

有毒难降解有机污染物的光催化降解

塔里克¹, 王雪松^{1,2}, 陈春城¹, 马万红¹, 赵进才¹

(1 中国科学院化学研究所北京分子科学国家实验室, 北京 100080; 2 吉林大学化学学院, 吉林长春 130012)

摘要: 有毒难降解有机污染物的光催化降解在原理、过程和效率等方面仍然存在着巨大的挑战, 特别是光催化剂的构效关系、可见光的利用、分子氧的活化和污染物分子矿化分解的机理仍然是今后的研究热点。本文就近年来在半导体光催化和负载型铁离子光催化降解有毒有机污染物的两个重要方面的研究进展进行了评述。

关键词: 光催化; 污染物降解; 二氧化钛; 负载铁催化剂

中图分类号: O643/X7 **文献标识码:** A

Photocatalytic Degradation of Persistent and Toxic Organic Pollutants

TARIQ MAHMOOD¹, WANG Xuesong^{1,2}, CHEN Chuncheng¹, MA Wanhong¹, ZHAO Jincai^{1*}

(1 Beijing National Laboratory for Molecular Sciences, Institute of Chemistry, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2 College of Chemistry, Jilin University, Changchun 130012, Jilin, China)

Abstract: Studies on photocatalytic degradation of toxic and non-biodegradable organic pollutants remain a great challenge in principles, processes, and efficiencies. The main attention has been focused on the relationship between structure and efficiencies, the utilization of visible light, and the mechanisms for dioxygen activation and pollutants decomposition and/or mineralization of pollutants. Recent advances in the photocatalytic degradation by TiO₂ and supported iron complexes were discussed in this review.

Key words: photocatalysis; degradation of pollutants; titania; supported iron catalyst

有毒难降解有机污染物广泛面临于土壤、水体和空气中,对生物安全和生态系统危害巨大,如二噁英、多氯联苯等,其生物和自然分解周期长达几十年到 150 年。更令人担忧的是,研究证明这些持久性有机物在超痕量($< 10^{-14}$)的暴露剂量时就可导致生物变异。传统的生物降解已经难以适应新型的非生物降解的有毒有机污染物^[1],因此,发展新的、有效的绿色分解有毒有机污染物的方法成为当今污染物控制化学研究的焦点。

目前,国际上针对有毒难降解有机污染物降解处理最有应用前景、研究最活跃的技术是在光催化剂的作用下,以廉价、清洁和无穷尽的太阳光能为能源,以空气中的氧气和其他“绿色”的氧化性物种(如

过氧化氢等)为氧化剂的光催化氧化降解。这是因为太阳每年照射到地球表面上的能量为 3×10^{24} J/a,相当于人类一年间总消费能量的 1 万倍,是地球全部化石能源贮藏量的 1/10,充分利用太阳光降解环境污染无疑是缓解当前日益严重的能源危机和环境恶化最有效的途径。更重要的是该技术最终能将有机污染物彻底分解成 CO₂, H₂O 和其他无机盐,没有二次污染。近年来,已经有很多关于光催化降解有毒难降解有机污染物的综述,分别从原理、应用和前景方面详细地进行了评价^[2-4]。本文结合我们课题组最近的研究结果以及国际上的最新进展,就半导体光催化和负载型铁离子光催化两个方面进行了综述和讨论。

