2019年度国家技术发明奖提名公示材料

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 耐高温气凝胶网络结构调控与低成本制备关键技术及应用 |
| 提名单位 | 中国石油和化学工业联合会 |
| 提名意见（不超过600字） | 气凝胶材料是近年来发明和应用的一种新型纳米材料，因其热导率低在绝热与节能减排领域有着极大的应用前景。由南京工业大学、山东省科学院新材料研究所和中国建筑材料科学研究总院有限公司组成的项目团队从事气凝胶材料研究十余年，攻克了耐高温气凝胶网络结构调控与低成本制备关键技术，实现了产业化生产和工程应用，取得的创新性成果包括：一、发明了基于氧化硅基溶胶粒子成核生长与凝胶网络结构可控形成的方法，实现了结构可控、性能可调，低导热、高强度、疏水、高选择性吸附气凝胶制备；二、发明了系列耐高温、抗压强度高达9MPa的轻质气凝胶材料，率先制得了350℃疏水气凝胶及1700℃高温气凝胶，在国际上首次实现了系列耐高温、高强度气凝胶制备，填补了国内外空白；三、发明了气凝胶低成本制备技术，自主设计了关键工业化生产装备，实现气凝胶低成本大规模制备和应用。该项目授权中国发明专利26件、实用新型专利3件，PCT发明专利1件，授权美国发明专利1件，参编国标1项，发表论文95篇、其中SCI论文66篇。创建了中国绝热节能材料协会气凝胶材料分会，发起主办了两届“气凝胶材料国际学术研讨会”，获批建筑材料行业气凝胶材料重点实验室等。成果在多家公司实现产业化和应用，推动了国内气凝胶材料和产业从无到有，引领相关学术研究、关键技术和行业进步，尤其是绝热材料行业产品更新换代和科技进步，具有显著社会经济效益。对照国家技术发明奖授奖条件，本单位决定提名该项目为2019年度国家技术发明奖二等奖。 |
| 项目简介 | 气凝胶是由纳米颗粒聚集成具有连续三维纳米孔网络结构的材料，是目前唯一一个导热系数低于空气的材料，被称为超级绝热材料，在绝热节能领域具有极大的应用前景。国际上正开始推广应用氧化硅气凝胶纳米绝热材料，但氧化硅气凝胶还存在强度低、高温下网络结构稳定性弱、缺少200℃以上高温疏水及耐650℃以上高温的气凝胶材料、生产成本高及大规模稳定生产工艺技术不成熟等亟待解决的产业发展关键科学技术问题。本项目在教育部创新团队、国家自然科学基金、973及国防重点预研项目等支持下，突破气凝胶网络结构调控、高温结构稳定性与低成本制备等关键技术，实现产业化和工程应用，取得创新性发明如下：1、发明了基于氧化硅基溶胶粒子成核生长与凝胶网络结构可控形成的方法，创制了多组分改性增强湿凝胶、功能基团置换羟基改性、超临界干燥稳定孔结构、热处理强化气凝胶等网络结构调控技术，突破了气凝胶网络结构生长-演变控制难题，实现了结构可控、性能可调，低导热、高强度、疏水、高选择性吸附气凝胶制备。2、发明了基于甲基置换羟基改性的350℃疏水气凝胶、基于遮光剂掺杂（900℃）与莫来石晶须原位增强（1100℃）和氧化锆晶须原位增强（1200℃）的氧化硅气凝胶、基于RF/SiO2双网络结构可控炭化纤维增强（1300℃、无氧1600℃）与氧化锆晶须原位增强（1500℃）和MoSi2-TaSi2涂层复合（1650℃）的碳化硅气凝胶、基于氧化铝晶须原位增强的氮化铝气凝胶（无氧1700℃）等系列耐高温、抗压强度高达9MPa的轻质气凝胶材料，率先制得了350℃疏水气凝胶及1700℃高温气凝胶，在国际上首次实现了系列耐高温、高强度气凝胶制备，填补了国内外空白。3、发明了基于无机硅溶胶凝胶网络结构有效形成代替正硅酸酯的工业生产技术，自主设计了浸胶-老化一体化集成设备、超临界高效干燥工装和气凝胶网络结构高温增强工艺与设备。原材料成本降低了80%、生产周期降低了45%、生产成本降低了65%、产品售价只有国外同类产品的1/3，实现了气凝胶材料低成本、大规模连续工业生产。在浮法玻璃窑炉、蒸汽管道、有机硅生产线及特种陶瓷窑炉等保温工程中应用，节能率分别达3.14%、35.4%、7.26%和12.44%。该项目发明了从凝胶网络结构调控强化与表面改性、系列耐高温高强气凝胶材料到低成本制备的成套工业化生产工艺，攻克了耐高温气凝胶制造的关键技术难题。授权中国发明专利26件、实用新型专利3件，PCT发明专利1件，授权美国发明专利1件，形成了覆盖该项目关键技术的核心专利群。参编国标1项，发表论文95篇、其中SCI论文66篇。创建了中国绝热节能材料协会气凝胶材料分会，发起主办了2015和2017年两届“气凝胶材料国际学术研讨会”，成立了建筑材料行业气凝胶材料重点实验室、中航复材特殊环境防隔热复合材料联合实验室和806所航天热防护材料联合实验室。项目技术在多家企业实现产业化生产和工程应用，近三年新增利润1.137亿元。极大地推动了国内气凝胶材料产业从无到有，引领了绝热材料行业产品升级换代和科技进步，具有显著的社会经济效益。 |
