高效、绿色焊材的研发与应用

肖辉英

【摘要】本文主要介绍了中国焊接材料的发展以及管线全自动焊用焊丝的研发与应用情况，并且介绍了金桥公司在重点相关领域所用焊材的研发及应用情况。

关键词：焊材；焊接；自动化焊接

一、概述

1. 近十年焊材的发展状况

近年来，随着我国经济的快速扩张，焊接材料得到长足发展。近十年来，各类焊接材料的产量变化如表1所示，占总产量中的比例变化如图1所示。产品结构调整初见成效，焊接自动化率由2004年的30%左右提升到目前接近60%，但与欧美及日本的焊接自动化率达到或超过80%还有很大差距，如表2所示。

2. 焊材发展

目前，我国正处于工业化和现代化进程的重要发展时期，中共中央最近发布的中国制造2025规划中明确指出，要加快转变经济发展方式，重点关注创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展，加快制造业的转型升级、提质增效。

焊材作为钢材连接的基础材料，“高端、高效、环保焊材的研发、生产”将是发展中国未来

表1　近十年焊接材料的产量变化

年份	焊条/万t	气保实芯焊丝/万t	药芯焊丝/万t	埋弧焊材/万t	年总消耗量/万t	自动化率(%)
2006	175	80	12	40	307	42.9
2007	180	112	26	42	360	50
2008	185	116	34	40	375	50.7
2009	231	125	41	41	438	47.3
2010	220	128	51	46	445	50.6
2011	226	150	50	49	475	52.4
2012	220	160	42	52	474	53.6
2013	205	165	39	51	460	55.4
2014	195	160	40	50	445	56.2
2015	175	158	35	47	415	57.8
增长率(%)	0	97.5	191.7	17.5	35.2	

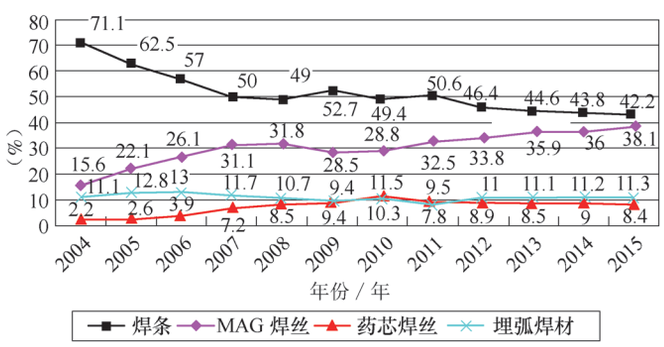


图1　近几年我国各类焊材比例

产业的重要助推力，这就要求焊材制造业必须跟上时代的发展。

金桥作为中国乃至全球最大的焊材集团，加强研发与生产高端、高效、环保焊接材料是企业长期生存和发展的战略规划。

二、自动化焊接用焊材的发展与应用

随着我国工业化已进入中后期，人力成本大幅上升及产业升级对制造效率和产品品质的要求不断提高，同时自动化装备的控制精度也在不断提升，焊接自动化装备在制造企业应用越来越多，它一方面可大大提高劳动生产率，同时又可提升产品质量稳定性。因此，可实现自动化焊接的实芯焊丝、药芯焊丝等高效焊接材料被大量采用。由于全自动焊装备种类、型号较多，这对配套的焊丝提出了越来越高的要求，焊丝的送丝性、铁液流动性都需要与设备的参数结合的非常紧密。

最近几年，自动化用焊材在原材料、焊丝生产装备及工艺、检测手段方面，均有一定程度的提升。

主要表现在以下几个方面：

1. 焊接材料发展

（1）物理除锈设备及工艺的应用　该工艺取代了传统的酸洗工艺，符合国家环保要求，同等规格焊丝的拉拔速度提升到传统工艺的1.5倍（15m/min），极大地提高了生产效率，如图2、图3所示。

