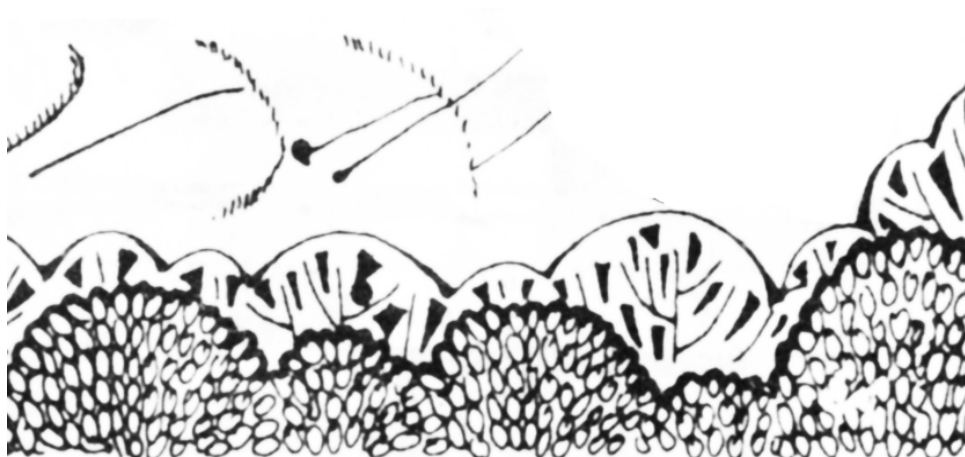


新时代化学概况

（四）

文强 编著



目 录

溶胶-凝胶化学与无机-有机杂化高聚物材料的合成	1
表面化学	1
超微粒子及其催化研究	8
超声的化学效应与应用	11
分子力学的基本原理	29
现代晶体学与化学	38
固-液界面现场谱学电化学	54
多孔陶瓷膜与溶胶-凝胶方法	62
相干激光控制化学反应	71
基础研究在炼油工业加氢精制催化剂开发中的作用	79
肽链中电子转移研究的进展	91
化学与生命科学	98
金属酶的化学	98
微囊化技术在生物学中的应用	107
生命及其分子机器	114
RNA 结构及预测的研究进展	123
在有机溶剂中进行的酶催化反应	131
簇酶（蛋白）的活性中心及其模拟研究	139
蛋白质的结构预测和分子设计	147

溶胶-凝胶化学与无机-有机杂化高聚物材料的合成

表面化学

现代科学技术的发展促进了科学研究各学科间相互交叉和相互渗透,同时形成了一批新兴学科和边缘学科。所谓表面化学就是在原子或分子尺度上研究两相界面上所发生化学过程的一门科学,它是在物理学、化学和电子计算机科学等取得很大进步的基础上发展起来的一门新兴学科。

表面现象是人们非常熟悉的自然现象,在光的作用下,植物通过叶片表面叶肉中的叶绿素将空气中游离的二氧化碳和水转化为淀粉和氧气的光合作用就是一个非常有趣的表面反应。科学家们发现,由2-3mm厚的灰质组成的人类大脑皮层是一个比表面积(S/V)很大的复杂表面,在思维过程中,大脑皮层进行的信息交换和传递被认为是当今自然界中最复杂的表面过程。表面现象的应用还不知不觉地渗透到了我们生活的各个方面。例如,肥皂、洗衣粉、去污剂等各种表面活性剂已是人们必不可少的日用品。对表面现象的深入了解,使食品工业、土壤化学、造纸、印刷和橡胶工业有了很大的发展。表面化学在化工生产、电化学和化学抗腐蚀以及各种分离膜和生物膜研究中所起的作用越来越明显,表面化学的发展使多相催化化学的面貌发生了根本的变化。

