



第 24 届北京·埃森焊接与切割展览会
THE 24th BEIJING ESSEN WELDING & CUTTING FAIR (BEW2019)

展会综合报告

技术

总 策 划：宋天虎

出 版：中国机械工程学会

北京·埃森焊接与切割展览会组委会

文字编辑：刘 丹 刘云鸾 吴小帆

地 址：北京市海淀区莲花小区 2 号楼 5 单元 1607

邮 编：100036

电 话：010 63983928 63972304 63972404

传 真：010 63980554

网 址：www.beijing-essen-welding.com www.埃森焊接展.com

电子信箱：liud@cmes.org

北京·埃森焊接与切割展览会组委会
2019 年 11 月



编写人员名单

《展会综合技术报告》专家编委会名单（按撰写内容先后顺序排名）：

《展会概况》

北京·埃森焊接与切割展览会组委会

《焊接设备》

吴九澎 李宪政 陈树君 杨庆轩 彭亚萍 李新松 张亮 肖珺 汤子康
王春杰 刘斌 魏占静 魏巍 毛宇 宋金玲 郑美波 支海敏 陈建武
杨旭东 张维官 肖介光 张世见 于今等

《焊接材料》

储继君 吕晓春 陈默 杨子佳 孙晓梅 李典钊 马恒胜 童天旺 崔晓东
肖辉英 杨咏梅 关常勇 李振华 张智 隋永莉 齐书梅 包润新 蒋勇
徐晓龙 陈波 王建伟 龙伟民 郝庆乐 宋晓国 何鹏 胡岭

《切割机具》

李浩 方万 肖春明 田威 李旭敏 汪永刚 余凯 余定辉 王晔
李旭 缪刻伦 白净 陈洪海 谢剑锋 王媛 张永刚 王宗义 徐丽君
董诗洋 徐江 张华 王茂忠 王智新

《IFWT2019焊接国际论坛——焊接智造，信息融合》

IFWT2019焊接国际论坛组委会

《2019'中国焊接产业论坛——高效焊接技术及应用》

《2019年技术讲座》

陈树君 张亮 张轲
北京·埃森焊接与切割展览会组委会

《焊接环境、健康与安全》

栗卓新 杨立军 李红 肖文凯 王延斌 欧泽兵 李伟 钟素娟 李桓
张熹 袁关兴 李明静

《焊接专利与科技成果展示区》

李连胜 李爱民 方乃文 宋南 黄彩艳 张汇文 龙伟民 秦国梁 马佳
邱光 耿正 梁裕 陈建武 霍树斌 杨战利 张春波 孙谦 王智新
焦怀志 李振建 张健 许立宝 李志提 杨敬雷 白昶 贾兴旺 白建斌

目 录 CONTENTS

序

展会概况

展会概况	003
------------	-----

展会技术报告

焊接设备	013
------------	-----

1 焊接设备概述	013
----------------	-----

2 创新的焊接制造技术	014
-------------------	-----

2.1 电弧焊电源	014
-----------------	-----

2.2 电源在机器人焊接系统上的应用	018
--------------------------	-----

2.3 手持式激光焊接机	021
--------------------	-----

2.4 阻焊设备制造	022
------------------	-----

3 机器人及焊接自动化	023
-------------------	-----

3.1 机器人焊接及应用	023
--------------------	-----

3.2 焊接自动化装备	029
-------------------	-----

3.3 管道焊接系统	031
------------------	-----

3.4 自动化辅助传感及控制器	032
-----------------------	-----

4 其他焊接装备及各具特色的展品图片	035
--------------------------	-----

4.1 清洗设备	035
----------------	-----

4.2 焊接辅助设备	037
------------------	-----

4.3 互联及物联网产品	039
--------------------	-----

焊接材料	042
------------	-----

1 展会总体概述	042
----------------	-----

2 焊接材料行业近十年产量和进出口量	043
--------------------------	-----

2.1 焊接材料产量	043
------------------	-----

2.2 中国焊接材料进出口量	044
----------------------	-----

3 气保护实心焊丝	045
-----------------	-----

3.1	无镀铜实心焊丝	045
3.2	高强、高韧实心焊丝	046
3.3	耐候实心焊丝	047
3.4	耐火实心焊丝	047
3.5	特种专用实心焊丝	047
3.6	焊丝自动化焊接用设备、气体	050
3.7	高性能有色焊丝	051
3.8	焊丝制备的绿色化和高效化	053
4	药芯焊丝	057
4.1	结构钢用药芯焊丝	057
4.2	特种药芯焊丝	060
4.3	油气管道建设用药芯焊丝及其应用技术	066
5	埋弧焊材	068
5.1	低温及超低温钢用埋弧焊材	069
5.2	高强高韧钢埋弧焊材	070
5.3	抗回火脆性钢埋弧焊材	072
5.4	核电专用埋弧焊材	072
5.5	超（超）临界火电机组埋弧焊材	073
5.6	埋弧横焊焊材	074
5.7	带极堆焊焊材	074
6	焊条	075
6.1	耐火、耐候钢焊条	075
6.2	耐海洋大气腐蚀钢焊条	078
6.3	化学品船用焊条	079
6.4	高效超超临界钢用焊条	080
6.5	承压设备用焊条	082
6.6	高强度、高韧性超低氢焊条	083
6.7	不锈钢焊条	083
7	钎焊材料	084
7.1	箔带钎料	084
7.2	棒状、块状钎料	085
7.3	线状钎料	086
7.4	粉状钎料	087
7.5	膏状钎料	088
7.6	自钎剂钎料	088
7.7	预成型环状钎料	090

7.8 特殊结构钎料	090
8 对焊接材料行业发展建议	091
切割机具	093
1 综 述	093
2 主要参展切割企业及其重点展品介绍	094
2.1 切割机主机厂商及其重点产品	094
2.2 切割机配套关键部件	109
2.3 切割机数控系统	115
3 行业发展现状及趋势	120
行业综合文萃	
IFWT2019焊接国际论坛——焊接智造，信息融合	125
报告1：走向焊接制造高质量发展的新时代	126
报告2：大型高性能金属构件的WAAM制造系统	132
报告3：基于深度学习算法的等离子弧焊接穿孔/熔透状态预测	133
报告4：多工艺融合增材制造技术的研究进展	135
报告5：高质高效激光表面改性技术及其工业应用	137
报告6：航天构件焊缝熔核尺寸弱磁检测技术应用	138
报告7：In Welding Automation Control including Vision Systems	140
报告8：工程机械大型结构件智能焊接关键共性技术及典型应用	141
报告9：焊接送丝方案的合理化设计及优化	141
报告10：特种焊接机器人及其典型行业应用	143
报告11：熊谷管道全自动焊机的研发与应用	144
报告12：智能机器人焊接制造技术及应用	146
2019' 中国焊接产业论坛——高效焊接技术及应用	149
2019年技术讲座	162
报告一：哈工现代助力绿色工业4.0	162
报告二：新一代全数字化碳化硅（SiC）逆变焊机—逆变焊机的第三次革命	162
报告三：1000V SiC MOSFET及其驱动器在超高频逆变焊机的应用	163
报告四：工业厂房烟尘治理技术系统解决方案	163
报告五：SAWP（高精度主动送丝控制）技术及其应用	163
报告六：智能焊接云管理系统iWeldCloud	163
报告七：精细等离子切割的成套解决方案	163
报告八：工业物联网：智能切割云MES	164
报告九：全面焊接管理信息化解决方案——基于EN15085/ISO3834的 智能焊接工厂打造	164
报告十：智能制造：汉神焊接机器人与自动化焊接介绍	164
报告十一：高功率激光焊接应用前景	165

展会亮点

焊接环境、健康与安全	169
1 焊接EHS概述	169
1.1 焊接烟尘的形成过程	169
1.2 焊接烟尘的防护措施	170
2 焊接整体防护进展	172
2.1 展会概况	172
2.2 整体防护的焊接烟尘治理技术	173
2.3 焊接整体防护的各种除尘技术产品	176
2.4 工业4.0除尘技术及焊接整体防护的物联网智慧环保平台	179
2.5 焊接整体防护的工业厂房整体治理技术	180
2.6 工业厂房环境整体治理技术应用工程案例	181
2.7 焊接整体防护发展趋势	182
3 焊接局部防护进展	183
3.1 展会概况	183
3.2 焊接局部防护新产品新成果及发展趋势	183
3.3 焊接作业局部防护的发展新趋势	188
4 绿色焊接及其制造技术	191
4.1 展会概况	191
4.2 绿色焊接相关展品	191
4.3 发展趋势	196
5 焊材绿色生产装备	197
6 绿色焊接工程实例	199
6.1 实心焊丝免酸洗处理技术	199
6.2 焊条烘焙炉能源梯级利用	200
7 建议和展望	200
焊接专利与科技成果展示区	202
1 引言	202
2 焊接专利与科技成果展示	202
2.1 焊接专利	202
2.2 科技成果	214
3 焊接行业重点发展的专利技术情况	216
4 结束语	218

结束语

序

第24届北京·埃森焊接与切割展览会于2019年6月25-28日成功举办，上海新国际博览中心再一次成为全球焊接界瞩目的焦点。上海作为全球贸易城市、长三角经济中心，交通发达、工业基础雄厚、市场广阔，自1996年第一次在上海举办埃森展以来，每逢单年在沪举办的展会始终是全球焊接企业竞相展示的舞台。本届展会共有来自26个国家和地区的982家厂商参展，吸引了来自76个国家和地区的45000余人次参观。

2019年，中国及世界经济仍将在大调整和大变革中走向复苏。以互联网、大数据、人工智能为代表的新科技革命不断催生新产品、新模式、新业态和新产业，并加速向传统产业渗透融合，数字经济、共享经济和智能制造成为全球经济增长新动力。本届展会的产品展示及配套论坛“IFWT2019焊接国际论坛——焊接智造·信息融合”“2019’中国焊接产业论坛——高效焊接技术及应用”及11场技术讲座，充分体现了这一发展趋势。

2019年度《展会综合技术报告》由国内焊接行业机构组织业界专家通过对展会产品的现场调研，结合行业概况、行业发展等方面，分别针对焊接设备、焊接材料及切割机具三大主题撰写技术报告；行业综合文萃则总结了展会的配套活动和论坛会议等内容；展会亮点继续报道了焊接环境健康与安全及焊接专利与科技成果展示两部分内容。

《展会综合技术报告》旨在从行业发展的角度点评展会产品和技术，总结行业概况、发展规律和趋势，进而促进新产品、新技术的发展及行业进



步。同时,也希望有更多企业通过北京·埃森焊接与切割展览会展现实力、交流合作、走向世界,从而推动我国的焊接事业向前发展,以中国力量、中国制造加快世界焊接行业的前进步伐。

北京·埃森焊接与切割展览会组委会主任

北京·埃森焊接与切割展览会组委会常务副主任

2019年11月

展会概况



展会概况

1 概况

展商数量：**982** 家

——来自 **26** 个国家和地区

——国际展商 **141** 家，约占 **14%**

展览总面积：**92 000** 平方米

展台面积：**45 396** 平方米（折合标准展位5 044个）

海外展台面积：**8 820** 平方米（折合标准展位980个）

参展商代表：约 **11 000** 人

参观观众：

——人次：**45 423** 人次

——人数：**28 732** 人

——来自：**76** 个国家和地区

——海外观众：**1 560** 人

◆由中国机械工程学会、中国机械工程学会焊接分会、中国焊接协会、中国焊接协会焊接设备分会、德国焊接学会和德国埃森展览公司共同主办的北京·埃森焊接与切割展览会是全球著名的焊接展览会。

◆第24届北京·埃森焊接与切割展览会于2019年6月25-28日在上海新国际博览中心(W1-W5, E1-E3)举行。展会同期配套举办多场论坛、工作会议、行业会议和展商技术座谈、产品发布会。其中，包括IFWT2019焊接国际论坛——焊接智造·信息融合、2019'中国焊接产业论坛——高效焊接技术及应用、科技成果展等专业论坛与展示。

2 展商分析

本届展览会参加厂商982家，来自26个国家和地区。分别为：奥地利、澳大利亚、比利时、丹麦、德国、俄罗斯、法国、芬兰、韩国、荷兰、加拿大、捷克、美国、挪威、日本、瑞典、泰国、西班牙、新加坡、意大利、印度、英国、越南、中国、中国香港、中国台湾。其中，国内展商841家，国际展商141家。

2.1 参展商所属领域 (图1)

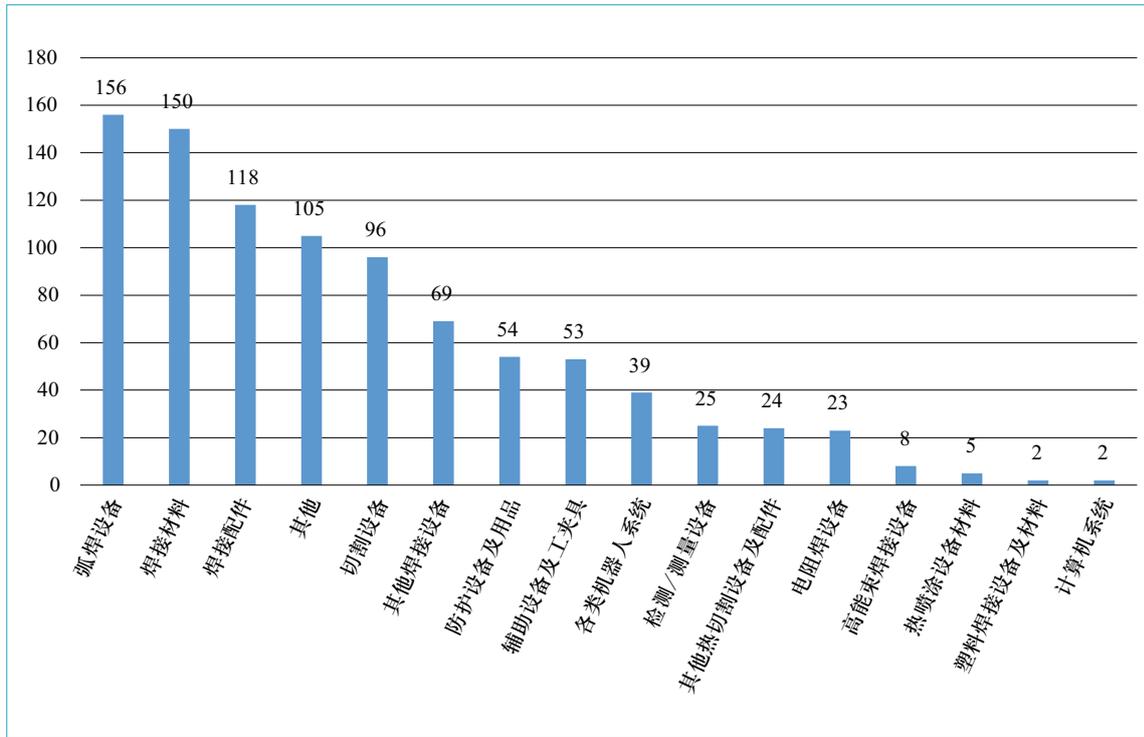


图1

2.2 展商对观众质量的评价 (图2)

2.3 展商对观众数量的评价 (图3)



图2



图3

3 观众分析

3.1 为期4天的展览共吸引观众28 732人，进出45 423人次。其中，58.1%的观众选择多次参观本展览（这部分观众大多有明确的采购或者调查目的）。图4为近5年观众情况趋势。

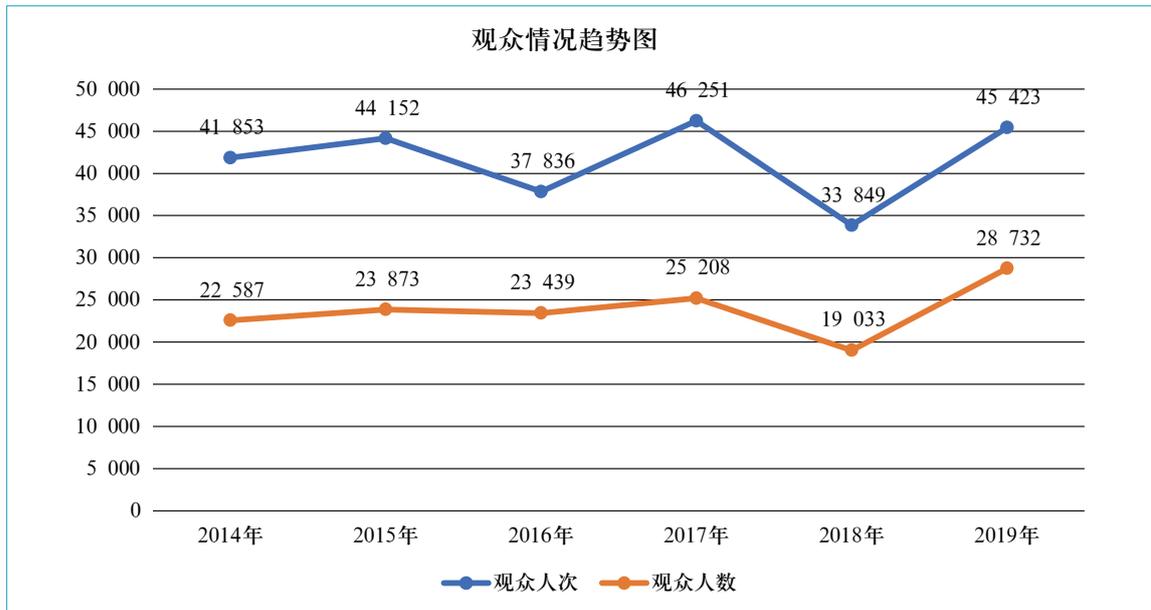


图4

3.2 海外观众来自76个不同国家和地区（图5），内地及港澳台观众来自37个省份和地区（图6）

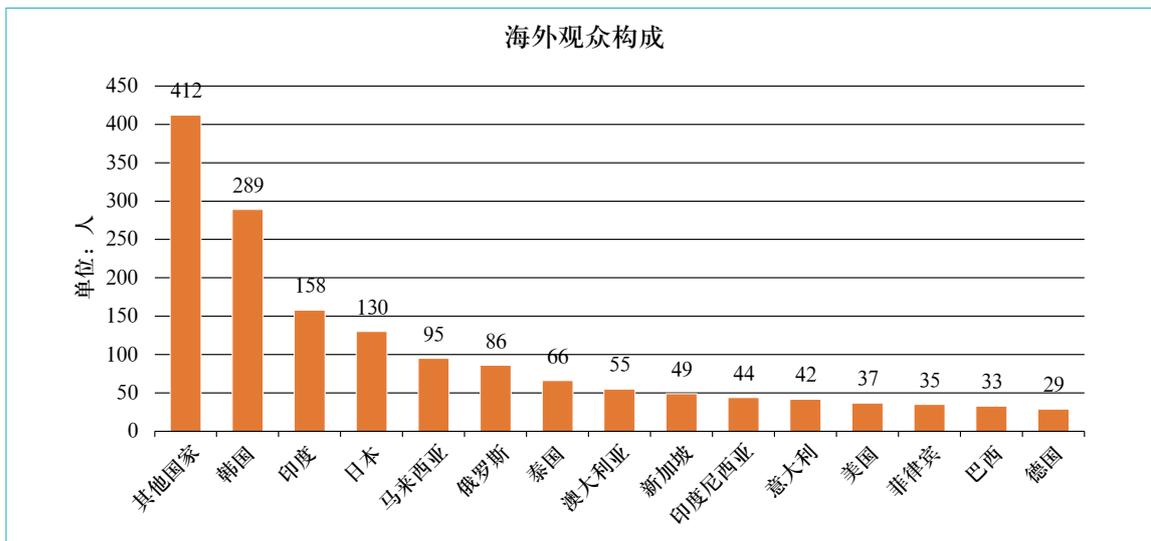


图5

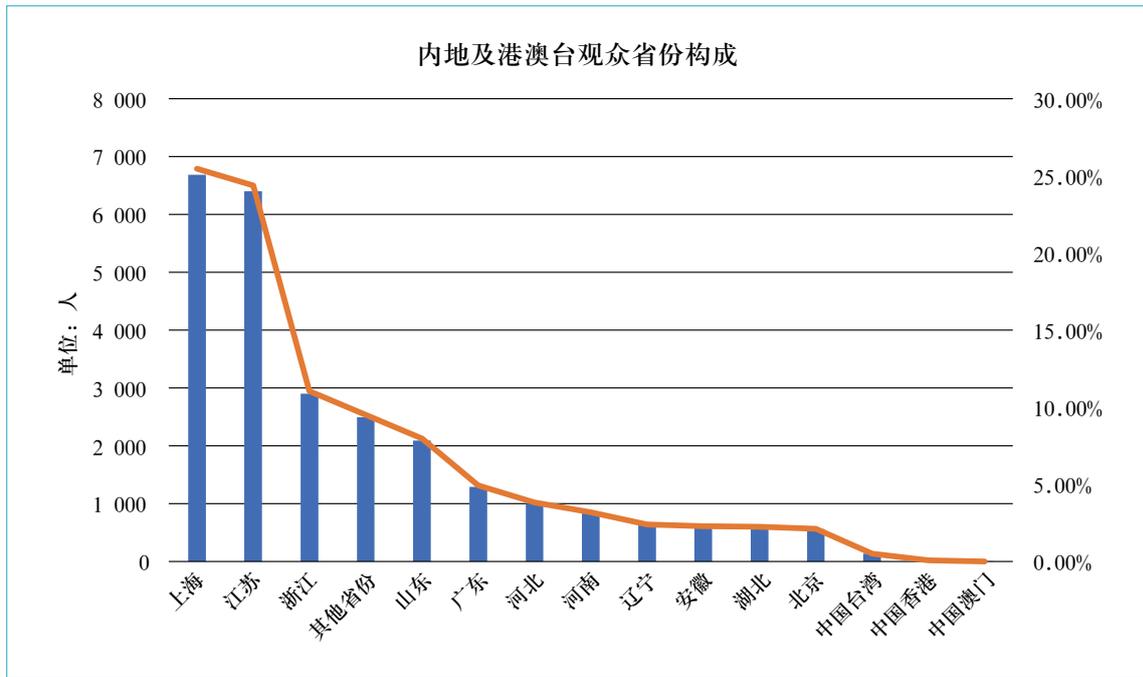


图6

3.3 专业观众的参观目的 (图7)

