

中国搅拌摩擦焊中心，致力于铝合金搅拌摩擦焊技术在中国的发展和工程化，以先进的技术、产品和装备促进了搅拌摩擦焊技术在航空、航天、轨道、船舶等工业领域的产业化应用，创造了可观的社会和经济效益，推动了中国先进焊接技术进步与发展。

搅拌摩擦焊技术在中国的发展



栾国红 研究员
中国搅拌摩擦焊中心

栾国红，研究员，毕业于西北工业大学，加拿大多伦多大学访问学者，加入中国航空学会、中国机械工程学会焊接学会，现任中航工业北京航空制造工程研究所研究员、中国搅拌摩擦焊中心主任、搅拌摩擦焊技术专家及北京赛福斯特技术有限公司总经理。先后承担了总装、国防预研、科技部重大专项、航空基金等课题20多项，取得了10项技术专利，获得6项科学技术进步奖，参加著书3本，发表专业技术论文60余篇，英文论文10篇。他在搅拌摩擦焊技术机理、工艺、设备系统等方面获得了创新性的进展，大力推动中国搅拌摩擦焊技术的研究和发展，促进了搅拌摩擦焊技术在中国航天、航空、列车和舰船等工程方面应用，提升了中国焊接技术的水平。

1991年，一种“革命性”的新型焊接技术——“**搅拌摩擦焊—Friction Stir Welding**”诞生于英国焊接研究所（TWI）。这种焊接技术从根本上解决了轻合金材料的焊接方法问题，实现了铝、镁、钛等轻质合金材料的高效、优质、绿色、小变形的固相（非熔化）连接。尽管搅拌摩擦焊在世界范围内得到了知识产权保护，但是基于这种技术在低熔点轻金属材料连接领域的诸多优点，在近十多年的时间内得到了深入的研究和快速发展，在诸多工业领域得到工程化应用，成为新世纪最先进焊接技术。

2002年4月18日，中航工业北京航空制造工程研究所（中航工业625所）和英国焊接研究所在北京共同签署搅拌摩擦焊专利许可和合作协议，并且在技术合作基础上共同成立了中国地区搅拌摩擦焊技术发展和应用推广中心——**中国搅拌摩擦焊中心**。“中国搅拌摩擦焊中心”是英国焊接研究所在中国地区（包括香港、澳门和台湾）唯一授权的搅拌摩擦焊技术合作伙伴。中国搅拌摩擦焊中心主要负责搅拌摩擦焊技术在中国地区的技术开发、工程应用以及搅拌摩擦焊设备的研发、制造及销售；同时还全权代表英国焊接研究所在中国地区发授和管理搅拌摩擦焊专利许可，并负责中国市场搅拌摩擦焊技术的应用和监督。

中国搅拌摩擦焊中心的成立是中航工业北京航空制造工程研究所和英国焊接研究所在搅拌摩擦焊技术方面全面合作、共同发展的开端，也标志着搅拌摩擦焊技术在中国的启动和发展的开始，是中国焊接技术发展史上新的里程碑。

同年，中航工业制造所顺应市场化发展潮流，提出“小核心、大产业”发展战略，在依托中国搅拌摩擦焊中心的引进技术和促进搅拌摩擦焊技术在中国再发展的同时，积极寻求搅拌摩擦焊技术在制造工业市场的工程化应用机会，并投资成立了中国第一家专业化的搅拌摩擦焊技术公司——“北京赛福斯特技术有限公司”，以期通过建立市场化的运营平台推进搅拌摩擦焊技术在中国的产业化发展。

作为中国地区搅拌摩擦焊技术工程化、工业化以及产业

化的积极推动者，北京赛福斯特技术有限公司是中航工业先进专业技术产业化发展的先锋和探索，其业务涉及整个搅拌摩擦焊技术相关产业链，为中国客户提供“交钥匙”工程和服务，直接降低了搅拌摩擦焊技术的应用于工业产品领域的难度和缩短了该技术应用于工业产品的周期，加速搅拌摩擦焊技术工程化、工业化和产业化发展进程。公司技术相关产业链具体包括：搅拌摩擦焊技术的研究、搅拌摩擦焊技术专利发授与管理；搅拌摩擦焊技术培训与技术服务；搅拌摩擦焊专业设备开发定制；搅拌摩擦焊产品加工；搅拌摩擦焊检测服务及检测产品代理；搅拌摩擦焊工具的研发和销售。