1 半导体光催化

在过去的三十年中,以 TiO_2 光催化剂为代表的半导体光催化技术得到了广泛的研究,其原初电荷分离原理以及次级的载流子转移、化学反应、扩散和迁移等特性研究均非常详细,使得这一学科的基础理论研究和应用都得到了飞速发展^[2~4]。但是,其中存在两大挑战,即可见光的利用和光量子效率的提高^[5,6]。最近,利用掺杂非金属来产生可见光活性已经得到了广泛的认同,但在掺杂元素的形态以及是否是置换^[7]、填隙^[8],是氮的单线态还是自由基等重大问题上仍然存在争论^[9,10],如 Serpone 等^[11,12]甚至认为根本不存在氮钛能级的激发,而是一个色心(F^+ center)导致电子空穴分离。另外,可见光激发带来的问题还在于,和 UV 光激发宽带隙的 TiO_2 不同,掺杂氮的 TiO_2 由于带隙变窄,其空穴或氮空位(自由基)不能氧化一般的有机污染物如羧酸等。最近实验发现,通过二元协同改性不但能够使 TiO_2 产生可见光活性,而且显著改善了带隙位置,使其有非常好的氧化能力^[13]。首先利用第三主族元素硼进行掺杂,结果发现尽管催化剂有明显的可见光吸收能力,但基本没有任何光催化活性。但如果同时进行 Ni_2O_3 金属氧化物掺杂,得到的 $\text{TiB}_x\text{O}_{2-x}/\text{Ni}_2\text{O}_3$ 可见光催化剂能够使 2,4-二氯苯酚在可见光($>420\text{ nm}$)照射下迅速降解矿化,脱氯达到 90% 以上。更为重要的是,在这个体系中,在可见光照射下明显发现有 OH 自由基生成,说明二元协同效应改善了光催化剂的带隙,能够氧化水产生 OH 自由基。一般意义上讲,OH 自由基能够引发初始的自由基链反应或羟基化反应,诱导了碳中心自由基和分子氧的自动氧化反应,由此导致有机污染物的彻底矿化。

最近,Hashimoto 等^[14]报道了将 Ce^{4+}/Ti /固溶体分散在 MCM-41 中能够以金属/金属间电荷转移(MMCT)的方式发生有效的电荷分离,引发显著的可见光光催化降解有机污染物的反应。Lamberti 等^[15]发现直接将单质 I_2 封装到 TiO_2 夹层以及用 Al_2O_3 封装有机染料到 TiO_2 夹层,都可显著增加对可见光的吸收;据报道,前者具有比 P-25 高 10 倍的降解亚甲基蓝活性^[16]。这是一类与均匀掺杂 N, S, F 和 I^[17]以及 Br 和 Cl^[18]非金属元素不同的现象。但是,掺杂形态的可见光催化剂都存在光量子效率低的缺陷,从理论上讲,无论掺杂生色团是定域

的还是离域的,其不足 1% 的表面浓度对可见光的利用率非常低,除非其激发态(在外加电场的作用下)能够诱导体相载流子放大增益,但这需要合成更复杂的具有核壳结构的半导体量子点材料^[19,20]。如果改用直接的体相有色的可见光催化剂,如 CaBi_2O_4 ^[21], Mn_2O_4 ^[22], TaN ^[23] 和金属掺杂 $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ ^[24]等,虽然都有分解有机物的能力或光解水制氢能力,但其效率并没有比掺杂型光催化剂提高很多倍。这说明,Auger 复合有可能是限制半导体纳米光催化剂效率的主要因素^[25],目前制备的核壳材料^[26]有可能从原理上突破传统意义上的 e-h⁺ 复合历程,从而开发出具有更高可见光效率的催化剂。

和有机污染物降解相关的基础问题仍然是活性氧的类型和作用机理。有关染料/ TiO_2 /可见光敏化降解体系的最新研究结果表明,当用电化学手段强行从导带移走或注入(外电路导入)电子时^[27],不同染料的降解呈现了非常独特的行为。罗丹明-B(RhB)在正偏压和负偏压的 TiO_2 电极上都可以得到降解,但实验结果表明分子氧可以通过不同的途径参与底物降解。当正偏压时,RhB 仅仅是快速地发生以 N-脱烷基为主($>90\%$)的反应和 9% 的矿化(生成 CO_2)反应。

N-脱烷基反应是通过激发态染料分步失去电子然后水解而完成的,分子氧基本不参与这种类型的反应。相反,当控制电极负偏压时,染料发生了共轭结构的破坏,生成了开环产物和脂肪酸等,并且导致了约 39% 的矿化率。此时,氧气能从导带捕获电子而产生超氧负离子自由基,ESR 实验也证明了游离的超氧负离子自由基比不加偏压的场合增强很多。但这并不能将超氧负离子自由基的产生和染料共轭结构破坏直接关联起来,因为还存在两个不确定的因素:一是人为将导带电位提高(负移),相对于染料激发态发生改变;二是电负性的电极表面对 RhB 的电子注入转移更为有利,荧光实验证明激发态的 RhB 发生电子转移是在氮端,而非羧基端^[28]。也就是说,共轭结构的破坏和相对高的矿化率最大的可能是来自非单电子转移原理,有一部分氧气直接以分子氧的形式插入到 C-C 键中,形成 CO_2 。为此,文献[29]专门设计了一个均相体系来深入研究和证实这个结论,以避免吸附带来的影响。当用一个单电子氧化剂 $\text{V}^{5+}/\text{V}^{4+}$ 和可见光激发态下的 RhB 进行均相剂量反应时,这种类型的反应导致的

