

金属之光

11

中国科学院金属研究所
2015年 第11期 (总第174期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCE



SIGNING CEREMONY OF LEAD ALM POWDER/WIRE PROCESS AND
Mg ALLOY SURFACE PROTECTION BETWEEN AIRBUS AND IMR
空中客车—中科院金属所 制造用粉/丝工艺和镁合金防腐



纳米碳材料负载金属催化剂研究取得新进展

负载型金属催化剂在整个工业催化领域发挥着十分重要的作用。然而，作为负载型金属催化剂，载体材料对活性金属纳米粒子催化性能的影响发挥着十分重要的作用。催化剂的载体能够影响金属纳米粒子在其表面的分散情况、粒径大小、暴露晶面等。同时，通过调变载体与金属纳米粒子之间的相互作用亦可以提高金属纳米粒子的催化活性、选择性和稳定性，进而提高金属纳米粒子的使用效率和循环使用能力。因此，寻求和制备具有特殊物性的催化载体材料一直是催化领域研究的热点之一。

近期，沈阳材料科学国家（联合）实验室催化材料研究部苏党生研究员和刘洪阳副研究员带领的研究团队，首次利用石墨烯和纳米金刚石复合的核壳结构材料（ND@G）为载体制备一种高性能的钯/碳（Pd/C）催化剂。将这种Pd/C催化剂用于催化氧化CO时发现，与传统sp²杂化的洋葱碳（OLC）上的负载Pd纳米催化剂相比，ND@G负载的钯纳米催化剂（Pd/ND@G）表现

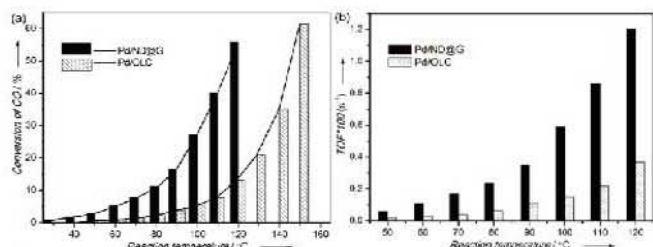


图1. Pd/ND@G和Pd/OLC在CO氧化反应中的催化性能：
(a) CO转化率随温度的变化，(b) 不同温度下的TOF值

出了更加优异的催化剂性能（图1）。利用高分辨透射电子显微镜、球差分辨的高角度环形暗场-扫描透射电子显微镜以及同步辐射X-射线吸收精细结构谱等手段对催化剂进行了详细的表征。研究发现，与传统的碳载体相比，由于ND@G载体表面具有丰富石墨烯缺陷能够增强Pd纳米粒子与纳米碳载体之间的相互作用，进而改变了Pd纳米颗粒的几何形貌和结构（图2）并且能够显著提升

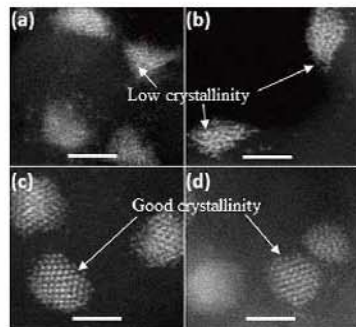


图2. 高分辨的HAADF-STEM电镜照片：(a, b) Pd/ND@G, (c, d)Pd/OLC, Scale bars: 2 nm

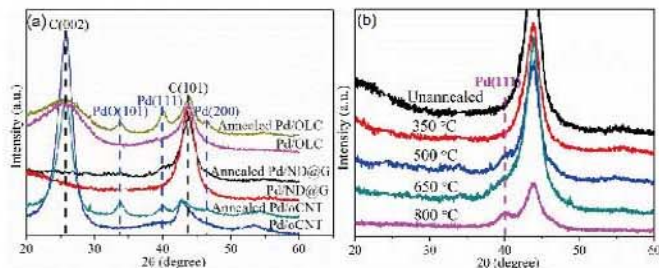


图3. (a) 不同催化剂在500 °C下焙烧前后的XRD谱图，
(b) Pd/ND@G在不同温度下焙烧6小时后的XRD谱图

Pd纳米粒子在碳载体表面的抗烧结能力（图3）。同时研究还发现，这种Pd/ND@G催化剂中强的金属-载体相互作用以及Pd 纳米粒子特殊的几何结构能够明显减弱CO分子在Pd 纳米粒子表面的吸附（图4），进而促进了O₂分子在Pd纳米粒子的吸附解离，提高了催化剂低温催化CO氧化的能力。该工作作为设计合成高性能的纳米碳负载金属催化剂提供了一个新的思路。该工作以快讯的形式在Angewandte Chemie International Edition在线发表（DOI: 10.1002/anie.201507821）。