一、对表面化学由浅入深的认识

人类对表面的认识经历了由浅入深的漫长时期。19世纪，人们就发现表面相具有体相所没有的许多独特性能，并且能够精确地测定表面张力，气体在多孔性固体上的吸附量和固体的蒸发量等，并从这些实验得到了很多表面热力学参数。Gibbs 总结和发展了前人的工作，奠定了至今我们仍在采用的表面热力学基础。本世纪开始的 40 年，表面化学得到迅速的发展。随着用于合成氨的铁催化剂的发现和铝、钾、钙等添加剂作用机理的进一步了解，以及一氧化碳在铁、铈、镍等金属氧化物催化剂上合成汽油等表面反应的深入研究，表面化学学科分支逐渐形成。一些著名的物理学家和化学家，包括 Polanyi、Langmuir、Rideal、Taylor 和 Emmett 等对表面吸附、表面基元反应机理作了许多开创性的研究，并创建了一些表面分析技术，如测量固体表面积、吸附热和表面吸附与化学反应活化能等。50 年代，光谱、X 射线衍射、弛豫谱和分子束等技术在化学的很多领域都已得到应用，并取得不少成果，但要得到表面几层原子的信息，人们必须排除高达 10^{10} 的背景信号的干扰，而表面原子的散射截面很小，所以当时众多的物理测试技术并不能获得真正来自表面的信息。60 年代初期，超高真空技术，电子计算机技术和电子学技术的发展促进了很多表面灵敏仪器的研究和生产，表面化学的研究发生了新的转机，人们开始能在原子、分子尺度上研究表面组成，结构和性质。如今人们已能在小于微米级的表面上获得小于百分之一原子单层 ($< 10^{13}$ 原子/cm²) 的原子的信息，与来自理论化学的模型计算得到的表面参数进行比较，人们对表面化学本质的认识上升到了一个新的高度。

二、表面化学研究的三个方面

在表面科学领域中。表面物理和表面化学就像一对孪生的姊妹，有着非常密切的关系，但是在研究内容和研究手段等诸多方面，它们存在着明显的差异。表面化学除了研究固体表面本身的原子结构和电子性质以外，更侧重于研究外来物种（吸附物种）与固体表面的相互作用。从内容和方法上看，当今表面化学的研究大致可分为三个方面：

1. 表面组成的研究

在对吸附体系进行研究时，习惯上将起吸附作用的物质称为吸附剂（一般为固体），而将被吸附的物质称为吸附质（一般为液体、气体等）。两种或两种以上的物质组成的固体表面，由于趋向于处于最小的表面自由能以及吸附质的作用，某物质可能从体相迁移到表面层，使得表面层中该物质的含量高于它在体相中的含量，这一现象被称为“富集”。这种表面层与体相组成的差异是引起许多神奇的表面现象的基础。Auger 电子能谱（AES）是研究表面组成中最基本和最有效的手段之一，它是根据入射电子与表面原子的非弹性碰撞所产生的具有一定特征能量的二次电子信号来进行表面层组成的定性和定量分析。此外，X 射线光电子能谱（XPS），场离子显微镜（FIM）、离子散射（ISS）与二次离子质谱（SIMS）等技术也已被广泛地应用到这一研究领域中，人们运用这些灵敏的表面分析技术，能精确地得到表面 3-5 个原子层内百分之一原子单层的有关信息。

2. 表面结构的研究

一块理想固体的原子排布类似于一个个按一定规则堆砌的刚体小球，具有完整的三维周期性。所谓表面则

是这种三维周期性在某一方向上的中断，因此理想表面的原子排布应具有完整的二维周期性。实际上，这种理想表面一般是不存在的，表面原子要按其特有的性质进行重排，最终达到稳定的有序（有一定周期性）或无序（无一定周期性）结构。人们把原子的这种沿表面方向的重排称为“再构”，而将沿垂直于表面方向的重排称为弛豫。吸附质在衬底（吸附剂）表面上的吸附也可形成有序或无序的表面结构。吸附质分子的结构信息及吸附过程中衬底原子的重排，是表面化学研究的一个重要问题。对于表面有序结构的研究，低能电子衍射（LEED）技术是较成熟与有效的方法之一。其原理是从低能电子枪发射出来的一束单色电子与表面原子发生弹性碰撞，由于表面具有一定周期性，弹性散射的电子波产生干涉现象，给出对应于一定表面周期性的衍射花样。由于低能电子在晶体中具有较小的穿透能力（平均自由程较小），这种弹性散射电子的信号仅仅带来了晶体表面层原子的有序排列信息，从而可以了解晶体表面排列的周期性。如果不断改变入射低能电子的能量和入射角，可得到一系列的 LEED 谱，配之于必要的理论计算，人们可以精确地获得表面吸附层原子相对于衬底原子的位置的信息。如今，利用这一技术已能在键长为 10^{-1}Å 和键角为 10^{-1} 度的精确度上测定有序表面原子结构的变化。随着同步辐射技术的应用和发展，通过物质在 X 射线吸收边附近的共振吸收信号，即表面广延的 X 射线吸收精细结构（SEXAFS）来研究无序表面的表面结构也变得越来越普遍。利用这种技术，人们可以获得 LEED 得不到的无序表面的表面组成和表面结构的信息。