| 客观评价 | **1、科技查新结论**委托教育部科技查新工作站对该项目“耐高温气凝胶网络结构调控与低成本制备”进行查新，查新内容为：“采用聚丙烯酸凝胶作为网络结构改良剂、硅溶胶为硅源，制得氧化硅气凝胶隔热材料，通过氧化硅网络结构中原位晶须增强提高氧化硅基气凝胶材料的网络结构稳定性，气凝胶有氧环境使用温度≥1300℃、无氧环境使用温度≥1500℃，网络结构原位晶须增强（韧）后无机气凝胶抗压强度高达9MPa”。查新报告（20183600G140642）指出：“经检索对国内外相关文献分析对比结果表明，**除委托人公开发表的文章外，均未见：与该项目“耐高温气凝胶网络结构调控与低成本制备”相同的报道**。**2、项目验收意见****教育部创新团队项目（无机非金属材料及应用IRT1146）**：江东亮院士为组长的专家组，认为：该项目“.….. 在高性能气凝胶材料等方面取得了多项创新性成果，……建议教育部给予滚动支持”。**国家自然科学基金（自生长锆氧纳米纤维增强SiC气凝胶的可控制备及隔热性能研究51402176）**：制备出机械压缩强度为7MPa以上，杨氏模量150MPa以内，密度控制在0.1~0.2g/cm3，长效耐热温度1500℃以上的自生长锆氧纳米纤维增强SiC复合气凝胶，2018年3月国家自然科学基金委对该项目审核并予以结题。**江苏省科技计划项目（碳纤维增强碳化物气凝胶材料关键技术研发BE2014128）**：2018年3月10日专家组对该项目验收，认为：“该项目完成了碳纤维增强碳化物气凝胶材料关键技术研发，制备出无氧条件下长期稳定使用温度为1500℃的碳纤维增强碳化物气凝胶系列产品……”。**山东省科技计划项目（轻质耐高温隔热的纳米纤维增强气凝胶陶瓷材料2013YD02046）**：2018年6月23日验收专家组对该项目验收，认为：“.…..项目通过一步法实现锆氧纳米纤维自生长及纳米纤维/气凝胶基体的复合，制备出抗压强度>6Mpa，密度0.1~0.2g/cm3、耐热温度1200℃的Zr-O-Si复合气凝胶陶瓷材料……研究成果在军民两用领域得到应用，取得了良好的经济效益和社会效益……”。**江苏省高校自然科学研究面上项目（碳化硅气凝胶组织结构生长机制及孔结构调控研究16KJB430014）**：2018年8月3日验收专家组对该项目进行验收，认为该项目“完成了碳化硅气凝胶制备工艺、组织结构生长机制及孔结构调控研究……为碳化硅气凝胶的制备提供了理论指导”。**3、行业推动作用**作为主要起草人参与了首个气凝胶国家标准《纳米孔气凝胶复合绝热制品GB/T 34336-2017》编写，在高校和科研院所类单位中排名第一。2018年获批中国建筑材料行业气凝胶材料重点实验室，专家对南京工业大学在气凝胶材料方面的研究给予肯定，建议对“建筑材料行业气凝胶材料重点实验室”直接授牌。2017年受中国绝热节能材料协会委托创建了中国绝热节能材料协会气凝胶材料分会。2016年5月，美国Aspen公司向美国国际贸易委员会(ITC)提起调查，声称中国气凝胶企业侵犯其专利，2018年2月5日，ITC终裁认定中国企业侵权。**该项目拥有的耐高温气凝胶美国专利（US9869422B2）打破了国外对中国气凝胶产品在国际地区销售的限制。**2015年发起并成功主办了2015和2017年两届“气凝胶材料国际学术研讨会”。**4、成果发表与学术界评价**该项目组已在国内外该领域重要期刊发表论文95篇，其中在Energy & Environmental Science、Chemical Communications、Green Chemistry等发表SCI论文66篇，被引844次；授权中国发明专利26件、实用新型专利3件，PCT发明专利1件，授权美国发明专利1件。**关于氨基改性氧化硅气凝胶的工作**：研究成果2011年在Energy & Environmental Science发表至今累计引用122次，获得同行高度评价：美国怀俄明大学研究人员在Nature Communications上发表论文认为氨基改性SiO2气凝胶材料是一种性能优异的CO2吸附材料；美国纽卡斯尔大学的Siller教授在Advanced Materials发表的论文中认为“通过改变气凝胶的表面化学结构可以使其变得智能，例如氨基改性氧化硅气凝胶CO2吸附剂…”。**关于疏水氧化硅气凝胶的工作**：何雅玲院士在Applied Thermal Engineering发表论文对本工作进行了详细总结和肯定；天津大学的Jiachen Liu教授在Chemical Engineering Journal上的论文以本工作为例说明氧化硅气凝胶材料具有各种优异的性能。**关于耐高温气凝胶的工作：**伊朗Azadeh Seifi团队在Corrosion Science期刊上肯定了咱们组关于通过制备三元气凝胶材料从而提升传统炭气凝胶的抗氧化性能；美国麻省理工学院的Denvid Lau团队在Construction and Building Materials上肯定了本团队发明的耐高温铝硅气凝胶制备方法。 |
