

# 金属之光

8

中国科学院金属研究所  
2018年 第8期 (总第208期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH. CHINESE ACADEMY OF SCIENCE

纪念  
“科学的春天”  
40周年



# 用于二氧化碳电化学还原的纳米碳催化剂研究取得新进展

二氧化碳的捕集与转化是当前学术界的热点。二氧化碳的电化学还原是利用电能可在温和可控的条件下还原二氧化碳为有用的燃料和化学品，是一种具有广阔应用前景的技术。由于二氧化碳电还原的机理、动力学以及产物分布与所使用的阴极催化剂密切相关，因此催化剂材料的研究与开发是二氧化碳电还原研究的重点。杂原子掺杂型碳基催化剂具有可调控的高表

面积结构、析氢过电位高、稳定性好、成本低等特点，是电还原二氧化碳较为理想的催化剂材料。碳，并且具有接近30小时的稳定性（图1）。第一性原理理论计算表明，磷-碳键的存在能够有效改善关键反应中间体COOH\*在催化剂上的吸附，而且磷-碳键上的部分态密度相较于磷-氧-碳键表现出明显的费米能级附近的态密度，说明磷-碳键能够提高反应位原子的活性。

此项工作是将磷元素掺杂首次应用于二氧化碳电还原反应，并成功揭示了磷元素的化学状态在反应中的关键作用，为未来的杂原子掺杂碳基催化剂的开发提供了新思路。

文章于近日发表在Journal of Materials Chemistry A杂志上，选为内封底文章（inside Back Cover），并被编辑部评为2018“HOT paper”。这是该研究小组工作第二次入选Journal of Materials Chemistry A“HOT paper”。2017年“碳材料载体杂原子调控单原子金催化剂一氧化碳氧化反应的第一性原理计算”文章被评为2017“HOT paper”（J. Mater. Chem. A, 2017,5, 16653-16662）。

从2016年以来，李波研究小组详细研究了掺硼介孔碳、掺氮石墨烯以及石墨烯/碳纳米管复合结构等碳基催化剂在二氧化碳电还原中的催化性能和反应机理。基于前期工作，他们应邀以“CO<sub>2</sub> electroreduction reaction on（下转六版）

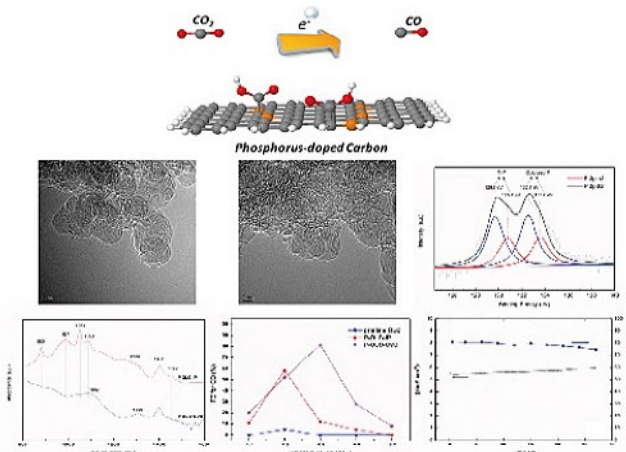


图1 磷掺杂策略制备用于二氧化碳电还原催化剂图解及催化剂的表征与性能

面积结构、析氢过电位高、稳定性好、成本低等特点，是电还原二氧化碳较为理想的催化剂材料。

近日，金属所催化材料研究部李波副研究员带领的研究小组就杂原子掺杂碳基催化剂进行研究，提出一种磷掺杂的洋葱碳型催化剂（P-OLC）。利用不同的制备方法和多种表征手段（XPS、DRIFTS、TGA,TPD），制备出具有不同磷元素化学状态的P-OLC，并用于二氧化碳电还原反应中的阴极材料。研究发现具有磷-碳化学态的P-OLC明显优于磷-氧-碳化学态的P-OLC，磷-碳态的P-OLC能够在-0.9V下以4.9mAcm<sup>-2</sup>的电流密度、81%的电流效率还原二氧化碳为一氧化

