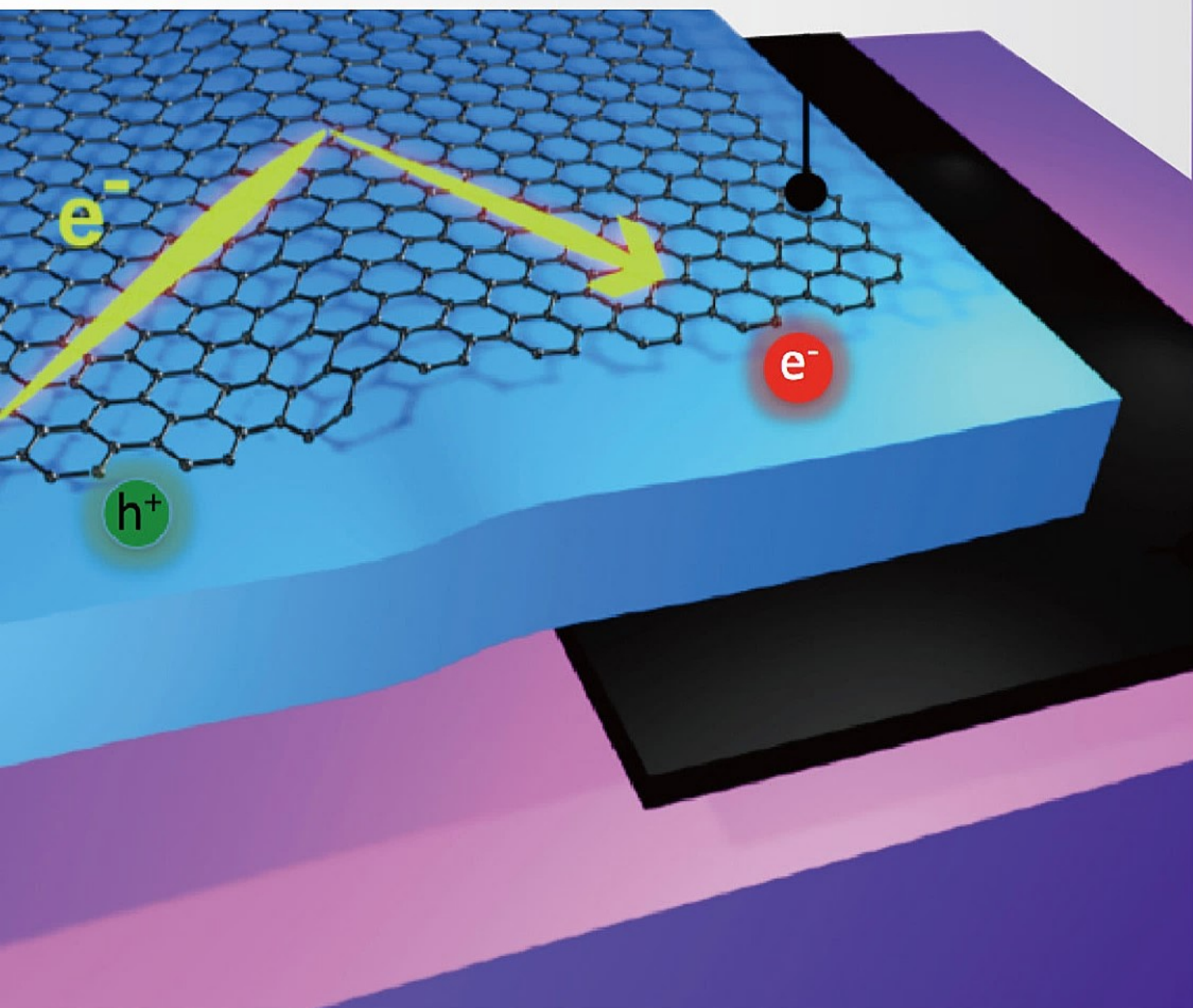


金属所研究人员在弹道输运 二维pn结中实现了电子光学的观测



金属所研究人员在弹道输运二维pn结中实现了电子光学的观测

石墨烯-氮化硼平面异质结构自2010年首次报道以来受到了凝聚态物理研究人员的广泛关注，并衍生了二维原子晶体的人工堆垛结构的研究分支。由于氮化硼提供了化学惰性、原子级别平整、无电荷掺杂的良好基底，石墨烯得以获得比在传统硅片表面高出3-4个数量级的载流子迁移率，并直接促成了石墨烯体系中分数量子霍尔效应的实验观测。

