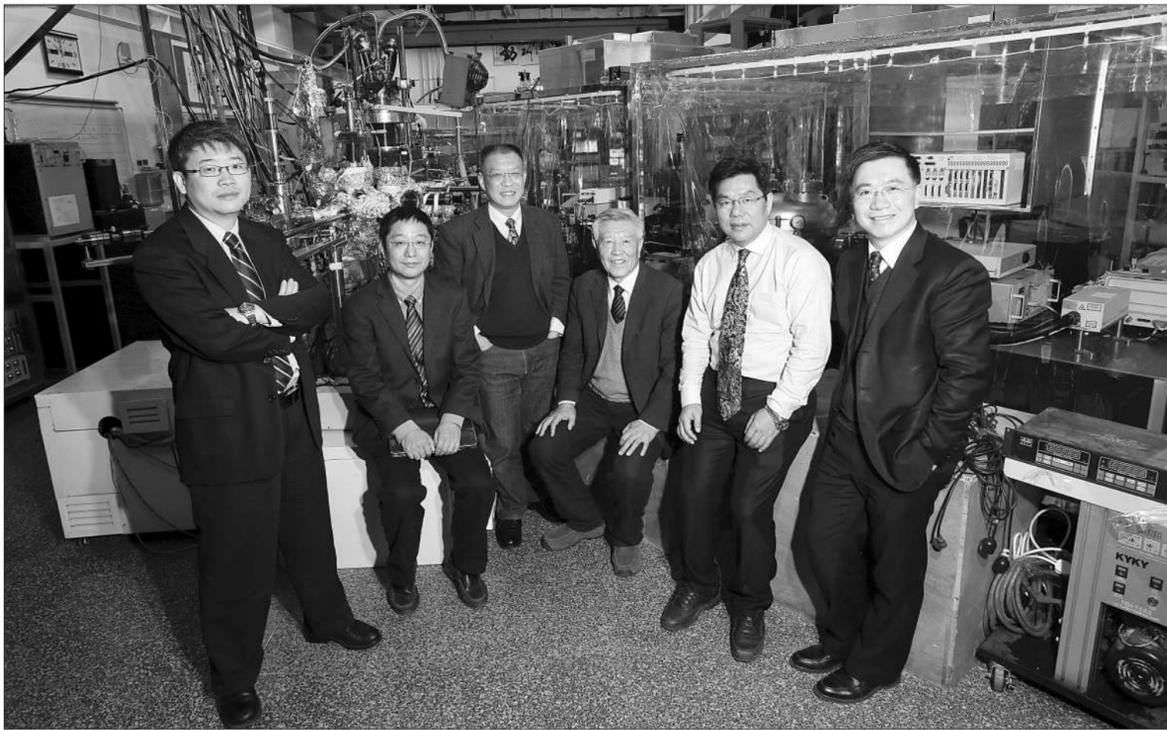


铁基高温超导研究成果为何与中国科学家结缘

国家自然科学一等奖——铁基高温超导研究追踪

□ 本报记者 李大庆



中科院院士赵忠贤(左四)和团队在高温超导实验室里,从左至右分别为:丁洪、王楠林、方忠、赵忠贤、陈仙辉、闻海虎。
在2013年度国家科学技术奖励大会上,以赵忠贤、陈仙辉、王楠林、闻海虎、方忠为代表的中国科学院物理研究所、中国科学技术大学研究团队因为在“40K以上铁基高温超导体的发现及若干基本物理性质的研究”中的突出贡献获得2013年度国家自然科学一等奖。自2000年起,国家自然科学一等奖13年里9次空缺,已经连续空缺3年,最近一次颁奖是在2009年。

麦米兰极限温度相距甚远。

2008年2月18日,日本东京工业大学的细野秀雄教授与合作者在《美国化学会志》上发表了一篇两页的文章,指出氟掺杂铜氧铁电(LaOFeAs)化合物在26K(-247.15℃)时具有超导电性。虽然26K距40K也还有一段距离,但它立刻引起了中国科学家的高度关注。

