

先进制造与新材料动态

ADVANCED MANUFACTURING AND MATERIALS NEWSLETTER

监测快报

2023 第 22 期
(总第 428 期)

本期要目

- 美 DOE 投入 35 亿美元加强国内电池制造供应链
- 美 DARPA 拟提升关键材料市场透明度
- 英发布生物电子医疗材料创新战略和行动计划建议征集
- 欧启动 GRAPHERGIA 项目改变能量收集和存储
- 英 APC 发布《汽车电池价值链洞察》报告

目 录

战略规划

韩发布造船新战略 1

项目资助

美 DOE 投入 35 亿美元加强国内电池制造供应链 2

“制造业美国” 研究所与 MEP 构建合作伙伴关系 2

美 DARPA 拟提升关键材料市场透明度 3

英发布生物电子医疗材料创新战略和行动计划建议征集 4

欧启动 GRAPHERGIA 项目改变能量收集和存储 5

美开发增材制造技术以强化铸造和锻造生产效率与效益 6

行业观察

英 APC 发布《汽车电池价值链洞察》报告 7

研究进展

人工材料动力学磁性证实电气控制替代磁性机制 9

光诱导超导性可实现芯片集成 9

具有量子精度的材料模拟获戈登贝尔奖 10

液态金属催化剂选择性合成丙烯 11

扭曲磁体有望实现类脑计算 11

新型硬质碳电极助力钠离子和钾离子电池发展 12

韩发布造船新战略

11月15日，韩国产业通商资源部（MOTIE）公布了《面向未来市场领先地位的K造船战略》（*K-Shipbuilding Strategy for Next-Generation Market Dominance*），旨在巩固韩国在全球造船行业的领先地位。战略设定的目标包括：到2028年，投资总额达7100亿韩元（约5.49亿美元），到2030年将韩国下一代船舶的全球份额从2022年的56.3%提高到80%¹。为了实现上述目标，韩国将采取以下行动：

（1）抓住船舶行业未来发展机遇

MOTIE将推动液化天然气、氨和氢等船用动力系统的开发与示范，并推动自动驾驶船舶的早期商业化。韩国政府还将培训3000名核心技术人才，并且向海外伙伴寻求技术合作。

（2）推动造船制造系统创新升级

MOTIE将投资建设智能造船厂和机器人配送，以实现数字化转型，同时根据对外国人人力需求的中长期预测改进签证系统。支持中小型造船企业、材料及设备制造企业进入海外市场和技术开发。

（3）改善行业环境

MOTIE将改善金融对造船业的支持，加强与大公司、中小企业、上下游行业的合作。制定《下一代船舶工业产业化与技术创新促进法（试行）》，扩大出口。

（黄健）

¹ MOTIE announces K-Shipbuilding Strategy for Next-Generation Market Dominance.
https://english.motie.go.kr/en/pc/pressreleases/bbs/bbsView.do?bbs_seq_n=1534&bbs_cd_n=2¤tPage=9&search_key_n=&search_val_v=&cate_n=

项目资助

美 DOE 投入 35 亿美元加强国内电池制造供应链

11 月 15 日，美国能源部（DOE）宣布，将根据《两党基础设施法案》拨款，投入 35 亿美元提高美国国内先进电池及原材料生产能力。该笔资金将重点用于新建、改造和扩建国内设施，以增强电池制造能力，助力清洁能源转型²。重点资助以下制造设施的建设和改进：

①利用国内资源的锂分离加工，包括卤水提锂、硬岩提锂及粘土提锂等工艺；

②电池关键矿物回收（非锂关键材料），包括利用传统来源（硬岩、卤水等自然资源、化工过程、电池回收等）或替代来源（矿山废弃物、其他废弃物、非电池回收等）的电池级非锂关键材料制造；

③电池前驱体材料制造；

④电池电极制造；

⑤电解质盐及电解液制造；

⑥用于小型及特定市场的电池制造，包括非轻型运输、固定式储能、商用车、越野车、国防、航空航天、电动工具和其他终端应用市场；

⑦非锂电池及系统制造；

⑧开放主题：其他电池及系统组件制造。

（岳 芳）

“制造业美国”研究所与 MEP 构建合作伙伴关系

10 月 18 日，“制造业美国”数字制造与网络安全研究所（M×D）宣布与国家标准与技术研究院（NIST）制造业扩展伙伴关系（MEP）建立新的五年期合作，将向中小型制造商提供有针对性的数字化技术支持，