是 RhB 的显著 N-脱烷基反应,而当用 2 电子氧化剂 P(IV)/P(II) 进行反应时,结果非常有趣,几乎和负偏压下的 TiO_2 光催化反应结果完全一致,是共轭结构的破坏和较大程度的矿化,这些结果包含了同样的基本原理,染料敏化降解过程中的电子注入方式和染料电子能级的分布关系重大(图 1)。

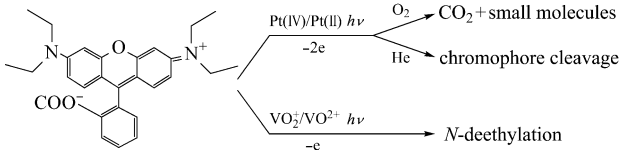


图 1 可见光诱导 VO_2^+ 和 P(IV) 氧化降解 RhB 的机理

Fig 1 Oxidation pathways of RhB in the presence of VO_2^+ or/and P(IV) under visible light

但如何能把这种“负偏压”的增强降解和矿化的原理应用到不外加偏压的悬浮体系中,也是 TiO_2 光催化的一个重要挑战。这方面 Yu 课题组^[30]曾经利用表面修饰 F^- 和 SO_4^{2-} 来增强光效率,尽管他们没有在机理上给出进一步的解释,而且这样的表面“软”掺杂有不稳定的缺点,但效果是非常明显的。同样,在染料敏化太阳能电池、光解水等领域的研究对此也有所认同,比如, Grazcel 课题组就发现了在联吡啶上连接三苯胺基团等对正电荷有分散作用的基团,能够显著提高电荷分离态的寿命,提高光效率^[31-35]。最近发现,用“硬”掺杂^[31-33]的方式将负电性的 AlO_4^- 掺杂到 TiO_2 ,其可见光降解染料的特性得到了永久性的改善^[36]。此外, Anpo 等^[37]用 $\text{TiO}_2/\text{ZSM-5}/\text{UV}$ 降解醛时,也发现了增强效果。更为有趣的是,通过用 $(\text{OR})_3\text{SiO-TiO}_2$ 修饰的 TiO_2 光催化剂能够降解氰尿酸,而 F^- 离子修饰的 TiO_2 几乎没有催化活性,其机理被归结为单线态氧的作用;这是一个报道能够降解氰尿酸的例子,此前,该化合物被认为是几乎不能降解的^[38]。

另外一类无机催化剂体系——杂(同)多酸(POM)在催化氧化有机污染物方面得到了重视^[39],如 Hill 等^[40]曾利用 POM 来处理造纸黑液。基于分子氧和 H_2O_2 热催化氧化的研究报道已经很多,但有关光催化方面的尝试很少。其实,激发态的 POM 能够产生相对较长寿命的电荷分离态。POM 被证明是一个非常稳定的电子受体,特别是其激发态的电子转移能力得到很大增强,因此,研究光激发下 POM 催化分子氧氧化降解有机污染物具有重要意义。和热反应不同的是,光催化反应不必将处理

介质加热到 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 以上的高温,而只需要利用 POM 选择性吸收激发光即可引发室温下的催化氧化反应。但是,有关 POM 在可见光照射的体系中引发光催化反应的机理或构效关系,目前仍然非常不清楚。