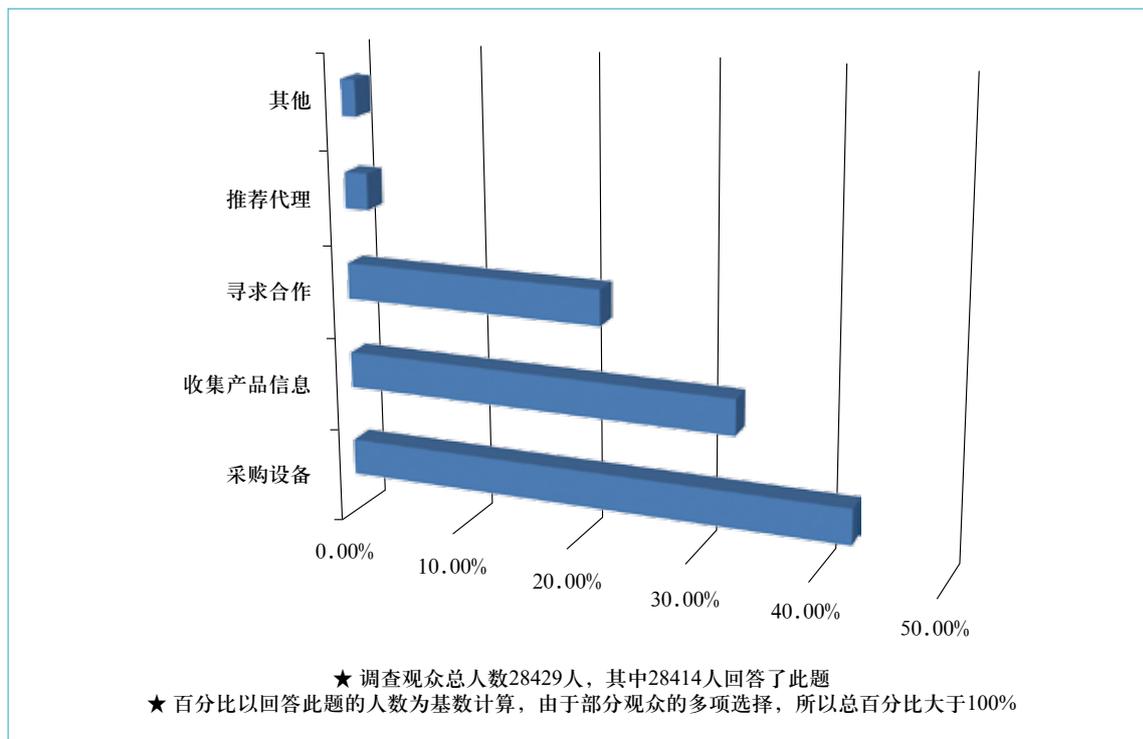


图7

3.4 观众感兴趣的产品（图8）

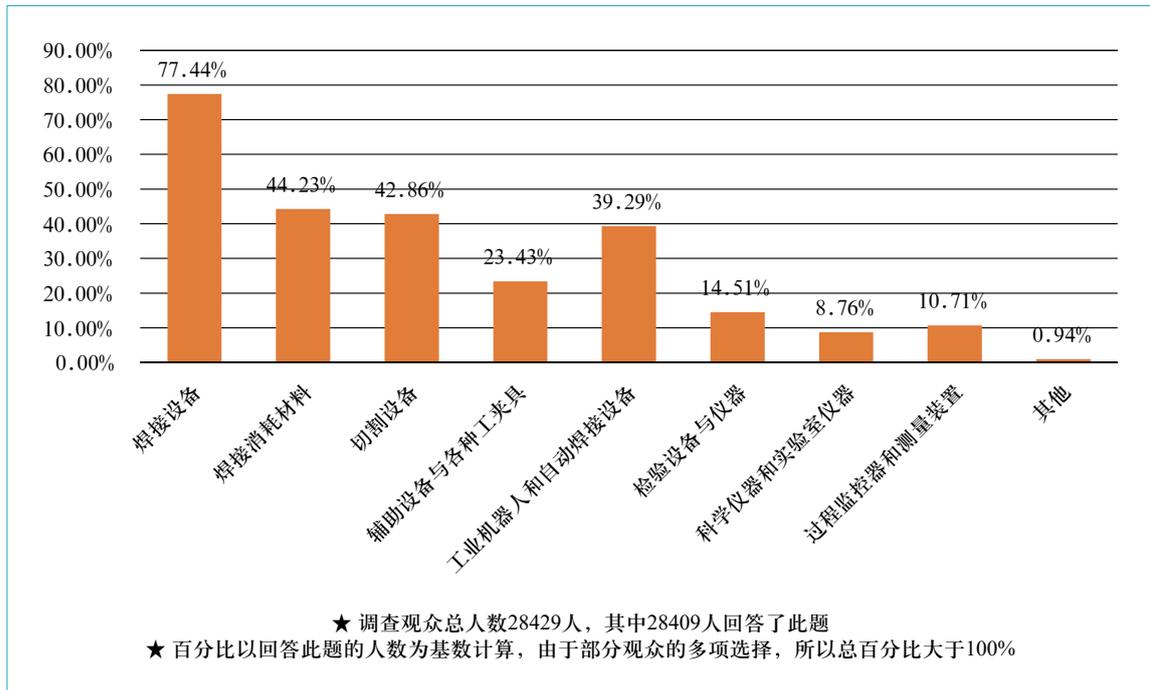


图8

3.5 观众的经营性质及领域（图9）

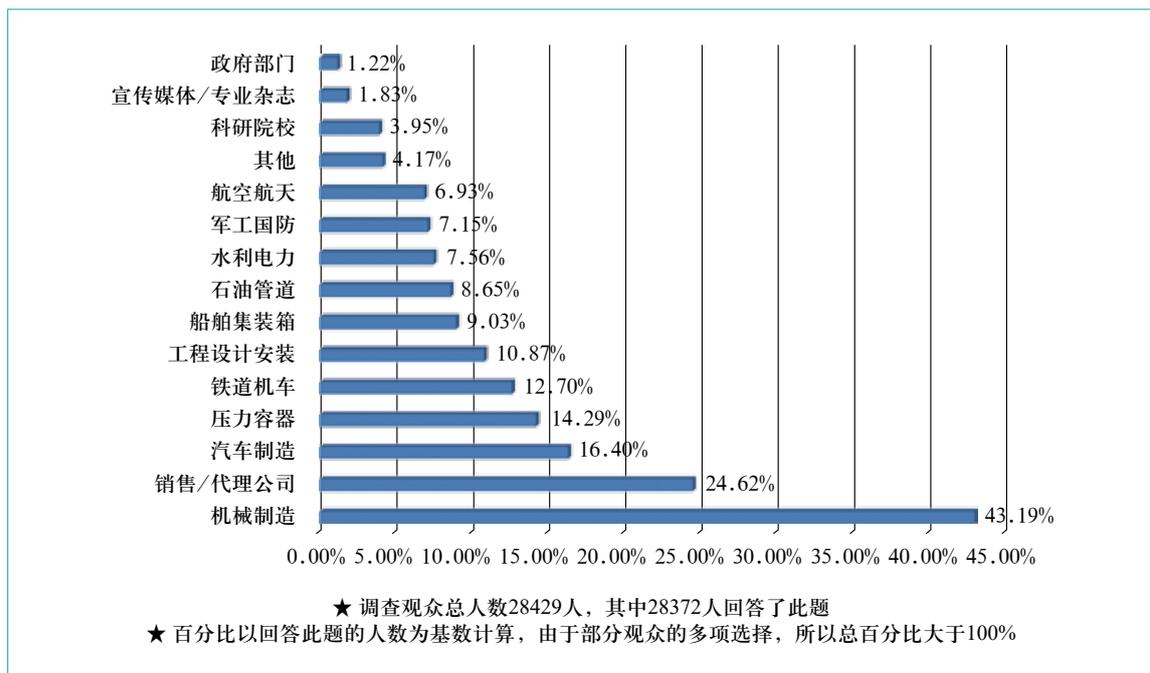


图9

3.6 观众的职务统计 (图10)

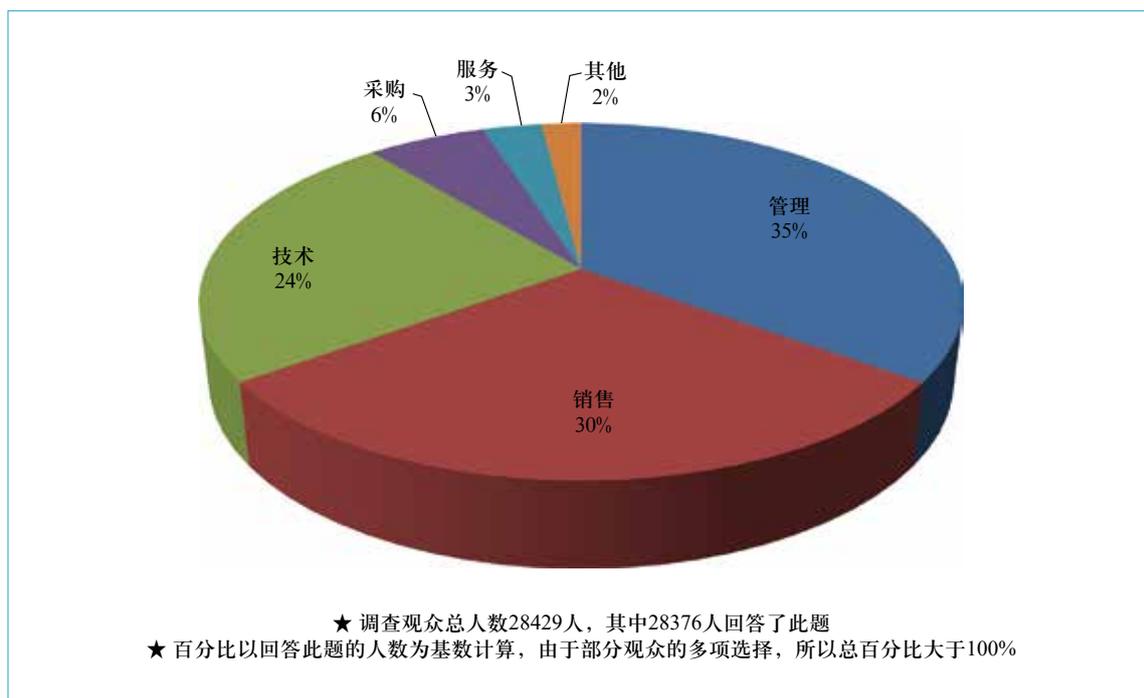


图10

3.7 观众对下届展会的意向统计 (图11)

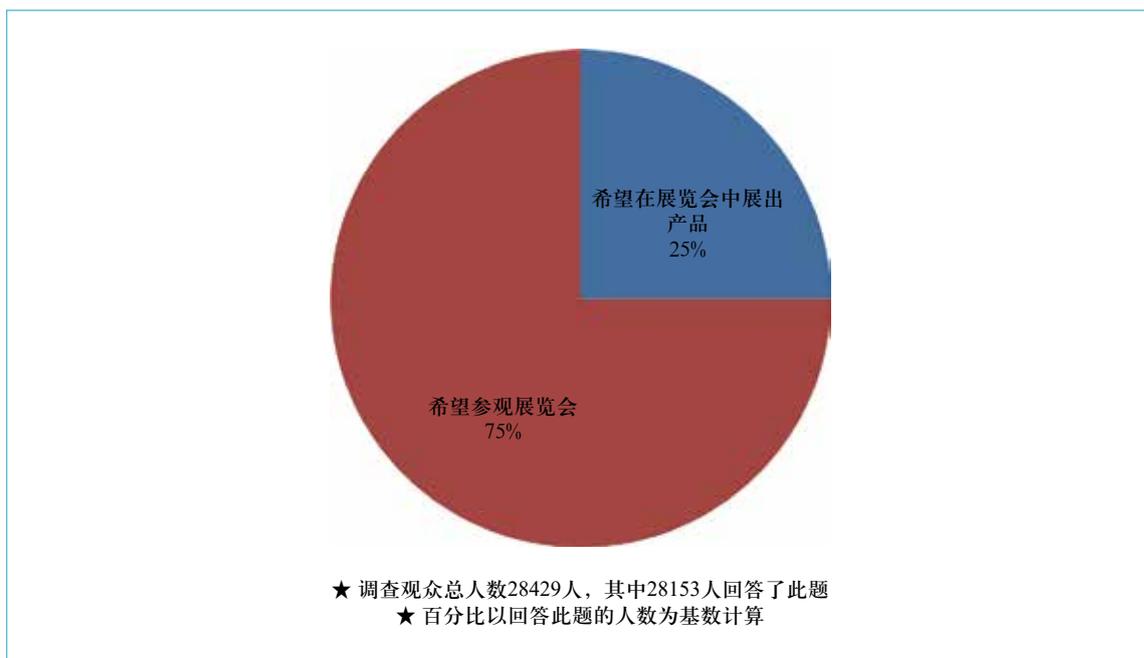


图11

4 配套的行业及学术活动（表1、表2）

表1 会议论坛

日期	论坛名称	地点	主办单位
2019年6月24日	IFWT2019焊接国际论坛——焊接智造·信息融合	上海	中国机械工程学会及其焊接分会、天津大学、大连理工大学、天津市焊接研究所、北京航空航天大学、中国民航大学、中国工程建设焊接协会
2019年6月22-24日	2019'中国焊接产业论坛——高效焊接技术及应用	上海	中国焊接协会
2019年6月25-28日	焊接专利与科技成果展	上海新国际博览中心	中国焊接协会、中国机械工程学会焊接分会

表2 技术讲座

序号	题目	公司	主讲人
1	哈工现代助力绿色工业4.0	海宁哈工现代机器人有限公司	崔正旭 首席技术官
2	1. 新一代全数字化碳化硅(SiC) 逆变焊机-逆变焊机的第三次革命 2. 1000V SiC MOSFET及其驱动器在超高频逆变焊机的应用	华南理工大学	王振民 教授
		深圳市鹏源电子有限公司	叶春显 技术总监
3	工业厂房烟尘治理技术系统解决方案	大连兆和环境科技股份有限公司	付明智 技术副总
4	1. SAWP（高精度主动送丝控制）技术及其应用 2. 智能焊接云管理系统 iWeldCloud	唐山松下产业机器有限公司	翁涛 技术应用中心主任 刘金龙 应用软件开发课课长
5	精细等离子切割的成套解决方案	江阴市六和智能设备有限公司	董诗阳 总经理
6	全面焊接管理信息化解决方案——基于EN15085/ISO3834的智能焊接工厂打造	湖南九方焊接技术有限公司（隶属天一焊接集团）	李志明 总经理
		常州龙星工业自动化系统有限公司	蒋浩军 副总经理
		北京华夏工联网智能技术研究院	王喜文 博士后、院长
7	1. 智能制造：汉神焊接机器人与自动化焊接介绍 2. 高功率激光焊接应用前景	无锡汉神电气股份有限公司	厉荣卫 技术总工程师
			雷洪波 技术副总

5 展会宣传

观众获知展会渠道（图12）。

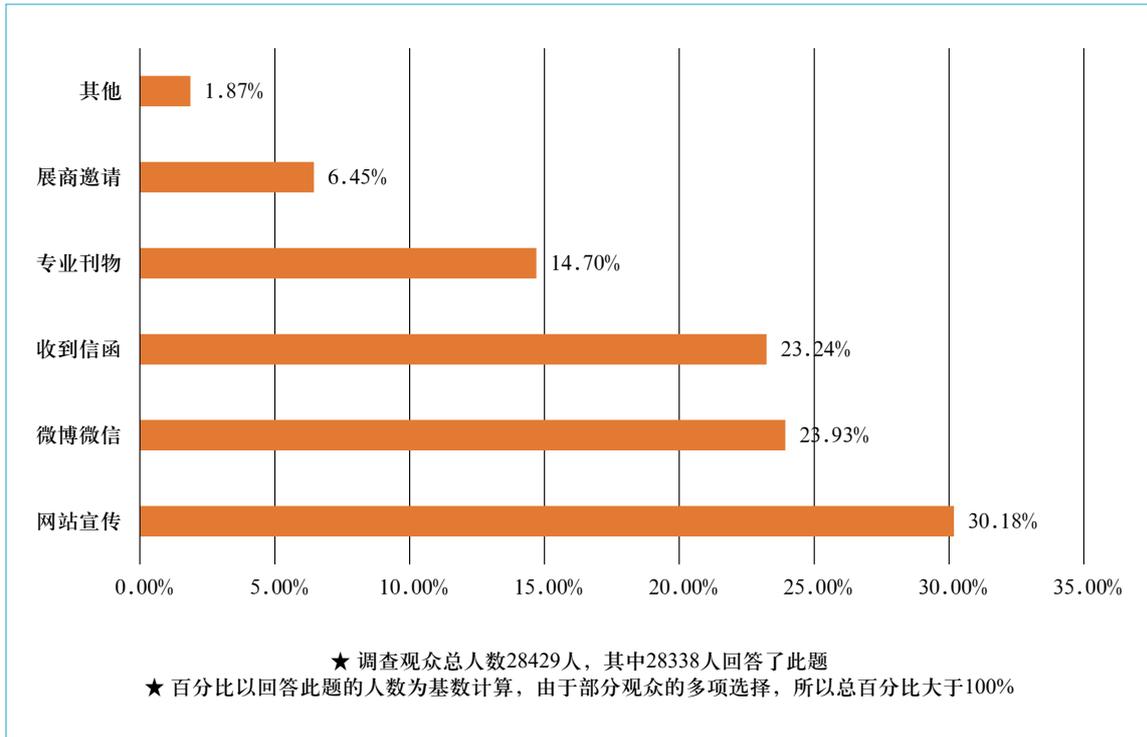


图12

宣传本届展会的合作媒体及展会如下：

指定媒体：《金属加工》、焊接之家

支持媒体：

专业杂志：《AIP 工艺与装备》《2019 外资品牌先进技术与产品指南》《钣金与制作》《电焊机》《锻造与冲压》《工业激光解决方案》《国际金属加工商情》《国际汽车设计及制造》《激光制造商情》《天下展会》《WeldFab Tech Times》

网站合作：焊接 21 世纪、机器人在线、QC 检测仪器

行业合作：IIW-India、日本产报、中国锻压协会

展会合作：俄罗斯圣彼得堡展览、中国国际装备制造业博览会（制博会）

展会技术报告

焊接设备

编纂人员：吴九澎、李宪政、陈树君、杨庆轩、彭亚萍、李新松、张亮、肖珺、汤子康、王春杰、刘斌、魏占静、魏巍、毛宇、宋金玲、郑美波、支海敏、陈建武、杨旭东、张维官、肖介光、张世见、于今等。

2019年6月25日，最具规模及影响力的焊接领域盛会——第24届北京·埃森焊接与切割展览会在上海新国际博览中心盛大开幕。来自全球各地的行业专家、展商和观众齐聚一堂，共享焊接盛宴，共促行业发展。各大参展商更是精心打造展台，携带最具代表性的拳头产品，尽情展示焊接科技产品新风采。各具特色的焊接装备在展会上亮相，吸引着大批国内外焊接人的目光。以下稿件是根据企业供稿和作者现场采稿编辑而成，尚不能全面反映参展企业相关产品技术水平，相关内容仅供参考，不当之处敬请谅解。

1 焊接设备概述

国内外参展的焊接设备相关企业共532家（不含材料、切割、安全防护等），约占全部参展企业的54%，约占实体展品出展企业的73%。按产品分类的参展企业为：弧焊设备111家，阻焊设备17家、高能束焊接设备17家、其他焊接方法14家、机器人系统27家、系统集成企业37家、辅机具73家、焊接配件212家、钎焊6家、焊割辅助及服务131家。参展企业涉及展品占比见图1。



图1 焊接相关产品占比

2 创新的焊接制造技术

2.1 电弧焊电源

欧地希 WB-A350P 焊机低电流领域稳定性高，最低电流 1A、最小电流调节 0.1A，交流频率 500Hz，电弧高度集中。图 2 为 WB-A350P 焊机及在 0.2mm 纯铝 A1050 的 TIG 间隔冷焊效果。参数设置为电流 AC5A，焊接速度 7cm/min，交流频率 500Hz。



图2 WB-A350P焊机及其TIG间隔冷焊效果

图 3 为欧地希 D-Arc 深熔弧焊机，是 OTC 独有的厚板焊接新技术。采用潜弧式焊接方式，实现稳定的 CO₂ 旋转电弧控制。根据客户现场使用情况，分为：半自动规格和机器人 / 自动机规格两种配置。半自动规格可实现 12mm 板厚单道一次熔透；机器人 / 自动机规格可实现 19mm 板厚单道一次熔透。搭载 Welbee 标准直流模式，在船型位置及角焊缝可使用 D-Arc 模式实现高效焊接，其他位置可使用 Welbee 标准直流模式实现全位置焊接。



图3 D-Arc深熔弧

图 4 为成都熊谷加世电器推出的全数字工作站 MD-500i，为野外施工而设计。其焊接参数可远程监视及调控，确保工程质量稳定可靠；远程监控油机的使用及维修保养情况，确保设备正常运行。MD-500i 具有氩弧焊功能（有、无高频起弧可自由选择）、手工焊条焊功能、碳弧气刨功能等，满足工程的多种需求。



图4 全数字工作站MD-500i



图5 X8MIG焊机

图 5 为肯倍 X8 MIG 焊机引入数字化 WPS(dWPS)，可通过计算机 WeldEye 界面编辑 WPS 文件，Wi-Fi 发送到焊机，预先设定焊机参数。焊接过程中，真实、完整地记录电流、电压、焊丝消耗、气体流量、热输入等参数，实现焊接数据检测。焊接结束后，所有参数存放在服务器中，以便追溯及数据深度分析。