作为Dirac费米子二维电子气，石墨烯具有零带隙、电子空穴可调制等特性，并且其与氮化硼平面异质结构能够提供超高迁移率。这些性质，正是实验上实现电子光学的必要因素。所谓电子光学，也即电子表现出光学行为的体系。例如，在一个二维pn结界面上，电子能够像光入射到不同折射率界面一样，发生折射与反射，并遵循Snell定律。不同的是，自然界中，光传输介质的折射率均为正值。而Veselago早在1968年就预言，如果存在负折射率的介质，人们将能够简单地解决现实应用中各种透镜的像散问题。因此，Veselago透镜也常被称为完美透镜。2007年，科学家在理论上预言，石墨烯pn结能够实现Veselago透镜的电子光学（electron optics）版本。只要在该pn结两边通过门电压调控成相反的载流子类别（电子、空穴），由于切向动量守恒，入射电子将在pn结界面上发生负折射（Veselago折射，图1）。

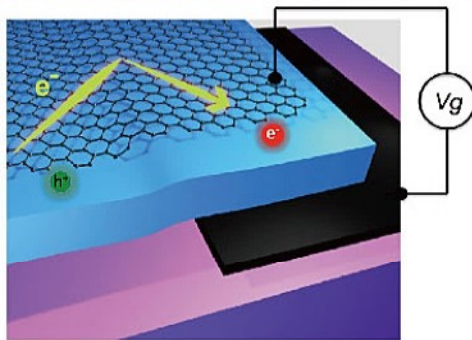


图1，电子在弹道输运石墨烯pn结界面发生门电压可控正负折射示意图

近十年来，世界各地科学家均开展了实验观测石墨烯中电子光学的研究工作。然而，该项实验具有很大挑战：1）电子不能有任何散射，全程须是弹道输运；2）pn结界面需要有极小的粗糙度。前者的实现手段为人工堆垛方法，将石墨烯夹持在两块氮化硼之

间，藉此隔杂质离散射源并提供原子级平整的基底（图2）。对于后者，如果采用金属门电极，即使利用当今最精密的电子束刻蚀纳米制备也只能做到最小几纳米乃至十几纳米的粗糙度。哥伦比亚大学、金属所等研究人员在实验上提出了利用力学解理得到的原子级别长直边界的厚度十几纳米的石墨作为门电极。从而解决了纳米制备不能解决的极小粗糙度问题（图2）。

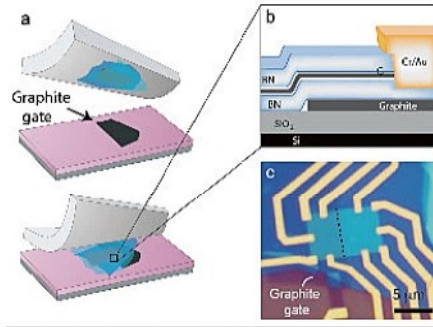


图2，实验制备的石墨烯-氮化硼异质结构加工示意图和器件光学照片

科研人员制备的pn结器件在液氢温度下的电磁输运测量表明，上述实验挑战得到满足。通过局域的石墨门电压和远程硅片门电压的调控，该型异质pn结能够借助弱磁场下的磁聚焦手段测量得到高信噪比（下转二版）

科研人员制备的pn结器件在液氢温度下的电磁输运测量表明，上述实验挑战得到满足。通过局域的石墨门电压和远程硅片门电压的调控，该型异质pn结能够借助弱磁场下的磁聚焦手段测量得到高信噪比（下转二版）