文献[41]通过比较 TiO_2 /染料和 POM/染料可见光敏化降解体系的降解中间产物、矿化率和中间自由基种类和动力学特性,揭示了 POM 光催化分解染料污染物的机理。首先,可见光激发染料分子能够与催化剂 POM 发生快速电子转移,导致染料污染物降解。这与 TiO_2 敏化降解特别相似。但是,前者发生了完全($\sim 100\%$)的 N-脱烷基,矿化率 $< 3\%$;后者则是共轭结构被破坏,导致 46% 的矿化(生成 CO_2)。还原态的 POM 不经过单电子转化为超氧自由基而是通过 2 电子转移直接将 O_2 转化为 H_2O_2 ,说明染料的单电子 N-脱烷基反应和催化剂活化分子氧的过程是分离的。相反,当我们将 POM 负载到 TiO_2 表面,其 UV 光照射下的光催化降解 2,4-二氯代酚的行为发生了很大变化,底物转化率随负载量增加而增加,而且主要是底物的羟基化显著加速,而矿化率却随负载 POM 量显著降低^[42]。那么,是否是 POM 不可能导致有机污染物的矿化?当用 H_2O_2 作氧化剂时发现,在可见光的照射下负载到树脂上的 POM 能够显著矿化染料 RhB^[43],说明改变 POM 活化氧的形态可以导致显著的矿化过程。对于水体污染物的处理,固相催化剂由于可以方便回收和重复使用而具有更广阔的应用前景,为此,文献[44]合成了一类不溶于水的 POM 固体催化剂,该微孔催化剂能够在可见光照射下活化 H_2O_2 降解有机污染物,并达到较高的矿化率。由此可见,通过调控 POM 从而由选择性转化到无选择性的矿化有机物是可能的,但直接的构效关系以及提高矿化率仍然是挑战性的课题。

2 铁离子和负载型的铁系光催化体系

由于铁离子催化分解 H_2O_2 氧化分解水体有机污染物(如典型的 Fenton 反应^[45,46])具有廉价、环境友好和无二次污染等特点,一直是污染物控制技术中的研究热点^[47]。能够用可见光作为动力驱动非氮配位的铁的催化循环具有十分重要的环境意义和生物学上的意义^[48]。文献[49]设计了一个催化循环,在 Fe^{2+} 价态时,Fe 离子能够自由挣脱配位键的束缚,和 H_2O_2 发生快速反应产生 OH 自由基降解有机物;而在 Fe^{3+} 价态时,需要被锚定在载体上

的磺基水杨酸的配位臂(羟基和酚羟基)抓住,使其不能无效分解 H_2O_2 (Harber-Weiss 反应),又能避免配体在液相被 OH 自由基攻击分解,因此具有非常好的 H_2O_2 利用率和催化剂稳定性,而靠配体的一个酚自由基的反应完成还原和铁的循环,利用该光催化剂成功地降解了许多生物难降解的有机污染物,ESR 实验检测到了溶液相产生 OH 自由基和固载相产生配体的一个酚自由基信号(图 2)。暗反应不能进行有效的催化循环,没有底物也不能完成光催化循环,因此,这是一个依赖底物的催化降解体系,一旦底物完全消耗, H_2O_2 的分解将自动停止。

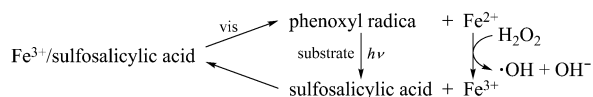


图 2 酚/酚氧自由基循环促进 Fe^{2+}/Fe^{3+} 的催化循环

Fig 2 Redox cycle for the phenol/phenoxyl radical coupled with the cycle of Fe^{2+}/Fe^{3+}

事实上,自然界的层状粘土所含的铁也具有特殊的光催化分解 H_2O_2 的行为,在区分了表面络合的铁离子、间隙的铁氧化物和粘土晶格铁的基础上文献[50]分别考察了游离的铁氧化物和八面体晶格铁光催化分解 H_2O_2 的动力学行为。结果发现,前者可以在紫外光照射下通过金属配体间电荷转移(MLCT)快速还原 Fe^{3+} 为 Fe^{2+} ,然后分解 H_2O_2 ,而晶格铁却不能通过直接的 MLCT 产生催化活性;相反,晶格铁能够高度催化分解某些吸附在表面的有机污染物如 DMA, RhB 和孔雀绿等而完成催化分解 H_2O_2 的循环。在这里,有机物和晶格铁形成表面络合物,可以被光激发,实现有效的电子转移。

以层状粘土负载 $Fe(bpy)_3^{2+}$ 能够在可见光照射下催化降解有机污染物,光活性中心是阳离子型的联吡啶铁^[51],实验结果表明与均相 $Fe(bpy)_3^{2+}$ 光催化分解 H_2O_2 降解有机物明显不同,负载型的催化体系不产生 OH 自由基和 OOH 自由基,而是通过高价铁 $Fe(IV)=O$ 来氧化分解有机物的,这样可以避免无选择性的 OH 自由基和 OOH 自由基对配体的分解破坏,因此具有非常好的寿命,特别是粘土容易沉积分离,使整个降解体系操作容易,而且可以在非常宽的 pH 范围(2~11)内进行,这是 Fenton 反应不能达到的。