MasterTig 是肯倍最新推出的一款氩弧焊机（图 6）。



图6 MasterTig

浙江肯得机电推出的 PM-280G 气保 / 手弧两用系列焊机 (图 7a) 采用 IGBT 先进逆变、微处理器控制等最新技术; 一元化单脉冲控制气保焊, 显著提升焊接性能, 明显优于传统逆变直流气保焊; 焊接方法的参数可灵活设置; 各种焊丝种类和焊丝直径, 各种位置的焊接适应性都较好。MIG-500Mn 焊机采用先进的 MCU 数字控制和软开关控制技术, 能够精确控制焊接过程 (图 7b)。具有手工焊、气保焊和碳弧气刨操作。该机具有检气、远或近控设定、实心或药芯焊丝及其焊丝直径选择功能; 可设定焊枪开关的操作模式; 可独立调节初期、焊接和收弧三个不同阶段的焊接规范参数, 提升了焊缝成形质量; 操作界面可使焊工的选择和参数调节更加直观、方便, 即使是未经过严格培训的焊工, 也可很快掌握并能获得高质量焊缝; 可实现低飞溅焊接, 更适合薄板、中板和厚板焊接。



(a) PM-280G

(b) MIG-500Mn

图7 浙江肯得系列焊机



图8 TITANS 500DP系列特点

深圳市瑞凌实业股份有限公司展示的 TITANS 系列焊机采用模块化设计, 内置焊接专家程序 (图 8)。TITANS 脉冲 (DP) 系列可实现低飞溅起弧和焊接, 拥有 MIG/MAG 单双脉冲功能。可焊接多种不同金属材料, 包括铝合金、不锈钢、铜合金、碳钢板材; 可采用单 / 双脉冲焊接铝合金; TITANS 一元化 (D) 系列, 可以高效焊接碳钢、不锈钢。内置参数一元化可调, 焊接电流精确控制, 带来便携的焊接体验。

图 9 为瑞凌股份推出的智能低飞溅数字化焊机——MIG 180GDM II, 体积小便携, 手工焊、提升引弧氩弧焊、气保焊功能 3 合 1。整机仅重 8kg, 内置送丝机构, 焊接参数一元化连续精确可调, 可实现薄板快速点焊以及药芯自保焊丝焊接。展会还发布智能低飞溅数字化焊机 MIG 250GDM、MIG 300GDL 系列, 可容纳



参数	指标	参数	指标
输入电压	单相220V	额定输出电压 (V)	23
额定输入电流 (A)	31.8	送丝速度 (m/min)	3-11
空载电压 (V)	53	防护等级	IP21
负载持续率	25%	机器净重 (kg)	8
电流调节范围 (A)	50-180	尺寸 (mm)	386×170×300

图9 MIG 180GDM 焊机及参数

15kg 焊丝盘。

Morrow TG5 焊机是由四川玛瑞 (MORROW) 焊业发展有限公司推出的一款全新智能平台焊机 (图 10)。该机以多种工艺实现不同金属的焊接, 具有电弧波形智能分析并精确控制, 从而使电弧的稳定性大大提高。通信方面, 可与机器人配套, 参数上传方面可实现互联、焊机群控、手机 APP 控制, 也可通过互联网实现软件焊机性能升级。该机最核心的焊接工艺平台功能有: 冷弧焊、低飞溅控制根焊、CR 弧焊 (冷热弧)、高速脉冲焊、高速双脉冲焊。



图10 Morrow TG5焊机

冷弧焊接时电弧近似 CMT、STT 过渡, 可进行 3D 增材 (WAAM)、堆焊、搭接焊。根焊时可代替 TIG 打底, 速度是 TIG 焊的 3-4 倍。CR 弧焊 (冷热弧) 时, 一个冷弧和一个高速脉冲弧交替工作, 在立向上焊接角焊缝或平角焊时, 无需作摆动焊, 焊缝美观、鱼鳞纹自动形成、清晰均匀, 冷热弧盖面焊接时速度快, 成型美观。高速脉冲电弧焊接时增加了电弧的线能量和挺度, 焊碳钢时比普通气保焊速度快 15%, 穿透力大 30%。高速双脉冲弧焊接焊缝美观、鱼鳞纹自动形成、清晰均匀。适宜镍基、铁基、钴基、碳钢、耐磨等实实心、药芯焊丝的焊接。高速双脉冲焊接时降低了焊缝热量, 同时确保焊缝熔深, 适宜于各种超高强钢、合金钢、不锈钢的焊接。焊接效果样品展示如图 11 所示。

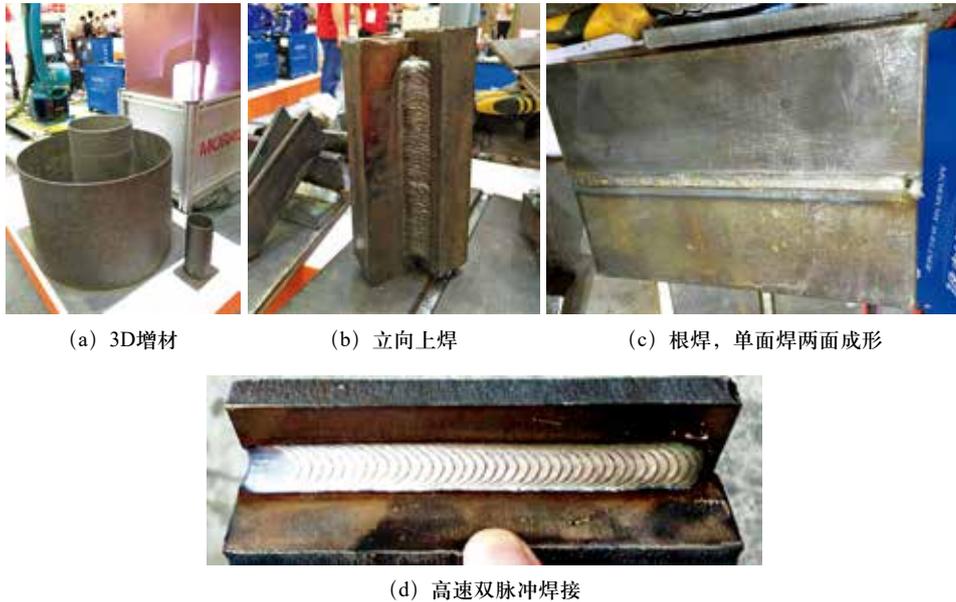


图11 Morrow TG5焊机焊接效果样品展示

图 12 是唐山松下展示的 TIGMATE 送丝装置 YJ-1052T，可应对多种焊接条件，实现高效 TIG 自动焊接。通过对复杂 TIG 送丝过程自动控制，实现自动化、高品质焊接，防止烧穿，焊接中的送丝速度可两档切换；可配合多种 TIG 焊接电源，可装配在自动行走的焊接小车上。



图12 TIGMATE送丝装置YJ-1052T

2.2 电源在机器人焊接系统上的应用

瑞凌股份与 CLOOS 联合开发的 CLOOS QinTron 自动焊系列（图 13）已进入批量应用阶段。瑞凌股份联合子公司珠海瑞凌共同展示机器人及配套电源

CLOOS QinTron 自动焊系列。该系列电源可焊接多种不同金属材料，包括铝合金、不锈钢、铜合金、碳钢板材，可采用单 / 双脉冲焊接铝合金。



参数	指标	参数	指标
额定输入电流	38A(380V) 31.5A(460V)	负载持续率	60%
额定功率(KVA)	25	空载电压(带VRD)	8.5V±10%
输出电流调节(A)	20-500	空载电压(不带VRD)	103V
MIG输出电压(V)	15-39	防护等级	IP23
MMA输出电压(V)	10.8-30	重量(kg)	56
TIG输出电压(V)	20.8-40	尺寸(mm)	770×340×505

图13 CLOOS QinTron 500A焊机及参数

瑞凌股份 Tri-arc(双丝三电弧, 图 14) 焊接是一种新型焊接工艺, 同时具有高焊接熔敷率和低焊接热输入。突破了传统弧焊理论, 电弧功率增大的同时焊接效率(熔敷率)增加, 但工件的热输入不增大, 甚至可以降低。主要应用于薄板高效焊接、高强钢和低温钢的焊接、堆焊修复和增材制造, 效率可达埋弧焊 3 倍, 应用广泛。



参数	指标	参数	指标
电源电压	三相380-460V	负载持续率	50%: L1/L2=600A 100%: L1/M2=420A M=300A
输入频率(Hz)	50/60	功率因数	0.93
额定输出功率(KVA)	60	绝缘等级	F
输入电流(A)	90	外壳防护等级	IP23
输出电流(A)	L1/L2: 50-600 M: 0-300	重量(kg)	123.3
输出电压(V)	L1/L2: 10-44 M: 0-45	尺寸(mm)	825×451×1040

图14 Tri-arc焊接系统(双丝三弧焊)及参数

图 15 为欧地希公司展示的 Synchro-feed 超低飞溅焊接系统。它能大幅度降低飞溅(最大降低 98% 飞溅), 超低飞溅的同时得到充分熔深, CO₂ 也能实现极致的超低飞溅焊接。



Synchro-feed超低飞溅焊接系统性能进一步提高
最大焊接电流提高到400A! 实现更加高速的、高品质焊接!

■最大焊接电流UP 300A→400A (100%CO₂)
 100A→150A (100%Ar)

■设定电压范围UP 在宽广的电压范围实现平坦的焊缝成形, 电压可调范围更宽

实现更加高速的焊接
 焊缝更加平坦、美观, 对焊丝伸出长度变化等外部因数变化的适应能力更强。

CO₂也能实现极致的超低飞溅焊接!

电流: 400A, 电压: 27.0V, 速度: 150cm/min
 保护气体: 100%CO₂, 板厚: 3.2mm, 接头: 搭接

演示内容: 大电流超低飞溅高速焊接
 焊接电流350A
 焊接速度200cm/min
 保护气体: 100% CO₂

图15 Synchro-feed超低飞溅焊接系统

GSK RK06-BRH 工业机器人与 GSK BRH-350 全数字焊机 (图 16) 为广州数控新品。该机器人具有运动范围广、重复定位精度高、运动轨迹抖动小的特点; 焊机具有标配总线接口, 方便与机器人或其他自动焊接设备进行焊接系统集成; 熔深大、飞溅小, 焊缝成形美观, 适用于 CO₂ 气体保护焊和 MAG 焊等特点。



图16 GSK BRH-350全数字焊机在机器人焊接上的应用

图 17 为肯倍 A7 MIG™ 数字化焊机, 是专为机器人和自动化焊接设计的焊接解决方案。可根据客户特定需要提供定制不同的功能。A7 MIG 450 能与众多品牌机器人的数字化控制系统无缝对接。A7 MIG Welder 可在常用 Web 浏览器上使用。电流、电压、焊接功率、气流、送丝速度和系统状态等重要焊接参数都能通过该界面实时监控。Web 用户界面还有日志视图, 可显示焊接信息、错误以及更改系

统设置。在推出 A7 MIG Welder 解决方案的同时，肯倍也公布了全新的接触感应引弧，可让焊接的最初阶段更加顺利并能减少这一阶段产生的飞溅。



图17 A7 MIG™数字化焊机

2.3 手持式激光焊接机

手持式激光焊接机主要用于薄板材料的精密零件焊接；设备简单小巧，灵活轻便，易于操作；维护使用成本低，基本无需耗材，焊接质量可靠；可实现点焊、对接焊、叠焊、密封焊、缝焊等。无锡汉神电气股份有限公司（图 18）、深圳市铭镭激光设备有限公司（图 19）、河北创力机电科技有限公司（图 20）、深圳力星激光智能装备有限公司（图 21）、无锡洲翔成套焊接设备有限公司（图 22）等均有设备展示。



机身	柜式一体化
激光类型	光纤激光器
激光波长	1080nm
激光功率	1000W
频率	最大调制频率50kHz
工作模式	连续/调制
激光输出焦距	100mm
激光冷却	水冷
指示系统	红光
光纤长度	15米
机器供电	220V±10%/50Hz
整机耗电功率	≤7KW
气口	1路氩气接口

图18 无锡汉神手持式激光焊接机及其参数表



(a) 第二代wobble手持焊接机

(b) 手持式光纤激光焊接机
激光功率包括500W、800W、1000W、2000W、3000W

图19 铭镭激光



图20 创力手持激光焊接设备及焊接样品

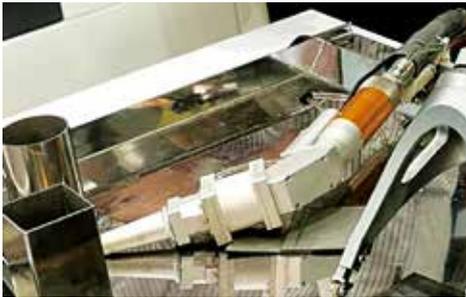


图21 深圳力星手持激光焊枪



图22 无锡洲翔成套手持式激光焊接机

2.4 阻焊设备制造

展会上,上海骏腾发智能设备有限公司展示了新一代高分子扩散焊机(图23),广泛应用于动力电池、变压器、开关等设备中的铜片、铝2种软连接及镍片、银片连接。该设备可实现焊接工艺参数化设定;设备配置触摸屏+PLC实现更稳



图23 新一代高分子扩散焊机

专利保护
违者必纠



图24 摆臂式平台点焊机

定可靠的控制系统。可根据客户产品要求设计研发自动焊机。设备功率可根据客户产品要求进行定制配套，自动化升级。

天津市天大切焊设备技术有限公司摆臂式平台点焊机（图24）是为高低压开关柜、网络机柜、电梯、汽车、金属门业等钣金加工业研制的新产品。该产品焊点无需打磨处理，即能保证焊点强度和表面美观。

3 机器人及焊接自动化

3.1 机器人焊接及应用

图25为北京博清科技有限公司展示的BOT-HAT10-4A型第四代无轨道、无导向爬行和自主识别焊缝的轮履式爬行结构全位置焊接机器人。设备可在垂直立面或弯曲面上利用多种传感器采集的信息自动跟踪焊缝，自由爬行，执行全位置焊接操作，实现大型结构件或狭窄空间的自动化焊接。



参数	指标	参数	指标
产品重量	25kg	焊缝跟踪方式	无轨道、无导向、自主识别焊缝
产品体积	590 × 380 × 220(mm)	焊接速度	250 ~ 500mm/min
最大负载	120kg	焊缝跟踪精度	±0.5mm
焊缝种类	对接焊缝	焊接工艺	MIG, MAG
焊接方位	全位置	环境温度	-10℃ ~ 40℃
运动方式	履带式+5个自由度	可靠运行时间	10年（年作业时间3000h）



图25 BOT-HAT10-4A型无轨道全位置爬行焊接机器人、参数表及展品

欢颜自动化设备(上海)有限公司首次亮相的“大金刚”机器人(图26),成为展会亮点。其本体和减速机为欢颜自主研发。伺服电机和控制器等关键部件均由国内合作伙伴根据欢颜设计需求研发生产。



图26 全球最大负载关节式六轴搬运机器人

“大金刚”工作半径3.8米,自重约24吨,有效负载3.6吨,创该类型机器人有效负载新的世界纪录(此前世界纪录为2.3吨)。其第一轴RV减速机直径1.5米,重量2.7吨,同样为世界最大。机器人虽大但精准度和控制灵活性同样不低,对拓展应用和降低运行成本、提高生产效率将发挥良好应用。

钱江机器人发布并全面上市新款QJRH4-1A机器人和基于该机器人的焊接机器人工作站(图27、图28)。QJRH4-1A机器人拥有独特的一键复位式机械防撞功能。工作站搭配奥太MAG-350RPL MIG/MAG机器人专用弧焊机(图29焊机特点)和宾采尔G500焊枪,用于“2019年‘中焊杯’全国机器人焊接技能大赛暨2019年度机械行业职业教育技能大赛——机器人焊接大赛”竞赛。该站通过匹配低飞溅、单脉冲、双脉冲、恒压四种模式的钱江焊接机器人软件包,工作中软件控制可不停弧切换,打底、填充、盖面一气呵成,实现自动化高效焊接。低飞溅和脉冲焊的完美结合,可实现60/17-350/31.5(A/V)全范围焊接,飞溅量有效减低65%-80%。

宾采尔焊枪系统包括焊枪、CAT Compact紧凑型机器人防撞器、高暂载率且

抗扭力耐用的同轴电缆。这款 ABIROB® G500 枪颈，采用新的 G- 型接口设计为实现稳定的重复精度焊接提供了保障。



图27 钱江焊接机器人工作站

机器人专用性能		Technical Specifications of Robot	
轴数/自由度	6轴/6自由度	轴数/自由度	6轴/6自由度
重量	3051 kg	重量	3051 kg
最大速度	0	最大速度	0
最大转矩	41g	最大转矩	41g
最大加速度	+0.03mm	最大加速度	+0.03mm
最大行程	1410.5mm	最大行程	1410.5mm
防护等级	IP20	防护等级	IP20
机械接口重量	110kg	机械接口重量	110kg
轴1	+180°	轴1	+180°
轴2	+150° - 80°	轴2	+150° - 80°
轴3	+85° - 180°	轴3	+85° - 180°
轴4	+180°	轴4	+180°
轴5	+55° - 212°	轴5	+55° - 212°
轴6	+180°	轴6	+180°
最大速度	0.20m/s	最大速度	0.20m/s
轴1	200%	轴1	200%
轴2	200%	轴2	200%
轴3	200%	轴3	200%
轴4	200%	轴4	200%
轴5	200%	轴5	200%
轴6	200%	轴6	200%
轴7	200%	轴7	200%
轴8	200%	轴8	200%
轴9	200%	轴9	200%
轴10	200%	轴10	200%
轴11	200%	轴11	200%
轴12	200%	轴12	200%
轴13	200%	轴13	200%
轴14	200%	轴14	200%
轴15	200%	轴15	200%
轴16	200%	轴16	200%
轴17	200%	轴17	200%
轴18	200%	轴18	200%
轴19	200%	轴19	200%
轴20	200%	轴20	200%
轴21	200%	轴21	200%
轴22	200%	轴22	200%
轴23	200%	轴23	200%
轴24	200%	轴24	200%
轴25	200%	轴25	200%
轴26	200%	轴26	200%
轴27	200%	轴27	200%
轴28	200%	轴28	200%
轴29	200%	轴29	200%
轴30	200%	轴30	200%
轴31	200%	轴31	200%
轴32	200%	轴32	200%
轴33	200%	轴33	200%
轴34	200%	轴34	200%
轴35	200%	轴35	200%
轴36	200%	轴36	200%
轴37	200%	轴37	200%
轴38	200%	轴38	200%
轴39	200%	轴39	200%
轴40	200%	轴40	200%
轴41	200%	轴41	200%
轴42	200%	轴42	200%
轴43	200%	轴43	200%
轴44	200%	轴44	200%
轴45	200%	轴45	200%
轴46	200%	轴46	200%
轴47	200%	轴47	200%
轴48	200%	轴48	200%
轴49	200%	轴49	200%
轴50	200%	轴50	200%
轴51	200%	轴51	200%
轴52	200%	轴52	200%
轴53	200%	轴53	200%
轴54	200%	轴54	200%
轴55	200%	轴55	200%
轴56	200%	轴56	200%
轴57	200%	轴57	200%
轴58	200%	轴58	200%
轴59	200%	轴59	200%
轴60	200%	轴60	200%
轴61	200%	轴61	200%
轴62	200%	轴62	200%
轴63	200%	轴63	200%
轴64	200%	轴64	200%
轴65	200%	轴65	200%
轴66	200%	轴66	200%
轴67	200%	轴67	200%
轴68	200%	轴68	200%
轴69	200%	轴69	200%
轴70	200%	轴70	200%
轴71	200%	轴71	200%
轴72	200%	轴72	200%
轴73	200%	轴73	200%
轴74	200%	轴74	200%
轴75	200%	轴75	200%
轴76	200%	轴76	200%
轴77	200%	轴77	200%
轴78	200%	轴78	200%
轴79	200%	轴79	200%
轴80	200%	轴80	200%
轴81	200%	轴81	200%
轴82	200%	轴82	200%
轴83	200%	轴83	200%
轴84	200%	轴84	200%
轴85	200%	轴85	200%
轴86	200%	轴86	200%
轴87	200%	轴87	200%
轴88	200%	轴88	200%
轴89	200%	轴89	200%
轴90	200%	轴90	200%
轴91	200%	轴91	200%
轴92	200%	轴92	200%
轴93	200%	轴93	200%
轴94	200%	轴94	200%
轴95	200%	轴95	200%
轴96	200%	轴96	200%
轴97	200%	轴97	200%
轴98	200%	轴98	200%
轴99	200%	轴99	200%
轴100	200%	轴100	200%

图28 钱江焊接机器人QJRH4-1A参数

·最佳的焊接性能

- 1、低飞溅、单脉冲、双脉冲、恒压四种焊接模式，工作过程中可不停弧切换，打底填充盖面一气呵成，实现自动化高效率焊接；
- 2、低飞溅和脉冲的完美结合，0-350A全范围飞溅量降低65%-80%；
- 3、全数字控制系统实现溶滴和熔池的精细控制，电弧更稳定柔和，熔池更平静，焊缝更美观；
- 4、DeViceNet、CAN、CANOPEN、485、EthernetIP五种通讯接口；
- 5、焊接专家数据库，自动智能化参数组合；
- 6、数字接口可直接调用用户参数，实时传输给机器人，配合机器人完成电弧跟踪功能；
- 7、接触传感功能，配合机器人完成寻位操作；
- 8、不锈钢、镀锌板材焊接专家。

低飞溅碳钢焊接

镀锌板焊接

不锈钢焊接

图29 奥太MAG-350RPL MIG/MAG机器人专用焊机特点

图 30 为 KUKA 新一代低负载机器人 KR10 R1420，搭载山东奥太公司的 MAG-350RPL 焊机联袂展示低飞溅焊接系统。紧凑且高精度的机器人与拥有恒压、低飞溅、单脉冲、双脉冲四种焊接方式的奥太焊机搭配，实现低飞溅和脉冲的完美结合，系统可在 0-350A 范围内焊接飞溅量降低 65%-80%，是焊接不锈钢、镀锌板的良好选择。焊机内置专家程序，支持一元化调节，更有强大的数字报错功能，并通过故障代码进行显示。



