

李海涛：“神材”石墨烯带来“炫彩”未来

刘亚

材料一直是影响人类生活的基本要素，而新材料产品在不久的将来可能会改变人类生活，颠覆传统的工业结构制造业，打开全新的市场格局。从高速飞驰的列车到尖端的航天器，从有灵性的人造假到精密的电子元件，都将带有现代新材料的印记。这里不能不提的是前沿新材料——石墨烯。石墨烯从微观世界里舞姿婆娑地走出，在各个领域中展露出神奇。

近期，江苏师范大学李海涛教授团队成功合成超薄石墨烯复合膜。采用活性炭与氧化石墨烯的协同效应，这种超轻超薄的石墨烯-活性炭薄膜吸附效率可以达到99.99%，对于水中抗生素的去除以及水污染治理具有重要意义。相关研究成果在Nature杂志子刊Scientific Reports上公开发表，就在国际上引起了强烈反响，而石墨烯，也再一次进入了人们的视野，引起大家的关注。

揭开“神奇材料”的面纱

石墨烯，实际就是从石墨材料中剥离出来，由碳原子组成的只有一层原子厚度的二维晶体。如同一个“多面娃娃”，石墨烯拥有一般材料所不具备的众多优异性能。

石墨烯发现者之一、2010年诺贝尔物理学奖得主安德烈·海姆说：“它是迄今为止自然界最薄、强度最高的材料，可以被无限拉伸，弯曲到很大角度不断裂，还可以抵抗很高的压力。”

石墨烯的另一个奇特之处在于“零渗透”，即所有气体、液体都无法渗透。它还具有超强吸附性，可以用于制作过滤装置，用于海水淡化、污水处理等领域，被称为21世纪最具颠覆性的新材料。

这些突出的性能和广阔的应用前景推动着石墨烯成为最近几十年来国际材料学家争相追逐的研究目标之一，其中来自江苏师范大学化学与材料科学学院李海涛教授的研究成果尤其引人瞩目。

彼时，李海涛同时成立徐州深蓝新材料科技公司，以新型纳米材料——石墨烯为中心，通过全新的政、产、学、研、用、金一体化的协同创新模式，进一步推动复合石墨烯新材料和新技术的发展，构建全链条雾霾防控技术体系，最后通过成果转化推广综合治理雾霾。

李海涛热心产学研合作的技术交流与推广工作，自产学研合作平台建立以来，带领团队多次组织开展了同行专家主要是材料领域企业界、剑桥大学、牛津大学、清华大学在内的技术交流、研讨、考察、检查、培训、对接活动，搭建了由众多产学研单位共同参与的共享平台，促进了本领域全国范围产学研合作与发展。

自平台建立以来，申请人李海涛带领团队积极参与江苏师范大学与国际高水平学校建立联合实验室，开展学术交流和青年骨干、研究生联合培养等组织与活动。与“英国剑桥大学BPC化学实验室”签订了学术交流协议；与瑞典皇家工学院签订了“青年教师和研究生培养合作协议”；与英国Bolton大学签订了合作创办“石墨烯新材料联合实验室”的协议；与英国约克大学签订了合作创办“生物物理联合实验室”的协议。

“我们充分发挥了政、产、学、研、金五大要素互动，初步实现了人才引进、技术成果转化、项目孵化、产品研发和技术支持五大功能，切实推进大众创业、万众创新。”李海涛说。

李海涛也因此接受了中央电视台专访，之后中央电视台播出了《李海涛——雾霾狙击战》；他还获得了2016年中国产学研合作创新奖(个人)、科学中国人(2015)年度人物奖。

治水不能“就水论水”

由于大多数抗生素不能被人类和动物完全吸收和代谢，在土壤和地表水中，经常可以检测到医学治疗和工业农业生产残余的抗生素，甚至包括饮用水也已经受到抗生素的污染。抗生素被称为水环境中的新型污染物(emerging pollutants)，我国也已将抗生素污染列入国家环境监测的范围，20世纪90年代末以来，土壤、水体中抗生素污染问题开始受到广泛关注。

以水体为例，据报道，我国地表水中检测出68种抗生素含量超标，严重危害人类健康。但是目前的水处理技术很难将抗生素彻底清除。我国是抗生素生产和使用大国，因此我国水环境中抗生素污染显得尤为严重。

