

大力发展有色金属材料高新技术产业

To Devote Major Efforts to Developing High and New Technical Industries of Nonferrous Metal Materials

黄伯云

(中南工业大学, 校长、教授 长沙 410083)

有色金属材料主要是指除钢铁以外的金属材料,包括铝、铜、铅、锌、镍、镁、锡、锑等常用有色金属和金、银、铂、铑等贵金属,钨、钼、钽、铌、钛等稀有金属,以及稀土金属等。近年来,发达国家一方面采用新技术、新工艺,设法提高传统的有色金属材料的使用性能,另一方面则大力开发有色金属新材料,形成了一大批有色金属材料高新技术产业。据估计,到2000年,美国的新材料市场营业额将达到1550亿美元,日本的新金属材料市场营业额将达到21800亿日元。在这个巨大的市场中,有色金属材料占有相当大的份额。为了赶超世界先进水平,早在1986年,我国就将新材料列入了863高技术计划7个重点发展领域之一。近十几年来,取得了很大的进展,特别是在有色金属高技术新材料的研究开发方面,涌现了一大批具有广阔市场前景的高水平研究成果和产品。同时,经过几十年的不懈努力,特别是近几年的高速发展,我国有色金属材料工业已经形成了具有一定规模的完整工业体系。最近几年,我国有色金属材料的总产量在全世界的排位几乎一年上一个台阶,1990年居世界第六位,1993年上升至第四位,至1995年,已成为居世界第二位(仅次于美国)的有色金属大国,总产量已达到500多万吨,其中钨、稀土金属等居世界第一位。随着国民经济的快速发展和现代尖端科学技术发展的迫切要求,有色金属材料在国民经济中正发挥着越来越重要的作用,尤其是一批高新技术产业的形成,将大大优化我国有色金属工业的产品结构,大幅度地提高产品的经济效益,促进有色金属工业迈向更加广阔的市场。

一、有色金属新材料在高技术产业中的巨大市场及其重要作用

铝及铝合金的产量和消费量居有色金属的首位,几乎所有的工业部门都要用到铝材,尤其是对新型铝材和铝合金的需求量将大幅度地增长。航空

航天工业、汽车工业及其它民用工业为各种高新技术铝材产品提供了巨大的市场。在航空工业中,高性能铝合金一直是飞机(包括军用和民用)的主要结构材料,一般占其重量比的50~80%。在可以预见的未来,铝合金仍将是飞机的主要结构材料。一方面,传统合金经过改进,其性能大大提高(如高强度铝合金2224、7475等),继续在航空工业市场中占有一席之地;另一方面,近年来研究开发的Al-Li合金、快速凝固耐热铝合金等一批新型铝合金,以及铝基复合材料等,也将成为新型飞机结构材料,用作飞机油箱、筋板和结构框架等部件。因此,高性能铝合金在航空工业市场中仍将占有重要地位。在航天工业中,火箭和航天器的外壳、外罩、燃料箱等都是用铝合金制造的。在汽车工业中,汽车轻量化将是汽车工业的发展方向,而汽车轻量化的趋势是铝化。汽车的油箱、轮毂、发动机、传动装置、散热器、空调器、车身、车门、底盘等,都可采用铝合金制造,美国和日本均已试制出了性能良好的全铝试验车。目前,发达国家轿车用铝量已达到135公斤/辆,我国轿车最高用铝量仅为55公斤/辆,两者的差距很大。我国已将汽车工业列为今后重点发展的支柱产业之一。因此,汽车工业将成为高性能铝合金又一个巨大的市场。

铜及铜合金材料的用量居铝之后,列有色金属材料的第二位,加上一大批高精度高性能的新型铜材及铝合金产品的开发,进一步巩固了铜材在各个工业市场中的地位。如超薄汽车水箱铜带、高质量电解铜箔、高散热性能空调管、电力工业用的超长冷凝管等。据预计,到本世纪末,我国对汽车水箱铜带的需求量将达到53000吨,其中超薄带24000吨。而目前我国的水箱铜带总生产能力约为20000吨,其中薄带只有2000吨左右,大部分高性能的超薄水箱铜带材需要从国外进口。因此,这类高技术铜带材产品将供不应求,市场营业额非常可观。电解铜箔是电子工业的基础材料之一,目前每年对电解铜箔的需求量在6000吨以上。预计到2000年,