² Biden-Harris Administration Announces \$3.5 Billion to Strengthen Domestic Battery Manufacturing.
<https://www.energy.gov/articles/biden-harris-administration-announces-35-billion-strengthen-domestic-battery-manufacturing>

包括网络安全应急预案，以及更有益于中小制造商融资的机会³。

在美国制造业中，中小型制造商占市场的 98%以上，超过 75%的公司员工不到 20 人，双方的合作将为美国制造业带来巨大的影响。双方都为此次合作带来了独特的优势。双方都专注于支持劳动力发展、建立韧性供应链和推动数字技术应用。M×D 将提供一套全面的数字制造资源和解决方案，其中包括强调劳动力发展，确保人才具备必要的技能来推动数字技术的应用。此外，M×D 还将通过评估、研讨会和预备性培训等支持 NIST 的网络安全框架。在成员生态系统的持续投入下，M×D 不断满足市场需求，开展一系列将产业界、学术界和政府等聚集在一起的特定项目。

（李 喻）

美 DARPA 拟提升关键材料市场透明度

当今全球材料的定价不透明，供需预测不准确，一直给企业和消费者带来巨大的经济成本。贱金属（如镍、锂和镁）、稀土金属和其他矿物（如钴和锆）等关键材料对于维护美国国家安全和科学技术的发展至关重要。

美国国防部先进研究计划局（DARPA）推出“确保国家安全的公开价格探测”（Open Price Exploration for National security, OPEN）计划，旨在通过提高全球关键材料市场的透明度，增强供应链韧性和国家安全。该计划包括两个技术领域：估算实际的关键材料投入成本以及估算基本材料的供需函数⁴。

DARPA 通过 OPEN 计划与美国地质调查局合作，利用现代科学技术来提高对关键材料定价和供求、数量等的预测水平。该计划是通过分析基本的、可观测投入成本的商业和公开信息，构建透明的结构性价格

³ MxD Announces Partnership with NIST Manufacturing Extension Partnership.
<https://www.mxdusa.org/2023/10/18/mxd-announces-partnership-with-nist-manufacturing-extension-partnership/>

⁴ DARPA Unveils Program to Increase Transparency in Critical Materials Sector.
<https://www.darpa.mil/news-events/2023-10-24a>

预测，并利用时间序列预测、经济建模和机器学习等技术来创建精准的供需预测。关键材料生产商和买方可利用 OPEN 技术作为透明的信息来源，大宗商品开采及精炼企业的投资者也可利用 OPEN 实现结构性价格及预测。

（李 喻）

英发布生物电子医疗材料创新战略和行动计划建议征集

11 月，英国亨利·罗伊斯研究所发布了一项重大的建议征集工作计划，旨在为生物电子医疗材料的开发制定全面的战略和行动计划，将世界领先的研究成果进行转化和商业化⁵。该研究所正在寻求合作组织开展这项重要工作，明确生物电子医疗材料的现有优势和机遇，并分析生物电子医疗领域未来所需的潜在新材料。研究范围可扩展到可穿戴设备、植入式设备和混合系统，包括体外系统。预期 6 个月时间完成该建议征集活动。

（1）生物电子医疗材料范围界定和现状

规划国际/国内学术和第三方专业技术中心，重点开发适用于生物电子医疗领域的材料；对国际/国内产业格局进行全面审查，重点确定已向市场推出产品或正在开发产品的知名公司；分析知名公司目前产品组合中生物电子医疗材料的使用情况；分析利益相关方在有效利用产品组合中生物电子医疗材料所面临的挑战，如规模扩大、市场认可、临床应用以及可持续性和环境影响等；评估英国在材料整合方面面临的挑战。

（2）生物电子医疗材料范围界定和未来机会确定

了解利益相关方对生物电子医疗领域预期应用的见解；确定可能推动这些预期应用的现有材料；确定新型材料系统和现有材料系统的开发要求；确定将这些材料整合到产品组合中可能面临的挑战；对未来 30 年

⁵ Tender to Develop Materials in Bioelectronic Healthcare Innovation Strategy and Action Plan.
<https://www.royce.ac.uk/news/tender-to-develop-materials-in-bioelectronic-healthcare-innovation-strategy-and-action-plan/>
https://www.royce.ac.uk/content/uploads/2023/11/Royce_Bioelectronics_Tender.pdf

