

中国科学院国家科学图书馆

# 科学研究动态监测快报

---

2009年11月15日 第22期（总第92期）

## 先进制造与新材料科技专辑

中国科学院先进制造与新材料创新基地

中国科学院规划战略局

中国科学院国家科学图书馆武汉分馆

---

中国科学院国家科学图书馆武汉分馆 武汉市武昌区小洪山西 25 号  
邮编：430071 电话：027-87199180 电子邮件：jiance@mail.whlib.ac.cn

## 目 录

### 专 题

热电转换材料研究进展.....1

### 政策规划

欧盟计划更新纳米行动计划.....4  
纳米技术可使爱尔兰出口增加 10% .....5  
英投资 4000 万英镑支持制造业技术和就业发展 .....5  
美机构发布《碳捕获与封存中美合作路线图》 .....5  
英国纳米材料安全中心投入运营 .....6

### 研究进展

计算发现或存在 270 万种沸石 .....7  
未来新型抗火耐高温建筑材料 .....7  
烧结金属粉末密度实现均匀分布 .....7  
纳米管产业化加工获得突破.....8  
见光破裂的微胶囊问世.....8

## 热电转换材料研究进展

编者按：热电转换材料是一类利用半导体材料的塞贝克效应和帕尔贴效应，实现热能和电能直接相互转换的材料，也称作温差电材料。热电转换材料在利用废热发电方面有着巨大的应用潜力，对于解决全面所面临的能源问题和环境问题、建设低碳社会具有重要意义。如何提高材料的热电转换效率是目前人们研究探讨的热点问题。日本、美国、欧洲等国家和地区的研究机构已在这一领域开展了很多研究，本期专题介绍了他们热电材料及其制造工艺的发展现状。

目前关于发电厂、炼铁厂、废物焚烧厂中废热利用技术在不断发展，但是废热回收度仍然达不到要求。由于种种原因，将废热转化为电能的废热发电系统的推广应用举步维艰。主要原因是，目前使用的 Bi、Sb、Te、Pb 等材料资源有限，且对环境造成危害。此外，同光伏电池等其他技术相比，热电器件的发电效率仍然很低。

在日本，对于不同热电材料和发电系统的研究开发主要是由日本新能源产业技术综合开发机构支持。但直到目前，开发的热电材料和系统技术仍达不到支撑一个热电发电市场的要求。未来应该采取明确的方法提升热电材料、器件和应用技术的研究和开发。尤其是长远的目标应该包括纳米结构控制和相关制造工艺制备的新型超晶格、量子结构的纳米材料系统，以及储量丰富、环境友好的金属氧化物材料等。

如果可以开发出相对于其他发电方式，具有成本竞争优势的热电发电模块、系统，将极大地节约能源、保护环境，巨大的经济前景也是可预期的。日本应该在此领域成为国际领跑者，并且相对于其他国家保持技术领先优势。

本文首先从热电转化的效率的角度，综述了目前热电材料的发展现状，然后介绍了环境友好的热电材料的发展趋势，最后介绍了日本以外国家的热电转换材料的研发趋势，并且对未来如何推进热电材料的研发提出了建议。

### 1 现有的热电转换材料

理想的热电转换材料的无量纲的发电性能指标  $ZT$  为 2 甚至更高。图 1 从  $ZT$  的角度出发，给出的是主要热电转换材料的发展历史。迄今为止，主要的热电转换材料有金属间化合物，如  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 、 $\text{PtTe}$ 、 $\text{ZnSb}$ 、 $\text{SiGe}$ 、 $\text{FeSi}_2$  等。在这些材料当中，需要特别指出的是  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ，从室温到 450 K 的相对较低的温度范围内， $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  材料的  $ZT$  较大，是目前热电转换材料领域应用最广的材料之一。

图 2 给出的是热电转换材料的  $ZT$  与温度的关系图。随着温度的升高，各种材料的  $ZT$  均趋向于逐渐增大，在到达一个峰值以后则开始降低。在 300-700 K 的中低温范围内， $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  和  $\text{Zn}_4\text{Sb}_3$  的发电性能指标  $ZT$  为 1.0-1.25。而 700 K 时， $\text{AgSbTe}_2$ /

