

金属之光

3

中国科学院金属研究所
2015年 第3期 (总第166期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

科研聚焦
功能薄膜与界面研究部

出版日期: 2015年4月

封面摄影: 吕明

国内首台全气密惰性 气体保护自动浇钢车顺利投产

3月16日，受西王特钢委托，金属所材料加工模拟研究部自主设计的自动浇钢车成功热试，实现了大型钢锭浇注过程的全气密保护和远程无线遥控操作，这标志着金属所以技术入股西王，与西王特钢共同建设的“高端装备用清洁智能制备示范线”项目一期顺利投产，双方合作迈出了坚实一步。自动化浇钢车的全面投入使用，将显著减少钢水浇注过程的二次氧化，提升钢锭内部质量。同时，钢水浇注的远程控制，可避免工人高温作业和人为不确定因素，提高钢锭质量稳定性。

西王特钢（HK01266）是一家从事低合金钢、优特钢和坯材、线材、棒材、无缝管坯、窄方钢生产和销售为主的香港上市公司。2014年7月25日，金属所与西王特钢正式签订项目生产线设计合同，全面承担西王特钢高品质特殊钢模铸生产线的车间布局、厂房设计、工艺开发、工装设计、设备选型、装备研制、市场引导、技术培训等任务。2014年11月14日，金属所与西王特钢签署长期战略合作协议，双方共同致力于打造国内一流、国际先进的“高端装备用钢清洁智



全气密保护自动浇钢车热试成功

能制备示范线”，以期实现由“普钢转特钢、特钢转制品、制品转民品”的企业发展战略，同时也发挥地域优势，拉动山东省装备制造业产业链，推动钢铁企业转型升级。

聚焦“一三五”

稀有与贵金属资源的回收与循环利用

高温合金作为一种特种金属材料，随着我国航天、航空、航海工业的快速发展，其用量也快速增长。目前我国高温合金年产量约5000吨，生产过程中



图1 金属循环利用实验室

以及达到服务期限后产生的废料占年生产总量的70%以上。此外，随着社会信息化程度的不断加大，电子信息产品的应用与

更新换代步伐越来越快，由此也产生出大量的电子废弃物。在上述两类废弃物中，高温合金废料含有大量的Re、Ni、Co、Cr、W、Ta、Mo、Pt等稀有与贵金属，电子金属废弃物含有Ag、Au、Pd等贵金属以及Ni、Cu等有色金属。目前我国多数稀有与贵金属的回收率低于50%，尚未建立起循环利用的良性循环体系。对上述废弃物中的稀有与贵金属进行有效的回收利用，不仅可以减少我国金属资源的消耗，同时还可以降低对环境的危害，具有显著的经济和环境效益。

目前金属所已建立了稀有与贵金属循环利用实验室，如图1所示，该实验室具备开展金属资源回收利用研究所需要的各种设备及装置。针对高温合金废料的



特点，金属所提出了从高温合金废料中回收各种单质稀有与贵金属元素的湿法冶金工艺流程。由于高温合金废料破碎处理的难度大、成本高，直接采用大块高温合金废料进行溶解，因此高温合金废料的高效快速溶解成为研究工作中的一项重要内容。科研人员通过系统研究电解液成分及电解工艺等关键参数对高温合金溶解过程的影响，揭示了钝性元素Al、Cr的强氧化能力是制约高温合金废料快速溶解的关键因素，在此基础上设计了具有“破钝化”功能的强电解质溶液，使高温合金废料的电解速率得到大幅度提升。在电解过程中高温合金废料中的W、Ta、Mo元素形成阳极泥，而Ni、Co、Re、Cr、Al、Fe等元素则形成离子溶液，因此电解过程可以实现高温合金废料的第一步分离。根据金属离子溶液的特点，采用分步化学沉淀分离的方法，先从Ni、Co、Re、Cr、Al、Fe离子溶液中依次分离出Fe、Al和Cr化合物；在后续富含Ni、Co、Re的离子溶液中，考虑到Ni、Co离子在溶液中质量百分比远大于Re离子，首先采用离子交换法把Re离子从Ni和Co的离子溶液中分离出来；然后再采用萃取分离技术实现Ni和Co离子溶液的分离。针对Re离子吸附分离过程中吸附率低以及解析困难的关键问题，通过对不同类型树脂分子结构与铼酸根离子结合能力的理论分析，并利用阴离子对树脂活性基团进行全面改性，实现了Re离子的高效吸附与解析，攻克了Re离子吸附率与解析率低的技术难关。分离固态阳极泥W、Ta、Mo的第一步是把这些以氧化物形态存在的阳极泥溶解成为离子溶液，然后采用分步化学沉淀先从离子溶液中分离出Ta，再分离出W和Mo。从高温合金废料中分离获得的各种金属元素的中间产品如图2所示。高温合金中最为贵重的金属元素是Re，目前市场价格约为6万元/公斤，在世界范围内储量不足1万吨，而我国Re的保有储量仅为237吨。由于Re是提高高温合金高温力学性能的关键元素，因此Re的回收与循环利用具有极为重要的意义。把分离出来的Re离子溶液制备成铼酸铵溶液，对铼酸铵溶液进行多次重结晶处理后，获得了高纯度的铼酸铵晶体；高纯铼酸铵经过H₂还原后得到纯Re粉末，纯Re粉末烧结后获得最终的Re粒产品，见图3所示。通过上述研究工作，金属所已

