王江：探秘磁场下金属凝固的“侦探”

文/本刊记者 陈佳

5月11日，第13批国家“千人计划”青年项目和创业人员名单正式公布，上海大学材料科学与工程学院的王江教授正式入选青年项目。当记者使用微信语音通话联系上王江时，那边传来了他易于辨识的北方汉子的声音，整个采访过程中，他始终保持着较快的语速，但这丝毫不影响他语言表达的逻辑性，这也是记者采访众多青年科学家以来最深的一点感受：充满热情干劲又不失严密的逻辑性，善于用简单通俗的例子描述在常人眼中有些高不可攀的科研技术。

本期《千人》杂志对话王江教授，走近王江所钟情的电磁冶金研究以及以他为代表的青年科研人员的生活。

王江，国家第十三批“青年千人计划”专家，上海大学材料科学与工程学院副教授。

用电磁场控制金属凝固过程的“魔法师”

2004年9月，王江成为上海大学众多新生中的一员，由于他生性对新鲜事物充满好奇，又勤奋好学，在2006年，也就是本科二年级的时候，他就攻克了采用体凝固方法制备具有均匀组织的过偏晶合金材料的难题，成功申报国家发明专利，并撰写了第一篇科研论文，发表在了《物理学报》。自此，王江便开始了电磁冶金的相关研究，一发不可收拾。

电磁冶金对于大多数没有材料研究背景的人来说，是一个较为陌生的研究领域。王江先从凝固这个概念进行介绍：冶金中有一个很重要的过程就是把从金属熔液变成固体，类似我

们所熟知的水变成冰的过程，这个过程我们称为凝固。先进装备制造业对金属材料提出了越来越高的品质要求，这个时候就要采取改变成分、增加更多元素的方法来对之进行调节。这种方法面临的现实困难是在增加元素的过程中极易出现偏析，即凝固时相近的元素会自发的聚集在一起‘自成阵营’，这会极大地影响金属材料的性能。而王江所从事的电磁冶金为解决这个困难提供了一条行之有效的方法，在凝固过程中，使用电磁场对金属熔液进行搅拌，使各成分均匀分布，从而提高金属材料的性能。

相较于传统的铸造方法，电磁场的施加有以下优势：在高温情况下，电磁场是一个耐高温的“搅拌”工具，可以在不接触的情况下给予金属熔液一个力，使各组成元素均匀分布从而使铸造的材料性能优异。而传统机械搅拌，一方面适用于高温使用的“搅拌棒”难以寻得，另一方面，金属液中“搅拌棒”的浸入带来了引入新的夹杂物风险。

对于电磁冶金技术的适用领域以及发展前景，王江更是颇为看好：“电磁冶金给高品质金属材料的制备控制提供了一种新的解决方案，传统的铸造方法遇到瓶颈之后，有望通过电磁场控制技术予以解决。”

王江特意提到了飞机发动机部件——主轴轴承，其工作环境十分“严苛”，王江引用一位剑桥老专家形象的类比：要感受一个轴承滚珠的“经历”，就请想象一下拳王泰森每秒在我们脸上狂打十万次的感受。这一严酷的使役环境对制造轴承所用的材料提出了几近严苛的要求，而飞机发动机轴承又是其至关重要的部件，更需要所选用材精益求精。有专家曾言“飞机是建在发动机上的，发动机上是建在轴承上的”，可见飞机发动机主轴轴承的关键。遗憾的是目前我国还无法制造此类轴承以及其所需要的高品质钢铁材料。王江指出，国外正是在生产此类高端轴承钢材料时电磁搅拌是必选凝固组织优化手段。王江表示，与电磁冶金技术密切相关的理论基础是磁流体力学，属于流体力学的一个重要分支，最早诞生在英国剑桥大学，因此对于电磁冶金的理论基础方面，我们国家跟积累深厚的几个欧洲发达国家相比还有一定差距。