在长期研究中保持着跨界关注习惯的物理所陈根富和王楠林小组立即捕捉到了这一消息的价值,他们迅速转向制作掺杂样品,一周内实现了超导并测量了基本物理性质。几乎与此同时,闻海虎研究组通过在铜氧铁电材料中用二价金属Sr替换三价的La,发现有25K以上的超导电性。

铁基高温超导在中国南北同时开花。在安徽合肥,中国科技大学从上世纪80年代以来,也一直在高温铜氧化物超导研究领域开展工作,并于1992年成立了中科大超导研究所,是我国超导研究的重要基地之一。3月25日,中科大的陈仙辉研究组在SmO_{1-x}FxFeAs体系常压下发现超导转变温度为43K的超导电性,这一结果突破了传统超导的麦米兰极限,证明铁基超导体是除铜氧化物之外的又一类非常规高温超导体。磁性离子钐(Sm)取代非磁性离子镧(La)实现的超导转变温度大幅提高也表明铁基超导体具有非常规的超导电性。这项研究成果发表在《自然》杂志上,迄今被引总次数已超过900次。

在北京,3月26日,王楠林、陈根富也独立发现临界温度超过40K的铁基超导体,证实为非传统超导。

3天后,赵忠贤、任治安通过氟掺杂的铜氧铁电化合物的超导,临界温度可达更高的52K(-221.15℃);4月初该研究组又发现无氟氧钒氧铁电化合物在压力环境下合成超导临界温度可进一步提升至55K(-218.15℃),创造了世界铁基超导体临界温度的最高纪录。

与此同时,王楠林研究组与从事理论研究的方忠研究组合作,最早提出了铁基超导材料母体中的条纹自旋密度波相,随后便为物理所戴鹏程和美国另一个研究组的中子散射实验证实。一时间,世界上数十家一流的研究机构都向物理所要求提供样品。

为了进行更加系统和深入的研究,必须合成一系列的铁基超导材料才能提供全面、细致的信息。赵忠贤研究组利用高压合成技术高效地制备了一大批不同元素构成的铁基超导材料,转变温度很多都是50K以上的,创造了55K的铁基超导体转变温度纪录并制作了相图,这被国际物理学界公认为铁基高温超导体家族基本确立的标志。

那一时段,中国铁基高温超导研究成果像井喷一样涌现。赵忠贤说,那是激动人心的日日夜夜,每两三天我们就有新的成果展现给世界。

2008年以前,科学家们只找到了铜氧化物一个高温超导体家族。但这个家族的成员属于金属陶瓷材料,其加工工艺严苛,综合成本相当高,影响了它的广泛应用;此外,关于这一家族的高温超导电性的机理一直没有解决。而由中国科学家新合成的系列铁基高温超导体被确认为第二个高温超导体家族,中国创造并保持了铁基超导体临界温度的最高纪录。

铁基高温超导应用前景广泛

对于中国科学家发现的铁基高温超导体工作,国际物理学界予以高度评价。当时的《科学》杂志在一篇题为“新超导体将中国物理学家推到最前沿”的文章中指出:“中国如洪流般不断涌现的研究结果标志

着在凝聚态物理领域,中国已经成为一个强国。”

那一年的岁末,中国的铁基高温超导研究被评为《科学》杂志“2008年度十大科学突破”,美国物理学会“2008年度物理学重大事件”以及欧洲物理学会的“2008年度最佳”。

铁基高温超导体的发现是凝聚态物理的一个重大突破。它不仅在科学研究方面意义重大,而且在信息通讯、工业加工、能源存储、交通运输、生物医学乃至航空航天等领域均有重大的应用前景,所以受到科技界乃至全社会的广泛关注。