| 应用情况 | 专利《一种块状低密度凝胶隔热复合材料ZL200710023436.2》2011年许可至常州循天节能科技有限公司，成功实现气凝胶绝热材料产业化和应用，该企业开发的“钛纳硅超级绝热材料”连续四年入选《国家重点节能技术推广目录（节能部分）》（2014年本、2015年本、2016年本、2017年本）。以在海南中航特玻材料有限公司2#线600吨/天浮法玻璃生产线的窑炉二次保温节能项目应用为例，节能率3.14%，每天节约5842立方天然气。气凝胶材料技术2011年专利《一种超临界法制备纳米Fe3O4/SiO2复合气凝胶颗粒的方法ZL200810124076.X》等4个专利作价2000万于2012年转让至南京天印科技有限公司，成功实现了气凝胶绝热材料产业化，建立了产能10万平方米/年的气凝胶绝热材料生产线，开发了一系列氧化硅基气凝胶绝热材料，形成了企业标准、获江苏省重点推广应用的新技术新产品。山东茂盛管业有限公司应用该团队研发的气凝胶绝热材料产品及相关技术于保温管道产品，2015-2017年新增销售额18154万元、利润4637万元、税收1009万元。山东华临新能源设备有限公司应用该团队研发的气凝胶绝热材料产品及相关技术于工业额太阳能专用保温水桶，2015-2017年新增销售额12344万元、利润3947、税收1402.32万元。山东圣泉新材料股份有限公司为国产高速列车专用隔热降噪及防火产品的供应商，采用了该团队研发的气凝胶绝热材料相关技术，应用于高速列车的隔热降噪及防火产品，2016-2018年累计新增销售额3845万元、利润977万元、利税725万元。日照东润有机硅股份有限公司采用该团队研发的气凝胶绝热材料及保温节能技术，用于8000吨/年有机硅生产线，节能效果显著，节能率7.26%，2015-2017年三年累积节支总额211.77万元，相关产品累积新增利润2004.81万元、税收638.73万元。济南天工新材料有限公司采用该团队研发的气凝胶绝热材料及保温节能技术，用于陶瓷生产窑炉的节能改造，2015年3月至今窑炉运行情况良好，节能率达12.44%，累计节支总额257.3万元，相关窑炉生产的产品累计新增销售额2242万元、利润635万元。中国兵器工业集团第五三研究所采用该团队研发的气凝胶隔热材料产品及技术，成功应用在新一代某新型号特种车辆上。上海煜志机电设备有限公司依托该团队研发的碳化物气凝胶绝热材料技术，生产高温工业窑炉，该材料相比市场上同类产品，保温效果优异，2016年7月应用至今累计新增销售额890万元、利润432万元。 |
| 主要知识产权和标准规范等目录 |
| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家（地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 |
| 发明专利 | 一种块状低密度凝胶隔热复合材料 | 中国 | ZL200710023436.2 | 2009-09-30 | 555171 | 南京工业大学 | 沈晓冬，江国栋，崔升，冷艳丽 | 专利权有效 |
| 发明专利 | Method for preparing bulk C-AlN composite aerogel with high strength and high temperature resistance | 美国 | US9869422B2 | 2018-01-16 | US009869422B2 | 南京工业大学 | 沈晓冬，仲亚，崔升 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 一种以稻壳灰为原料制备纤维增强SiO2气凝胶的方法 | 中国 | ZL201110200277.5 | 2013-04-10 | 1172228 | 南京工业大学 | 沈晓冬，顾丹明，崔升 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 胺基改性SiO2气凝胶材料及其应用 | 中国 | ZL201010503498.5 | 2012-02-29 | 916044 | 南京工业大学 | 沈晓冬，成伟伟，崔升 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 