

2019 年度浙江省自然科学奖提名公示表

一、成果名称

新结构高性能清洁能源材料的可控合成及应用研究

二、提名单位及提名意见

| | |
|--|---------|
| 提名单位 | 温州市人民政府 |
| 提名意见（限 600 字） | |
| <p>我单位认真审阅了该项目提名书和附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合《2019 年度省科学技术奖励提名工作手册》的规定。</p> <p>该项目针对新能源的开发和化石能源高效利用过程中的科学难题，开发了大孔径多孔沸石、高缺陷石墨烯、新颖超结构石墨烯复合材料以及多组份硫属化合物等催化材料的合成技术，解决了传统清洁能源催化材料活性低、稳定性差的问题。研究团队已在 <i>J. Am. Chem. Soc.</i>、<i>ACS Nano</i> 等高水平学术杂志上发表 SCI 论文 62 篇，授权发明专利 21 项，其中 10 篇代表性论文总影响因子 124.9(均篇 12.49)，SCI 他引 1462 次，2 篇入选全球 ESI 高被引论文。该项目的成果具有原创性和应用型，部分工作居领先水平，具有重要国际影响，被 <i>Chem. Rev.</i>、<i>Chem. Soc. Rev.</i>、<i>J. Am. Chem. Soc.</i> 等顶尖综述和专业期刊正面评述和介绍，为发展和推动我国的清洁能源技术和新能源产业做出了突出贡献。</p> <p>推荐该项目为省自然科学奖 <u>一</u> 等奖。</p> | |

三、成果简介

成果主要研究内容、科学发现点、科学价值，同行引用及评价等（限 1000 字）

随着化石能源的日益枯竭和环境问题的日益严重，寻找高效、清洁、安全的能源储存与转换材料已成为当前化学、化工、材料、环境及能源领域的重要研究热点。本项目针对能源材料与技术领域存在成本高、效率低、寿命短等重大挑战，设计发展了系列多孔沸石燃油催化转化材料和碳基电池材料，在国际学术界引起了广泛关注和跟踪研究。主要发现和技术创新点包括：

1、开创性地建立了一种基于卤代烃原位脱卤聚合新方法，设计合成了一系列低成本、高活性、长寿命的无金属碳基氧还原电催化剂——包括一种目前在碱性介质中具有最高催化活性的石墨烯量子点/石墨烯纳米带复合电催化剂，被国内外同行在 *Nat. Energy Rev.*、*Chem. Rev.* 等权威期刊上作为缺陷增强无金属氧还原催化剂的经典范例给予广泛引用和详细介绍。

2、设计合成了系列具有新颖介孔结构的多孔沸石催化材料（如 Y、Beta、ZSM-5 TS-1、SPA0-34、ETS-10 等），创制了系列新型燃油精制催化材料，实现了在低温、低压的温和条件下燃油的深度脱硫和芳烃的深度饱和，低成本生产超清洁油品。

3、在国际上率先发展了一种以碲纳米管为电子输运载体和自牺牲模板，可控构筑多组分异质结构材料的新策略，开创性地合成出了一系列具有新颖糖葫芦串结构的多组份硫化镉基太阳能光解水制氢催化剂。该成果被 *Nat. Commun.*、*J. Am. Chem. Soc.* 等顶级期刊作为一种空穴输运耦合增强耐光腐蚀性的新方法被广泛引用。

4、设计发展了多种具有三维超结构的石墨烯基纳米复合材料如 $\text{LiFePO}_4/\text{Graphene}$ 、 $\text{SnO}_2/\text{Graphene}$ 、 $\text{TiO}_2/\text{Graphene}$ 、 $\text{Si}/\text{Graphene}$ 、 $\text{S}/\text{Graphene}$ 等，实现了高能量密度、高倍率充放电、长稳定性锂离子电池的发展。

自 2010 年项目实施以来，研究团队已在 *J. Am. Chem. Soc.*、*ACS Nano* 等学术杂志上发表 SCI 论文 62 篇，授权发明专利 21 项，在国际学术界引起了广泛关注和跟踪研究，被 *Chem. Rev.*、*Chem. Soc. Rev.*、*J. Am. Chem. Soc.* 等顶尖综述和专业期刊正面评述和介绍。其中 10 篇代表性论文总影响因子 124.9（均篇 12.49），SCI 他引 1462 次，2 篇入选为 ESI 高被引论文。