图30 KUKA+奥太组合难觅飞溅

图 31 为焊缝打磨应用站。它运用浮动力控技术，配合不同刀具磨具，可将应用场景扩散到如去毛刺、打磨以及抛光等实际操作中。再外加磨料切换装置，可轻松应对更多产品表面要求。而针对客户关于焊缝轨迹的偏差这一担忧，KUKA 引入激光跟踪解决方案，实时扫描焊缝实时修正打磨路径，提高焊缝打磨轨迹偏差的自适应性，达到甚至超出客户对焊接自动化高标准、多样化的预期。据了解，在客户实际需求中，应在不伤害母材情况下，处理后表面粗糙度不能高于 $6\mu\text{m}$ ，而通过使用 KUKA 提供的解决方案，可实现 $2.66\mu\text{m}$ 的表面粗糙度。



图31 高效率柔性焊缝打磨应用站



图32 Super Active TAWERS机器人

图 32 为 Super Active TAWERS 机器人，是松下在现有高性能 AWP 机器人基础上实现超薄板和超低飞溅焊接机器人系统。系统增加了拉丝装置和送丝助力装置。采用主动送丝控制技术，能高精度控制送丝；同时配合 TAWERS 的波形控制技术，实现超越其他方法的极低飞溅。根据配置不同，可实现碳钢、不锈钢、镀锌板和铝等材料的高品质焊接。

图 33 为瑞松科技机器人搅拌摩擦焊，结合了机器人离线编程软件，机器人激光焊缝跟踪器等自动化智能化技术。利用机器人的柔性、离线编程软件的高轨迹精度及焊缝跟踪系统的实时纠偏，可实现曲面攻坚的精确焊接，大幅度减少焊接辅助时间。

图 34 为洲翔针对人防门行业专门为客户量身定制的人防门机器人焊接工作站。其与传统手工焊接方式相比较，具有如下优点：①直线焊缝轨道精度高；②焊接后焊缝不用抛光和打磨；③双变位系统，提高生产效率；④操作人员可远离焊接物，防止焊接对人体所造成的辐射；⑤焊接人员无须专门培训，易学易用。



图33 机器人搅拌摩擦焊



图34 人防门机器人焊接工作站

图 35 为悬架焊接单元。采用川崎 BA006N 焊接机器人、结合外部轴回转 / 翻转，使机器人达到最完美的轨迹进行焊接。设备适用于焊接挂车悬架结构（前置、中置、后置）及平衡臂；达到悬架内外双面焊接，突破了挂车悬架焊接的空白。



图35 悬架焊接单元



图36 FSSW技术在汽车轻量化等机器人连接技术的应用

图 36 为 YSR 应对新能源汽车连接技术的应用场景。包括激光复合焊接、铝材料超低飞溅弧焊、铝材料点焊、自冲铆接 SPR、热熔自攻铆接 FDS、搅拌摩擦焊接 FSW 等轻量化材料连接技术，以及激光复合焊等先进焊接技术等。

图 37 为艾美特自动化技术（北京）有限公司展出的柔性机器人氩弧焊接系统。系统由 DT 数字化集中控制器和焊接摄像监视系统等构成，为小批量、多品种焊接提供直流 / 变极性 TIG 焊接柔性解决方案。这是艾美特首创的机器人柔性化控制构架，获得航空航天等企业的认可。系统在焊前和焊中可以人为干预机器人焊

接起始点及焊接轨迹，降低机器人焊接对工件加工精度和重复定位精度的要求。配有氩弧焊 / 等离子焊专用电弧电压跟踪装置，经信号处理可控制机器人手臂执行弧长调节动作。配有机械摆动控制装置，通过 DT 设置机械摆动工艺数据，并控制机器人手臂按工艺要求执行摆动动作。焊接过程中可以通过艾美特控制系统调节机器人焊接速度；通过 DT 实现摆动与电流脉冲联动、送丝与电流脉冲联动、弧长跟踪与电流脉冲联动等各种实用控制功能。



图37 柔性机器人氩弧焊接系统



图38 汽车底盘件自动化焊接系统

图 38 为 FANUC 汽车底盘件自动化焊接系统，展示了 Dual Arm 双机弧焊机器人与三轴变位机实现双机、双工位高效协同在汽车底盘件行业高效、高质量焊接解决方案。系统通过 iRVision 2D 视觉系统对工件进行自动精确定位，实现机器人自动上下料。焊接过程中变位机与机器人协同运动，无论焊枪在任何位置、任何角度，焊枪相对于工件表面的线速度始终等于预先设定的焊接速度。

针对集装箱及专用车行业波纹板的焊接，通过 FANUC 激光智能视觉技术可实现高效、智能化的板材焊接。通过激光视觉技术对波纹板工件焊缝进行定位和扫描，大大降低工件定位的精度要求。同时，在无需示教焊接轨迹的情况下适应多种规格波纹板工件，减少对工件一致性的要求，如图 39 所示。

图 40 是 CLOOS 专为电弧焊的特殊工艺设计。包括，激光复合焊、磨削工艺或简单的搬运任务和其他高精度激光应用的 ORC60-PL 机器人。有效载荷 60kg，工作范围 $\Phi 3.9\text{m}$ ；采用集成减震、集成电气和气动接口。

图 41 为遨博 (北京) 智能科技有限公司展示的外观新颖的六轴多关节焊接机器人。图 42 为深圳市鸿栢科技实业有限公司基于工业 4.0 的思想设计的新一代多



图39 集装箱波纹板智能化焊接系统



图40 将于年末上市的CLOOS QIROX机器人ORC60-PL

功能智哥机器人系统。系统主要面向汽车自动生产线等各种焊接场合。其机器人运动控制、伺服驱动、焊接作业装置以及机器人本体等方面具有完全自主知识产权。新技术包括：高阶样条加减速速度规划、速度前瞻连续轨迹插补、重力矩补偿等运动控制技术，HLINK 高速现场总线协议技术。基于 FPGA 纯硬件伺服驱动核心技术，振动抑制技术，基于激光传感器的机器人焊缝跟踪技术等。



图41 六轴多关节焊接机器人



图42 多功能智哥机器人系统

3.2 焊接自动化装备

图 43 为唐山开元自动焊接装备有限公司研发的国内首台不锈钢金属屋面自动缝焊机。为便于现场施工，设备采用焊接机头与控制冷却系统分体形式。主要由焊接、驱动、加压、控制、识别、冷却和监视系统组成。其中，焊接系统为中频逆变直流，可预制多套焊接参数以供调用，适用不同焊接需求。主要用于两层屋面板，或两层

屋面板及支座板的电阻缝焊，可根据工程需求实现连续 / 断续焊接。断续焊接时，焊接位置可通过传感器自动采集，焊接长度可任意设置并可存储相关信息以备追溯。



图43 不锈钢金属屋面自动缝焊专机及接头示意图

图 44 是郑州高端装备与信息产业技术研究院有限公司推出的 AW-08 型数控全自动金属篮筐式焊丝盘生产成套设备。完全自主研发，拥有 3 项发明专利和 4 项实用新型专利；自适应微张力放线；数控篮筐单元成型，篮筐单元的各部位形状及尺寸调整方便；快装式篮筐夹具和精准的双驱动多工位同步行星传动机构实现篮筐的快速全自动焊接；数控上料装置实现单元成型篮筐焊接一体化自动控制；坐标机器人实现篮筐成品的全自动码放。生产效率为 45 秒 / 只。



图44 数控全自动金属篮筐式焊丝盘生产成套设备



图45 铅笔桶自动生产系统

欧地希公司展示了由 5 台机器人协调动作进行铅笔桶自动生产的基本流程（图 45）。包括焊前、焊后的自动搬运供需，TIG 脉冲焊接、Synchro feed 超低飞溅铝焊接、交流 MIG 焊接 3 种焊接工序。

图 46 为北京艾美特基于 TX 系统控制器、HWP180 热丝电源等构成的第三代交流变频热丝技术的车床式环缝焊接系统，能够避免直流加热焊丝产生的磁偏吹现象。

TX 是基于工业 PC 的 5 通道自动焊接控制系统控制平台，提供了电流控制、电弧电压跟踪控制、摆动控制、送丝控制和行走控制；可以编制多区段焊接程序，预设焊接参数值，能在焊接过程中实时调整主要的焊接控制参数，为应对复杂的焊接环境提供保证；能够实现对等离子、TIG、MAG/MIG、埋弧



图46 基于TX系统控制器的热丝TIG焊接系统

焊等弧焊系统的控制。并可实时观察焊接参数和调节，具备焊接数据的采集能力。

TX控制热丝TIG焊接系统还兼容冷热丝TIG焊接能力；采用后送丝形式，明显增加熔覆效率，在参数合适的情况下热丝TIG的生产效率可达冷丝TIG的4~8倍。具备脉冲TIG和脉冲送丝功能。可配置电弧电压跟踪、机械摆动、焊丝机动调节、摄像监视等功能。

3.3 管道焊接系统

为适应工艺管道预制、城市管道施工操作空间狭窄、小车高度低的需求，2017年成都熊谷加世电器在已有设备基础上又开发了A-305单焊炬管道自动外焊机，即使在直径168mm管道的弧面、直面上仍可灵活施焊。同时，该设备的5kg、2.7kg的小焊丝盘设计，也使其具有更好的狭窄场景下施焊适应性、灵活性。A-305还预留WIFI、扫码器接口、自动电弧跟踪功能，可提供远程技术服务与数据云端传输，方便焊接工程质量的实时监控和管理，如图47所示。



图47 熊谷A-305单焊炬管道自动外焊机施焊场景

艾美特北京公司研发了基于 DT 高精度数字化控制系统的管道全位置焊接系统（图 48）。通过 DT 物联网技术，采用数字直驱或者模拟信号驱动方式，可与各种焊管钳或者全位置焊接机头集成，实现各种尺寸、材质、厚度的铝合金、不锈钢、碳钢等各种材质管道全位置焊接。通过 DT 可以应用各种成熟的焊接机头设计，改造用户现有的焊接机头；集成多个厂家的数字或者模拟控制焊接电源，实现电流脉冲 / 电弧电压跟踪 / 机械摆动等的协同控制。工艺方法可为直流 / 交流 / 变极性 TIG，冷热丝；也可以是 MIG/MAG，等离子、激光等；通过 DT 可对焊接电流（含脉冲）、电弧电压跟踪、焊接速度、机械摆动、送丝速度、热丝电压等进行精确控制；多层多道焊时可实现参数自动切换，包括每道焊接程序 20 段以上的分段能力；焊接质量关键要素的管控能力，包括操作者管理、焊接程序管理、焊接过程实时监控、受控参数的实时采集等标准功能；可集成艾美特成熟的视频监控系统 and 视频存储能力；具备程序和实际焊接参数采集信息的输入输出接口；可以配置无线通信接口，实现工地内的焊接系统互通互联等。



图48 DT数字化控制系统的管道全位置焊接系统

3.4 自动化辅助传感及控制器

艾美特焊接自动化技术（北京）有限公司自主研发的新一代 DT 数字化集中控制器（图 49a）是通用多通道数字化自动焊接控制系统。内核是基于工业物联网技术 SOC 处理器，DT 作为焊接控制平台（图 49b）可提供电流、弧长、摆

动、送丝、动作、气体控制，可提供工作环境、焊接过程实时监控和实时数据采集等完整的焊接控制软硬件系统。用户不但可以编制多区段焊接程序，预设焊接参数值，也能在焊接过程中实时调整主要的焊接控制参数，为应对复杂的焊接环境提供了保证。DT 为模块化设计，支持系统功能的快速扩展，能实现对等离子、TIG、MAG/MIG、埋弧焊及机器人焊接系统等弧焊系统的控制。此外，DT 还支持多弧、多工位系统的整体化集成，具备 CNC 协同控制能力用于复杂轨迹的焊接。DT 打破了国外对这一领域的垄断，已经在航空航天发动机、压力容器等焊接领域分别用于控制柔性机器人、直流/变极性等离子/TIG 焊接系统、热丝 TIG 焊接系统、CMT 冷金属过渡（MIG）焊接系统、双丝埋弧焊接系统等。



图49 DT数字化集中控制器

图 50 为 OTC 自主研发的激光跟踪传感器 FD-DC 在机器人焊接自动化上的应用。该传感器使用激光实现高精度跟踪，不受焊接情况影响，可适用 t1.0mm 薄板跟踪，200cm/min 的高速跟踪，无需摆动可实现焊缝检测跟踪，可根据焊缝



图50 激光跟踪传感器FD-DC在机器人焊接自动化上应用扩展

间隙大小自动调整焊接条件，提高焊接质量。

通过电弧跟踪软件，系统实时对摆动焊接过程中的电流采样分析获得的水平及垂直方向上的修正数据，通过软件计算并对机器人路径实时控制，以达到稳定的焊接效果。KUKA 抛弃了传统的电流信号采集器，而采用 Arcsense 软件通过 RSI 实时修正，并且监控记录传感器信号和实际轨迹偏移。传感器信号稳定情况下，可跟踪 10° 偏差的焊缝，极大提升下料以及装配不够精准工况下的



图51 升级版电弧跟踪技术应用

的机器人焊接质量。机器人弧焊高速寻位技术有效解决在受到工件表面质量、下料尺寸精度及工件组装误差影响下机器人无法预知工件实际位置信息的难题。其在 Ethercat 高速通信 + Touchsense 软件双重支持下，实现以 125 微秒寻位信号响应时间，对工件一维、二维、三维进行有效测量。机器人控制器对测量结果进行分析得出实际偏差，并以程序指令修正实际位置信息，以保证机器人的运行轨迹，同时也可人为设定寻位速度（最小寻位速度 100mm/s）与寻位电压（最高可达 200V）。升级版电弧跟踪技术应用如图 51 所示。

图 52 为发那科公司利用视觉技术和智能弧焊技术完成散堆工件分拣和自动上下料，实现高效高质量焊接。机器人通过 3DA 三维广域传感器对多种规格散堆工件进行自动分拣和自动上下料作业。三维广域传感器与机器人高度集成，机器人示教器可直接查看、设置视觉系统，极大方便视觉系统的调试及维护过程。

图 53 为上海伊道自动化焊接设备有限公司展示的 ED-ST 系列焊缝跟踪器，



图52 智能分拣自动焊接系统



图53 ED-ST系列焊缝跟踪器

由感应探头、控制器和执行机构组成。感应探头接触工件，采集焊接面的位置变化，通过控制系统进行计算，执行机构随时调整焊炬与工件的上下/左右位置，保证焊缝质量。该产品采用模块化设计，根据客户要求，可派生出一维或多维跟踪器。其控制精度高、响应速度快，适用于 TIG、CO₂、MIG、SAW 等焊接形式，容易和各种自动焊接操作机等专用设备配套使用，实现高质量自动焊接。

宾采尔（广州）焊接技术有限公司 TH6X 激光焊缝跟踪系统：激光线组和摄像机采集的母材和焊缝数据经过处理后，用于对焊缝位置的实时识别与校准；无需接触母材，不受外部系统与焊接工艺影响，并且适用于各种焊接材料和各类焊缝类型。宾采尔集成式机器人防碰撞器系统：紧凑型机器人防碰撞 CAT Compact 和集成式电缆组件主要用于空冷焊接。该设计主要应用于 500A 中空臂机器人焊接，并在汽车零部件和一般工业产品中得到大量应用。整个产品系统包括焊枪、防碰撞器、高暂载率且抗扭力耐用的同轴电缆。这款 ABIROB[®] G500 枪颈，采用新的 G- 型接口设计，构成完整的产品系统；稳定的重复精度实现了重复焊接。如图 54 所示。



图54 TH6X激光焊缝跟踪及机器人防碰撞器系统

4 其他焊接装备及各具特色的展品图片

4.1 清洗设备

等离子体只在能量密度高于阈值的情况下产生。阈值取决于被去除的污染层或氧化层。阈值效应对在保证基底材料安全的情况下进行有效清洁非常重要。等离子体的出现还存在第二个阈值。如果能量密度超过这一阈值，则基底材料将被破坏。为在保证基底材料安全的前提下进行有效清洁，必须根据情况调整激光参数，使光脉冲的能量密度严格处于两个阈值之间。激光清洗原理如图 55 所示。每个激光脉冲去除一定厚度的污染层。如果污染层较厚，则需要多个脉冲清洗。将表面清洗干净所需要的脉冲数量表明表面污染程度。

激光清洗为绿色清洗技术，无研磨、无接触、无二次污染，可用于焊接、粘接前的预处理。焊接后清理焊斑，能够去除锈、漆、油渍、氧化物、灰尘及钙化物。图 56 为无锡汉神激光清洗设备。图 57 为中军金工发展有限公司激光清洗设备。图 58 为力星激光手持式激光清洗枪。图 59 为大族激光机器人辅助激光清洗设备。

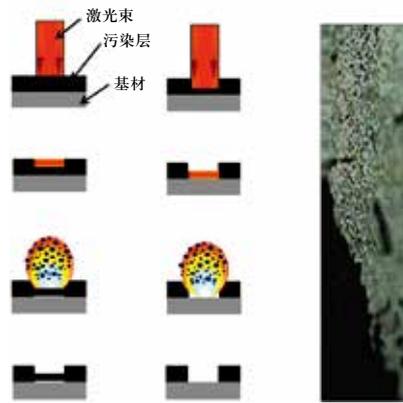


图55 激光清洗原理



图56 汉神电气激光清洗设备



图57 中军金工激光清洗设备



图58 力星手持式激光清洗枪



图59 大族辅助激光清洗设备

图 60 为法国 Tolexpo 推出的 feoclean 焊接清洗器。该产品无风扇符合 IP65 封装无进气格栅，可以高效地为生产车间提供很多不锈钢作业。碳纤维刷不锈钢电解焊接清洁剂是清洗行业良好的清洗耗材之一。



图60 feoclean焊接清洗器

4.2 焊接辅助设备

图 61 为上海正特焊接器材制造有限公司展示的 CT 系列冷却水箱，是一款改进后的便捷节能的焊割设备冷却水箱。具有独创的 LED 水位显示窗，方便用户检查储水箱水位。采用 24V 直流无刷水泵，功耗小、效率高、使用更安全，也无须定期检查、更换碳刷。水泵具有自吸功能，首次使用或久置不用时无需排气，操作更便捷。内置液体流量控制装置，当水流过低时发出报警信号，有效保护焊枪及设备。内置独立风机，优化风道结构及散热面积，冷却功率高。



图61 冷却水箱

图 62 为伊萨 VERSOTRAC EWT 1000 推出的一款用于埋弧焊、气保焊和气刨的模块化、便携式焊接小车，可快速重装。可识别船舶、海上风电塔、结构钢应用等便携性需求。该焊车送丝系统具有记忆功能，从而减少更换焊头和更换丝盘轴的时间。Versotrac 搭载了全新的 EAC10 控制器，界面包含焊接小车及其他轻型自动化应用所需功能，可实时显示热量输入等重要功能，监控焊接质量。拥有遥控操作盒，操作人员可在舒适位置更改设置。



图62 VERSOTRAC EWT 1000焊接小车

瑞凌焊接小车采用永久磁铁、陶瓷顶轮导向与耐高温硅胶车轮，焊接时行走平稳、可靠。可配套焊接小车锂电池，体积小，重量轻，易于移动和安装。图 63 为瑞凌全位置焊接小车 RL-1CM，应用广泛，可实现角焊、对接焊、立焊、横焊等。配有中停功能的摆动器，可对中薄板的角焊缝实现完美焊接。



参数	指标	参数	指标
输入电压	AC 220V/DC 24V	焊枪调解范围	前/后50mm 左/右50mm
净重(kg)	7.82	焊枪调整角度	0-360°
功率(W)	45 W	尺寸(mm)	320×300×250

图63 全位置焊接小车RL-1CM参数

4.3 互联及物联网产品

长输管道施工时焊接设备的使用位置不断迁移。工程各方管理者极需在办公室也能随时查询施工的时间、地点、电流、电压等信息，并监控、管理施工过程的焊接质量、工艺规范、工程进度等。熊谷加世电器公司为此开发了基于互联网和GPS定位的AS4.0产品营运数据管理系统（图64）。系统由专门制造的手工、半自动、自动焊接设备、中转服务器、客户服务器组成。客户终端是基于Windows的软件设计，主要涉及用户界面、数据解析、数据存储、数据传输、系统升级（含远程）。系统可以实现远程焊接监控和故障诊断，并实现管道自动焊系统的过程数据管理；具有二维码扫码模块、数据存储、数据传输模块，焊接设备可向客户服务器上上传焊接设备型号、焊接日期、焊接电流、焊接电压、气体流量、送丝速度、焊接速度、开始焊接时间、结束焊接时间、焊接时长、管材信息、管口编号、管口地理坐标和焊工二维码等信息，可对数据进行统计分析，并设定设备的报警与消息推送。



图64 熊谷AS4.0产品营运数据管理系统示意图

该系统能够在没有移动网络覆盖时保证数据不丢失，并在进入网络覆盖区后及时发送数据，且支持断点续传功能。系统内置看门狗，能够在数据采集板系统发生错误时，及时重启系统，极大减少用户数据的丢失，并且不影响焊接设备正常工作。目前，AS4.0产品营运数据管理系统也可以像电脑、智能手机一样实施远程系统升级，图65、图66为设备监控显示效果。



