

# 从美国“总统绿色化学挑战奖” 看绿色精细化工的发展趋势

唐林生,冯柏成

(青岛科技大学化工学院,山东 青岛 266042)

**摘要:**美国“总统绿色化学挑战奖”获奖项目 80% 以上与精细化工有关,这充分表明发展绿色精细化工在绿色化学化工中占有头等重要的位置。对获奖项目的分析还表明,生物技术、原子经济性反应、新型催化剂、无溶剂体系或绿色溶剂、膜技术、耦合技术将成为绿色精细化工的关键技术。采用可再生原料也是绿色精细化工的重要内容。

**关键词:**美国总统绿色化学挑战奖;绿色精细化工;发展趋势

中图分类号:TQ-9

文献标识码:C

文章编号:0253-4320(2007)06-0005-05

## Development trends of green fine chemicals seen from US President Challenging Awards of Green Chemistry

TANG Lin-sheng, FENG Bai-cheng

(College of Chemical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

**Abstract:** There are 80% of the Awards entries of US president challenging award of green chemistry concerning fine chemicals, which shows that developing green fine chemicals is the most important in green chemistry and chemical engineering. The analysis on the award entries also reveals that biotechnology, atom economical reactions, neo-catalysts, solventless systems or green solvents, membrane technology, coupling technology could be key technologies for green fine chemicals. And using renewable sources is also important.

**Key words:** US president challenging award of green chemistry; green fine chemicals; developing trend

美国“总统绿色化学挑战奖”从 1996 年颁奖以来,迄今已颁奖 11 次,获奖项目达 57 项<sup>[1-2]</sup>。本文通过对这些获奖项目的分析,阐述了发展绿色精细化工的意义及方向。

### 1 发展绿色精细化工的意义

美国“总统绿色化学挑战奖”获奖项目有 80% 以上与精细化工有关,这充分表明发展绿色精细化工在绿色化学化工中占有头等重要的位置。其原因在于:

(1)精细化工是化学工业的重要组成部分。尽管精细化学品的总产量还远小于大宗化工产品和石油化工产品,但包括美国在内的一些发达国家的精细化工率(精细化工产品的总产值占化工总产值的比例)已超过 60%,我国也接近 50%。

(2)医药、农药、染料、液晶中间体等精细有机化学品的产品质量要求一般较高,而反应步骤一般较多,生产过程较复杂,溶剂和助剂用量大。因而,“三废”排放量大,环境污染和资源浪费严重,且往往所

用原料毒性和危害也较大。据统计每吨精细化工产品平均需各类化工原料 20 t 以上,即每吨产品约产生 19 t 废料。有许多需求量大、附加值高、用途广、具有特殊功能的精细化学品的生产,就是因为污染问题没有解决,只能停产。因此,开发精细有机化学品的绿色合成方法已是当今世界各国化工界和环境界最热门的研究课题之一。正是由于以上原因,在颁发的 12 项绿色合成路线奖(2005 年 2 项)中有 10 项与精细有机化学品的合成方法有关,其中 7 项是有关药物合成的新方法。另外 3 项学术奖和 1 项绿色反应条件奖也与精细有机合成有关。

(3)一些复配型的精细化学品,如涂料、油墨、胶粘剂、清洗剂等,虽然生产过程比较简单,但为了便于使用,往往要加入大量的具有有毒、有害、易燃、易爆等特征的挥发性有机物(VOCs)作为溶剂。使用后这些挥发性物质挥发至大气中,不仅造成了环境污染及对人体健康的危害,而且还造成了巨大的资源浪费,且在使用过程中存在安全隐患。因此,采用绿色溶剂,特别是水,代替有毒、有害的溶剂,或采用

无溶剂体系早已成为这类精细化学品发展的方向。在美国“总统绿色化学挑战奖”中有 8 项涉及该方面的研究成果。

(4) 精细化学品多数为终端产品,使用后要排放到环境中,有些产品的使用还与人们的生活息息相关。一些传统的精细化学品,在使用过程中或使用后排放到环境中直接造成了环境污染或其他危害,或因长期残留在环境中给生态环境造成了巨大影响。例如,有机氯杀虫剂是人类最早使用的合成农药,曾在防止害虫方面发挥了巨大作用,但它们在起作用时,会在许多种类的动、植物中生物聚集,而影响鸟类等动物的生存,且经常聚集在动物脂肪组织或脂肪细胞中,当被人食用时,也就造成对人的危害。DDT 就是第一个显示出大范围危害的此类农药。因此,设计安全和可降解的精细化学品一直受到世界各国的重视。在美国“总统绿色化学挑战奖”中有 20 项涉及该方面的研究成果,其中绿色化学品奖 8 项,小企业奖 6 项,绿色反应条件奖 4 项,绿色合成路线奖和学术奖各 1 项。

