

## 高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）项目公示内容

申报类型	技术发明奖
项目名称	气固分离膜可控制备及应用关键技术
完成单位	南京工业大学，南京膜材料产业技术研究院有限公司，江苏久朗高科技股份有限公司
推荐单位	南京工业大学
<p>本项目属于化工新材料和节能环保领域，具体涉及分离膜材料制备及其在气固分离过程中的应用。</p> <p>分离是过程工业重要的单元操作，可分为液体分离、气体分离、液固分离、气固分离等。其中气固分离主要涉及烟气除尘、粉体回收、气固相反应等过程，在化工与石油化工、冶金、水泥、能源、食品等工业以及环保领域中有着广泛的应用。气固分离的主要方法有布袋过滤、旋风分离、静电除尘、湿法捕集等，这些方法对大粒径的粉体有较好的脱除效果，但对超细粉体（微米、亚微米级）的分离效率低，排放浓度超过国家标准<math>20\text{ mg/m}^3</math>（GB13223-2011）。膜技术是一种新型高效的分离技术，在液体分离领域如水处理等已有广泛的应用，但在气固分离领域尚处于起步阶段。</p> <p>制约膜技术在气固分离领域应用的主要原因有两个方面：1）工业烟气单位时间排放体积大（每小时可达数百万立方），过滤推动力小（<math>&lt;2\text{ kPa}</math>），而现有的液体分离膜透气速率低，不适用于工业气固分离过程；2）工业烟气来源广，成分复杂，油性气溶胶等易在膜材料表面发生吸附污染，超细粒子会堵塞膜孔，导致过滤压差迅速上升，难以满足工业过程对运行稳定性的要求。针对上述问题，本项目在国家自然科学基金、科技部、江苏省等项目资助下，开展了气固分离膜材料的设计、制备与应用的系统研究，解决了膜气体通量小、运行不稳定的问题，实现了我国气固分离膜的规模化生产与推广应用，主要发明点如下：</p> <p>（1）发明了面向气固分离的膜材料设计和制备方法，开发出膜材料微结构调控技术，实现了膜厚度、孔径以及孔隙率的可控调节，建成了年生产<math>200\text{万 m}^2</math>规模的气固分离膜生产线，膜透气速率较国际先进技术产品提高<math>30\%</math>；</p> <p>（2）发明了膜材料表面疏水疏油改性技术，结合膜表面形貌控制与在线反吹技术的开发，成功攻克了膜材料易被油性气溶胶污染的难题，开发的双疏膜填补了国内外空白，膜材料运行压差大幅降低，稳定运行寿命较国外商品膜提高了<math>2</math>倍以上；</p> <p>（3）发明了系列气固分离膜应用新工艺，开发出成套膜分离装备，在燃煤锅炉、生物质锅炉、废弃物焚烧等烟气净化，以及催化剂、染料、食品添加剂等粉体产品回收中实现规模应用，净化后气体粉尘浓度小于<math>5\text{mg/m}^3</math>，优于国家超低排放标准<math>10\text{ mg/m}^3</math>（环发[2015]164号），能耗较布袋除尘降低<math>1/3</math>以上。</p> <p>该项目共申请专利<math>22</math>项（授权中国发明专利<math>16</math>项，授权美国发明专利<math>3</math>项），开发了完全自主知识产权的气固分离膜及成套装备，总体技术达到国际先进水平，其中双疏型膜材料技术达到国际领先水平。相关技术成果转化孵化出江苏久朗高科技股份有限公司，在恒逸集团、湖南建长石化、江苏亚邦等企业实现应用，近三年为企业累计新增产值<math>11.92</math>亿元，新增利税<math>2.13</math>亿元。项目成果全面提升了我国过程工业气固分离技术水平，推动和服务了国家大气污染超低排放战略实施，经济效益与社会效益显著。项目发表期刊论文<math>42</math>篇，其中SCI收录<math>33</math>篇，通过鉴定成果<math>1</math>项。培养了<math>24</math>名研究生，其中<math>1</math>篇博士论文获全国百篇优秀博士学位论文提名奖。</p>	

**推广应用情况：**

项目科技成果先后在南京膜材料产业技术研究院有限公司和江苏久朗高科技股份有限公司进行放大转化，建成了年生产 200 万 m<sup>2</sup> 规模的气固分离膜生产线，气固分离膜技术在恒逸集团、中盐金坛盐化、湖南建长石化、江苏亚邦等企业推广应用，主要用于锅炉尾气净化、垃圾焚烧烟气处理、染料产品回收等领域，建成了四十余项工程应用装置。烟气处理后粉尘排放浓度低于 5mg/m<sup>3</sup>，由于国家超低排放标准，对粉体产品回收率 > 99.99%，膜两侧压降 < 1000Pa，运行寿命大于 3 年。应用证明显示，近三年为企业累计新增产值 11.92 亿元，新增利税 2.13 亿元。累计减排粉尘 3000 吨以上，为应用企业新增就业 1000 人以上，经济效益与社会效益显著。