图65 焊接设备在线状态

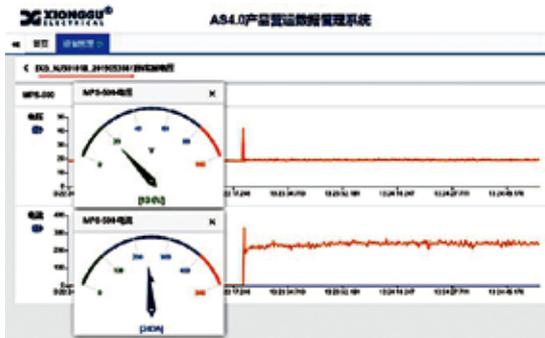


图66 焊接设备实时电流、电压、时间

图 67 为北京时代科技股份有限公司展示的全数字化微处理器控制的智能电源集控系统演示。它是基于 DSP（硬件主电路控制）和 ARM（面板通信）数字平台，采用模块化设计理念，充分体现数字化、智能化、自动化、网络化及绿色化特征，为用户提供全新体验。



图67 TD系列全数字焊机及集控系统演示

图 68 为上海模呈信息技术有限公司为中国中车设计的智能焊接资源管理系统。它通过让计算机“学习”大量焊接资源数据、焊接经验等，实现计算机辅助工艺设计，实现焊接过程人、机、料、法、环、测六要素的全面控制。设立接头标准库、焊接方法库、焊材标准库等，实现接头与 WPS 自动匹配。



图68 中国中车智能焊接资源管理系统

实现焊接计划单位在线生成、派工、焊工证书智能筛选，工艺数据下发到焊机。焊接过程数据实时采集、监测材料和能源消耗。

图 69 为松下智能焊接云管理系统 iWeldCloud，承载了松下对焊接智能化的理解与实践。它不仅仅是部署在云端的一套软件，更是一套融合了设备智能化、管理智能化、服务智能化的数据平台。

图 70 为山东奥太智能焊接云系统。该系统是针对焊接现场焊机管理推出的可以实现焊机状态实时监控、焊接参数在线控制、焊接数据海量存储以及焊接数据统计、分析的综合焊机管理系统。可协助生产企业提升产品焊接质量、降低生产成本。

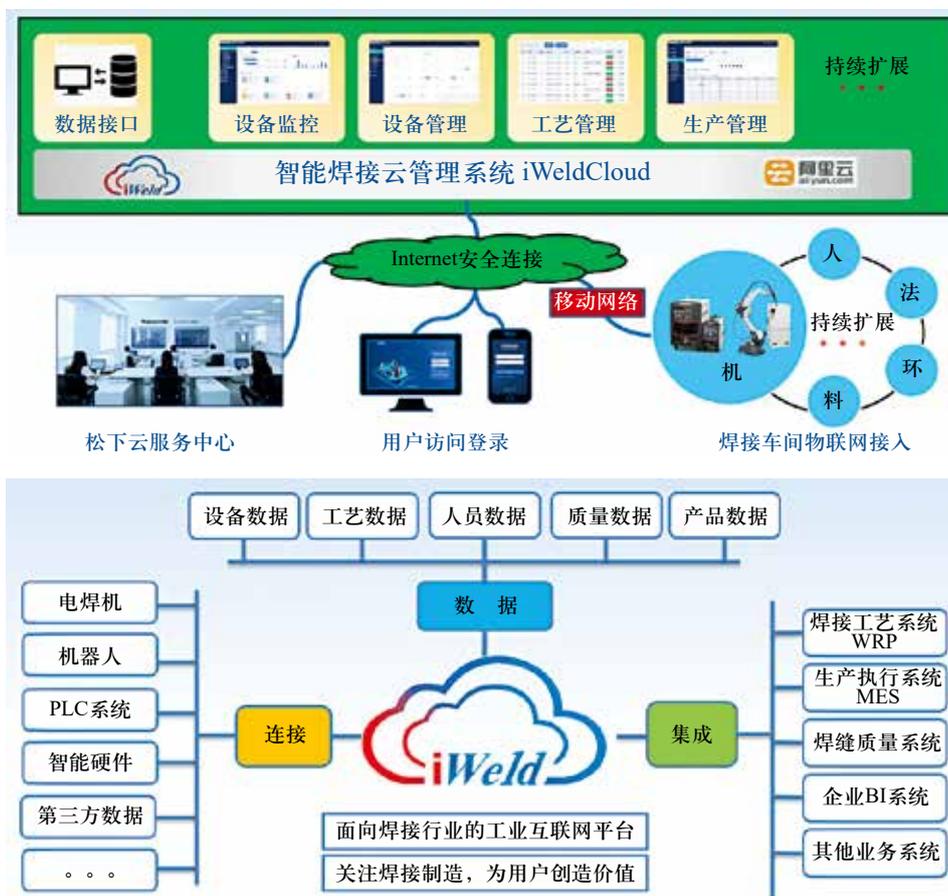


图69 松下智能焊接云管理系统iWeldCloud



图70 山东奥太智能焊接云系统

焊接材料

《焊接材料》部分由国家焊接材料质量监督检验中心及中国焊接协会焊接材料分会组织业界专家编写。报告按照气保护实心焊丝、药芯焊丝、埋弧焊材、焊条、钎焊材料等焊接材料产品类别分别介绍参展重点产品的技术特性和应用需求等内容。

1 展会总体概述

2019年第二十四届北京·埃森焊接与切割展览会，国内外参展的焊接材料展商按产品类别分别为：焊条 61 家，气保护实心焊丝 69 家，药芯焊丝 46 家，埋弧焊剂 26 家，堆焊材料 18 家，软硬钎料 5 家，衬垫材料 3 家，原辅料及设备 13 家。5 年来，四类主要焊接材料参展企业概况见图 1。

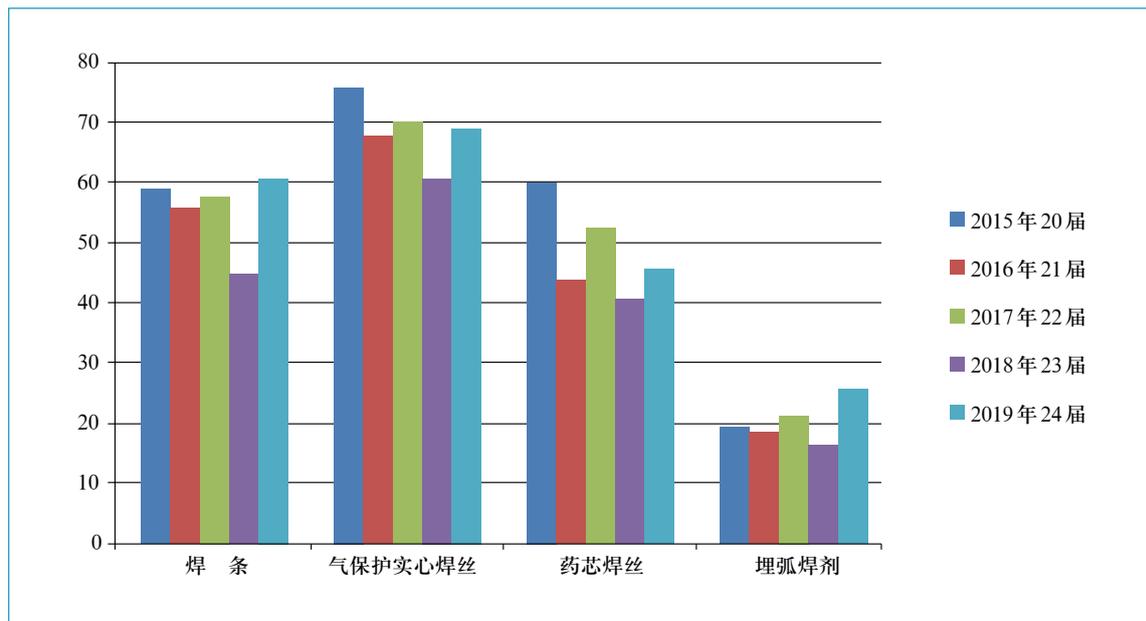


图1 2015年~2019年北京·埃森展焊接材料展商参展概况

参展的焊接材料主要展商有天津金桥、天津大桥、四川大西洋、哈焊所华通、昆山京群、武汉铁锚、天津三英、山东索力得、北京金威、洛阳双瑞、上海通用、保定蓝宇、台湾汉泰、台湾首锐、日本神钢、日本新日铁、美国 ITW 集团天泰、

瑞典伊萨、韩国高丽等企业。展出的焊接材料产品有碳钢、高强钢、低温钢、耐热钢、不锈钢、镍基合金等类别，涉及的应用领域有船舶、海工、能源、桥梁、石油化工、压力容器、工程机械等行业。

为焊接材料配套的原辅材料企业也积极展出各自的特色产品。如湖南瑞升、无锡钰生、南京永保、锦州宏达、上海九鼎等公司，展出了各类合金粉、等离子粉、镍粉、铜粉等。原辅材料企业积极优化产品质量，为焊材企业提供更好的综合服务，有利于我国高端焊材的发展。

2 焊接材料行业近10年产量和进出口量

2.1 焊接材料产量

焊接材料行业由高速发展转为高质量发展，产品结构逐步趋向更为合理。据不完全统计，近10年焊接材料产量见表1；各类焊接材料占总产量的比例见图2。

表1 2009年~2018年中国焊接材料产量

年 度	焊 条 (万吨)	气保护 实心焊丝 (万吨)	药芯焊丝 (万吨)	埋弧焊材		总产量 (万吨)
				焊 丝 (万吨)	焊 剂 (万吨)	
2009	231	125	41	18.1	22.9	438
2010	220	128	51	20.3	25.7	445
2011	226	150	50	21.6	27.4	475
2012	220	160	42	22.9	29.1	474
2013	205	165	39	22.5	28.5	460
2014	195	160	40	22	28	445
2015	175	158	35	20.7	26.3	415
2016	165	160	30	19.7	25.3	400
2017	160	170	31	20	26	407
2018	156	180	35	21	23	415

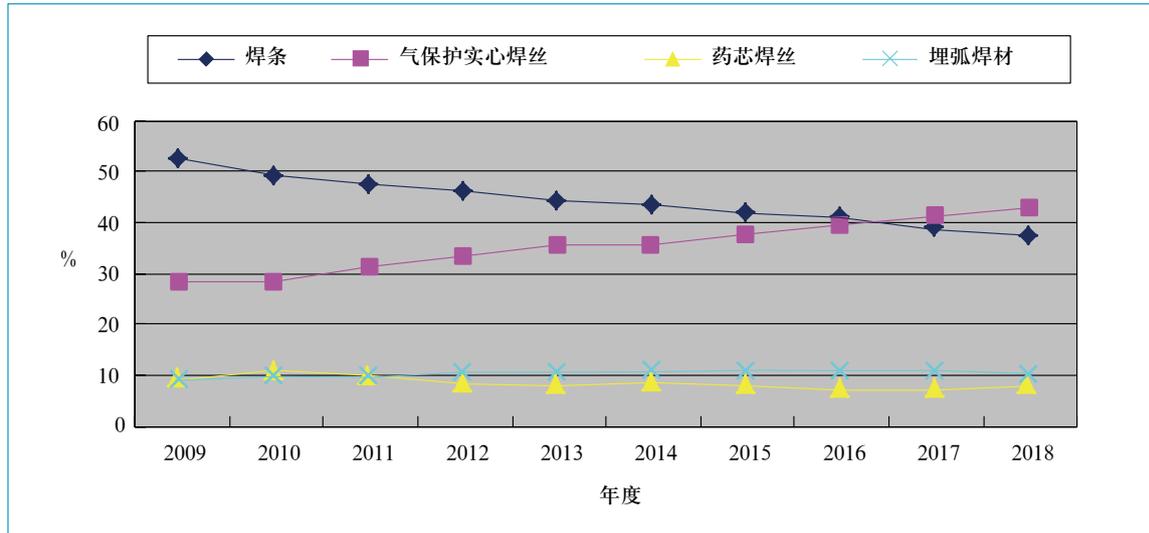


图2 2009年~2018年中国各类焊接材料占总产量的比例

2.2 中国焊接材料进出口量

根据海关总署的数据分类汇总，中国近10年焊接材料进口情况见表2，出口情况见表3。

表2 2009年~2018年中国焊接材料进口统计（万吨/亿美元）

年 度	焊 条		实心焊丝		药芯焊丝		焊 剂		合 计	
	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额	总数量	总金额
2009	0.42	0.35	0.68	0.21	2.81	1.04	1.96	0.85	5.87	2.45
2010	0.61	0.51	1.07	0.33	2.87	1.23	2.36	1.08	6.91	3.15
2011	0.81	0.80	0.86	0.27	2.51	1.27	2.33	1.16	6.51	3.50
2012	0.66	0.60	1.02	0.29	2.33	1.28	2.23	1.05	6.24	3.22
2013	0.67	0.70	1.75	0.41	2.07	1.07	2.07	1.02	6.56	3.20
2014	0.85	0.96	1.85	0.41	2.35	1.12	2.05	1.11	7.10	3.60
2015	0.61	0.60	1.96	0.38	2.40	0.97	1.53	0.85	6.50	2.80
2016	0.46	0.45	2.26	0.43	1.86	0.79	1.38	0.79	5.96	2.46
2017	0.58	0.43	2.55	0.47	1.64	0.77	1.59	0.89	6.36	2.56
2018	0.58	0.49	2.31	0.47	1.79	0.83	1.53	0.91	6.21	2.70

表3 2009年~2018年中国焊接材料出口统计 (万吨/亿美元)

年 度	焊 条		实心焊丝		药芯焊丝		焊 剂		合 计	
	数量	金额	数量	金额	数量	金额	数量	金额	总数量	总金额
2009	24.75	1.91	22.51	1.98	4.16	0.78	1.75	0.15	53.17	4.82
2010	23.97	1.87	27.53	2.76	4.58	0.81	1.60	0.14	57.68	5.58
2011	26.05	2.36	25.32	3.16	5.37	1.02	2.15	0.20	58.89	6.74
2012	28.83	2.79	25.46	3.00	5.54	1.10	2.65	0.26	62.48	7.15
2013	30.60	2.92	26.80	2.98	5.35	1.04	2.59	0.25	65.34	7.19
2014	30.40	3.04	28.70	3.09	5.50	1.01	2.91	0.30	67.51	7.44
2015	30.76	2.50	27.02	2.41	5.66	0.95	2.98	0.26	66.42	6.12
2016	35.93	2.62	28.73	2.31	6.26	0.89	3.50	0.30	74.42	6.12
2017	31.63	2.58	25.14	2.45	5.83	0.87	3.58	0.33	66.18	6.23
2018	32.78	3.08	22.58	2.58	7.05	1.11	3.99	0.38	66.40	7.15

3 气保护实心焊丝

气保护实心焊丝适应高效、自动化的应用需求,结合新型钢材的开发,不断推动配套实心焊丝产品的研发,品种和型号快速、多样化发展。同时,国家重点装备重大规划和生态文明建设对绿色焊接材料及高效制备技术也提出更高要求,焊材企业连同焊材应用企业与焊材生产设备供应企业联手并进,针对实心焊丝的生产设备、技术、工艺加大改进提升,成效显著。

3.1 无镀铜实心焊丝

无镀铜实心焊丝以有机涂层取代镀铜层,生产过程以机械清洗代替酸洗,基本做到无重金属、无酸、无碱产生,污染明显减少。焊丝在焊接过程中烟尘排放少,没有重金属铜的产生,有效保护焊接操作者的职业健康,引领行业向绿色发展。行业内无镀铜焊丝产品已推向市场和应用于工程实际中,见图3、图4。



图3 天津金桥无镀铜焊丝系列产品



图4 京群GMR-W55Ni3无镀铜焊丝

3.2 高强、高韧实心焊丝

高强度因具有高强度、能承受重载及较大压力等优点，在大型船舶、油气管道、轻量化车体及其他大型焊接结构件中受到青睐。焊接技术直接制约甚至决定了高强度构件特别是大型构件的应用及服役寿命，作为高强度焊接工艺的重要一环，高强度焊丝的选用将直接影响高强钢的可焊性能。

展会上大多焊丝厂都展出了 60kg ~ 80kg 级高强气保护实心焊丝，见图 5。展品最高强度级别为 100kg。展出厂商有天津金桥、武汉铁锚、山东索力得、山东聚力等，见图 6。

针对水电行业 Q690 高强钢的应用，天津大桥、四川大西洋、四川西冶等研发的 80kg 级高强、高韧气保护实心焊丝已应用于乌东德、白鹤滩水电工程。

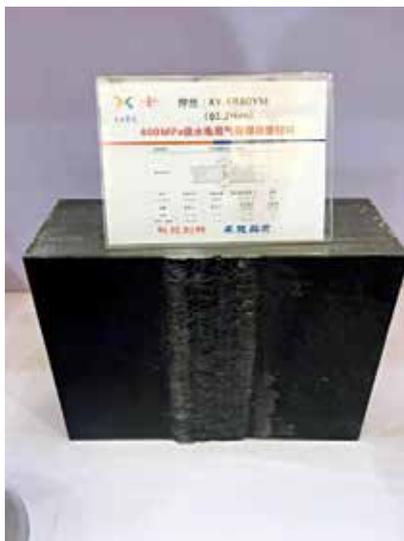


图5 四川西冶水电用80kg级高强焊丝



图6 天津金桥YJ100M等高强焊丝

3.3 耐候实心焊丝

随着耐候钢性能的提升,开发出与高性能耐候钢相配套的焊接材料成为目前亟待解决的任务。合金元素及组织微观结构对耐候焊接材料熔敷金属综合力学性能及耐候性具有显著影响。目前,国内外多家企业对耐候钢焊丝进行了重点研发,耐候钢焊丝合金体系现主要以 Ni-Cr-Cu、Mn-Cu-Ni 为主。基于耐海洋大气腐蚀性能,开发了系列高 Ni 无 Cr 低合金耐海洋大气腐蚀钢产品,焊丝合金体系现主要以高 Ni-Cu 为主。

展会上,天津金桥、天津大桥、昆山京群、台湾汉泰、台湾首锐、四川西冶、四川大西洋等均展出了不同强度的常规大气工业环境的耐候钢焊丝,天津金桥还推出了 3Ni、1Ni 耐海洋大气系列焊丝,见图 7。



图7 天津金桥耐候系列焊丝

3.4 耐火实心焊丝

随着高层钢结构建筑的发展,防火防护问题日渐突出。20 世纪 80 年代日本提出了耐火钢的概念,兼顾耐大气腐蚀性能,在遇到火灾的短时(通常为 1h ~ 3h)高温条件下能够保持较高的屈服强度。日本新日铁住金、JFE、神户制钢等开发出焊接耐火钢、抗震耐火钢和耐大气腐蚀耐火钢系列焊接材料,抗拉强度级别包括 400MPa 级、490MPa 级和 520MPa 级。欧美等目前也在开展这方面的研究及应用工作。

国内对耐火钢的研究较晚,目前仍处于应用起步阶段。首钢、宝钢、舞钢、武钢、鞍钢、南钢等许多钢厂都进行了耐火耐候钢的研究,并取得显著成果。相应配套焊丝的市场需求也会随着耐火耐候钢的应用逐步扩大。展会上,天津大桥推出耐火 THQ-600FRW 等气保护实心焊丝,见图 8。

3.5 特种专用实心焊丝

随着焊丝应用的不断发展,逐渐根据应用领域进行品种细分。如针对长输管线全自



图8 天津大桥耐火焊丝产品

动焊的发展趋势，金桥自主研发的 JQ.X70 和 JQ.X80 等实心焊丝完成漠大二线、陕京四线、中俄东线等重点工程工艺评定。目前，产品已经应用中俄东线全自动焊接施工中。本届展会焊材生产厂商还推出工程机械、汽车制造等领域的特种专用实心焊丝，配合工艺推出的耐腐蚀制品用焊丝，以及绞股焊丝这类可控形、控性的特种焊丝等等。

(1) 索力得公司推出工程机械专用低飞溅 SLD-60 实心焊丝，严格控制钢材的杂质元素，并适当添加钛，使用富氩气保护降低焊丝飞溅，大颗粒飞溅可降低 50% 以上，见图 9。

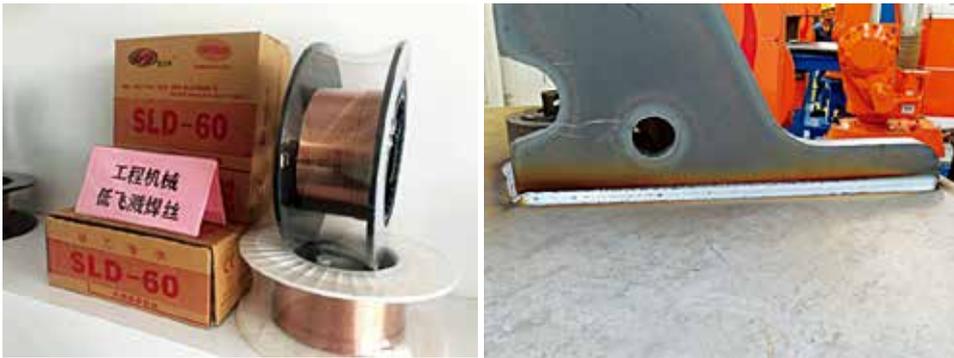


图9 索力得低飞溅焊丝及徐工现场焊接件

(2) 高丽焊接公司的 KC-37 改善涂料耐久性焊丝，用锰代替硅成分，焊渣极少且分散。减少除渣工作及预喷漆后因焊渣脱落引起的腐蚀，见图 10。

(3) 日本冶金工业针对高耐蚀焊接管推出的不锈钢焊丝 ER2594 用于纵缝、环缝的焊接，获得良好的耐蚀性能，见图 11。日铁溶接 YM-24T、YM-100A、