## 2 绿色精细化工的发展趋势

对获奖项目的分析还表明,生物技术、原子经济性反应、新型催化剂、无溶剂体系或绿色溶剂、膜技术、耦合技术将成为绿色精细化工的关键技术。采用可再生原料也是实现精细化工可持续发展的关键。

### 2.1 采用生物技术

生物催化反应大多条件温和,设备简单,选择性

好,副反应少,产品性质优良,安全性好,不产生新的污染,因此受到生物学家和化学家的高度重视。目前,许多精细化学品的合成和使用对生态环境产生了严重污染。生物技术给精细化工的绿色化带来了希望,使许多原来用化学方法很难实现的合成过程得以顺利完成。例如,近些年投放市场的人工胰岛素、干扰素等都是典型的利用生物技术生产精细化学品的例子。目前世界各国的精细化工企业都将大量资金和人力投入到生物工程技术的研究和开发方面。可以预见,21 世纪将是生物技术大放异彩的时代。在合成一些具有复杂结构的有机精细化学品,特别是具有光学活性的不对称化合物方面,生物技术具有显著的优势。在发展生物质化工原料和开发绿色精细化学品等方面,生物技术也将发挥不可替代的作用。正因如此,在 57 项获奖项目中有 16 项涉及生物技术,其中用于药物合成的有 4 项,涉及生物精细化学品的有 6 项。

Lilly 研究室开发了一种采用生物催化剂合成药物(如抗痉挛药物 LY300164)的新方法(1999 年绿色合成路线奖)。采用该技术每生产 1 kg LY300164 可减少约 41 L 的溶剂和 3 kg 的含镉废水。该技术也改善了生产的安全性,并使产品的产率从 16% 提高到 55%。Scripps 研究所的 Wong 教授开发了一些用于合成用其他方法难以合成的药物和其他重要化学品的高效酶催化方法(2000 年学术奖)。所有的这些酶催化反应都在环境友好的溶剂中进行,反应条件温和,几乎不需要对官能团进行保护。Bristol-Myers

(上接第 4 页)

知识库、土壤营养数据库、植物营养数据库以及相关的知识库群,为大力开发知识工程打下坚实的基础。

### 5.2 采用知识发现,数据挖掘技术对数据库和知识库进行优化和优选

针对需要解决的问题,采用数据挖掘技术进行优化,进一步提高资源和能源利用率,节能降耗。

### 5.3 化肥企业要与高等院校、科研单位合作,大力开展知识工程

只有化肥企业与高校研究单位合作,才能加快数据库和知识库的建设和利用。不仅要科学合理整合知识资源,而且要将无形知识资源更好地转化为有形的经济效益和实力。

### 5.4 大力推广应用《发明问题解决理论》,开展创新活动

1946 年前苏联发明家根里奇·阿奇舒勒通过与

合作者协作对 250 万件专利进行了深入的研究,发明了一套“发明问题解决理论”。在世界各国尤其是一些发达国家引起了高度重视,纷纷推广应用,取得了显著的效果。全球已有 200 多万件专利应用了该理论的原理和规则。美国波音公司采用该理论,解决了波音 767 飞机改成空中加油的关键技术问题,为该公司赢得了 16 亿美元的订单。美国福特公司采用该理论后,每年创造经济效益达 1 亿美元以上。近年来,俄罗斯、日本、印度、韩国等一些国家也都在大力推广应用该理论。韩国三星公司于 2003 年采用该理论指导项目研发,节约成本 15 亿美元,它已成为在中国申请专利最多的国外企业。因此建议化肥企业应大力推广应用《发明问题解决理论》,开展全方位创新活动,为化肥节能降耗,提高资源和能源利用率及“三废”综合利用,开发新产品做出贡献。■