经初步掌握了高温合金废料的回收与循环利用的方法。

对比分析常用分离方法的优缺点后，金属所优选相分离技术作为电子废弃物中稀有与贵金属分离路线的第一步，并建立了计算金属元素在两液相分离系中分配比的模型。通过合金热力学分析，采用Fe/Pb分离系初步实现了贵金属Ag的分离与提纯；采用Fe/Cu分离系初步实现了Ag、Au、Pd的分离。在系统研究了温度、保温时间、搅拌时间、冷却方式等工艺参数对金属元素分离效率的影响后，初步建立了电子废弃物中多种稀有与贵金属的相分离工艺方法。采用湿法冶金技术彻底分离Fe/Cu分离系中各种金属元素的第二步现已启动已开始开展。

在未来研究工作中，金属所将积极扩大生产规模，不仅实现高温合金废料中稀有与贵金属的回收，同时利用回收金属制备出高纯金属以及高温合金材料，全面实现高温合金的高效生产。另外，金属所还将积极开展电子废弃物中稀有与贵金属的回收与循环利用，为经济发展做出贡献。

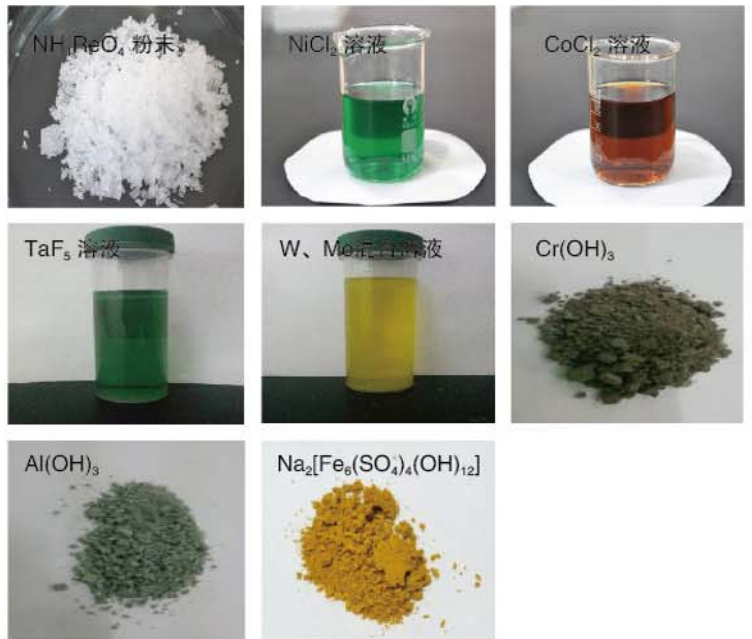


图2 从高温合金废料中分离获得各种金属单质元素的中间产品



图3 从高温合金废料中回收贵金属Re的主要过程

通过上述研究工作，金属所已

聚焦：

功能薄膜与界面研究部



薄膜材料因其特殊的结构特点使其作为功能材料和结构材料都具有良好的发展前景，广泛应用于信息、生物、航空航天、新能源、先进制造、节能环保等国民经济的各个领域，具有非常重要的科学研究价值。