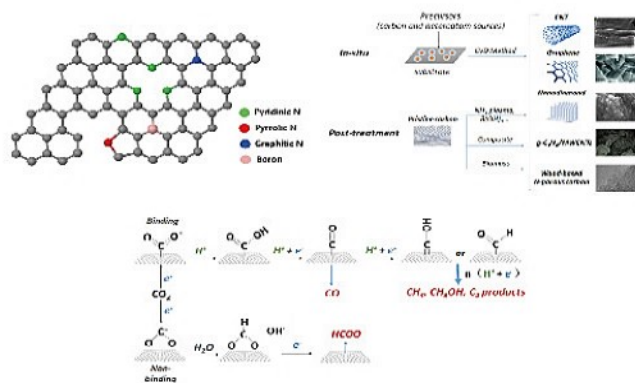


图2 用于二氧化碳电还原的杂原子掺杂碳基催化剂的模型示意、制备方法与机理图解



## 聚焦：先进材料凝固与制备技术组

金属所先进材料凝固与制备技术组以杨院生研究员为学术带头人，围绕国家对于新型先进材料与制备技术的发展和需求，重点聚焦新型镁合金、高温合金等新材料和凝固成形、多物理场材料制备等新工艺开展研究。承担过国家重点研发计划专项，973计划，科技支撑项目，国家自然科学基金重大项目、重点项目、面上项目和青年基金项目，中科院重大项目，科技部国际合作项目等30余项科研项目。现在主要承担国家重点研发计划专项课题、国家自然科学基金重点项目、面上项目和青年基金项目等课题的研究任务。

**外场控制凝固技术**金属材料凝固组织不仅直接决定铸态部件的性能，并且影响其后续变形加工性能。因此，凝固组织控制是金属材料制备的关键技术之一。继研发电磁离心凝固、低压脉冲磁场凝固工艺后，课题组研发了用于制备和生产高性能金属材料和铸件的磁—热控制凝固技术和超声处理—挤压铸造技术等外场控制凝固技术。磁控凝固技术通过低压脉冲磁场控制材料的凝固过程，有效地实现金属材料细晶化和均质化，提高材料的力学性能和加工性能。该技术具有易控制、无污染、易于工业化应用等特点，用于镁合金半连续铸造中，将镁合金铸锭( $\phi 100\text{--}300\text{mm}$ )的铸造晶粒细化到 $100\ \mu\text{m}$ ，铸锭表面质量提高，避免了开裂现象，攻克了镁合金铸锭晶粒粗大、变形加工性能差的难题。该技术还可用于大型、复杂、整体细晶精密铸件制备。

磁—热控制凝固技术是通过控制熔体的温度梯度实现顺序凝固，以提高铸件成形性和致密度，在此基础上利用电磁扰动细化铸件的凝固组织，从而达到铸件致密度和晶粒度的协同控制。在航空大型复杂薄壁结构件制备中，有效解决了制约大型复杂薄壁结构件整体成形和晶粒细化这两个关键难题。

超声处理—挤压铸造技术通过超声空化和挤压铸造压力作用，解决了润湿性和致密度问题，成功制备了碳纳米管增强镁基复合材料(CNTs/Mg)结

构件，与基体合金相比，屈服强度提高27%。此外，通过数值模拟与实验研究超声作用下的晶体生长机制，利用超声对固液界面的扰动作用制备出高性能非枝晶组织镁合金铸件，其晶粒显著细化，屈服强度和抗拉强度较常规铸件分别提高32%和24%。

**细晶高温合金**细晶高温合金及其铸件具有优异的低周疲劳寿命和可靠性，在航空航天等领域有重要用途。课题组在国家973计划和其它计划项目支持下，研发了具有自主知识产权的细晶高温合金低压脉冲磁场铸造新技术，解决了高温合金铸件细晶化难题。采用此技术制备了整体晶粒均匀细化的镍基高温合金细晶铸锭和铸件，其中某大型薄壁细晶铸件已应用于我国先进航空发动机上。围绕这一技术开展了系列的基础研究，提出了晶核游离形核模型、枝晶球化模型、溶质原子微观迁移模型，揭示了脉冲磁场作用机理。