（2）拉丝机　滑轮拉丝机—直线拉丝机—卧式直线拉丝机—高速辊模拉丝机。机器操作由原来的两人操作一台发展到一人操作一台、一人操作两台，速度达到每秒23m。

（3）涂层模具　传统工艺使用的合金模具润滑好但寿命短，聚晶模具寿命较长，但润滑效果不好；新型涂层模具兼具两者的优点，同时降低模具消耗成本，提升产品品质稳定。

（4）高强钢免退火工艺　传统的焊丝生产过程中，60kg级小规格以及70kg、80kg级焊丝需要增加退火工序，不仅增加了成本且降低了效率。采用免退火工艺，可对以上高强钢焊丝直接拉拔，免除了退火工序，降低了产品成本，提高了焊丝的送丝性。

（5）镀铜生产线　单丝往复式镀线—多丝展开式镀线—拉丝镀铜一体的往复式镀线，设计速度由原来的每秒6m提升到每秒23m。此工艺可以实现焊丝连续生产过程中碱、酸、镀铜液的零排放、零污染，实现国家环保要求，如图4所示。

（6）自动补给工艺　传统的镀铜线溶液的补给由人工操作完成，存在补给不及时、补液量不准确的问题。自动补给工艺通过计量泵、流量计、浓度计等设备，实现了化镀线各种溶液的自动补给，相较人工操作更加精准、及时，保证了产品的质量稳

表2　中国和日本同期焊接材料产品结构对比

种类 \ 年份		2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
焊条	中国（%）	71.0	62.5	57.0	50.0	49.3	52.7	49.4	47.6	46.4	44.6	43.8
	日本（%）	16.0	14.9	14.1	14.2	13.6	12.0	12.9	12.9	13.3	14.9	13.2
实芯焊丝	中国（%）	15.7	22.0	26.1	31.1	30.9	28.5	28.8	31.6	33.7	35.9	36
	日本（%）	41.1	40.2	37.4	37.7	37.5	33.1	32.5	32.6	36.0	38	38.1
药芯焊丝	中国（%）	2.2	2.6	3.9	7.2	9.1	9.4	11.5	10.5	8.9	8.5	9
	日本（%）	30.9	32.1	35.5	35.6	34.4	39.0	39.2	39.0	36.8	32.1	33.5
埋弧焊材	中国（%）	11.1	12.9	13.0	11.7	10.7	9.4	10.3	10.3	11.0	11.1	11.2
	日本（%）	12.0	12.8	13.0	12.5	14.5	15.9	15.4	15.5	13.9	14.9	15.2

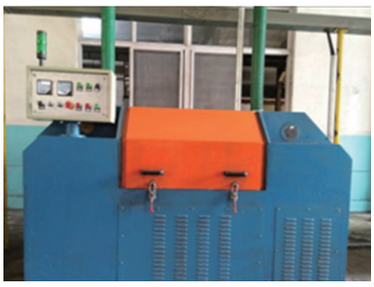


图2　物理除锈设备

图3　物理除锈效果

定，如图5所示。

（7）层绕机　被动放线层绕机—主动放线机—全自动层绕机，层绕机速度达到每秒20m 。自动层绕和包装技术可实现焊丝轴自动装、卸，自动绕丝、自动包装和码盘，节省了人工成本，提高了工作效率，如图6、图7所示。

（8）物联网　物联网技术在焊丝领域的应用，实现了原材料、成品、生产过程在电脑端和手机端的远程监控和操作，如模具配比，溶液浓度、设备的润滑、烘烤温度及焊丝线径等，极大增加了对产品质量的保障。

2. 自动化用焊丝技术进步

（1）原材料水平提升 原料成分控制：近几年国内焊材厂家与钢厂合作，通过控制原料中的O/N等微量有害元素，确保原料的纯净度。

盘元的氧化层：与钢厂共同研发轧制工艺，控制氧化层状态变化，减轻除锈压力，通过物理除锈实现80%氧化锈层的剥离。

（2）焊丝质量显著提高　采用新工艺生产的焊丝飞溅量、耐锈性、烟尘量、送丝阻力均优于普通焊丝。新工艺生产焊丝的铜层细腻程度要优于常规工艺生产的焊丝，如图8、图9所示。