Squibb公司采用植物细胞发酵技术生产抗癌药物Taxol<sup>®</sup>中的活性组分paclitaxel,以代替传统的从欧洲紫杉叶和嫩枝中提取paclitaxel的方法(2004年绿色合成路线奖)。采用该方法可显著减少有害物质的用量,少用10种溶剂,减少6个干燥步骤和节省大量的能量。为保证酶的活性、选择性、稳定性以满足实际生产和商业化过程的需要,Codexis公司采用基因重组、定向进化等制备技术,生产出活性非常高又非常稳定的3种酶,用于Lipitor<sup>®</sup>(世界上最畅销的降低胆固醇的药物)中的活性组分立普妥钙(Atorvastatin calcium)的关键手性构件分子(*R*)-4-氰基-3-丁醇的酶催化合成。和目前使用的方法相比,新方法能显著加快反应速度,增加产率,提高工人的安全性。同时,可减少废物排放量、溶剂用量和提纯设备。该成果获得了2006年绿色反应条件奖。

Dow Agrosciences LLC发明的Spinosad是一种由土壤微生物制得的高选择性环境友好杀虫剂(1999年绿色化学品奖),它能灭杀棉花、树木、水果、草皮等中的许多咀嚼害虫。与传统杀虫剂不一样,它不渗出,不产生生物积累,不挥发,在环境中不残留,对哺乳动物和鸟类毒性低。EDEN生物科技公司发明的新农药——Messenger<sup>®</sup>中的活性组分Harpins是一类新的无毒可生物降解的天然蛋白质,采用水基发酵法制备,可作为杀虫剂的替代品(2001年的小企业奖)。它能激活植物的防御和生长机制,增加植物的生物质量、光合作用、营养含量和根部发育,因而能提高庄稼的产量和质量。

AgraQuest公司发明的Serenade<sup>®</sup>是一种新的基于天然菌株的环境友好的高效生物杀菌剂,用于水果和蔬菜杀菌(2003年的小企业奖)。它对有益的和非目标的微生物无毒,不产生任何有害物质,对工人和地下水安全。Jeneil生物表面活性剂公司开发了系列低毒、易生物降解的生物表面活性剂,其中鼠李糖脂以无毒的可再生生物质为原料,生产过程简单、投资少、能耗低、不使用和不产生有害物质(2004年的小企业奖)。

Novozymes北美公司发明的BioPreparation<sup>™</sup>用生物制品酶代替常规化学品(热碱溶液)处理棉织物,以从棉纤维上分离天然蜡、油脂和杂质(2001年绿色反应条件奖)。采用BioPreparation<sup>™</sup>技术每年可节省大量的水和30%~50%的水费。造纸厂一般用有害溶剂,例如矿物溶剂,来清除造纸机上的黏性杂质。Buckman实验室国际公司发明的Optimize<sup>®</sup>技术使用一种新的酶制剂从废纸上清除这些黏性杂

质,结果增加了废纸的循环利用率,避免了有害溶剂和化学品的使用,增加产量6%以上,另外还节省了大量的费用。该成果获得了2004年绿色反应条件奖。

## 2.2 采用原子经济性反应

B.M.Trost教授因提出了“原子经济性”的概念而获得了1998年学术奖。他认为高效的有机合成反应应最大限度地利用原料分子的每一个原子,使之结合到目标分子中,达到“零排放”。多年的实践表明,采用原子经济性反应是提高资源利用率,避免产生废物的重要途径。亚氨基二乙酸钠(简称DSIDA)是Monsanto公司用于生产除草剂RoundUp<sup>®</sup>的关键中间体。DSIDA的传统制备方法以氨、甲醛、氢氰酸等有毒物质为原料,采用Strecker反应合成。该反应是放热反应,因而易导致反应失控,甚至发生危险事故。此外,每生产7 kg产物将产生1 kg废物(其中含有氰化物 and 甲醛等)。

经过多年的研究,Monsanto公司开发了采用铜为催化剂,由二乙醇胺催化脱氢制备DSIDA的新工艺(1996年绿色合成路线奖)。和原工艺相比,新工艺使反应的原子经济性从约84%提高到了约96%,还具有产率高、一步合成、原料毒性低、废物排放少等特点。另外,该反应为吸热反应,因而安全性好。布洛芬是一种消炎止痛药。BHC公司用无水氟化氢为催化剂和溶剂,将六步化学计量的反应(原子经济性低于40%)用3个催化步骤代替,使原子经济性接近80%,如果将回收的乙酸计算在内,原子经济性高达99%,从根本上消除了废物的产生(1997年绿色合成路线奖)。

