

# 甘肃省大学生创新创业训练计划 项目申报表 (创新训练项目)

推荐学校：西北师范大学 (盖章)

项目名称：应用静电纺丝技术制备新能  
源材料

所属一级学科名称：化学类

项目负责人：杨涛

联系电话：18809467887

指导教师：童金辉

联系电话：18993175936

申报日期：2019年4月25日

甘肃省教育厅 制

项目名称		应用静电纺丝技术制备新能源材料					
项目所属一级学科		化学类					
项目实施时间		起始时间：2018年11月 完成时间：2019年11月					
项目简介 (100字以内)		<p>本项目以清洁能源开发为目的，应用静电纺丝技术代替传统化学方法，制备纳米纤维、纳米空心管等具有特殊形貌的电催化剂，为燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术构建廉价、高效、可商业化生产的多功能催化剂。</p>					
申请人或申请团队		姓名	年级	学号	所在院系专业	联系电话	E-mail
	主持人	杨涛	本科生三年级	201673010230	化学化工学院	18809467887	2285839738@qq.com
	成员	李春艳	研究生一年级	2018212076	化学化工学院	18894334238	18894334238@163.com
		徐旭东	本科生三年级	201673010227	化学化工学院	17793116463	625107922@qq.com
		张毅	本科生三年级	201673010237	化学化工学院	18298386381	1342165091@qq.com
		孙煜娇	本科生三年级	201673010118	化学化工学院	17339916050	1394768300@qq.com
		李佳毓	本科生二年级	201773020110	化学化工学院	17393160557	18393209829@163.com
		杨帆	本科生二年级	201773020123	化学化工学院	18215430215	1719917468@qq.com
指导教师	第一指导教师	姓名	童金辉	单位	西北师范大学化学化工学院		
		年龄	40	专业技术职务	教师		

	主要成果	研究方向为绿色催化、清洁能源相关电催化。主持国家自然科学基金项目 2 项，甘肃省自然科学基金项目 1 项，甘肃省高等学校科研项目 1 项。获甘肃省高校科技进步一等奖、三等奖各 1 项。在《Journal of Catalysis》、《ACS Sustainable Chemistry & Engineering》、《Catalysis Science & Technology》、《Electrochimica Acta》等期刊发表 SCI 论文十余篇，申请专利 8 件，授权 1 件。		
第二指导教师	姓名	杨玉英	单位	西北师范大学化学化工学院
	年龄	39	专业技术职务	教师
	主要成果	主要从事电化学相关新能源材料的制备及应用研究。先后参与国家自然科学基金资助项目 3 项，教育部博士点基金资助项目一项，甘肃省自然科学基金重点资助项目一项，主持完成西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目一项，并在国内外学术刊物上发表论文 20 余篇。		
<p>一、申请理由（包括自身具备的知识条件、自己的特长、兴趣、已有的实践创新成果等）</p> <p>团队成员主要研究方向是应用静电纺丝技术代替传统的化学方法，高效、绿色、低成本地制备纳米空心管、纳米项链、纳米线、纳米纤维等具有特殊形貌的电催化剂，为燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术开发高效、无污染、价格低廉、满足商业化生产的非贵金属双功能催化剂。</p> <p>团队成员对科研的浓厚兴趣和崇尚创新、追求卓越的精神而相聚，在老师的悉心指导下，团队不断发展并走向成熟。自团队成立以来，先后有 20 余名本科生 5 名研究生在团队学习并从事科学研究。其中，团队先后获得甘肃省高校科技进步一等奖、三等奖各 1 项，申请发明专利 8 篇；发表 SCI 收录论文 16 篇，团队成员有 1 人在第十一届“挑战杯”甘肃省大学生课外学术科技作品竞赛中获得了一等奖；3 人在甘肃省大学生化学竞赛中获一等奖；1 人在甘肃省大学生化学竞赛中获三等奖。团队响应学校的号召，广纳贤才，除积极吸纳本专业的本科生和研究生外，还广泛吸收物理、生物等专业的学生，努力打造人才队伍，使团队形成了以二、三年级本科生为主，有研究生参与，年级梯队良好、专业交叉互补的队伍。</p> <p>二、项目方案</p> <p>具体内容包括：</p> <p>2.1 项目研究背景（国内外的研究现状及研究意义、项目已有的基础，与本项目有关的研究积累和已取得的成绩，已具备的条件，尚缺少的条件及方法等）</p> <p>2.2 项目研究目标及主要内容</p> <p>2.3 项目创新特色概述</p> <p>2.4 项目研究技术路线</p> <p>2.5 研究进度安排</p>				

## 2.6 项目组成员分工

### 1.1 项目研究背景

#### 1.1.1 研究意义

传统化石能源消耗及使用化石能源产生的环境污染问题，迫使世界各国都在加快开发清洁能源的转化和存储技术。目前，电能和氢能作为最清洁的能源受到全世界的广泛关注。燃料电池和金属-空气电池，作为直接将化学能转化为电能的装置，因具有高效、清洁、功率密度大等优点而得到了普遍重视。电解水制氢技术是目前制备氢气最清洁、高效的方法之一。其中，电解水制氢技术涉及到氢析出反应(HER)和氧析出反应(OER)，而燃料电池和金属-空气电池涉及到氧还原反应(ORR)和氧析出反应(OER)。但由于 HER、ORR 和 OER 反应较高的过电位，导致燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术能耗较大，在实际生产中不能大规模应用。

催化剂作为燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术的核心材料，其综合性能与国产化直接关系到我国电能和氢能的核心竞争力及其产业化前景。2017年11月13日暨联合国波恩气候变化会议(COP23)举办之际，国际氢理事会18位企业领导人齐聚德国波恩并发布了题为“氢能源市场未来愿景报告”，发布了氢能源普及和能源结构转型方面的发展蓝图，在2050年之前，氢能源将占整个能源消耗量的大约20%，全年的CO<sub>2</sub>排放量能够较现在减少约60亿吨。按照《中国制造2025》中提到的，到2030年我国将实现百万辆燃料电池汽车的商业化应用。可见燃料电池和氢能的市场份额十分巨大，市场前景十分广阔。在我国，燃料电池产业培育还刚刚起步，产业链相对薄弱，产能不足。因此，开发廉价、高效、稳定性好的OER/ORR、HER/OER非贵金属多功能催化剂，是促进我国燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术产业发展的战略需求。

#### 1.1.2 国内外研究现状

目前，已报道的OER/ORR、HER/OER双功能催化剂主要有以下几种：

##### (1) 贵金属催化剂

第一类催化剂，对于HER反应、ORR反应而言性能最好的是Pt基催化剂，如铂单质、铂与其他金属及其合金、铂与碳材料的复合材料等，但这些催化剂对于OER反应活性一般。Ir和Ru氧化物在OER中表现出优异的活性，商业化的产品为钌或者铱和碳的复合物，但它们对HER反应、ORR反应活性较差。同时，这类催化剂本身的稀有性，导致它们价格昂贵、不能被广泛应用于实际生产中。

##### (2) 非贵金属催化剂

第二类催化剂是非贵金属催化剂，已报道的非贵金属双功能催化剂主要为杂原子掺杂的功能化碳材料和过渡金属(Fe、Co、Ni、Mo)氧化物，磷化物，硫化物，碳化物，氮化物。杂原子掺杂的功能化碳材料具有高的比表面积和强的导电性，因此具有一定的催化活性，而被用于催化剂载体，大大提高了催化剂的活性。研究者们发现N、B、P、S等杂原子掺杂，可有效提升碳材料的活性和稳定性。N掺杂石墨烯及多孔纳米碳材料，S及N、S共掺杂的碳纳米管，B掺杂的碳纳米薄片等均表现出了较好的双功能催化活性。功能化碳材料负载的过渡金属硫化物FeNiS<sub>2</sub>、氮化物Fe-N<sub>x</sub>、磷化物FeP和碳化物M<sub>3</sub>C(M:Fe, Co, Ni)等，也被用作双功能催化剂。但是，由于这些催化

剂的稳定性和活性较低，并未引起普遍关注。

传统碳基材料有石墨烯、碳纳米管、炭黑、碳布等，但这些材料制备繁琐，且稳定性较差。近年来，新型碳基材料层出不穷，其中静电纺丝技术在一维碳纳米材料的合成方面具有显著的优势。这种技术的优点在于所制备的连续纤维直径是纳米级别的，其长度可以达到几米甚至上千米。更重要的是，静电纺丝法适用于几乎所有可熔的高分子材料。用这种方法可将通用的一些高分子、导电高分子、生物高分子纺制成了相应的纳米级纤维，通常用此技术制得的纳米纤维具有高导电性、丰富的孔隙、热稳定性好、表面可修饰性等特点。该技术制备的一维碳功能性纳米材料因其表面的氮、氧配体，丰富的表面积和大孔结构，对无机组分能进行一定程度的组装。由于静电纺丝技术可以应用到一维碳功能性纳米材料的制备中，因而被广泛用于电催化领域。因此，将静电纺丝技术应用于制备燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术中，该想法不仅设计新颖，同时对探究催化剂机理具有重要意义。

### 1.1.3 项目已有的基础

目前，项目申请团队已在氢析出反应(HER)、氧析出反应(OER)、氧还原反应(ORR)和静电纺丝技术相关领域发表2区及以上SCI论文5篇，申请发明专利7件，项目申请团队拥有CHI760E电化学工作站、美国Pine公司的旋转圆盘电极装置、马弗炉、管式炉、静电纺丝机等催化剂制备和电催化测试所需的基本条件。项目申请团队还获得自然科学基金项目2项，甘肃省自然科学基金项目1项，甘肃省高等学校科研项目1项。为本项目的实施提供必要的物质条件和环境条件。