对电解铜箔,尤其是高档电解铜箔(厚度 ≤ 0.018 毫米)的需求量将超过 20 000 吨。我国现有电解铜箔的生产能力只有 4000 吨左右,特别是高档电解铜箔国内还不能批量生产。因而,我国电子工业的发展将为电解铜箔的应用开辟广阔的市场。

钛兼有钢、不锈钢、铝等结构材料的许多优良特性,被称为“全能的金属”。高性能钛合金一直被广泛应用于空中、陆地、海洋等许多现代尖端科技领域,并正在开拓更多的民用工业市场。在航天工业中,钛具有其它材料不可替代的作用,航天器中的高压气瓶、高强螺栓、燃料贮箱、燃料导管、支撑架等部件都是用先进的钛合金制造的。在航空工业中,钛合金的用量已成为飞机先进程度的标志之一。飞机越先进,钛合金的用量越大,而且正以每年 57% 的速度增长。以波音飞机为例,钛合金在波音 747 型飞机上的重量比为 2.5%;在 757 型飞机上的重量比增加到 5.5%;1994 年,钛合金在波音 777 型飞机上的重量比已达到 8% 以上。先进的军用飞机上的用钛量则高达 40% 以上。近年来,由于以钛制高尔夫球头为代表的高档体育用品的兴起,民用市场对钛合金的需求量出现了显著的增长。1996 年,仅美国高尔夫球头的用钛量就超过了 2 000 吨。此外,汽车工业的发展,也将为先进钛合金提供一个广阔的市场,钛合金可以用来制备汽车排气阀、阀座、连杆、弹簧等汽车零部件。据估计,只要北美地区 10% 的轿车采用钛合金弹簧,每年的用钛量就将超过 10 000 吨。

在能源工业市场中,镍氢电池作为一种新兴的化学电源,其生产应用水平已成为反映一个国家科学技术水平高低的标志之一。新型镍材料是发展这类新型电池的重要原料。在这种新型电池中,所需要的镍材料包括贮氢合金(镍—稀土化合物)、泡沫镍、镍粉、穿孔镀镍钢带、活性氢氧化亚镍等。随着新型电池市场的不断扩大,对新型镍材料及镍合金的需求量必将急剧增长。据报道,日本 1993 年用于生产镍镉电池和镍氢电池的镍粉为 5 479 吨,1995 年电池用镍量接近 10 000 吨。预计今后若干年,日本电池生产对镍的需求量将继续大幅度地增长。我国目前镍镉电池和镍氢电池的生产均已起步,预计到 2000 年,我国电池用新型镍材将达到 10 000~15 000 万吨,成为国内镍消费的主要行业之一。此外,镍基(或铁镍基)高温合金,一直是制造喷气发动机的关键材料,现代喷气发动机的许多关键部位,如导向叶片、涡轮盘、涡轮叶片、燃烧室等都是采用高温镍合金制造的。随着喷气发动机的工作温度和性能的提高,新型高温镍基合金在航空工业市场中也将占有重要地位。

二、我国有色金属现代高新技术开发现状

现代航空航天和其它尖端科学技术的发展,对有色金属材料的性能提出了一系列全新的要求,并推动了我国一大批有色金属高新技术和产品的研究与开发。60 年代以来,中南工业大学研制的高性能高比重(比重达 17.5~18.5 克/厘米³)钨基合金,为我国的远程运载火箭和通讯卫星的成功发射做出了重要贡献,至今仍然是航空航天及船舶工业不可缺少的重要材料。70 年代以来,该校又采用先进的粉末冶金技术,先后成功地开发出了一系列航空制动材料,解决了三叉戟、Ty-154 及波音 737 等机型刹车盘的国产化问题,而且, Ty-154 机型刹车盘具有比国外进口产品更优越的性能,不仅完全满足了国内市场需求,而且向原进口国家大批量出口。