GeTe (构成比为 1: 1) 的 ZT 约为 0.12; 1100 K 时,  $\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8}$  的 ZT 约为 0.7。当温度低于 500 K 的情况下, BiTe 材料的 ZT 较高。在 700-900 K 的中等温度范围内,  $\text{AgSbTe}_2/\text{GeTe}$  和  $\text{CeFe}_4\text{CoSb}_{12}$  是高 ZT 的热电转换材料。在 900 K 以上的高温区域, 高 ZT 的材料有:  $\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8}$ 、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$  和  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ 。

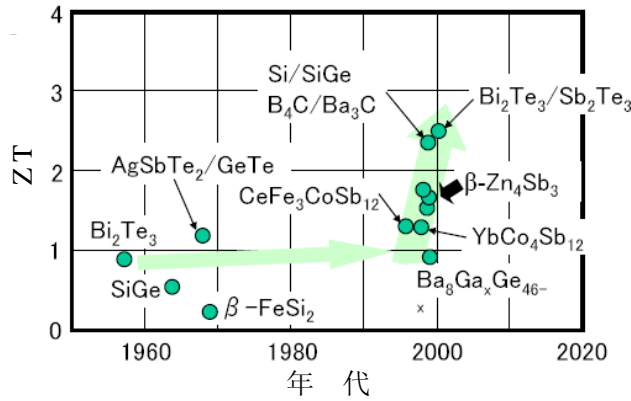


图 1 主要热电转换材料的发展历史 (以 ZT 为指标)

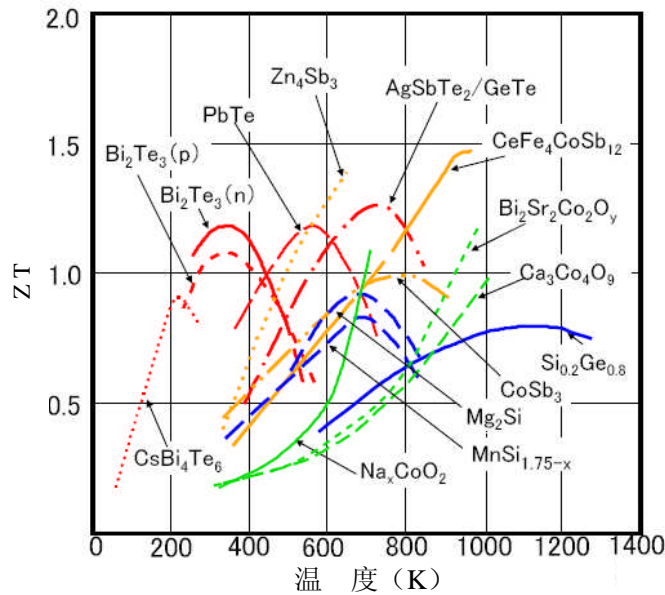


图 2 主要热电转换材料 ZT 与温度的关系图

就适合于实际应用的材料而言, 过去 50 年以来, 要将 ZT 提高到  $>1$  是一件相当困难的事情。这主要是因为 ZT 中的参数, 如电阻、导热系数的影响因素很多。近来, 有若干篇文献已经报道了  $ZT > 2$  的热电转换材料。有研究显示, 借助于纳米结构, 也能够获得  $ZT > 1$  的热电转换材料。然而, 对于 Bi、Te、Pb、Sb、Ag 等材料来说, 目前尚未开发出适合实际应用的大模块的生产工艺。

## 2 低环境影响的热电转换材料

如图 1 和图 2 所示, 目前热电转换材料已经用到 Bi、Sb、Pb 等重金属的金属间化合物, 甚至是全球储量有限的元素。但从环境影响的观点来看, 这些金属间化合

物的全面实际应用未来将很困难。最近，金属氧化物引起广泛关注，因为金属氧化物材料都是人们所熟悉的，且存量丰富，对环境影响小，还具有高的耐热性。然而，与重金属材料相比，金属氧化物的热电转换效率较低。