**多元微合金化高性能镁合金**镁合金是最有潜力的轻量化材料之一，在交通工具、电子通讯、航空航天和武器装备等重点产业和重大工程中有重要用途，但强度低、塑性差及成本高等因素限制了镁合金的大规模应用。课题组针对镁合金存在的问题，提出了多元微合金化纳米析出相强化的镁合金设计思路和创新技术，利用该技术设计和制备了一系列具有国际先进水平的低成本无稀土高性能镁合金，研发了一系列多元微合金化高性能镁合金。研发的铸造镁合金抗拉强度达到300MPa以上，延伸率达到15%以上，变形镁合金抗拉强度达到400MPa，延伸率达到15–20%。开发的多元微合金化镁合金ZA81M获得国家牌号，已列入国家镁合金标准GB/T 19078–2016，并正在申请国际标准。研发的多元微合金化纳米析出相强化的镁合金成分中不含昂贵的稀土元素，具有高性能和低成本的特点，适合镁合金的商业化推广，部分新型高性能镁合金已在长安汽车、东莞宜安、山东沂星、山西康



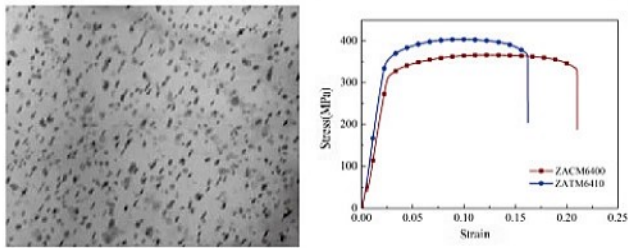


图1高性能镁合金中的纳米析出相及其室温拉伸曲线

镁、河北立中等企业试用于制造汽车和交通工具部件。

**生物镁合金**从21世纪初开始，具有生物可降解特性的生物镁合金研究和应用发展迅速，与现有其他植入材料相比，生物镁合金是理想的骨固定材料，具有以下突出优点：镁在植入后随着人体的自愈合而降解，无需二次手术取出；镁与镁合金的密度、弹性模量与人骨密度接近；有高的比强度和比刚度，满足生物植入材料的强度性能要求，在生物植入可降解器件制造行业具有重要的应用前景。本课题组研制成功的超高纯生物镁材料，力学性能  $\sigma_b \geq 180\text{MPa}$ ， $\sigma_{0.2} \geq 120\text{MPa}$ ， $\varepsilon \geq 20\%$ ，生物降解速率  $0.003\text{mg/cm}^2/\text{h}$ 。实验室研究和动物试验表明其完全满足生物植入器件要求，已经多批次多规格提供给东莞宜安、大博

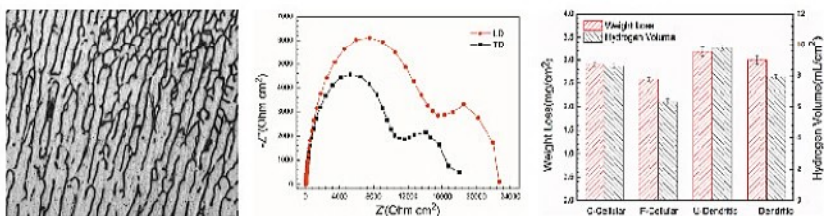


图2各向异性生物医用镁合金的定向凝固组织和腐蚀性能

医疗等单位制造镁骨钉和骨板等进行生物植入临床研究。采用定向凝固技术控制生物镁合金的晶体生长取向和组织形态，减少晶界数量，改善镁合金的耐蚀性能，成功制备了具有力学和腐蚀各向异性生物医用镁合金，相关结果在Corrosion Science上发表。

**泡沫镁材料**泡沫镁具有优异的阻尼、电磁屏蔽性能，在交通工具轻量化、能量吸收、化学催化、热控制等方面均有应用潜力。本课题组运用内生气源发泡法成功制备出泡径分布集中、

泡孔分布均匀且泡径、孔隙率在60%–90%范围内可调的大尺寸泡沫镁。制备的泡沫镁密度  $0.2\text{--}0.8\text{g/cm}^3$ ，对频率在30MHz–1.5GHz之间的电磁波具有优于泡沫铝的屏蔽效果，屏蔽效能在60dB以上。在未来的航空航天工业、交通工具轻量化等方面均有巨大的应用前景。