金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室功能薄膜与界面研究部成立于2011年，由德国锡根大学机械工程系主任姜辛研究员回国组建。姜辛研究员为中组部“千人计划”入选者、国家特聘专家。研究部现有成员22人，其中科研人员6人（其中“千人计划”1人，“百人计划”1人，“金属所优秀学者”1人）、支撑人员3人，在读博士5人、硕士7人、联合培养硕士1人。

功能薄膜与界面研究部主要开展金刚石基薄膜材料、热电、光电薄膜材料及具有特殊形态和功能的半导体纳米材料的生长设计、可控制备与光电性能研究，并着眼于国家对能源、信息和环境保护等领域的重大战略需求，对上述材料在硬质涂层、生物传感、环境监测、平板显示、信息记录与存储、清洁能源等领域的应用展开探索研究。目前主要的研究方向分为以下三个方面：

1、金刚石基复合薄膜的结构设计、物性研究及表面修饰与功能化

金刚石薄膜具有硬度高、耐磨性好、摩擦系数小、导热性高、热膨胀系数低和化学惰性好等优良特性，可用于刀具、齿轮、散热片等领域；同时，从电化学性能角度看，导电金刚石薄膜又具有宽的电化学势窗和低的背景电流，是很好的电极材料，因此可以用于水安全检测、生物传感等领域。研究部致力于通过气相沉积工艺调控、结构设计、成分控制、微观结构表征等方法设计制备以金刚石为基的薄膜体系，探索薄膜生长机理，提出复合薄膜生长模型，研究薄膜性能及构建各类金刚石功能器件。在力学方面，由于

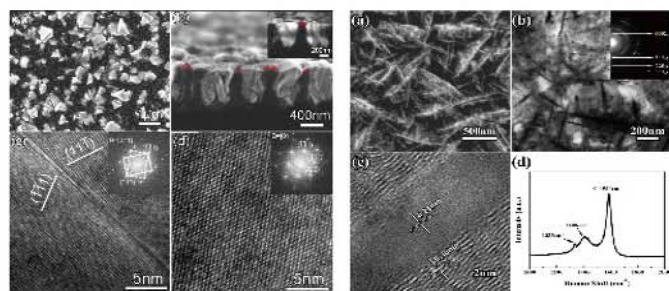


图1 金刚石/碳化硅两相结构

金刚石和多数刀具基底材料热膨胀系数不匹配，同时生长金刚石薄膜过程中会在界面产生石墨相中间层，对薄膜附着力产生严重影响，难以得到实际应用。因此研究部科研人员引入纳米混相金刚石/碳化硅作为中间层，它既可以作为基体又可以作为结合层提高金刚石薄膜与刀具的结合强度；同时这种过渡层也是阻挡层，避免金刚石薄膜与基体材料的接触反应。此项研究的意义在于可以将两种材料优良的机械和热性质巧妙结合，探索制备金刚石刀具的新方法；同时其二相复合结构中三维体系的可控生长对于其它新型材料的合成以及新功能结构的制备具有良好的借鉴作用。在水安全测试和生物传感器方面，科研人员通过阳极溶出法测试金刚石电极和碳化硅电极水中重金属离子检测极限，探讨取代商用汞电极的可能，同时通过在金刚石电极表面修饰固定DNA探针，构建高灵敏度的金刚石DNA生物传感器。通过电化学方法实现在金刚石/碳化硅表面的生物功能化，制备复合薄膜DNA生物传感器。

2、半导体薄膜与纳米材料的可控制备与光电性能研究

1) GaN晶体材料的缺陷控制、掺杂改性与应用

氮化镓（GaN）作为第三代半导体材料的典型代表，在光学、电学、光电子学、生物、信息等领域已经表现出极其重要的应用价值，如可用于绿色固态照明、高效蓝、绿光发光二极管和大功率激光二极管，激光器，各种类型的光电探测器及生物传感器等。纳米尺度的GaN材料是构建高效纳米LED、纳米太阳能电池、高灵敏度纳米紫外光电探测器的理想材料，但是GaN纳米器件的性能和光电转换效率与GaN晶体质量和缺陷密度息息相关。在国家自然科学基金项目、金属所优秀学者项目、辽宁省自然科学基金和企业横向项目的支持下，科研人员利用阻挡层和缓冲层技术开展GaN纳米线阵列材料的晶体缺陷控制研究，通过在GaN和蓝宝石外延衬底之间插入厚度为5-10nm的Au阻挡层材料和厚度为10-20nm左右的Al缓冲层材料来抑制位错等结构缺陷从衬底向GaN晶体内部传播，获得了晶体质量高、本征带隙发光强的GaN纳米线阵列材料。利用此阵列材料，可实现GaN单晶薄膜的同质外延生长，降低GaN单晶薄膜的晶体应力缺陷密度，显著改善和提高自立GaN单晶薄膜的晶体质量。目前，该项目进展顺利，GaN纳米线阵列的缺