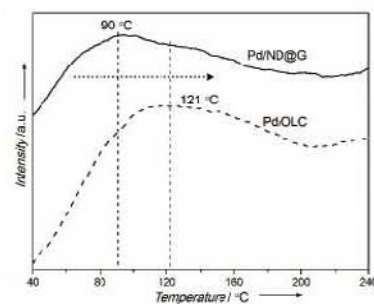


图4. 不同催化剂上吸附CO后的程序升温脱附谱图

近年来，催化材料研究部通过调控纳米碳载体的结构和性质来提升纳米碳负载金属催化剂的催化性能取得了系列进展，相关工作发表在Angewandte Chemie International Edition (2014, 53, 12634–12638), ChemCatChem (2014, 6, 2600–2606), Small (2015, 11, 5059–5064), Catalysis Today (2016, 260, 55–59) 等国际学术期刊上。

上述工作得到了国家重点基础研究发展计划973项目、国家基金委青年基金、国家基金委面上项目、国家基金委重大研究计划、国家基金委重点项目、中科院战略先导项目、中石化企业项目的资助以及上海同步辐射光源X射线吸收精细结构谱线站BL14W1提供的大力支持。

上述工作得到了国家重点基础研究发展计划973项目、国家基金委青年基金、国家基金委面上项目、国家基金委重大研究计划、国家基金委重点项目、中科院战略先导项目、中石化企业项目的资助以及上海同步辐射光源X射线吸收精细结构谱线站BL14W1提供的大力支持。

金属所2013年度创新基金项目 先进压水堆核电站一回路水化学优化 控制与监测技术基础

压水堆 (PWR) 核电站的服役寿命主要取决于安全运行, 而运行水化学的优化控制和精确监测是降低停堆辐射剂量、防止关键设备腐蚀损伤最经济、有效的途径。高温高压水腐蚀损伤与评价技术研究组承担的创新基金重点项目“先进压水堆核电站一回路水化学优化控制与监测技术基础”(2013. 11-2015. 10) 针对大型先进PWR核电站AP1000/CAP1400一回路水化学, 采用腐蚀热力学计算、电化学测量、腐蚀损伤模拟及表面和微观分析技术, 研究了水化学参数对国产锻造316LN不锈钢主管道、蒸汽发生器用镍基690合金传热管的高温高压水腐蚀与环境致裂 (EAC) 行为的影响, 重点关注了氧化膜的演化机制及水化学参数的在线监测原理, 从防止腐蚀损伤、抑制产物释放的角度建议了大型先进PWR核电站一回路水化学的优化控制方案和在线监测技术。主要进展如下:

(1) 高温多元体系电位-pH_T关系、氧化物溶解度与结构稳定性

不锈钢和镍基合金主要由Fe-Cr-Ni多组元构成, 其在PWR一回路B/Li高温高压水中生成的腐蚀产物膜的状态、稳定性及演化趋势是澄清其腐蚀损伤机理的关键。运用腐蚀热力学方法计算了不同温度下多组元合金-复杂水溶液体系的电位 (E) -pH_T图, 获得了加Zn水化学 (ZWC) 对Fe-Cr-Ni-H₂O系高温E-pH_T图

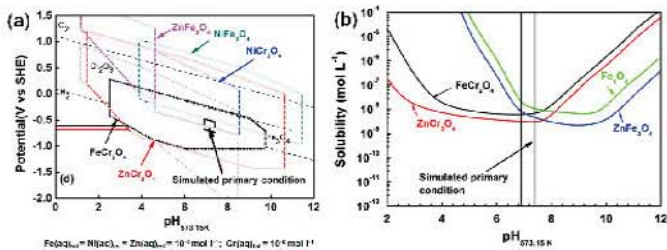


图1 Fe-Cr-Ni-Zn-H₂O的高温E-pH_T关系 (a) 及尖晶石氧化物的溶解度 (b) 的影响及尖晶石氧化物在高温高压水中的溶解度与热力学稳定性 (图1), 并从晶体结构角度揭示了PWR一回路水化学对腐蚀产物膜稳定性的作用机理。