新工艺生产的焊丝的耐锈性明显优于常规工艺生产的焊丝，如图10所示。

（3）自动化用焊丝的检测模式发展　检测项目及方法对比如表3所示。

图4　往复式镀铜生产线

图5　自动补给工艺

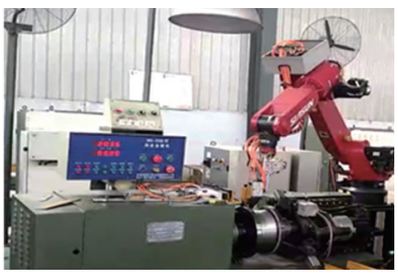


图6　自动层绕机

图7　自动包装机

图8　常规工艺生产焊丝的铜层

图9　新工艺生产焊丝的铜层

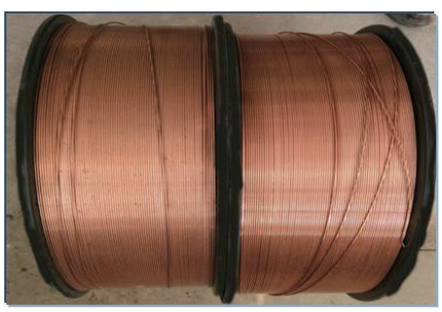


图10　耐锈性对比

3. 机器人焊接用焊丝的应用

机器人焊接因其焊接质量稳定，工作效率高，连续性好，劳动强度低，规模化流水线作业效益显著，能够较好地保证焊接质量的稳定性和一致性，而在许多领域得到应用。工作效率是手工CO_2气体保护焊方法的1.5~2.5倍。现焊接机器人在工程机械、汽车等行业得到大量应用，已经建立了具有特色的机器人自动化生产线。随着焊丝的送丝性能的提高，国产自动化用桶装气保实芯焊丝用量呈现逐年上升趋势，如图11、图12所示。

4. 长输管道自动焊接技术发展

欧美发达国家，管道自动焊的应用比例约占焊接工程量的80%，而我国长输管道自动焊的应用比例不足10%。

现石油、石化行业在长输管线焊接中大力推广自动焊，漠大二线首先大面积采用自动焊，陕京四线、中靖联络线紧随其后。

长输管道自动焊接复杂地形、环境恶劣，有平坦地势，也有沼泽地，经历大雨、闷热、寒冷等恶劣气候。

（1）全自动焊下向焊-金属粉芯焊丝　JQ－70M、JQ－80M金属粉芯焊丝兼有实芯焊丝焊渣极少和普通药芯焊丝熔化速度快、飞溅小、焊接工艺性能好等优点，扩散氢含量低，具有较好的低温冲击韧性。JQ－70M金属粉芯药芯焊丝（ϕ1.2mm）在大庆油建中俄二线工程漠大线项目中已批量使用，效果良好，主要用于管道的打底焊，如图13、图14所示，焊丝的熔敷金属试验数据如表4所示。

表3　检测项目及方法对比

项目	以前	目前
成分检测	手工分析为主	以现代先进仪器检测为主
出厂检测项目	按国标的常规测，制定更严格的内控标准	模拟客户现场使用条件的工艺性能测试，如：焊丝不同角度的打靶测试、送丝阻力测试、焊接过程中电弧稳定性检测等

图11　现场机器人焊接

图12　现场机器人焊接

图13　自动焊全位置操作

图14　自动焊成形

表4　焊丝熔敷金属试验数据

试验项目	R_m/MPa	$R_{el}/R_{p0.2}$/MPa	A（%）	KV_2（-30℃）/J	熔敷金属扩散氢含量（%）
E70C－6M	≥480	≥400	≥22	≥27	—
JQ－70M	502	425	34	146、148、149	3.8
E80C－Ni1	≥550	≥470	≥24	≥27	—
JQ－80M	570	510	30	135、135、138	1.9