四、第三方评价

评价结论等（限 2400 字）

本项目成果在清洁能源材料领域产生了重要的国际影响，共发表 SCI 论文 62 篇，授权发明专利 21 项，其中 10 篇代表性论文总影响因子 **124.9**（均篇 **12.49**），SCI 他引 1462 次。引文期刊包括 *Chem. Rev.*、*Chem. Soc. Rev.*、*Nat. Commun.*、*J. Am. Chem. Soc.*、*Adv. Mater.* 等全球权威期刊。举例如下：

1、ESI 高被引论文

代表性论文 7（SCI 他引 329 次）和**代表性论文 8**（SCI 他引 297 次）均入选全球 ESI 高被引论文，并被全球知名综述杂志 *Chem. Rev.*、*Chem. Soc. Rev.* 等积极评价。

2、期刊评论

代表性论文 1 多次被国内外同行在 *Chem. Soc. Rev.*、*Adv. Mater.* 等顶尖期刊中作为缺陷增强无金属氧还原催化剂的经典范例给予广泛引用和详细介绍。世界知名碳材料研究专家 Rodney S. Ruoff 教授在国际顶级综述期刊 (*Chem. Soc. Rev.*, 2017, 46, 4417) 认为该成果发展了一种基于表面和界面丰富缺陷促进的高效氧还原催化剂”；清华大学的张强教授在 *Adv. Mater.*, 2017(29)1604103 综述中惊奇于该成果“甚至可用石墨烯量子点作为吸电子组份功能化石墨烯，创造无金属氧还原催化剂！”天津大学杨全红教授等评价该成果从实验角度实现了“杂化材料界面局部电荷分离引发催化惰性向高催化性能转变的催化剂设计概念”(*Energy Storage Mater.* 2016, 2, 107)。此外，国际著名能源材料期刊 (*Adv. Mater.*, 2019, 31, 1901125) 对**代表性论文 10**的实验结果进行了汇报。

代表性论文 2 和**代表性论文 4** 为实现商业催化剂的设计与制备提供了科学理论和依据。其中**代表论文 2** 被欧洲科学院院士、荷兰乌特勒支大学 K. P. de Jong 教授 (*ACS Nano*, 2013, 7, 3698) 和加州理工学院的 T. Agapie 教授 (*J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135, 15830) 评价为“为燃油深度加氢脱硫提供了下一代催化剂”。英国皇家化学会会士、美国 Rive 科技公司的创始人和首席科学家 Javier Garcia- Martinez 教授在 *ChemCatChem*, 2014 (6) 46 上大篇幅图文应用并详细介绍**代表性论文 2** 的实验结果。

代表性论文 3 多次被国内外同行作为光催化剂增强耐光腐蚀性的新结构和新方法广泛引用和详细介绍。中国工程院院士、南京大学邹志刚教授在国际顶端综述期刊 (*Chem. Soc. Rev.*, 2017, 46, 603) 认为**代表性论文 1**“构建了新的电子结构”；新加坡国立大学的 Ghim Wei Ho 教授在国际顶级综合类学术期刊《自然 通讯》 (*Nat. Commun.* 2017, 8, 14224) 评价“该表界面主导的光催化是一种很有前途的太阳能转化策略”；香港理工大学的 Chai 教授在国际化学类顶级学术期刊 (*J. Am. Chem. Soc.*, 2017, 139, 4144) 指出“空穴输运材料偶合技术”是目前少有的增强催化剂耐光腐蚀性的新方法”。

代表性论文 5 多次被国内外同行在国际顶级综述期刊中引用，如国际知名材料科学家美国加州大学 Yadong Yin 教授在 *Chem. Rev.* 2014, 114, 9853 中充分肯定了该研究成果。南洋理工大学 Hua Zhang 教授在 *Adv. Mater.* 2014, 26, 2185 中多处引用并作为石墨烯薄片上合成金属氧化物的经典例子介绍。佐治亚理工学院林志群教授发表在 *Mater. Sci. Eng. R*, 2016, 102, 1 上的综述中以**代表性论文 5、8 和 9** 的研究工作作为代表性例子引用报道。

