

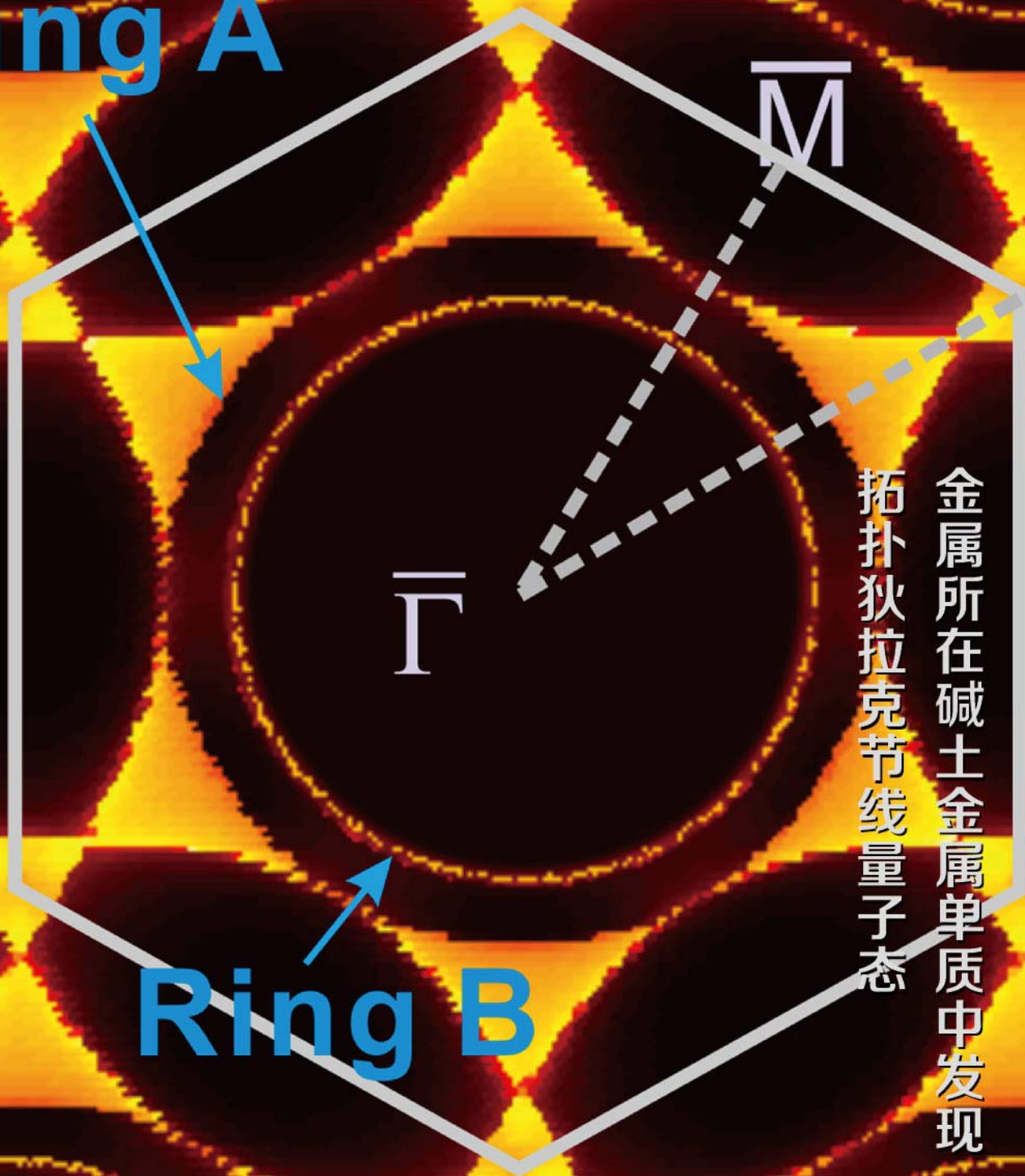
金属之光

7

中国科学院金属研究所
2016年 第7期 (总第182期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