（2）全自动上向焊-气保护药芯焊丝　该系列焊丝具有优异的焊接性、良好的抗气孔性 、全位置焊接及脱渣性、电弧穿透力及稳定性，喷射过渡、熔滴细小、低飞溅。中俄二线中，大庆油建采用金桥JQ－81T1M气保护药芯焊丝及JQ－70M金属粉芯焊丝，在双检：AUT+射线探伤，一次合格率达到98%以上，有的机组一次合格率达到100%，如

图15　焊接现场

图15所示。

（3）全自动下向焊-实芯焊丝　通过严格控制原材料成分、提高镀铜质量、改进送丝性能以提高焊丝总体质量水平。我公司研发的全自动下向焊-实芯焊丝JQ－X70、JQ－X80，在廊坊管道局焊接技术中心、大庆油建焊接培训中心、大港油建焊接培训中心、川油建焊接培训中心等多家施工单位培训中心，采用CPP900、CRC P600、CRC P－625等多种设备测试，效果良好，如图16、图17所示。

图16　焊接技术中心使用现场

图17　工艺评定报告

三、高效焊材的研发与应用

1. 气电立焊药芯焊丝

气电立焊是一种先进的熔化极气保护自动焊接方法。使用专用气电立药芯焊丝和焊接设备，熔池在水冷滑块和衬垫强制作用下，以CO_2气体保护实现钢板对接焊缝双面成形。气电立焊工艺广泛应用于石油储罐、船舶外壳、桥梁建造及冶金高炉等，如图18所示。

JQ·YJL50G、JQ·YJL60G为气电立焊专用药芯焊丝，焊接工艺性能优良。焊缝一次焊接成形，焊接效率高。焊缝金属经合金元素韧化处理，低温冲击韧性优异，如表5、图19~图22所示。

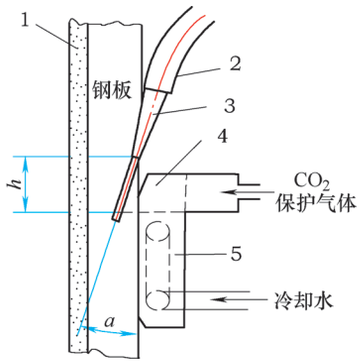


图18　气电立焊原理

1.衬垫 2.焊枪 3.导电嘴 4.保护气体盒 5.水冷铜滑块

表5　焊丝熔敷金属试验数据

牌号	JIS	抗拉强度/MPa	冲击吸收能量-20℃/J
JQ·YJL50G	YFEG－22C	587	116
JQ·YJL60G	YFEG－32C	635	132

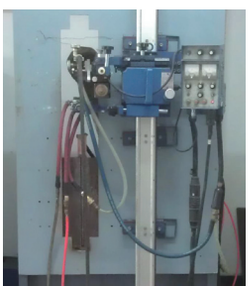


图19　气电立焊演示

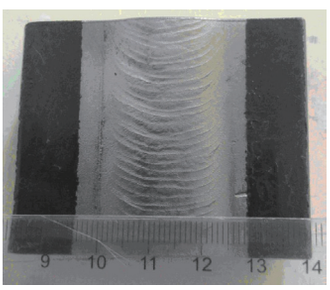


图20　焊缝成形

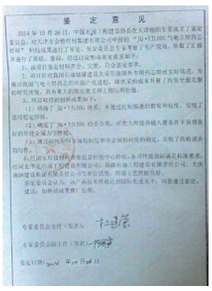


图21　中石油工程建设协会鉴定书

2. 金属粉型药芯焊丝

JQ.YJ621K2－1Q为620MPa级金属粉型气保护药芯焊丝。配套高性能Q500qE钢板，完成了焊接工艺评定，评定结果满足桥梁工程使用要求，已成功应用于国内重大桥梁工程——沪通

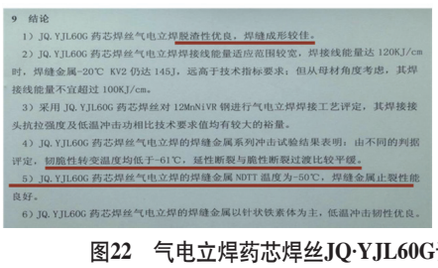


图22　气电立焊药芯焊丝JQ·YJL60G试验报告

长江大桥。-40℃冲击吸收能量≥47J，并且具有良好的抗裂性能，如图23所示。

JQ·YJ503MX－1为金属粉型气保护药芯焊丝，焊接效率高，双丝焊接速度可达到每分钟1.5m。抗底漆性能优异。角焊缝成形平整，与母材熔合好，熔深大，如表6、图24~图26所示。