(2) 高温高压水原位电化学腐蚀规律、机理与钝化膜表征

澄清了国产核级不锈钢和镍基合金在PWR一回路常规和ZWC条件下的电化学腐蚀动力学规律, 揭示了ZWC与腐蚀产物膜生长机理的关系。发现热力学和晶体学更稳定的Zn_xFe_{1-x}Cr₂O₄氧化膜的形成是ZWC抑制腐蚀的本质原因, 验证了腐蚀热力学的计算结果。高温pH_T控制在6.9-7.4的上限区域能形成更薄、膜电阻更大、保护性更好的氧化膜; 运用改进的点缺陷模型, 解释了注Zn浓度对腐蚀产物膜中保护层厚度、阻抗和钝化电流密度的影响, 发现≤50ppb的注Zn浓度

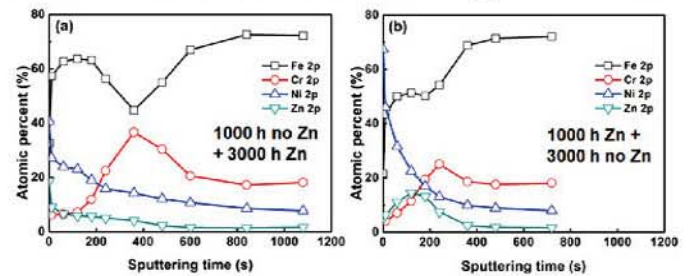


图2 300°C的ZWC中浸泡4000 h后核级不锈钢腐蚀产物膜的XPS分析可显著改善材料的耐蚀性; 越早注Zn或持续ZWC的作用时间越长, 氧化膜越薄且越稳定, 保护性越好 (图2)。推荐了PWR核电站ZWC的最佳控制参数及ZWC应用次序, 为我国三代大型PWR核电站的运行水化学导则的制定、优化和实施提供了科学基础。

(3) 高温高压水EAC行为与控制机制

澄清了水化学与载荷、材料因素的交互作用对国产PWR主管道和传热管材料高温高压水EAC行为与机制的影响规律。发现10ppb的ZWC即可有效降低不锈钢的高温沿晶应力腐蚀开裂速率 (降低约2.5倍); 发现传热管在高溶解氧高温水中的疲劳寿命大于低溶解氧中的; 传热管中TiN夹杂物促进

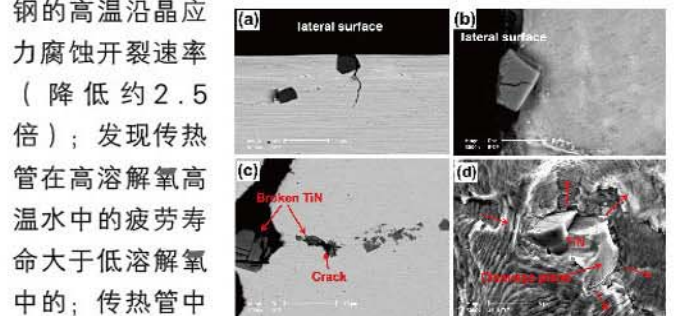


图3 690合金传热管中TiN夹杂物相关的高温高压水疲劳裂纹起始与扩展

师昌绪先生逝世一周年祭

纪念师昌绪先生逝世一周年研讨会在京成功举办

“缅怀大师——师昌绪先生逝世周年研讨会”于11月10日下午在中国科学院学术会堂举行。本次研讨会由中国金属学会和中国材料研究学会共同主办，由中国金属学会仲增墉先生和中国材料研究学会秘书长韩雅芳主持。出席本次研讨会的120多人，来自全国的43家单位，大多数是师昌绪先生工作和生活过的地方，其中不乏白发苍苍的老者，他们多是曾经与师先生一起奋战在科研第一线的同事，也有众多中青年学者，他们多是受过师先生勉励和帮助的学生和晚辈。



纪念师昌绪先生逝世一周年研讨会现场

会议首先播放了视频短片，回顾了师昌绪先生的成长、求学和工作经历，人生的重大抉择，取得的伟大成就和对国家的杰出贡献，再次让众人深切地感受到先生的赤子之心和爱国情怀。随后，中国材料研究学会理事长黄伯云院士和师老遗孀郭蕴宜先生共同为将被