近几年来,国内集中力量对快冷 Al-Li 合金进行了大量研究,包括合金熔铸、粉末冶金、管棒材挤压、板材轧制、超塑成形、精密锻造等,现已能生产 6 吨重的 Al-Li 合金铸锭,这种合金的铸锭冶金正在走向产业化。这种新材料具有质量轻、比强度高等优点,将首先被应用于航空航天工业,然后进入更广阔的民用市场。快速凝固耐热铝合金的开发也已取得了长足进展,即将用作发动机气缸和活塞等部件;此外,高阻尼铝合金、高性能电容器铝箔、磁盘基板材料等新型功能材料及铝基复合材料的研制也已进入实用化阶段。在磁性材料方面,以北京矿冶研究总院为龙头,形成了具有一定规模的磁性材料产业集团。1997 年,该院仅高性能铁氧体磁性材料的年产值就达到 1.8 亿元。北京有色金属研究总院建立了半导体材料高新技术产业,1997 年,单晶硅的产量突破了 150 吨,尤以大尺寸单晶硅的批量投产,进一步开拓了国内外高性能半导体材料市场。西北有色金属研究院研究开发的各种先进钛合金材料及产品,在国内外享有高的声誉。此外,特殊黄铜弹性材料、铜基形状记忆合金及阻尼铜合金等也已进入市场。在高精度加工有色金属材料的产业化方面,高性能特薄铝板(罐用铝板、PS 版基、防盗盖板)、铝箔(最小厚度 0.007 毫米,针孔率可达 100 个/米² 以下)及铝锻压件的生产已达到了一定的规模;超薄汽车水箱铜带(< 0.05 毫米)、电解铜箔、高性能空调用铜管等已开始面世。

值得注意的是,在现有有色金属高新技术科研成果的基础上,一批新的高新技术产业正在陆续形成,如无石棉汽车制动材料、高性能航空制动材料和 ITO 靶材等,均将在未来的几年内形成规模巨大的高新技术产业。以无石棉汽车制动材料为例,据

估计,到 2000 年我国这类材料的市场总需求量将超过 20 亿元。中南工业大学已研制出各种高档轿车的无石棉制动片,产品质量达到了世界先进水平,并已建成年产 80 万片的中试基地。在不久的将来,通过工程化集成,将建立轿车、轻型车、重型车用系列无石棉制动材料高新技术产业。

三、我国有色金属材料高新技术产业化过程中的难点问题及其对策

虽然我国已成为有色金属产量大国,但在新材料的种类、制备技术和装备方面,与发达国家还存在较大的差距,还不是技术强国。而且,在有色金属高新技术的研究与开发方面,还存在一些比较突出的问题。这些问题既影响了高新技术产业化的发展,又不利于提高我国有色金属工业的整体技术水平。

首先,不少有色金属企业缺少有市场竞争力的高新技术拳头产品,许多产品的技术含量不高,从而制约了有色金属高新技术产品市场的形成和发展。长期以来,企业往往忽视了高技术新工艺和新产品的研究与开发,同时又不注意对生产设备的更新和改造,致使许多技术和设备仍然停留在 60、70 年代,甚至 50 年代的水平。为了改变这种落后局面,近年来,许多有色金属大、中型企业从国外引进了一些先进的设备。然而,由于一些企业只重视引进设备,而不重视引进与之相配套的相关技术软件,所以,既严重影响了对新工艺的吸收、消化和二次创新,又使一些先进设备不能充分发挥潜力,生产高质量产品。这样,不仅耗费了大量宝贵的资金,而且不能从根本上改变我国有色金属产品的结构,高性能、高精度产品仍然不得不从国外大量进口。

第二,我国有色金属企业的生产规模太小、力量分散,缺乏大型的高技术产业集团,不能形成规模经济效益,致使产品的成本太高,大大降低了有色金属高科技含量产品在市场上的吸引力。以铜加工企业为例,全国这类企业达 500 多家,平均年产量不到 1 000 吨,年产量在 5 000~10 000 吨之间的企业只有 9 家。而发达国家铜板带企业最小规模年产量为 60 000 吨,铜管厂最小规模年产量为 10 000 吨。又比如,全国铝加工企业已达 1 300 余家,设备利用率不到 50%,而发达国家的铝加工业主要由少数几家大型铝业集团所控制。我国有色金属企业这样分散的生产规模,无法发挥规模经济效益,因而产品的“高性能”和“低成本”问题都难以解决,特别是一些国有企业在方面的问题更加严重,常常陷入搞低档产品搞不过“老乡”(乡镇企业),搞高档产品搞不过“老外”(外国企业)的两难境地。

第三,我国的有色金属高新技术研究及其产业

化严重缺乏资金,也制约了高新技术的发展。高新技术产业是高投入、高产出、高风险的产业,需要大量的资金作后盾。但是与发达国家相比,我国对科技开发的总体投入不足。据估计,1996 年,我国投入科技开发的经费约为国民生产总值的 0.5%,平均每人研究开发支出不到 3.5 美元,而美国 1995 年的人均研究开发支出为 650 美元。另一方面,在高新技术的产学研三结合过程中,我国产方(企业)风险意识不强,研究单位不容易向企业转移技术。而且由于资金不足,企业对研究开发投资缺乏强烈的兴趣;即使投资,也是过多地考虑投资回收期限,存在一定的“短、平、快”思想。

第四,我国社会对高新技术产品缺乏足够的认同感,这无疑也在一定程度上阻碍了有色金属高新技术产品的开拓和占领市场。这是因为,内地的市场经济尚处于初级阶段,伪劣产品战胜“正宗”产品、低质量产品充斥市场的不正常现象依然存在,高科技有色金属产品在市场上难以打开局面。以石棉制动材料为例,出于环保方面的考虑,欧美诸国早已立法严禁使用石棉制动材料,而普遍采用无石棉制动材料。相比之下,尽管我国也已开发并生产出了质量达到欧美同类产品水平的无石棉制动材料,但制动材料市场依然被石棉制动材料所控制,其中有不少质量低劣的产品。

最后,在有色金属高技术新材料的基础研究和应用基础研究方面,我国同发达国家相比,尚存在一定的差距,尤其是具有世界先进水平的研究成果不多,而且相当一部分还是“跟踪”研究,创新研究不够。从长远发展的观点来看,急需进一步加大对基础研究领域的投入,尽快将“跟踪”更多地转变为“创新”。

解决上述有色金属高新技术产业化过程中面临的种种问题的根本出路,在于大力推行与有色金属材料深度加工相关的高技术新工艺,并尽快将高性能新型有色金属材料转化为商品推向市场。首先,要加强常用有色金属新材料、新工艺和深加工产品的开发,尤其要重视一些既降低能耗,又提高产品性能的一步成材技术或短流程成材技术,如快速凝固、喷射沉积、半凝固加工、连铸连轧、机械合金化等新技术。其次,要大力调整有色金属产品结构,尽快使高性能、高质量和高附加值的产品占领国内市场,并向国外市场发展,形成良性循环,并以此带动我国常用有色金属加工技术向高、精、尖方向发展,帮助目前国内加工企业走出困境。在这些方面已有许多成功的经验。例如,我国过去一直是世界钨精矿的出口大国,80 年代初,中南工业大学等单位研制成功 APT(仲钨酸铵)制造技术以后,大大改变了我国钨制品出口产品的结构,使我国由钨精矿的出口大国转变为钨初级制品的出口大国,不

但对世界的钨产品市场产生了巨大的冲击,而且大大推动了我国钨工业的发展。尤其是近年来,通过大力开发钨的深加工产品(如钨丝、杆、条、钨合金等)和新型硬质合金,使我国的钨冶炼技术和硬质合金产品质量达到了国际先进水平。如株洲硬质合金厂已进入世界五大硬质合金厂之列,该厂1994年新品的产值率达到40%,新品的产值达到2亿元,高质量、高附加值的硬质合金出口量突破了300吨/年大关。这些成功的例子提供了一条宝贵的经验,这就是尽快使我国由有色金属原材料出口大国,转变为有色金属高档产品出口大国。我国许多有色金属高新技术产品的开发完全可以借鉴这些经验,尽快使已经成熟的高新技术和产品实现产业化。例如,在稀土材料的研究开发方面,可以集中力量发展高性能稀土永磁材料、稀土储氢材料、稀土发光材料、稀土催化剂等,并逐步用这些高档产品取代稀土原材料的出口;又如电子工业市场的重要材料钨,可以尽快开发出制备ITO靶材的工艺技术,扭转廉价出口钨的原材料、高价进口ITO靶材的尴尬局面,直接出口高附加值的ITO靶材。

四、工程研究中心是高新技术走向产业化的桥梁

我国科学研究工作在各个领域内历年都取得了不少成果,其中有些达到了世界先进水平。以有色金属工业总公司系统为例,每年鉴定的省部级以上科技成果均在300项以上,但其中能转化为生产力的成果为数不多。造成这种科技成果转化率低的原因尽管是多方面的,但最关键的原因之一是我国缺少一批国家级有科技成果转化能力的基地——工程研究中心。

工程研究中心是一种新型的科技开发实体,其宗旨是将具有市场前景的重要科研成果进行后续的工程化研究和系统集成(中试),转化为适合规模生产需要的共性技术和关键技术,然后再将这些技术向企业辐射,或者以这些技术为基础,形成新的高新技术产业,并实现高新技术产业化。工程研究中心在运作过程中,采用科研与生产相结合的运作机制,即研究单位和企业以股份制的形式,共同参与科研成果的工程化研究与开发。这样,工程研究中心就把拥有高新技术的科研院所和高等学校与企业有机地结合在一起,成为高新技术产业化过程中一座不可缺少的桥梁。

目前,我国在有色金属材料领域已经建立了稀有金属材料加工国家工程研究中心、稀土材料国家工程研究中心、无污染有色冶金提取及节能技术国家工程研究中心、粉末冶金国家工程研究中心、半导体材料国家工程研究中心,以及国家有色金属复

合材料工程技术研究中心、国家磁性材料工程技术研究中心、国家贵金属材料工程技术研究中心、国家钛及稀有金属粉末冶金工程技术研究中心、国家金属矿产资源综合利用工程技术研究中心,并在若干大型骨干企业中设立了企业技术中心。这些国家工程研究中心、工程技术研究中心和企业技术中心,基本上涵盖了有色金属高新技术的各个领域,在有色金属高新技术产业化的过程中将起着举足轻重的作用。

在上述工程研究中心所涉及的有色金属高新技术研究开发领域中,粉末冶金是一个重要方面。众所周知,粉末冶金在本世纪前半叶的发展曾给人类社会带来了一些重要变革:1909年,用粉末冶金技术制造的钨丝装配在白炽灯中,给人类带来了光明;20年代,典型的粉末冶金制品——硬质合金问世,使金属切削效率提高了几十倍,引起了机械加工业的一次革命。自从60年代以来,粉末冶金有了突破性进展,已由一类传统工艺技术发展成为一门新兴的技术科学,成为现代材料科学中发展最为迅猛的前沿领域之一。

现代粉末冶金不但保持和发展了其原有的传统优点(如可实现少削、无削加工,实现少偏析或无偏析,低耗、节能、省材,易实现金属—非金属复合、金属—高分子复合等),而且已发展成为制取各种高性能结构材料、特种功能材料和极限条件下工作材料的有效途径,例如粉末高温合金、快速凝固粉末铝合金、高性能难熔金属及合金、新型硬质合金、氧化物弥散强化合金、粉末微晶材料和纳米材料、快速凝固非晶及准晶材料、高性能永磁材料、高性能摩擦材料、固体自润滑材料、复合核燃料、隐形材料等。同时,新技术、新工艺的不断涌现和“近净形”成形技术的崛起,推动了现代粉末冶金科学的迅速发展,特别是粉末热等静压、准热等静压与烧结/热等静压、粉末注射成形、粉末喷射成形、粉末挤压成形、粉末温压成形等技术,使粉末冶金在与传统的熔铸机加工竞争中不断成长壮大。

设立于中南工业大学的粉末冶金国家工程研究中心,抓住该学科领域中高新技术和新材料不断涌现的良好机遇,充分利用上述优势,瞄准市场,先后开发出了高性能航空制动材料和无石棉新型汽车制动材料,并实现了产业化。而且,无石棉新型汽车制动材料制备技术已开始向企业辐射,目前已吸引了内地多家企业前来洽谈技术转让与合作事宜。此外,正在研究开发的高新技术还包括金属粉末注射成形、挤压成形、温压成形等高技术新工艺,以及ITO靶材、高性能铝基复合材料等新型有色金属材料。

值得一提的是,紧邻该国家工程研究中心的粉末冶金国家重点实验室,对粉末冶金新材料和新工

(下转第13页)

同影响下,我国东部夏季的北旱南涝趋势很可能会长期发展下去。

四、过度开发的影响不可低估

我国华北——西北大范围年雨量不足 500 毫米,6 成以上集中在 7、8 两月,因此全年大多是干旱的,如当年盛夏再少雨,则会连旱 1 年半。1949 年以来北方人口已增长数倍,再加上工农业和城市发展,需水量剧增。我国从 1950 年以来,淡水用量每年平均以 5.3% 的速度递增,而华北雨季(7~8 月)的雨量以 1951~1964 这 14 年与 30 年后的 14 年(1981~1994)相比却平均下降了 23.2%。两者形成了强烈的反差。以至随着北方各水系上游需水量的急剧增长,进入华北平原的水量迅速下降,人们被迫超量开采地下水,导致华北一些地区地下水位以每年 1 米的速度下降,仅河北就有 30 余处出现漏斗,总面积达 2 万多 km²。北京市形成 1 000 多 km² 漏斗区,中心地下水位深 40m;太行山前条带状含水带已相继疏干,更严重的是地面沉降使建筑物、堤坝裂缝,危及安全。过度开发和上游用水量剧增,使得即使 1994~1996 连续 3 年华北盛夏相对多雨,但黄河下游在 1995 和 1996 连续两年断流时间仍长达百日。这充分说明我国北方即使雨水达到比正常年稍多之年,也无法应付日益增长的需求了。

总之,由于大气污染加重和过度开发这双重人为影响,我国北方的旱情正日益加剧,沙漠区南侵、生态环境迅速恶化,这值得我们深刻反思。

五、几点对策

华北干旱已引起专家们的重视,纷纷著文讨论,笔者在吸取他们意见基础上列出如下对策:

1. 大力发展水文气象预报事业。我国北方雨季集中在 7、8 两月。章淹等(1997)指出这种相对集中

的强降雨既经常带来洪涝灾害,同时又是一种珍贵的水资源;因此在北方若干地区若能充分利用每年短时丰水期甚至一二场强降雨的蓄水,则对补充水源、改善水污染环境和抗旱都是一种花费甚少而增益很大的措施,是一种特别适合我国国情的开发利用水资源的方法。目前我国每年都有许多从事气象、水文预报的老专家退休,在职人员也紧缩编制。我们应很好组织、发挥水文—气象科技人才的积极性,让他们再立新功。1991 年北旱南涝时,正是由于当时水文—气象学术界的通力合作,促使密云水库在干旱的 6 月多蓄了近 3 亿 m³ 水量,才极大地缓解了北京市供水紧张的局面。

2. 提高上游农田用水利用率。目前农业用水占黄河流域用水量的 95%,宁夏、内蒙区段近几年 4~6 月的用水量又约占当地黄河进水量的 5/6,而当地现行农田漫灌系统的有效利用率仅 50% 左右,因此在宁夏、内蒙等沿黄漫灌农业区应尽快改用喷灌作业以取代漫灌,才能省下较多水量流向下游。

3. 加速开展南水北调中线工程。该工程将由汉江上游的丹江口水库引水,跨长江、淮河、黄河、海河 4 大流域流向北京,供水总面积达 15.5 万 km²,此工程既能减缓汉江中下游洪灾,又能有效缓解北方干旱。

4. 大力开展环保工作,充分发展水电和各种清洁能源,尽量缩减用煤量,千方百计降低大气污染。不仅要抓大城市和大企业的环保,今后更应设法降低乡镇企业的大气污染。还应普遍开展植树造林。

初步估计,继 1997 年严重的北旱南涝后,今夏可能再次面临北旱南涝。为此最近几年以及可预计的未来,北方用水形势均相当严峻,我们理应在预防南方洪涝的同时,千方百计设法缓解北方的旱情。

(注:16 篇中、外文参考文献全部删去,需者请与作者联系) (责任编辑 孙立明)

(上接第 44 页)

艺技术的基础理论和应用基础理论进行了广泛而深入的研究,并取得了一大批创新性的成果,为国家工程研究中心的工程化研究储备了大量的高新技术。例如,粉末制取新技术、新工艺及其过程理论(如超细、超纯粉末制取、粉末特性可控技术等),各种新型“近净形”成形技术及其过程理论,新型“全致密”固结技术及其过程模拟技术和粉末冶金材料设计、表征与评价新技术等。反过来,在工程化研究和试验过程中,国家工程中心把遇到的一些基础研究方面的课题及时反馈到国家重点实验室,又为国家重点实验室开辟了新的研究领域,形成了高新技

术新的生长点。例如,金属粉末注射成形技术是在国家自然科学基金和国家 863 计划基金的资助下,首先由国家重点实验室进行应用基础理论研究,然后过渡到国家工程研究中心进行“中试”,并在“中试”过程中不断地把诸如粘接剂的特性、粉末流变行为和模具设计及注射参数等问题反馈给国家重点实验室,促进了注射成形计算机模拟技术的发展。这种国家重点实验室与国家工程研究中心紧密配合,共同培植高新技术产业的模式,对于加快我国有色金属高新技术产业化的进程,具有重要意义。(责任编辑 王宏章)