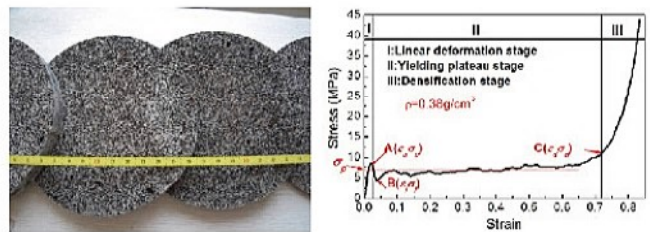


图3泡沫镁材料及其压缩和电磁屏蔽性能

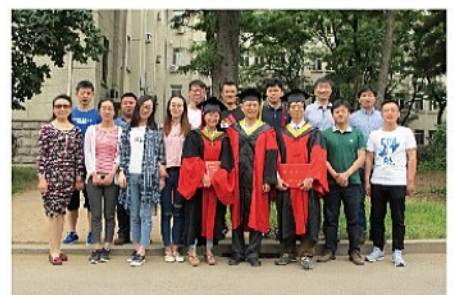
**学术成果和人才培养**课题组多年来在新型镁合金、新型凝固成形工艺、多物理场材料制备工艺等方面获得多项国际领先和先进成果，发表论文300余篇（SCI、EI收录200余篇），参编专著4部；获授权专利40余项，参与编写国家标准3项、国际标准1项，获省部级科技进步奖2



黄秋燕博士后获得2018年第11届国际镁合金及应用会议最佳Poster一等奖

项，国际镁协卓越大奖1项；培养博士生32名，硕士生46名，博士后12名，其中在职博士后获批国家自然科学基金青年基金1项。课题组承办了国际镁合金、电磁

冶金等学术会议，课题组3名学生在2017年召开的第六届国际镁及镁合金会议(ICM6)上获得最佳Poster奖，黄秋燕博士后获得2018年第11届国际镁合金及应用会议颁发的最佳Poster一等奖。



课题组照片



# 纪念“科学的春天”40周年

## 我参加的第一个科研项目

陈怀宁



图1

我是1983年8月从西安交通大学焊接专业

大学毕业分配到金属所工作的，到金属所报到后直接加入到陈亮山领导的课题组，参加正在开展的国家“六五”攻关课题“爆炸法消除焊接残余应力”的科研工作。后来听说是由于该课题组成立不到2年时间，人手紧、任务重，斯重遥研究员亲自向西安交大要人，才使得我有这样的机会来到金属所工作。

“爆炸法消除焊接残余应力”课题是在李薰所长的直接关怀下，由当时金属所副所长、中国焊接学会理事长斯重遥研究员挂帅，后期追加列入国家“六五”科技攻关项目的。这项工作实际上由陈亮山研究员具体负责，当时他是焊接研究室副主任，后来曾担任研究室主任、中国焊接学会第十届委员会副主任，在我国焊接力学界享有很高的声誉。图1是当时参加这项课题的成员在焊接研究室旧址旁的合影（前排左二为斯重遥研究员，左三为陈亮山研究员）。

从1983年7月到1986年3月课题结题，我参加了整个课题的研究过程，这是我个人科研生涯磨练的开始。参与该课题，不仅留给我很多难忘之事，也让我从中收获了很多，开始了解如何去搞科研，如何写科研文章，如何进行结题汇报，碰到问题如何在工作中不断学习、寻求帮助，如何从学术前辈们那里吸取营养，包括对待科研的态度、开展科研的方法、各种从书本上学不到的知识、为人处世的方式等等。

在该课题以及后来参加的一些科研项目中，令我印象最深、也最为钦佩的科研人就是陈亮山研究员。在他的身上，可以找到一名科研工作者的几乎所有优点，如踏实刻苦肯钻研，作风扎实

不浮夸，为人实在而友善。他不仅理论功底深厚，知识面广，动手能力还特别强。写出的科研论文也很出色，结构紧凑，用词简练，直奔主题。后来有幸成为他的研究生和课题接班人，实乃我科研生涯中的一桩幸事。

刚从学校出来，知识面窄，经验不足，需要学习的东西很多，如以前从未涉足过爆炸加工方面的知识，为此课题组给每位课题成员购买了一套当时较为经典的《爆炸及其作用》一书。评价爆炸消除应力效果需要一定的方法，当时采用的是钻孔应变法。为了掌握该方法，课题组派我到



图2

兰州生产该设备的厂家进行调研和购买设备，后来又郑州机械研究所进行为期一周的专业培训，使得我在课题的开展过程中

得益匪浅，也是我至今在此领域取得一点成绩的最初积累。图2为采用钻孔法测量储罐爆炸前后残余应力大小的现场照片。

和全国其他地方类似，那时的金属所科研条件比较艰苦，没有计算机。做学术交流时最好的情况就是使用相机拍照得到的底片制作成彩色幻灯片进行播放，或是通过复印件将打字机打印出来的文本或照片复印到透明胶片上，然后再通过投影仪进行反射投影。在那样的环境下，人们普遍兢兢业业，没有浮躁风气，没有考评压力，一些如今大家不屑