生物电子医疗材料的潜在机遇进行市场分析。

(3) 形成战略、建议和行动计划

这是本次建议征集活动的主要任务，最终成果将是在上述基础上形成一份最终报告和战略行动计划，重点是根据国家需求促进创新和技术转化。生物电子医疗材料创新战略和行动计划的总体目标是寻找机会，促进行动和干预措施，确保英国在生物电子医疗材料方面保持领先地位。

(冯瑞华)

欧启动 GRAPHERGIA 项目改变能量收集和存储

11 月，在希腊研究与技术基金会的领导下，来自六个欧洲国家（德国、希腊、西班牙、法国、意大利和斯洛文尼亚）研究及工业领域的 11 个合作伙伴组成的联盟正式启动了 GRAPHERGIA 研究和创新项目，获得“地平线欧洲”石墨烯旗舰计划 450 万欧元的资助，为期 3 年半⁶。该项目是石墨烯旗舰计划的一部分，核心目标是开发顶尖的石墨烯基材料并将其应用到能量收集和存储设备中，实现具有成本效益的二维材料生产的可能性，并用于各种应用，引领欧洲能源未来的转型。

GRAPHERGIA 项目致力于开拓智能纺织品领域，为设备供电，充当传感器，无缝连接到物联网。另一个关键探索领域是开发用于锂离子电池的下一代电极。通过利用联盟合作伙伴的专有技术，提高电池寿命和性能，同时保持环保足迹。该项目站在了材料工程的最前沿，为能源行业树立新的标杆，迈向更绿色、更智能和更互联的世界。

(冯瑞华)

⁶ European Innovators Launch GRAPHERGIA Project to Revolutionize Energy Harvesting in Textiles and Battery Technology.
<https://graphene-flagship.eu/materials/news/european-innovators-launch-graphergia-project-to-revolutionize-energy-harvesting-in-textiles-and-battery-technology/>

美开发增材制造技术以强化铸造和锻造生产效率与效益

11 月，美国国防部“通过增材能力和技术经济分析提高制造业生产力项目”（IMPACT）公布了一批资助项目清单。IMPACT 项目目标是开发增材制造技术，强化铸造和锻造生产效率与效益，对金属粉末增材制造技术进行技术经济分析，降低铸造和锻造用零部件的增材制造成本。本批资助项目共 10 个项目，总资助达到 1170 万美元，具体参见下表⁷。

研究主题	研究项目	项目主承担方
开发/传播领先实践，加快 3D 打印砂型模技术的推广	3D 打印砂型模具的最佳实践和技术改进	霍尼韦尔公司
开发陶瓷 3D 打印技术，促进国防应用熔模铸件的快速、低批量生产	3D 打印陶瓷外壳技术	熔模铸造协会
	工程模具用三维陶瓷研究与扩展应用工具	Renaissance Services
	廷克空军基地 3D 打印陶瓷外壳熔模铸造能力开发	DDM Systems
使用不同增材制造路线优化锻造预制件生产：工艺选择、测试和性能评估	增材制造预制件产业化试点，加快小批量锻件锻造工艺开发	克利夫兰州立大学
开发和传播领先的定向能量沉积和冷喷涂实践，实现锻造模具修复	用于锻模修理的定向能量沉积增材制造	克利夫兰州立大学
铸造和锻造用增材制造零件的技术经济分析和制造成熟度情况评估	铸造与锻造技术经济框架	德勤咨询公司
	铸锻与增材制造技术经济分析与评估	卫奇塔州立大学
粉末增材制造技术经济分析	美国空军粉末床聚变技术经济分析	Wohlers Associates
机器人增材制造工艺设计创新	用于可控连续纤维机器人工艺设计的三维工具路径软件开发	Continuous Composites

（黄 健）

⁷ America Makes Announces Announces Winners of IMPACT Project Call Totaling \$11.7M. <https://www.ncdmm.org/2023/11/08/america-makes-announces-winners-of-impact-project-call-totaling-11-7m/>

英 APC 发布《汽车电池价值链洞察》报告

11 月 9 日，英国先进动力中心（APC）发布《汽车电池价值链洞察》报告，分析了汽车电池的关键技术路线，并强调了制造商面临的挑战，旨在帮助英国汽车电池制造领域制定更明智的计划⁸。