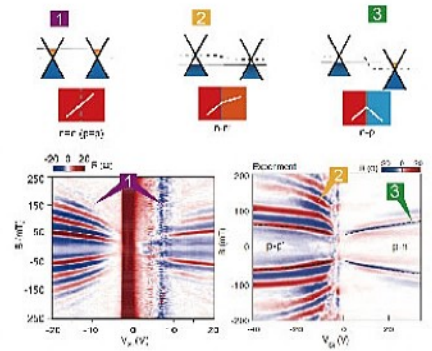


图3，不同掺杂下的pn结电子折射示意图，与弱磁场下的磁聚焦得到的电子折射电压曲线

通过局域的石墨门电压和远程硅片门电压的调控，该型异质pn结能够借助弱磁场下的磁聚焦手段测量得到高信噪比（下转二版）

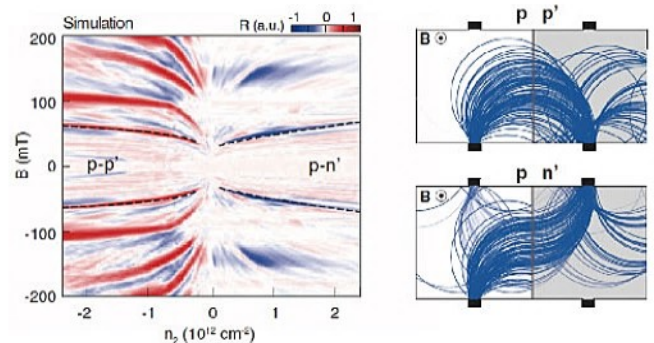


图4，左图，模拟计算得到的结果与实验数据高度吻合；右图，理论计算的电子轨迹

铂-碳相互作用调节在硝基类还原反应中的构效关系研究取得新进展

表面改性碳纳米管作为催化剂载体是催化领域的研究热点之一，碳纳米管表面引入的官能团或杂原子可以调控其与负载金属组分间的相互作用，从而影响催化剂对底物的吸脱附，实现催化反应过程的高选择性。对含有各种取代基的芳香硝基化合物选择加氢制备相应的芳胺是精细化工领域最重要的反应之一，这些芳胺类化合物在农药、医药、染料及高分子等领域具有广泛的应用。但当反应物分子中含有C-X (X=Cl、Br、I)、CH=O、-C=O和C≡N等易还原基团时，选择性还原硝基而保留其它官能团对于传统的商业Pt/C催化剂仍面临巨大挑战。

近日，金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室催化材料研究部张炳森研究员、苏党生研究员所带团队在铂-碳相互作用调节在硝基类还原反应中的构效关系研究取得新进展，研究表明碳纳米管表面氮物种的引入不仅可以增强铂纳米粒子的分散性和稳定性，同时两者之间的电子相互作用也影响了铂纳米粒子的电子结构，使其在卤代硝基苯的还原反应中具有优异的选择性。

研究团队石文博士生在张炳森研究员和苏党生研究员的指导下，通过乙二醇还原方法制备了系列高分散的碳纳米管负载铂（Pt/CNTs）催化剂，通过在碳纳米管表面引入不同的官能团或杂原子，调控其与金属铂纳米粒子间的相互作用，以硝基类化合物的选择性加氢为探针反应研究其构效关系。同时，首次在液相反应中利用相同位置-电子显微学方法（Identical Location-Transmission Electron Microscopy, IL-TEM）

研究了反应条件下相同位置催化剂的结构演变过程，直观证明了氮物种的引入对负载的铂纳米粒子的稳定性起重要作用。相关研究成果发表在美国化学会期刊ACS Catalysis (IF=9.307)上，文章链接如下：<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acscatal.6b02207>。

近年来，该课题组在碳材料负载金属纳米粒子催化剂研究方面做了系列工作（Chem Commun 2014, 50, 3856; ChemCatChem 2014, 6, 2607; Chem Commun 2016, 52, 3927），并以综述文章详述该领域成果及发展（Chem Rev 2015, 115, 2818; ChemCatChem 2015, 7, 3639），为负载型催化剂研究提供重要参考依据。研究工作得到了国家自然科学基金委项目、辽宁省自然科学基金-沈阳材料科学国家（联合）实验室联合开放基金的支持。