安放于金属研究所师昌绪楼的师昌绪先生铸像揭幕。

第十届全国政协副主席、工程院主席团名誉主席徐匡迪院士首先发表讲话，颂扬了师昌绪先生的爱国精神，并高度评价了师老为中国工程院的筹备、组建和发展做出的重要贡献，以及对国家工程科技的发展产生的深远影响。徐院士还回忆了在师老九十寿辰时与师老



第十届全国政协副主席、工程院主席团名誉主席徐匡迪院士讲话

的谈话，深切感怀师老平易近人的大师风范。

中国科学院副院长李静海院士的讲话主要回忆了他与师老的几件往事。他说师老总是热情地帮助和爱护年轻人，师老曾经写给他关于做人、

做事、做学问的三句话一直勉励着他，师老在病床上还曾与他谈论过他发表的一篇文章，给了他极大地鼓励。师老严谨的工作态度，身体力行、踏实做事的精神也给他留下极其深刻的印象。



中国科学院副院长李静海院士讲话



中国工程院副院长徐德龙院士讲话

其中发挥的重要作用 and 做出的卓越贡献，历数了师老在材料领域取得的一系列科研成果和科技奖励，阐明师老在学术界的大师地位。徐院士深情讲述了师老冲破重重阻力、回到祖国怀抱的爱国之情，并通过工程院的成立、“两院资深院士联谊会”、科技英模的宣传表彰、“资深院士与中小学生对面对面”等事迹详细讲述了师先生在其中做出的积极重要的推动工作以及对科研管理和科普教育的重要意义。

国家自然科学基金委高瑞平副主任重点讲述了师昌绪先生在国家自然科学基金委的奠基性工作以表达对师老的缅怀之情。师



国家自然科学基金委高瑞平副主任讲话

先生担任第一届基金委副主任期间，把握战略发展大局，树立了科技基金的学术理念，推进了科学基金事业的发展；师老组织出版了第一本学科发展战略和项目指南，对了解国内外学科发展形势起到积极地促进作用，以科学家的睿智推动了我国的学科发展战略；师老是材料科学与工程学部的奠基人，为我国材料科学的研究和发展提供了资助平台。师老在推动国家科学基金事业和学科基础研究的发展做出不可磨灭的贡献。



中国金属学会名誉理事长殷瑞钰院士在讲话中称师先生是一位爱国的战略科学家，是一位仁厚的长者，在他与师先生的交往

中深有体会。殷院士回忆了他在冶金部工作期间与师先生的相识和交往，亲眼看到师老如何推动工程院的建立，如何推动生物材料、碳纤维、金属镁等新材料的发展，为国家的发展产生了积极深远的影响。

中国材料研究学会理事长黄伯云院士首先代表中国材料研究学会感谢师先生为学会的创建和发展倾注的大量心血。他也代表教育工作者感谢师先生对我国高等教育的变革和发展的决策提供的有益指导，并以亲身经历回忆了师先生对促进我国高新技术发展做出的卓越贡献。



中国材料研究学会理事长黄伯云院士讲话

中科院金属研究所张健副所长详细讲述了师先生在金属所工作奋斗的三十多年间做出的巨大贡献。师先生在科研工作中勇挑重担，担任了一系列科研攻关



中科院金属研究所张健副所长讲话

项目的领头人并取得了重大成果。在师先生担任所长期间，在管理工作中明确了办所原则和方针，坚持理论研究与应用研究并

重，并十分重视人才培养，为金属所的长远发展储备了一批优秀科研人才。师先生的人生观和高风亮节为金属所工作人员留下了宝贵的精神财富。

师先生儿子师宁特别制作了视频短片，深情怀念父亲，他用“海纳百川，有容乃大；壁立千仞，无欲则刚”概括了父亲一生的为人和处世原则，并对大家表示诚挚的谢意。



李依依院士讲话

出席本次研讨会的高校、材料科研院所和公司的领导、师老的老同事和老朋友都希望在会上发言，表达对师老的敬仰和感激之情。来自12家单位的代表先后发言。李依依院士回忆了师先生关心金属所的发展、鼓励青年人承担“抗氢钢研制”等往事，颂扬了师先生爱国奉献、实事求是、团结协作、乐于助人的人生哲学。中航工业贵州黎阳发动机公司刘建平、天津大学刘耀昌、国家半导体产业联盟张国旗、湘潭大学唐明华、中国金属学会高温材料分会张继和谢锡善、西北工业大学介万奇、自然科学基金委祖广安、中科院宁波材料研究所崔平、深圳德方纳米科技有限公司王允实；金属所的韩恩厚和朱耀霄、华南理工大学王迎春