（1）汽车电池的关键技术路线

报告概述了镍锰钴（NMC）电池、磷酸铁锂（LFP）电池以及钠离子电池的价值链，认为 NMC 电池作为目前应用最广泛的电池，严重依赖关键矿产资源（即镍、钴和锰）；LFP 电池作为 NMC 电池的替代产品，能够减少对关键矿产资源的依赖，但能量密度不足；相较于锂离子电池，钠离子电池技术相对不够成熟，能量密度明显低于锂离子电池，并且其对应的阳极材料也不相同，这增加了供应商使用钠离子电池的难度。

（2）欧洲市场潜在需求

报告认为，到 2030 年，80% 的电池需求将来自于汽车行业，10% 来自于电池储能系统，其他需求则来自于自动设备、微型交通工具等。钠离子电池由于其寿命成本和使用寿命，非常适合固定储能。此外，其潜在的需求可能来自于两轮车/三轮车和城市多用途车市场。

（3）关键矿产供应链风险

为减少对关键矿物的依赖，制造商可能会寻找替代产品，LFP 和钠离子电池可以减少部分关键矿物的需求，但很难消除对关键矿物的使用。

（4）材料价格

在锂离子电池中，材料在成本中所占的比例较高，其中 NMC 电池阴极材料约占总成本的 60%，LFP 电池约占 40%，并且受市场波动较大。钠离子电池每千瓦时的总材料成本低于锂离子电池，其材料成本更加稳定。然而钠离子化合物与 LFP 化合物的成本差异可能很小，因此，成本

⁸ Battery Value Chains report highlights automotive industry opportunities.
<https://www.apcuk.co.uk/battery-value-chains-report-highlights-automotive-industry-opportunities/>
<https://www.apcuk.co.uk/wp-content/uploads/2023/11/Automotive-Battery-Value-Chains-report.pdf>

差异并不能帮助钠离子电池脱颖而出。

（5）欧洲电池供应链

报告预测 2030 年欧洲电池生产市场中 88% 的份额属于 NMC 电池，10% 属于 LFP 电池，仅 2% 属于钠离子电池。而 2030 年，30% 的欧洲汽车将会使用 LFP 电池。因此预计短期内欧洲会持续进口大量相关化合物，并在未来快速提升 LFP 化合物的产量。

（6）电池回收和再利用

在车辆报废时，电池组用于回收或二次使用。相较于 LFP 电池和钠离子电池，NMC 电池的回收价值更高，但前者还可用于固定储能。日产、捷豹和路虎等汽车制造商均已承诺将电池重新用于固定储能。尽管英国汽车制造业以出口为主，但为了最大限度地减少监管负担，行业仍希望英国对回收的要求与国际标准保持一致。

（7）监管与贸易

8 月 17 日正式生效的《欧盟电池与废电池法规》（EU Batteries Regulation）明确要求增加回收材料含量和减少供应链的碳足迹值。到 2030 年，该领域回收效率应达到 70%。而英国和欧盟之间的贸易协议包括原产地规则，明确了符合免关税贸易资格的最低英国-欧盟原产地含量要求，以推动供应链本土化。

最后，报告为英国汽车制造业提出了几点建议：①大型制造商应提高对 LFP 电池的投入，以提升 LFP 电池的产量。应用低碳无害的阴极材料生产工艺，确保所需原材料的供应链稳定，并制定可行的回收路线；②吸引国际直接投资进入 NMC 阴极制造，以满足原产地规则要求。鼓励开发从 NMC 阴极中去除有机溶剂（N-甲基吡咯烷酮，NMP）的创新工艺，以及提高阴极活性材料前驱体的精炼能力。同时，构建材料回收和重组路径以满足未来回收目标；③在世界范围内，开启钠离子电池的生产活动，并参与和监测全球供应链的发展。

（董金鑫）

人工材料动力学磁性证实电气控制替代磁性机制

从传统的铁磁性金属到强关联材料，材料磁性都源于库仑交换相互作用。瑞士联邦理工学院 Ataç Imamoğlu 和 Eugene Demler 领导的研究团队，在人工材料中检测到一种新型铁磁性动力学磁性，即电子动能实现最小化导致该人工材料突然具有铁磁性⁹。