Flexsys公司开发了一种以四甲基氢氧化铵为催化剂,直接由苯胺和硝基苯为原料合成橡胶防老剂中间体4-氨基二苯胺的无氯新工艺(1998年绿色合成路线奖)。传统的工艺是以苯胺和对硝基氯苯为原料。采用新工艺使反应的原子经济性从约70%提高到87.5%,结果使有机废物减少74%,无机废物减少99%,废水减少97%。Merck公司用三步原子经济性反应代替原来的六步化学计量反应,用于合成治疗恶心和呕吐的药物(2005年绿色合成路线奖),其关键是采用不对称催化合成手性醇。和原先的方法相比,该方法可消除大多数有害物,节能显著,几乎使产率翻一番,可节省80%的原料和水。

## 2.3 采用新型催化剂

采用新型催化剂是提高反应效率、简化反应步骤和实现原子经济性反应的关键。因此,寻找新型高效催化剂一直是化学家研究的热点。上面提到的

4 个采用原子经济性反应的获奖项目无一例外地采用了新型催化剂。生物技术中的化学反应大都以酶为催化剂,只有采用基因重组和细胞融合等先进手段,创造性地培养出具有特定功能的“工程酶”,才能大规模地采用生物技术生产精细化学品。除了上面提到的一些获奖项目外,涉及新型催化剂的研究和使用的获奖项目还有:由李朝军教授研究成功的能在水和空气中使用的过渡金属催化剂(2001 年学术奖)。该催化剂不需要无氧环境和易燃、易爆、有毒的有机溶剂,因而其使用安全,可用于许多重要的化学反应。另外,采用该催化剂,反应步骤少、反应温度低和废物排放量少。

Sud-Chenie 公司开发了一种无废物排放的固体氧化物催化剂的制备工艺(2003 年绿色合成路线奖)。Suppes 教授开发了一种以铬酸铜为催化剂,把生物质柴油生产中副产的甘油转化为丙二醇的反应精馏方法(2006 年的学术奖)。和以前的方法相比,该方法具有反应温度和压力较低,转化率较高和选择性较好等特点。Merck 公司发明了一种合成糖尿病治疗药物 Januvia™ 中的活性组分  $\beta$ -氨基酸(sitagliptin)的新方法(2006 年绿色合成路线奖)。新方法仅需三步反应,而原先的方法需八步反应。该方法的核心技术是烯胺的不对称催化加氢。采用不对称催化,烯胺中的官能团不需保护。所用不对称催化剂是以二茂铁基作为配体的金属铈的盐。采用该方法,可减少 80% 的废物排放,每生产 1 t 产品可减少废物排放量 220 t,几乎不产生废水,可使总产率增加 50% 以上。

#### 2.4 采用无溶剂体系或采用绿色溶剂

不论是合成精细化学品还是复配精细化学品,在其制造和使用过程中,经常要用到各种溶剂,以促进化学反应的进行或便于产品的使用。但是这些溶剂不是构成目标分子的物质,它们将成为废弃物进入环境,造成对人体健康和环境的危害。因此采用无溶剂体系或采用绿色溶剂已成为绿色精细化工的重要研究内容。在美国“总统绿色化学挑战奖”中有 12 项是关于这方面的研究成果,其中与精细化工有关的有 8 项。它们是:

(1) 替代聚丙烯酸的可降解热聚天冬氨酸的生产和使用(1996 年小企业奖)。Donlar 公司开发了 2 种非常有效的制备热聚天冬氨酸的方法,方法之一是采用固体聚合,产率高达 97% 以上。

(2) 不产生显影和定影废液的感光成像系统(1997 年绿色反应条件奖)。Imation 公司开发的

DryView™ 成像系统采用光热成像技术(无溶剂体系)代替卤化银光敏胶片用于医疗成像,也可代替所有的含有毒化学物质(如氢醌、银和乙酸)的感光显影液和定影液。该技术已在全球获得推广使用。由此每年可减少大量显影液、定影液用量和废水排放量。