郭蕴宜先生讲话

等也满怀深情地颂扬了师昌绪的丰功伟绩和崇高品格，讲述了他们亲身受到师老关怀、帮助和指教的诸多往事，历历在目，感人肺腑。

最后，郭蕴宜先生对各位朋友的出席表示感谢，对主办方和李来风先生为此次研讨会的策划与组织工作表示衷心地感谢。

对于师老的成就和为人的评价，用任何崇高和美好之词都不过分。他的崇高精神和美德更是为社会、为材料界同仁留下的一笔重要财富。在师老逝世一周年之际，召开本次研讨会，希望能够把他的崇高品格发扬光大，使后人受益。

师昌绪先生逝世一周年祭

李依依院士在师先生逝世一周年 纪念会上的发言

今天，师先生离开我们整整一周年了，我们来缅怀先生，纪念先生，心情很沉重。这一年来，做事情总会感觉到有一个非常大的空白。

初次见到先生就给我一种和蔼可亲、知识积淀很深的忠厚长者的风范。与师先生相处了50多年，先生的音容笑貌时刻浮现眼前，他的人生哲学激励着我们前行，在这里与大家分享部分：

师先生的人生哲学是：

人生在世，首先要有一个正确的人生观，要对人类有所贡献。作为一个中国人，就要对中国作出贡献，这是人生的第一要义。

每个人的时间非常短暂，经历也各不相同，但一个人的成长要具备四个重要因素：

智慧体魄是基础，勤奋进取是动力，素质品德是保证，环境机遇是条件。

要在事业上取得成就，就得充实地过好每一天。特别是要做到不攀比，不记仇，不争名夺利，少想人为己，多想帮助人，心里永远是平衡的。不过，更为关键的在于自己的刻苦努力与坚韧不拔的敬业精神。

师先生的座右铭：

做人海纳百川、诚信为本、忍让为先；

做事认真负责、持之以恒、淡泊名利；

做学问实事求是、勇于探索、重在创新。

实事求是是做人、做事及做学问需要遵守的第一要义，也是富民强国重要基础。其中，以做人为最重要。

师先生的成功秘诀：

做他能做好的一切，做好他所做的一切。

他把他成功的秘诀传给了我们，下面简单讲与师先生相处的几件事，可以体会到他的精神：

一、关心所的发展

我当所长期间，师先生每当回沈阳时，关注基础与应用学科的关系处理的是否恰当。强调没有基础理论在国际上没有地位，没有应用研究不解决国家的问题就没有存在的必要，一项技术如果不能用，就是无用的技术。要我们在各方面都要摆平这两者关系。

另一个就是人才问题，在人才断层时，他要我们注意选拔优秀年轻人时不要苛求，要看他们学术上的潜力和人品，我们一直遵照他的要求去做，给他们舞台让他们施展才华，送他们到国际上去见世面，他还把人家请他去国际会议上作报告的机会，让给年轻人。

二、关于抗氢钢

1981年师先生知道陈能宽先生急需的一种抗氢脆材料，陈先生讲他们单位调研了国内许多家，没有人能做。师先生表态由金属所来承担，陈先生立即带领一队人员到所里交底谈要求。师先生对我说“这个重大项目就交给你们年轻人了”，其实，此前这类大项目都是由所里的高老大负责的，因此，我们虽诚惶诚恐，但是更有信心想拼一拼，这项工作因为完成得好，持续了30年，完成了五个重大攻关项目。工作中，师先生经常了解进展，指出应注意的问题，参加我们的学术交流会和鉴定会。

三、汶川地震前我们应邀去成都飞机公司院士行，会后去二重谈三峡水轮机生产和8万吨挤压机运行情况，然后他去主持资深院士会议，我们去机场回沈阳，就在飞机即将起飞时大地震发生了，我们十分着急，事后了解到，他地震时非常镇静，在楼上住感觉摇晃得很厉害，他说没什么。