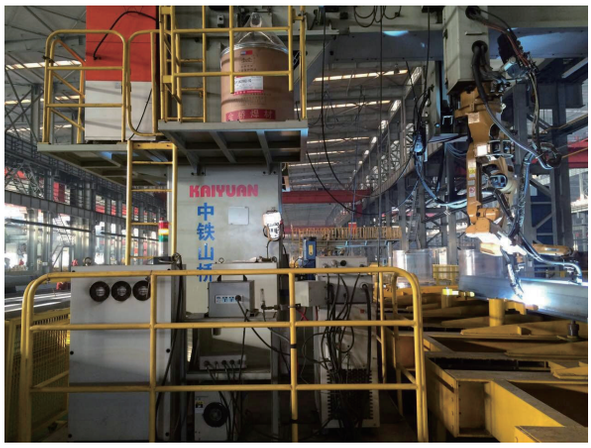


图23　JQ.YJ621K2－1Q使用现场

表6　焊丝熔敷金属试验数据

牌号	GB/AWS	冲击吸收能量/J	产品特点
JQ·YJ503MX－1	E500T－1 E70T－1C	（-20℃）≥100	高速平角焊1.5m/min

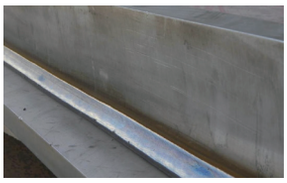


图24　焊缝成形

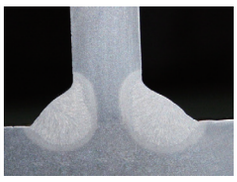


图25　焊缝截面

图26 焊接现场

四、绿色、环保焊材的研发与应用

1. 清洁能源的应用

目前，气候变化以及能源资源安全等全球性问题突出，环境破坏的严重程度已影响到人类生存，经济增长的受资源环境的约束日趋强化，清洁能源的推广应用迫在眉睫。

金桥焊材集团历来积极承担企业的社会责任，目前已调整能源消费结构，各个车间的能源全部革新，不用煤炭，完全改造为绿色能源，如：电、天然气、太阳能等，并循环利用以提高能效，降低单位GDP能耗比。

2 焊丝的绿色生产

（1）废水回收利用　生产废水经均化、中和、曝气、沉淀、脱水等工序处理后水质达到回用水标准，并经过深化处理后车间回用，回用率75%以上，如图27所示。

图27　废水回收利用

（2）盘条无酸洗处理　采用机械擦洗的方法去除盘条表面氧化物，取代传统酸洗生产方式，实现盘条预处理环节的清洁绿色生产。机械擦洗后的盘条表面氧化物去除率达99%以上，废弃物经袋式除尘器收集后以废钢铁的形式回收利用，如图28所示。

图28　盘条预处理设备及效果

（3）烘烤能源循环利用　传统工艺焊条烘烤过程中，热源只利用一次并随空气排走，造成极大的浪费；我公司改造后的烘烤工艺可以实现热源循环利用，提高热源利用率40%。

（4）焊条生产中辊模的应用　辊模的应用使拉力和辊轮与线材之间的摩擦力均比拉丝模大大减小，减少断线率和焊丝的表面磨损，同时可以在拉拔过程中很少量，或完全不使用润滑剂来完成，从而实现很高的焊丝表面

质量，并降低润滑剂的使用成本；润滑粉的减少，改善了车间环境。

3. 无镀铜实芯焊丝的研发与应用

（1）无镀铜实芯焊丝　环保：无镀铜焊丝用机械除锈取代酸洗除锈，实现盘条除锈环保处理。由于取消了镀铜环节，所以不需要焊丝在镀铜前，表面准备阶段的酸液清洗、碱液清洗环节以及镀铜环节和镀铜后的各种清洗环节。

