发展与进步。因此,化学科学是纳米科学和技术发展的基础。

### 3.5 化学在环境科学发展过程中发挥重要作用

化学科学在认识 and 解决环境问题中发挥着至关重要的作用。环境是一个多因素的开放体系,污染物浓度范围广,并以不同形态存在,它们在同一介质及不同介质之间迁移转化或相互作用,乃至发生长距离迁移;介质组成对污染物的迁移转化与生物有效性有重要影响;环境中通常存在多种污染物的复合污染,表现出复合生物/生态效应;化学污染物可通过食物链等途径影响人类健康。因此,探讨环境污染机制和解决全球环境问题特别需要化学与相关学科紧密协作,其中化学科学起着极为重要的作用。化学科学不仅为环境污染物的识别,而且为从分子水平掌握其迁移转化行为、区域环境过程、生物生态效应等提供重要的研究方法和手段,为环境污染控制与修复提供新思路、新技术、新材料,还可为政府进行环境决策,实施环境管理职能、履行国际环境保护义务提供理论支持与技术支撑。化学科学、特别是环境化学在保障生态环境安全、

实施可持续发展战略中起着不可替代的作用。

### 3.6 化学为能源科学提供新理论、新材料、新技术和新应用

化石能源的高效利用、可再生能源的发展受到各国政府的高度关注。迄今,科学家已成功开发出用于热和光伏发电的太阳能电池板、用于风力发电的关键材料,发明了可充电电池等便携式能源。事实上,化学可在分子水平揭示能源转化过程中的本质和规律,为提高能源利用效率提供新思路,并为新能源和节能新技术的开发提供低成本、高效率的新材料,如太阳能电池的染料、光伏材料、燃料电池的纳米催化材料、新型节能/储能材料等。同时,通过分子组装进行新型能源器件的结构设计和构筑。

### 3.7 化学是未来信息技术的基础

电子、通讯、计算等高新技术的发展对更复杂、更小巧的电子器件以及电子器件的集成度提出了更高的要求。上个世纪人类最伟大的创造之一是信息技术的诞生和发展,而以无机半导体性质为基质的晶体管和集成电路的发明造就了微电子产业的辉煌,人类也因此由工业社会发展到信息社会。目前,半导体晶片上电子器件的集成数目按照摩尔规则指数地增长,在尺寸上已逐渐逼近物理极限,这对信息科技的进一步发展提出了重大挑战。新一代信息材料的探索成为国际上最为热门的前沿课题之一。而以具有存储特性的分子材料、分子电子器件的化学研究,将在未来信息技术中发挥重要的作用。另外,扫描隧道显微镜等技术使人们对于研究单个原子和分子的性质和行为,以及在分子水平上研制电子器件充满了信心。

## Basic Status and function of Chemistry in the Progress of Science and Society

Research Group of Chemistry Science Developmental Strategies

(Department of Chemical Sciences, NSFC 100085 Beijing Division of Chemical Sciences, CAS 100190 Beijing)

**Abstract** This paper systematically reviews the important status of chemistry science in understanding nature, and the strategic status in satisfying the state's great demands, and the important functions to push the progress of other disciplines and technologies.

**Keywords** chemistry, to understand nature, state's great demand, discipline progress, technology advancement