3. 表面化学反应的研究

表面化学反应可分为两种类型：一是表面物质参与的化学反应，反应前后表面组成和结构均发生了相应的变化；另一类是借助于表面，但反应前后表面未发生变化（不排除反应过程中的结构重排）的化学反应。对于前者的深入研究，大大加深了人们对材料科学、电化学和化学腐蚀机制的认识；而后者则是研究多相催化反应的基本问题。现在已经知道，表面催化的化学反应，一般要经历下述几步：反应物质在表面上的吸附；吸附物种在表面的迁移；吸附物种的表面反应和反应产物从表面的脱附。对这类表面化学反应的研究主要集中在研究表面吸附物种的化学组成与结构，以及表面物种的反应动力学和表面反应机理等方面。70 年代发展起来的高分辨电子能量损失谱（HREELS）是研究表面吸附物种和表面反应机理的行之有效的方法之一。其分析原理和已经广泛应用于物质结构测定的红外光谱相类似。高度单色的低能电子与表面分子发生非弹性碰撞，使表面分子的某些振动能级受到激发而本身损失一部分能量，这种散射电子能量的损失对应于表面分子的特定的振动模式。因此，对这种能量损失进行仔细的理论分析，辅之于程序升温反应谱（TPRS）能获得较为完整的表面吸附物种的结构和表面反应机理的知识。60 年代以来，分子束技术已应用于在原子尺度上研究气体分子的反应动力学。Yates、Somorjai、Ertl 等许多杰出的科学家将这些技术推广到表面的研究中，从而使表面吸附和表面反应动力学的研究向前迈进了一大步，并且为表面反应的理论研究和催化反应应用研究的相互关联奠定了基础。

三、多相催化的表面研究

多相催化是表面化学最为活跃的研究领域。从本质上来说，多相催化就是在催化剂表面（或者说反应物与催化剂两相之间界面）上发生的物理化学过程。目前，世界上许多科学家正在致力于对催化剂和催化过程的表面现象进行研究，寻找有实用价值的高效催化剂。从研究思想来看，多相催化的表面研究工作主要遵循两条途径，一条是从模型催化剂出发，采用掺杂以及创造台阶表面和缺陷表面等方法改变催化剂的催化特性，并以这些实验结果对实用催化剂进行模拟。催化反应的结构灵敏性是这类研究的重要成果。所谓结构灵敏性是指具有相同化学组成的催化剂表面上进行的化学反应，其反应性能随表面结构变化而变化。例如在研究氮气和氢气在铁催化剂表面合成氨的反应时，发现采用铁单晶（111）面比采用铁的其他晶面，反应速率要快 430 倍。对模型催化剂的研究结果表明，合成氨反应中，氮分子断裂成氮原子的过程为整个反应的控速过程，而这种氮键的断裂需要 7 个铁原子组成的活性位，铁单晶中恰恰只有（111）面具有这种七原子的活性位。这一成果对人工固氮研究具有重要的意义。多相催化表面研究的另一途径是，从实用催化剂出发，对实用催化剂表面特征和催化性质进行原位测定，为进一步改进和制造新催化剂提供直接的依据。应用这一方法解决实际问题的第一个有意义的成果是对合成氨所用的铁催化剂中助催化机理的研究。工业上使用的典型的合成氨催化剂主要成分为四氧化三铁，此外还含有百分之一的氧化铝和百分之一的氧化钾。表面研究结果表明，氧化铝的加入大大增加了这一催化剂的表面积，而氧化钾则没有这种效应。进一步研究发现，钾的加入增加了合成氨反应中氮解离吸附的