铁的光催化反应虽然得到了普遍的重视和应用,但其中几个关键的限制因素(如光效率、稳定性和对 H_2O_2 的利用率)仍然没有很好的解决。因此,

迫切需要合成更高效低毒的铁有机配合物。但是,我们同时必须注意到铁在光催化中真正的构效问题^[52],最近研究表明,Fenton 反应后期 Fe 离子失活的原因之一是降解中间产物小分子羧酸对 Fe^{3+} 的络合效应,阻止了 Fe^{3+} 返回 Fe^{2+} 的催化循环,而一些有效的电子供体如对苯二酚或可见光照射下的苯醌类化合物等能够驱动该循环反应^[53,54]。由于绝大部分有机污染物都需要经过小分子羧酸矿化等步骤,因此设计新型的铁光催化体系需要从机理研究出发^[55,56],全面考虑。

3 展望

光催化降解有毒难降解有机污染物是一个新研究领域,其中许多基本问题还没有完全弄清楚。但和生物降解以及其它物化方法相比,其特点是突出的,也是不可替代的(如对低浓度高毒性有机污染物、雌性激素等的消除)。今后需要发展具有强针对性或高选择性(如正电性和负电性 TiO_2 ^[57]和择形 TiO_2 ^[58,59])的消除痕量有毒有机物的光催化方法^[60,61]以及能够快速活化分子氧的光催化体系^[62];其次,在增大催化剂的捕光能力^[63,64]和高能量转化形式上的研究还很少^[19,20],这也是制约光催化实际应用的瓶颈之一,需要加强这方面的研究。另外,还应结合还原型的光催化反应消除有机污染物,如含卤有机化合物的还原脱卤等^[65,66]。

参 考 文 献

- Boethling R S, Sommer E, DiFiore D. *Chem Rev*, 2007, **107**(6): 2207
- Chen X, Mao S S. *Chem Rev*, 2007, **107**(7): 2891
- Fujishima A, Rao T N, Tryk D A. *J Photochem Photobiol C*, 2000, **1**(1): 1
- Thompson T L, Yates J T Jr. *Chem Rev*, 2006, **106**(10): 4428
- Chatterjee D, Dasgupta S. *J Photochem Photobiol C*, 2005, **6**(2-3): 186
- 籍宏伟,马万红,黄应平,赵进才,王正平. 科学通报(*Ji H W, Ma W H, Huang Y P, Zhao J C, Wang Zh P. Chin Sci Bull*), 2003, **48**(21): 2199
- Diwald O, Thompson T L, Goralski E G, Walck S D, Yates J T Jr. *J Phys Chem B*, 2004, **108**(1): 52
- Sakthivel S, Janczarek M, Kisch H. *J Phys Chem B*, 2004, **108**(5): 19384
- Livraghi S, Paganini M C, Giamello E, Selloni A, Di Valentin C, Pacchioni G. *J Am Chem Soc*, 2006, **128**