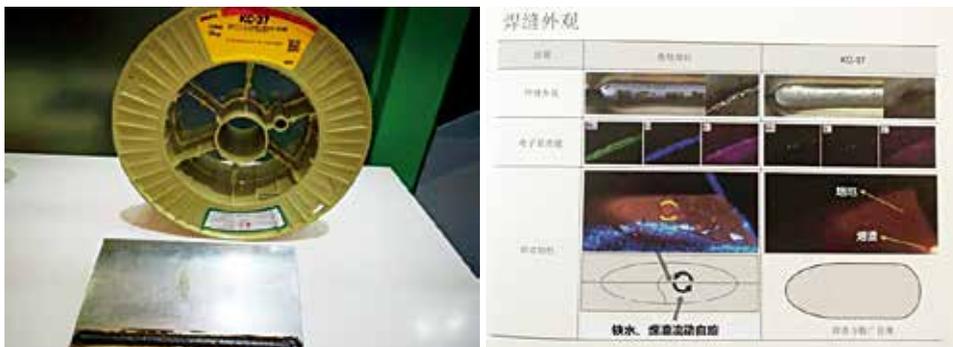


图10 高丽焊接公司KC-37焊丝及焊缝外观

YM160 焊丝具有独特的耐间隙性、镀锌钢板、汽车用高强钢板、耐蚀排气管等制品焊接的应用性能，见图 12。日铁溶接 NITTETSU 系列焊材用于 LNG 或液氮等低温储罐上的 9%Ni 钢焊接，见图 13。

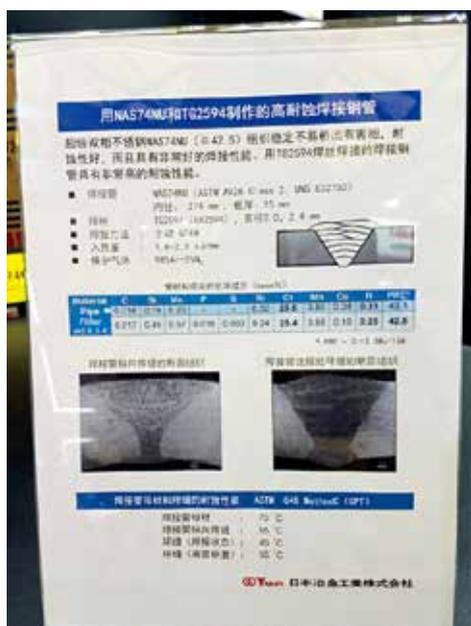


图11 日本冶金工业不锈钢焊丝应用实例



图12 日铁溶接焊丝针对性应用实例

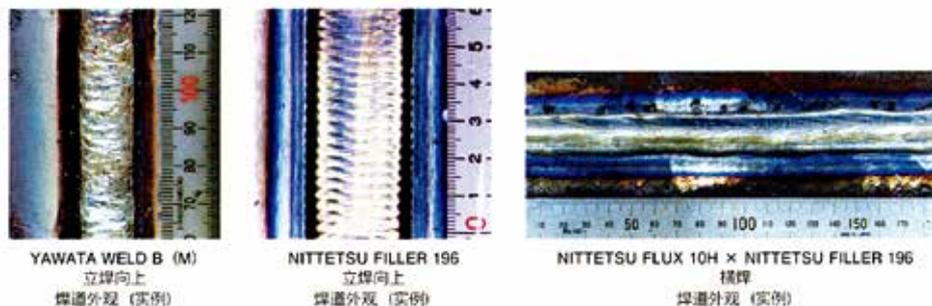
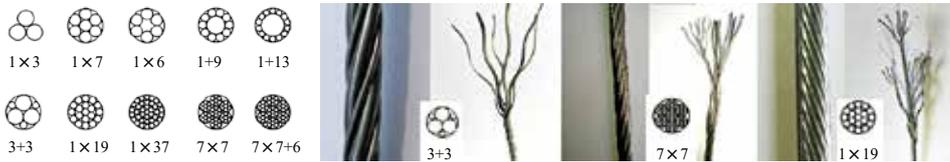


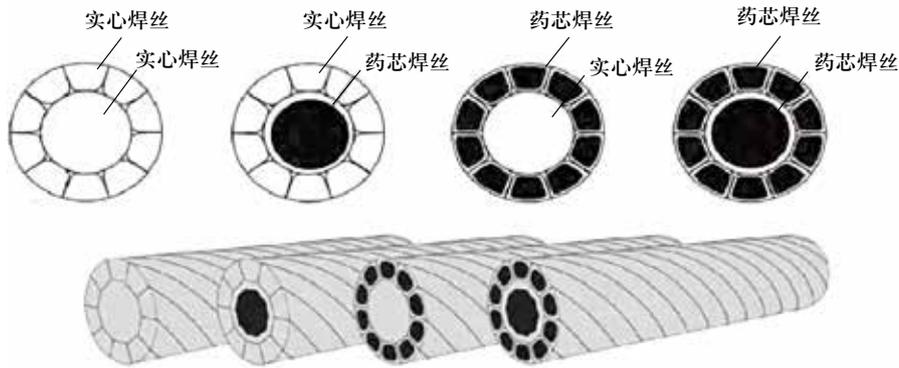
图13 日铁溶接LNG储罐焊材焊道外观

(4) 江苏联捷等企业推出的低合金钢、不锈钢、镍基、铝基等系列绞股焊丝，是一种全新理念的新型结构焊材，由多根外围单丝围绕中心丝呈螺旋状捻合而成。外部形态为麻花状。其结构具有可设计性，能根据焊接对象的需要实现“量身定做”。见图 14。

绞股焊丝与传统焊丝相比能实现焊缝熔深熔宽的可控性、提高熔敷率，减小热输入、焊接熔池自动旋转形成螺旋弧，有利于焊缝结晶的细化和气体溢出、利于熔滴均匀过渡，减少飞溅。



(a) 绞股焊丝结构示意图



(b) 绞股焊丝组合示意图

图14 绞股焊丝示例

(5) 北京金威推出系列打底焊专用背面免充氩 TGF 焊丝。该焊丝在实心焊丝的表面涂覆一层薄的药皮。焊接时，正面充氩背面不充氩，解决了实际工程中根焊不易充氩和充氩量过大成本过高的问题，既提高焊接效率又降低成本。

3.6 焊丝自动化焊接用设备、气体

焊接发展的历程表明，焊接材料与焊接设备、辅助装备、保护气体互动发展。新型焊机、机器人技术减少了焊接飞溅、改善了焊缝成形。现场很多焊接设备展商进行了演示。展会上，机器人在焊接设备厂家中占据较大比例。OTC 针对铁和铝的焊接，分别展出超低飞溅机器人焊接系统，见图 15。可大幅度降低飞溅(最大降低 98% 飞溅)，厚板焊接也能实现(超低飞溅的同时得到充分熔深)，CO₂ 也能实现极致的超低飞溅焊接。

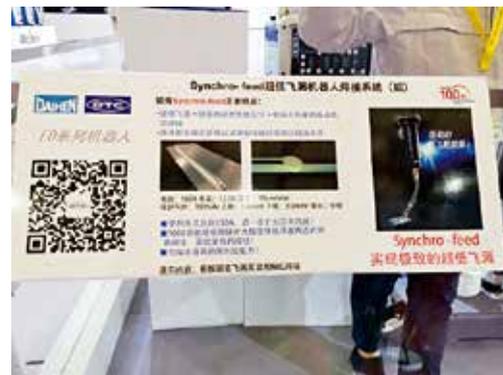


图15 超低飞溅机器人焊接系统

目前，用户采用机器人大规范焊接、长距离送丝越来越多。展会上，多家焊枪厂家均展出水冷机器人焊枪、推拉丝中继装置等，见图 16、图 17。水冷焊枪可满足 600A 电流焊接使用，推拉丝中继装置送丝可达到 30 米。



图16 水冷机器人焊枪



图17 推拉丝中继装置

专业气体公司也在改变气体供应方式，根据用户不同需求完善气体配比。一般，可提供3元气，多的提供6元气。采用特定配比的混合气，可提高焊接速度，降低保护气和工时消耗；改善熔池流动性，从而获得更平整的焊缝，降低因粗糙不平和平宽窄不均所造成的焊丝消耗；减少飞溅；减少焊接后的处理；改善操作性能，便于控制焊角尺寸，见图18。



图18 创新的Linx焊接保护气体及焊缝示例

3.7 高性能有色焊丝

(1) 镍基、铜基焊丝

近几年，国内镍及镍基合金焊丝发展很快，尤其是用于耐蚀的镍基合金 MIG 焊丝 ER625。展会用于 TIG 焊和 MIG 焊的镍及镍合金焊丝、铜及铜合金焊丝等特种焊丝展出较多。展出镍基合金焊丝的国内厂家主要有北京金威、哈焊威尔等；国

外厂家主要有美国超合金 SMC、德国 VDM 等。镍钛焊丝、镍铜钛焊丝、镍铬焊丝、镍铬钼焊丝均有展出,见图 19。直条焊丝采用 5kg/包,盘装焊丝 15kg/盘的包装形式。铜及铜合金焊丝主要用于铜及铜合金的连接、硬质合金工具的焊接及耐磨耐腐蚀金属间摩擦部件的堆焊。本届展会硅青铜、磷青铜、铝青铜、锡黄铜等焊丝均有展出,见图 20。直条焊丝采用 10kg/包,盘装焊丝 12.5kg/盘的包装形式。



图19 镍合金焊丝



图20 铝青铜焊丝

(2) 铝及铝合金焊丝

参展的铝合金焊丝生产企业较多,哈焊所华通、天津金桥、杭州坤利、郑州船王等展出了产品实物、样本、手册和焊接试件等,见图 21、图 22。主要产品系列有 5XXX 系、1XXX 系、4XXX 系铝合金焊丝,如 ER5356、ER5087、ER4043 等,哈焊所华通还展出了应用于铆钉线、导电绞线等领域的 6.0mm 铝杆,见图 23。

国内焊材制造企业近年来开展了大量的铝焊丝研发工作。通过产学研强强联合、引进国外先进装备等,逐步缩小与国外焊丝质量的差距。如哈焊所华通从国外引进先进的冶炼、连铸连轧、精轧、多道刮屑等全套国外同类产品生产装备和技术,见图 24、图 25。天津金桥的铝焊丝生产采用国际先进装备及工艺,具有高



图21 铝合金焊丝展示



图22 铝合金焊接试件展示



图23 6.0mm铝杆线

效稳定，自动化程度高、易调整，环保，焊丝品质优良等优点，见图 26。郑州亚丰立得、杭州星冠都推出比较成熟的铝焊丝精拉机组、拉拔抛光、直条切断、全自动层绕等生产线和生产设备，见图 27、图 28。



图24 哈焊所华通铝焊丝先进流水线



图25 哈焊所华通高端铝合金焊丝推荐会



图26 提高工效的直条切断设备



图27 国产铝焊丝精拉机组



图28 铝合金TIG焊丝表面处理，一体成型设备

3.8 焊丝制备的绿色化和高效化

国内企业对实心焊丝生产工艺及装备进行全面升级、换代、改造，在焊丝生产和使用全过程进行高效降耗减污以及数字化控制。通过自主创新研发了实心焊

丝高效粗拔、细拔设备，将设备运行速度分别从 9m/s 提升至 13m/s 和从 15m/s 提升至 30m/s。生产效率分别提升 44% 和 100%，解决了粗细拔工序生产效率低的问题；实现无酸洗除锈，又将原有拔、镀分开的生产方式升级为全自动一体化无酸碱洗的高速



图29 高速镀铜生产线

(25m/s ~ 30m/s) 镀铜生产线，见图 29；用绿色无污染的新材料、新工艺代替传统焊丝高污染、高能耗的酸碱清洗工序和化学镀铜工序的无镀铜焊丝生产工艺及装备；提供长时间连续焊丝供给、满足机器人等自动化生产线需求的桶装焊丝的生产装备；满足低成本和环保要求的焊丝金属篮筐的制造设备；自动上、下料，自动层绕，自动包装等设备，多工序自动流转，自动物流系统，生产线集成总线。

(1) 无镀铜焊丝生产线

无镀铜焊丝生产技术具有生产过程无污染、设备占地面积小，节约空间、设备智能化程度高以及生产成本低等特点。一例自制设备见图 30。



图30 无镀铜核心设备示例

(2) 桶装焊丝装备

桶装焊丝与盘装焊丝相比具有焊接线性好、放线端送丝阻力小且稳定、保质期更长、焊接成型好以及焊接效率高等优点，大容量的桶装焊丝已成为必然的发展趋势，见图 31。每桶 100kg、250kg、350kg 规格的桶装焊丝所占比重越来越大，甚至已有每桶 500kg 的需求。



图31 桶装焊丝

意大利 GIMAX 集团生产各种焊丝生产设备，其桶装机见图 32。河南西工机电生产的系列桶装焊丝设备，采用不同的送丝机构和飞轮结构，分别适用于 CO₂ 气体保护焊丝和不锈钢焊丝等不易挤压变形的实心焊丝，见图 33。或者药芯焊丝、



图32 意大利GIMAX集团的桶装机



图33 河南西工的桶装机

铝焊丝等承受较小压力的焊丝桶装生产。

(3) 高速桶装生产装备

高速桶装生产装备具有生产速度更快、生产效率提升、设备运行更平稳和装桶质量更高、焊丝品质更好等优点。为了配合高速装桶工艺，桶装机上配备了全新的焊丝调直装置，保证焊丝松弛直径更大(接近于直线)、翘距更小($\leq 10\text{mm}$)。优良的线性使得焊丝在连续性点焊等复杂的焊接工况时送丝更加平顺、再起弧能力好，长距离焊接时焊丝落点一致性好，焊缝更加笔直。河北鑫宇自制的桶装焊丝生产线见图34。天津金桥对桶装机装置进行技术改造见图35，已在生产中得到良好应用。



图34 河北鑫宇自制的桶装焊丝生产线



图35 天津金桥改造的新型高速桶装机

（4）自动层绕、包装等系统

在焊丝层绕、包装、上料、码垛等重复性、高强度工序，正逐步改进、提高生产自动化程度，提升产品品质的一致性，减少人员投入，为智能化生产奠定了基础。天津金桥、四川大西洋开创性的使用了机器人代替操作工完成焊丝层绕和包装工序，见图 36、图 37、图 38、图 39，节约了层绕、包装工序 50% 的人力。



图36 自动层绕设备



图37 自动上料设备



图38 焊丝塑料盘注塑生产系统



图39 自动包装设备

（5）数控金属篮筐制造系统

焊丝供货包装形式主要有塑料盘、金属篮筐、桶装三种。其中，塑料盘形式占比约 95% 以上。国内使用的 20kg 以下规格包装基本采用塑料盘形式，而由于环保因素出口欧美日等发达国家的焊丝产品则全部采用金属篮筐形式。与塑料盘相比，金属篮筐具有诸多优势，如结构牢固不易开裂、大幅降低原料成本、材质可以反复利用，节能环保等。

金属篮筐式焊丝盘属于量大、低值消耗品，只有通过全自动化生产才能有效降低人力成本，凸显其低原料成本优势。郑州高端装备与信息产业技术研究院研制成功的全自动金属篮筐生产成套设备填补国内空白，实现了从放线、矫直、送线、

折弯成型、篮筐组焊到码垛的全自动生产，提高篮筐产品质量稳定性，降低人力成本，降低焊丝包装费用，是金属篮筐生产的发展方向。金属篮筐式焊丝盘如图 40。

(6) 生产制造系统

配套研发全自动一体化焊丝生产装备，在此基础上配套数据采集及自动监控系统，对物料信息进行采集记录，对生产过程产品质量进行记录跟踪，再通过机器人和自动物流系统等手段，大幅缩短运输时间和产品周期，提高场内物流效率；实现自动上、下料，多工序自动流转的柔性制造，最终利用标准的工业总线将生产线上的生产设备、装备、机器人等集成在一个网络中，实现对生产中各个环节的过程监控与自动调控。



图40 金属篮筐式焊丝盘

4 药芯焊丝

本届参展的药芯焊丝生产企业中，国外厂家主要有奥钢联伯乐、日本神钢、日本新日铁、美国 ITW 集团天泰、瑞典伊萨、韩国高丽；国内厂家主要有大桥、金桥、京群、大西洋、三英、铁锚、华通、蓝宇、汉泰、首锐等。展示重点集中在常规品种品质提升和高端品种技术突破上。

4.1 结构钢用药芯焊丝

结构钢用药芯焊丝主要用于船体、桥梁、海洋平台等结构的焊接，正逐渐向超低氢、高效化、高强高韧、适应新钢种方向发展。

(1) 超低氢药芯焊丝

超低氢药芯焊丝作为药芯焊丝进步发展的方向，已有多家药芯焊丝厂家开发了相应产品。展会上，天津三英展出的 SQJ501H4 焊丝见图 41。焊缝金属屈服比低、低温韧性高，可满足 -40°C 冲击值要求。在陶瓷衬垫上焊接、厚板结构和低温环境下均具有高抗裂性，而且适用于焊后热处理状态。扩散氢含量低，水银法测氢结果为 $3.2\text{mL}/100\text{g}$ ，满足熔敷金属扩散氢 H4 标准，代表了超低氢药芯焊丝

技术水平的又一进步。展出的超低氢产品还有天津金桥 JQ.YJ501-1A、台湾首锐药芯焊丝 SFC-71、四川大西洋 CHT711、上海通用 SHY71T-1 等系列低氢碳钢药芯焊丝，熔敷金属扩散氢含量均可满足 H5 标准。

(2) 高效药芯焊丝

近年来，高效焊接技术受到制造业广泛关注。在保证焊接质量前提下，提高焊接效率以满足现代制造业发展的需求是未来发展趋势之一。相应配套焊材的研发也得到众多焊材厂家重视。

金属粉型药芯焊丝综合了实心焊丝和药芯焊丝的优点，具有渣量少、熔敷效率高、扩散氢含量低、抗裂性好等特点，在船舶、工程机械等行业广受推崇。参展产品有：天津大桥 THY-J50MX、天津金桥 JQ.YJ503MX-1、四川大西洋 CHT70C6、昆山京群 GCL-11 和 GFL-70M、武汉铁锚 TME70CSF、台湾首锐 SFC-71M。四川大西洋公司的 CHT80CNI1 系列金属粉芯药芯焊丝工艺性能优良，-40℃低温时具有较高的冲击韧性。日本神钢推出厚板用高效率专用药芯焊丝 MX-A100D 说明，见图 42。焊剂在电弧中起到“支柱”作用，使熔融的钢外皮稳定过渡。配合高性能焊接电源 SENSARCTMAB500 开发的适合专用药芯焊丝的特殊脉冲，组成的焊接机器人系统见图 43。基于并联运行的大输出和精密控制，可实现高效率、低飞溅、大熔深焊接。天津金桥 JQ.YJ621K2-1Q 金属粉型药芯



图41 三英SQJ501H4药芯焊丝

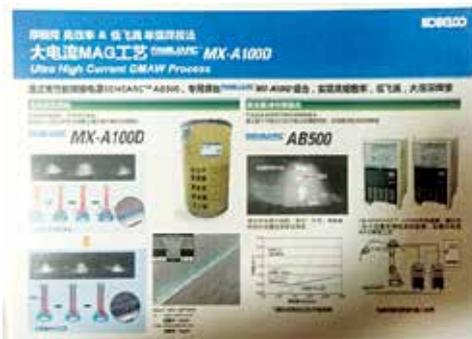


图42 神钢高效率专用药芯焊丝MX-A100D



图43 电源并联的焊接机器人系统

焊丝，用于沪通长江大桥 Q500qE 钢的自动焊接，见图 44。

气电立焊具有焊缝一次成型，焊接效率高，工艺性能优良等优点，为高效自动化焊接技术的推广提供了广阔前景，在船舶、储罐建设领域应用广泛。参展产品有天津大桥的 THY-507L 药芯焊丝（焊接试件见图 45），四川大西洋的 CHT70G 药芯焊丝，昆山京群的 GFL-702 药芯焊丝，天津金桥的 JQ.YJL50G 和 JQ.YJL60G 药芯焊丝（焊接试样见图 46），ITW 集团天泰的气电立焊用高熔化速度药芯焊丝 TEG-704（立焊试片见图 47）。



图44 天津金桥JQ.YJ621K2-1Q自动焊

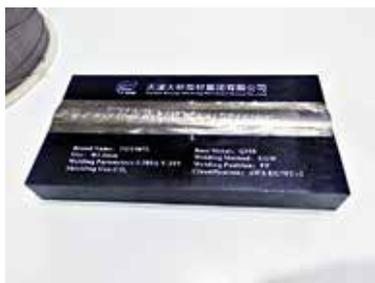


图45 天津大桥THY-507L
焊接试件



图46 天津金桥JQ.YJL60G
焊接试样



图47 ITW天泰TEG-704立焊试片

（3）高强高韧药芯焊丝

近年来，随着管道运输、矿山机械、工程机械承受的载荷越来越大，对低合金高强钢的需求量越来越多。日本神钢展出 HT780MPa 级高强钢用药芯焊丝 DW-A80L，可用性极佳，支持全位置焊接。韩国高丽展出高强钢用药芯焊丝 KX-800 和 K-120TG，见图 48。天津金桥展出高强钢用药芯焊丝 JQ.YJ80ML、JQ.YJ837K4-1 和 1000MPa 级金属粉芯焊丝 JQ.YJ100M（见图 49），适用于同级别高强钢的焊接。四川大西洋展出了 800MPa 级全位置焊接药芯焊丝 CHT111K3，产品工艺性能和力学性能优良。

随着高强钢应用领域越来越广，对焊接接头的韧性也提出更高要求。韩国高丽展出低温钢用药芯焊丝 K-81TUSR 和 K-91TUSR，在 -60°C 具有优良的低温冲击韧性，而且可分别满足 -20°C 和 -30°C 下的 CTOD 断裂韧性要求。昆山京群专

门开辟船舶海工焊材展示区，见图 50。药芯焊丝 GFL-71Ni 和 GFR-81K2 厚板焊缝中心 -10°C 下的 CTOD 平均值分别为 0.4791mm 、 0.4949mm ，抗裂性能良好，为船舶、海工结构的安全提供了有效保障。



图48 高丽KX-800和K-120TG



图49 金桥JQ.YJ100M



图50 京群海工焊材展板

(4) 耐候钢用药芯焊丝

随着材料的发展，铁路、桥梁关键部位开始使用高强度的耐腐蚀钢制造。各焊材企业也纷纷配套研制了相应桥梁钢药芯焊丝。包括天津大桥的 THY-600q 药芯焊丝，四川大西洋的 CHT91K2Q 药芯焊丝，天津金桥的 JQ.YJ551NiCrCu-1、JQ.YJ501FNH-1、JQ.YJ551NH-1 药芯焊丝，ITW 天泰的 TWE-71NH 和 TWE-81NH 药芯焊丝，昆