> *王江正是通过这一手段“看到”了电磁场下金属凝固过程中的电热磁效应，这是世界上首给出电磁场控制金属凝固过程中存在热电磁效应‘看的见’的证据。*

幸运的是，我国在上个世纪80年代末90年代初开始从事电磁冶金相关研究，从90年代开始，尤其到了2000年之后，我国的电磁冶金技术便获得了蓬勃发展。王江自信地向记者说道：“到现在为止，我可以拍着胸脯说，我国在电磁冶金的应用基础研究及其应用方面已经是世界领先的、一流的。”

在世界上首次给出了电磁场控制金属凝固过程中存在热电磁效应“看得见”的证据

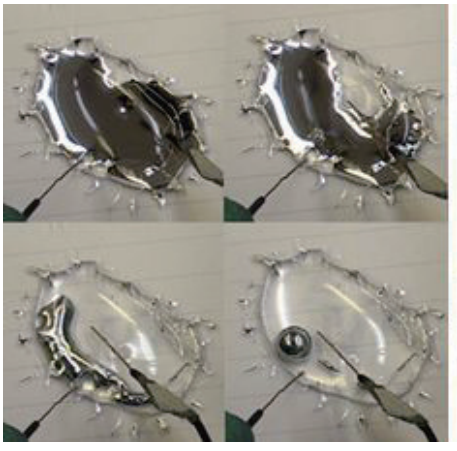
据王江介绍，金属凝固过程中多尺度下均存在热电磁效应（在磁场下金属凝固过程中，固/液界面处的热电流和外加磁场相互作用将会产生同时作用于固、液两相的洛伦兹力，我们称其为热电磁力）是我国首先发现的。以前，对于稳恒静磁场一直有一个这样的认识：稳恒静磁场对于金属熔体的流动来说只有抑制效应，然而在热电磁效应里面发现，在一定的磁场条件，稳恒静磁场还可以在金属熔体中促发新的流动，亦即热电磁流动。

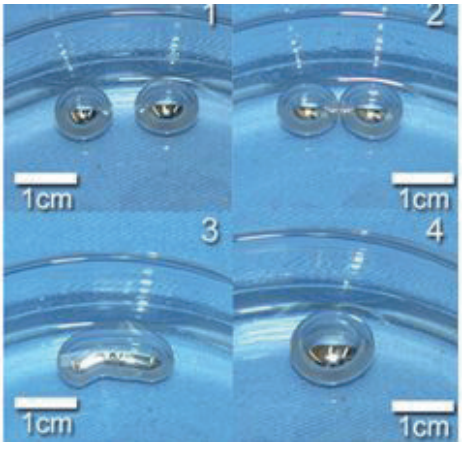
但是因为金属熔体温度高而不透明，很难直接观察到在其凝固过程中到底发生了什么，只能当它凝固之后，通过传统的金相、扫描等方法对凝固组织观察分析，进而从其端倪中推测出磁场下金属凝固过程中存在热电磁效应，但是一直没有“看得见”的证实。

从2005年之后，随着同步辐射光源等大科学装置在世界范围内相继建成，给直接观察金属凝固过程提供了可能。王江正是通过这一手段“看到”了电磁场下金属凝固过程中的电热磁效应，这是世界上首给出电磁场控制金属凝固过程中存在热电磁效应“看得见”的证据。这一成果使得稳恒静磁场对于金属熔体流动的促进效应得以揭示，进而为人们充分利用外加电磁场进行金属凝固控制提供了理论依据。

回国之后，电磁场控制金属增材制造（3D打印）成为王江的主攻方向。王江介绍道：“目前对于大多数3D打印合金构件来说，其凝固过程手段有限，这是因为对于大多数金属3D打印而言，其加工本质即为微小熔池的快速凝固过程。这个加工过程非常快而且可调参数非常小、可调范围非常少。电磁场控制有望为金属3D打印过程的组织调控提供新的可能”