图2 导电金刚石复合薄膜结构

为你盛一碗蛋花汤

失效分析中心 王强

春归大地，空气中盈满了泥土的芬芳。杨柳抽出新芽，用最美的舞姿迎接绚丽的春天。凝视着窗前婆娑的身影，时光仿佛又回到了三年前。同是早春，也同在四月。那时印象最深刻的是院中的白杨，它们伫立两行，护卫着每一位林荫路上的行人，见证着岁月的变迁。在所里工作这些年，各种经历和见闻在记忆中不断沉淀和发酵，最终升华成对金属文化的认知，如醇酒一样滋养着我的灵魂，润泽着我的生命，像种子一样，在意识深处生根发芽。

事事洞明皆学问，生活中总少不了让人感触深刻的事情，细细品味，生活原来如此美好。盛一碗汤看起来是一件再小不过的事，但它却使我对素养和文化有了更深刻的认知，让我更加深爱着这个美丽的世界。

故事的起点在食堂，所里的食堂在某些地方和大学的食堂颇有些相像，因为那里是师生共同用餐的地方。每一天，食堂里都排着长长的取餐队伍，随后三三两两团坐在一起，有的低声交流，有的快速用餐，诺大的食堂，满眼到处都是吃饭的人们，但却井然有序，大家来去匆匆，没有人懒散的散步，也听不到肆无忌惮的喧哗，要是换作别处，似乎有些不敢想象，很多来拜访我的朋友都有这样的感触。

其实，这些年来最令我印象深刻的是离食堂结算处不远的一个大桶，里面总是盛着满满的一桶“蛋花汤”，那汤是免费的，很是清澈。它淡淡的滋味，可以在你用餐前或吃到难以下咽时给你些滋润。记得刚入所那会儿，每天都会有一位大姐在那里为大家盛汤，她穿着工作服，动作也蛮优雅，一勺一勺，一碗一碗，就这样每天中午她都勺子记录着时光。

想必，那位大姐一个人是忙不过来的，这所里每天中午也至少有近千人用餐，待她去取碗时，便有些同事或同学拿起勺子，替她做一点力所能及的事。如果每一个拿起勺子的人都只盛自己的那一碗，然后端走，那故事到这里就可以结束了。事实却是，每一个盛汤的人，都会盛很多碗，口中还不时提示大家，“端走吧，端走吧”。如果是一个人这样做，其它人均不这样，那也没什么稀罕。然而，偏偏是，很多人都这样，一人拿起勺子为很多人盛汤，有的甚至等到眼前的人都端着汤离开，才前去端走自己的那一碗，

身后还留下很多碗已经盛好的汤，为那些急着吃饭去做事的人节省一点时间，想必他们端餐盘的左手也会酸吧，然而这种美好的行为却一直传承着。

渐渐的，不知从何时开始，在食堂再很少见到盛汤的大姐了，但是那个桶，那桶美美的“蛋花汤”仍然每天准时出现在那里。盛汤也变成了自助，免费的汤与自助取用的碰撞演绎出了诗一般的乐章。为他人盛汤的行为像艺术一样传承下来。在这些盛汤的人中，男同事或男同学会多一些，他们用盛一碗汤诠释了什么叫担当，他们盛着汤面带微笑地看着大家将汤端走，你可以从他们的脸部表情读出那是一种收获的喜悦，也是发自心底的美。端汤的人也是满满的感激，不停的点头道谢。在这礼尚往来之中，不用我说，你也能读懂些什么。这段时间以来，这已经成为了一种自然而然习惯。

也许很少有人在意这个小小的变化，在很多人眼中或心中，这不就是盛了一碗清澈的不能再清澈的蛋花汤吗。然而，仔细想想却不然。因为你在其中能发现一种律动的美感。有真，有善，亦有美。有了真善美事物便有了灵魂，那碗蛋花汤也便有了生命。不积小善难成大德，盛一碗蛋花汤作为食堂中的一个小插曲却奏响了人性的乐章。