图51 高丽耐候药芯焊材

山京群的 GFR-71W1、GFR-81W2、GFR91CNG 药芯焊丝，台湾首锐的 SFC-81W2 药芯焊丝等。武汉铁锚的药芯焊丝 YCJ551QNH，采用低碳多元微合金化的成分设计，通过控制铁素体及夹杂物的大小、形态、尺寸、分布等，细化晶粒，低温冲击韧性和焊接工艺性能良好。

韩国高丽的药芯耐候耐腐蚀钢用药芯焊丝 K-71T 见图 51。天津金桥的耐候系列药芯焊丝见图 52。

4.2 特种药芯焊丝

(1) 不锈钢用药芯焊丝

近年来，各厂商针对不锈钢药芯焊丝应用需求将性能精细化，不锈钢药芯焊



图52 天津金桥耐候系列药芯焊丝

丝的整体质量也有较大提高，品种和型号已经相对比较齐全。展出的不锈钢药芯焊丝品种涵盖奥氏体、马氏体、铁素体、双相钢等各类型药芯焊丝及自保护、金属粉芯等特种不锈钢药芯焊丝。

天津金桥、天津大桥、ITW 天泰、昆山京群、台湾汉泰、台湾首锐都展示了白色焊道不锈钢药芯焊丝。天津金桥、昆山京群、江苏孚尔姆推出了 308L、309L、316L、347L 打底焊背面免充氩钨极氩弧焊药芯焊丝。四川大西洋、昆山京群、天津金桥针对 CNG（压缩天然气）、液化天然气（LNG）、LPG（液化石油气）三大能源储运装备对超低温条件下不锈钢的韧性有较高要求，展出了用于该条件下的超低温 308LT、316LT 深冷药芯焊丝。北京金威针对石化装备制造推出了专用于小管内壁堆焊的系列不锈钢药芯焊丝。台湾首锐、昆山京群、江苏孚尔姆均展出了 409Ti、439Ti 系列金属粉芯焊丝。

天津金桥研发、生产的全新系列 LH-308L、LH-309L、LH-316L 等不锈钢药芯焊丝焊接后焊缝外观无氧化色，保留不锈钢本色（光亮的银白色），平滑美观，减少了常规不锈钢焊材焊接后焊缝的清洁、酸洗等处理工序，焊接时电弧稳定、飞溅少、易脱渣。

日本神钢推出 DW-LC 系列不锈钢用药芯焊丝，见图 53。该系列不锈钢药芯焊丝的特点适用于全位置焊接，焊道成型美观，飞溅烟雾少。DW309LC 焊后成型照片见图 54。焊接过程中电弧稳定，飞溅小，焊道表面平整、色泽浅黄。

昆山京群还展出了不锈钢自保护焊丝 GFS-308L-O（AWS A5.22 E308LT0-3）、GFS-316L-O（AWS A5.22 E316LT0-3），焊接操控性良好，飞溅少，焊道美观。



图53 神钢DW-LC系列不锈钢用药芯焊丝



图54 神钢DW309LC焊道

(2) 镍基药芯焊丝

近年来，钢铁企业冶炼技术不断发展，加之行业内的企业通过不断引进国外的先进生产设备及配套技术，带动了镍基合金行业市场的繁荣发展，已具备生产药芯焊丝专用镍基带材的能力，各焊材企业纷纷跟进开发出各自的镍基药芯焊丝产品。ITW 天泰展示了TFW-625 镍基药芯焊丝，操作性能优异，具有良好的脱渣性和抗热裂纹性能，焊接试件展示见图 55。北京金威展示了获得工程批量应用的JWENiCrMo3T1-4 镍基合金药芯焊丝，天津三英展示了SY-YNi625-T1、SY-YNi276T1 镍基药芯焊丝，江苏孚尔姆展示了镍铬钼系列FRW-625、FRW-276、FRW-022 药芯焊丝和镍铬铁系列FRW-062、FRW-133、FRW-182、FRW-117 药芯焊丝，见图 56。昆山京群GFN-CM3 仰焊焊道外观见图 57。

此外，北京金威作为国内第一家实际生产并应用钴基药芯焊丝的厂家，在本届展会上推出钴基药芯焊丝JWERCCoCr-A（图 58），凸显国内药芯焊材厂家在



图55 ITW天泰TFW-625立焊试件



图56 孚尔姆镍基药芯焊丝系列



图57 昆山京群GFN-CM3仰焊焊道外观 图58 金威钴基药芯焊丝JWERC-CoCr-A

特种焊材开发方面取得的技术进步。焊缝具有良好的耐蚀、耐热、耐磨性能，在约 650℃高温下，亦能保持特性。主要应用于焊接要求在高温工作时能保持良好耐磨性及耐腐蚀性的工件。

(3) 无缝药芯焊丝

国外多家企业展出了无缝药芯焊丝。日本新日铁、奥钢联伯乐均展出镀铜无缝药芯焊丝，日铁溶接开发的无缝药芯焊丝见图 59。瑞典伊萨针对用户需求，开发了无镀铜无缝药芯焊丝，见图 60。虽然以前多次参展的国内两家生产无缝药芯焊丝的企业此次均未参展，但新乡市和光科技作为国内一家新的无缝药芯焊丝生产企业推出了多款具有自主知识产权的镀铜无缝药芯焊丝。包括金红石型无缝药芯焊丝 HF-55、HF-62、HF-76 系列，金属粉芯无缝药芯焊丝 HM 系列（见图 61），以及适于机器人自动化、智能化焊接的 HG-1F 无缝药芯焊丝，代表了国内目前在无缝药芯焊丝方面的最新努力。

(4) 硬面堆焊药芯焊丝

参展的国外厂家有美国 ITW 集团 HOBART、奥钢联伯乐等。国内厂家郑州机械所、天津雷公、天津金桥、山东聚力、江苏孚尔姆等也展出相关产品。其中，比较有特色的产品有江苏孚尔姆石油钻杆专用药芯焊丝 FRW-D15、FRW-D30。其中，FRW-D15 硬度满足 HRC 52-57，可提高钻杆接头寿命 3 倍以上；FRW-D30 硬度满足 HRC57-62，可提高钻杆接头寿命 4 倍以上，具有良好的减磨性能和焊接工艺性能。美国 ITW 集团展出了 HOBART TWH-46-G、TWH-42V-G 耐磨堆焊药芯焊丝，焊道成型美观、耐气孔性优良，熔敷金属具有良好的耐热疲劳龟裂性能。天津雷公展出的硬面堆焊药芯焊丝种类齐全，包括气保护药芯焊丝、埋弧药芯焊丝、自保护药芯焊丝。天津金桥也展出了系列硬面堆焊药芯焊丝，见图 62。可用于堆焊制造及修复磨粒磨损、金属间磨损、摩擦、腐蚀、高

无缝药芯焊丝(SFW)的优点 及与普通药芯焊丝(FCW)的不同

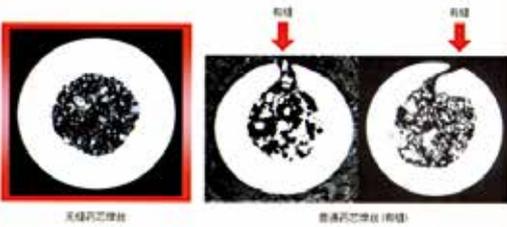
WELDREAM

1. 无缝药芯焊丝(SFW)与普通药芯焊丝(FCW)的不同

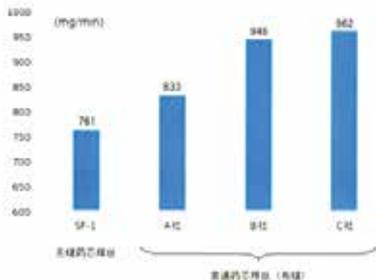
① 焊丝表面采用镀铜工艺



② 焊丝表面无缝



③ 焊接烟尘低



焊接试验参数: 【270A-31V-40cm/分钟】
测试方法: JIS Z 3930
测试结果: SF-1 和其他中国的产相比, 焊接烟尘量低约20%。

无缝药芯焊丝焊接烟尘低, 可降低对环境及人体的有害。

④ 延长导电嘴的使用寿命

测试条件	无缝药芯焊丝	普通药芯焊丝(有缝)
连续焊接 10分钟x10组 共100分钟 焊丝直径: 1.2mm 焊接电流: 270A		
导电嘴磨损	Ø 1.3mm	Ø 4.5mm

使用无缝药芯焊丝时, 导电嘴的使用寿命是使用普通药芯焊丝时1012.5倍左右, 可降低生产的成本。

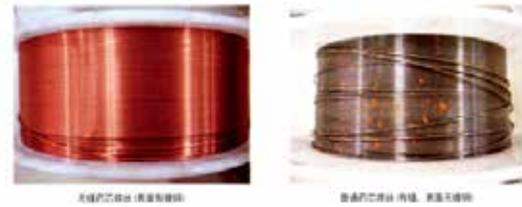
延长导电嘴寿命的原理:

- a) 无缝药芯焊丝采用镀铜工艺, 可以减少与导电嘴的摩擦。
- b) 同心率高, 送丝时, 焊丝呈直线性送丝。

日铁无缝药芯焊丝可减少导电嘴的磨损, 延长导电嘴的使用寿命。

2. 无缝药芯焊丝(SFW)的优点(与普通药芯焊丝的不同)

① 不易生锈

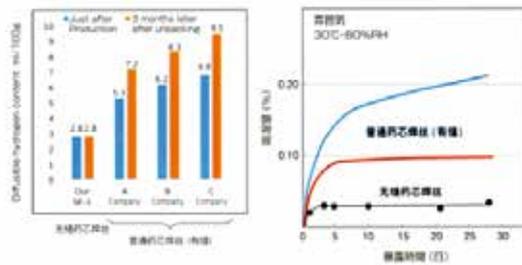


无缝药芯焊丝 (表面有镀铜)

普通药芯焊丝 (内缝, 表面无镀铜)

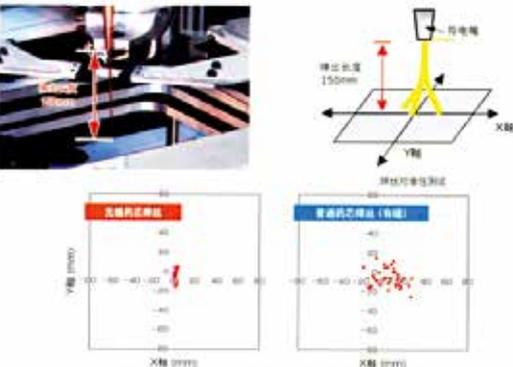
为了防止生锈, 无缝药芯焊丝表面采用了镀铜工艺。

② 扩散氢含量低, 不易发潮



无缝药芯焊丝在制造后较长时间内(3年), 扩散氢含量都能保持在非常低的状态, 易于长期保存, 也可适用于桶装保存。

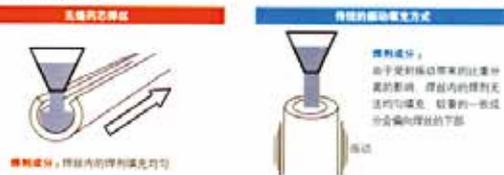
③ 焊丝的对准性出色



无缝药芯焊丝也特别适用于自动焊接。

3. 无缝药芯焊丝的优点(与一般无缝药芯焊丝的比较)

(焊剂成分的均匀性)



焊剂成分: 焊丝内的焊剂填充均匀

焊剂成分: 由于受到振动带来的比重因素的影响, 焊丝内的焊剂无法均匀填充, 较重的焊剂成分会偏向焊丝的下部

我司在20年前, 也曾采用振动填充的方式来制造无缝药芯焊丝, 由于无法确保焊剂成分的均匀性, 于是采用独特的方式, 开发了我国特有的无缝药芯焊丝。

图59 日铁溶接工业生产的无缝药芯焊丝特性对比图



图60 ESAB无镀铜无缝药芯焊丝



图61 和光科技镀铜无缝药芯焊丝HM系列

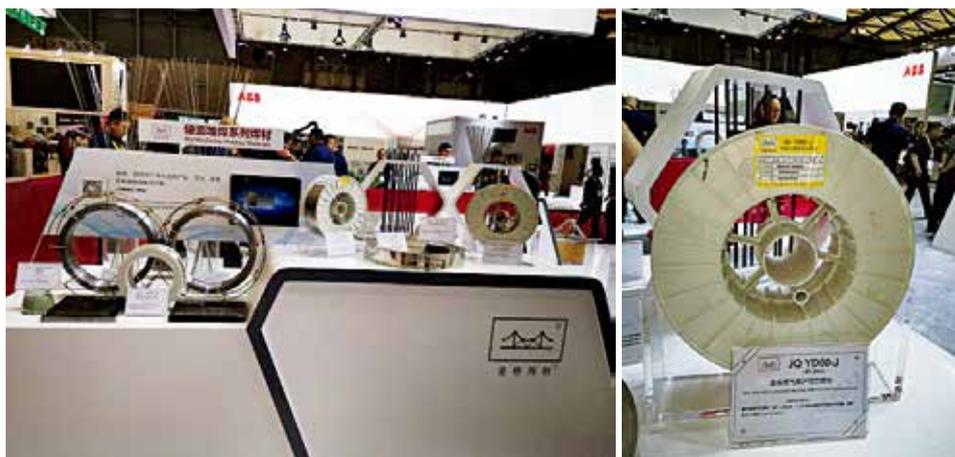


图62 天津金桥堆焊系列焊材

温氧化等恶劣工况下服役的设备和构件。

武汉铁锚生产的 MD4846 埋弧堆焊药芯焊丝，其堆焊层使用硬度为 HRC58-65，优于近代 WC/Ni 基热喷焊、激光（等离子）熔敷等表面技术。已广泛应用于各类大型钢铁企业及航空航天行业，堆焊加工的除鳞夹送辊见图 63。

昆山京群展出了硬面堆焊用自保护药芯焊丝 GFS-307HM-O（过渡层）和 GFH-



图63 堆焊加工的除鳞夹送辊

414N-O (耐磨层), GFS-307HM-O 韧性佳, 且具有加工硬化的效能, 作为缓冲层可减少辊式压制机表面碳化物型耐磨层的剥落。GFH-414N-O 用 N 取代焊材中的 C 含量, 焊材 C 含量很低, 不会在焊道搭接热影响区之晶界上产生碳化物析出, 焊补工件无需 PWHT 处理。

(5) 碱性药芯焊丝

碱性药芯焊丝作业性差的问题一直阻碍其发展。但随着近年来国内焊材厂加大对碱性药芯焊丝性能改进的投入, 该类型焊丝的焊接作业性得到一定改善。在具有稳定机械性能的同时, 兼顾具有不错的焊接操作性。

昆山京群展出了 Q690 强度等级的碱性药芯焊丝 GFR-115K3 (AWS A5.29 E111T5-K3C)。该产品适用于全位置焊接、弧光柔和而稳定、焊渣薄而易除、 -60°C 冲击可达到 70J 以上。

4.3 油气管道建设用药芯焊丝及其应用技术

参展的可用于油气管道自动焊或半自动焊的药芯焊丝产品主要为气保护药芯焊丝和金属粉型焊丝。国外厂家主要有奥钢联伯乐 BOHLER、日本神钢 KOBELCO、美国 ITW 集团 HOBART、瑞典 ESAB、韩国 KISWEL; 国内厂家主要有天津大桥、天津金桥、昆山京群、四川大西洋、保定蓝宇、哈焊所华通、台湾汉泰、台湾首锐等。展出的产品在焊接工艺性能和焊缝金属力学性能、焊丝产品应用技术、检验技术方法均有诸多创新。

(1) 改良的金红石型药芯焊丝

日本神钢参展的 KOBELCO 系列气保护药芯焊丝及焊件 (图 64) 可用于船舶、海洋平台、储罐及液化石油气储罐、油气管道等行业的高强钢、低温钢及应力消

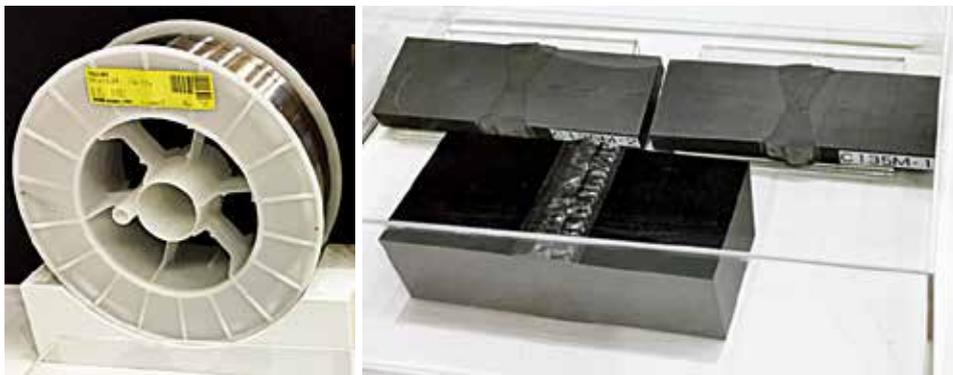
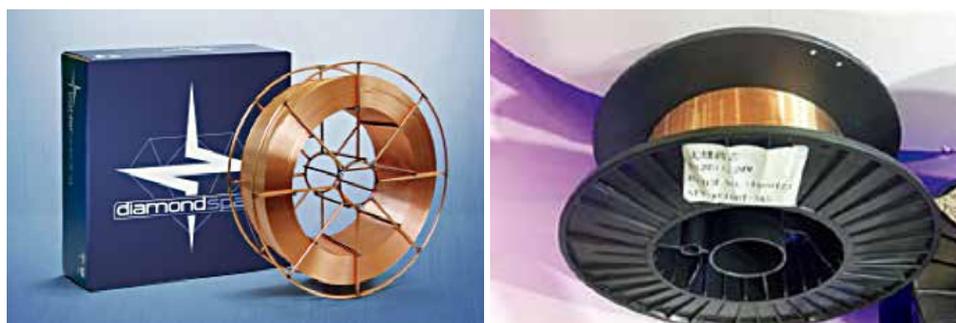


图64 神钢KOBELCO DW-A55LSR药芯焊丝及焊件

除状态条件下。产品设计为充分改良的金红石型药芯焊丝，在保持优异全位置焊接工艺性能的同时，具有优良的低温冲击韧性，扩散氢含量低、抗裂性好。

(2) 管线钢用无缝药芯焊丝

国内、外参展商强化宣传的无缝药芯焊丝产品有利于各种环境条件的运输、储存和应用。在高温、高湿施工环境下的抗潮性良好，能够有效降低焊缝金属含氢量和气孔产生概率。主要产品有奥钢联伯乐 BOHLER DIAMOND SPARK 系列产品，山东聚力无缝药芯焊丝等，见图 65。



(a) BOHLER DIAMOND SPARK

(b) 山东聚力集团药芯焊丝

图65 无缝药芯焊丝

(3) 焊丝产品应用新技术

①免背气单面焊双面成型。美国 ITW 公司针对其已有的 RMD 专利技术的焊接电源，利用不锈钢焊丝及实心焊丝，开发出免充背保护气体的不锈钢管单面焊双面成型技术，及碳钢和低合金钢管的更高效的单面焊双面成型焊接技术，见图 66。



(a) 不锈钢管免背气单面焊双面成型

(b) 管线钢管单面焊双面成型

图66 RMD专利技术焊接电源实现单面焊双面成型

②混合气体配比器。WITT 公司展出的混合气体配比器（图 67），可直接连接高压气瓶，有效解决各种施工环境条件下混合气比例不对、气体流量控制不准等问题。这一技术对于当前的机器人焊接、智能化焊接、自动焊等领域的精细化质量管理、高标准焊接质量要求具有很好的支撑作用。



图67 混合气体配比器

③推拉丝的送丝系统。OTC 公司展出的具有推拉丝功能的 Synchro feed 送丝系统和 PULL TORCH 焊枪，可通过提高送丝稳定性大幅度降低焊接飞溅率，提高焊接质量。

（4）焊丝产品检测技术

德国 GEO 公司展出了一款在线或离线进行焊丝产品质量监测、检测的焊丝焊接测试装置，可进行焊丝表面清洁度、送丝阻力、送丝速度一致性、焊接电流和电压稳定性的监测和检测，可形成测量曲线，见图 68。

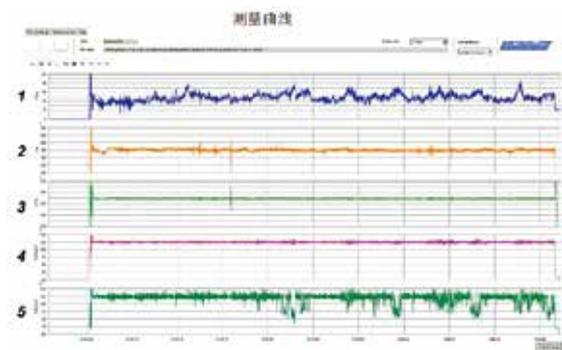


图68 焊丝焊接测量曲线

（5）自保护药芯焊丝

展会上推出此类型产品的参展企业有日本神钢、SELECT、保定蓝宇、昆山京群（GFL-77-O）、台湾汉泰、台湾首锐（SFC-07）等。武汉铁锚针对国际市场研制的 TME71T-GS、TME71T-11 细丝自保护药芯焊丝，是一种高效、环保的新型焊接材料，在国外获得广泛应用。焊接时采用直流正接，具有平稳的喷射过渡，飞溅少，脱渣容易，焊缝成形美观。

5 埋弧焊材

近年来，埋弧焊焊接材料在微量元素、杂质含量控制、焊丝和焊剂制备技术、品种配套能力等方面获得快速发展。产品正在实现从单一生产向多门类、多品种、高品质转变。展会上，各埋弧焊材生产企业以高品质、高效率为宣传主题，向用户推介自己的产品。