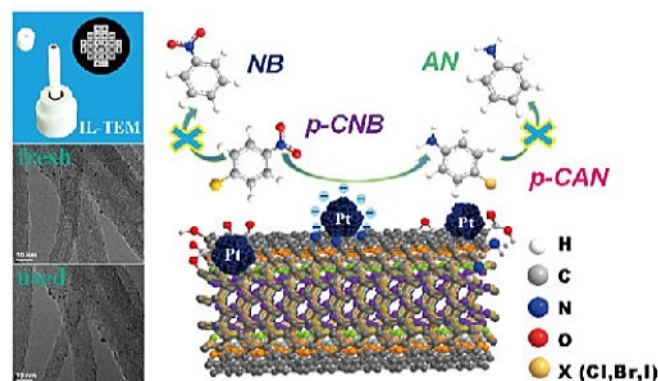


图1：“相同位置-电子显微学”（IL-TEM）方法在液相反应体系中的应用示意图（左）；高分散铂纳米粒子负载于表面改性碳纳米管及其在硝基类还原反应中的构效关系示意图（右）

（上接一版）电子射行为，首次得到了单位斜率的类光学电子正负折射。通过这项工作，科研人员间接地提取了电子在石墨烯pn结界面斜入射角度与透过率之间的联系，通过与理论的对比，推算出制备的pn结宽度约为70nm。同时，模拟计算得到的结果与实验数据高度吻合。该工作为电子光学实验及其新型全电控电

子开关等方面的应用与发展奠定了基础。

金属研究所磁性材料与磁学研究部与美国哥伦比亚大学、弗吉尼亚大学等团队合作完成了该项研究。该工作近期于Science杂志在线发表（Science, 353, 1522 (2016)。全文链接：<http://science.sciencemag.org/content/353/6307/1522>）。

新型耐磨农机配件技术和应用取得重要进展

现代化农业生产趋势是向大规模、机械化、集约化、智能精准方向发展，其中采用大马力机械进行耕、种、收等作业是实现现代农业的物质技术基础。大马力机械作业对农机配件提出了非常高的要求，而磨损失效是其主要失效形式之一。目前，我国农机具因材质差，磨损快寿命短，频繁更换费钱、费时，最关键的是耽误农时，严重影响了我国现代化农业进程。因此，研究开发性能优异的新型耐磨材料、大幅度提高易磨损件的使用寿命，是当前我国急需解决的问题。

为提高我国现代化农业水平，中国科学院启动了《中国科学院现代农业示范计划》项目，在两位国家最高科技奖获得者李振声院士和师昌绪院士的关心和倡议下，金属所特殊环境材料研究部特种合金课题组承担了高性能耐磨犁铧的研制任务。课题组完成了具有高硬度、同时具有较好韧性的新型球墨铸铁的组织设计和成分优化（该新型耐磨材料简称CADI）。在研

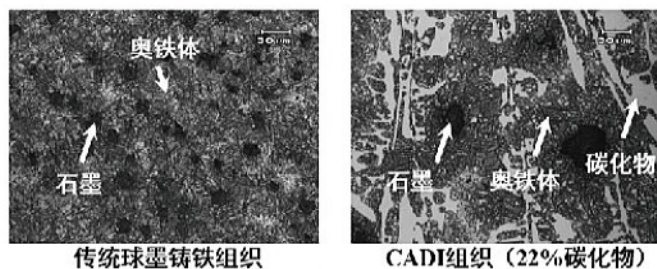


图1 在传统球墨铸铁组织中成功引入了碳化物

制过程中解决了碳化物组织的引入与调控技术、球化效果差、热处理工艺窗口的控制等难题。其技术路线在于科研人员突破传统思维，在球墨铸铁中引入一定体积的碳化物，其中的关键技术在于：①球化、孕育工艺的改进；②少量碳化物形成元素Cr的加入。前者是引入碳化物、保证石墨球化的前提，而后者是调整碳化物含量多少的关键所在。检测结果表明，CADI材料的耐磨性提高了1倍，且具有一定冲击韧性。在沈阳军区双山农场的现场考核结果表明：研制的CADI犁铧实际使用寿命提高了1倍。CADI作为铸造材料，在冲击要求不高的环境下其使用性能优势明显。