代表性论文 6 被国内外同行跟踪研究，如美国布鲁克海文国家实验室 Wei Zhang 等发表在 *Sci. Adv.* 2018, 4: eaao2608 和美国斯坦福大学教授 William C. Chueh 发表在 *Adv. Funct. Mater.* 2015, 25, 3677 的研究均使用了**代表性论文 6** 的溶剂热的方法，更是以**代表性论文 6** 的研究作为参考指标。

美国纽约州宾厄姆顿大学、锂离子先驱 M. Stanley Whittingham 教授在 *Chem. Rev.* 2014, 114, 11414 中充分肯定了**代表性论文 7** 的研究工作。加拿大工程院院士、加拿大

西安大略大学教授 Xueliang Sun 在 *Energy Environ. Sci.*, 2012, 5, 5163 中报道: 赵等人最近通过喷雾干燥和退火工艺完成了三维石墨烯网络包覆 LiFePO_4 纳米颗粒、形成球形的石墨烯改性 LiFePO_4 。导电网络能有效地促进电子传递, 而 LiFePO_4 纳米颗粒与石墨烯片之间存在大量空隙, 有利于 Li^+ 的扩散。因此, 复合阴极材料提供了高的倍率性能 (70 mA h g^{-1} at 60 C)。美国斯坦福大学戴宏杰教授在 *Chem. Soc. Rev.*, 2013, 42, 3088 的综述中正面介绍该研究成果。

香港科技大学吴洪开教授发表 *Energy Environ. Sci.*, 2013, 6, 3483 的综述中肯定了代表性论文 8 的研究工作, 多处引用代表性论文 8。代表性论文 9 的研究成果得到了美国艺术与科学院院士戴宏杰教授的肯定, 其发表在 *Chem. Soc. Rev.*, 2013, 42, 3088 的综述中评价: 石墨烯薄片可以形成一个三维导电多孔网络来容纳硅粒子, 利用硅—石墨烯混合材料可以缓解硅阳极材料在循环过程中容量衰减快的问题。并介绍了相关的实验方法。

五、代表性论文专著目录

| 序号 | 论文专著名称/刊名 | 影响因子 | 年卷期页码 | 发表时间(年、月) | 通讯作者 | 第一作者 | 所有作者 | SCI 他引次数 | 他引总次数 | 是否省内完成 |
|----|--|--------|----------------------------|-----------|-------------------|------------------|---|----------|-------|--------|
| 1 | Graphene quantum dots supported by graphene nanoribbons with ultrahigh electrocatalytic performance for oxygen reduction/ <i>Journal of the American Chemical Society</i> | 14.695 | 2015, 137(24), 7588-7591 | 2015. 06 | Shun Wang (王舜) | Huile Jin(金辉乐) | Huile Jin(金辉乐), Huihui Huang, Yuhua He, Xin Feng, Shun Wang(王舜)*, Liming Dai*, and Jichang Wang* | 102 | 102 | 是 |
| 2 | Extraordinarily high activity in the hydrodesulfurization of 4,6-dimethyldibenzothiophene over Pd supported on mesoporous zeolite Y/ <i>Journal of the American Chemical Society</i> | 14.695 | 2011, 133(39), 15346-15349 | 2011. 10 | Tiandi Tang (唐天地) | Wenqian Fu | Wenqian Fu, Lei Zhang, Tiandi Tang (唐天地)*, Qingping Ke, Shun Wang(王舜), Jianbo Hu, Guoyong Fang, Jixue Li, and Feng Shou Xiao* | 96 | 97 | 是 |
| 3 | A versatile strategy for shish-kebab-like multi-heterostructured chalcogenides and enhanced photocatalytic hydrogen evolution/ <i>Journal of the American Chemical Society</i> | 14.695 | 2015, 137(34), 11004-11010 | 2015. 09 | Shun Wang (王舜) | Jianqiang Hu | Jianqiang Hu, Aili Liu, Huile Jin(金辉乐), Dekun Ma, Dewu Yin, Pengsheng Ling, Shun Wang(王舜)*, Zhiquan Lin*, and Jichang Wang* | 45 | 45 | 是 |
| 4 | Design and synthesis of metal sulfide catalysts supported on zeolite nanofiber bundles with unprecedented hydrodesulfurization activities/ <i>Journal of the American Chemical Society</i> | 14.695 | 2013, 135(31), 11437-11440 | 2013. 08 | Tiandi Tang(唐天地) | Tiandi Tang(唐天地) | Tiandi Tang(唐天地)*, Lei Zhang, Wenqian Fu, Yuli Ma, Jin Xu, Jun Jiang, Guoyong Fang, and Feng Shou Xiao* | 50 | 50 | 是 |
| 5 | Scalable Synthesis of TiO ₂ /Graphene Nanostructured Composite with High-Rate Performance for Lithium Ion Batteries/ <i>ACS Nano</i> | 13.903 | 2012, 6(12), 11035-11043 | 2012. 12 | Xufeng Zhou* | Xing Xin | Xing Xin, Xufeng Zhou*, Jinghua Wu, Xiayin Yao, Zhaoping Liu*(刘兆平) | 198 | 198 | 是 |