- (49):15666
- 10 Nakamura R, Tanaka T, Nakato Y. *J Phys Chem B*, 2005, **109**(18):8920
- 11 Serpone N. *J Phys Chem B*, 2006, **110**(48):24287
- 12 Kuznetsov V N, Serpone N. *J Phys Chem B*, 2006, **110**(50):25203
- 13 Zhao W, Ma W H, Chen C C, Zhao J C, Shuai Z G. *J Am Chem Soc*, 2004, **126**(15):4782
- 14 Nakamura R, Okamoto A, Osawa H, Irie H, Hashimoto K. *J Am Chem Soc*, 2007, **129**(31):9596
- 15 Clifford J N, Palomares E, Nazeeruddin M K, Thampi R, Gratzel M, Durrant J R. *J Am Chem Soc*, 2004, **126**(18):5670
- 16 Usseglio S, Damin A, Scarano D, Bordiga S, Zecchina A, Lamberti C. *J Am Chem Soc*, 2007, **129**(10):2822
- 17 Hong X T, Wang Z P, Cai W M, Lu F, Zhang J, Yang Y Z, Ma N, Liu Y J. *Chem Mater*, 2005, **17**(6):1548
- 18 Luo H M, Takata T, Lee Y G, Zhao J F, Domen K, Yan Y. *Chem Mater*, 2004, **16**(5):846
- 19 Lewis N S. *Science*, 2007, **315**(5813):798
- 20 Huynh M H V, Dattelbaum D M, Meyer T J. *Coord Chem Rev*, 2005, **249**(3-4):457
- 21 Tang J, Zou Z, Ye J. *Chem Mater*, 2004, **16**(9):1644
- 22 Tang J, Zou Z G, Ye J. *Angew Chem, Int Ed*, 2004, **43**(34):4463
- 23 Hitoki G, Takata T, Kondo J N, Hara M, Kobayashi H, Domen K. *Chem Commun*, 2002, (16):1698
- 24 Hwang D W, Kim H G, Lee J S, Kim J, Li W, Oh S H. *J Phys Chem B*, 2005, **109**(6):2093
- 25 Klimov V I, Mikhailovsky A A, McBranch D W, Leatherdale C A, Bawendi M G. *Science*, 2000, **287**(54-55):1011
- 26 Hirakawa T, Kamat P V. *J Am Chem Soc*, 2005, **127**(11):3928
- 27 Yang J, Chen C C, Ji H W, Ma W H, Zhao J C. *J Phys Chem B*, 2005, **109**(46):21900
- 28 Mineno T, Ueno T, Urano Y, Kojima H, Nagano T. *Org Lett*, 2006, **8**(26):5963
- 29 Hu X F, Mohamood T, Ma W H, Chen C C, Zhao J C. *J Phys Chem B*, 2006, **110**(51):26012
- 30 Yu J C, Yu J G, Ho W K, Jiang Z T, Zhang L Z. *Chem Mater*, 2002, **14**(9):3808
- 31 Li D, Haneda H, Hishita S, Ohashi N. *Chem Mater*, 2005, **17**(10):2596
- 32 Bonhote P, Moser J E, Humphry-Baker R, Vlachopoulos N, Zakeeruddin S M, Walder L, Gratzel M. *J Am Chem Soc*, 1999, **121**(6):1324
- 33 Satoh N, Nakashima T, Yamamoto K. *J Am Chem Soc*, 2005, **127**(37):13030
- 34 Robertson N. *Angew Chem, Int Ed*, 2006, **45**(15):2338
- 35 Karthikeyan C S, Wietasch H, Thelakkat M. *Adv Mater*, 2007, **19**(8):1091
- 36 Zhao D, Chen C C, Wang Y F, Ma W H, Zhao J C, Rajh T, Zang L. *Environ Sci Technol*, in press
- 37 Takeuchi M, Kimura T, Hidaka M, Rakhmawaty D, Anpo M. *J Catal*, 2007, **246**(2):235
- 38 Janczyk A, Krakowska E, Stochel G, Macyk W. *J Am Chem Soc*, 2006, **128**(49):15574
- 39 Hiskia A, Mylonas A, Papaconstantinou E. *Chem Soc Rev*, 2001, **30**(1):62
- 40 Weinstock I A, Barbuzzi E M G, Wemple M W, Cowan J J, Reiner R S, Sonnen D M, Heintz R A, Bond J S, Hill C L. *Nature*, 2001, **414**(6860):191
- 41 Chen C C, Zhao W, Lei P X, Zhao J C, Serpone N. *Chem Eur J*, 2004, **10**(8):1956
- 42 Chen C C, Lei P X, Ji H W, Ma W H, Zhao J C, Hidaka H, Serpone N. *Environ Sci Technol*, 2004, **38**(1):329
- 43 Lei P X, Chen C C, Yang J, Ma W H, Zhao J C, Zang L. *Environ Sci Technol*, 2005, **39**(21):8466
- 44 Chen C C, Wang Q, Lei P X, Song W J, Ma W H, Zhao J C. *Environ Sci Technol*, 2006, **40**(12):3965
- 45 Masarwa A, Rachmilovich-Calis S, Meyerstein N, Meyerstein D. *Coord Chem Rev*, 2005, **249**(17-18):1937
- 46 Kuznetsov V N, Serpone N. *J Phys Chem B*, 2006, **110**(50):25203
- 47 马万红, 籍宏伟, 李静, 赵进才. 科学通报(Ma W H, Ji H W, Li J, Zhao J C. *Chin Sci Bull*), 2004, **49**(18):1821
- 48 Klinman J P. *Acc Chem Res*, 2007, **40**(5):325
- 49 Ji H W, Song W J, Chen C C, Yuan H, Ma W H, Zhao J C. *Environ Sci Technol*, 2007, **41**(14):5103
- 50 Song W J, Cheng M M, Ma J H, Ma W H, Chen C C, Zhao J C. *Environ Sci Technol*, 2006, **40**(18):4782
- 51 Cheng M M, Ma W H, Chen C C, Yao J N, Zhao J C. *Appl Catal B*, 2006, **65**(3-4):217
- 52 Chen K, Que L Jr. *J Am Chem Soc*, 2001, **123**(26):6327
- 53 Ma J H, Ma W H, Song W J, Chen C C, Tang Y L, Zhao J C, Huang Y P, Xu Y M, Zang L. *Environ Sci Technol*, 2006, **40**(2):618
- 54 Na Y, Pan J, Wang M, Sun L. *Inorg Chem*, 2007, **46**(10):3813
- 55 Korendovych I V, Kryatov S V, Rybak-Akimova E V. *Acc Chem Res*, 2007, **40**(7):510
- 56 Que L Jr. *Acc Chem Res*, 2007, **40**(7):493
- 57 Yang P, Yang M, Zou S, Xie J, Yang W. *J Am Chem Soc*, 2007, **129**(6):1541
- 58 Shiraiishi Y, Satio N, Hirai T. *J Am Chem Soc*, 2005, **127**(37):12820