农机配件不仅要与土壤接触，还时常要与沙石发生撞击，尤其是土壤条件恶劣的条件下，高速运转的农机配件容易在撞击过程中发生断裂而失效。因此，

许多农机配件在高耐磨性的同时，仍需要较高的冲击性能。课题组在开展上述项目

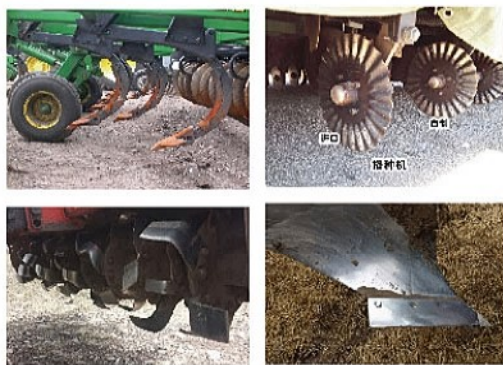


图2 犁铧、波纹盘、旋耕刀和铧式犁分别在沈阳军区双山农场、呼垦特泥河农场、大连瓦房店和苏垦黄海农场等的考核情况

同时，研制开发了一种耐磨高强高韧合金钢。该合金是在硼钢的基础上，通过添加微合金化元素，引入细小碳化物，在进一步提高硬度的同时，对冲击韧性影响较小。该合金具有良好的综合性能，兼具高的耐磨性和良好的耐冲击性能。利用该材料，课题组制备了圆盘耙、旋耕刀、波纹盘和铧式犁等农用机械。国内多家农场装车的对比考核结果表明，自制产品的使用寿命普遍是国产的2倍以上，其中铧式犁更是5~10倍。

相关产品已经在包括呼伦贝尔农垦（谢尔塔拉、特泥河农场等）、沈阳军区直属农场（双山、老莱基地等）、新疆建设兵团和江苏农垦（黄海、新洋、新曹、琼港和江心沙等）等地开展了示范应用，使用效果反馈良好，得到了各农场的认可。2016年8月29日，在中科院科发局的统一部署下，金属所以“耐磨材料及农机配件制品”展板和上述实物产品相结合的形式，在呼伦贝尔农垦向汪洋副总理详细汇报了金属所近几年在农机具材料及其产品方面取（下转五版）



图3 参加呼伦贝尔农垦展会



材料耐久性防护工作提升我国海洋工程防护水平

2016年9月27日，历时4年多的建设，世界最大的跨海大桥港珠澳大桥桥梁主体工程全面贯通，其中，由金属所自主研发的新型涂层和阴极保护联合防护等技术在工程中发挥了重要作用，完成了大桥基础钢管复合桩（含钢管桩）防护涂层工艺设计、阴极保护系统设计、原位腐蚀监测系统等，研制出用于大桥桥墩的新一代高性能环氧涂层钢筋，满足保障了港珠澳大桥基础120年耐久性设计要求。这些成果将为我国重大海洋工程基础建设耐久性设计提供强有力的技术支撑。

一、以国民经济建设需求为导向，走出自主创新研发之路

金属所材料耐久性防护与工程化研究始于上世纪90年代，20多年来坚持以国家经济建设需要为导向，以解决重腐蚀防护难题为使命，开展了重防腐涂装技术基础和应用的开发与生产。不仅更新了防腐涂装技术的理念，不断更新重腐蚀涂层防护技术，自行设计并制造了具有自主知识产权的涂装设备，组建了一支能啃硬骨头的科研队伍，走出了一条自主创新之路。

本着自主创新的理念，金属所以重防腐涂料的基础研究为依据，开发和生产了两个系列重防腐涂料，即SEBF熔融结合环氧粉末涂料和SLF高分子复合涂料，生产规模达年产千吨；研究设计成功国内首例万吨埋地管全自动内外涂装生产线和中、小型涂装生产线，已在全国安装8条；建立了快速固化、常规热固化和常温固化三类涂装工艺；主持制订了《熔融结合环氧粉末涂料的防腐蚀涂装》国家标准，获得了中国科学院鉴定成果，获得专利24项。

该项技术成果已经在秦山核电站海水冷却回路系统的防腐、国家“西气东输”工程用天然气管道弯管的防腐工程、杭州湾跨海大桥钢管桩防腐工程、舟山连岛金塘大桥钢管桩防腐工程、上海市青草沙水源地区原水工程输水工程等重大基础防腐工程建设中发挥了不可替代的作用，为国民经济建设做出了重要的贡献。

二、挑战百年技术极限，突破多项寿命难题

港珠澳大桥的设计寿命打破了国内通常的“百年惯例”，制定了120年的设计标准，这对跨海大桥的基

础结构钢管桩的防腐蚀和耐久性提出了更高的技术指标要求。耐久性工作实际上是建桥的前提条件，此前原有的跨海大桥耐久性设计方案已不能满足港珠澳大桥耐久性需求，这为国内外海洋工程防护提出了新的挑战。

1、钢管复合桩涂层体系

港珠澳大桥的大部分钢管复合桩位于泥下区，其涂层破坏方式主要来源于打桩过程中的机械损伤、泥砂碎石的磨划伤和泥下腐蚀因素的长期侵蚀、降解等。因此，科研人员把研究防护涂层体系重点瞄准在解决打桩过程中的耐划伤性、耐磨损性和长期服役过程中抗海水渗透性、耐阴极剥离性和长期湿态附着力、耐微生物等方面。因为港珠澳大桥设计寿命更长（杭州湾跨海大桥设计寿命为100年，港珠澳大桥设计寿命为120年），因此需要在以往大桥钢管桩涂层技术的基础上研发出性能更加优越的涂层以满足要求。针对港珠澳大桥特定的海泥环境，科研人员在大桥论证时起开展了相关涂层的研发工作，先后从涂层的抗渗透性、耐阴极剥离性等关键性能指标着手解决涂层的耐久性问题，最终保证了涂层的120年耐久性设计要求。

2、阴极保护系统

如果说涂层系统的研究可以预测而提前进行研究的话，阴极保护系统的研发可以说是遭遇战，因为在基本基础结构设计确定之前阴极保护是无法进行的。港珠澳大桥的钢管复合桩的阴极保护给耐久性设计提出了很大难题，这是因为其结构、安装方式与以往的大桥钢桩不同。以往跨海大桥的阴极保护重点均为浸在海水中钢管桩的阴极保护，即以保护海水中的钢管桩来计算牺牲阳极使用量和设计阴极保护安装形式。而港珠澳大桥的多数钢管复合桩位于混凝土承台下的海泥中，对于以往大桥钢管桩泥下区的阴极保护，仅认为会消耗部分阴极保护电流而对于这部分的阴极保护效果此前未作做深入探讨。如何实施阴极保护，没有先例可以借鉴。

金属所科研人员针对该腐蚀环境和结构特点，重点研究了钢管复合桩在贯入不同地质层后阴极保护面临的难题。科研人员摒弃阴极保护传统做法，大胆采用海水中安装保护泥下区的新方法，通过海水中的牺

牺牲阳极发射的大部分阴极保护电流会通过海水界面流向海泥中的钢管，以此解决海泥中更换牺牲阳极难度过大的问题。

在完成初始设计后，需要用计算来预测设计的合理性。虽然应用计算机对海洋结构采用数值技术设计阴极保护系统得到了迅速发展，但是，目前依据建立的阴极保护模型是需要以电解质为均匀介质的假设前提，而实际环境中，钢管桩经过的地质层在理化性能上差异很大。目前的阴极保护模型并不适合当前港珠澳大桥钢管复合桩的阴极保护设计，因为钢管桩经过的地质层在理化性能上差异很大。对此，科研人员采取了巧妙方法，选取极端情况估算保护效果，即计算在土壤电阻率最大和最小两种情况下阴极保护的电位是否能达到保护要求，并将此作为类似工程阴极保护设计的一种手段。

实践是检验真理的标准，在完成计算验证后，决定进行模拟试验，验证港珠澳跨海大桥钢管复合桩阴极保护设计的可行性。尽管该试验结果不能完全反映实际阴极保护的状态，但也可以为检验阴极保护的设计方式提供依据。科研人员按照1:20的比例，模拟钢管复合桩中直径2.2米，长度90米的钢管桩，模拟装置中的土壤环境也尽可能地模拟了港珠澳大桥钢管复合桩穿越的地质，即5层结构。结果表明在海水中安装高效牺牲铝阳极能充分保护海泥中的钢管桩，即新型阴极保护方式能满足防护要求。

在模拟实验后，如果要真正应用到港珠澳大桥上，还要通过足尺实验验证，既在港珠澳大桥现场建立与大桥实际基础尺寸相同的基础，以此验证大桥基础实施的可行性。包括阴极保护和涂层在内的相关科

研成果均在验证范围之列。为让用户相信阴极保护确实能保护海泥下的基础钢管复合桩，则必须进行原位阴极保护电位监测。而在当时的海洋工程界，这一点还做不到，这是由于海泥下的安装探测设备太困难。为解决这个难题，金属所科研人员采取了钢管内壁安装保护设施保护探头的方法，将探头伴随着打桩深入近百米的海泥下，实施了原位监测，这是在海洋工程界首次实现的。

3、高性能涂层钢筋

港珠澳大桥基础桥墩使用的混凝土是海工混凝土，海工混凝土除强度和拌合物的和易性应满足设计、施工要求外，在抗渗性、抗冻性、抗蚀性、防止钢筋锈蚀和抵抗冰凌撞击方面都有更高的要求。因此，用于海工混凝土的钢筋也要做特殊的防护。

为此，金属所开发出了一种高性能涂层钢筋技术，通过中国腐蚀学会组织的鉴定，认为其性能超过现有国内外相关涂层钢筋的技术指标，在同类产品中处于国际领先水平。通过对高性能环氧涂层钢筋技术指标的实验研究和耐久性分析，预期可用于设计寿命120年的海洋钢筋混凝土结构工程。在港珠澳大桥的设计和建设过程中均采用了金属所研制的高性能涂层钢筋。另外，金属所还开发成功了高效率多层涂装自动化生产线，生产出满足企业标准的高性能涂层钢筋。这标志着我国钢筋的防腐又迈出了积极重要的一步，将极大推动我国海洋工程钢筋防护水平的发展。

金属所材料耐久性防护工作不仅使港珠澳大桥120年寿命成为了可能，更推动了我国海洋工程防护水平的发展，为我国重大海洋工程耐久性设计提供了宝贵的经验。

(上接二版)得的突破性进展、以及在农场应用考核情况。近期，课题组还与中国一拖集团有限公司签署了关于开发农机具产品的合作协议。

截至目前，课题组研制的犁铧、铧式犁、圆盘耙、波纹盘、割草刀片等产品，均掌握了工业化生产技术。这些产品的使用性能达到国际先进水平，而自制产品的成本不到进口的一半，具有显著的经济效益和社会效益，可推进实现国产农机耐磨部件的升

级换代。该研究工作得到了中科院重点方向项目、中科院重点部署项目以及中科院STS项目等的支持，相关成果申请了发明专利3项。



图4 在呼伦贝尔农垦展会上展出的部分农机耐磨产品



城市落日-董志宏



微澜-董志宏



静流夕晖-佟百运



凌空争俏-佟百运



湖边一景-董志宏

“发现生活之美”



洪荒之力-侯思焄



草原风光-佟百运



冰沟丹霞一瞥-佟百运

手机摄影大赛参赛作品展



红旗屹北疆-胡成龙



雪疆-张勇

虹云下的桓龙湖-陈怀明



10月30日下午，在中国金属学会第十次全国会员代表大会上，李依依院士荣获中国金属学会冶金科技终身成就奖。李依依院士是继师昌绪先生之后，金属所第二位获此殊荣的科学家。该奖项旨在表彰为推动我国冶金科技进步和学会发展做出重大贡献的专家。



冶金科技进步和学会发展做出重大贡献的专家。

10月30日，国家重点研发计划项目“航空用先进钛基合金集成计算设计与制备”项目启动会在金属所召开。



10月20日，《材料科学技术(英文版)》和《金属学报(英文版)》两刊联席编委会会议在青岛召开。来自清华大学、北京航空航天大学、北京科技大学、中科院



合肥物质研究院、澳大利亚莫纳什大学、昆士兰大学等单位的近60位编委、专家学者参加了会议。

2016年度李薰讲座奖获得者、中科院外籍院士丹麦奥胡斯大学物理与天文系 Flemming Besenbacher 教授于10月18日至20日访问金属所并开展合作交流。



10月12日至14日，2016年度李薰讲座奖获得者、“DECHEMA-Forschungsinstitut”人文法基金会执行理事会主席 Michael Schuetze 教授访问金属所并开展合作交流。



10月12日至16日，2016年度李薰讲座奖获得者、斯洛伐克科学院主席、欧洲陶瓷学会主席 Pavol Šajgalík 教授访问金属所并开展合作交流。