| | | | | | | | | | | |
|----|--|--------|-------------------------|---------|---------------------|-------------|--|------|------|---|
| 6 | Morphology-controlled solvothermal synthesis of LiFePO ₄ as a cathode material for lithium-ion batteries/ <i>Journal of Materials Chemistry</i> | 6.626 | 2010, 20(37), 8086-8091 | 2010 | Zhaoping Liu* (刘兆平) | Shiliu Yang | Shiliu Yang, Xufeng Zhou, Jiangan Zhang, Zhaoping Liu*(刘兆平) | 133 | 135 | 是 |
| 7 | Graphene modified LiFePO ₄ cathode materials for high power lithium ion batteries/ <i>Journal of Materials Chemistry</i> (高被引论文) | 6.626 | 2011, 21(10), 3353-3358 | 2011 | Zhaoping Liu* (刘兆平) | Xufeng Zhou | Xufeng Zhou, Feng Wang, Yimei Zhu, Zhaoping Liu*(刘兆平) | 329 | 333 | 是 |
| 8 | A SnO ₂ /graphene composite as a high stability electrode for lithium ion batteries/ <i>Carbon</i> (高被引论文) | 7.466 | 2011, 49(1), 133-139 | 2011.01 | Zhaoping Liu* (刘兆平) | Xuyang Wang | Xuyang Wang, Xufeng Zhou, Ke Yao, Jiangan Zhang, Zhaoping Liu*(刘兆平) | 297 | 305 | 是 |
| 9 | A 3D porous architecture of Si/graphene nanocomposite as high-performance anode materials for Li-ion batteries/ <i>Journal of Materials Chemistry</i> | 6.626 | 2012, 22(16), 7724-7730 | 2012 | Yimei Zhu* | Xing Xin | Xing Xin, Xufeng Zhou, Feng Wang, Xiayin Yao, Xiaoxiong Xu, Yimei Zhu*, Zhaoping Liu*(刘兆平) | 134 | 134 | 是 |
| 10 | Sulfur-Impregnated, Sandwich-Type, Hybrid Carbon Nanosheets with Hierarchical Porous Structure for High-Performance Lithium-Sulfur Batteries/ <i>Advanced Energy Materials</i> | 24.884 | 2014,4,1301988 | 2014 | Xi'anChen*(陈锡安) | Xi'anChen | Xi'an Chen*(陈锡安), Zhubing Xiao, Xutao Ning, Zheng Liu, Zhi Yang, Chao Zou, Shun Wang(王舜), Xiaohua Chen,* Ying Chen, Shaoming Huang * | 78 | 78 | 是 |
| | | | | | | | 合计: | 1462 | 1477 | |