图 3 为目前主要研究的热电转换材料和未来应当优先研发的重点材料示意图。优先研发方向应为硅基和金属氧化物基材料，因为这两类材料的原料资源储备丰富，可低成本组成材料系统且环境影响低。虽然硅化镁 ( $Mg_2Si$ ) 材料的热电转换效率低，但作为整个模块的效率可以通过电路创新而提高效率。

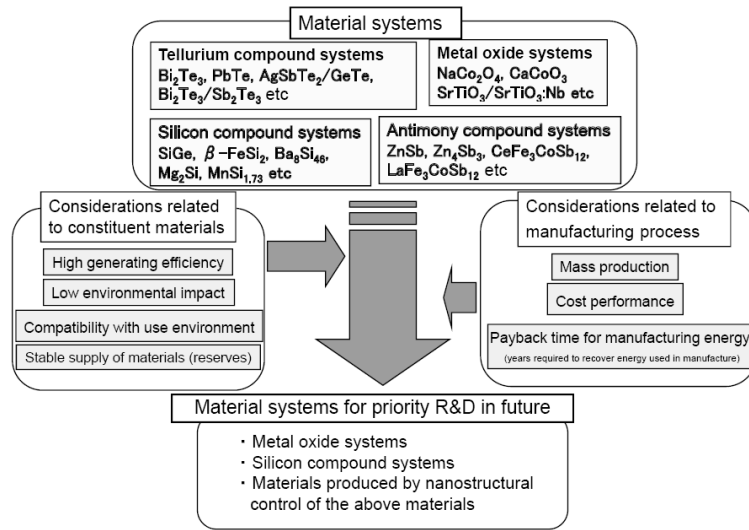


图 3 目前主要研究的热电转换材料和未来优先研发的材料系统

硅基化合物如  $Mg_2Si$ 、 $\beta-FeSi_2$ 、 $MnSi_{1.73}$  等有希望成为未来低环境影响的候选材料。虽然先前从材料微结构和工艺角度在性能提高方面做了研究，但材料性能很低， $ZT \approx 0.2$ （元素效率为 2-5%）。然而，据报道微结构控制的  $MnSi_{1.73}$ （p 型半导体）和  $Mg_2Si$ （n 型半导体）组合模块的元素效率已经达到 6.4%。

在常温和常压下从水溶液中制备金属氧化物陶瓷的合成工艺，适合低成本大规模生产，且材料本身对环境影响小。在高温下运作的高效率热电转换材料中，考虑到金属氧化物的高温稳定性等优势，因此金属氧化物似乎会成为核心材料。

$CeFe_3CoSb_{12}$  是 p 型半导体，也是一种 skutterudite 化合物，由于其独特的带结构和电子结构，该化合物具有不寻常的孔流动性，在室温下达到  $2000-8000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。通过降低这种化合物导热系数，数值约为  $CoSb_3$  导热系数的 1/5，其性能  $ZT \approx 1.3$ （800K）已经实现。

$Ba_8Si_{46}$  包合物具有非晶材料低导热系数和晶体材料高电子迁移率的半导体材料。“包合物”是指化合物以小分子被包在晶体结构的空腔中，但不是靠共价键而是靠组分间紧密吻合而稳定存在。这种材料具有复杂的笼结构，由于笼中原子的声子散射，晶格热导率小，类似于非晶  $\alpha-Ge$  和石英玻璃 ( $\alpha-SiO_2$ )。目前，热电转换效

率性能  $ZT \approx 0.6$  (900K), 但通过优化电子空穴密度和元素替代物, 预计将达到  $ZT \approx 1.5$ 。

其他的热电转换材料包括  $Zn_4Sb_3$  (铋基材料)、强关联电子系统化合物、超晶格化合物、以及  $NaCo_2O_4$  等金属化合物。据报道针状单晶  $CaCoO_3$  的  $ZT=1$ 。