也许大多数人都不知道,其实超导已经或多或少地走进了人们的生活。近年来,国内外相继研制成功了多种超导材料和超导应用器件,超导正在为人类的工作、学习和生活提供着便利。如高温超导滤波器已被应用于手机和卫星通讯,明显改善了通讯信号和能量损耗;世界上各医院使用的磁共振成像仪器中的磁体基本上都是由超导材料制成的;使用的超导量子干涉器件装备在医疗设备上使用,大大加强了对人体心脏探测检查的精确度和灵敏度;世界上首个示范性超导变电站也已经在我国电网投入使用,它具备体积小、效率高、无污染等优点,是未来变电站发展的趋势;目前可以量产的高温超导线材的传输能力是传统铜电缆的10倍之多,可以自动抑制电网中的脉冲现象,并且具有体积小、重量轻的特点,将成为城市电力的重要组成部分……

专家甚至预测,比高铁快一倍的超导磁悬浮列车,比现有计算机快数十倍的超导计算机,还有基于超导技术的导弹防御和潜艇探测系统,都将不在远的未来走进我们的生活、生产和国防。

国际化的科研评价体系助推铁基高温超导成果出炉

在2008年发现铁基高温超导的4个研究组中,有3个来自物理所。它们之间既相互独立,又相互合作,仿佛为这次铁基高温超导花落中国上了多道保险。为什么铁基超导工作能在这里产生?中国科学院物理研究所所长、北京凝聚态物理国家实验室(筹)主任王玉鹏说,这得益于物理所实施了一套新的科研评价体系。

早期,物理所评价科研人员成果时关注论文总量。发表SCI论文的数量及论文被引用数在全国科研机构中曾连续12年位居第一。物理所的SCI论文之多固然可喜,但在《科学》、《自然》、《物理评论快报》等高水平国际专业学术刊物上发表的论文,特别是大的原创性工作毕竟还不多。

“创建国际一流研究所,我们必须在保持一定论文数量的同时,从量的积累向质的飞跃转变。”物理所领导班子形成这样的共识。于是开始着眼于高水平的论文,鼓励做有创新性影响力的工作。统计数字表明,物理所近五年发表在《自然》及《科学》、《美国化学会志》、《物理评论快报》等高水平刊物上共发表论文249篇,仅2013年就发表论文61篇,达到历年最高水平,比2003年的22篇增长了177%,比2009年的35篇增长了74%。

高水平的论文也并非评价机制的终点。如今的物理所又在高水平论文的基础进一步拓宽了评价体系,实施了国际评价制度。即以“国际评价机制”和“学术交流与考核评价相结合”的方式,以科研成果具有原创性重大突破或符合国家发展战略需要为更高目标,而不单纯拘泥于《自然》或《科学》等刊物的文章发表数量。

2001年以来,物理所开始试行国际评价制度,2001年、2003年、2007年、2013年分别组织实施了国际国内专家评价工作,20多个国家和地区以及国内著名大学和科研单位相关研究领域的著名专家学者,对物理所的科研方向和研究工作予以评价并提出了具体建议。正因如此,2008年,物理所被科技部和国家外国专家局授予首批“国家级国际联合研究中心”之一。

铁基高温超导体也正是这种评价体制出的硕果。截至2013年1月4日,铁基超导研究团队的8篇代表性论文在SCI中共被他引3801次,20篇主要论文SCI共他引5145次,其中单篇最高他引达到823次。这些他引数字也从另一方面论证了铁基高温超导成果的金含量之高。

只有盛产国际一流水平的科研成果,才能称得上是国际一流的研究机构。物理所完成了评价体系的“三级跳”,正在一步步地向国际一流这一目标迈进。

人才是创新的主体,是科研活动最重要的资源,没有一流的人才就没有一流的科研成果。这是物理所一脉相承的文化。

博士、博士后、助理教授、副教授、正教授……这是现任北京凝聚态物理国家实验室首席科学家丁洪原本平静的美国科研生活路径。2007年11月,物理所诚恳邀请他加盟。当物理所负责人把他带到在加盟之后的科研环境、工资待遇等问题全盘托出时,条件之优厚还是让丁洪有点吃惊。其实,早在得知丁洪有打算“跳槽”的想法后,物理所领导班子就做出了人才引进的决定——这一点,颇有些“慧眼识英雄”且“志在必得”的感觉。

丁洪对物理所的橄榄枝动了心,成为了美国物理学界辞去全职正教授的第一人。“辞职”事件一度震惊了美国物理学界,丁洪回到了祖国,成为了中国第一批“千人计划”入选者之一。