六、主要完成人员情况

| 排名 | 姓名 | 行政职务 | 技术职称 | 现从事专业 | 工作单位 | 二级单位 | 完成单位 | 对本成果主要科学发现的贡献 |
|----|-----|------|------|-------|-------------------|-----------|-------------------|------------------|
| 1 | 王舜 | 院长 | 教授 | 材料化学 | 温州大学 | 化学与材料工程学院 | 温州大学 | 全面负责课题的规划设计 |
| 2 | 刘兆平 | 主任 | 研究员 | 材料化学 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 新能源技术研究所 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 碳基复合材料的设计及合成 |
| 3 | 金辉乐 | 主任 | 副研究员 | 材料化学 | 温州大学 | 化学与材料工程学院 | 温州大学 | 新颖结构的碳基催化剂的设计及合成 |
| 4 | 唐天地 | 无 | 教授 | 材料化学 | 温州大学 | 化学与材料工程学院 | 温州大学 | 各类催化剂材料的设计及合成 |
| 5 | 陈锡安 | 无 | 副研究员 | 化学 | 温州大学 | 化学与材料工程学院 | 温州大学 | 碳基材料的设计与合成 |

七、主要完成单位情况表

| 排名 | 单位名称 | 对本成果主要科学发现支撑作用情况（限 300 字） |
|----|-------------------|--|
| 1 | 温州大学 | 温州大学在科研配套经费、实验室用房、仪器设备、人才引进和培养、研究生招生计划以及后勤保障等方面给予全面优先的支持。 |
| 2 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所 | 中国科学院宁波材料技术与工程研究所作为第二完成单位，对本项目重要科学发现的关键技术和重大难题提供了技术支持和解决意见和建议。为本项目的实施和开展提供了强有力的支持。 |

八、完成人合作关系说明（含情况汇总表）

本项目（新结构高性能清洁能源材料的可控合成及应用研究）由温州大学和宁波材料与工程研究所在 2010 年 01 月至 2015 年 12 月期间完成，五个完成人分别为王舜、刘兆平、金辉乐、唐天地、陈锡安。

第一完成人王舜与第二完成人刘兆平均属于浙江省碳材料技术研究重点实验室的成员，王舜为碳材料技术研究重点实验室的副主任，刘兆平为碳材料技术研究重点实验室的兼职教授，自 2010 年 01 月至今双方共同合作开展碳基复合材料的研究，分别发表代表性论文 1、5、6、7、8、9，并于 2019 年合作发表 *Angew. Chem. Int. Ed.* 2019, 58, 2。

第一完成人王舜与第三完成人金辉乐均属于温州大学同一个课题组，于 2010 年 01 月至今在论文合著、项目立项、共建研究课题组等方面合作，合作成果包括代表性论文 1、3，证明材料为附件代表性论文 1、3。

第一完成人王舜与第四完成人唐天地原均属于温州大学同一学院的老师，在 2010 年 01 月至 2015 年 9 月期间，论文合著、项目立项等方面合作，论文合著包括代表性论文 2，证明材料为附件代表性论文 2。

第一完成人王舜与第五完成人陈锡安均属于温州大学同一个课题组，于 2010 年 01 月至今在论文合著、项目立项、共建研究课题组等方面合作，合作成果包括代表性论文 10，证明材料为附件代表性论文 10。

承诺：本人作为成果第一完成人，对本成果完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：



完成人合作关系情况汇总表

| 序号 | 合作方式 | 合作者 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料编号 | 备注 |
|----|------|------------|-----------|--|--------|------------------|
| 1 | 论文合著 | 王舜、金辉乐 | 2010-2019 | 代表性论文 1、3 | 1 | 同属于温州大学化学与材料工程学院 |
| 2 | 论文合著 | 王舜、唐天地 | 2010-2015 | 代表性论文 2 | 2 | 同属于温州大学化学与材料工程学院 |
| 3 | 论文合著 | 王舜、陈锡安 | 2010-2019 | 代表性论文 10 | 3 | 同属于温州大学化学与材料工程学院 |
| 4 | 论文合著 | 王舜、金辉乐、刘兆平 | 2010-2019 | <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> 2019, 58, 2 | 4 | 温州大学 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |