

我国药芯焊丝发展的回顾与展望

陈邦固

(天津大学焊接新材料研究所所长)

(天津三英焊业有限公司总经理)

摘要: 本文回顾了我国药芯焊丝从早期探索到飞速发展的历程, 介绍了药芯焊丝在我国各个行业的应用情况, 并借鉴日本的经验, 根据中国的实际状况, 预测我国药芯焊丝的发展趋势, 以及药芯焊丝技术的最新发展方向。尽管目前我国的药芯焊丝产业还刚刚起步, 但已经呈现出蓬勃发展的势头, 涌现出以天津三英为代表的国产药芯焊丝生产企业, 国产药芯焊丝的品质也达到甚至超过国际先进水平。可以相信, 随着各行业药芯焊丝的逐渐普及, 以及药芯焊丝科研水平的进一步提高和品种的进一步完善, 药芯焊丝占国内焊材生产总量的份额必然会进一步提高, 在 10 年内达到年生产总量 10 万吨的水平, 成为国内焊材的主导品种。

关键词: 药芯焊丝 自保护 气保护 焊接材料

0 前言

药芯焊丝又称管状焊丝或粉芯焊丝, 是继焊条和埋弧焊材之后的第四代焊接材料, 它克服了手工焊条不能连续焊接的缺点, 焊接效率可达手工焊条的 3-5 倍, 同时又克服了实心焊丝飞溅大、工艺性能差的缺点, 并且可以通过调整药芯成分来焊接各种类型的钢材, 因此在世界各个发达国家都得到广泛的应用。

1 我国药芯焊丝产业的回顾与发展前景

1.1 历史的回顾

1.1.1 早期尝试 (上世纪 50 年代-60 年代末)

中国对药芯焊丝的研究开始得很早, 几乎是和国外同步。1958 年北京的一次技术革新展览会上展示了机械工业部机械研究所研制的管状焊条。几乎在同时天津大学张文铎先生等人也仿照前苏联的技术资料进行了管状焊条的研究, 该研究详细介绍了用模-拔法制取内含合金粉的“管状焊条芯”的工艺和装置。虽然该研究的目的是用这种“管状焊条芯”制取手工堆焊焊条, 但是该文献也明确提出该管状焊条芯可用于“连续自动埋弧堆焊硬面合金”。其实该管状焊条芯就是目前广泛使用的埋弧硬面堆焊的药芯焊丝。

1.1.2 探索与试制 (60 年代末-86 年)

国内较系统进行药芯焊丝的研究始于 68 年前后, 当时机械部机械研究所 (后来的郑州机械研究所) 正式立项研究, 并于 1969 年发表了国内第一篇关于药芯焊丝的论文, 所研制的试验产品 1975 年前后在工程中试用。70 年代该所栗滋先生主持编译了一套 3 册《焊接冶金及材料》, 其中系统报道了美、德、日、苏等国六、七十年代药芯焊丝的专利和其他技术文献, 这是国内早期药芯焊丝研究的一套最系统的文献。在我国药芯焊丝发展史上占有重要地位。在那以后, 郑州机械研究所的研究工作一直持续到 90 年代初。70 年代国内另一个进行药芯焊丝研究较系统的单位是上海船舶工艺研究所。该所 74 年立项, 76 年通过鉴定。当时进行了气保护、自保护两个品种药芯焊丝的研究, 产品在中华造船厂 7,500 t 散装货轮等工程试用。78 年该所还出版了一本小册子—《自保护药芯焊丝》, 这是国内第一本有关药芯焊丝的专著。

从 70 年代到 80 年代陆续开展药芯焊丝研究的还有冶金建筑研究院、北京焊条厂、北京工业大学、上海亚洲焊条厂、漯河电工器材厂、郑州焊条厂、铁道部科学研究院等单位。所试制的药芯焊丝先后在上海钢圈厂、江南造船厂试用。这期间天津大学齐树华先生则进行了与自保护药芯焊丝焊接冶金机理类似的自保护实心焊丝的研究，并在长春第一汽车制造厂试用。

从 1968 年到 1986 年期间，差不多有 10 个单位进行过药芯焊丝的研究，但总的来说，当时研究水平较低，同时当时焊接自动化水平较低，使得药芯焊丝这种高效焊接方法在国内难以推广。由于上述原因使得这个时期的研究工作从整体上来说没有成功。

1.1.1.3 产业初创（1987-1999）

（1）创业先声（1987-1991）

1985 年底北京焊条厂在郑州机械所帮助下正式和英国 CPV 公司签约，从该公司的 CORWIRE 工厂引进一条全连轧式的药芯焊丝生产线，以及相应的药芯配方。该生产线于 1987 年到货。该生产线第一批产品 5t，于 1988 年 6 月正式发往太原重型机器厂试用。标志着我国不能批量生产药芯焊丝历史的结束。

（2）基础奠定（1992~1997）

进入 90 年代以来，国内造船工业、冶金建设开始批量使用药芯焊丝。在 market 需求的刺激下，国内焊接界迅速掀起一波又一波的药芯焊丝研制热和引进药芯焊丝生产线的浪潮。这个时期是中国药芯焊丝产业最关键的时期，奠定了中国药芯焊丝产业的技术和物质基础，并且产生了以天津三英焊业公司等为代表的国产药芯焊丝企业群体。

1992 年 7 月天津大学“药芯焊丝成套生产技术的研究”重点专项科研项目正式在天津市立项，标志着 90 年代以天津大学为代表的，通过自力更生进行的国产化药芯焊丝成套技术的研究正式全面启动。该项目在 1995 年又得到国家计委中国节能投资公司的立项支持。1994 年在天津大学的技术成果基础上，由三家金融和投资机构出资与天津大学联合筹建了天津市三英焊业有限公司，当年 9 月我国第一个船用药芯焊丝产品通过了中国船级社批量产品认可，并在当年的北京-埃森展览会上首次向公众展示了国产细径钛系气保护药芯焊丝，这标志着国产品牌药芯焊丝正式跻身药芯焊丝主导市场。1996 年至 1997 年三英公司的产品陆续获美、日、德、英等七国船级社认证，并批量进入市场，表明整个项目从科研到产业化获得成功。

图 1 和图 2 为近年三英公司和天津大学共同研制的 SYZ-III 型轧丝机和 SYL-III 型拉丝机。整条生产线包括一台高速轧丝机，两台高速拉丝机，四台高速层绕机。设计产能为 4104t/年（年时基数 8h/天×3 班×25 天×12 月=7200h/年，作业率 0.9，负载系数 0.9），生产线采用变频调速系统，PLC 控制。轧机采用悬臂式轧辊，机架分体传动；钢带进口速度 100m/min，拉丝机出口焊丝直径 $\phi 1.2\sim 1.6\text{mm}$ ；最大出线速度 850 mm/min。整条生产线的生产能力和精度都达到甚至超过国际先进水平。



图1 三英公司研制的SYZ-III型轧丝机



图2 三英公司研制的SYL-III型拉丝机

90年代进行国产化研究的除天津大学外还有十余个单位，其中机械部机电院、东北大学进行了盘元法制取药芯焊丝的研究，上海斯米克公司进行了钢管法轧制无缝药芯焊丝的研究；北京工业大学则采用与天津大学类似的冷轧钢带轧-拔法。这些研究都取得不同程度的进展。

从92年开始到2002年10月，国内共引进23.5条药芯焊丝生产线，分别来源于乌克兰、英国、德国、美国、日本和意大利等国家，引进地区包括北京、河北、湖北、山东、广东、浙江、上海等省市，设备总造价超过2亿元。然而至目前为止，除三家在大陆投资的外资、台资企业之外，只有一条生产线可正常达产，究其原因，既有引进方案失误，消化吸收不利；又有管理和资金不到位等种种原因。

90年代初、中期中国药芯焊丝产业可谓有得有失。“得”是以天津大学和天津三英焊业公司等为代表的中国焊接工作者立足于创新，通过产、学、研相结合，坚持成套技术开发和科技产业化，走出了一条建立民族新兴焊材之路，并奠定了自己的产业基础；“失”则是由于力量分散，多头立项，重复引进，消化吸收不利，且管理不善，造成引进和科研经费的大量浪费，这个教训值得认真吸取。

1.1.4 稳定发展期（1997~1999）

从1997年开始我国药芯焊丝产业进入稳定发展阶段。这个阶段的标志之一是97年中国机械工程学会确定药芯焊丝为第八次全国会议的热门议题，引起焊接界更广泛的重视，仅1997年一年在会议和杂志上发表的有关药芯焊丝的论文就有20余篇，推动了药芯焊丝市场和产业走上健康发展的轨道。另一个标志是国产药芯焊丝不仅从质量上取得重大突破，从数量上也大幅度增加。图3是我国药芯焊丝市场总消费量、国产药芯焊丝总销量以及进口日本药芯焊丝的总量。从中可以看出以下几点。

①近年来中国药芯焊丝的市场消费量每年都以超过30%以上的速度递增。2001年总消费量达到16000t，2002年将达到2万吨左右。

②近年国产药芯焊丝产量逐年快速递增，2001年总量超过9000t，2002年达到12000t，年增长率超过30%，市场占有率从95年的不足10%，上升到2001年的60%。

③日本药芯焊丝在中国市场的霸主地位从98年以后大幅度下滑，1998年日本药芯焊丝在中国的销售量近3000t，1999年下滑一半以上。其中原因固然有1998年韩国产品借韩元贬值的时机，挤占了日本的市场份额，更是国产药芯焊丝产业崛起的结果。

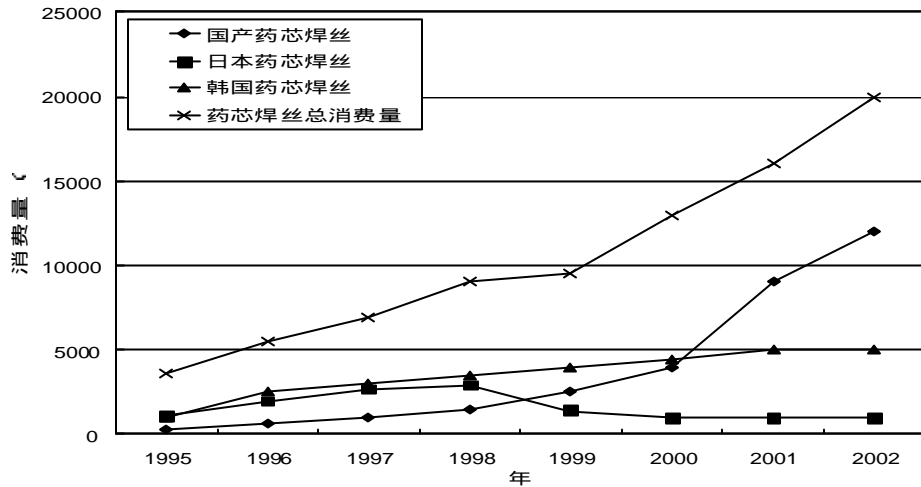


图3 近年我国药芯焊丝市场消费量

1.1.5 高速增长期（2000~ ）

进入 2000 年中国药芯焊丝产业已经完成初创阶段，其重要标志是天津三英焊业有限公司销售量突破 1 200 t，国产药芯焊丝总销量超过 4 000 t，占市场份额的 1/3 以上。2001 年三英公司产销达到 2 080 t，国产药芯焊丝总量达到 9 000 t；预计三英公司 2002 年产销将超 3 000 t，国产药芯焊丝总量(含在大陆投资的台资企业)突破 12 000 t，药芯焊丝市场占有率超 60%。

自 2000 年以来，国产药芯焊丝发展迅速，主要原因一是国产药芯焊丝品质有了极大的提高，已经达到了国际先进水平，完全可以与日本、美国和韩国产品相比。以三英公司为例，主导产品船用钛系药芯焊丝通过 9 国船级社的认证，熔敷金属扩散氢含量降低到 5ml/100g（色谱法）以下，-40℃的冲击韧性值达到 100J 以上，抗气孔能力、抗裂性和全位置焊接性都达到或超过国际同类产品的实物水平。同时还开发出了大量新产品，如：耐候钢药芯焊丝、60 kg 级以上的高强钢药芯焊丝、细直径不锈钢药芯焊丝和耐磨堆焊药芯焊丝，自保护药芯焊丝也即将投放市场。

2 药芯焊丝在我国的应用情况

总体上看在我国落后的手工电弧焊仍占主导地位，焊接的机械化、自动化率较低，药芯焊丝的普及率不高，自动与半自动焊接材料占焊接材料总量的比值较低。1999 年日本的焊接自动化率为 80.6%，西欧为 74%，美国为 71%；而我国在 2000 年才仅为 23%。但我国个别行业，如造船行业焊接作业水平发展较快，已经基本接近国际先进水平，药芯焊丝的普及率已接近日本。

2.1 早期应用

国内药芯焊丝的大规模应用是从 70 年代末和 80 年代初开始的，基本上是在引进成套设备时指定的焊接工艺，所使用的药芯焊丝都是进口产品。尽管当时进口药芯焊丝的价格昂贵，也使人认识到药芯焊丝高质量和高效率的特点，为日后药芯焊丝的普及奠定了基础。

（1）自保护药芯焊丝的应用

国内药芯焊丝的大规模应用是从自保护药芯焊丝开始的。70 年代末宝山钢铁公司的

建设过程中，为处理滨海软地基需打入 1.7 万根钢管桩，钢材为 STK-41，规格为 $\Phi 406.3 \times 9\text{mm}$ 、 $\Phi 603 \times 9\text{mm}$ 、 $\Phi 914.4 \times 9\text{mm}$ 、 $\Phi 1222 \times 12.7\text{mm}$ ，每根钢管需焊接 4 道环缝，共计 6.8 万条焊缝。若使用 2 台手工电弧焊机，每根焊缝需要焊接 1 h，使用 1 台半自动焊机用药芯焊丝进行焊接仅需 30 min，工效提高 3 倍。另外，宝钢在 300 t 转炉车间框架结构中的双 H 立桩和烧结分厂总重达 2 500 t 的 200 m 烟囱焊接中都使用了药芯焊丝，后者更是国内第一个完全采用药芯焊丝焊接的超大型钢结构。

迅速推广，如武钢 3 号高炉的建设使用了美国林肯公司的 NR203Ni、NR311 等牌号的自保护药芯焊丝。该高炉炉壳直径 17 m，板厚 65 mm，采用 $\Phi 2.0\text{ mm}$ 、 $\Phi 2.4\text{ mm}$ 焊丝焊接，总计耗时 24~26 h，约比手工电弧焊快 3 倍。

(2) 气保护药芯焊丝的应用

太原重型机械厂在 80 年代中期就采用美国和德国进口焊丝生产重型机械，后来又使用国产药芯焊丝焊接了与美国 PH 公司合作生产的 PH2300 \times P 与日本小岛铁工所合作生产的 2 \times 2000T 车纵梁压机、以及国产挖掘机。

2.2 药芯焊丝在船舶行业的普及

我国使用药芯焊丝尽管从冶金行业开始，但由于种种原因，在随后的十余年中，药芯焊丝的应用基本处于停顿状态，直到 90 年代初，造船行业开始普及药芯焊丝，这种局面才得到改善，我国的药芯焊丝产业也是从这个时期开始起步，并逐渐发展壮大的。

造船行业是药芯焊丝使用最普及的行业，也是国内焊接自动化、机械化水平最高的行业。由于船舶的制造要求很高，同时为尽量减少船台的占用时间，使得优质、高效的焊接工艺在造船行业普遍推广。到 2000 年为止，造船行业旋转式直流弧焊机的比例大幅度下降，代之以节能型整流焊机和逆变焊机，尤其是大量添置 CO_2 气保护焊机，大力推广药芯焊丝，焊接材料中药芯焊丝的使用率不断提高，如表 1 所示。由于新工艺和新材料的普及，极大提高了焊工人均日消耗的焊材数量，进一步降低了造船成本，缩短了造船工期。从 94 年到 2000 年， CO_2 气保护焊机已占设备总数的接近 40%，焊接机械化、自动化率达到 60.52%，焊工每天消耗的焊材已从 5 kg 提高到 10.05 kg，2001 年达到 11.87 kg。目前在船厂广泛使用的 CO_2 气保护焊工艺如表 2 所示，这些高效焊接工艺配合不同种类的药芯焊丝，极大的提高了焊接效率。为了进一步推动我国造船工业的发展，原中船总在发展规划中明确提出在我国船舶生产中，重点推广 CO_2 气保护自动、半自动焊、气电垂直自动焊以及各种衬垫单面焊等高效焊接技术，“十五”期间焊接机械化、自动化率应达到 70% 左右。

表 1 CO_2 气保护焊药芯焊丝应用比例

年份	1996	1997	1998	1999	2000	2001
CO_2 气保护药芯焊丝应用率 (%)	41.89	47.66	50.52	53.1	60.52	65.03

表 2 我国造船实用高效焊接技术类别及工艺

序号	高效焊接类别	高效焊接工艺名称	
1	CO ₂ 气保护半自动焊	1	CO ₂ 气保护焊全位置半自动角焊
		2	CO ₂ 气保护焊衬垫单面半自动平对接焊
		3	CO ₂ 气保护焊衬垫单面半自动立对接焊
		4	CO ₂ 气保护焊衬垫单面半自动横对接焊
		5	CO ₂ 气保护焊自动水平角焊
2	垂直气电自动焊	6	舷侧双壳隔壁垂直气电自动焊
		7	槽型隔壁垂直气电自动焊
		8	舷侧大接头垂直焊缝对接自动焊
3	下行焊	9	CO ₂ 气保护半自动下行焊

2.3 药芯焊丝在其它行业的推广

造船行业药芯焊丝的普及，促使其它行业开始推广药芯焊丝。

(1) 能源及化工建设

能源与化工建设是药芯焊丝应用的一个重要领域，随着我国新世纪“西气东输、西电东送、南水北调和三峡水利建设”等重点工程的开工建设，能源和化工建设领域成为仅次于船舶行业的药芯焊丝第二大市场。

①油气管线

“西气东输”4167km 管线工程中，管线母材全部采用 X70 钢，钢管直径 1016 mm，壁厚 14.6~26.2 mm，输气压力 10 MPa，共用钢管 195 万吨，现场环焊缝总长 1117km，工程投资 450 亿元。焊接工艺为纤维素焊条打底，自保护药芯焊丝下行焊填充盖面。配套的药芯焊丝为美国何伯特公司的自保护药芯焊丝 FS811N1。据不完全统计到目前用于管道施工的美国自保护药芯焊丝的进口数量已超过 600 多吨，随着工程的不断展开，进口焊丝数量很快就会突破 1000 t。

在东（营）—临（邑）输油管道改造工程中也使用了上述工艺，管道的材质为 X60 钢，选用焊丝为 LF-A101，坡口角度为 60°，根部间隙 2.0mm，错边量小于 1.5 mm，焊缝余高控制在 0.5~1.6 mm 的范围内，焊前母材预热到 120℃，整个工程比采用焊条焊接每公里节约焊接材料费用 639.2 元，这尚不包括因为效率提高，工期提前所节省的费用。在西北石油管道（库鄯段）工程、苏丹管道工程中，同样采用了上述工艺。

②工业锅炉

工业锅炉行业仍然以手工电弧焊为主。年消耗焊材 900 t，其中焊条占 60%以上，CO₂ 气保护焊焊丝只占 2%，其余为埋弧焊和氩弧焊焊材。近年 CO₂ 气保护焊在锅炉行业已有加速普及之势，药芯焊丝的消耗量也逐渐增加。哈尔滨锅炉厂最近使用三英焊业有限公司的药芯焊丝焊接联箱接管，取得了良好的效果。无锡锅炉厂全部用 CO₂ 气保护焊取代手工电弧焊焊接锅炉构架和炉排构架等金属结构，不仅生产效率高，而且焊接变形小，大大减少了焊后变形矫正的工作量。山西某厂家采用混合气体保护焊配合三英公司碱性药芯焊丝 SQJ507 焊接膜式水冷壁，取代理弧焊，因为埋弧焊只能由上向下焊，焊后翻身焊另一侧，而气保护焊可以两面同时焊接，从而提高了生产效率，变形也大幅度减小。

③压力容器

近些年，压力容器生产企业已逐步走出困境，许多企业进行了大规模的设备改造。

随着设备的更新，大批焊接新技术得到推广应用，目前我国的压力容器行业的焊接自动化、机械化率已经接近 60%，药芯焊丝也得到了广泛的应用。

兰石化将药芯焊丝 CO₂ 气保护焊不锈钢堆焊工艺成功的应用于加氢反应器接管的内壁焊接。

北方某化工机械厂全部采用三英公司的 CO₂ 气保护不锈钢药芯焊丝焊接 I、II、III 类不锈钢压力容器，焊缝成型美观，表面呈银白色，飞溅极小，焊后不需打磨抛光，深受工人的欢迎。

吉化建设公司采用三英公司特有的背面不充氩的氩弧打底不锈钢药芯焊丝在吉林巴斯夫工程中焊接不锈钢管，管内不用充氩气保护，大幅度提高了焊接效率，降低成本 30% 以上，这一新技术获得德国合作方的赞扬。另外四川油建二公司、中石化第十建设公司、胜利油田油建一公司等众多企业推广了这一焊接技术，获得了明显的经济效益。

④ 堆焊药芯焊丝的应用

堆焊药芯焊丝在冶金、电力、阀门等行业的应用更为普遍，如热轧辊、开坯辊、连铸辊、托辊、天车辊、磨煤辊以及各种阀门等的堆焊都可使用药芯焊丝进行焊接。由于堆焊没有现成的国家标准，每家使用单位的工艺、设备各不相同，工况复杂，使用药芯焊丝进行堆焊焊接可以方便的调节焊丝的合金成分，适应各种工况的焊接需要。邯郸钢铁公司使用三英公司生产的 SMD420、SMD42CrMo 焊丝对下托辊进行了焊接修复，硬度为 HRC50 左右。包头钢铁公司使用 SMD50 焊丝对热轧辊进行堆焊修复、使用寿命有了大幅度的提高。除了上述品种焊丝以外，三英公司的 SMD45、SMD55 系列堆焊药芯焊丝已批量销往国内各大钢铁企业。

⑤ 机械制造行业

某中外合资大型水电设备厂采用三英公司碱性药芯焊丝 SQJ507，使用混合气体保护焊接水电设备，它是三峡工程配套设备，板厚都在 25mm 以上，该焊丝力学性能优异，抗裂性极好，特别适合厚板焊接。

北京某生产混合机的企业，使用三英公司的系列 CO₂ 气保护不锈钢药芯焊丝取代不锈钢焊条焊接混合器叶片，工效提高 3 倍，降低成本 20% 以上。

某中外合资大型船用发动机厂采用三英公司的高效金属芯药芯焊丝焊接发动机机座，板厚达 100mm 以上，不仅提高工效，而且解决了使用进口钛系全位置药芯焊丝的焊道下冷裂纹的问题。

北方一家外商独资企业使用三英公司的钛系全位置药芯焊丝大量生产了道路施工车辆，焊丝的品质得到外商的肯定。

3 中国药芯焊丝市场前景

3.1 从日本焊材发展趋势上预测

近 20 年来，中国经济发展迅速，始终保持高速发展的势头，其发展趋势和产业结构的演变与日本经济高速发展时期有很多相似之处，因此以日本焊材结构的演变规律预测中国焊材发展有一定的可比性。

日本在 1959 年从欧洲引进药芯焊丝制造技术，并在 70 年代末期开始研制细直径钛系药芯焊丝，并在 80 年代初投入使用，以其良好的工艺性能迅速占领市场，1985 年日本又推出了效率更高的金属芯药芯焊丝，从而加速了药芯焊丝的推广与应用。经过十几年的

发展，日本药芯焊丝的产量明显提高，1979 年日本药芯焊丝的产量只占焊材总产量的 1%，到 2000 年已经占到焊材总产量的 29.4%，而且气保护药芯焊丝的生产和科研开发能力都居世界领先地位。图 4~5 为日本 20 年来焊材产量及结构变化图，从中可以看出以下几条规律。

(1) 手工焊条在焊材中的比重和绝对产量在逐步递减，分别由 1979 年的 63%和 22.6 万吨下降为 2000 年的 19.32%和 5.87 万吨。

(2) 实心焊丝呈先升后降之势，在焊材中的比重和产量分别由 1979 年的 23%和 8.25 万吨上升到 1991 年的顶峰 48.6%和 19.87 万吨，此后开始逐渐下滑，到 2000 年下滑到 39.15%和 11.89 万吨。

(3) 埋弧焊材 20 多年来在焊材中的比重变化不大，从 1979 年到 2000 年基本维持在 11%~15%的范围内。

(4) 药芯焊丝从 1982 年保持快速增长的趋势，在焊材中的比重和绝对产量从 1982 年的 2%和 7 000 t 快速上升到 2000 年的 29.4%和 8.94 万吨。

总的来看，日本焊材发展的趋势是：手工焊条已成为昨日黄花，占焊材总量的比例会继续下滑，埋弧焊材会继续维持在 10%左右的比例，实心焊丝仍会缓慢增长，但已经接近顶峰，药芯焊丝会高速增长，最终可能占到 40%左右，与实心焊丝并驾齐驱，甚至会超过实心焊丝。

参照前文图 3 和图 4、图 5 可知目前中国药芯焊丝的年产量与日本 1984 年相当，若 5 年后达到日本 1989 年水平则中国市场需求量约为 5 万吨，考虑中国目前的经济发展迅速，已经超过日本 80 年代中期水平，因此上述估计应当比较合理。

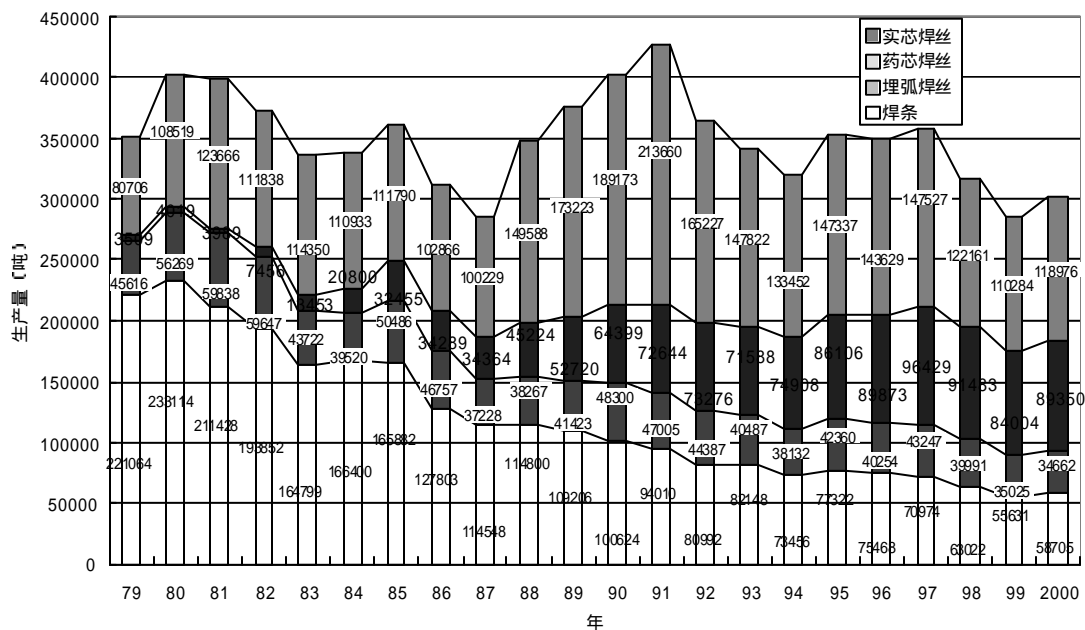


图 4 日本 20 年来各种焊材产量变化图

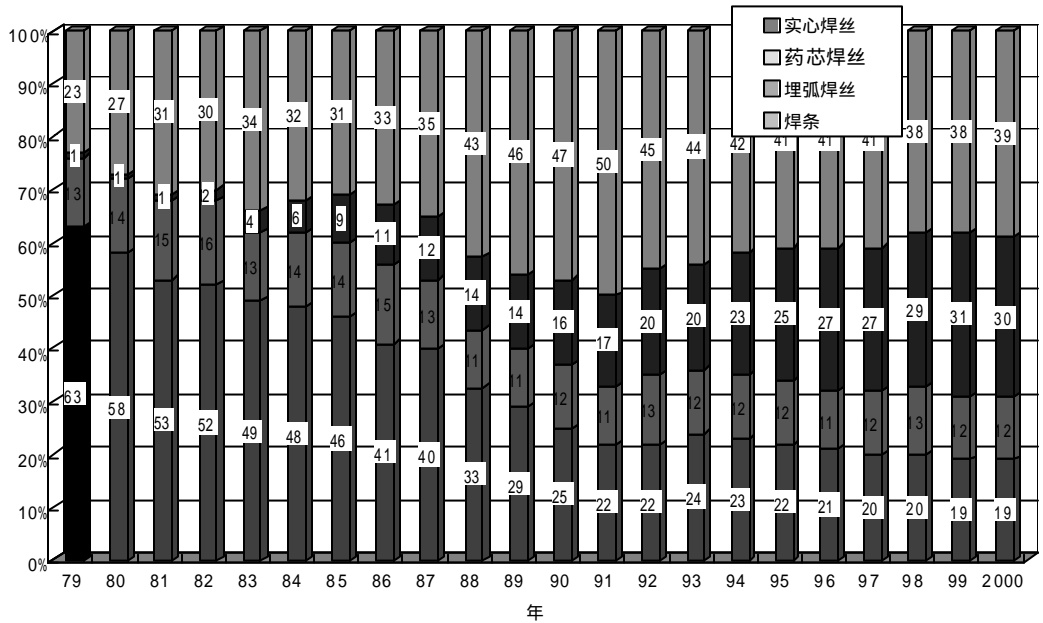


图5 日本20年来焊材结构变化图

3.2 从药芯焊丝目前的主导市场-造船工业的发展预测

日本药芯焊丝从80年代初开始飞速发展，首先是从造船工业开始普及的，我国药芯焊丝的普及也是从造船工业开始的，而且70%以上都用于造船工业。因此造船工业的发展趋势也在一定程度上反映了药芯焊丝的发展趋势。

我国的造船工业发展迅速，70年代末居世界第17位，从1994年开始跃居世界第三位，九五的前三年（1996、1997、1998年）累计完成出口船465万吨，超过七五、八五10年累计总和，年增幅达50%。2000年和2001年国内23家大中型船厂完工船舶533万吨，全国船舶行业总完工量为736万吨。按照造船行业权威人士预测，到2010年，中国造船将达1000万吨，也就是说10年内中国将赶上日本和韩国的年造船水平，因此相应的年消费药芯焊丝也应达目前日本的10万吨的水平。

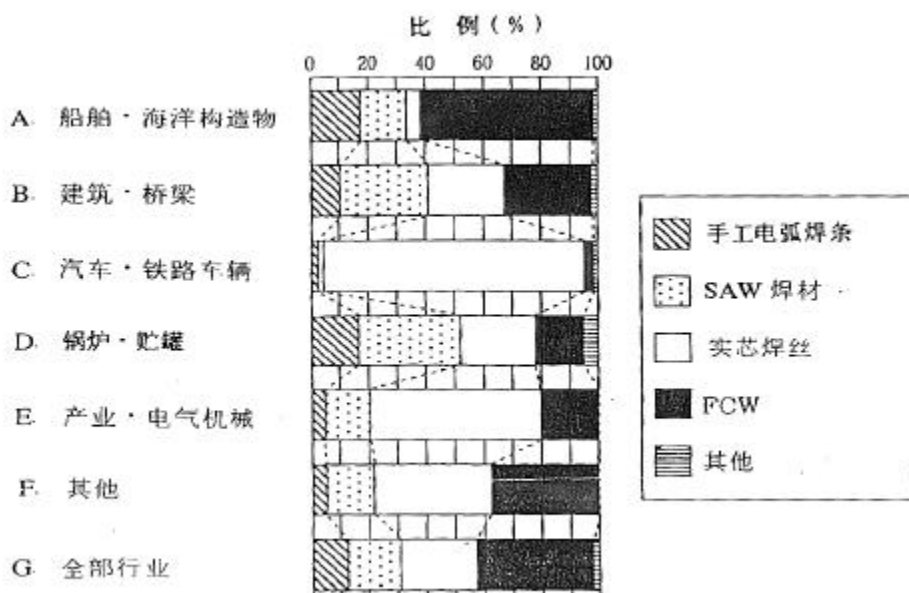


图6 1995年日本焊接材料在各行业的分布(日本焊接协会数据)

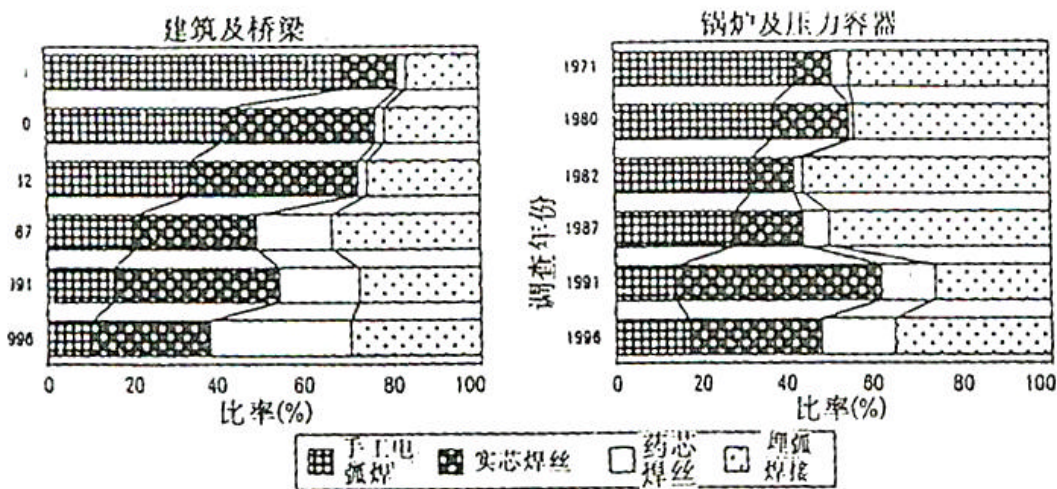


图7 日本建筑、桥梁和锅炉、压力容器行业焊接材料应用比例演变图

3.3 从近年药芯焊丝增长幅度和普及程度预测

它山之石，可以攻玉，从日本药芯焊丝在全行业的应用情况可以看出药芯焊丝在中国各行业的推广前景。图6为1995年日本焊接材料在各行业的分布情况，图7为建筑、桥梁、锅炉和压力容器行业焊接材料应用比例的演变情况。从图6和图7中可以发现，在造船行业以药芯焊丝为主，配合少量的实心焊丝和埋弧焊材；在汽车、产业机械等自动化、机器人化较高的领域中，实心焊丝占多数；在钢结构、桥梁等领域实心焊丝较多，但药芯焊丝的增长幅度较快；在锅炉、压力容器领域，以埋弧焊居多，但药芯焊丝和实心焊丝的用量也在增加。综合来看，MAG、MIG焊丝的用量逐渐扩大，手工电弧焊的应用比例已经不大，尽管药芯焊丝在非船行业普及程度不及船舶行业，但也有10-40%的份

额，在全行业中药芯焊丝又超过 40%。

近年我国药芯焊丝应用领域也呈两个明显扩张趋势：一是从造船行业延伸到冶金、石化、海洋工程、机械、建筑等领域，从近几年期刊和学术会议发表的应用论文反映几乎涉及国民经济的各个领域；二是从大型企业向中、小型企业扩展。进入 2000 年以来，国产药芯焊丝的生产技术趋于成熟，企业规模不断扩大，药芯焊丝的成本不断降低，促使药芯焊丝的市场价格不断下滑。在国产药芯焊丝的冲击下，进口药芯焊丝价格以每年 100 美元/吨的速度下降。国外某进口药芯焊丝在价格最高时曾达 2200 美元/t，但 2000 年 CIF 价格降到 1500 美元/t，今年已经降到 1300 美元/t。随着国产药芯焊丝生产企业的逐渐壮大，可以预见，未来药芯焊丝的价格会持续下滑，5 年内有望降到万元/吨以内。这样药芯焊丝与实心焊丝和手工焊条相比的综合优势会更加明显，因此向整个钢结构制造领域扩张的势头会更加强劲。通过以上分析，认为药芯焊丝会保持较快的速度发展，产销量在五年内达 5 万吨，10 年达到 10 万吨。

3.4 加入 WTO 有利于焊接产业走出国门，走向世界

2001 年底，我国加入 WTO 标志着我国成功的融入世界经济的大循环中，为我国焊接产业的产品出口创造了良好的机遇。由于中国的劳动力价格低廉并具有丰富的资源，同时我国焊接教育与科研具有相当的基础，焊接产业也有一定的规模，各种产品在国际市场上具有很大的竞争优势。国产药芯焊丝依靠日益提高的质量和较低的价格，从 98 年开始逐步挤占了日本通用型药芯焊丝的市场份额，相信不久中国也会向韩国和台湾地区一样，从对日、美、欧的药芯焊丝进口国变成出口国，考虑到世界市场药芯焊丝总消费量约为 30—35 万吨左右，药芯焊丝必然会成为我国大宗出口机电产品之一。

4 药芯焊丝的发展方向

从焊接材料的开发和发展方向来看，在过去的“高效率”、“高质量”、“低成本”之外，“改善环境”也成了重要的部分。

4.1 发展“节能、环保”型焊接

进入 21 世纪以来，环保成为媒体上热门的词汇之一，重视环保已经为人们普遍接受。焊接产业也面临着同样的问题。焊接一直是高污染的行业之一，改善焊工的工作条件，减少烟尘已经成为焊接工作者所面临的重要问题。日本已研制出了低烟尘的药芯焊丝，三英公司已经着手开始试验研究，相信不久就可以投入市场。图 8 和 9 为日本神钢的环保药芯焊丝的技术特性。

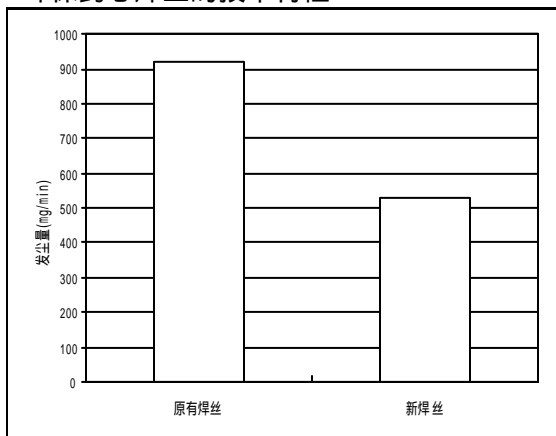


图 8 日本新型低烟尘药芯焊丝的特性

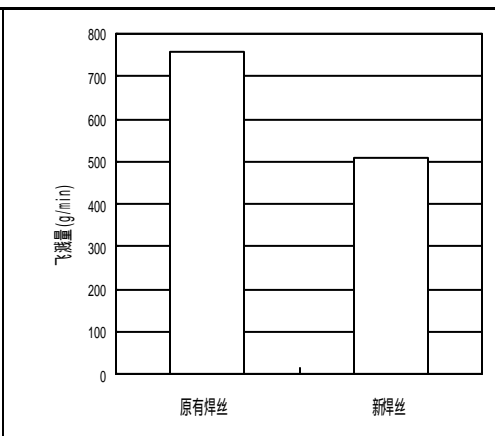


图 9 日本新型低飞溅药芯焊丝的特性

4.2 进一步提高产品质量

相对于手工焊条和实芯焊丝，目前通用型钛系药芯焊丝虽然有许多优势，但目前在抗焊缝表面压痕、带衬垫大拘束度厚板对接底层焊道出现热裂纹倾向、-40℃甚至-60℃以下的低温冲击韧性仍有待提高之处，目前世界各国都在不断提高和改进。

经过多年的努力，三英公司的 SQJ501 系列药芯焊丝在上述几个方面的性能指标都达到甚至国际先进水平。

(1) 耐气孔（表面压痕）性能

在涂底漆船板上进行角焊缝焊接时容易出现气孔和表面压痕，表 3 为 SQJ501 系列药芯焊丝与某进口品牌药芯焊丝对比数据，从中可以看出 SQJ501 系列药芯焊丝在严酷的试验条件下耐气孔（表面压痕）性能已经超过国外进口产品的实物水平。

表 3 SQJ501 系列药芯焊丝与某进口名牌药芯焊丝抗气孔（压痕）能力对比数据

（母材：涂底漆船板钢 E32）

牌号	规格	焊速	指标
SQJ501	Φ 1.2mm	500mm/min	每 1 米焊缝上出现气孔数量≤3 个
SQJ50MX	Φ 1.2mm	500mm/min	每 5 米焊缝上出现气孔数量≤2 个
某进口药芯焊丝	Φ 1.2mm	500mm/min	每 1 米焊缝上出现气孔数量≤5 个

(2) 抗冷裂纹能力

目前通用型钛系药芯焊丝属于酸性渣系，抗冷裂纹的能力不如碱性渣系，经过不懈的努力，目前 SQJ501 系列药芯焊丝的熔敷金属扩散氢含量降低到 3ml/100g（甘油法）和 5ml/100g（色谱法）以下，已经达到碱性渣系的水平，抗冷裂纹能力有了大幅提高。表 4 为 SQJ501 系列药芯焊丝与某进口名牌药芯焊丝抗冷裂纹能力对比数据。

表 4 SQJ501 系列药芯焊丝与某进口名牌药芯焊丝抗冷裂纹能力对比数据

牌号	温度	相对湿度	板厚	试验方法	表面裂纹率	断面裂纹率
SQJ501	0℃	70%	20mm	铁研	小于 3%	小于 3%
进口焊丝	0℃	70%	20mm	铁研	小于 3%	小于 3%

(3) 抗热裂纹能力

一般来说，结构钢药芯焊丝不产生热裂纹，但在带衬垫大拘束度厚板对接时底层焊道容易出现热裂纹倾向，它是在拘束度较大和陶瓷衬垫的双重作用下产生的。通过对药芯焊丝配方和生产工艺不断调整，并对巴东试验法进行了改进，加大了拘束条件，得出如表 5 所示的试验结果。按照标准规定采用试验条件相对宽松的 FISCO 试验法，裂纹率小于 20% 即为合格，说明 SQJ501 系列药芯焊丝在抗热裂纹能力上已经达到国际先进水平。

表 5 SQJ501 系列药芯焊丝与某进口名牌药芯焊丝抗热裂纹能力对比数据

牌号	试验方法	裂纹率
SQJ501	改进型巴东试验	3%
进口焊丝	改进型巴东试验	8.1%

(4) 低温冲击韧性

目前三英公司的 SQJ501 系列药芯焊丝全部通过 3Y 级船检，而且在 -40℃ 条件下超过 100J，见表 6 所示。

表 6 SQJ501 系列药芯焊丝与某进口名牌药芯焊丝低温冲击韧性对比数据

牌号	等级	低温冲击韧性 (J)	
		-20℃	-40℃
SQJ501	3Y	130	100
SQJ501Ni	3Y	160	110
进口焊丝	3Y	110	80

4.3 完善产品系列、开发新品种

目前，“纯净化、微合金化和控轧控冷”等技术正在钢铁企业逐步推广，钢材的品质得到大幅度提升，与之对应的焊材的品质升级落后，如国内不少低合金钢的实物 $w(S) < 0.009\%$ ，甚至 0.005% 。2000 年末国家技术监督局批准修改了《压力容器用钢板》和《低温压力容器用碳钢和低合金结构钢钢板》两个国标，各种牌号的焊材硫、磷含量都有大幅度的降低，如 16MnDR，硫含量由原来的 ≤ 0.025 降到 ≤ 0.015 ，磷含量由 ≤ 0.030 降到 ≤ 0.025 。这些指标都大大低于相应的焊材国家标准中规定的 $w(S)$ 值。另外我国正在加紧研发相当于目前常用钢材强度两倍、三倍甚至更多的超级钢以及高层建筑用高强度、管线钢 X70、工程机械用 1250Mpa 高强度、耐火钢、耐候钢、防震钢和高性能耐热钢、低温钢等钢种中大部分国内尚无焊接材料与之配套。可以说随着科技的发展，新材料不断涌现，各药芯焊丝生产焊接企业必须时刻注意焊接发展的新动向，发挥药芯焊丝研制速度快，调节方便等优点，发展与之配套的焊接材料和焊接工艺。

在薄板焊接领域，药芯焊丝由于适用焊接规范大，容易烧穿，因此应尽快开发适用于薄板焊接的药芯焊丝。

尽快开发自保护药芯焊丝，满足国内管线建设和冶金建设的需要，并降低自保护药芯焊丝飞溅量，减少烟尘。

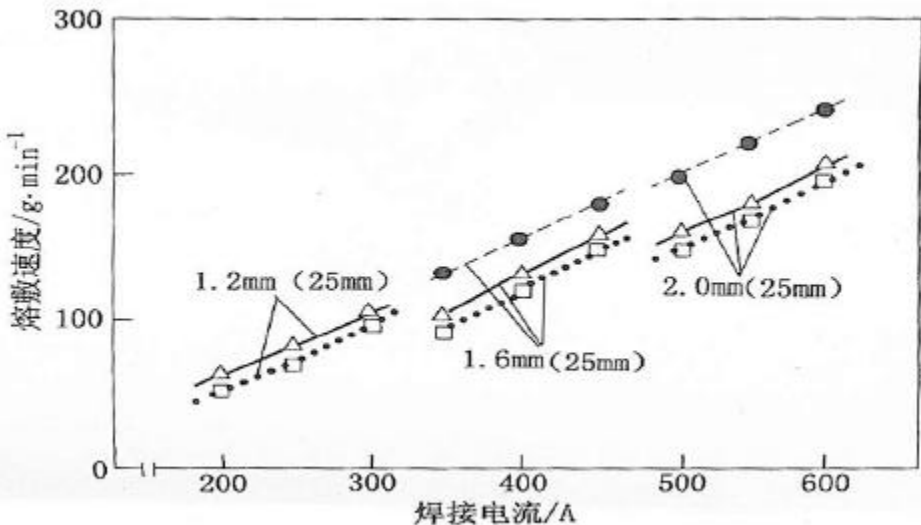


图 10 金属芯药芯焊丝、普通熔渣型药芯焊丝和实心焊丝熔化速度的对比

④ 开发金属芯药芯焊丝，满足高效、自动化焊接的需要

高效、自动化是未来焊接发展的必然趋势，药芯焊丝的发展也必须符合高效、自动化的要求，发展可以自动化焊接的高效金属芯药芯焊丝成为当务之急。它综合了药芯焊丝和实芯焊丝的优点，可以不清渣进行连续焊接，熔敷速度快，效率高、焊缝成型美观、烟尘量小、抗裂性好。图 10 为金属芯药芯焊丝、普通熔渣型药芯焊丝和实心焊丝熔化速度的对比图，从图可见金属芯药芯焊丝比熔渣型药芯焊丝和实心焊丝熔化速度高 10—20%。三英公司很早就开始金属芯药芯焊丝的研制工作，并在去年推出了牌号为 SQJ50MX 的金属芯焊丝，填补了国内的空白。

5 结论

药芯焊丝是一种高新技术产品，它的出现和发展适应了焊接生产向高效、低成本、自动化、智能化生产发展的趋势，加速我国药芯焊丝的科研和生产的发展，不仅将使我国焊材工业跨上一个新台阶，而且会促进我国金属结构制造业的发展，进而对整个国民经济的发展产生积极的影响。

参 考 文 献

- 1 陈家本，面向 21 世纪-中国船舶焊接技术的现状与发展总体思路和目标，机械工人，2002（5）。
- 2 陈邦固，新世纪我国焊接产业的发展与展望，机电日报，2002。
- 3 《中国焊接年鉴》 电站锅炉、压力容器概况。
- 4 《中国焊接年鉴》 金属结构行业概况。
- 5 《中国焊接年鉴》 工业锅炉概况。
- 6 《中国焊接年鉴》 造船行业概况。
- 7 小溝裕一，21 世纪の鉄鋼材料と溶接・接合技術。溶接技術。2001（1）。
- 8 陈邦固，许玉环.药芯焊丝-焊材工业面临的机遇与挑战.焊接技术.1993,4
- 9 徐小魁.不锈钢钨极氩弧焊药芯焊丝的应用.焊接,1999(8)