

金属之光

2

中国科学院金属研究所
2019年 第2期 (总第214期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

金属之星

2018年度金属所
优秀获奖人员风采

出版日期: 2019年3月

金属所科研成果荣获2018年度国家科学技术奖励

1月8日，中共中央、国务院在北京隆重举行2018年度国家科学技术奖励大会，由金属所韩恩厚、吴欣强、王俭秋、酆晓慧、匡文军、彭群家完成的“压水堆核电高温高压水环境材料损伤关键测试技术及成套装备与应用”获得2018年度国家技术发明二等奖，由金属所杨振国、杨帆、张继明参与完成的“超长寿命疲劳裂纹萌生机理与寿命预测”获得国家自然科学奖二等奖。

国家技术发明二等奖获奖成果：压水堆核电高温高压水环境材料损伤关键测试技术及成套装备与应用



韩恩厚研究员获奖

腐蚀是影响核电站安全可靠运行的最主要因素。长期以来，由于国际缺乏原位测试技术和我国长期缺乏相关试验设备，我国核电材料腐蚀数据不足，设计、制造、安全审评依靠国外标准。该项目针对核电厂核岛关键设备的主要腐蚀失效模式（均匀腐蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳、腐蚀磨损、缝隙腐蚀、辐照促进应力腐蚀等）以及实验室模拟试验的关键难点问题，自主设计并研制了10类模拟核电高温高压水环境开展材料损伤试验的关键测试装备和原位测试技术，用于材料损伤试验研究和安全评价。

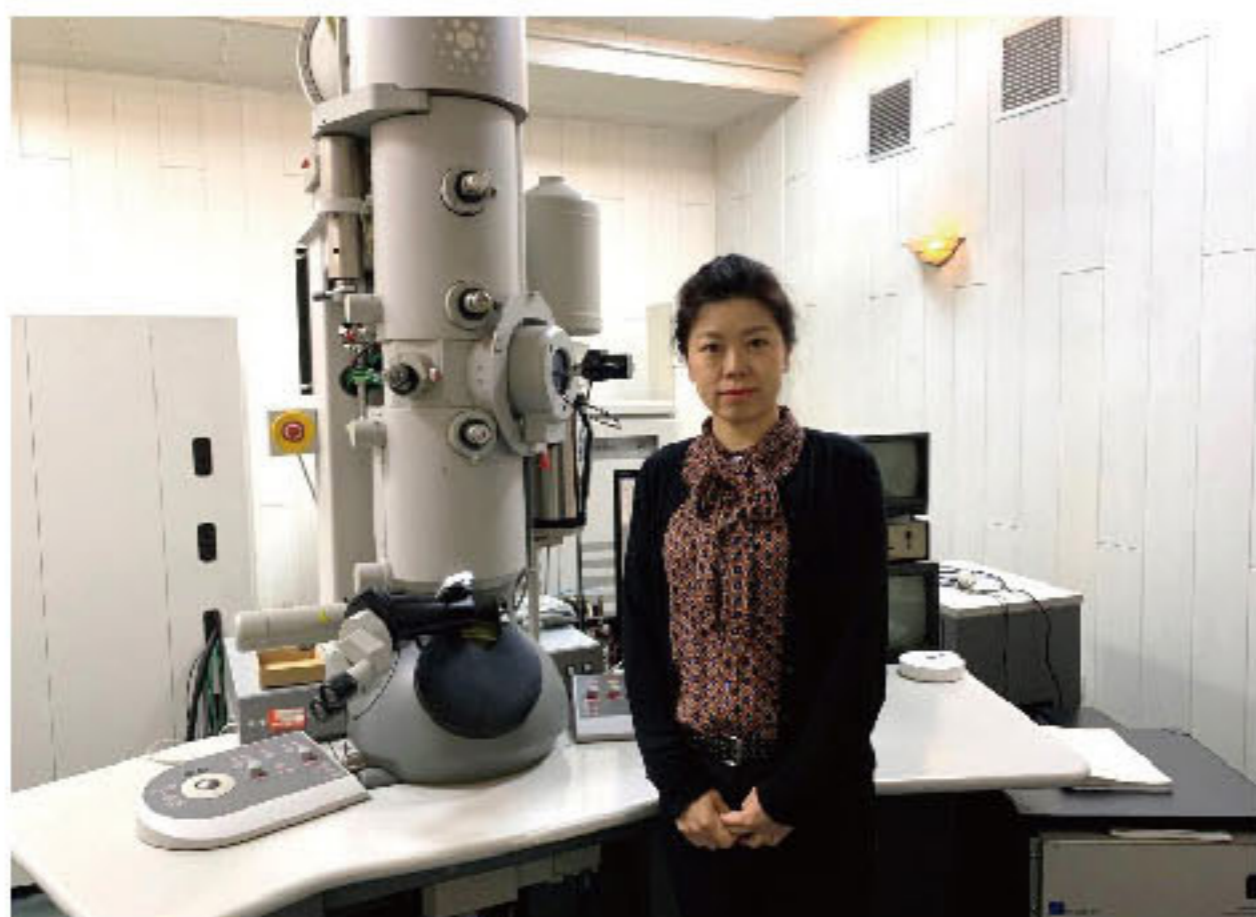
通过严格模拟核电站高温高压水化学环境，设计并研制了多种原位测量技术，建立了在核电高温高压水中材料在加载条件下的光学、光谱、声发射、电化学、裂纹扩展、应变等原位测量装备；设计并研制了核电高温高压水中划伤再钝化

暂态电化学评价材料应力腐蚀敏感性，使评价时间在数量级上从年缩短到天；研制了实现核电高温高压水中腐蚀电化学、应力腐蚀、腐蚀疲劳、腐蚀磨损、缝隙腐蚀、辐照促进应力腐蚀等多种材料腐蚀失效行为的原位测试模拟设备；发明了核电高温高压水中多种在线原位测试探头，实验室和大型热工台架长期考核验证了其稳定性、可靠性与实用性。该项目研制的10类关键测试装备均是国内首台套，其中4台套为国际首台套。系列设备已经解决了长期以来我国核电厂核岛关键装备材料的相关试验设备与评价完全受制于人的落后局面。建立的具有自主知识产权的核电材料试验与安全评价平台，成果已广泛地服务于核电研究院所、核电设计院、核电装备制造企业、核电站运行与服务企业、核安全审评机构、行业学会等14家单位，对设计选材、设计曲线、评价模型、制造工艺优化、核电站安全运行和事件处理策略、安全审评、测试评价标准的建立提供了有力的技术支持；项目成果还直接应用于我国自主三代及重要型号的关键装备的设计、生产过程以及重要装备的制造评价中，同时也已经用于在役核电站的失效事件分析与运行安全评价中，保障了我国重大工程的需要；该成果形成了自主知识产权（申请发明专利35件，已授权发明专利26件；注册软件著作权1件），牵头编制了12项测试与评价标准（4项团体、8项企业），指导、规范和提升了行业水平；发表了系列重要研究成果，项目团队被国际评估认为“在这个领域位于领先行列（IMR is a top player in this area）”，提高了我国在国际核电领域的影响力，争得了应有的国际话语权，培养了大批核电材料领域的研发人才，为核电作为国家名片“走出去”提供了重要的科技支撑。

国家自然科学奖二等奖获奖成果：超长寿命疲劳裂纹萌生机理与寿命预测

长寿命高可靠已经成为重大装备和重大工程的发展目标和紧迫需求，如发动机、（下转四版）

2018年度金属所优秀奖获奖人员风采



科技创新奖（基础研究类）获奖者—张波

张波，材料结构与缺陷研究部，项目研究员。致力于利用透射电子显微学技术研究腐蚀相关的基础性科学问题。

钝性金属材料的点蚀是腐蚀领域中的经典问题。受研究手段空间分辨率的限制，对于点蚀形核阶段一些问题的认识尚不清楚，制约了对点蚀机理的深入认识及抗点蚀措施的改进。多年来，张波研究员以透射电子显微技术为主要研究手段，围绕与点蚀形核密切相关的材料基体结构特征及钝化膜性质两方面开展了系统的研究工作，取得了一系列研究成果，推动了透射电子显微学与腐蚀科学交叉研究领域的发展。主要学术成绩包括：

揭示了氯离子击破金属钝化膜的微观机制。利用像差校正透射电子显微技术证实钝化膜由极其微小的具有尖晶石结构的纳米晶和非晶组成；基于定量电子显微学分析并结合相应的理论计算，发现氯离子沿着纳米晶和非晶之间的特殊“晶界”并以贯穿通道为路径传输至钝化膜与金属之间的界面。到达界面处的氯离子造成基体一侧的晶格膨胀、界面的起伏以及膜一侧的疏松化，并在界面处引入了拉应力。起伏界面的凸起在应力的作用下最终成为钝化膜发生破裂的起始位置。这一研究成果为揭示氯离子与金属钝化膜的交互作用机制提供了直接的实验证据，为修正

和完善数十年来基于模型和假说所建立起来的钝化膜击破理论提供了原子尺度的结构信息。研究结果于2018年7月2日在英国Nature Communications上在线发表。9月7日，美国Science周刊在“Editor's Choice”专栏以“Tracking corroding chloride”为题对该成果进行了推介，认为“利用透射电子显微技术对氯离子传输的直接观测加深了对金属腐蚀过程的理解”。

阐明了材料基体结构特征与腐蚀溶解活性之间的关联。利用原位外环境透射电子显微学方法，发现在点蚀形核初期，基体中夹杂或第二相的腐蚀溶解活性差异的起源都可以追溯到原子尺度的结构缺陷。在奥氏体不锈钢中，发现MnS局域溶解起始于其中的氧化物纳米八面体或位错露头处，而MnS的溶解活性与氧化物的表面原子构型及位错分布相关(Acta Mater.2010)。该工作使人们对不锈钢点蚀机理的认识从先前的微米尺度提升至纳米甚至原子尺度；提出通过阳离子交换反应可有效提高不锈钢抗点蚀能力的新方法有望以简捷、高效、低成本的形式在工业生产中得到广泛应用(Sci.Rep.2014)；在Al-Cu-Mg系铝合金中，发现与点蚀形核密切相关的S相溶解，与弥散其中的更小尺度的Al₂₀Cu₂Mn₃相的溶解活性密切相关(Acta Mater.2015)。而原子尺度下重元素Cu在不同形态的孪晶片层中缺陷位置处的偏聚与否是导致准晶近似相活性差异的根本原因(Sci.Rep.2016)。从而在原子尺度下阐明了结构特征与腐蚀活性的内在联系，强调原子尺度的结构缺陷对于局域腐蚀的影响不可忽视。

相关研究结果已在包括Nature Communications、Acta Materialia、Corrosion Science、Electrochemistry Communications等具有重要影响力的国际学术刊物上发表论文20余篇，其中包括2篇综述邀请，拥有授权专利2项。

金属之星

科技创新奖（应用研究和开发类）获奖者—王俭秋



王俭秋，中科院百人计划入选者、国家杰出青年基金获得者。长期从事核电站关键材料、长输管道钢、铝合金等重大工程材料的环境敏感断裂机理与规律研究。主持研究3期国家973课题、国家重大专项课题、国家自然科学基金和国内外委托课题共百余项。发表论文260余篇，授权发明专利9项。培养研究生30余名。

作为主要完成人荣获1项国家科技进步二等奖“飞机日历寿命定量评价方法及其延寿决策”（2009年，排名第5），2项辽宁省科技进步一等奖“飞机日历寿命定量评价方法及其应用”（2007年，排名第5）、“油气管道的腐蚀损伤评价及维修技术”（2012年，排名第3），1项中国核能行业协会科学技术奖一等奖“压水堆核电高温高压水环境材料损伤关键测试技术装备与应用”（2016年，排名第3），1项辽宁省科技发明一等奖“镁合金的腐蚀防护及提高使役性能的关键

技术”（2016年，排名第5）。获得过辽宁省第五批“百千万人才工程”百人层次人选，第九届沈阳市优秀科技工作者和辽宁省直属机关三八红旗手称号，兼任《腐蚀科学与防护技术》副主编、辽宁省腐蚀与防护学会核电材料腐蚀专业委员会主任、核能行业协会核电厂老化与寿命管理工作组和蒸汽发生器工作组专家组成员、国家能源核电运营和寿命管理技术研发中心专家委员会委员。

王俭秋研究员带领科研团队发明的模拟压水堆核电站高温高压水材料原位划伤再钝化暂态电化学测试设备，可精确模拟核电高温高压水化学环境，实现了金属材料表面膜在高温高压水中的原位单道和多道快速划伤，通过对暂态电化学信号的解析，发现了再钝化暂态初期与后期的不同成膜机制，利用该技术可以比较不同材料在不同水化学环境的应力腐蚀敏感性。利用自主研发的设备，首次开展了国内大型核电站核岛内关键部件的失效原因分析与寿命评价，提出了进口部件制造不合格是导致失效的根本原因，通过对带裂纹部件的剩余寿命评价，为核电站制定合理经济的维修策略及安全高效运行提供了有力支撑。

2018年度作为团队负责人，她带领的“金属结构材料环境损伤与控制”创新团队获得了科技部重点领域创新团队；作为第3完成人的科研成果“压水堆核电高温高压水环境材料损伤关键测试技术及成套装备与应用”获得国家技术发明二等奖；作为第2完成人获得中国科学院科技促进发展奖。

优秀青年学者奖（基础研究类）——刘增乾

刘增乾，材料疲劳与断裂实验室，副研究员，中科院青年创新促进会会员，金属所“引进优秀学者”。

刘增乾博士致力于生物力学与仿生材料研究，旨在利用生物力学原理从仿生角度提高人造材料抵抗疲劳与断裂的能力。根据“认识自然—



理解自然-学习自然”的思路，从材料学、力学等角度揭示自然界中典型生物材料的组织结构及赋予其优异性能的关键机理，提炼天然与人造材料优化设计的共性内在原则，进而将其应用于人

造材料体系，开发新型的高性能仿生材料，实现其组织结构的多级构筑与性能优化，推动其更好地满足实际应用需求以及实现产业化。

刘增乾博士首次揭示了多种典型生物材料的组织结构、性能与强韧化机理，提出了新型结构取向梯度的概念与设计原则，澄清了结构再取向的作用与内在机理，阐明了生物材料的形状记忆效应与自修复特性，为人造材料的仿生优化设计提供了理论指导；在此基础上，通过模仿生物材

料与创新制备工艺，设计研发了多种具有优异性能和显著应用前景的新型仿生结构材料，包括硬度和模量均与人牙匹配的高韧性仿生义齿材料、仿龙虾壳结构碳化硅晶须增强轻质复合材料、定向高导电冲击铜基电触头材料等。

刘增乾博士承担了中科院青年创新促进会项目、金属所“引进优秀学者”项目、“葛庭燧奖研金”、国家自然科学基金面上与青年项目、中国博士后科学基金等，并参与了国家自然科学基金重点项目、美国国防部Multi-University Research Initiative项目等多项课题。目前已在Prog. Mater. Sci.、Adv. Mater.、Biomaterials、Acta Biomater. (4篇)、Acta Mater. (3篇)等期刊发表论文55篇(其中第一及通讯作者31篇)，被Nature、Science等引用900余次，并受邀担任Acta Biomater.等期刊审稿人，申请仿生材料发明专利10项。部分研究成果受到Materials Today、Advances in Engineering、中国日报、中新网、光明网等国内外媒体报道并广泛用于科普宣传，培养的研究生多次获得辽宁省优秀毕业生和师昌绪奖学金等荣誉。

(上接一版) 高速列车、航空航天、核电等部件材料面临着承受重复载荷次数高达 10^9-10^{12} 个应力循环，即超长寿命疲劳问题(VHCF)。常规疲劳实验方法及其设备难以或者几乎不能完成 10^8 周次循环以上的VHCF试验(1个试件试验需2年以上)。VHCF裂纹萌生往往从材料内部开始，因素多，机理复杂，试验与理论分析困难。

该项目在超长寿命疲劳领域进行了20多年深入的实验和理论研究，建立了具有自主知识产权的超声频率疲劳加速实验方法及其系统，提出了超长寿命疲劳裂纹内部萌生的破坏机制，建立了超长寿命疲劳总寿命和裂纹萌生寿命预测模型。8篇代表性论文均位列国际疲劳领域极高影响论

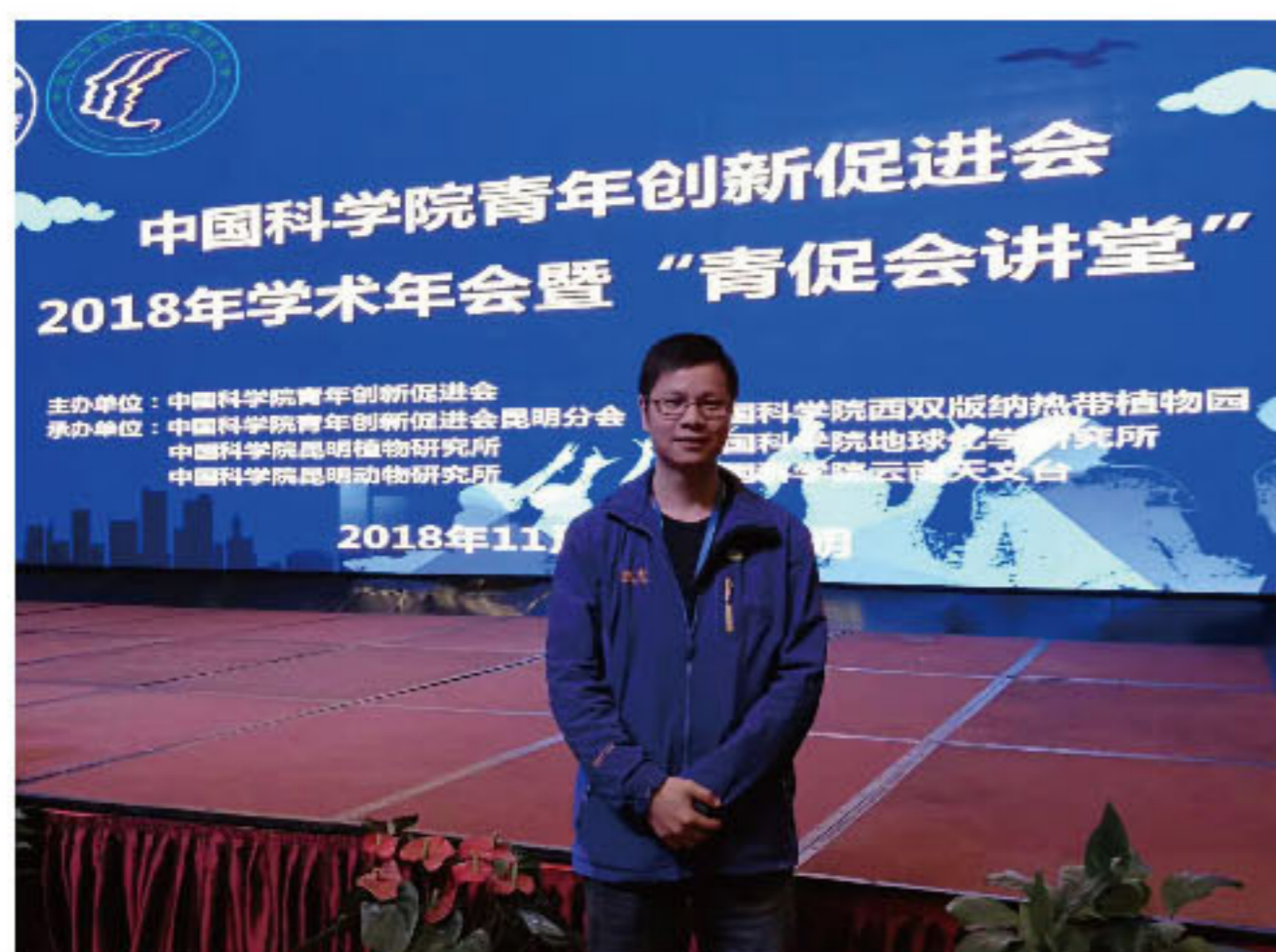
文，成果被著名学者发表的论文引用并高度评价。同时该项目组带动了国内超长寿命疲劳学科方向的快速发展。研究成果应用在超超临界汽轮机组高压转子、航空涡轮引擎压气机叶片、波形钢腹板桥梁等国家重大装备和结构的设计制造，取得显著经济效益。



杨振国副研究员获奖

金属之星

青年学者奖（应用研究和开发类）——胡小锋



胡小锋，特殊环境材料研究部，项目研究员。2010年博士毕业留所工作以来，先后承担和参与了国家重点研发计划、国家自然科学基金、配套项目和科学院STS项目等多项课题。发表论文30余篇，申请发明专利14项，授权8项。开发了多种合金钢，并获得实际应用。入选中国科学院青年创新促进会会员，获辽宁省金属学会优秀论文一等奖。

胡小锋研究员主要致力于NiCrMo系高强高韧钢的研发，他通过对NiCrMo高强钢强韧化机理的研究，开发出了新的容器用钢JQ100和980MPa级船板用钢。其中，JQ100合金钢已成功用于制备耐高压空气瓶，并在国内多家单位的竞标中胜出，获得应用，该成果填补了国内空白，解决了我国重大工程的急需。

我国船用空气瓶在不增加瓶体重量的前提下，其耐压能力急需提高1倍。他通过与企业的紧密合作，解决了几大关键技术难题，一是研制出了一种高强高韧的NiCrMo高强钢，命名为JQ100，解决了材料的问题；通过开展NiCrMo高强钢合金成分、微观组织与强韧性之间关系的

研究，揭示了钢中碳化物析出行为及其对强韧性的影响机制，提出了利用V微合金化调控碳化物结构、尺寸和热稳定性的合金化思路。V元素加入后，一方面析出了含V的合金碳化物（ M_2C ），其尺寸细小不易粗化，同时减少了粗大 $M_{23}C_6$ 的析出数量，有利于提高合金钢的低温冲击韧性；另一方面，因V扩散慢，在较高回火温度才开始析出。因此，通过提高回火温度，利用V碳化物的二次硬化作用，在保证合金钢具有较高强度的同时，可以获得好的低温冲击韧性，从而研制出强韧性匹配良好的原型材料JQ100。二是提出了锻制管坯、井式炉热处理的加工制备工艺，解决了大尺寸空气瓶性能均匀性的问题。利用锻造制管兼顾横向压缩和轴向延展的变形特点，有效克服了传统轧制管坯容易出现的横纵向性能不均现象；而通过分区控温的井式炉热处理工艺，可以使瓶体不同部位的热处理温度和组织趋于一致，保证了性能均匀性。此外，还解决了包括气瓶收口、瓶嘴/瓶口加工、压扁等在内的多个关键技术，JQ100材料和JQ100空气瓶的几十项检验考核全部满足要求，通过了鉴定评审。目前，JQ100空气瓶已实现供货。

利用APT（原子探针层析技术）揭示了NiCrMo高强钢在低温回火时冲击韧性低的机理：在NiCrMo高强钢的界面上C、Cr、Mn等合金元素含量高，且呈均匀分布状态，这弱化了界面的结合强度，从而导致了解理断裂造成冲击功低。提高回火温度后，随着Mo开始扩散并与C在界面上逐渐形成碳化物，界面上的C、Cr等变得不均匀，“净化”后的界面结合强度提高，从而合金钢的冲击韧性得到改善。上述研究一方面丰富了NiCrMo高强钢的韧化机理，另一方面为设计更高韧性的NiCrMo高强钢提供了理论指导。

利用该成果，他研制出了一种980MPa级船板用钢的原型材料，其屈服强度 $\geq 980\text{MPa}$ 、 -84°C 冲击功达200J。截至目前，该合金钢已完成百吨级、10~100mm不同厚度规格钢板的工业化试

制，其性能稳定且满足性能指标要求。该合金钢的成功研制完善了我国海洋工程用钢的合金体系，为我国980MPa级船板用钢的应用做好了技术储备。

优秀技术支撑奖——柏春光

柏春光，钛合金研究部，项目研究员。负责钛合金产品开发平台的运行、管理和技术支撑。

柏春光研究员2012-2018年作为钛合金开发平台负责人，为钛合金研究部十一五和十二五的几十余项国家重大课题的科研任务顺利完成提供了相应的技术支撑，典型工作包括罗罗发动机用钛铝低压涡轮叶片母合金研制及质量体系审核、航空紧固件棒丝材产业化的生产实施和技术支撑、“长征五号”运载火箭氢泵叶轮的粉末冶金成形工艺研究和技术支撑以及医疗钛合金棒丝材的产业化等工作，为钛合金研究部科研任务提供了必要的质量管理和技术支撑。

他还先后为所内其他部门科研工作提供了辅助性的科研技术支撑。钛合金开发平台为原沈阳材料科学国家（联合）实验室的棒材疲劳样品制备、金属粉末热压工艺研究、铝合金锻造工艺研究提供试验平台；为高温合金研究部的特种高温合金材料的EIGA雾化制粉工艺、铸造高温合金锻造工艺和真空热处理工艺提供技术支撑；为专用材料与器件研究部的低合金钢三联熔炼工艺研究、可降解镁合金棒材成形工艺研究、抗菌钛合金轧制和拉拔工艺研究提供试验条件和工艺配合；为特殊环境材料研究部的特殊钢锻造工艺研究、材料腐蚀与防护研究中心的镁合金板材轧制工艺研究提供配套实验设备及工艺。

在负责开发平台管理运行的同时，柏春光研究员也从事钛合金板材、棒材、丝材、型材和管材等新产品开发，以及数值模拟计算领域的研究

工作，先后承担和参与973、国家科技部支撑计划、材料基因组和材料数据库等国家科研基础项目以及国家大飞机和进口替代等



应用项目10余项，负责的企业横向项目20余项，申请国家纵向经费支持1000万以上，近6年获得的企业横向开发合同过亿元。在钛合金开发平台上与材料表面工程研究部和材料腐蚀与防护研究中心开展钛合金涂层和钛合金阳极氧化等联合攻关研制工作，与专用材料与器件研究部联合申请所基金和重点研发计划，联合开展抗菌钛合金材料研究和产业化应用等工作。

柏春光研究员在国内首次开创性地采用热轧工艺生产钛合金薄壁型材，提出了专用型轧机研制薄壁钛合金型材技术方案，解决了一系列钛合金型材（U型、T型、H型、L型、Z型）的轧制工艺、矫直工艺和热处理工艺技术难题，突破了钛合金薄壁型材的轧制技术瓶颈，对我国钛合金型材的发展具有重要的推动意义。该项目先后获得了国家科技部支撑项目、辽宁省科技厅重大项目以及进口替代项目的纵向经费支持。

在国内首次实现高扭转接骨螺钉专用棒材和

金属之星

无应力椎弓根专用棒材的产业化，逐步替代了关键部件的进口，优化了织构强度和织构分布规律，获得了高扭转性能的钛合金棒材。该工作实现了植入医疗器械钛合金原料的技术突破，成功给国内四家医疗器械公司实现供货，拓展医疗企

业客户近30家，累计实现销售产值近亿元。

柏春光研究员已发表论文20篇，申请专利10项，参与撰写专著一项，培养硕士和博士研究生7名，先后被评为中科院金属所优秀共产党员、沈阳分院优秀共产党员和沈阳市拔尖人才等称号。

优秀管理奖——徐丹



徐丹，财务处，审核会计。主要负责技术开发类课题和人员经费的核算和管理。

财务管理和服务科研并重是财务处秉持的工作理念，徐丹二十余年的工作经历，正是在追求不断提高自己财务管理工作水平、不断改进服务科研方式方法的过程中走过来的。二十多年来，她始终以饱满的工作热情、运用娴熟的财务知识、在热爱的工作岗位上努力进取，不断取得良好工作业绩。

在技术开发类课题经费核算和管理方面。2018年，我所开发课题共490余个，年收入已达4.7亿，占全所总体收入的41%，并且呈逐年上升的趋势。相应地，核算工作量大，涉及增值税、企业所得税等8个税种，经费收支情况较为复杂。针对这种情况，徐丹把技术开发类课题成本开支标准流程化，规范了成本费用开支的范围。她充分考虑课题成本核算与应纳税所得的差异，不定期更新有关信息，以适应课题管理办法、税法的

新规定和课题资金运行新情况。实施以来，效果良好。同时，她还定期将开发课题的收入、支出和结余情况发给课题负责人，宣贯税法知识，分析其对经费管理和使用的影响，使他们及时了解课题的运行情况，为做出计划和决策提供财务数据和信息支持，也提高了服务科研的质量和水平。

在人员经费核算和管理方面。我所人员由在职职工、离退休人员、研究生、项目聘用人员等组成，2018年总数达3200多人，年经费支出3.94亿元。经费核算包括工资、津补贴和绩效以及社保经费等。工作中她对人员经费政策和支出标准把握准确、熟练，按月及时、准确发放工资薪酬，完成预收预缴和代扣代缴各种税款和社会保障缴费。同时，依据项目经费管理规定，在相应的课题准确分摊。处理好缴纳个税和社保资金与薪酬发放的关系，既是人员经费核算和管理的重点工作，也是保证我所职工切身利益得以准确落实的具体体现。为做好这方面工作，徐丹不断改进服务方式，通过简化申报过程和讲解税收政策等做法，重点关注日常纳税、劳务支出和年终优惠的结合，用好年终一次性优惠政策，做到既合理纳税，又兼顾所内员工的个人利益。

未来的日子里，我们会继续看到徐丹忙碌的身影，会看到她亲和的微笑，更会看到她取得的优秀成绩。