Ring A



金属所在碱土金属单质中发现
拓扑狄拉克节线量子态

Ring B

金属所在碱土金属单质中发现拓扑狄拉克节线量子态

金属单质铍具有十分罕见的性质，不但具有极轻高强的特点，而且是优异的等离子体面向材料（比如核聚变堆铍毯），是反应堆中最好的中子减速剂，是透X射线的能力最强的金属，等等。因此铍在原子能、火箭、导弹、航空、宇宙航行以及冶金工业中有重要作用。同时，铍还具有特殊的电子结构，其电子输运性质接近于半金属，磁场条件下会出现朗道量子振荡；与绝大多数其它金属单质不同，在其（0001）面

是一个闭合的圆，圆内出现受体态保护半占据的拓扑非平庸能带，会在费米能处出现极高的态密度。令人吃惊的是，这条拓扑非平庸的表面态从上个世纪八十年代起就先后被国际上诸多研究团队实验观察到，但当时其产生机理并未被揭示。当前研究表明，其特殊的表面电子能带结构来源于体材料中的拓扑狄拉克节线量子态，基于这个认识金属铍的诸多特殊现象可以得到完美的解释，解决了长久以来困扰人们的谜题。

更重要的是，这一发现不仅解决了金属铍中困扰的机理问题，也证实了拓扑狄拉克节线量子态的存在。早在1976年，麻省理工著名学者R. Jackiw和C.Rebbi通过求解狄拉克方程和杨-米尔斯方程，预测在费米场中孤子态存在这种量子态，但迄今缺乏证实。2011年，美国加利福尼亚圣芭芭拉分校的Leon Balents教授和加拿大滑铁卢大学的A.A.Burkov教授进一步研究认为这种量子态可以在固体材料中以准粒子形式存在。近几年，在实际材料中寻找这种新的量子态成为广受关注的热门领域，虽然先后在很多材料中预测存在这种量子态，均未被实验验证。当前，在金属铍中的结果证实了这种量子态诱发的拓扑非平庸表面态，为拓扑狄拉克节线量子态的存在提供了强有力的证据。审稿人认为，“这是第一个被实验（下转二版）

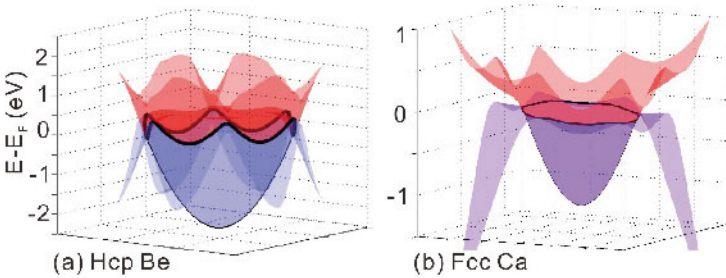


图1. 拓扑狄拉克节线量子态。(a) 在铍单质中，狄拉克节线量子态位于动量空间内的 $k_z=0$ 的平面；(b) 在钙单质中，狄拉克节线量子态位于动量空间内的 $k_x+k_y=0$ 的平面

上的表面态严重偏离近自由电子模型并且会出现奇异原子弛豫现象，伴随着强电-声耦合效应和巨大的反常弗里德尔振荡。在过去的六十多年里，对金属铍奇异性质的机理探索从未停止，并引起了长期的争论。早期的理论认为金属铍表面的特殊现象与其巨大的原子弛豫有关，但在接下来的研究中人们发现这种理论并不合理，与诸多实验与理论结果相矛盾。金属铍特殊性质的机理依然是一个悬而未决的科学谜题。

最近，金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室材料加工模拟研究部陈星秋研究员、博士生李荣汉等通过第一原理计算，在金属铍单质中发现拓扑狄拉克节线（Topological Dirac Node Lines）量子态。它与拓扑狄拉克半金属和外尔半金属不同，该类新的量子态是金属能带线性交叉点在晶格动量空间形成连续闭合的曲线。它在铍的（0001）表面的投影