健康：由于无镀铜焊丝表面没有铜层，所以在焊接过程中没有铜烟的产生，这对焊接工人身体的伤害也有明显的降低。

（2）无镀铜焊丝的新工艺、设备　金桥针对无镀铜焊丝，进行了表面涂层的试制，实现了无污染、低电阻、高吸附性、急速干燥、耐高温等。在原拔丝设备基础上采用特殊工艺清洗、涂层涂敷和烘干三项功能，同时采用独创的纳米级导电、润滑、防锈涂覆剂以及涂覆工艺。

目前生产设备和生产工艺已全部成熟，无镀铜实芯焊丝产品也已经批量推向市场，客户试用后反馈较好。

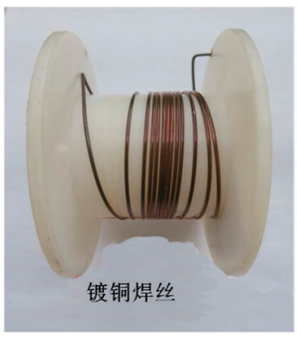
（3）金桥的无镀铜焊丝性能　无镀铜焊丝从焊接飞溅、焊接烟尘、导电嘴磨损、抗锈性能等四方面进行评价，其中，焊接飞溅、焊接烟尘、抗锈性能优于同种型号的镀铜焊丝，导电嘴磨损与同规格镀铜焊丝相当，如表7、图29所示。

表7　无镀铜焊丝性能

评定内容	焊接飞溅（%）	焊接烟尘（%）	导电嘴磨损/g（10min焊接）
金桥无镀铜焊丝	4.68	0.40	0.0012
同行业无镀铜焊丝	4.87	0.47	0.0022
镀铜焊丝样品	4.60	0.44	0.0011

注：1.焊接参数：260A /28V，CO_2气保护，小车自动。

2. 表格中数值为多次焊接后均值。



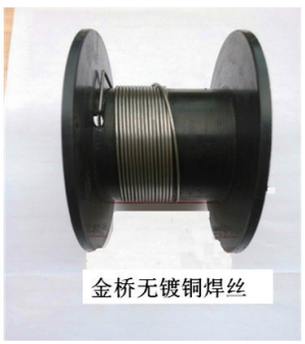


图29　抗锈性试验：28℃，湿度83%左右；放置6天

五、未来焊材发展建议

（1）优化产品结构　紧跟国家制造2025发展纲要及高端装备制造中材料和焊接工艺技术发展需要，做好用一代、研一代、储一代产品结构布局。

（2）走可持续发展之路　加快发展低碳、环保的焊材产品，实现无镀铜焊丝在行业中的应用。焊材制造厂走可持续发展之路：环境保护、品牌培育、生产智能化。

（3）加快焊材国产化步伐　在国家重点装备领域对焊材国产化给予更多政策倾斜和机会，加快国产焊材技术进步。

（4）加快企业转型与升级　紧密加强焊材原材料、生产设备、工艺一体化创新，加快焊材生产制造转型与升级，不断提高生产效率、产品技术水平和质量稳定性。

（5）加强创新联动　紧密加强钢厂、焊材厂、焊接装备厂以及焊材用户的创新联动，开发出更加适应市场需求的焊材产品。

金桥焊材将继续本着不断创新的精神，坚持产品创新、设备工艺创新，调整产品结构，提高生产设备自动化率，加快开发更加适应市场需求的产品。

目前我公司已开始生产铝焊丝，满足了客户对有色焊材的需求。同时遵循“加快转变发展方式，推进绿色、循环、低碳发展”的要求，严格控制污染，加快实施创新驱动发展战略，走可持续发展之路。

作者简介：肖辉英，天津市金桥焊材集团有限公司常务副总经理。全国焊接标准化技术委员会焊接材料分技术委员会委员；天津市企业联合会雇主工作委员会委员；天津市焊接学会、天津市机械工业协会理事。

MW 20170521