研究人员首先制作了一种具有较大晶格常数的人造三角莫尔材料，并将其冷却到接近绝对零度，通过逐渐增加电压在材料晶格中填充电子，同时利用不同极化条件下激光的反射强度测量材料的磁化率。直到每个摩尔纹晶格位点填充一个电子的情况下，材料仍然具有顺磁性；当向晶格中填充更多电子时，材料突然表现得与铁磁体相似。这表明了一种新的磁性：通过平行排列自旋，电子将其动能降到最低，而动能远大于库仑交换能。至此，继四个量子点组成的模型系统后，电气控制的替代磁性机制首次在扩展固态系统中得以证实。未来，研究人员将改变摩尔晶格的参数，探索更高温度下的铁磁性。

上述研究工作发表在 *Nature*（文章标题：Kinetic magnetism in triangular moiré materials）。

（蒿巧利）

光诱导超导性可实现芯片集成

德国马普学会物质结构与动力学研究所 Cavalleri 团队证明了用激光束开启超导电性的能力可以集成到芯片上，从而为光电子应用开辟了一条道路¹⁰。

在这项研究中，研究人员利用片上非线性太赫兹光谱技术开辟了皮

⁹ Eine neue Art von Magnetismus.

<https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2023/11/eine-neue-art-von-magnetismus.html>

¹⁰ Photo-induced superconductivity on a chip.

<https://www.mpsd.mpg.de/788635/2023-11-superconductivity-wang?c=2736>

秒传输测量新领域。他们用共平面波导将 K_3C_{60} 薄膜与光导开关连接起来，利用可见激光脉冲触发开关，发送了一个仅持续 1 ps 的强电流脉冲穿过材料。电流脉冲以大约一半光速穿过固体后，到达另一个开关。该开关可用作探测器，揭示超导特性的电学特征等重要信息。

通过将 K_3C_{60} 薄膜暴露在中红外光下，研究人员观察到光激发材料中的非线性电流变化。这种所谓的临界电流行为和 Meissner 效应是超导体的两个关键特征。因为之前这两个特征均未被测量到，所以此次激发固体中临界电流行为的演示意义尤为重大。将非平衡超导性集成到光电平台中可能会导致基于这种效应的新器件。

上述研究工作发表在 *Nature Communications*（文章标题：Superconducting nonlinear transport in optically driven high-temperature K_3C_{60} ）。

（蒿巧利）

具有量子精度的材料模拟获戈登贝尔奖

美国密歇根大学 Vikram Gavini 课题组与印度科学研究所合作，利用橡树岭国家实验室超级计算机，通过薛定谔方程第一性原理进行模拟，开展合金新材料的设计，获得了美国计算机协会 2023 年戈登贝尔奖^{11,12}。

研究人员在 Frontier 和 Summit 超级计算机上利用集成计算框架，模拟由近 7.5 万个原子组成的镁系统中的位错和缺陷。镁合金是轻质合金中有潜力的候选者，但镁原子结构中的空缺错位可能会导致脆性和开裂。了解镁合金中的错位可以为工业带来更轻质、更灵活的合金。

此外，研究人员还利用美国国家能源研究科学计算中心的 Perlmutter 超级计算机来研究锆镉合金中准晶体的稳定性。

（万 勇）

¹¹ Big flex for big science: Frontier search for lightweight, flexible alloys earns Gordon Bell Prize nomination. <https://www.ornl.gov/news/big-flex-big-science-frontier-search-lightweight-flexible-alloys-earns-gordon-bell-prize>

¹² Material simulation with quantum accuracy wins Gordon Bell Prize. <https://news.engin.umich.edu/2023/11/material-simulation-with-quantum-accuracy-wins-gordon-bell-prize/>

液态金属催化剂选择性合成丙烯

固体催化剂的轻质烯烃合成通常需要复杂的表面工程方法和苛刻的反应条件，液态金属催化剂被认为是克服固体金属催化剂局限性的可能解决方案。澳大利亚悉尼大学 Kourosh Kalantar-Zadeh 教授领导的研究团队使用液态金属催化剂新工艺，可进行绿色化学反应，减少能源消耗。新工艺使用液态镓溶解锡和镍，使催化金属保持原子分散和动态活性，并迁移到液态金属表面，与芥花油等分子发生反应，重新组合成更小的有机链，促进丙烯等的选择性合成¹³。