今天我们大家缅怀师先生，就是要用先生的精神来做人、做事、做学问，按照党中央八届五中全会要求创业创新，以最佳的科技创新成果来纪念他。

敬爱的师先生！我们永远怀念您！

师昌绪先生逝世一周年祭

张健副所长代表金属所在师先生逝世一周年 纪念会上的发言

尊敬的郭蕴怡老师，各位领导、来宾、朋友们：

去年11月10日，敬爱的师先生永远离开了我们，含泪送别的场景至今历历在目。师先生的不幸逝世使中国科技界失去了一位德高望重的领路人和学术大师，更使金属所失去了一位目光远大的指导者和敦厚仁爱的师长。今天我们在这里追忆师先生的丰功伟绩、缅怀师先生的高风亮节，心中不禁再次充满了无限的感伤和怀念。回想师先生与金属所的点点滴滴，仿佛师先生还在我们中间，不曾离去。

1955年，风华正茂的师先生冲破重重阻碍从美国回国后就到金属所工作，在金属所一干就是30年，他深深植根在金属所的土地上，把人生最宝贵的年华奉献给了金属所，把全部的智慧、心血和关爱播撒在了金属所。

师先生初到金属所时，正值国家第一个五年计划建设高潮，第一项工作就是被派到鞍钢领导鞍山工作组，因为他在美国研究过超高强度钢。他毫不犹豫地挑起重担，结合我国钢铁工业情况开展了一系列研究，包括钢中夹杂物的形成与鉴定、减少沸腾钢钢锭中硫化物偏析、设计建成倾斜式连续铸锭装置、开展液态金属的实验室研究、晶粒细化研究等。此外，他还领导炼铁组，研究鞍钢高炉粗渣的形成和高碱度团矿。这些工作对我国钢铁工业的发展和金属学科的发展都起了很大的作用。

师先生作为我国高温合金和新型合金钢领域的重要开拓者之一，领导金属所在材料基础理论、实验研究、生产工艺和工程应用等方面取得了一系列创新成果，他建立领导的金属所高温合金研究组已经发展成为我国三大高温合金研发基地之一。60年代，师先生以过人的胆识和强烈的责任心，率领科研人员从无到有仅用一年多的时间，承担完成了我国第一代铸造高温合金空心叶片的研制攻关任务，使我国成为继美国之后第二个掌握该关键材料技术的国家，40多年来大量应用于多种飞机发动机。在谈到空心叶片的研制成功，师先生总结说，“一是接受这项任务靠胆识，风险很大；二是靠设计、材料工艺与制造工厂的三结

合；三是靠参与工作人员的精诚团结。”在铸造高温合金基础上，师先生发展出定向、单晶等一系列材料和技术，应用于我国各类发动机热端部件。他领导发明低偏析合金技术，在高温合金和合金钢的研制生产中应用，得到国际认同并获得国际材料学会联合会授予的“实用材料创新奖”。他是中国金属学会高温合金领域唯一的“终身成就奖”获奖人。他站在国家利益的高度，根据我国资源实际开发研制无镍铬耐热、低温钢和铁基高温合金等。

金属所能成为国内外有广泛影响的材料研究基地，师先生的贡献是巨大的。在任金属所常务副所长和所长期间，师先生明确提出金属所以“材料科学与工程”为研究方向，大量招收研究生以解决人员老化和断层问题，利用争取到的联合国开发计划署资助建立“材料科学与工程培训中心”，开展大规模学习，派出大量科研人员出国进修。他鼓励科技人员敢于打硬仗，勇于创新，认为“一个技术科学方面的研究所，不在国防或国民经济方面做出重要贡献就无法生存，在理论方面不发表高水平文章就不可能成为具有国际水平的研究所，也不能持续发展”。在师先生担任名誉所长后，他不断以此指导思想要求继任所长，使金属所即使在科技体制改革，不断减少科研经费时，以及市场经济大潮的冲击下，仍然团结一致按照此方向发展，成为我们国家材料科学与工程研究的重要基地，在世界科学材料领域占有一席之地。在金属所建所50周年之际，师先生总结了发展经验，其实我们认为也是他本人办所方针的体现：首先是有明确的办所方针，正确执行党的科技政策和知识分子政策。其次是树立了良好的学风，既勇于创新，又有“三严”精神；既充分发挥个人的创造性，又始终坚持团结协作的优良作风。第三是充分认识到材料从研究到开发、再到生产和应用是一系统工程，对这条技术链的各个主要环节不得偏废。第四是力求新材料、新工艺开发与材料科学应用基础研究紧密结合，使二者相互促进。金属所的发展历史表明，没有基础研究，难以实现原始性创新；基础研究若没有新材料应用开发