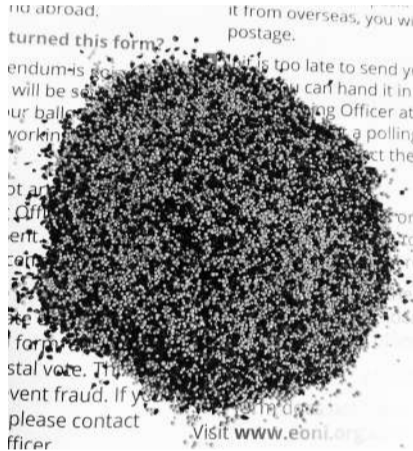
“水体其实就像道路、房屋一样，进行清洁、打扫是非常必要的。而要将水体‘打扫’干净，对清洁方式的选择就显得格外重要。”李海涛说。



针对水体中抗生素残留问题，李海涛团队利用氧化石墨烯与活性炭材料之间的协同作用，成功制备了基于氧化石墨烯的复合薄膜材料，实现了对饮用水中抗生素物质的完全去除。

多年的学术积累，使李海涛对石墨烯有了更为深刻的了解。石墨烯虽然具有传统材料所不能比拟的优势，但由于较强的范德华力疏水性和易团聚的特点，这种先进材料的应用和发展被大大限制了。氧化石墨烯的出现则正好解决了上述问题。

基于此，李海涛和他的课题组提出充



分利用氧化石墨烯与活性炭材料相互作用来改善这一缺陷的设想，以达到完全去除水中抗生素物质的目的。氧化石墨烯对多种有机物具有良好的吸附效果，纳米活性炭的加入，更是极大提高了石墨烯薄膜材料的吸附能力。

实验中，该复合膜对水中残留盐酸四环素TCH分子表现出极强的吸附能力，显示出良好的过滤效率，所需过滤时间更短，可将抗生素残留物有效去除至PM浓度的饮用水要求，这为水、空气、土壤污染治理无疑提供了一种更为简单、高效的好办法，为水处理特别

是饮用水的净化处理提供了一种高效滤材。

李海涛介绍，美国研究人员已经发现利用氧化石墨烯层将污水变成饮用水的新方法，这可能在地球范围内改变净水的游戏规则。我国石墨矿产的资源储量最大，质量优，产量和出口均居世界首位，但相关的石墨深加工技术却较为落后。加大研发力度，提高产品附加值已迫在眉睫。

爱国因一份“朴素的情感”

每个有实用价值的重大成果一定是经历了长时间的潜心研究。李海涛也不例外，不同于别人的是，他有着一份相当辉煌的海外学习履历。

1995年，怀揣着一份“朴素的情感”——进一步进行学术研究，李海涛结束了国内本科阶段的学习，漂洋过海，来到瑞典林雪平大学化学物理专业攻读硕博，师从世界顶级科学家、诺贝尔化学物理学奖评审委员会主席英格玛·伦德斯特姆及安德斯·隆德教授。

1999年—2002年，博士毕业后，李海涛先后受邀于以色列魏兹曼科学院、德国多特蒙德大学继续生物蛋白分子功能博士后研究。2002年5月起，受邀出任英国剑桥大学化学系专职研究员，从事现代生物医学和生物化学领域的研究，并在2005—2010年间担任剑桥大学化学系生物物理化学实验室副主任、英国利兹大学化学系外聘专家。

2004年，李海涛首创研发了世界上新一代单分子超灵敏度荧光显微镜——双激光双探头单分子荧光显微镜。同年，他在美国化学学会(ACS)年会上针对此项发明的大会报告赢得众多院士和学者的高度认可和赞扬。如今双激光双探头单分子荧光显微镜已经被应用在数以百计的实验室，成为生物学家手中从事研究工作、探寻生命奥秘的利器。

一分耕耘就有一分收获，多年的研究生涯，培养了李海涛细致认真、一丝不苟的科研态度，也激励他加快在材料世界里追梦的脚步。2012年10月，他结束18年的异国生活，带着他心中那份“朴素的情感”，踏上了回国之路，继续他热爱的研究。

在回国后，视野开阔、研究思路清晰的李海涛认准新材料研发在国家发展建设中的意义，潜心钻研，发表了一批高水平的理论文章，获得了十项国家专利，解决了一系列的重

大工程项目的技术难题，为我国的材料科学研究作出了巨大贡献。

治霾防污从“微”做起

在李海涛心里：“发明成果不过是播下了一粒种子，推广应用才能开花结果。为国家科研事业添砖加瓦是一种责任，而能把自己的成果应用到实际工程项目，在实际中发现问题和解决问题，则更令人兴奋和催人奋进。”