粘附系数，从而加快整个反应的反应速率。据此，人们认为，合成氨催化剂中，氧化铝属结构型助催化剂，而氧化钾属电子型助催化剂，这一概念的提出，对于实用催化剂的研究有着重要的指导作用。

在表面化学研究领域，如何缩小和消除研究体系和实际工作体系的差别是一个亟待解决的问题。大多数表面研究需要在高真空环境（真空度优于 $1.3 \times 10^{-6} \text{Pa}$ ）下进行，而真实表面的工作体系一般为常压（ 101.3kPa ）；在进行表面分析时，一般都要对表面进行一系列的预处理，以期获得“清洁”的表面，这样的处理往往使表面的组成和结构发生变化。这种研究体系的工作压力有十个数量级以上的差异以及“清洁”表面与实际表面明显差异，使许多表面研究的结果变得难以解释。为了解决这一问题，人们正在努力研制新的，高效能的表面仪器。其中，中子散射是比较有希望的方法之一，它正好弥补了上述表面仪器的不足，可以在非真空条件下工作，并且中子还能穿透一般常温、常压反应中所用的反应器器壁（如不锈钢等）。与其他表面分析方法一样，中子的弹性散射能得到有关表面结晶学和结构方面的信息，非弹性散射能获得吸附层和反应络合物的成键信息。除此之外，广延的 X 射线吸收精细结构（EXAFS）、激光拉曼光谱、磁共振技术以及可控气氛的高分辨电子显微镜（FMS）都将是表面化学感兴趣的实验技术。

可以认为，在实验条件（常温、常压）下进行表面研究，对其结果的理论解释以及模型研究与实际体系的关联将成为当前和今后一个时期表面化学需要解决的技术性和理论性问题。

超微粒子及其催化研究

超微粒子以其各方面独特的性质受到了科学家的注视，它在催化中的应用更为催化工作者展示了一个趣味盎然、富有活力的研究领域。从目前这一领域的研究可以看到，超微粒子对催化氧化、还原和裂解反应都具有很高的活性和选择性，对光解水制氢和一些有机合成反应也有明显的光催化活性。国际上已把超微粒子催化剂称为第四代催化剂，在重要的催化文献上几乎每期都有有关超微粒子催化研究的文章，报导超微粒子的晶体结构、电子结构、表面特性、吸附以及催化反应的研究成果。这里仅就这几方面给予叙述。

1. 晶体结构

超微粒子的晶体结构与催化的关系一直是催化研究者十分重视的问题。Allpress 和 Sanders 根据能量最低原理计算推测了金属微粒的形状，结果为：3 个原子构成的粒子呈三角形；4 个原子的为正四面体；7 个原子的为五角双锥；13 个原子的为正二十面体。粒径为 4.0nm 的仍以正二十面体最为稳定。这些在后来的电镜实验中都得到验证。多元体系的超微粒子晶体结构随制备条件的不同而异。同种化合物的粒子有的呈针状，有的呈球状、片状、板状等，有时甚至晶格类型也不一样。

最令人感兴趣的是对具有确定粒子模型的超微粒子催化性质的探索。日本科学家已发现不同条件下制得的不同晶格类型的 CdS 超微粒子其光解水效果有明显的不同。另外，晶粒形状不同，其不同晶面露置程度也不同，对催化反应的活性和选择性同样会产生很大影响。Lyon

和 Mclean 曾分别对 Boudart 在两种不同条件下制备的 Pt 高分散体系进行研究,因为这两个体系对新戊烷的异构表现出不同的催化活性。结果表明,活性较高的体系(111)面原子所占比例较大,而在单晶上进行同样反应也恰恰是(111)面活性最高。

乐观的看法是,超微粒子催化行为的研究很可能沟通均相催化与多相催化研究。

2. 电子结构

超微粒子是以介于单原子与单晶体相的中间尺度而存在的,其电子结构既不同于单晶也不同于单原子。日本科学家久保亮伍曾根据箱中粒子和能级公式提出了超微粒子的能带劈裂模型,现在看来并不精确。可从以下几个方面去看超微粒子特殊的电子结构。