液态金属中的原子比固体更随机排列，运动自由度更大，能够轻松接触并参与化学反应。从理论上讲，它们可以在更低的温度下催化化学物质。通过将高熔点的镍溶解在熔点仅为 30 °C 的液态镓中，研究人员可以在非常低的温度下获得液态镍，充当“超级”催化剂。金属在原子水平上分散在液态金属溶剂中，可以使用单原子催化剂。该研究实现了两种烃类原料在温和反应条件下的选择性丙烯合成，促进了对液态金属催化剂的理解。液态金属原子的动力学可以为许多应用打开大门。

上述研究工作发表在 *Nature Nanotechnology*（文章标题：Dynamic configurations of metallic atoms in the liquid state for selective propylene synthesis）。

（冯瑞华）

扭曲磁体有望实现类脑计算

英国伦敦大学学院 Oscar Lee、Hidekazu Kurebayashi 研究团队使用扭曲磁体作为计算介质，在施加外部磁场和改变温度的情况下可调整材料的物理特性以适应不同的机器学习任务，使人们更接近于实现物理储层计算的全部潜力，创造出类人脑计算机¹⁴。

¹³ Liquid metals shake up century-old chemical engineering processes.

<https://www.sydney.edu.au/news-opinion/news/2023/11/10/liquid-metals-shake-up-century-old-chemical-engineering-processes.html>

¹⁴ Twisted magnets make brain-inspired computing more adaptable.

<https://www.ucl.ac.uk/news/2023/nov/twisted-magnets-make-brain-inspired-computing-more-adaptable>

传统计算消耗大量电力，部分原因是需要在数据存储和处理单元频繁地交换信息。物理储层计算可消除对不同内存和处理单元的需求，促进更有效的数据处理方式。但这种新型计算方法尚无法实现，主要原因是材料的物理特性可能使其在某些计算任务中表现出色，但在另一些任务中却表现不佳。

研究人员使用矢量网络分析仪来确定手性磁体在不同磁场强度和-269 °C到室温范围内的能量吸收。研究人员发现手性磁体的不同磁相，在不同类型的计算任务中表现出色。在斯格明子阶段，磁化粒子以类似漩涡的方式旋转，具有强大的记忆能力，适合预测任务。与此同时，在圆锥形阶段几乎没有记忆，但它的非线性非常适合转换任务和分类。

团队还利用扭曲磁体设计了一种新型神经拟态计算架构，利用复杂的材料特性来满足各种具有挑战性任务的需求。目前取得了很好的结果，展示了可直接定制神经形态计算的可能。

上述研究工作发表在 *Nature Materials*（文章标题：Task-adaptive physical reservoir computing）。

（黄 健）

新型硬质碳电极助力钠离子和钾离子电池发展

钠离子电池(NIBs)和钾离子电池(KIBs)被认为是锂离子电池(LIBs)的替代技术，然而两者的能量密度仍落后于 LIBs。东京理科大学 Shinichi Komaba 教授领导的研究团队开发出新型纳米结构的“硬质碳”(Hard Carbon)负极，能够显著提高 NIBs 和 KIBs 的性能，推动两者的实际应用¹⁵。

研究人员在之前的研究中发现，使用氧化镁作为模板，可以改变硬质碳的纳米结构，并极大提高其储存钠离子的能力。因此，研究人员使用氧化锌和碳酸钙制备不同的硬质碳样品，并将其装配成电池。实验结

¹⁵ Template for Success: Shaping Hard Carbon Electrodes for Next-Generation Batteries.
https://www.tus.ac.jp/en/mediarelations/archive/20231113_6127.html

果显示,使用氧化锌模板制作的硬质碳负极表现最佳。其制造的 NIBs 和 KIBs 的能量密度分别达到 312 Wh kg^{-1} 和 381 Wh kg^{-1} , 与磷酸铁锂电池相当。

上述研究工作发表在 *Advanced Energy Materials* (文章标题: New Template Synthesis of Anomalously Large Capacity Hard Carbon for Na- and K-Ion Batteries)。

(董金鑫)

中国科学院武汉文献情报中心

先进制造与新材料情报研究



微信扫一扫，关注我们

编辑：中国科学院武汉文献情报中心战略情报部

地址：湖北省武汉市武昌区小洪山西 25 号

电话：027-8719 9180

传真：027-8719 9202

邮箱：[amto at whlib.ac.cn](mailto:amto@whlib.ac.cn)