

·成果简介·

工程与材料科学部资助项目最新成果简介

李克健

(国家自然科学基金委员会工程与材料科学部,北京 100083)

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部每年资助面上项目和高技术新概念新构思项目约 560 项,“八五”期间资助重点项目 54 项,重大项目 7 项。绝大多数项目能按期结题,大多数项目取得了预期成果。由于所取得的进展或成果绝大多数属基础性、初始性的,成果的水平不易评价,因而要用通俗易懂的简练文字予以介绍就比较困难。但这些工作对我国今后的发展必将起到重大作用。现就近期获得的一些不同类型的代表性成果简介如下,以起窥斑见豹作用。

1 基础创新成果

(1) 固体熔化及过热研究

中国科学院金属研究所卢柯(1993 年度优秀中青年专项基金及 1996 年度杰出青年基金获得者)与新加坡国立大学李毅提出“均匀形核突变(Catastrophes)模型”内容:

(i) 固体中熔体的均匀形核速率在超过熔点时激剧增加。

(ii) 预测不同元素的熔点极限为平衡熔点的 120% 左右,远低于其他模型的预测。

(iii) 实验验证和计算机模拟完全吻合。

(iv) 首次提出了时间—温度—转变(T-T-T)图,为进一步深入理解固体过热现象奠定了动力学理论基础。

文章发表于 1998 年 5 月 18 日美国《Phys. Rev. Lett.》,计算机模拟结果发表于英国《哲学杂志快报》1998 年 78 卷第 1 期。

这些理论对探索提高材料的稳定性、安全性,发展新型的高温材料具有重大指导作用。

英国剑桥大学著名冶金教授 Robert. W. Cahn 在 1998 年 10 月的《Nature》的新闻与评论专栏中发表了“熔化与过热——重新开始”的评论文章中评论称,中国人的工作处于熔点极限突变研究挑战中的

真正超前地位。

其前期工作获 1997 年度国家自然科学基金三等奖。

(2) 空间材料研究取得重要进展

西北工业大学“空间材料科学与技术”实验室魏炳波(1993 年度优秀中青年基金,1994 年度国家杰出青年科学基金获得者)研究组在国家自然科学基金等资助下,依靠自己的聪明才智建立了一个具有国际水平的空间材料科学研究实验室,德国宇航院专家称他们在实验装备方面与科隆空间模拟研究所和德累斯顿固体与材料研究所处于同一个水平上。美国 NASA 专题评述,对魏炳波及其合作者多年来发表的 27 篇论文进行了全面的评述,将魏的研究成果与 NASA Lewis 空间研究中心和 MIT 材料系的类似研究作了比较后,称之为这一领域的国际领先水平作出了贡献(…contributing to the leading edge of the state-of-the-art)。

魏炳波 1997 年获国家发明奖二等奖(第一获奖人)和 1998 年中国青年科学家奖。

(3) 金属间化合物脆性本质及韧化理论研究取得重要进展

金属间化合物结构材料具有良好的高温性能,但由于其室温脆性严重影响了它的实用化。

1987 年以来,国家自然科学基金支持了 30 余项面上项目和 1 项重点项目,目前正执行 1 项重大项目。在金属间化合物的超塑成型、高温新体系和环境氢脆等方面做出了有特色的工作,在国际上产生一定影响。分别于 1992 年、1995 年、1998 年在我国召开了 3 次金属间化合物国际学术研讨会。

(i) 上海交通大学林栋梁在国际上最早发现 Fe-Al 系合金大晶粒超塑性,并在研究方面取得重要进展。Fe₃Al 和 Fe-Al 在晶粒尺寸分别大于 100 μm 和 300 μm 时延伸率可达 600% 和 300% 的结果属国际领先水平。该结果为金属间化合物实用化提供了

本文于 1998 年 12 月 10 日收到。

可行的工艺。林在1996年ASM-TMS会议上作邀请报告,分会主席称“林在该领域研究方面是唯一有资格提供论文的”。并于1996年获国家教委科技进步奖一等奖(甲),专利1项。

(ii)北京科技大学陈国良研究的高铌TiAl合金取得国际先进地位,该合金既保持了TiAl的低比重,又大大提高了TiAl抗氧化和高温力学性能。获专利1项,部门奖2项。在第一届国际TiAl合金会上,会议主席称我国的工作是“新一代高温高性能TiAl合金的首例。”并请陈国良在1999年第二届国际TiAl会议上作特邀报告。

(iii)上海大学万晓景在环境氢脆研究方面提出独特见解,在俄歇能谱仪上直接用实验证实了 Fe_3Al 与水汽表面反应的存在,对了解金属间化合物环境氢脆本质有重要意义。有关论文被国内外同行多次引用,并与国外著名专家开展了合作研究。1997年获国家自然科学奖四等奖。

由于这些研究工作,金属间化合物做为一种耐高温新材料已得到“863”计划和国防军工的重视,有望在航天航空中获得应用。

(4)首次制备出氮化镓—维纳米新材料

清华大学范守善教授采用创新性的研究方法,成功地制备出作为蓝光激光器重要光电半导体材料的氮化镓—维纳米新材料。

该成果在国际上尚属首次。美国《科学》杂志(1997.8.20)、美国《化学工程》(1997.9.1)等科学刊物相继发表并作了相应报道。是《科学》杂志评选的1997年国际十大科学发现之一。

在国际上首次采用在碳纳米管外表面镀磁性膜的方法制备出一维纳米磁性材料。并利用镀镍的碳纳米管制备出金刚石单晶,两项研究结果均已发表在《Japanese Journal of Applied Physics》。

与斯坦福大学戴宏杰教授(国家杰出青年基金B获得者)合作在国际上首次实现硅衬底上碳纳米管阵列的自组织生长。完全利用微电子工业兼容的技术可大规模制备碳纳米管阵列的这项发明,将会推进碳纳米管在发射平面显示和纳米器件领域的应用研究。该发明已申请美国专利,并已投稿《Nature》。本项工作已引起美国许多厂家的重视,产业化前景诱人,我们也应加大投入促其向应用发展。

(5) C_{60} 团簇基新材料探索

中国科学技术大学侯建国教授,(1995年度杰出青年基金获得者)在 C_{60} 超导体, C_{60} 单晶薄膜生长, C_{60} 金属相互作用等方面取得一系列研究结果,

特别是近年在 C_{60} -金属(Ag, Cu, Al)等纳米复合薄膜中发现 C_{60} 金属相互作用不仅可以改变 C_{60} 的物理性质,而且可以改变 C_{60} 结构以及金属纳米颗粒的成核、生长和取向。已在国际杂志上发表相关论文30余篇,申请专利1项,1997年获中国科学院自然科学奖一等奖。

(6)硅基发光材料——光电子集成的基础

以硅集成电路为主体的微电子技术是电子计算机和现代信息技术的基础。未来的发展趋势之一是将传递最快的光当作信息载体,发展光电子集成技术,为光电子计算机和新一代的信息技术奠定基础。可惜,在微电子技术中无以取代的硅材料却不能发光。于是如何在硅基底上制作与硅集成技术相容的发光材料成了问题的关键,这也正是硅基发光材料研究的主要目标。目前硅基发光材料研究正处于知识积累、技术储备、准备突破的阶段。

南京大学鲍希茂、刘湘娜、吴兴龙从多孔硅研究入手,顺应发展趋势,对硅基发光材料开展了全面研究,取得了如下主要成果:

(i)开拓了两个硅基发光材料的新分支

(a)将C离子注入硅,在硅基上制备出发射蓝光的新的硅基材料SiC;

(b)用PECVD法将纳米硅镶嵌于非晶硅形成发光薄膜,并进而制成超晶格,制备出不但可以灵活控制发光波长,而且增强了发光稳定性的新的硅基发光材料。

(ii)提出了一项新技术——间接式多孔硅离子束改性:用离子注入控制多孔硅的发光波长、发光强度、发光层厚和制作高精度发光图形,为多孔硅器件工艺奠定了基础。

(iii)一批有创造性的新结果

(a)是国际上最早提供多孔硅微结构高分辨电子显微镜分析结果的2个单位之一。

(b)提出了一种新的多孔硅发光理论模型,得出了更符合实际的能态分布。

本项目在《Phys. Rev. Lett》,《Appl. Phys. Lett》等国内外刊物上发表论文65篇,其中58.5%为SCI收录,被国际著名杂志引用46篇次,获江苏省科技进步奖一等奖。

(7)聚合物-层状硅酸盐纳米复合材料研究取得重要进展

中国科学院化学研究所工程塑料国家重点实验室漆宗能研究员及其研究组在多项国家自然科学基金的支持下从事聚合物增强增韧的理论与应用研

究,取得许多重要成果。在刚性粒子增韧聚合物方面不仅在渗逾理论方面取得了理论成果,而且开发出了高性能塑料并应用于汽车、家用电器等。近年该重点实验室王佛松院士和漆宗能研究员又开展了聚合物与无机纳米尺度片层组成的复合材料研究,已取得可喜的进展,发现液晶现象。

2 技术创新基础成果

(1) 智能化小波变换信号分析仪

重庆大学秦树人教授采用自然科学基金资助项目的理论成果——小波直接变换方法,经“快速反应项目”的再资助,把以傅利叶变换为理论基础的机械动态分析仪改为小波变换为理论基础的“可变焦距的数学显微镜”式的仪器,该仪器具有高精度,高分辨率的“显微”和“变焦”功能,可用于工程信号处理、设备故障诊断、工业无损探伤、医学诊断、信号提纯、降噪处理等方面,有广阔的市场前景,在国际上具有领先地位。

(2) 高分子力化学制备高分子材料

世界上聚氯乙烯加工成各类塑料制品时,传统的方法是加入增塑剂。这类助剂均为小分子量的化合物,绝大多数被证明对环境有害。这些合成材料在使用中小分子的助剂不断逸出,一是造成污染,二是导致材料变脆、开裂。

四川大学徐僖院士从高分子化学出发,研究聚氯乙烯在应力作用下的活化、力降解,从而合成常规化学方法难以合成的低分子量聚氯乙烯,制备出无挥发组份的性能优异、低污染、可保持制品性能长期稳定的自增塑聚氯乙烯材料。其另一个成就是研制成功磨盘力化学反应器,构思新颖,结构独特,操作方便,性能好。在研磨过程中可使聚乙烯等非极性聚合物在降解过程中产生自由基,与空气中氧结合,从而引入含氧基团,改变性能,并可通过填料与聚合物的共碾制备原位增容的高分子材料。

(3) 生物活性材料研究取得进展

四川大学张兴栋教授1983年从半个基金项目起家开始研究磷酸钙基生物活性材料,以后相继得到5项基金资助(包括“八五”重大项目子课题),取得一系列理论和技术成果,先后发表论文110篇,专著5部,有60多篇被三大检索系统收录。张教授对磷酸钙陶瓷诱导成骨的研究成果,被1996年出版的《美国生物材料和生物工程百科全书》引用。因产业化前景好,“八五”期间获国家攻关项目支持300万元,继而开发出12个系统130多个品种,建成中试

生产线3条,制定出3项行业标准,通过了国家医药管理局的第1次生物材料制品生产试鉴定,取得国家生产许可证和工商局颁发的注册商标,产品已在国内外500家医院应用。1994年部分技术已转移珠海某公司,1997年列入“国家重大科技成果产业化工程项目”和“火炬计划”,成都某公司又投入5600万元,一座年产值1.3亿元的生产厂正在建设之中。

张兴栋教授十分重视国际合作,10年来请进来走出去达70余人次,与国外6所大学有合作关系。张教授被选为国际生物材料学会国际联络委员会中国委员,在国际生物材料界为中国争得一席之地。

该项成果获1998年国家科技进步奖二等奖。

(4) 我国铝电解碳素阳极电催化现象研究取得重大进展

1986年到1996年期间,东北大学邱竹贤教授和中南工业大学刘业翔教授曾先后得到了7个面上基金的持续支持,深入开展了碳素阳极过电压形成机理及其控制方面的研究。他们提出了阳极掺杂电催化活性机制,开拓了添加锂盐阳极糊的新技术,明显地减少铝电解的能耗。该技术先后在16家铝厂得到推广应用,年创经济效益1200万元以上。他们独特的构思和开创性的工作在国内外引起了震动。我国学术界曾因为派别问题一度有所争议,然而通过不断深入研究,事实证明了铝电解中掺杂碳阳极的电催化现象。日本、美国、挪威等铝冶金大国也开始了这方面的研究,在国际上形成了一个新的学术领域。

他们的理论和应用成果获得了国家自然科学奖三等奖(1991年)和国家科学技术进步奖一等奖(1992年)。邱竹贤教授和刘业翔教授分别于1995年和1997年当选为中国工程院院士。目前邱竹贤教授在基金资助下仍在探索新法炼铝的基础研究。

(5) 新概念选煤技术基础研究进展迅速

中国矿业大学刘炯天副教授针对我国泥煤可浮性差、浮选速度慢的特点,在1995年提出了一种将浮选和旋流机制相结合的高效选煤新方法的研究课题,工程与材料科学部将这个课题作为一个非共识创新项目和“快速反应”项目及时给予了支持。经过近3年的不懈努力,该课题进展迅速,解决了一些关键问题,取得了一批初步的理论和应用成果:

(i) 深入研究了旋流器式浮选柱的分选机理,建立了基于浮选与重选组合力场的一种新的分选方法。

(ii) 系统地研究了这种形式的旋流-静态微泡

浮选柱的放大规律,提出了从浮选柱过渡到浮选床的概念,通过实验验证与实施,获得了明显的效果。

(iii)解决了旋流器式浮选柱技术的若干关键问题,研制了1.5 m,2 m等一系列浮选柱和配套技术,获得了5项专利。

(iv)通过规律性研究,初步建立了煤炭深度降灰脱硫的技术路线并正在不断完善。

(v)在1998年,该技术已经推广应用到16家选煤企业,并在其它4个厂家开始试用,年创效益超过3000万元,取得了明显的经济和社会效益。

(6)集中供热网热力学和动力学特性的在线识别与最优控制

清华大学江亿教授于1987年,针对我国城市中大型集中供热网的运行调节和计算机控制的需要进行了一系列研究,主要解决了如下问题:

(i)管网动力学特征的在线识别,提出利用在线实测的压力分布与各用户支路流量数据,找出整个网络各支路阻力特性的S-域收缩法。

(ii)热用户热力学特征的在线识别,提出利用时间序列的方法,在线识别各热用户热力学特征模型参数的途径。

(iii)针对我国热网的管理模式和收费方式,提出与之相适应的对各用户支路做均匀性调节,对热源根据总负荷及回水温度做优化调节的新的控制调节策略。

(iv)给出利用计算机进行实时的各用户间均匀性调节的调节算法。

(v)提出评价热网各支路间不均匀性的失调度指标及其计算方法与实测方法。

以上述成果为基础,自1992年起陆续在一些大中型城市热网的计算机控制管理系统中使用。

据统计,几个工程采用本成果由于节省供热量已累计节省热费1亿元。

此成果1996年获得国家教委科技进步奖一等奖,1997年获得国家科技进步奖二等奖。

(7)“浓缩风能型风力发电机”取得喜人成果

浓缩风能型风力发电机是一种新机型,创造了稀薄风能浓缩后利用的新理论,创造了利用浓缩风能装置进行聚能这一新方法,该机型是将风力发电机叶轮置入浓缩风能装置中,自然风被加速后驱动叶轮旋转发电。

内蒙古农牧学院田德教授,在地区基金资助下从事浓缩风能风力发电机基础性研究,取得以下成果:

(i)在国际上首次设计了浓缩风能型风力发电机。突破了国内外风能利用上传统的方式,创造了新方法。经在日本明星大学和中国航天部701研究所的风洞实验证明在理论上是可行的。日本、英国、德国专家评价称该机型是国际首创,中国风能技术专家将该机称为新概念风力发电机。

(ii)浓缩风能型风力发电机的特点是比目前国内外的风力发电机更有效地实现了风能利用的高效、高可靠性和低成本。当能流密度低、风向和流速不断变化的自然风经过浓缩风能型风力发电机时,自然风的能流密度提高,流速变均匀,即发电机叶轮所接受的能量品质得到改善。因此,该机发电功率大、发电时间长、发电质量好、发电总量大,机械电气系统运行稳定、可靠、安全、寿命长、发电成本低,整体技术水平居国际先进水平。

(iii)浓缩风能装置的外型结构是浓缩风能的基础,浓缩风能装置的扩散管是浓缩风能的关键,大量的风洞实验反复证明了这一点。对扩散管的边界层进行高压注入和低压抽吸以及利用叶轮造涡功能等措施是提高扩散管效率的重要手段。独特的叶轮设计,增速流路、中央流路、扩散管的结构对浓缩风能型风力发电机性能有重要影响。该项目的研究论文被北京风能国际学术会议、北京流体机械与流体工程国际学术会议、农牧业可持续发展与环境保护中日双边国际学术讨论会和《农业工程学报》等重要国际学术会议和学术杂志录用。

应用该理论研究成果所研制的实用浓缩风能型风力发电机获得中华人民共和国专利权。该机已在内蒙古自治区锡盟、乌盟等地区的草原牧民家中、农村小学应用,为照明、彩色电视机、卫星接收器、录相机、洗衣机、电冰箱(柜)等供电;北京东郊已应用11套,作为清洁能源与现代立体生态农业相结合,为温室控制器、照明、水泵等供电;已引起浙江、吉林、辽宁、河南、甘肃、广东、云南等省区和日本、印度尼西亚有关厂商的关注,相继提出订货和合作生产的意向,前来内蒙古洽谈相关项目。

(8)电力系统非线性分布协调控制理论及应用

清华大学高景德院士、卢强教授负责的“电力系统非线性分布协调控制理论及其应用”(1988年1月—1990年12月),于1992年3月通过国家自然科学基金委员会主持的鉴定。鉴定专家组成员除我国专家外,另有美国华盛顿大学T. J. Tam教授(IEEE自动化学会主席)。美国科学院院士J. Zaborszky和Tam教授对研究成果作过书面评论,明

确指出:该成果无论在理论上还是在应用上皆居世界领先地位;是“通过严谨深刻的分析使难题得的清晰无疑解决的典范”。

先后发表文章数十篇,20多篇被SCI和EI收录,被国内外学者引用100多次。出版专著1部(卢强)。美国出版商正联系出版英文版。

3 软科学研究

(1)“电力市场”理论研究获得重要进展

在1988年和1996年对上海大学言茂松教授关于电力市场的理论与方法的研究资助了2个面上项目。研究成果在国内外产生很大影响。

今年7月英国电气与电子工程师协会(IEE)在澳大利亚佩斯召开了一次关于电力市场的专题国际学术会议,言教授被特邀作大会主题报告并担任分会主席。报告主题是发展中国家电力市场的理论与方法问题。

国家电力公司、原国家计委和经贸部,在1998年,多次请言教授赴京为各公司、部委的领导举办讲座,拍摄出版专题录像。言教授作为中方的特邀顾问,参加了世界银行促进中国电力市场的一项赠款项目。各大能源公司,如华能、申能等大企业也邀请言教授开设讲座。

(2)城市化进程研究产生良好影响

“八五”重点项目“发达地区城市化进程中建筑

环境的保护与发展研究”,由清华大学吴良镛院士和东南大学齐康院士、同济大学陶松龄教授共同承担,结合苏州、无锡、常州等城市建设规划,先后派出300多人深入基层收集第一手资料数据,取得3点成果:

(i)沪宁地区已进入新的调整期,城镇群体已出现城市化向中小村镇连绵扩展的区域特征,需要加强城市建设的系统观念、综合观念和整体观念,加强区域发展战略研究,改善城市规划管理办法,逐步改革区域发展的行政体制。

(ii)从理论和实践两个方面,提出促进地区整体协调发展,继承发展建筑文化,建立融合城市规划学-建筑学-园林学-经济学-社会学-环境学的“人居环境学”,为未来城市发展勾画了既有健康协调的经济结构,又有合理的空间布局及宜人优美生活环境的新模式。

(iii)作为理论研究的验证和示范,参与了张家港、锡山市,新苏州模式构想、沪宁等城市的大型工程规划和设计,先后完成规划项目42项,4000余平方公里,为工程学科结合人文研究和社会建设实践开辟了途径。

项目组共完成规划技术报告45份,研究论文67篇。

由于这些成果紧密结合国家建设,受到有关方面的重视。

INTRODUCTON ON THE RECENT ACHIEVEMENTS OF RESEARCH PROJECTS SUPPORTED BY THE DEPARTMENT OF ENGINEERING AND MATERIALS SCIENCES OF NSFC

Li Kejian

(Department of Engineering and Materials Sciences, NSFC, Beijing 100083)