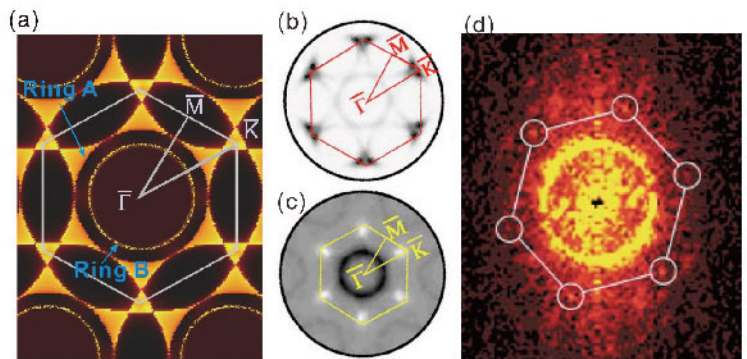


图2. (a) 计算的铍单质(0001)表面的费米面，Ring A为拓扑狄拉克节线的投影，而Ring B则为拓扑非平庸半占据表面态。(b和c) 2005年实验报道的ARPES结果，证实了Ring B的表面态[见Phys. Rev. B, 72, 165414 (2005)]。(d) 1997年STM实验观察到的巨大反常弗里德尔振荡结果，经傅里叶变换后的二维图像[见Science,275,1765,(1997)]

金属所研制的“钍基熔盐堆核能系统（TMSR）用结构高温合金”获得突破

钍基熔盐堆核能系统是第四代先进核反应堆型之一，它使用高温液体熔融盐作为燃料，由于燃料具有流动性，可直接作为冷却剂，不需要使用冷却水或者液态金属作为燃料冷却剂，液体燃料可直接进入热交换器中进行热量交换。因此熔盐堆具有经济性、安全性，而且燃料具有使用率高、核扩散风险低等特点。

钍基熔盐堆中的结构合金材料主要用于容纳第一回路、第二回路及热交换回路中的熔盐。由于熔盐堆中流动的是高温熔融液体，而且熔盐具有很强的化学腐蚀性和较高的中子通量辐射，熔盐堆用结构合金材料必须同时具有较高的抗中子辐照性能、抗氟化物熔盐腐蚀性能、优异的长时组织和力学稳定性，合金研制难度较大。

2011年，中科院战略性先导科技专项《未来先进核裂变能—钍基熔盐核能系统》启动，金属所高温合金研究部和特殊环境材料研究部承担了熔盐堆关键金属结构材料及焊材、管材等的研制任务。十二五期间，课题组完成了具有自主知识产权的抗辐照、耐熔盐腐蚀、中温下（650℃~700℃）有较高使用强度和高稳定性的熔盐堆用结构合金的成分设计与组织优化，

以及合金全面性能评测、工程化应用等研究工作，申请相关专利8项，该合金发明专利已获得了授权（GH3535）。

GH3535合金研制中面临的主要难点包括：合金微量元素的控制、大锭型组织偏析问题、热加工开裂控制、热加工工件性能稳定性控制等。自2011年起，课题组相继完成了近百炉25公斤级实验室规模的合金冶炼，在主元素和微量元素的控制以及高温合金纯净化冶炼方面积累了丰富的研究经验，通过对锭型的均匀化扩散退火，降低了合金中链状碳化物聚集等偏析现象，并通过Gleeble热模拟实验等，积累了大量热加工工艺参数。2012年，完成了吨级合金锭的制备，成分得到严格控制，其中B含量可低至1ppm以内。2013年对合金成分进一步优化，联合抚顺特钢公司进行了3吨锭型的制备，同时为项目总体单位（上海应物所）提供了研究所需的热轧棒材、各种锻件以及焊接材料和管材等。2014年完成了6吨级合金的冶炼，攻克了铸锭增大出现的偏析加剧、锻造开坯开裂等难题，并成功制备高温合金大尺寸热轧宽厚板和热轧环试验件。2015年底，根据项目总体单位（下转三版）