(3) 用环境友好的辐射固化油墨装饰玻璃和陶瓷制品的技术——Envirogluv™(2000 年小企业奖)。Envirogluv™ 中所用的油墨不含重金属、几乎不含挥发性有机溶剂,并且可生物降解,且采用紫外光固化代替高温固化节能,节省原料,不产生废油墨,生产的玻璃装饰容器完全可循环使用。

(4) 一种挥发性有机物(VOCs)含量低的单组分紫外光固化汽车修补底漆(2005 年绿色反应条件奖)。BASF 公司开发的该底漆 VOCs 质量浓度仅为 0.2 kg/L,而传统的为 0.22 ~ 0.58 kg/L,降低了 50% 以上。另外,它不含剧毒二异氰酸酯(导致职业哮喘病)。用于汽车修补时,用量仅为传统的 1/3,废物从 20% 减少到接近零。

(5) 第一个新型水溶性聚合物分散体系 UL-TIMER®(1999 年绿色反应条件奖)。Nalco 化学公司开发的新型水溶性聚合物分散体系可用于处理各种工业和城市废水。该聚合物仅以水为溶剂生产,而不是以水/油乳液为反应介质,这就避免了烃类溶剂和表面活性剂污染环境。

(6) 双组分水性聚氨酯涂料(2000 年绿色反应条件奖)。Bayer 公司开发的这种新型的聚氨酯涂料几乎用水全部代替常规双组分溶剂型聚氨酯涂料中的有机溶剂。

(7) 用超临界二氧化碳清除保护层的技术(SCORR)(2002 年小企业奖)。SC 流体公司开发的 SCORR 技术用于从半导体薄片上清除残留物。和常规方法相比具有废物排放量低、对工人安全性好、成本低、节水和节能等优点。另外,它减少了有害溶剂和超纯水用量,简化了漂洗和干燥步骤。

(8) 苯胺印刷工业中用的环境友好溶剂及其回收设备(2006 年小企业奖)。苯胺印刷是一种被广泛使用的印刷方法,但它要使用大量的有毒、有害、易燃、易爆溶剂(最常用的是二甲苯)来清洗印刷版上未聚合的物质。Arkon 和 NuPro 技术公司联合开发了一种安全的用于苯胺印刷工业中的化学处理系统,包括冲洗用溶剂和可以对溶剂进行循环利用的设备。这些新型的溶剂如甲酯、萘烯衍生物以及高度取代的环烯烃具有不易爆、毒性低、可降解等特性,而且甲酯、萘烯衍生物都可以用再生资源为原料

制备。

## 2.5 采用耦合技术

耦合技术有利于节省资源、能源,减少污染,甚至提高生产效率。在不影响反应和分离效率的前提下,不同的反应或反应和分离过程最好选用同种溶剂和助剂,也可将反应和分离过程进行有效的耦合。在美国“总统绿色化学挑战奖”中有4项是有关耦合技术的研究成果。舍曲林是抗抑郁症药物 Zoloft<sup>®</sup>中的一种活性组分。Pfizer 公司开发的舍曲林生产新工艺在反应和分离过程中均选用环境友好的乙醇作溶剂,省去了原来需要应用的甲苯、四氢呋喃等溶剂。由于亚胺化合物在乙醇中的溶解度很小,很容易沉淀出来,不再需要应用 TiCl<sub>4</sub> 脱水,也无需中间体分离,而且顺式异构体的选择性显著提高。这样使操作步骤大为简化,每生产 1 t 产品,溶剂的需求量从 227 m<sup>3</sup> 减少到了 22.7 m<sup>3</sup>,减少了能量和水的消耗,节省原料 20% ~ 60%,使总产率翻了一番,并提高了工人的安全性,大大减少了有害废物的排放(2002 年绿色合成路线奖)。Eckert 和 Liotta 两位教授开发了既适合反应过程又适合分离过程的友好溶剂。采用该类溶剂代替传统溶剂,能改善反应和分离过程效率,减少废物排放量(2004 年学术奖)。在前面已介绍过的由生物质甘油制丙二醇获奖项目中,除采用了新型催化剂外,还采用了反应精馏的耦合技术。在布洛芬生产新工艺中,其核心技术是无水氟化氢同时作为催化剂和溶剂的耦合技术。

## 2.6 采用膜技术

膜分离技术具有成本低、能耗少、效率高、无污染并可回收有用物质的优点。膜催化反应可以“超平衡”地进行,提高反应的选择性和原料的转化率,节约资源,减少污染。因此,膜技术将在绿色化学中发挥重要作用。Argonne 开发了一种以碳水化合物为原料合成高纯度乳酸酯的新方法(1998 年绿色反应条件奖)。该方法采用膜分离技术实现了铵离子