一碗汤，它平静而清澈，像一面镜子，折射出人性的光芒，反映出了科研人纯粹的精神境界。我十分感慨于前不久听说的一些事情，某大学生下毒毒死室友，某学生用盐酸将女同学毁容，某大爷伸手打了不给让座的女生。如果用碗蛋花汤做镜子，去照一照，你能在里面看到这些人怎样的灵魂，扭曲、弯折还是碎裂，很难用语言描述清楚。但我最清楚的是，如果人们明白了那碗蛋花汤背后的故事，这些微小举动而积累起来的大美之德，或许会使这些难以理解的行为和动机收敛些吧。

年复一年，日复一日。每一天都会有很多人拿起勺子，为彼此盛上一碗蛋花汤。一个小小的举动，它折射出了文化的魅力和人性的光芒，真真的诠释出了我们最真实的文化内涵。爱人者，人恒爱之。敬人者，人恒敬之。让这种爱在彼此的心中流淌，其演绎出的真、善和美也同样会在科研中奏出胜利的交响。请让我为你盛一碗蛋花汤。

环境腐蚀中心 刘贤斌

92岁的江西农民漆友朋用41年时间和坚守，在漆和山上植树50多万株，让2500亩荒山重新变绿。91岁的看门人列文虎克从16岁开始磨制透镜，一生磨制了400多个透镜，制作显微镜的放大率竟达300倍，为全人类打开了微观世界大门。漆友朋和虎克都耗尽一生专注于某一件事，成就斐然而被写入教材。

这故事、这样的人在我们很小的时候就被教育，成为榜样，并不断刻进我们的脑海里。随着岁月的流延和考试增加，本应对专注理解很深刻很到位，毕竟各种考试无不需专注，诚如高考、考研，无不需我们有坚强的毅力和持久的专注，然而这些道理却很容易消弥于各类诱惑中，如游戏等等。究其缘由，无非是那刻的专注有些是惯性，有些是外力干涉的结果，如中高考，孩子无不是被家长碎碎念，形成每天写作业和试卷，并未深刻领悟和理解专注的本意。

专注的道理是最近一些羽毛球运动才体悟到的，俱乐部请了位教练，大伙的球技提高很快，我参加了一次训练后就没有参加，以前打球随性随意，自己的基础很一般，就是打着玩，当锻炼身体，亦乐在其中。可能是一起玩耍的小伙伴球技提高太快，球速增加，使

得不能再像以前一样玩耍了。双打羽毛球场地长13.4米、宽6.1米，而羽毛球最快的球速为421km/h，也就是0.1秒就可以从对方后场飞越己方后场，当然一般也就100km/h左右，羽毛球的水平上升基本上就是球速的上升，所以如果再漫不经心，就将很难把控飞驰的羽毛球。所以打球时更加专注投入，一段时间之后发现自己突然站在了风口上，频频被约战，百思方解。自己的动作还是那样，水平亦然，唯一改变的是对球的专注，以前球在空中的时候才做出相应的动作，而今球离开对手球拍时就开始研判，专注到球的初始状态，增加移动的时间，故而能赢。羽毛球的攻防在片刻就发生改变，专注可以提高击球的力量，专注可以改变球速，专注更能改变战况。

据相关测算，成为某一领域的专家需要一万小时的刻苦练习，一万小时的工作相当于五年，这其中有关心的要求，而漆友朋和虎克付出了近十万小时，甚至更多，何以不名留千古，积土成山，风雨兴焉；积水成渊，蛟龙生焉；积善成德，而神明自得，圣心备焉。专注于一事一域，悟于一刻一念，改变初始，恒久专注，方能控制自我，人与人之间的距离其实就是这样产生和放大的。

(上接四版)基于电材料的电子制冷器件正逐步向高精度控温、快速响应和微型化的方向发展，是微系统热流管理技术的重要组成部分。微型热电制冷器件服务于大规模集成电路、激光二极管、红外传感器中的电子元器件制冷，是多种精密科研仪器的重要部件。研究部依托于超净间及微型器件加工平台，并基于在热电材料设计合成和高热导率金刚石($\kappa > 500\text{W/m}\cdot\text{K}$)生长方面的研究积累，致力于发展高制冷通量的微型薄膜热电制冷器件。通过发掘新的工艺技术，努力实现微型制冷器件的高度集成化、高制冷功率(器件尺寸 $< 1\text{mm}^2 \times 0.5\text{mm}$ ，制冷通量 $> 300\text{W/cm}^2$)和低成本化，并打破国外在该领域的技术垄断。