（上接一版）证实的狄拉克节线量子态的体系”。

同时，研究还进一步发现该类型量子态也存在于镁、钙和锶等碱土金属单质中，金属镁中的狄拉克节线与铍类似，具有相似的表面态，理论结果也与实验吻合。钙和锶中的狄拉克节线态稍有不同，其拓扑非平庸表面态出现在狄拉克节线外部。由于碱土金属单质尤其是铍的自旋-轨道耦合效应极为微弱，不用担心因该效应导致狄拉克节线退化成狄拉克半金属或者外尔半金属，因此它们提供了一个稳定的平台研究狄拉克节线量子态相关的现象。

研究工作得到了沈阳材料科学国家（联合）实验室顶层导向研究项目和国家自然科学基金项目的支持。

工作发表在最新一期的《Physical Review Letters》117, 096401 (2016)。

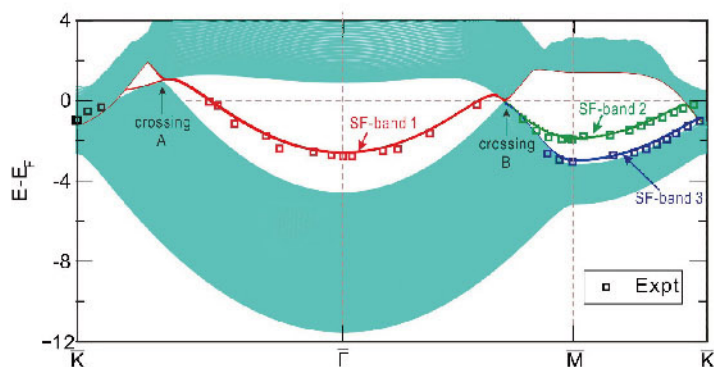


图3. 铍单质（0001）表面由体态拓扑保护的非常平庸表面态（SF-band 1）与ARPES实验结果一致



图1 双真空熔炼的12吨锭型 (Φ 0.92m × 1.69m) 及原始铸态组织和扩散退火后组织

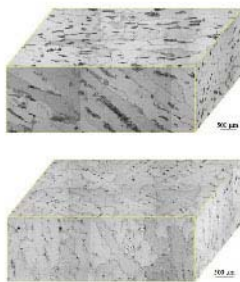


图2 12吨锭型锻造开坯



图3大尺寸热轧环件及大尺寸热轧宽幅厚板

(上接二版) 需求, 开展了熔盐仿真堆所需盖板及围桶的研制。盖板及围桶最大单件净重达到了6.5吨, 课题组联合抚顺特钢公司, 采用真空感应+真空自耗的工艺方法完成了12吨级合金的冶炼(图1), 随后克服种种困难, 成功对该锭型进行了锻造开坯及后续工件的制备(图2)。利用该锭型制备的大尺寸环轧件(直径

3100mm × 高500mm × 厚40mm)、大尺寸热轧宽厚板(长3100mm × 宽3100mm × 厚80mm、长5000mm × 宽2500mm × 厚40mm)是国内外高温合金体系中最大的单体尺寸构件(图3)。大尺寸构件经解剖分析, 合金组织及性能完全达到或超过了国外同类产品(Hastelloy N合金)的性能指标。图4为环轧件解剖后的组织形貌, 及解剖取样性能测试后与国外合金典型性能对比。

GH3535合金12吨级锭型的成功制备, 标志着钎基熔盐堆核能系统(TMSR)用结构高温合金材料已进入工程化应用阶段, 拥有自主知识产权的耐熔盐腐蚀、耐高温、抗辐照新型结构材料将为我国先进钎基熔盐堆核能系统的研发奠定坚实的材料基础。