人们肯定对刚刚过去的冬天记忆深刻，雾霾，这个词如今比以往任何时候都活跃地出现在人们的生活中、语言里。进入三季度以来，我国多地区均出现了较为严重的雾霾天气，引发广泛的关注。空气污染问题让口罩和空气净化器等雾霾防护用品受到重视，其需求也大幅提升。

伴随石墨烯衍生技术的迅猛发展，回国后，为了尽快将其科研成果产业化，李海涛和同事们马不停蹄地开展科研工作。李海涛敏锐地发现，石墨烯的高吸附性、强柔韧性、超薄性以及绿色无毒的优点可以用于研发空气净化器和汽车换气系统中的石墨烯炭分子筛。新型石墨烯纳米复合材料，正在紧锣密鼓地研制中。

团队使用石墨烯改性碳材料合成膜制备出一种新型实用雾霾防护帽和防霾夹克，这一产品不仅可有效吸附和过滤PM2.5颗粒，同时还可实现对人体头部的全面防护，为人们提供了一种更为简单、快捷、全面、效果更加优越的防霾方式，有助于更好地保障人体健康。这套防霾系列产品受到了媒体的广泛关注和多方报道，他也亲切地被大家誉为“克雾霾专家”。

不仅如此，李海涛还首次在国内提出适宜人们更好保护自身健康的“生态微环境”理念，呼吁人类改善环境可以从人的生活和工作的环境入手，利用现有的技术做一些力所能及的事情。同时他也积极在引导更多的人去认识、接受这种理念，进而更好地保护好自身的健康。

“这一路上，激励我们不断向前的动力，是国家、民族和责任的召唤。做科研，就是为了服务社会。”透过这席话，人们能够感受到一种精神和品格，这就是对国家、对人民、对事业的忠诚。

聚焦大气污染源头控制，在污染物资源化道路上探索前行

——合肥工业大学与铜陵有色金属集团公司研发可再生有机胺湿法脱硫技术纪实

张岩

近年来，雾霾在国内多个地区频繁出现，“呼吸之痛”让社会各界广泛关注空气污染问题。雾霾的主要成分中，二氧化硫(SO₂)是重要污染物之一，它会导致呼吸道炎症、支气管炎、肺气肿、眼结膜炎等多种疾病的发生，不仅带来重大的经济损失，也直接威胁着人类的健康、生存与发展。

SO₂主要来源于燃煤发电、化学化工、钢铁冶金、矿物加工等工业领域，其中冶金工业烧转烟气具有SO₂浓度高、气量大、温度高、成分复杂等特点。目前，主要脱硫技术普遍存在污染转移、脱硫产物附加值低等缺点，环境保护的严峻形势亟须高标准的脱硫技术，重点行业脱硫已列入国家“大气污染防治行动计划”和国家重点研发计划的主要内容。基于大气污染源头控制的思路，实现污染物资源化的技术定位，合肥工业大学崔鹏教授团队与铜陵有色金属集团公司通过产学研合作，历经近8年，开发了可再生有机胺湿法脱硫技术，实现了铁球团烧转烟气SO₂的高效控制与资源化，取得了良好的环境效益、社会效益和经济效益。

产学研深度合作，创新脱硫技术体系

依托高校科研实力和企业生产优势，合

肥工业大学和铜陵有色金属集团公司面向国家重大需求，开展深层次、高起点的产学研合作，开发的可再生有机胺湿法脱硫技术具有三方面核心技术创新：一是基于化学吸收和分子结构设计原理，研发并生产出具有自主知识产权的可再生、对SO₂高选择性化学吸收的HPP、HEHPP系列脱硫剂，建立了包括产品标准、生产操作规程、产品说明书、化学品安全技术说明书、检测与分析方法等在内的完善的技术资料；二是开发了铁球团烧转烟气前处理工艺(水洗—电除雾协同控制三氧化硫/氟离子/氯离子、粉尘及多污染物技术)、吸收/解吸工艺、稳定性硫酸盐去除工艺等，并在铁球团烧转烟气脱硫系统中实现了稳定运行；三是与系列脱硫剂应用相配套，研发出具有自主知识产权的四合一型高效整体式吸收塔、高效解吸塔、气液旋流器、气体分布器等关键装备，并在脱硫实际系统中应用。