太阳能资源具有取之不尽、用之不竭、清洁无污染、无需运输等诸多优点，是现有化石能源最有效的替代者。作为发展最为迅速的太阳能资源利用技术，依托于光电化学能量转换体系的第三代

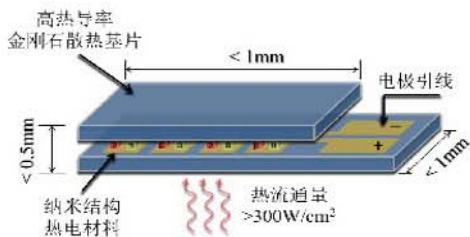


图6 微型热电制冷器件结构示意图

有机-无机杂化光伏转换技术因具有可持续性高、易与现有能源技术耦合等优点，逐渐受到各国研究者和工业界的重视。研究部紧密联系第三代光伏技术的发展，依托国家自然科学基金及金属所创新基金项目，设计并合成出了一系列具有单晶、有序、高比表面的氧化物半导体纳米线阵列、纳米花、纳米毛刷结构，这些纳米结构光阳极可大幅提高对太阳光的捕获效率并提供光电子的快速传输通道；此外，通过改变工艺条件，研究部制备了具有高吸光度和电荷迁移效率的量子点及钙钛矿材料。以这些材料为基础，制备出了光电转换效率分别在5%、8%及10%左右的量子点、染料敏化及钙钛矿太阳能电池，与传统高耗能、高污染及高成本的硅基及薄膜电池相比，这些第三代光伏电池制作过程简单、使用材料环保，具有极佳的市场应用前景。

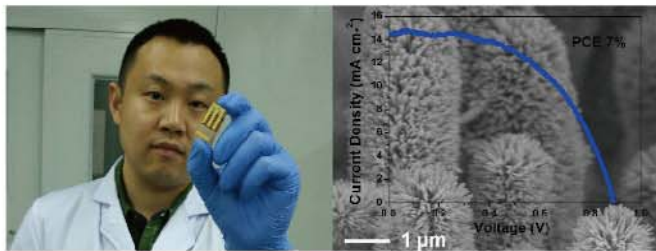


图7 邱建航博士和制备的钙钛矿太阳能电池

3月30日，中国科学院核用材料与安全评价重点实验室成功举办本年度首次学术报告会。



3月27日上午，中国科学院人事教育局和党建工作领导小组办公室联合举办“中科院基层党组织书记集中轮训”的首场视频报告会，金属所党委委员、党支部（总



支）书记和党务干部参加了培训，大家集中收看了中央党校党建教研部副主任、教授、博士生导师张志明作的题为《学习习近平总书记关于全面从严治党的重要论述》专题视频报告会，并进行了研讨交流。

3月18日，金属所在美国TMS-2015年度会议期间举办了金属所—海外所友及合作者推介会。50余位中外来宾参加了此次活动，金属所张健副所长向中外来宾介绍了沈阳材料国家实验室的规划以及筹建情况和2015年1月我所国际评估的相关情况，并热情邀请海内外材料科学与工程领域的科技人才到所工作及合作。



3月17日，金属所领导班子个别调整宣布大会在师昌绪楼403会议室召开。沈阳分院党组书记、副院长王启尧宣读了中共中国科学院党组任命郝欣同志担任中国科学院金属研究所党委副书记（主持工作）的任命文件。中国科学院人事局局长李和风，沈阳市市委常委、副市长、浑南区委书记杨亚洲，郝欣副书记和金属所杨锐所长分别讲话。

记、副院长王启尧宣读了中共中国科学院党组任命郝欣同志担任中国科学院金属研究所党委副书记（主持工作）的任命文件。中国科学院人事局局长李和风，沈阳市市委常委、副市长、浑南区委书记杨亚洲，郝欣副书记和金属所杨锐所长分别讲话。

3月4日至5日，国家核电上海核工程研究设计院副院长顾国兴、院副总工程师贺寅彪和科研管理部副主任陈瑜、工程设备所副所长李聪等一行6人访问金属所，期间验收了压水堆压力容器用国产SA-508 Gr.3 Cl.1锻件母材在高温高压水环境下的疲劳试验项目。