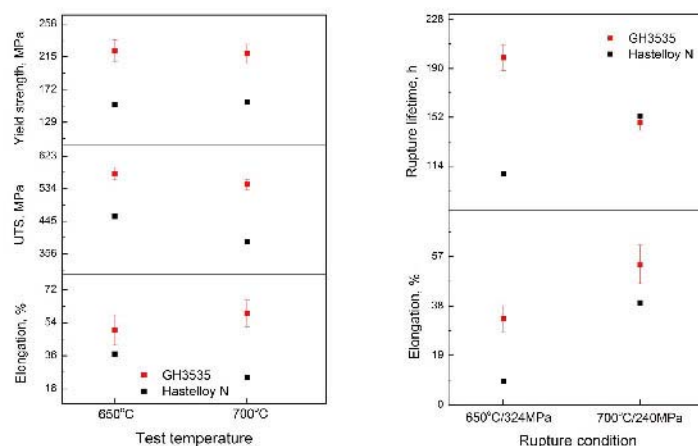
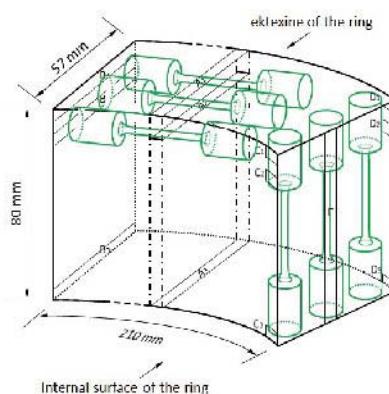


图4 热轧环件解剖组织及典型力学性能对比

高强镁合金熔铸技术及应用取得关键进展

镁合金具有低密度、高比强度、高比刚度等优点，小型、非承力或次承力砂型精密铸造件已有小规模应用，但砂型精密铸造大尺寸、薄壁、承力结构件的制造和应用在技术和工艺上仍受到限制。主要技术和工艺困难源于镁合金自身的物理、化学特性。例如：液态镁合金容易氧化燃烧，一次夹杂和二次夹杂倾向都很高；镁合金凝固温度区间宽，凝固时体积收缩大，加之冒口自重小导致补缩效率低、铸件疏松倾向高；镁合金的（比）热容小，凝固速率比铝等其它金属材料相对快，容易形成冷隔、浇不足、微裂纹等缺陷；镁合金线收缩也比铝合金大，热处理时更容易变形；镁合金表面容易腐蚀。因此，镁合金砂型精密铸件的冶金质量和缺陷、铸件力学性能均匀性、稳定性控制以及表面处理技术一直是尺寸薄壁承力结构件应用的关键瓶颈技术。

长征七号运载火箭上设计的镁合金铸件采用高强度镁合金制造，尺寸大，结构特殊且复杂。而且，铸件冶金质量要求高，需有承载能力，曾被定为“短线风险的技术瓶颈”，其研制进度始终受到有关各方的高度关注。

金属所陈荣石研究员、单大勇研究员、韩恩厚研究员和柯伟院士带领镁合金及其应用创新团队经过六年多的艰苦努力，全流程自主设计了工艺总方案、铸造工艺方案、热处理工艺方案、机械加工工艺方案、表面处理工艺方案等；完成了树脂砂型准备、熔炼铸造、化学分析、力学分析、缺陷处理、夹杂检测、热处理、数控机械加工、X-射线探伤、表面荧光检测、三坐标尺寸检测、零件表面打磨抛光、表面处理等十五道大工序的研究开发任务。

在产品研制过程中研究人员系统细致地研究和设计了铸造工装模具，浇注和补缩冒口系统，冷铁，铸造圆角和加强筋，型腔排气孔布置方案，砂型阻燃剂，冶炼工艺方案，浇注保护和砂型型腔保护，防热处理变形工艺、机械加工防变形工艺及专用工装，表面处理工艺及工装等。由于镁合金铸件的冶金质量对工艺参数高度敏感，为了精确控制每道工序的工艺参

数，课题组制定了十九个工艺文件及十八个生产记录文件来控制研制过程的工艺技术状态。每进行一步，研究人员都需现场确认工艺方案和工艺参数并亲自动手实施。从工艺预研、初样研制到试样研制的三个阶段共经过三次工艺方案论证，二次转段工艺方案评审和论证，二次工艺归零管理和论证，共进行了八十多次实验，目前，已可以基本稳定获得组织致密，化学成分、力学性能、尺寸精度、重量及表面防护均满足设计要求的产品。2016年6月25日该部件随长征七号在海南航天发射中心成功完成首飞任务，为我国新一代运载火箭发挥了重要技术支撑作用。日前，课题组收到用户为此发来的贺信。

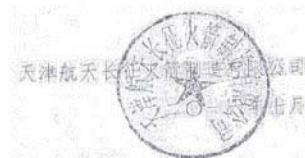
贺 信

中国科学院金属研究所：

2016年6月25日，长征七号遥一火箭在南海之滨成功发射！长征七号首飞成功，是习近平总书记在首个“中国航天日”重要指示的伟大实践，是我国新一代运载火箭研制生产的里程碑，是海南文昌卫星发射中心建成后的“首秀”，也是天津产火箭首次接受发射的考验，意义重大，影响深远。

贵单位参与研制配套的镁合金惯组支架，是箭体姿态控制惯性器件安装平台，为首飞成功提供了重要支撑。在此，天津航天长征火箭制造有限公司向贵单位参与长征七号研制战线的同志们和领导表示最诚挚的感谢！

成绩属于过去，未来更任重道远。作为长征七号的研制配套单位之一，希望贵单位继续按照高标准、高质量的要求，坚持质量第一、预防为主和全过程控制原则，“严、慎、细、实”地做好每项工作，为中国航天事业再立新功。



2016奥林匹克公园赏河全景图-先进炭材料研究部-丛洪涛

“发现生活之美” 手机摄影大赛参赛作品展



璀璨灯光亮浑河 不是银河胜银河
-先进炭材料研究部 丛洪涛



大丽花
非平衡金属材料研究部
段峰辉



秋英
非平衡金属材料研究部
段峰辉



灼灼其华
14级2班
赵世席



太阳花中的小蘑菇-王春阳

秋韵-材料特种制备与加工研究部-赵帅捷



学爬-材料特种制备与加工研究部 杨帆



落日-材料特种制备与加工研究部-赵帅捷

纪念建党 95 周年暨“两学一做”学习教育 主题征文选登

守住那份坚定

15硕1班 任川兮

最近有一部热播的文献纪录片，它以真实、生动的历史，讲述着中国共产党的筑梦之旅，庆祝着中国共产党成立95周年！片中的镜头和故事，曾一次次地打动和感染着我，我们共产党人顺着历史前进的步伐，悲壮、豪迈、自信、勇敢地写下一首首史诗。而时代的共产党人，需要一份坚定，需要守住坚定。

坚定是什么，坚定里有一份信念。信念是自己内心最坚强的坚强，有这样的一个信念，会有无穷的力量。在前进的路上，肯定不是一帆风顺的，但时代给予我们的只有这样的一条路，那就是勇往直前。记得2008年汶川大地震时，年少的我身处地震重灾区，身边有很多的援建者。他们中很多都是共产党员，不畏困难。一方有难，八方支援，带领我们灾区人民众志成城、抗震救灾。胡锦涛那句“我坚信，再大的困难也难不倒英雄的中国人民”，强有力地给满目疮痍的大地带来希望和曙光。带着信念，也坚定着信念，灾区在奋进，三年重建任务，两年基本完成。

坚定是什么，坚定里有一份担当。在这样的一个社会里，需要一批有担当的人，尤其是我们共产党人。有担当，就是要在最需要人的时候，能够走上去，并且及时、准确、无误地完成任；有担当，要牺牲自己的时间，消耗自己的经历，去给别人服务；有担当，要有强大的自我能力，能够在社会中去奉献自己。今天，我们奋斗在科研的道路上，担当的是国家的未来、民族的希望。不断地去探索，不断地追寻，不断地去超越。怀着一颗虔诚的心，让自己攀登在生命的长河里，肩负起自己的担当。

坚定是什么，坚定里有一份修养。我想，这是非常重要的一点。要做事，得先做人。我们评判一个人的标准，不是他有多大的本事，而是他的修养。共产党人，必然是有德才兼备的君子风范。儒家里讲儒家五常，即仁、义、礼、智、信，这是一个最基本的修养。对于传统文化和品德，我们还得去修习，这是必不可少的。作为共产党人，应该让自己拥有文化的修养。这里，我也希望我们能够补上我们的修养课，做到与礼仪之邦相符合的共产党人。

坚定是什么，坚定里有一份作为。不管现在的我

们怎样，要去不断地努力着。我们坚信知识的力量，相信知识可以改变命运的时代。有所作为，就是其中很关键的一点。说有所作为，可以理解是知行合一，能够去做实事。很多时候，光说是没有用的，只有做出来才有分量。这个社会是有些浮躁，但是我们就应该沉下心来，踏踏实实，勤勤恳恳，去做着自己的事业。共产党人用心做事，要用实际行动写下奋斗的历史。

圆中国梦，筑中国梦，需要我们去不断地躬行。作为共产党人，时代给我们的不仅是责任、担当，还有坚定，守住那份坚定。

现在，时不我待，接力棒已经传到我们的手上，让我们一起高歌国际歌，扬起前进的旗帜，吹响前进的号角。守住那份坚定，筑中国梦，我们在路上。

贺建党九十五周年

疲劳与断裂研究部 张孟泉

嘉兴南湖秋水凉，游船之上热衷肠。
风云际会党初建，民族希望正渺茫。
也曾井冈开天地，也曾长征路彷徨。
也曾八载苦抗战，终挽狂澜救危亡。
九十五秋民心向，六十七年步履长。
四个全面同心干，两学一做共传扬。
三严三实党纪肃，反腐倡廉气势强。
边疆寸土皆吾有，安与他国共榻床。
中国梦好需奋进，志存高远好儿郎。
道义铁肩今担起，脚踏实地记胸膛。

所内动态



由张士宏研究员等撰写、国防科技图书出版基金资助的《精密铜管铸轧加工技术》

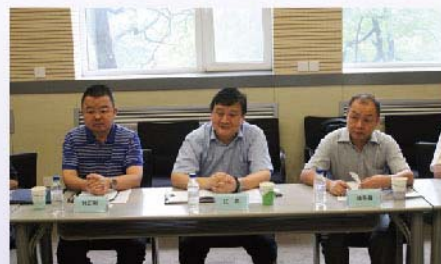
正式出版，该书重点介绍了精密铜管连铸连轧制备加工技术在现代铜管短流程加工工程中的应用及其相关的技术问题。

7月29日上午，应金属所杨锐所长邀请，创生医疗器械（中国）有限公司王爱国董事长到金属所作了题为“骨科生物材料的演进与发展趋势”的师昌绪系列讲座。



7月25日，应金属所杨锐所长邀请，国家自然科学基金委员会主任杨卫院士到金属所调研，基金委工程与材料学部副主任车成卫、金属学科主任郑雁军等陪同。

7月26日，为加强双方合作，攀钢集团江油长城特殊钢有限公司党委书记、总经理江宾，副总经理付正刚等一行8人来所调研交流，双方就高温合金、钛合金、模具钢、抗氢钢等项目的合作事宜进行了交流。



7月24日至25日，湖南湘投金天科技集团周慧董事长一行到金属所交流并签署钛合金研发全面合作战略协议。

7月5日，金属所张士宏研究员在法国特鲁瓦技术大学召开的第12届数值模拟方法及其在工业成形中应用国际学术会议（NUMIFORM2016）上获得首届O.C.Zienkiewicz奖。



中国科学院金属研究所
INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

主 编：杨锐 副 主 编：谭若兵 张健
责任编辑：刘言

IMR

联系电话：024-23971507

E-mail: yanliu@imr.ac.cn

通信地址：沈阳市文化路72号 / 邮编：110016

homepage: <http://www.imr.cas.cn>