- 59 Shiraishi Y, Saito N, Hirai T. *J Am Chem Soc*, 2005, **127**(23):8304
- 60 Mas-Balleste R, Que L Jr. *Science*, 2006, **312**(5782):1885
- 61 Das S, Incarvito C D, Crabtree R H, Brudvig G W. *Science*, 2006, **312**(5782):1941
- 62 Macyk W, Franke A, Stochel G. *Coord Chem Rev*, 2005, **249**(21-22):2437
- 63 Chen J I L, Von Freymann G, Choi S Y, Kitaev V, Ozin G A. *Adv Mater*, 2006, **18**(4):1915
- 64 Chen J I L, Von Freymann G, Kitaev V, Ozin G A. *J Am Chem Soc*, 2007, **129**(5):1196
- 65 Obare S O, Ito T, Meyer G J. *J Am Chem Soc*, 2006, **128**(3):712
- 66 Obare S O, Ito T, Meyer G J. *Environ Sci Technol*, 2005, **39**(16):6266

(Ed YHM)

中国化学会第 26 届学术年会将于 2008 年在天津召开

中国化学会第 26 届学术年会定于 2008 年 7 月 13~16 日在天津举行,会期 4 天。本届学术年会将由南开大学承办,天津师范大学、天津理工大学协办。会议规模拟定 2000 人,届时将有英国皇家化学会、美国化学会和德国化学会等国外学术团体赴会。

会议主题为“化学与和谐社会”。会议内容包括大会特邀报告、分会邀请报告、专题报告与讨论和论文墙报展讲,同时设置专题学术论坛。会议期间还将组织展览展示。

会议设定分会 20 个、论坛 1 个,涉及内容如下:

1) 绿色化学;2) 环境化学;3) 化学生物学;4) 纳米化学;5) 应用化学;6) 有机化学;7) 功能高分子科学前沿;8) 无机与配位化学;9) 分析化学;10) 新能源与能源化学;11) 不对称催化;12) 光化学;13) 胶体与界面化学;14) 理论化学方法和应用;15) 化学信息学与化学计量学;16) 有机固体材料;17) 超分子组装与软物质材料;18) 现代核化学与放射化学;19) 晶体工程;20) 化学教育;21) 化学与社会”论坛。

著名化学杂志《Accounts of Chemical Research》编委会将同期在会上举行。

会议按上述分会接受原创性研究论文和前瞻性综述(另约),已正式发表的论文不予受理。此次会议报名方式为网上报名,报名网址 <http://www.ccs.ac.cn>。

(中国化学会)