一种块状SiO2-Y2O3复合气凝胶的制备方法 | 中国 | ZL201310016622.9 | 2014-10-29 | 1506257 | 南京工业大学 | 沈晓冬，张君君，崔升，仲亚 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 玻璃纤维增强TiO2-SiO2复合气凝胶隔热材料的制备方法 | 中国 | ZL201410444437.4 | 2016-08-31 | 2220812 | 南京工业大学 | 崔升，周游，沈晓冬，刘思佳 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 一种块状耐高温硅-炭复合气凝胶材料的制备方法 | 中国 | ZL201110200224.3 | 2013-04-10 | 1171946 | 南京工业大学 | 沈晓冬，孔勇，崔升，仲亚 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 一种耐高温碳化硅气凝胶隔热复合材料的制备方法 | 中国 | ZL201210405546.6 | 2014-09-03 | 1475644 | 南京工业大学 | 沈晓冬，孔勇，崔升，仲亚 | 专利权有效 |
| 发明专利 | 一种块状碳化硅气凝胶材料及其制备方法 | 中国 | ZL201210404103.5 | 2014-09-03 | 1475277 | 南京工业大学 | 沈晓冬，孔勇，崔升，仲亚 | 专利权有效 |
| 发明专利 | MoSi2-BSG涂覆氧化锆纤维板一体化隔热材料及其制备方法 | 中国 | ZL201410797128.5 | 2016-09-07 | 2229732 | 南京工业大学 | 沈晓冬，邵高峰，崔升，吴晓栋 | 专利权有效 |
| 主要完成人情况 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 行政职务 | 技术职务 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 沈晓冬 | 1 | 院长 | 教授 | 南京工业大学 | 南京工业大学 | 项目总负责人，团队领导者，选题提出者，负责总体思路与统筹。对发明点1、2和3有创造性贡献。发明了氧化硅气凝胶隔热材料制备及结构调控技术，提出了涂层/气凝胶一体化材料设计方案，设计了气凝胶隔热材料的生产工艺和生产线。主要知识产权目录中9项发明专利的第一发明人、1项发明专利的主要发明人，项目工作量占全年工作量的80%。 |
| 崔升 | 2 | 副院长 | 教授 | 南京工业大学 | 南京工业大学 | 项目研究骨干。对发明点1和2有创造性贡献。对氧化硅气凝胶表面改性、遮光剂掺杂进行了系统研究。主要知识产权目录中1项发明专利的第一发明人、9项发明专利的主要发明人，项目工作量占全年工作量的70%。 |
| 孔勇 | 3 |  | 副教授 | 南京工业大学 | 南京工业大学 | 项目研究骨干。对发明点1和2作出创造性贡献。系统研究了氨基改性氧化硅气凝胶和SiC气凝胶的制备和性能，提出了CO2吸附用氨基改性氧化硅气凝胶设计原则、碳化物气凝胶形成过程中的网络结构生长和调控机制。主要知识产权目录中3项专利的主要发明人，项目工作量占全年工作量的70%。 |
| 伊希斌 | 4 | 主任 | 副研究员 | 山东省科学院新材料研究所 | 山东省科学院新材料研究所 | 项目研究骨干。对发明点1作出重要贡献。研究了氨基改性氧化硅气凝胶的制备工艺，项目工作量占全年工作量的50%。 |
| 仲亚 | 5 |  | 助理研究员 | 南京工业大学 | 南京工业大学 | 项目研究骨干。对发明点2作出重要贡献。研究了氮化物气凝胶的制备工艺并实现产业化。主要知识产权目录中5项专利的主要发明人，项目工作量占全年工作量的50%。 |
| 张忠伦 | 6 | 部长 | 教授级高工 | 中国建筑材料科学研究总院 | 中国建筑材料科学研究总院 | 项目研究骨干。对发明点3作出重要贡献。设计了气凝胶产业化装备，研究了快速超临界干燥工艺，项目工作量占全年工作量的30%。 |

 |
| 完成人合作关系说明 | 完成人沈晓冬、崔升、孔勇和仲亚来自南京工业大学材料科学与工程学院“气凝胶纳米材料”课题组。伊希斌来自山东省科学院新材料研究所，研究生就读于南京工业大学，导师为沈晓冬教授，博士毕业后入职山东省科学院新材料研究所，成立了“气凝胶材料创新团队”，继续与南京工业大学沈晓冬教授“气凝胶纳米材料”课题组合作开展气凝胶材料相关研究。张忠伦来自中国建筑材料科学研究总院有限公司，与南京工业大学沈晓冬教授合作开展气凝胶材料产业化工艺与装备开发研究。 |