依托自主知识产权，推动脱硫技术领先

在技术研究与应用过程中，合肥工业大学研究团队和铜陵有色金属集团公司围绕可再生胺脱硫剂HPP设计与合成、吸收-解

吸核心工艺、关键技术装备等，先后已申请发明专利13项，授权6项，授权实用新型2项，在Ind. Eng. Chem. Res., J. Chem. Eng. Data、化工学报、环境科学学报等期刊发表论文24篇。目前已建成年产1000吨HPP脱硫剂生产线1套，建成烟气脱硫中试评价系统2套，铁球团烧转烟气脱硫工业示范装置1套。

HPP脱硫剂项目研究与技术开发取得的专利成果，形成了多项达到国内领先、国际先进水平的技术与装备。其中HPP脱硫剂填补了我国铁球团烧转烟气二氧化硫资源化领域的空白；四合一型高效整体式吸收塔、高效解吸塔、气液旋流器、气体分布器等多项关键装备形成了自主知识产权；水洗—电除雾协同控制烟气中三氧化硫/氟离子/氯离子、粉尘及多污染物的集成技术与装备为国内首创等。通过以上技术创新，解决了国内铁球团行业高浓度SO₂烟气脱硫的共性技术难题，拓展了行业利用原料矿物的范围，提升了企业竞争力。

2014年以来，可再生有机胺湿法脱硫技术应用年产120万吨铁球团烧转烟气综合处理系统，已稳定运行2年以上。年回收烟气中二氧化硫约1.5—2.5万吨，处理后烟气

中SO₂含量低于200mg/Nm³、粉尘含量低于50mg/Nm³，回收的SO₂纯度高于99%，全部直接输送硫酸车间用于制取高品质硫酸。

多学科跨领域协同，打造联合攻关新模式

合肥工业大学和铜陵有色金属集团公司以项目合作为契机，瞄准国家重大需求，聚焦源头控制和污染物资源化技术，以多学科集成、跨领域合作、大团队协同的形式，建立起多学科融合、多领域协作、多技术集成的研发平台，全面实现了可再生有机胺湿法脱硫技术的联合攻关。

铁球团烧转烟气SO₂的高效控制与资源化技术涉及化学、化工、环境、机械装备等多学科专业领域。崔鹏教授长期从事化工与环保领域的技术开发与科技管理工作，建立了学科优势互补、技术资源共享的联合攻关机制；教授级高工左永伟是安徽省化工领域学术和技术带头人，在脱硫工艺应用与工业示范系统创新方面作出了重要贡献；史成武教授基于高选择性化学吸收理论实现了脱硫剂分子结构设计与合成，奠定了可再生有机胺湿法脱硫技术核心基础；魏凤玉教授在工程领域的学术造诣，保障了脱硫剂的工业规模

化生产和面向处理对象的可控性；教授级高工徐光泽、吴炳智、徐洁书等在关键装备与配套工艺的开发方面提供了核心支撑。正是这种面向国家重大战略需求的大团队、大合作联合攻关新模式，将高校的科技创新和企业的工程创新有机结合起来，实现了真正意义上的技术创新，并在实践中不断提升技术创新水平，研发并形成了具有自主知识产权的世界先进脱硫技术。在提升高校原始创新能力、形成学科特色的同时，提高了企业自主创新能力和经济社会效益。

紧扣立德树人教育任务，培育德技并重人才

团队围绕立德树人的教育根本任务，按照合肥工业大学以能力为导向的“培养目标—教学过程—质量提升”三位一体的教育教学体系要求，以科学技术创新为基础，以创新精神、实践能力和社会责任感作为主要培养目标，将“知识—技能—素质—创新—责任”培养理念贯穿全过程，协同培养化工类研究生的专业素养和社会责任感入手，先后毕业硕士研究生12人，为大气污染控制及其资源化领域输送了一批高素质专业型优秀人才。铜陵有色金属集团公司选派一批优秀青

团队介绍

合肥工业大学“分离科学与技术”科研团队紧密结合国家科技发展战略和安徽区域经济社会发展需求，以分离技术创新与产业升级为重点，在分离科学与技术方面形成了研究特色。目前，团队有教授3名，副教授4名，博士生5名，硕士生33人。团队主要研究方向是工业尾气(尾气)污染协同治理与资源化技术、低品位非金属矿综合利用技术、膜分离技术、化工废水综合治理技术等。在国家自然科学基金委、科技部、安徽省科技厅等科技项目的支持下，取得了多项具有自主知识产权的技术成果，其中可再生有机胺湿法脱硫技术已应用于铜陵有色集团铁球团烧转烟气高浓度SO₂的脱除，并实现了SO₂的资源化应用。