### 3 日本以外国家的热电转换材料的研发趋势

在美国, 热电发电技术的研发优先集中于自由汽车技术项目 (Freedom Car & Vehicle Technologies Program) 提出的汽车尾气废热, 该计划是美国能源部能源效率与可再生能源项目的组成部分。研究工作正在如火如荼地展开, 并开始涉及纳米结构材料技术领域, 如超晶格材料及其应用技术。

在欧洲, 过去鲜有热电发电技术方面的研发工作, 然而, 近来这一局面得以改观, 尤其是在德国。德国弗劳恩霍夫应用研究促进协会正在开展该国以及其他国家产业界的应用技术的研发工作。在弗劳恩霍夫协会的 56 个本土实验室中, 生产技术和应用材料研究所 (IFAM)、物理测量技术研究所 (IPM)、集成电路研究所 (IIS) 正在进行纳米级热电转换材料工艺以及能源供给模块和系统的实际应用研究。此外, 德国航空航天中心 (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) 也在从事该领域的研发, 计划将热电发电传感器应用于空间领域, 并计划制定热电发电性能技术评价的国际标准。

黄健 万勇 冯瑞华 编译自

*R&D Trends in High Efficiency Thermoelectric Conversion Materials for Waste Heat Recovery*

## 政策规划

### 欧盟计划更新纳米行动计划

根据新近出版的《2005-2009 纳米技术行动计划》执行报告, 为了更好、更准确地把握欧洲市场纳米材料的情况, 欧洲委员会计划在 2011 年发布有关纳米材料类型、使用的信息, 包括安全性方面。执行报告指出, 需要深化关键纳米技术领域的研究以及路线图工作, 并开展更加直接、集中、连续的社会对话。同时, 还应增加研究经费, 尤其是健康和安全方面的政府开支。在向社会征集意见后, 新一轮的五年纳米行动计划将于明年出台。

万勇 摘译自 <http://chemicalwatch.com/index.cfm?go=2868>

检索日期: 2009 年 11 月 10 日

## 纳米技术可使爱尔兰出口增加 10%

爱尔兰 Nanoweek 会议主办方称，如果爱尔兰政府在纳米科技领域加强投资，本国的出口将可能增长 10%。该会议的目的是为了提高业界如信息和通信技术（ICT）、医疗设备和生物制药业对纳米科技的认知。纳米科技每年为爱尔兰创造 150 亿欧元的出口额，政府需要在这个不断增长的领域进行战略性投资。

潘懿 摘译自

<http://breakingnews.iol.ie/news/business/nanoscience-could-raise-irish-exports-by-10-434038.html>

检索日期：2009 年 11 月 13 日

## 英投资 4000 万英镑支持制造业技术和就业发展

英国商务、创新和技能部（BIS）近日宣布将新增 4000 万英镑的投资用于建设一个新的制造业技术中心（manufacturing technology centre, MTC）。该中心位于英国中部地区的安斯蒂公园，将构成制造业中心全国网络的一部分，为商业和大学提供支持。已明确投入的项目超过 20 项，创造了 150 多个高技能就业岗位。在未来 10 年间投资总额度将达到 13000 万英镑，形成最大规模的制造业研究机构。BIS 还将正式启动一个名为“Manufacturing Insight”的行业支持机构，负责提高公众对制造业的认识并扩大就业门路。

潘懿 摘译自 <http://www.bis.gov.uk/40-million-backing-formanufacturing>

检索日期：2009 年 11 月 2 日

## 美机构发布《碳捕获与封存中美合作路线图》

最近，亚洲协会美中关系中心、美国进步中心、摩立特集团与美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室合作，共同发布了《碳捕获与封存中美合作路线图》。本报告旨在促成中美之间达成一种新的伙伴关系，通过制定出在碳捕获与封存（CCS）技术上具体可行的新的合作方案，促使两国就碳捕获和封存采取实质性的协调行动。报告认为双边联合开发的实际益处包括：加速美国技术的发展；为美国创造就业机会；降低美国的电价；提高中国的 CCS 技术水平；在中方其它更感兴趣的领域促进合作；直接降低成本；风险的分担；市场资金的确保；减排提速。