项目团队已经掌握静电纺丝法制备碳纳米纤维、纳米管、纳米线等具有特殊形貌的一维碳材料的技术，并已成功制备了碳纳米纤维及系列复合多功能催化剂，在催化阴极氧还原反应、电解水析氢、析氧反应中表现出了优异的催化活性，并在自组装的锌-空电池和电解水装置中表现出了优异的实际应用性能和前景(如下图)。为后续进一步制备形貌多样、性能优异、价格低廉、稳定性好的非贵金属催化剂奠定了坚实的基础。

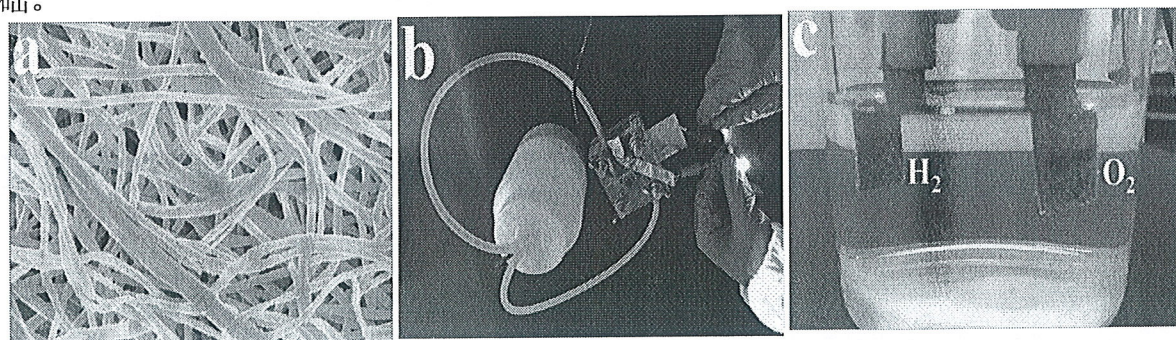


图 a 为用静电纺丝法所制备碳纤维的 SEM 图；图 b 为自组装的锌-空气电池点亮 LED 灯照片；图 c 为所制备催化剂催化电解水制氢照片。

### 1.2 项目研究目标及主要内容

团队的主要研究目标是应用静电纺丝技术制备燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术相关的非贵金属双功能催化剂，为清洁能源相关的电催化反应开发绿色、高效、具有特殊形貌、价格低廉的催化剂。

项目团队应用静电纺丝技术代替传统的化学方法，简便、高效、绿色、低成本地

载在静电纺丝技术制备的一维碳材料，为清洁能源相关的电催化反应开发高效、高活性、高稳定性、价格低廉、可大规模生产的催化剂。并深入研究其电催化性能，争取在燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术，各单个反应方面有所突破，得到性能较优的OER/ORR、HER/OER非贵金属双功能催化剂。