顾的事情大家依然认真对待。图3为当时在报告厅



图3





进行的有关焊接技术的国际学术交流照片，前排右一担任翻译的为后来成为中科院院士的周本廉研究员。

“爆炸法消除焊接残余应力”课题于1983年3月结题验收，图4为成果鉴定会现场。专家组成员有大家十分熟悉的师昌绪、严东升、庄育智三位院士，哈工大的田锡唐教授是当时国内焊接力学方面的顶级专家。学术大家的风范还是给我带来比较深刻的触动。当时我负责汇报“爆炸法消除焊接残余应力工艺研究”专题内容，汇报时采用的是胶片投影仪，汇报人

员和内容采用手写纸贴在门边的墙上（图4）。

经过几年的锻炼成长，使我逐渐爱上了这门专业，为后期30多年的科研生涯奠定了非常好的基础。



## 第一次现场取样

韩薇

这是我大学毕业参加工作后的第一次现场取样，进行长春热力管网的腐蚀失效分析，也是我第一次将大学里学到的腐蚀专业知识用于解决实际腐蚀问题。

1985年春季采暖结束后，长春热力管网针对热力管线出现的腐蚀泄漏问题请我们协助解决。

此热力管网是利用电厂冷却水的余热进行电厂附近单位和住宅的冬季采暖。在1984到1985的采暖季里，管网主管道有多处发生腐蚀穿孔，在未找到腐蚀原因和合理的防腐蚀措施之前，热力管网采取补补丁的防腐蚀措施。当时中国科学院刚刚在沈阳建立金属腐蚀与防护研究所，由中国科学院长春应用化学研究所和中国科学院金属研究所的腐蚀研究领域人员构成，长春应化所的人员尚未搬迁至沈阳，管网委托腐蚀所进行腐蚀原因分析和防腐蚀措施的制定。在组里老师的指导下，我们从观察打开的管道内壁的腐蚀形态开始，逐步了解了春夏秋冬空置的碳钢管道防腐措施不易实施，腐蚀易于发生在潮湿或存水的管道底部，腐蚀形态不只是均匀腐蚀，还有坑蚀和溃疡状腐蚀。此外，腐蚀环境包括大气和水溶液，或者是二者混合的形式。腐蚀坑的底部常伴有硫酸盐还原菌影响的腐蚀，这是导致管道局部腐蚀穿孔的主要原因。



照片上我们在取管道底部的腐蚀坑中的腐蚀产物。腐蚀产物呈黑褐色，这与我们所熟悉的碳钢橘黄色腐蚀产物有明显差别。让我们感到神奇的是，当盛有腐蚀产物的培养皿中加入盐酸溶液，再盖上附有潮湿醋酸铅试纸的盖子时，试纸瞬间变黑了，说明腐蚀产物中有硫化亚铁，腐蚀过程有硫酸盐还原菌参与。在学校，我们学习了均匀腐蚀、局部腐蚀、孔蚀、缝隙腐蚀等腐蚀类型的定义和单一的腐蚀形态，而这次的工作实践让我们看到了多种腐蚀环境和腐蚀形式的结合，也让我们感受到了解决实际问题时知识的不足。

我们是最早在“科学春天”的阳光下成长的大学毕业生，肩负着科技兴国的重任。我们这些恢复高考后的前三届大学生，有学腐蚀与防护专业的，有学电化学专业的也有学化学或材料专业的。虽然在学校里老师认真地教，我们如饥似渴地学，从基础理论到专业知识，我也接触了一些腐蚀检测试验，但参加工作面对各种各样的腐蚀问题，我们逐渐认识到腐蚀环境错综复杂，腐蚀形态千变万化，看似平凡的工作，每一次都可能面临挑战。