报告提供了两国在 CCS 技术开发与利用领域开展长期双边合作的框架，认为 CCS 的成功合作应包括对 CCS 技术的长期研究开发、CCS 的商业规模推广应用以及同时为可能的减排奠定基础，提出中美 CCS 合作的三个组成部分：

（1）对现有工矿企业和发电厂中的纯 CO<sub>2</sub> 气流进行封存 报告认为，中美两国在 CCS 技术上合作的第一阶段应对中国现有煤炭气化炉产生的纯 CO<sub>2</sub> 气流的地质封存迅速进行大规模示范。这些气流相对比较容易捕获，可使两国在这方面的合作

较早取得成效。两国应在中国的若干地点选定若干项目，美国对这些项目的实施、设备和技术提供实质性资金支持。中美联合在中国提升这些技术比在任何一国单独完成这些项目所需的费用要少，而技术实施的经验也可引回美国并加快在美国国内的实施。每个项目的全部费用约为 5-10 千万美元，美方将可能提供 2-4 千万美元。所需时间在双方达成协议后从规划到完成约需 2-5 年。

(2) 对改造老电厂的研究与开发进行投资 报告认为，中美两国 CCS 技术上合作的第二部分应侧重在对燃烧后捕获技术加速研究、开发和示范，以用于在中、长期内对较老的火力发电厂进行改造。两国都将选定进行大规模改造示范的厂家，以开发和测试能够提高效益并降低成本的不同捕获新技术。这样做也有助于根据两国不同的政治、工业和金融体制制订改造火电厂的长远规划。这需要一个联合研发中心（可以设在美国能源部下）。该中心应立即开始运作。改造示范项目的准备时间可能会长一些，从筹备到开工约需 5 年（3 年确定项目，2 年筹备）。

(3) 催化 CCS 技术市场 报告认为，鉴于中国目前还没有形成碳减排的市场机制，因此两国均需为私营资本投资 CCS 项目提供经济激励机制，通过催化性的公共资金投入带动私人资本的参与。近期（0-5 年）目标是：使用公共资金支持美国公司参与在中国的封存项目，同时为私人资本对 CCS 的投资提供有保证的回报，此回报将来可得到兑现。中期（6-10 年）目标是：推动将碳封存纳入新的类似清洁发展机制的国际机制之中，为其它资金来源创造机会。远期（11 年及以上）目标：催化全球碳减排市场的形成。

马廷灿 编译自 [https://publicaffairs.llnl.gov/news/news\\_releases/2009/NR-09-11-02.html](https://publicaffairs.llnl.gov/news/news_releases/2009/NR-09-11-02.html)

[http://www.americanprogress.org/issues/2009/11/pdf/china\\_ccs\\_chinese.pdf](http://www.americanprogress.org/issues/2009/11/pdf/china_ccs_chinese.pdf)

检索日期：2009 年 11 月 10 日

## 英国纳米材料安全中心投入运营

位于英国爱丁堡的尤比亚大学 Craighouse Campus 的纳米材料安全中心近日正式启用。该中心将对各种纳米颗粒是否会进入人体以及细菌、昆虫、植物等引起病变展开研究，进而为产业界生产更为安全的产品、决策者制定人与环境保护立法、消费者获得更多知情权等提供必要的信息支持。目前，中心已经有经费 130 万英镑，与 27 个欧洲国家以及美国、日本和澳大利亚的科研人员建立了合作关系。苏格兰首席科学顾问 Anne Glover 教授指出，该中心是英国第一批整合了人类、环境、生殖健康、微生物领域的纳米科学研究，确保纳米技术安全性及可持续使用的机构之一。

万 勇 摘译自

<http://www.theengineer.co.uk/Articles/313993/Nanomaterial%20safety%20centre%20opened.htm>

检索日期：2009 年 11 月 13 日



## 研究进展

### 计算发现或存在 270 万种沸石

沸石拥有完美的晶格结构，其作用是只允许特定大小的分子通过，还可吸收气体等特定分子，在工业上被用来制造洗衣粉，将石油裂解成汽油、柴油和其他产品，以及在核发电厂中用来吸收放射性离子。到目前为止，所知的大约有 200 种沸石，美国莱斯大学的 Michael Deem 教授通过计算发现，实际种类可能远远不止于此，可能存在的种类约为 270 万种。将所有可能的结构列出需要花费长时间的计算，借助 Zefsa II 软件，研究人员在 NSF 的 TeraGrid 上花费 3 年完成了计算。研究者目前面临的最大问题是，如何将理论上的沸石变成现实。相关研究成果发表在 *J. Phys. Chem. C* 上（文章标题：Computational Discovery of New Zeolite-Like Materials）。

相关数据库资料可以登录以下网址：<http://sdpd.univ-lemans.fr/cod/pcod/>。

黄健 摘译自 <http://www.rice.edu/nationalmedia/news2009-10-28-deem>

检索日期：2009 年 11 月 12 日

### 未来新型抗火耐高温建筑材料

英国谢菲尔德哈勒姆大学与 Liquid Granite 公司联合开发出一种未来新型建筑材料。这种全新材料由 30-70% 的可回收原料制作而成，所用水泥量不及预制混凝土的三分之一，能够抵抗高达 1100°C 的高温，不会爆炸，可以在很大程度上替代混凝土水泥用于未来建筑领域，保障人们的安全，而且可以减少 CO<sub>2</sub> 的排放量。这种材料已于最近投入生产，目前已经有很多建筑公司对这一材料产生了兴趣，并将其应用于建造奥运村和伦敦的斯坦福德购物中心。

马廷灿 摘译自 <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/10/091029161253.htm>

检索日期：2009 年 11 月 4 日

### 烧结金属粉末密度实现均匀分布

零部件压制和烧结制造方法涉及金属粉末对模具的填充，德国弗劳恩霍夫协会的研究人员模拟这一过程并首次实现了粉末密度均匀分布，提高了烧结的成本效率。

研究人员把装粉靴（feed shoe）做成底端开口的箱状，在具有部件形状凹槽的表面上移动，带有细密纹理的金属粉末由装粉靴进入模具。冲模在数百兆帕的压力下压制疏松的粉末形成“生坯”，按成品形状形成的预成型件在炉内以低于材料熔点的温度烧结。这个过程可以保证压制的颗粒结构变得更加压缩和硬化。

研究人员开发出填充过程优化仿真技术，以提高模具粉末充填的均匀性。通过对粉末的数字化描述，对每一粉末颗粒赋值，并考虑颗粒的物理特性、大小和形状

以及模具的形状，然后通过计算得出粉末颗粒是如何及从哪里流入模具以及填充后什么样的密度分布最为合适。此外，研究人员针对填充过程得出结论，包括装粉靴需要多快速度以及如何运动。研究人员可以模拟烧结的整个过程直到零件完成，因此可以复制全部的加工过程链。

潘懿 摘译自

<http://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2009/11/simulation-metal-powder.jsp>

检索日期：2009年11月12日

## 纳米管产业化加工获得突破

由美国、以色列等的18名研究人员组成的联合研究小组历经九年的潜心钻研，开发出碳纳米管产业化加工的新方法。2003年，莱斯大学的一项研究显示，硫酸等强酸可以溶解大量的纳米管。在这些溶液中，纳米管可以规整排列，纺成头发丝大小的单根纤维。该小组系统研究了纳米管在不同性质、浓度的酸性溶液中的行为，并与聚合物、棒状胶体进行对比，利用氯磺酸作为纳米管的真正溶剂，开发出大批量加工纳米管的理论和实际工具。并在名为HiPco的反应器上进行了试验。相关研究工作发表在*Nature Nanotech.*上（文章标题：True solutions of single-walled carbon nanotubes for assembly into macroscopic materials）。