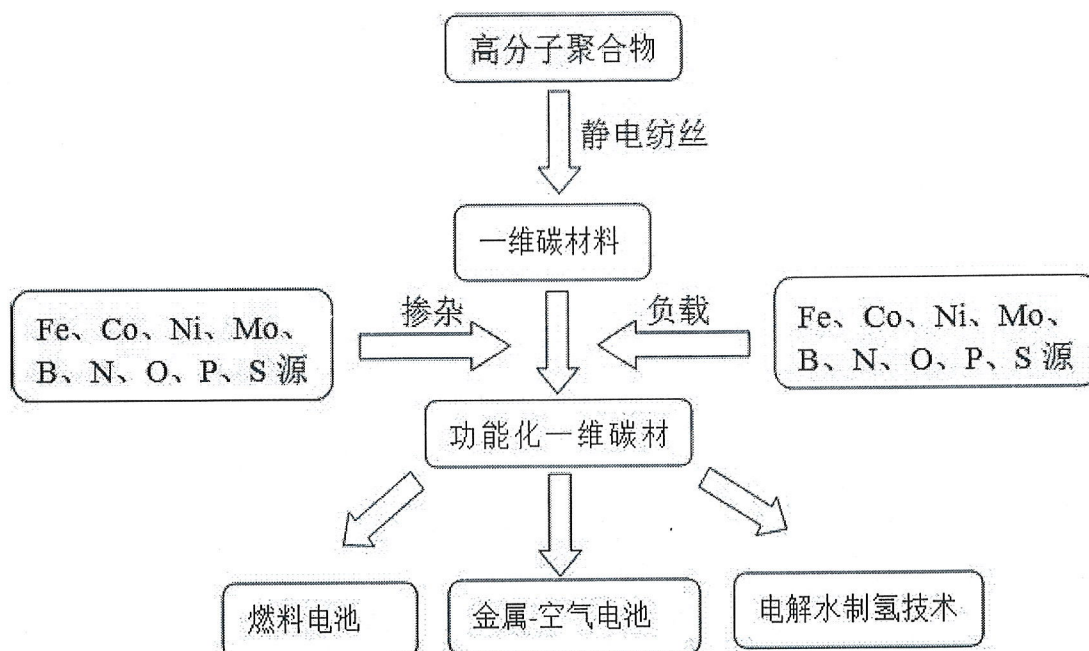
### 1.3项目创新特色概述

① 将静电纺丝技术应用于燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术的双功能非贵金属催化剂制备中，不仅方法新颖、污染少、操作简便、原料价格低廉，还能够满足绿色化学和商业化生产的需求，避免了化学方法操作繁杂，可控性差的缺点。

② 将功能化的纳米管、纳米线、纳米纤维、纳米项链、纳米空心管中管应用于燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢技术催化剂制备中，有望制得优势互补、活性增强的高效催化剂。

### 1.4项目研究技术路线

本项目首先以高分子聚合物为原料，用静电纺丝的方法制备纳米管、纳米线、纳米纤维、纳米项链、纳米空心管中管等一维高分子纤维，并通过掺杂或负载的方法引入金属源和杂原子，制备碳材料/金属氧（硫、磷、硒）化物的复合催化剂，并将其用作燃料电池、金属-空气电池和电解水制氢的催化剂。通过对催化剂组成和结构、制备方法和制备条件的优化，制备高性能、高稳定性、有应用前景的催化剂。



### 1.5研究进度安排

时间	内容
2018年11月-2019年1月	(1) 制备复合纳米碳纤维催化剂 (2) 完成对纺丝条件的优化 (3) 完成对催化剂的表征

	(4) 完成对催化剂催化性能的测试
2019年2月 -2019年7月	(1) 实现对催化剂制备方法的优选 (2) 实现对催化剂制备条件的优化 (3) 发展高活性、高稳定性的 HER/OER、OER/ORR 多功能电催化剂
2019年8月 -2019年11月	(1) 组装锌空电池和电解水装置 (2) 申请专利 1 件或发表论文 1 篇

### 1.6项目组成员分工

成员	分工
杨涛	静电纺丝
李春艳	材料设计
徐旭东	催化剂制备
张毅	催化性能测试
孙煜娇	数据分析
李佳毓	催化性能测试
杨帆	催化剂制备

### 三、学校提供条件（包括项目开展所需的实验实训情况、配套经费、相关扶持政策等）

西北师范大学拥有化学一级学科博士学位授予权。化学化工学院具备项目研究所需要的实验条件。分析测试中心拥有本项目研究所需要的主要大型仪器：X-射线衍射仪、扫描电子显微镜、透射电子显微镜、N<sub>2</sub>吸附-脱附分析仪等，可满足研究工作的绝大部分需求。同时项目申请团队获得自然科学基金项目 2 项，甘肃省自然科学基金项目 1 项，甘肃省高等学校科研项目 1 项。本项目的实施已具备了必要的物质条件和环境条件。

### 四、预期成果

(1) 发展高活性、高稳定性的 ORR、OER、HER 多功能催化剂并组装锌空电池和电解水装置。

(2) 争取公开发表论文 1 篇或申请专利 1 件。

### 五、经费预算

总经费（元）	20000	财政拨款（元）	15000	学校拨款（元）	5000
--------	-------	---------	-------	---------	------

注：总经费、财政拨款、学校拨款由学校按照有关规定核定数目进行填写

### 具体包括：

- 1、调研、差旅费；
- 2、用于项目研发的元器件、软硬件测试、小型硬件购置费等；
- 3、资料购置、打印、复印、印刷等费用；
- 4、学生撰写与项目有关的论文版面费、申请专利费等。

### 六、导师推荐意见

本项目以发展高活性、高稳定性的多功能电催化剂为目标，利用静电纺丝技术高效、简便、节能、污染少的优势，设计制备纳米管、纳米线、纳米纤维、纳米项链、纳米空心管中管等具有特殊形貌的碳材料及其复合催化剂用于燃料电池、金属-空气电池和电解水等绿色清洁的新能源技术，具有重要的理论研究意义和广阔的应用前景。

项目研究意义明确、文献调研充分、方案设计合理、技术路线可行，且已具备良好的研究基础。同意推荐立项。

签名：

2019年4月25日

### 七、院系推荐意见

同意推荐

院系负责人签名：



学院盖章：



2019年4月26日

### 八、学校推荐意见：

同意推荐

学校负责人签名：



学校公章



2019年5月8日