归国的第二天,丁洪就投入到了铁基超导的研究当中。当时,丁洪在国内的实验室还没有建成,他拿着样品跑到日本完成了测量,首次通过实验提出了铁基超导体的能隙对称性,解决了这个曾在铜氧化物超导体中被长时间争论的问题。

王楠林研究组当时有一员干将叫陈根富,也是物理所从国外引进的人才。2007年10月,他回国后即着手开展了LaFeAsO等铁基超导材料的探索合成工作。他率先发现了41K的CeFeAs(O,F)新超导体,实验室还首次生长出了一批高品质的超导单晶样品,推动了相关铁基超导机理的研究。

同时,物理所也花大力气自己培养人才,比如任治安当时是赵忠贤组的主要成员之一,他与其他80后一起合成了一系列转变温度在50K以上的铁基超导体。

为了广纳贤才,物理所领导可谓是“煞费苦心”,已经形成了一种传统。

1994年开始,中科院“百人计划”启动。时任物理所所长杨国桢采用多种形式从海外知名科研机构、大学招才引将,为物理所打下了良好的人才基础。2005年3月,在王恩哥担任物理所所长期间,物理所首次在美国物理学会举办人才招聘答辩现场会,为他们到物理所工作开辟“直达通道”。8月,实施“国家实验室特殊人才引进计划”,特设海内外特聘教授,引进相当于海外终身教职级的高水平人才到物理所长期工作。

1月10日,北京人民大会堂。
国家科技奖励大会在这里隆重举行。会上,党和国家领导人向获得2013年度国家自然科学奖的项目颁奖。只见中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室(筹)(以下简称“物理所”)研究员、中科院院士赵忠贤走上主席台,从国家主席习近平手中接过自然科学一等奖证书。在连续三年空缺之后,“40K以上铁基高温超导体的发现及若干基本物理性质研究”在基础科学领域拔得头筹。这一刻是中国物理人的光荣,也是中国科技界的光荣。

对于40K以上铁基高温超导体的发现及若干基本物理性质研究,国际著名理论物理学家、美国佛罗里达州大学Peter Hirschfeld教授说:“一个或许本不该让我惊讶的事实就是,居然有如此多的高质量文章来自北京,他们确实确实进入了这个(凝聚态物理强国)行列”。美国斯坦福大学Steven Kivelson教授说:“让人震惊的不仅是这些成果出自中国,重要的是它们并非出自美国。”可以说,铁基高温超导体的成果足以令中国骄傲:因为中国的超导研究走在了该领域的世界最前沿。

赵忠贤,一个中国科技界十分熟悉的名字。1986年,赵忠贤等就为“液氮温区氧化物超导体的发现及研究”走在当时世界超导领域的前沿,这项工作于1989年获得国家自然科学一等奖。24年后,赵忠贤等人再次摘得自然科学一等奖的桂冠。不过,这次获奖比上次更让人欣喜:因为取得40K以上铁基高温超导体的突破,是一支老、中、青三代相结合的研究团队,包括赵忠贤、陈仙辉(中国科技大学)、王楠林、闻海虎、方忠、靳常青、丁洪、任治安、陈根富等。

以这9人为代表的中国科研团队既相互独立,又密切合作,共同导演了一出中国版的超导物理大戏,在世界科技的大舞台上演绎得精彩绝伦。

铁基高温超导在中国“井喷”

超导是物理世界中奇妙的现象之一,它的发现已有百年历史。

1911年,荷兰莱顿大学的卡末林·昂内斯意外地发现,将汞冷却到-268.98℃时,汞的电阻突然消失了。后来他又发现许多金属、合金都具有与汞相类似的低温下失去电阻的特性。卡末林将的这种特殊导电性能称为超导体。由于这一物理新发现,卡末林获得了1913年的诺贝尔物理学奖。

此后,物理学家麦米兰根据传统理论计算推断,超导体的转变温度不能超过40K(约-233℃),这个温度也被称为麦米兰极限温度。此理论意味着若要实现电阻为零的超导电性,必须要有极低温环境,这便给超导应用带来困难。

人类对超导的应用是否只能被限制在40K以下?抑或是麦米兰所依据的传统理论本身存在缺陷?40K麦米兰极限温度能否被突破?为了探索这些问题,几十年来,世界各国的科学家们做了无数次尝试。特别是相对于麦米兰极限所描述的低温环境,科学家们研究超导的美好愿望就是找到40K以上的“高温”超导。

1986年初,欧洲科学家贝德诺兹和缪勒发现以铜为关键超导元素的铜氧化物超导体,转变温度达到35K。这一年的9月份,赵忠贤坐在物理所图书馆翻阅着最新一期的《物理学报》杂志,当读到贝德诺兹和缪勒发表的文章时,他陷入了长时间的思考。他认为缪勒的想法是有道理的,就是要充分利用材料结构的不稳定性来实现高温超导。10月中旬,赵忠贤便与物理所其他科研人员合作,开始了铜氧化物的超导体研究工作。

到12月20日,赵忠贤等人在铋铜氧中实现了起始温度为48.6K的超导转变。紧接着,在第二年的2月19日,赵忠贤等人又在钇钡铜氧中发现了起始温度高于100K、中点温度为92.8K的超导体。在此之前,世界上一切超导研究都必须采用昂贵且难以使用的液氮来使超导体达到转变温度,这对超导研究形成了巨大障碍。赵忠贤团队是使用液氮来达到超导转变温度的,这一方法为超导研究开辟了新天地,大大方便和加速了全世界的高温超导研究。5天以后,中国科学家正式公布了这一最新成果。

那一时期,国际上经常有高温超导的最新成果发布,世界范围内形成了一超导体热。但这之后的20多年时间里,超导体研究一直停留在铜氧化物领域。这种材料易脆,作为输电线应用时延展性与柔性不够好,在大范围的普及应用上仍有一定困难。在突破了麦米兰极限之后,全世界科学家们对超导材料的探索又一次陷入了迷茫。到上世纪90年代中后期,国际物理学界倾向认为铜氧化物超导体能给出的信息基本上被挖掘殆尽,通过铜氧化物超导体探索高温超导机理的研究遇到了瓶颈。随着时间的推移,超导研究的热度逐渐降低,很多研究者在数次碰壁后纷纷转移到其他研究领域。

但是物理所和中科大的超导团队没有转,仍然坚守着“冷板凳”。这“冷板凳”一坐就是20年。

赵忠贤还在研究超导。他带着自己一届又一届的学生持之以恒地做着实验,无数次的制备、观察、放弃、重新开始。终于,这个“冷板凳”被他们坐热了,在铁基高温超导体的探索上揭开了新的篇章。

超导百年的研究史中,从来就没有人看好铁基材料一族。赵忠贤说,超导体有两个基本性质:一是零电阻,二是抗磁性。铁由于自身的磁性从来就不为超导研究者所青睐。以前也曾有科学家用含有铁成分的材料试验超导,但也仅限于3K、5K,离40K的

目前,物理所已经有了完善的外人才引进体系。截至2013年底,已累计拥有“千人计划”入选者11人,“百人计划”入选者60多人,国家“杰出青年基金”获得者累计已达50多人。如今已担任北大校长的王恩哥院士、上海交大校长张杰院士、清华副校长薛其坤院士等一批学术将才当年都是这里的青年才俊。

在很多单位,海归人才因在国外小有成就,一般回国后都会因政策倾斜更易得到经费支持和优厚待遇,而在国内土生土长的博士们却往往“徒有羡慕之情”。但在物理所则是“英雄不问出身”。在铁基高温超导团队,有一位新常青研究员,1991年获得物理所博士学位后即留所工作,1996年就成为了物理所的课题组长,也是物理所科研人员里的中流砥柱。本次铁基高温超导研究,他在铁基超导体1111体系和122体系之外,找到了第三种全新的以LiFeAs为代表的111体系超导体,引起了强烈的国际反响。