作为依托，容易走向无的放矢。第五，也是最重要的一点，是人才的培养。

谈到人才培养，师先生一贯重视人材培养、奖掖后学，他为我国材料科学的发展培养出了大批栋梁之材，先后出自先生门下的博士、硕士有100余人，多人已成为材料领域的学术带头人。师先生在金属所带出的科研团队深深地烙上了先生艰苦奋斗、勇于开拓的一贯作风，成为一支能打硬仗的攻坚队伍。

师先生自强不息、不断开拓人生新境界的精神动力来源于他一贯坚持正确的人生观。他始终将个人的荣辱系于中华民族之振兴，他多次说过：“人生在世，首先要有一个正确的人生观，要对人类有所贡献。作为一个中国人，就要对中国做出贡献，这是人生的第一要义。”师先生正确的人生观突出体现在他做人、做事、做学问上的大师风范。他常常教育金属所人

“做人要海纳百川，诚信为本，忍让为先；做事要认真负责，持之以恒，淡泊名利；做学问要实事求是，勇于探索，重在创新”，这是他伟大精神和高尚品格的光辉写照，对金属所优良学风的形成起了重要影响。

师先生作为我国著名的金属学及材料科学家和杰出的战略科学家，为我国国防建设、国民经济和科技事业发展做出了杰出贡献。师先生爱国奉献、艰苦奋斗、开拓创新、严谨务实、淡薄名利、海纳百川的高风亮节，为我国材料科技的发展和优良学风的形成做出了重要贡献。

师先生的功绩已经铸就了中国材料界的一座丰碑，值得后来人永远学习和继承。师先生的精神为我们点亮了一盏永不熄灭的明灯，将指引我们继续前行。

(上接二版)温高压水疲劳裂纹起始与扩展(图3)，揭示了相关的EAC机制。为我国三代大型PWR核电站的运行水化学优化控制、关键设备材料国产化设计与评价奠定了科学基础。

(4) 高温高压水化学参数的原位在线监测原理与技术

核电设备在服役高温高压水中的腐蚀损伤本质上由电化学过程控制。研发了高温高压水在线电化学监测的合并参比电极和固体YSZ参比电极，在国内首次实现了在线ECP测量电极在模拟核电大型热工台架(30万千瓦)上的安装、测试、校正与原位在线测量(图4)。历经2年多的台架试验考核表明，研发的电

极稳定、密封性好、精度满足在线ECP监测要求，测试结果为大型先进PWR核电站水化学参数的原位在线监测奠定了技术基础。

项目编写了PWR核电站一回路水化学参数优化控制推荐技术文件1份，得到了中核集团中国原子能科学研究院及中广核集团大亚湾核电运营管理有限公司等单位的认可，为我国三代大型PWR核电站的运行水化学导则的制定、优化和实施提供了科学基础。研发的高温高压水模拟试验和原位测量技术申请了国家发明专利4项，成功应用于近十项与国电投上海核工程研究设计院、环境保护部核与辐射安全中心、中核集团武汉核动力运行研究所、中广核集团苏州热工研究院等的横向合作项目，并促进了金属所与上海核工程研究设计院共建“核电材料联合研究中心”(2015年9月揭牌)。项目运行2年，共发表论文26篇，SCI收录13篇，1篇获2015年中国腐蚀与防护学会优秀论文奖；国际会议交流4次，做1次国际会议(AWC-2015)大会特邀报告；培养研究生6名，1名博士生获2014年中国科学院院长优秀奖及金属所“师昌绪”奖学金一等奖，1名博士生获2015年中国科学院大学研究生国家奖学金。

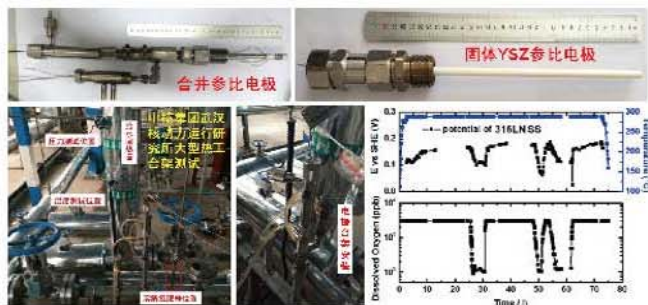


图4 高温高压水在线ECP监测参比电极及其大型热工台架测试