**主要知识产权证明目录：**

序号	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号/专利号
1	一种气固相反应分离系统及其分离方法	1.中国	ZL201010105677.3
2	一种膜分离空气净化装置	1.中国	ZL201210335621.6
3	一种茶渣的资源化利用方法	1.中国	ZL201010551142.9
4	一种有机硅单体流化床膜反应器及其工艺	1.中国	ZL201210566907.5
5	一种有机氯硅烷生产干法除尘方法	1.中国	ZL201010105670.1
6	一种具有抗菌功能的气体净化膜的制备方法	1.中国	ZL201310550179.3
7	一种抗菌除尘膜的制备方法	1.中国	ZL201510210127.0
8	一种垂直生长的开口碳纳米管薄膜的制备方法	1.中国	ZL201510209568.9
9	一种膜法空气净化器	1.中国	ZL201410756508.4
10	一种用于气体净化的催化膜制备方法	1.中国	ZL201510213850.4
11	烟气脱硫脱硝除尘一体化装置及工艺	1.中国	ZL201510071121.X
12	一种低温制备多孔碳化硅支撑体的方法	1.中国	ZL201610442510.3
13	一种晶须增强 SiC 多孔陶瓷材料及其制备方法	1.中国	ZL201410456770.7

14	一种用于空气净化的载银碳纳米管陶瓷复合膜的制备方法	1.中国	ZL201510783917.8
15	一种基于膜法收尘技术的粉体干燥系统及方法	1.中国	ZL201410756509.9
16	一种分离膜表面疏水、疏油的改性方法	1.中国	ZL201410757998.X
17	一种废液焚烧烟气净化设备	1.中国	ZL201721064173.5
18	Dry dust removal method in organic chlorosilane production	2.美国	US08486171
19	Method for Preparing Antibacterial and dust-removal membrane	2.美国	US9815029
20	Method for Manufacturing Vertically-growing Open Carbon Nanotube thin film	2.美国	US9884768

#### 主要完成人情况表:

姓名：仲兆祥  
排名：1  
技术职称：研究员  
工作单位：南京工业大学  
完成单位：南京工业大学  
本人对本项目技术创造性贡献：本项目负责人，是 ZL201310550179.3、ZL201510210127.0 等 10 个中国发明专利和 US9815029、US9884768 等 2 个美国专利的第一发明人，构建了气固分离膜微结构与功能的定量关系，设计制备了高性能气体净化膜材料，发展了膜表面双疏改性减少膜面油性气溶胶吸附污染的方法，是膜法烟气净化、高附加值粉体产品回收等新工艺的主要发明人，负责膜材料的放大制备与示范工程建设，是三个发明点的主要贡献者。

姓名：邢卫红  
排名：2  
技术职称：研究员  
工作单位：南京工业大学  
完成单位：南京工业大学  
本人对本项目技术创造性贡献：本项目技术负责人之一，提出了面向气固分离过程的膜材料设计构想，为本项目的顺利实施夯实了理论基础，是多个膜工艺的主要设计者，推动了本项目的工业化进程，是 ZL201010105677.3、ZL201210335621.6、ZL201410756509.9 等发明专利的主要贡献者，是 1、3 发明点的主要贡献者。

姓名：张峰  
排名：3  
技术职称：讲师  
工作单位：南京工业大学  
完成单位：南京工业大学  
本人对本项目技术创造性贡献：本项目技术负责人之一，主要负责了气固分离膜装备与膜工艺的设计，是 ZL201210335621.6、ZL201710728348.6 等专利发明与申请的主要贡献者，负责了燃煤锅炉烟气、生物质锅炉烟气、废弃物焚烧烟气等烟气净化与染料回收成套装备与应用工艺的设计以及示范工程的建设，是第 3 发明点的主要贡献者。

姓名：汪勇  
排名：4  
技术职称：教授  
工作单位：南京工业大学  
完成单位：南京工业大学  
本人对本项目技术创造性贡献：主要负责膜材料表面改性提高膜抗污染性能相关研究，是气固分离膜表面纳米修饰相关技术构思的主要贡献者，为膜表面进行双疏改性打下基础，是专利 ZL201410757998.X 的主要发明人，是 ACS Applied Materials & Interfaces, 2015, 7, 21538 等论文的主要完成人，是第 2 发明点的主要贡献者。

主要完成人情况表  
姓名：武军伟  
排名：5  
技术职称：工程师  
工作单位：南京膜材料产业技术研究院有限公司  
完成单位：南京工业大学、南京膜材料产业技术研究院有限公司  
本人对本项目技术创造性贡献：负责了膜法催化剂、复合肥、食品添加剂等回收工艺的开发与具体实施，是 ZL201410756506.6、ZL201410756508.4 等专利的主要发明人，是第 3 发明点的主要贡献者。

主要完成人情况表  
姓名：许志龙  
排名：6  
技术职称：工程师  
工作单位：江苏久朗科技股份有限公司  
完成单位：南京工业大学、江苏久朗科技股份有限公司  
本人对本项目技术创造性贡献：主要负责气固分离膜规模化生产装备开发与优化，是 ZL201410756508.4、ZL201721064173.5 等专利的主要发明人，是第 1 发明点中解决膜放大生产过程的结构均一性问题主要贡献者。