万勇 摘译自 <http://www.media.rice.edu/media/NewsBot.asp?MODE=VIEW&ID=13294>

检索日期：2009年11月11日

## 见光破裂的微胶囊问世

加州大学伯克利分校的科研人员利用界面聚合技术研制出新一代微胶囊。这种微胶囊由沙粒大小的尼龙小球组成，填充有碳纳米管和液体化学物质。在外界激光的作用下，碳纳米管将光能转化为热能，使小球爆裂，释放出化学物质。这种新的微胶囊有望应用于自愈合塑料、靶向药物、无碳复印纸等。相关研究工作发表在《美国化学会志》上（*J. Am. Chem. Soc.*, 2009, 131(38): 13586-13587）。

万勇 摘译自 <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja905378v>

检索日期：2009年11月4日

为了更好地发挥科学研究动态监测快报的作用并方便读者及时进行意见反馈，我们特别设立了意见反馈和订阅网页。

意见反馈请登陆 <http://www.whlib.ac.cn/fwjs/qbyj/yjfk.htm>

快报订阅请登陆 <http://www.whlib.ac.cn/fwjs/qbyj/dy.htm>

真诚地希望您能提出宝贵意见，以便我们为您提供更好的情报服务！也欢迎推荐相关领域专家订阅我们的快报！非常感谢您的信赖与支持！

## 版权及合理使用声明

中国科学院国家科学图书馆《科学研究动态监测快报》（简称《快报》）遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法权益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《快报》用于任何商业或其他营利性用途。未经中国科学院国家科学图书馆同意，用于读者个人学习、研究目的的单篇信息报道稿件的使用，应注明版权信息和信息来源。未经中国科学院国家科学图书馆允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布相关专题《快报》。任何单位要链接、整期发布或转载相关专题《快报》内容，应向中国科学院国家科学图书馆发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并与国家科学图书馆签订协议。中国科学院国家科学图书馆总馆网站发布所有专题的《快报》，国家科学图书馆各分馆网站上发布各相关专题的《快报》。其他单位如需链接、整期发布或转载相关专题的《快报》，请与中国科学院国家科学图书馆联系。

欢迎对中国科学院国家科学图书馆《科学研究动态监测快报》提出意见与建议。

# 中国科学院国家科学图书馆

## National Science Library of Chinese Academy of Sciences

《科学研究动态监测快报》(简称系列《快报》)是由中国科学院国家科学图书馆总馆、兰州分馆、成都分馆、武汉分馆以及中科院上海生命科学信息中心编辑出版的科技信息报道类半月快报刊物,由中国科学院规划战略局、基础科学局、资源环境科学与技术局、生命科学与生物技术局、高技术研究与发展局等中科院职能局、专业局或科技创新基地支持和指导,于2004年12月正式启动,每月1日或15日出版。2006年10月,国家科学图书馆按照统一规划、系统布局、分工负责、系统集成的思路,对应院1+10科技创新基地,重新规划和部署了系列《快报》。系列《快报》的重点服务对象首先是中科院领导、中科院专业局职能局领导和相关管理人员;其次是包括研究所领导在内的科学家;三是国家有关科技部委的决策者和管理人员以及有关科学家。系列《快报》内容将恰当地兼顾好决策管理者与战略科学家的信息需求,报道各科学领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大研发与应用、科技政策与管理等方面的最新进展与发展动态。

系列《快报》现有13个专辑,分别为:由中国科学院国家科学图书馆总馆承担的《交叉与重大前沿专辑》、《现代农业科技专辑》、《空间光电科技专辑》、《科技战略与政策专辑》;由兰州分馆承担的《资源环境科学专辑》、《地球科学专辑》、《气候变化科学专辑》;由成都分馆承担的《信息科技专辑》、《先进工业生物科技专辑》;由武汉分馆承担的《先进能源科技专辑》、《先进制造与新材料科技专辑》、《生物安全专辑》;由上海生命科学信息中心承担的《生命科学专辑》。

编辑出版:中国科学院国家科学图书馆

联系地址:北京市海淀区北四环西路33号(100190)

联系人:冷伏海 朱相丽

电话:(010)62538705、62539101

电子邮件:lengfh@mail.las.ac.cn; zhuxl@mail.las.ac.cn

先进制造与新材料科技专辑

联系人:马廷灿 万勇 冯瑞华

电话:(027)87199180

电子邮件:jiance@mail.whlib.ac.cn