目前世界上还未见静磁场对金属3D打印中凝固过程影响的研究，王江在这个领域属于“开创者”。他已经验证在金属3D打印中微小熔池快达10-5秒的凝固时间里，1T以下的静磁场具有对最终成型构件的凝固组织晶粒进一





步细化以及晶粒取向重排等作用。

正是由于首次给出了电磁场控制金属凝固过程中存在热电磁效应“看得见”的证据及其长期深耕于电磁冶金的相关研究，王江成为2016年度LIMTECH青年科学家奖的获得者，也是该奖设立后首次获奖的华人科学家。据了解，这一奖项的设立意在表彰在电磁冶金、电磁流体力学应用领域取得杰出成果的青年科学家（40岁以下），每年通过电磁冶金国际科学委员会委员专家提名选取一名获奖者。王江表示，这一奖项的获得，对他自己来说是一种鼓励和肯定，更加坚定了自己在电磁冶金方面研究的信心。

探秘科研真相的“侦探”

2015年9月，王江获得上海市“青年东方学者”人才计划，受聘上海大学副教授后回国工作。2004年到2010年王江在上海大学完成了本科和硕士课程，据王江介绍，在上海大学求学期间，导师任忠鸣教授和钟云波研究员对他非常好，给予了他很多科研和生活上的有益指导，他非常感激。如今选择回到母校，“母校情节”起了很大一部分作用。当然，就电磁冶金研究而言，上海大学材料科学与工程学院任忠鸣教授团队具有世界级声誉，具备这一领域研究的世界一流工作条件，这也是选择回到这里工作的又一大原因。另外，相较于西方发达国家，我国目前的科学研究重视程度高、投入大，做研究的行动力也非常强，国内的研究土壤更适合自己发挥作用。

回国之后，王江的角色由单纯的研究者转变为研究者兼老师，如何更好地培养学生成为德才兼备的人，也是是他现在时常思考的另一大问题。他表示自己喜欢和学生聊天，通过推心置腹地把自己生活、学习、工作、研究中的感受与学生交流，和学生在工作思路或研究方法上达成共识之后，再一起共同努力把事情做好。

生活中的王江喜欢看电影和旅游。在众多的电影中，他更加偏爱励志影片和灾难片。《一球成名》就是让他记忆深刻的一部励志片，片中讲述拉丁裔青年桑蒂亚哥凭借足球天赋和不懈努力，在英超纽卡斯尔联队成长为超级球星的故事，影片中表现的奋斗精神让王江颇为感动。灾难片中的主人公由于亲情、爱情的支撑继而战胜天灾人祸的故事同样让王江深受感动。对于旅游，王江笑称自己是“来者不拒”，哪里都想去。因为父亲工作性质的缘故小时候的王江经常“随父出征”，全国各地的跑业务，这可能是他喜欢上旅游的原因。而成家之后，他的爱人也有这个爱好，两人便“臭味相投”，一起读万卷书，行万里路。

王江在谈起自己的科研之路时，总免不了提起他的父亲母亲，“他们让好好学习，我就好好学习，他们说读博就读博了。”“我们80后都比较听话，我们的父母是五、六十年代的人，他们当时所受的教育就是好好学习为祖国做贡献，他们的思想一定会带到教育我们上来。这是我走向科研道路的一个客观成因。但真正喜欢上科研工作，还是导师恰如其分的引导以及我自己对各类未知都充满好奇的结果。科研工作让我自己好像是一个侦探在探索未知世界，而发现新事物、发现新规律，会让我很兴奋，很有成就感。”

“五加二、白加黑”（工作日5天加周末两天，每天都是白天加黑夜）都是王江的工作时间。谈起对其他即将选择科研工作的青年人的忠告，王江表示，实际上做科研还是比较辛苦的，薪资顶多也就是一个平均水平，时刻还在接受着各种挑战，如果选择了做科研工作就请做好吃苦的准备，当然，“发现宝藏”的快乐也时刻在等着你。

（编辑/李艳琴）