慧眼识才,事业留才。正是物理所对人才的不懈追求,才成就了这支超导团队的“伟业”。

国家实验室结缘超导

在铁基超导的研究过程中,北京凝聚态物理国家实验室(筹)对超导研究也起了巨大的促进作用。

凝聚态物理是当今全球物理学界最热门的领域之一,超导研究作为凝聚态物理领域重要方向,备受关注。1987年,物理所的科学家独立发现了起始转变温度在100K以上的Y-Ba-Cu-O新型超导体,大大加速了全球高温超导研究。为支持国内超导研究,当时的国家计委于1987年批准在物理所筹建国家超导实验室。1991年4月,国家超导实验室被列入国家重点实验室管理系列,并正式面向国内外开放。2000年起,为加强我国科技创新体系建设,科技部开始筹建国家实验室,以期在新兴前沿交叉领域和具有特色和优势的领域组织开展与国家发展密切相关的基础性、前瞻性、战略性科技创新活动。2003年11月25日,经科技部批准,北京凝聚态物理国家实验室(筹)依托中科院物理所开始筹建,迄今已走过10年历程。经过10年的建设,这个国家实验室已经成为国际上凝聚态物理研究最重要的基地之一。

国家实验室的管理不是项目制的管理,而是通过理事会的形式管理。理事会成员由管理部门和凝聚态物理领域15位高水平的科学家组成。国家实验室每年都要召开理事会,国家实验室的领导要汇报年度工作进展,与理事们探讨,研究国家实验室的未来发展方向。可以说,这一管理体制为科学家们的自由探索提供了充分的条件。

在国家实验室还形成了这样一个平台,在这里,科学家们从共同的研究兴趣出发,机构与机构之间的壁垒不复存在,铁基超导研究就是最好的例证。在这场铁基超导研究的国际竞赛中,物理所/国家实验室与中国科技大学能够脱颖而出,很大程度上得益于这个合作交流平台。国家实验室成立以来,中国科技大学的侯建刚院士就是其中一位理事,而中国科技大学的张裕恒院士和陈仙辉研究员又是超导实验室学术委员会的委员,两个机构之间的深入合作已成常态,这为铁基超导研究取得突破性进展打下了良好的基础。

国家实验室这一平台还为高精尖仪器设备和研究手段提供了强大支撑,这也是国家实验室特色所在,绝非普通研究机构一己之力所能及。

周兴江是超导实验室主任,他曾长期在美国斯坦福大学以及美国伯克利国家实验室工作,擅长研究尖端仪器设备。

在回国前,周兴江就曾听说国内研究人员一般不太喜欢自己动手研制设备,因为这可能导致研制者几年发不出论文。2004年,他回国后来到物理所,就全身心地投入到真空紫外激光角分辨光电子谱仪的研制中。他除了依据自己在国外工作时获得的数据发表一些论文外,在物理所搭建设备期间并没有发表什么论文。“国家实验室领导在方方面面始终给予我支持和帮助,也没有用论文指标衡量我。”周兴江说,甚至为了我们的研制项目能按时完成,在一些资金还没到位的情况下,从国家实验室支持的经费中先借给我们资金,尽快开展工作。可以说,这些设备的成功研制得益于国家实验室的支持,物理所宽松的科研环境。周兴江的工作为中国科学家在铁基超导领域的突破提供了技术保障。赵忠贤院士坦言,使用这台仪器设备,让我们在超导研究中看到了以前看不到的东西,提高了我们的研究水平。

国家实验室在10年建设期间相继涌现出铁基高温超导、拓补绝缘体等一批系统性、原创性的成果,不断冲击着国际科学的最前沿。

2008年发现铁基高温超导体是一个足以令中国科技界自豪的经历。如今它又戴上国家自然科学一等奖的桂冠,让沉寂了3年的一等奖“名花有主”。不过,周兴江并没有沾沾自喜,他又为自己确定了新的目标。王玉鹏所长说:“我们的目标是面向国家战略需求,引领国际相关领域科学研究,凝聚更多国际顶尖人才,力争早日建成世界一流的物质科学研究机构 and 尖端前沿技术的孕育基地。”