(1) 金属超微粒子电子排布具有自己的特性 Baetzold 曾研究过金粒子的电子排布情况,其结果为:
 $Au_2-s^{1.04}p^{0.03}d^{9.93}$; $Au_{13}-s^{0.90}p^{0.11}d^{9.99}$; $Au_{44}-s^{0.90}p^{0.29}d^{9.81}$ 。
 随着原子数的增加 p 成分增加,表现出明显的 spd 杂化。这意味着表面电子云方向性更强。

(2) 能级结构变化 这里最值得注意的就是前线轨道的能级变化。Baetzold 在计算不同原子数组成的 Au、Ag、Ru、Pd 粒子时发现原子数越少,HOMO 能级越高。这意味着粒子越少越容易与电子受体吸附质相互作用。

(3) 半导体粒子能带形状的变化 已知半导体与溶液接触时由于空间电荷层的形成会产生表面能带弯曲,一般带弯厚度为 10—200nm,而超微粒子粒径小于带弯厚度,这种带弯特性就显得不那么重要了,它接近于平带。这导致了半导体粒子作光催化剂时光生电子空穴对的分离、传递具有一系列特殊的性质。

3. 表面特性

超微粒子与催化研究有关的表面特性除了我们通常所熟知的高比表面积和高表面原子占有率外,它特殊的表面位置对决定特定的催化反应也起着重要的作用。Pérez 等曾用计算机模拟刚球模型来研究这一问题,发现有 16 种表面位置,图 1 示出了它们的模型。这 16 种表面位置有些在单晶表面,是很难找到的,它们有些可作为电子给体,有些可作为电子受体;有的为单配位,有的为双配位、三配位或四配位。他们的研究还指出:粒径可以作为表述这些表面位置量的函数。不同的表面位置对外来吸附质的作用不同,从而产生不同的吸附态,导致不同的催化反应,研究这一过程对理解催化反应的机理会大有裨益。

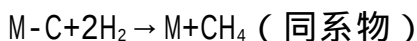
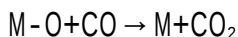
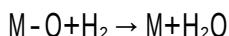
1966 年 Van Montfoot 报道了 N_2 在 1.5—7.5nm 的金属超微粒上发生极性的吸附,位置是在 B_5 位上,而且吸附只与粒子的粒径大小有关,与金属的种类无关。

4. 吸附特性及表面反应

前面曾提到 N_2 在金属粒子上的吸附,其他气体的吸附也同样具有特性, H_2 在某些过渡金属超微粒子上呈解离吸附。Raney 镍是镍铝骨架负载的高分散 Ni 超微粒子催化剂,通常用于还原有机化合物,活性与选择性都很高,这里起还原作用的就是原子氢。至于氧的吸附就更明显,几乎所有的超微粒子在氧气气氛下都发生氧化现象,即便是热力学上氧化不利的贵金属,经特殊处理也能氧化。最近我们实验室对超微金粉在氧气中放置氧化的 XPS 研究表明,金超微粒子上有多重吸附态的氧,并有 +1 价金出现。现在,用贵金属粒子作催化氧化剂的报道已有很多。

近年来发现一系列金属 (Ni、Fe、Cu、Au 等) 超微粒子沉积在冷冻的烷烃基质上, 经特殊处理后金属粒子有断裂 C—C 键或加成到 C—H 键之间的能力, 如 Ni、Fe 等形成稳定的具有 $M_xC_yH_z$ 组成的准金属有机粉末, 该粉末对催化氢化具有极高的活性。

同物不同粒径的超微粒子可起不同的催化反应这已是比较普遍的现象。Harriott 证明用银粒子催化氧化 C_2H_4 , 当粒径小于 2.0nm 时产物为 CO_2 和 H_2O , 大于 2.0nm 主要是 C_2H_4O 。Poppa 还发现在 Pd 粒子小于 4.0nm 时, CO 可在其上发生歧化反应, 大于 4.0nm 时则不能。CO 在金属超微粒上发生歧化反应以及通入氢气时反应如下:



对于这样反应, 我们更希望得到的是含有多个碳的 CH_4 同系物。目前在 Fischer-Tropsch 反应中很多体系都采用了这样的超微粒子。

综上所述, 超微粒子的催化研究使我们对催化中许多问题的认识更深化了一层, 同时, 它所存在的尚未解决的问题为进一步地研究提供了广泛的课题, 相信在这一领域里会大有可为。

超声的化学效应与应用

超声指振动频率高于 16 千赫 (kHz) 的声波, 作为超声技术应用的器件的频率上限为 1 兆赫 (MHz), 但常

用的频区为 20—50kHz。产生超声的方法很多，但适合于化学过程所需要的功率与频率的超声，多由压电晶体或磁致伸缩元件产生。

超声用于有机化学反应的报道，始见于 1938 年，主要研究用水作共溶剂的条件下，酯类及乙缩醛的水解；碳碳键、碳卤键的断裂和氧化等反应。非水溶液中超声的化学效应则在 70 年代才开始进行研究。

通常认为，超声效应和以下几种现象的出现有关：声压变化时，溶剂受到压缩和稀疏作用，使流体产生急剧的运动；在产生气穴和温升很小的条件下，将大量振动能输入微小体积时的微射流作用。其中比较直观、通常认为最重要的现象是气穴的出现。而且认为那些尺寸不稳定的微气泡在长大以致突然爆裂时产生的冲击波是超声对化学反应产生作用的主要原因。在上述过程中，不仅有时可以观察到发光现象，而且根据估算，在微泡爆裂时，可以在局部空间内产生高达 10^{11} Pa 的压力，中心温度可达 10^4 — 10^6 K。

目前，外力场对化学反应的影响已成为化学研究课题中的一个热点。它不仅为化学家开拓了促进和改变化学反应进程的新技术，而且是传统的无外力场作用的化学热力学及化学动力学在理论上吸收近代物理学的成就积累经验与事实材料和重要途径。更重要的是，它们将为工业应用提供新的工艺途径。

现在，对电场、磁场、辐射对化学体系产生的作用，已能在分子水平上进行定量或半定量的描述。但对超声场作用的解释，则仍停留在对分子群体的机械作用机制的水平上。例如对固体表面的气蚀与洁净作用，不混溶液体的乳化作用，微泡爆裂时冲击波在微空间导致的高

温高压对传质和传能的影响等，都是解释超声的化学作用的重要依据。关于超声使键断裂而产生自由基的机制已有证明，但尚不能证明其可适用于所有的化学体系。

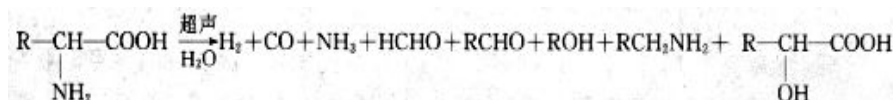
已经有人把在超声作用下引起的化学反应或化学反应过程的改变称为声化学(Sono-chemistry)。研究声化学的装置根据超声发生器的位置可分为两类，一类放在反应器外，超声波通过介质传过器壁而进入反应体系；另一类是直接将超声发射器插入反应器中。目前，反应体系和介质以液体为主。因一般超声洗涤器也可用作声化学的超声波源，所以近年研究较多。

水相中的声化学

应用超声的早期工作，大多在水相中进行。超声可以使水相中产生过氧化氢和氢气，有些溶质在超声作用下的氧化和它在辐照下的初级化学作用相似，证明了在超声作用下，水分解成为氢氧自由基和氢原子。有趣的是，甲烷和乙烷的饱和水溶液在超声作用下，可以检测到甲醛和乙酸的存在，不过产率很低。

有机卤化物，例如 CH_2Cl_2 、 CHCl_3 及 CCl_4 在水介质中，接受超声作用使碳氯键断裂生成自由基的难易程度及自由基的稳定性顺序，与这些化合物的光解结果相同。

因为水是生命体系中无所不在的介质，这可能是水相声化学发展远远超前于非水液相声化学的重要原因。对像蛋白质、酶等生物分子的声化学研究表明，声致氧化还原作用是导致很多简单产物的主要机制。例如