和水与乙醇等醇类的选择性分离,因而和以前的方法相比,减少了大量的含盐废水。该方法具有能耗低、效率高、选择性好、污染小等特点。

## 2.7 采用可再生资源

目前所使用的有机化合物 90% 以上来自石油化工,它们属于不可再生资源,正日趋枯竭。要发展可持续化学工业,就必须寻找替代原料,并成功地完成向替代资源过渡。实践表明,在技术和经济上可行时,应尽可能利用可再生资源为原料,因为它们在我们的生存时间范围内易于再生,取之不尽,用之不竭。在美国“总统绿色化学挑战奖”中有 8 个奖项是与采用可再生资源有关,其中与精细化工有关的有 3 项。Biometrics 公司采用高温水解将可再生的纤维素生物质,如造纸厂的废渣、城市固体废物、不可循环使用的废纸、废木材、农作物秸秆等,转化为乙酰丙酸及其衍生物等精细化工中间体(1999 年小企业奖)。产品的生产成本从 4 ~ 6 美元/磅(1 磅 = 0.454 kg)可降至仅 0.32 美元/磅。成膜助剂对乳胶漆的性能起着关键作用。传统的成膜助剂乙二醇单丁醚和 Texanol(2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇单异丁酸酯,国内称醇酯-12)为有毒挥发性有机物。Archer Daniels Midland 公司开发的成膜助剂丙二醇不饱和脂肪酸单酯由生物质——油脂为原料制备,成膜性能与传统成膜助剂的相当,但不挥发、气味小,采用该成膜助剂能减少乳胶漆中 VOCs 含量,因而对环境污染和人体健康影响较小(2005 年绿色化学品奖)。前面已介绍过的由生物质甘油制丙二醇和单体 1-羟基丙酮就是采用了可再生油脂为原料。

## 参考文献

- [1] Anon. Summary of 2006 award entries and recipients[EB/OL]. [2006-11-30] <http://www.epa.gov/greenchemistry/presgcc.html>.
- [2] Anon. Summary of past award entries and recipients[EB/OL]. [2006-11-30] <http://www.epa.gov/greenchemistry/presgcc.html>. ■

## 致力于中国聚碳酸酯市场的发展

拜耳材料科技聚碳酸酯业务单元始终致力于为中国及亚洲地区客户提供优质服务。值广州 2007 中国国际橡塑展(5月21—24日)之际,拜耳材料科技聚碳酸酯业务单元亚太区高级树脂部门主管 Rainer Rettig 博士宣布拜耳材料科技将进一步执行公司战略,从而提高对客户需求的响应能力。

根据上述战略,拜耳材料科技已经将上海世界级的模克隆<sup>®</sup>聚碳酸酯工厂产能提升 1 倍。此外,公司还加大投资,并拓展亚洲地区服务和技术网络,为高度差异化市场的应用和产品提供领先技术和服。为了满足聚碳酸酯市场快速增长的需要,拜耳材料科技已追加近 8 000 万欧元投资,旨在通过新兴热点市场的特定市场区域,加强其全球网络。通过创建色彩配置中心以及更多拥有此类中心的掺混料工厂,将完善配置和专知融为一体。在中国

广州和印度新德里将计划建成亚太区的首批此类特定市场区域。

Rainer Rettig 博士特别提及了亚太地区各行业多样化应用发展导致的对模克隆<sup>®</sup>材料产品日益增长的需求。近期改组的高级树脂细分市场主要负责模克隆<sup>®</sup>和模克隆<sup>®</sup>混合物在汽车、信息技术、电子和医疗设备行业等应用主导型行业中的产品生产、开发和管理。

在此次展会上,拜耳材料科技展出了汽车、信息技术与电子设备、医疗和消费等行业中一系列聚碳酸酯和聚碳酸酯混合物的应用,验证了公司本次展会“背靠全球,服务本土”的主题。创新概念车无疑是拜耳材料科技在这次展会上的一大亮点。新型“eXaxis”概念车采用多种塑料和聚合物材料制成,其超前设计显示了塑料材料在设计自由度、功能性和耐用性方面的优越性能。(童志勇)