在即将退休，告别腐蚀研究领域的今天，回想起所经历的一次又一次失效分析，平凡的工作给予我丰富的知识营养，让我感到充实和有力量！



## 改革开放话巨变

臧启山

改革开放四十年，  
心潮澎湃话巨变。

想当年，  
百废待兴文革后，  
贫穷潦倒不堪言。  
穿衣吃饭都要票，  
餐桌难见鱼肉蛋。  
短缺经济样样少，  
人均工资几十元。

忆往昔，  
全家挤住单间房，  
全楼公用卫生间。  
单车手表稀罕物，  
电视冰箱几人见？  
电话只有领导有，  
轿车官员坐也难。

曾几时，  
开放号角遍地响，  
改革大潮卷巨澜。

拨乱反正破枷锁，  
解放思想人思变。  
农田个体承包制，  
国企改革变集团。  
交通运输抓提速，  
第三产业大发展。  
丝绸之路谋共享，  
小康社会求全面。  
科教兴国重人才，  
国防外交对强权。  
国民经济蒸蒸日上，  
喜见国富民有钱。

看今朝，  
住房宽敞思装修，  
衣食无忧想保健。  
轿车几乎家家有，  
手机上网多方便。  
列车提速变高铁，  
飞机全球通航线。  
生活追求高质量，  
环境改观乐无限。

更喜科技开新宇，  
上天下海任我探。  
神州飞船载人飞，  
蛟龙潜水进极限。  
北斗众星织天网，  
量子通信九州联。  
天河超算比顶点\*，  
天眼望见宇宙边。

望未来，  
历史长河一瞬间，  
华夏巨变史无前。  
转眼挺进新时代，  
长征新路不平坦。  
中华崛起非一日，  
任重道远梦在前。  
创新驱动是根本，  
复兴大业靠实干。  
不忘初心齐努力，  
牢记使命永向前。

2018年6月18日

\*注：“天河”是我国超算机，“顶点（summit）”是美国最新超算机。

## 浪淘沙

张孟泉

往昔事尤难，  
剑指何边，  
多少颠沛混不见，  
乃得青山迎春天，  
始展笑颜。  
历历四十年，  
覆地翻天，  
神州故土书新篇，  
科技东风今回首，  
换了人间。

## 贺科学的春天40载

于洋

瑟瑟冬风天气凉，万千思绪热衷肠。  
神州大地未吹绿，科技春天已传扬。  
往日执手传眉目，短歌微吟不敢长。  
纵有振臂仁志士，万马齐喑复空忙。  
风云际会辟天地，科技巨人始登堂。  
三峡坝上听猿唤，青藏路旁牧牛羊。  
墨子有知能传信，嫦娥探月复还乡。  
科技先行黄金筑，因应施策聚才郎。  
为山九仞起累土，千里之行步履长。  
四十年间同奋进，无惧前路放眼量。

（上接一版）heteroatom-doped carbon cathode materials”为题为在J. Mater. Chem. A发表“Highlight”文章。文章归纳总结了碳材料电极材料研究中涉及的杂原子（氮、硼、硫等）、不同碳材料（碳纳米管、石墨烯、生物炭、纳米金刚石等）、反应产物分布（一氧化碳、甲酸、甲醇、甲烷、多

碳产物等）以及反应机理（关键反应过渡态、活性位）与杂原子掺杂的关系（图2），提出掺杂策略对于碳基催化剂的至关重要作用，并对于未来碳基催化剂的研究与开发进行了展望。

以上工作得到国家自然科学基金、中石化、金属所优秀学者、天河超算等基金的支持。



## 所内动态



8月31日，全国政协副主席、九三中央常务副主席邵鸿在辽宁省九三学社有关领导的陪同下到金属所视察指导工作，并走访看望了卢柯院士。



8月30日，中国科学院金属研究所暨中国科学技术大学材料科学与工程学院2018年度研究生开学典礼隆重举行。本年度金属所共录取国内研究生274名，其中博士生128名，硕士生146名，金属所在读研究生规模达到966人。



8月27日至29日，2018年度李薰讲座奖获得者、美国康涅狄格大学Cato T. Laurencin教授访问金属所。



8月27日，中信泰富特钢集团董事长于亚鹏、集团顾问刘玠院士到金属所访问交流。

8月15日至17日，第十九届全国疲劳与断裂学术会议在沈阳召开。会议共有来自210家单位的765人参加，收到355篇摘要，包括6篇大会报告。与会代表围绕材料疲劳损伤微观机制、关键行业重点装备工程应用、先进测试方法等进行了介绍，并就解决材料与结构安全评价和寿命预测等问题展开了广泛深入的研讨。