对嘧啶、嘌呤、吡咯及卟啉等分子进行超声处理后，可明显地观察到其紫外吸收光谱的变化，说明产生了声

化学效应。虽然尚缺乏定量的研究结果,但已可肯定高能超声将对生物体系产生有害的作用。

用超声作用于溶有苯的水溶液,可以检测到苯酚、苯二酚、乙炔、二乙炔的存在。特别值得提到的是还可检测到含氮有机物的生成,亦即在上述水相体系中,超声场对溶于水中的氮气竟起了固氮的作用!此外,超声还可以使公认的致癌物苯并芘变成无害的其他物质。并已证实,碳水化合物、多羟基化合物、脂肪酸和生物碱在超声作用下,都可形成用紫外吸收光谱能检测出来的产物。

对酸催化酯类水解的研究表明,超声可以加快水解速率,但其作用与体系温度成反比。例如苯甲酸甲酯和二甲苯甲酸甲酯的碱催化水解,超声的作用最为明显。

$\text{PhCO}_2\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{OH}^-} \text{PhCO}_2^-$			$\text{Ph}(\text{CH}_3)_2\text{CO}_2\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{OH}^-} \text{Ph}(\text{CH}_3)_2\text{CO}_2^-$		
回流	90 min	产率 97%	回流	90 min	产率 15%
加超声	10 min	产率 98%	加超声	60 min	产率 94%

在常温下,超声一般只能使反应速率增大百分之几至几十。而当温度下降时,对反应速率的影响往往更大。通常,用溶剂结构在超声场作用下发生破坏来解释超声对反应的加速作用,实际上声促反应的机制并未完全了解。

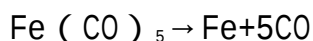
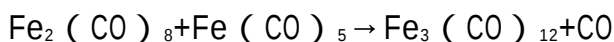
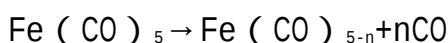
三、非水液相中的声化学

虽然水相中的声化学研究已有 30 多年的历史。但有机反应,特别是在非水溶液中的声化学研究却刚刚开始。目前工作主要集中在:(1)均相合成反应;(2)金属表面上的有机反应;(3)相转移反应;(4)固液两相界面反应等几个方面。虽然有关的工作报道不少,但尚未深入到反应机制的研究,因此,这一领域无论是在实验条

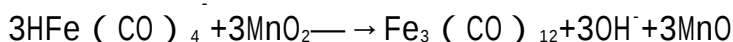
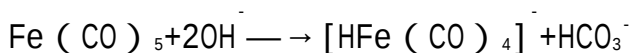
件的探索和机理的研究方面，都是一块未经开垦的处女地。现将有代表性的一些工作简述如下。

1. 均相反应

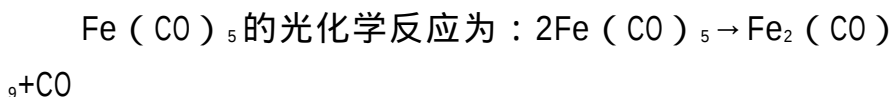
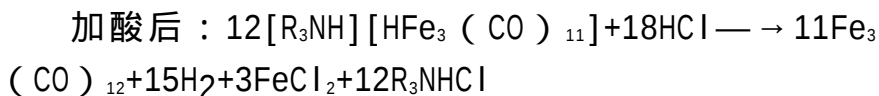
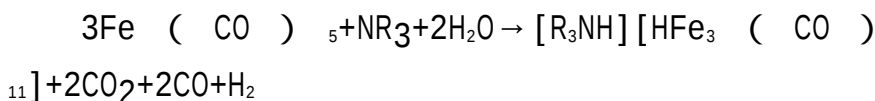
因为对过渡金属的羰基化合物体系的热化学与光化学都研究得较充分，选用这类体系进行声化学研究是很有意义的。Suslick 首先选择 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ (五羰基铁) 为对象，在超声或在碱性溶液中，都可以得到 $\text{Fe}_3(\text{CO})_{12}$ 与微细的铁粉。其可能过程如下：



而在碱性溶液中的热反应已知为：



在有机碱水溶液中的热反应则为：



显然，虽然有部分产物相同，但三种反应是迥然不同的。这说明声化学反应有其自己的特点。

烷烃的声化学分解却与高温裂解或辐射分解相似，都以生成自由基为初级过程，这已经用自由基捕捉技术