北京赛福斯特技术有限公司自2003年起就被认定为北京市高新技术企业。迄今，公司始终将人才优势定为公司持续快速发展的战略优势，在致力于技术创新研发的同时更加注重高级人才的培养，始终把人才培养作为企业发展的第一要务，在适合公司市场化发展需要方面，积极探索人才队伍建设的新途径，已经建成了以中国工程科学院著名焊接专家关桥院士为首席专家的一支技术精湛的专业化的搅拌摩擦焊技术团队，其中包括研究员2名、高级工程师5人、博士3人、硕士16人，本科生28人，全面开展搅拌摩擦焊技术研究和研发，为众多中国企业客户提供技术、工程化、产品、设备、质量、标准等系列化服务和全套解决技术方案。

科研技术开发是企业的核心能力所在，**技术创新**是企业保持持久生命力和持续发展的关键。在中国，以北京赛福斯特技术有限公司为核心的研究团队，十分重视搅拌摩擦焊基础技术的创新性发展。在科研方面，目前承担和完成了国防预研、总装预研、科技部863项目、总装973等多项国家级搅拌摩擦焊技术研究课题。同时，搅拌摩擦焊技术发展特别重视“产、学、研”合作，通过联合研究、发布搅拌摩擦焊研究许可和课题等形式支持多个国内知名院校（如：哈工大、西工大、清华、北航、沈航、江苏科大等）、研究机构（金属所）开展搅拌摩擦焊的基础技术研究，为搅拌摩擦焊技术发展注入不竭动力，使中国搅拌摩擦焊技术的发展能够与国家级型号和重大项目需求相一致，保持搅拌摩擦焊技术的新颖性、先进性和创新性发展能力。并且利用型号产品搅拌摩擦焊技术工程化应用契机，投资5200多万元技改经费以及2500多万自有资金，建立了拥有14台各型搅拌摩擦焊设备的中国最先进的搅拌摩擦焊技术发展中心。

从此，搅拌摩擦焊技术在世界东方制造大国——中国，拉开了发展的序幕，步入了工程化和工业化应用的历程，直接将

搅拌摩擦焊技术从实验室推广至中国尖端工业制造领域，在较短的时间内由一页专利许可发展为拥有十八项专利、两项技术标准以及9项科技成果的自主知识产权的先进的新型焊接技术，促进了中国制造工业焊接技术水平的提高。

自2003年以来，在中国搅拌摩擦焊技术中心为旗帜的指引下，北京赛福斯特技术有限公司自主设计开发了60多套专业化搅拌摩擦焊设备系统，填补了国内尖端大型自动化焊接装备的空白，满足航天、船舶、电力电子、兵器等工业需求。目前，赛福斯特公司正在针对搅拌摩擦焊在航天大直径运载火箭筒体结构、大型军用运输飞机机身结构、货舱地板结构、新一代战斗机舱体和机翼结构的搅拌摩擦焊制造等方面展开全面的技术研究和工程攻关。随着我国搅拌摩擦焊技术的研究开发、工程化水平和设备制造的快速发展，该技术在国家级航空航天重大项目中的工程化应用会越来越突出和越重要。

2011年1月11日随着我国新一代战斗机J20飞机成功试飞，其中搅拌摩擦焊制造的驾驶舱机身左右口盖壁板等轻质高效结构经受住了工程化应用的考验，为现代飞机制造通过“以焊代铆”实现飞机整体化制造提供了新的技术和途径，同时也标志着搅拌摩擦焊技术在中国正式得到发展和腾飞。图1为中国首次采用搅拌摩擦焊接结构研制的新一代战斗机（J20）。



图1 首次采用搅拌摩擦焊接结构的中国新一代战斗机（J20）

在航天制造领域，搅拌摩擦焊技术在空间运载工具和导弹类产品的生产装配、制造成本、重量和质量中同样具有诸多的优越性；近几年，在中国搅拌摩擦焊中心的大力宣传推广努力下，搅拌摩擦焊在中国航天制造领域也得到了普遍的认同和接受，并且逐渐取代传统的熔焊工艺，成为航天产品的主导连接技术。截至2011年3月，赛福斯特公司已针对

航天工业需求，开发了六个系列16台套大型搅拌摩擦焊设备系统，包括运载火箭燃料贮箱筒体纵缝搅拌摩擦焊设备，运载火箭燃料贮箱箱底搅拌摩擦焊设备、运载火箭燃料贮箱环缝对接搅拌摩擦焊设备、大厚度导弹筒体结构件搅拌摩擦焊设备、导弹筒体搅拌摩擦焊系统等；筒体直径范围包括300~5000mm，结构厚度3~40mm，设备用户包括三江航天集团红阳机械厂、南京晨光集团、上海航天设备制造总厂、上海航天精密机械研究所、首都航天机械公司、航天科工集团二院总装调部等，为航天客户提供了系统的搅拌摩擦焊工艺技术、装备和质量控制解决方案，直接促进中国航天企业焊接技术的更新换代。

另外，针对市场化工业产品加工需求，中航制造所北京赛福斯特技术有限公司在掌握搅拌摩擦焊核心技术同时，积极建立搅拌摩擦焊工程化示范生产线，利用自主研发相关成套焊接生产设备，先后建立铝合金船舶壁板、电子/电力散热产品以特种大规格型材结构搅拌摩擦焊等3条搅拌摩擦焊产品生产线，为铝合金等金属材料焊接提供了完美的技术解决方案。图2为中国搅拌摩擦焊中心2010年12月研制成功的中国最大的34m长的大型数控动龙门搅拌摩擦焊设备。该设备集成了A/B摆角、恒压力柔性焊接、激光自动焊缝跟踪等先进搅拌摩擦焊工艺控制技术，有效焊接长度达到28m，是目前我国尺寸结构最大的最先进的搅拌摩擦焊设备。图2中还示出了中国搅拌摩擦焊中心利用该大型搅拌摩擦焊设备为轨道交通行业长春客车厂研制的中国最大的长25m的高速列车铝合金中空车体壁板产品。

从2002年取得TWI搅拌摩擦焊专利许可开始发展搅拌摩擦焊技术至今，搅拌摩擦焊技术在中国已经取得质的飞跃，其中该技术在各个工业制造领域的工程化应用和发展典型表现如下：

●**航天工业：**实现了航天工业高强铝合金可靠连接，成为中国大型运载火箭燃料贮箱关键制造技术；实现了不同直径铝合金导弹筒体的低成本、高效率制造，并应用于众多导

弹型号产品；

●**船舶工业：**实现了大型铝合金船舶壁板的批量化制造，已经应用于中国最先进的022双翼穿浪铝合金导弹快艇、护卫舰和救护船的制造，累计生产1200多吨；

●**电子工业：**成功应用于复杂液冷介质高效率雷达散热器冷板等部件及大厚度雷达相控阵铝合金基板的制造；并且还手机蜂窝基站散热器和LED节能照明产品中得到工业化应用；

●**轨道交通工业：**已经在南车公司地铁、出口型轻轨车辆以及新型高速(>350km/h)铝合金列车车体制造中得到批量化焊接生产应用，已经成为中国下一代铝合金高速动车主导连接技术；

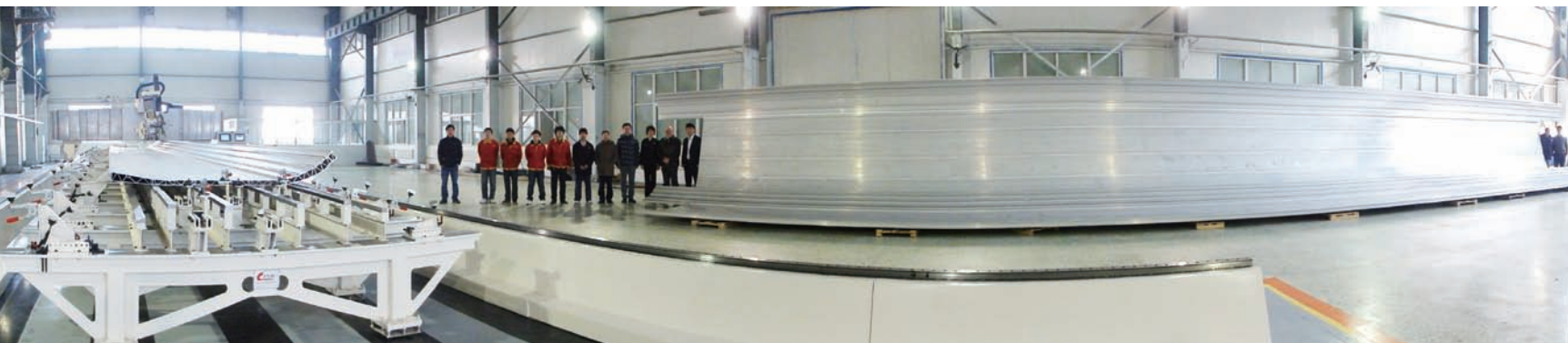
●**航空工业：**已经在中国新一代战斗机(J20)机身结构和国产新型大型军用运输机货舱地板和斜台中得到应用，实现了飞机承载部件的加强及减重，为飞机制造提供了新的连接方法和手段；

●**汽车工业：**已经在铝合金汽车轮毂、空调压缩机芯轴、铝合金车体结构等方面得到应用，并且正在全铝合金车体和新型电动汽车中得到应用探索。

综上所述，尽管搅拌摩擦焊技术在中国发展时间短，但在各个制造行业应用已经起步。但是，我们必须认识到越是基本的制造方法对制造业的影响面越大、持续时间越长、作用力越强。搅拌摩擦焊作为一种基本的轻合金连接新方法，会对现代制造工业领域产生的革命性的影响。但是要把这种连接新方法在中国得到深入的发展和广泛的应用，使之转化为生产力，我们还需要以科学发展观来引领和推动搅拌摩擦焊在中国的发展。

第一，搅拌摩擦焊的发展要适应中国国情，把握技术内在发展趋势，在尊重搅拌摩擦焊发明专利知识产权的基础上，加强基础技术的探索性研究，加强专业化技术人才的培养。搅拌摩擦焊在世界舞台上亮相已经有近18年的时间，并且逐渐由方法研究、机理探索、工程化开发等阶段进入工

图2 中国搅拌摩擦焊中心研制的长34米的大型数控动龙门搅拌摩擦焊设备以及利用该设备焊接的长25米的铝合金高速列车车体壁板



业化应用阶段；但是搅拌摩擦焊登陆中国仅仅才有8年的时间，现阶段我国制造业对搅拌摩擦焊技术需求强烈，但是能够支持搅拌摩擦焊在国家级重大工程项目中应用的性能数据、技术条件、标准、装备和人才极其缺乏。尽管中航工业625所中国搅拌摩擦焊中心（北京赛福斯特技术有限公司）一枝独秀，在搅拌摩擦焊技术的研究、工程化开发、装备制造等方面全面发展，但是毕竟在资金、人力、研究条件等方面资源有限。面对一项革命性的技术，还需要发挥国家和社会的力量，鼓励和支持国内科研院所一起参与搅拌摩擦焊基础技术和方法研究，促进搅拌摩擦焊基础技术了解和掌握，并且培养出一一定数量的专业化的研究人员和工程技术人员。

第二，搅拌摩擦焊的发展要加强核心技术的创新性发展。搅拌摩擦焊是一种多学科集成的新技术，涉及到摩擦学、材料学、工程学、金属冶金、塑性加工和焊接等基础科学和工程科学。搅拌摩擦焊作为一种多学科交汇的新方法，可以发展出纵缝焊、环缝焊、无钥孔焊接、变截面焊接、自支撑双面焊接、空间3D曲线焊、搅拌摩擦点焊、回填式点焊、搅拌摩擦焊表面改性处理、搅拌摩擦焊超塑性材料加工等多种连接和加工方法和技术。这些新方法的发明和发展都需要研究人员和技术人员具有创新性的突破式的思维和观念。在未来近20年的时间内，国家提出中国建立创新性国家的发展战略，但是一个国家和名族的创新性不仅仅表现在几个标志性的重大工程上，如大飞机项目、新一代运载火箭项目、探月工程等，更重要的体现在原创性方法的发明和创造。中国搅拌摩擦焊中心肩负着引领搅拌摩擦焊技术在中国的发展的责任，就一定要重视搅拌摩擦焊核心技术的开发和研究，加大新技术的研发和创新。

第三，搅拌摩擦焊的发展要重视搅拌摩擦焊装备的发展。装备是技术的载体。装备是技术实现其价值和转化为生产力的手段和途径。要利用新的技术提升产品的质量、生产效率就必须研发和制造先进的装备。在中国搅拌摩擦焊中心，搅拌摩擦焊技术的研究和搅拌摩擦焊设备的开发一直以来得到重视，并且齐头并进、共同发展。依靠北京航空制造工程研究所50年在中国航空航天工业领域制造技术和装备的技术积累和底蕴，中国搅拌摩擦焊中心有信心为中国企业提供先进可靠的搅拌摩擦焊装备。迄今已经开发成功适用于不同工业领域的龙门式、悬臂式、台式、卧式等多个系列的搅拌摩擦焊专用设备，具有先进、数控、柔性、可靠等特点。在装备方面，中国搅拌摩擦焊中心还针对搅拌摩擦焊

的民用工业领域推广，研发了低成本的通用型搅拌摩擦焊设备，针对船舶、列车研制了宽幅型材壁板搅拌摩擦焊设备，针对汽车工业正在开发机器人搅拌摩擦焊设备等。

第四，搅拌摩擦焊的发展要以市场为引导，以国家重大项目为突破口，广开合作之门，联合国内外优势科研院所，全面实现搅拌摩擦焊技术的工程化应用。经过近几年的工程化开发，中国搅拌摩擦焊技术日渐成熟，对该技术的宣传和认识也越来越深，能够在国家级的重大项目中得到工程化应用是搅拌摩擦焊技术标志性的发展。中国搅拌摩擦焊中心与国内的科研院所，尤其是设计院和主机厂紧密合作，参与了国家大飞机项目、新型导弹武器项目、新一代运载火箭项目、新型舰艇项目技术开发和部分装机零部件研制任务。这些重大项目的需求牵引，提升了搅拌摩擦焊技术水平，推进了搅拌摩擦焊技术的工程化发展历程。

第五，搅拌摩擦焊的发展要以批量化生产制造为手段，以产业化和工业化为目标，结合鼓励性政策支持，全力推进搅拌摩擦焊在轻合金材料连接领域的应用，提升我国铝、镁、铜、钛合金等金属材料的制造技术水平和质量。作为制造大国，我们对铝、镁、铜、钛等轻合金材料需求旺盛，搅拌摩擦焊作为针对这些轻合金材料最先进的连接技术，可以提升产品质量和生产效率，降低制造成本和能源消耗，属于绿色、环保和宜人化的制造技术。但是搅拌摩擦焊设备的成本较高，在2015年以前使用该技术进行工业产品制造又受到专利许可的限制，这些因素制约了搅拌摩擦焊技术在中国的推广和应用，需要国家针对搅拌摩擦焊这样涉及面广的先进制造技术制定相关鼓励性政策，如给与贷款和财政补贴等，支持中小工业企业应用搅拌摩擦焊技术进行产品制造。同时，中国搅拌摩擦焊中心也在积极的推动搅拌摩擦焊在中国的推广应用，制定了在中国范围内根据区域发展特点，建立数个区域性的搅拌摩擦焊工业产品制造中心的发展策略。这可以解决专利、资金、运输等问题，促进该技术在国家产业结构调整和优化过程中的大发展。

总之，搅拌摩擦焊技术已经来到我们面前，并且逐渐应用于工业企业的生产制造和融入我们的生活。我们应该把握技术的发展趋势，具有预见性，看到搅拌摩擦焊这项技术的前景，用科学发展观推动和引领这项技术在中国的发展，缩短我国和先进西方国家在制造技术上的差别。

中国要成为制造强国，要发展成为创新性国家，在中国搅拌摩擦焊技术发展的晨曦中我们看到了希望的光芒。