5.1 低温及超低温钢用埋弧焊材

LNG 储罐用焊接材料是展会的一大热点。9%Ni 钢作为 LNG 储罐建造的优选材料被广泛应用，与之配套的埋弧焊材主要依赖进口。国外多家参展企业均重点展示了 9%Ni 钢埋弧焊材。如日本神钢 PF-N3/US-709S（平焊）、PF-N4/US-709S（横焊），日铁 NITTETSU FLUX 10H/NITTETSU FILLER 196，产品力学性能见表 4。国内企业在该领域也取得长足进步。哈焊威尔展出的 SAW276/SJ609 埋弧焊材产品见图 69。四川大西洋展出的 CHW-NiCrMo-4/CHF206 埋弧焊材产品见图 70。昆山京群展出 GWN-CM4/GXN-600 等 NiCrMo-4 型号埋弧焊材产品。

表4 神钢、日铁9%Ni钢埋弧焊材产品力学性能

牌 号	R_m (MPa)	KV_2 (-196°C) (J)
神钢PF-N3/US-709S (平焊)	765	73
神钢PF-N4/US-709S (横焊)	744	90
日铁NITTETSU FLUX 10H/NITTETSU FILLER 196	708	60



图69 哈焊威尔SAW276/SJ609



图70 四川大西洋CHW-NiCrMo-4/CHF206

低温钢（1.5%Ni、2.5%Ni、3.5%Ni）配套埋弧焊材的展示主要集中在国内企业，表明该类焊材已逐步国产化。四川大西洋展示了全系列低温及超低温储罐用埋弧焊材，见表 5。昆山京群重点展示了 3.5%Ni 钢埋弧焊材 GWR-WENi3/GXL-121T，-75°C KV_2 达到 80J，-101°C KV_2 达到 60J。哈焊所华通展示了 3.5%Ni 钢（09MnNiDR）埋弧焊材产品 H06Mn35DR/SJ208DR。北京金威也展示了针对 -70°C 的 H09MnNiDR/JWF202 和针对 -100°C 的 ENi3/JWF212 的埋弧焊材产品。

表5 四川大西洋低温及超低温用埋弧焊接材料

材 料		埋弧焊（焊丝/焊剂）
1.5%Ni钢		CHW-SNi1/CHF705
2.5%Ni钢		CHW-SNi2/CHF705
3.5%Ni钢		CHW-S13/CHF710
5%Ni钢、9%Ni钢		CHW-NiCrMo-4/CHF206
-196℃ 不锈钢、 镍合金钢	304/304L	CHW-308LT/CHF601LT
	316L	CHW-316LT/CHF601LT
	NiCr-3	CHW-NiCr-3/CHF207
	NiCrMo-3	CHW-NiCrMo-3/CHF205
	NiCrMo-4	CHW-NiCrMo-4/CHF206
	NiCrMo-6	CHW-NiCrMo-4/CHF206

5.2 高强高韧钢埋弧焊材

由于国外企业长期的技术积累，高强钢配套埋弧焊材优势较国内企业明显。日本神钢高强钢埋弧焊材的韧性级别从3Y到5Y都有，品种系列齐全。日本新日铁推出780MPa级别高强钢用埋弧焊材产品NSSW Y-80M/NSSW NB-250H，在实现高强度的同时，-60℃冲击韧性可达到86J。

国内焊材厂家在该领域取得重大突破，550MPa~760MPa级别的高强钢埋弧焊材日趋成熟。如四川大西洋、昆山京群、哈焊威尔、西冶等都展出相应产品。其中，哈焊威尔生产的H15Mn2NiMoG/SJ16G，H09MnNiMoG/SJ16G埋弧焊材料，在实际制造厂已有应用。

随着水电站、抽水蓄能电站大装机容量及减量化趋势的不断发展，800MPa级水电压力钢管获得广泛应用；国家倡导绿色制造，工程机械用钢的强度级别越来越高，压力容器也向大型化、高参数、长周期、轻量化发展，给高强高韧埋弧焊材的发展与应用带来机遇。

近年来，国内主流焊材厂家在该领域已取得重大技术突破，800MPa级别高强高韧埋弧焊材在乌东德、白鹤滩等水电站获得批量应用，得到用户认可，见表6。

表6 天津大桥和四川大西洋高强钢埋弧焊材力学性能

牌 号	R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	A (%)	KV_2 (-40°C) (J)
THM-SG80/TH·SJ80	810	720	20.0	102
CHW-S80/CHF606	810	710	20.0	120

目前, 市场已表现出 1000MPa 级埋弧焊接材料的实际需求。天津大桥展出 1000MPa 级大热输入水电用 THM-SG95/TH.SJ95 埋弧焊材性能, 见图 71。四川西冶也展示了 1000MPa 级水电用 XY-S100A/XY-AF100SD 埋弧焊材焊件, 见图 72。



图71 大桥1000MPa级水电用THM-SG95/TH.SJ95埋弧焊材性能



图72 四川西冶1000MPa级水电用XY-S100A/XY-AF100SD埋弧焊材焊件

5.3 抗回火脆性钢埋弧焊材

抗回火脆性钢埋弧焊材主要是指Cr-Mo系耐热钢(如1.25CrMo、2.25Cr1Mo、2.25Cr1MoV)配套埋弧焊材产品,在石油精炼设备、煤化工、电站锅炉等领域长期依赖进口。其研发重点是控制焊缝金属中P、As、Sn、Sb、S等脆化元素,保证焊缝金属优异的低温冲击性能与低回火脆化敏感性。

日本神钢PF-200/US-521S埋弧焊丝焊剂具备提供X系数 $\leq 10\text{ppm}$, $V_{Tr54+2.5} \Delta V_{Tr54} \leq 10^\circ\text{C}$, -30°C 低温冲击吸收能量可达到150J。近年来,国内企业在该类焊材厚板焊接低温冲击稳定性控制方面取得突破性进展。代表企业有哈焊所华通、四川大西洋、四川西冶等。四川大西洋与兰石集团联合开发的临氢设备Cr-Mo钢用焊接材料满足相关技术要求。经中国机械工业联合会鉴定,工艺性能和力学性能与国外同类产品相当。其中,1.25CrMo钢用CHW-S11LH/CHF621LH埋弧焊材、2.25CrMo钢用CHW-S8LH/CHF604LH埋弧焊材,产品焊接工艺性能良好,理化性能满足技术要求,见表7。

哈焊威尔生产的Cr-Mo钢焊接材料在高温高压临氢设备上的应用研究项目,通过了成果鉴定,研制的H10Cr2MoG/SJ150对于窄间隙焊接工艺性优良, -30°C 冲击韧性优异,回火脆性不敏感,可满足 $V_{Tr54+3} \Delta V_{Tr54} \leq 0^\circ\text{C}$ 指标要求。

5.4 核电专用埋弧焊材

核电工程需要高安全性,核级焊材的性能指标和质量控制极其严格,特别是

表7 四川大西洋抗回火脆性钢用埋弧焊材力学性能

牌号	R_m (MPa)	$R_{eL}/R_{p0.2}$ (MPa)	A (%)	Z (%)	KV_2 (J) (-40℃)	热处理状态
CHW-S11LH/ CHF621LH	638	561	22.5	78.0	165 174 166	690℃ × 8h
	598	517	24.0	78.0	153 148 164	690℃ × 26h
CHW-S8LH/ CHF604LH	641	544	23.5	72.8	145 154 168	690℃ × 8h
	594	495	24.0	74.0	149 142 134	690℃ × 32h

核岛主设备制造所使用的焊材。目前，常规核电产品所用的钢材和焊材国产化程度较高，有可能接近90%。但核岛主设备方面焊接材料国产化程度很低，仍然依赖国外进口，制约着我国核电事业的发展。

在国家政策的大力支持下，以四川大西洋、哈焊所华通为代表的国内焊材企业联合设计院、核电装备制造单位对核岛主设备焊材国产化开展联合攻关，进行深入研究，推出一系列核岛主设备焊接材料，哈焊威尔研制的H15Mn2NiMoHR/SJ16HR、H09MnNiMoHR/SJ16HR埋弧焊产品，已经在SA508Gr.3Cl.1钢、SA508Gr.3Cl.2钢核岛主设备上获得应用。四川大西洋研制开发的系列核岛主设备焊材见图73。

应用部位	主要材料	焊接方法	AWS/ASME 标准代号	产品牌号
蒸汽发生器炉管、管板 和管板、管束管束焊接	SA-508 Gr.3 Cl.1	SAW	E80A-E72-F2	CHW-620HR/CHF112HR
		SMAW	E80A-G	CHS150HR
蒸汽发生器、反应堆、 蒸汽发生器支撑件	SA-508 Gr.3 Cl.2	SAW	F80A-E82-F82	CHW-620HR/CHF113HR
		SMAW	E80A-G-E80A-G	CHS160HR
反应堆压力容器、管束 和管板、管束管束、蒸汽 发生器、管束管束、管束 管束管束	SA-508 Gr.3 Cl.1	SAW	E80A-F8	CHS202HR
		SMAW	E80A-G	CHS202HR
	SA-508 Gr.3 Cl.2	GTAW	E80A-G	CHW-300LHR/CHF103HR
		SMAW	E80A-G	CHS-300LHR
反应堆壳	SA-738 Gr.8	SAW	F80A-F8-F8	CHW-562HR/CHF102HR
		SMAW	E80A-G	CHW-620HR
主蒸汽管道	F80A	SAW	E80A-F8	CHS180HR
		SMAW	E80A-G	CHS-180HR
蒸汽管道	E3382	SMAW	E208-F8	CHS220HR
蒸汽管道		SMAW	E80A-G	CHM-220HR

图73 四川大西洋核岛主设备焊接材料

5.5 超（超）临界火电机组埋弧焊材

目前，提高火力发电厂效率的主要途径是提高蒸气的压力和温度，即发展超临界（SC）和超（超）临界锅炉机组（USC）。开发耐高温性能更好的抗高温蠕变钢主要涉及T/P91、T/P92、P911、G115等。发展其配套焊接材料逐渐摆脱依赖进口是关键环节。从本届展会看，该类焊材参展企业主要集中在四川大西洋、

昆山京群、台湾汉泰、台湾首锐等国内企业。四川大西洋全系高参数电力机组焊接材料见图 74。

5.6 埋弧横焊焊材

埋弧横焊焊材在国外起步较早，主要应用于大型石油储罐、各类球罐的焊接，是近年埋弧焊材的研究与应用热点。横焊焊接质量好、熔敷效率高、综合成本低，为这种高效自动化焊接技术及设备的推广应用提供了广阔前景。横向焊接由于焊缝位置与平焊不同，主要区别在于焊接熔池形成时铁水活动的状态，重力作用下铁水要向下流淌。因此，其焊接坡口、焊缝层次等规范参数，都要按其特定的条件做相应变动，以适应焊接过程的需要。

昆山京群展出的 GWR-WENi3/GXL-126 埋弧焊材焊件见图 75。日本神钢展出 PF-N4/US-709S、日铁展出 NITTETSU FLUX 10H/NITTETSU FILLER 196、四川大西洋展出 CHW-S62HR/CHF102HR 等埋弧横焊焊材。

5.7 带极堆焊焊材

带极堆焊技术具有熔敷效率高、稀释率低、焊道表面质量好等优点，广泛应用于石油、石化、化工、火电、核电等大型高端设备。从展会看，国内外企业产品的品类都较齐全，包括奥氏体不锈钢和镍基合金带极堆焊材料。国内代表企业有哈焊威尔、北京金威、四川大西洋、天津大桥、四川西冶等。奥氏体不锈钢带极堆焊材料方面，哈焊威尔、北京金威、四川大西洋、昆山京群、昆山天泰、台湾汉泰、台湾首锐、北京金威等都展出了 300 系不锈钢带极堆焊材料，品种较齐



图74 四川大西洋高参数电力机组焊接材料



图75 昆山京群GWR-WENi3/GXL-126埋弧横焊焊件

全。品质上已与国外接近。其中，哈焊威尔还展出了奥氏体不锈钢单层电渣堆焊材料，不锈钢焊带 H316LF、H347LF 及配套焊剂 SJ15F，主要应用于加氢设备筒体的内壁单层堆焊，提高生产效率，缩短制造工期，降低生产成本，见图 76、图 77。韩国高丽不锈钢钢带、焊剂见图 78。昆山京群 GDS-2209/GXS-S330 双相不锈钢带极电渣焊见图 79。镍基合金带极堆焊材料方面，国内企业与国外还有一定差距，哈焊威尔展出了 EQNiCrFe-7A 和 EQNiCrMo-4 高端镍基合金带极堆焊材料成为镍基带极材料的一大亮点，焊材牌号是 WHDNi690M 焊带及匹配焊剂 WSJ69HR，WHDNi690B 焊带及匹配焊剂 WSJ693HR，H276 焊带及匹配焊剂 SJ86B，主要应用于核电设备的内壁堆焊。北京金威也展示了 625 镍基合金带极电渣堆焊焊材。



图76 H316LF/SJ15F复合管纵向焊缝单层对接



图77 加氢设备用H347LF/SJ15F单层电渣内壁堆焊



图78 韩国高丽埋弧不锈钢焊带/焊剂



图79 昆山京群GDS-2209/GXS-S330双相不锈钢带极电渣焊

6 焊条

展会上，国内焊材制造企业不断推出高品质焊条产品，满足市场对特殊品种日益增长的需求，并对有特色的焊条产品进行了展示。

6.1 耐火、耐候钢焊条

据工业发达国家统计，每年由于钢结构腐蚀造成的经济损失占 GDP 的

2% ~ 4%。全世界钢结构腐蚀造成的经济损失达数万亿美元。耐候钢表面致密的锈蚀层阻止了钢材进一步锈蚀，达到了减慢腐蚀速率的效果。耐候钢的出现很大程度上改善和解决了钢材的腐蚀问题。免涂装耐候钢桥梁的出现，标志着耐候钢的抗腐蚀性能在桥梁建设领域得到更好发挥。不仅解决了腐蚀问题，还解决了长期反复涂装带来的维护成本。

天津大桥展示了 THJ60FRW 耐火耐候钢焊条，与相应母材匹配焊接后可以减薄耐火层涂装，简化工艺，大大降低日常维护费用。天津大桥 THJ60FRW 耐火耐候钢焊条应用于首钢脱硫厂房的焊接施工（图 80），其力学性能见表 8，金相组织见图 81。

表8 THJ60FRW焊条熔敷金属力学性能

R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	(600℃) R_{eL} (MPa)	A (%)	KV_2 (-40℃) (J)
655	543	325	22	97 92 86

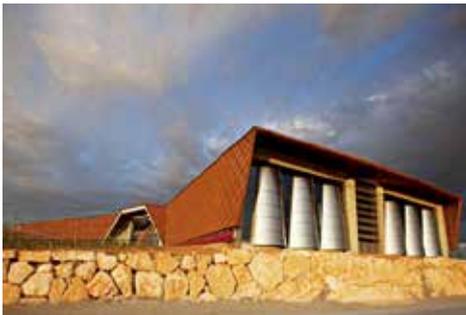


图80 天津大桥THJ60FRW焊条应用于首钢脱硫厂房焊接

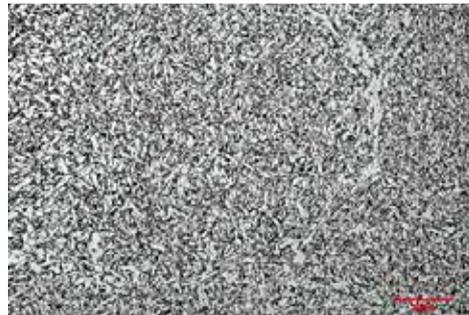


图81 THJ60FRW焊条金相组织

天津金桥展出了 JQ·J507FNH 桥梁专用耐候钢焊条，具有良好的熔敷金属低温冲击韧性和耐蚀性能。焊条工艺性能优良，电弧稳定，脱渣容易，焊缝成型美观。其熔敷金属力学性能见表 9。

表9 JQ·J507FNH焊条熔敷金属力学性能

R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	A (%)	KV_2 (-60℃) (J)
558	472	28	130

四川大西洋展出了 CHE507NHQ、CHE607NHQ、CHE807NHQ 等系列免涂装桥梁专用耐候钢焊条。药皮类型均为碱性，适用于全位置焊接，直流反接，工艺性能优良，飞溅少，脱渣容易，焊缝成型美观，熔敷金属具有良好的力学性能和优良的耐蚀性能，成功应用于中国首座真正意义的免涂装大桥——拉林铁路藏木特大桥（见图 82），以及洪塘大桥、官厅水库大桥（见图 83）等免涂装桥梁工程的建造，其熔敷金属力学性能见表 10。



图82 拉林铁路藏木特大桥



图83 官厅水库大桥

表10 CHE507NHQ焊条熔敷金属力学性能

R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	A (%)	KV_2 (-40°C) (J)	耐腐蚀系数/
526	434	31	126	6.9

四川西冶展示了用于 800MPa 级桥梁钢高强度厚板焊接的 XY-J80QNH 高强度焊条。该焊条具有优良的焊接工艺性能以及优异的低温冲击性能和抗裂性能，其熔敷金属化学成分见表 11，力学性能见表 12。

表11 XY-J80QNH焊条熔敷金属化学成分（质量分数）（%）

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	耐候指数/
0.041	1.60	0.16	0.005	0.010	0.37	2.82	0.38	11.64

表12 XY-J80QNH焊条熔敷金属力学性能

R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	A (%)	KV_2 (-40°C) (J)	KV_2 (-60°C) (J)
852	758	19.5	96	80

四川大西洋、天津金桥、武汉铁锚、天津大桥、昆山京群展示了 600MPa 级桥梁钢专用焊条。该类焊条具有优良的塑性、低温韧性和抗裂性能，熔敷金属力学性能指标见表 13。

表13 600MPa级桥梁钢用焊条熔敷金属力学性能

焊条牌号	厂家	R_m (MPa)	$R_{p0.2}$ (MPa)	A (%)	KV_2 (-40°C) (J)
CHE607Q	四川大西洋	640	540	24	150
J607Q	天津金桥	650	550	26	130
CJ607QNH	武汉铁锚	680	550	26	130
THJ607Q	天津大桥	678	562	25	118
GEL-67RH	昆山京群	650	565	25	116

6.2 耐海洋大气腐蚀钢焊条

由于海洋设施长期处于潮湿及海洋性大气环境中，经受湿气、盐分及 SO_2 等腐蚀介质侵蚀。因此，要求配套焊材要有优异的耐海洋大气腐蚀性能。随着中国南海岛礁及附属配套基础设施的建设，对耐海洋大气环境腐蚀的配套焊材的开发提出了更高要求。天津大桥、天津金桥（成功应用于中马友谊大桥的 JQ·J507NHY 焊条见图 84）、四川大西洋展示了应用于该领域的耐海洋大气腐蚀钢焊条产品。相关展商该类焊条的化学成分及力学性能见表 14、表 15。



图84 天津金桥耐海洋大气腐蚀钢焊条

表14 熔敷金属化学成分（质量分数）（%）

牌 号	C	Mn	Si	S	P	Ni	Mo	Cu
THJ507Ni1	0.037	0.75	0.41	0.008	0.010	1.16	0.43	0.35
THJ507Ni3	0.045	0.63	0.35	0.009	0.011	3.34	—	0.35
JQ·J507NHY	0.043	0.50	0.18	0.005	0.009	3.21	—	0.42
CHE507CrNi	0.070	0.66	0.50	0.008	0.013	0.30	Cr: 0.80	0.30

表15 熔敷金属力学性能

牌 号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	$KV_2 (-40^\circ\text{C})$ (J)
THJ507Ni1	585	492	27	126
THJ507Ni3	568	464	28	157
JQ · J507NHY	590	495	28	155
CHE507CrNi	560	460	26	150

6.3 化学品船用焊条

化学品船主要采用耐腐蚀性能优良的不锈钢以及 9%Ni 钢等材料。目前, 国内外焊接 9Ni 钢的镍基焊条中, 使用最多的是 ENiCrMo-6 和 ENiCrMo-3, 焊条 ENiCrFe-4, ENiCrFe-9, ENiMo-8 以及 ENiMo-9 等也得到一定应用。展会期间, 各大焊材制造企业展出了相应产品, 化学成分及力学性能示例见表 16、表 17。

表16 熔敷金属主要化学成分(质量分数)(%)

品 牌	牌 号	型 号 (AWS)	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb+Ta
四川 大西洋	CHNNiCrMo-3	ENiCrMo-3	60.0	21.0	8.90	1.20	3.90
	CHNNiCrMo-6	ENiCrMo-6	60.0	13.8	7.00	1.50	0.86
京 群	GEN-CM3	ENiCrMo-3	62.6	21.3	9.21	2.67	3.20
	GEN-CM6	ENiCrMo-6	70.6	13.3	7.49	3.07	1.35
天 泰	TNM-10	ENiCrMo-3	59.6	20.8	8.80	2.60	3.52
	TNM-9	ENiCrMo-6	68.3	13.7	6.72	5.08	1.32
大 桥	THNiCrMo-3	ENiCrMo-3	63.2	21.4	8.80	5.13	3.40
	THNiCrMo-6	ENiCrMo-6	63.0	13.8	7.00	5.50	0.86
日 铁	YAWATA WELD B (M)	ENiCrFe-4	65.1	15.0	2.32	10.4	1.56
	YAWATA WELD 196	ENiMo-9	73.5	—	19.20	2.66	(W) 2.78
金 桥	JQ · ENiCrMo-3	ENiCrMo-3	62.2	21.1	8.30	3.50	3.81
	JQ · ENiCrMo-6	ENiCrMo-6	62.1	13.5	7.20	5.20	1.10

表17 熔敷金属力学性能

品 牌	牌 号	型 号 (AWS)	主要力学性能指标				焊接 极性
			R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	KV_2 (-196°C) (J)	
四川 大西洋	CHNNiCrMo-3	ENiCrMo-3	790	550	41	65	DCEP
	CHNNiCrMo-6	ENiCrMo-6	680	410	40	110	DCEP
京 群	GEN-CM3	ENiCrMo-3	790	545	40.5	—	DCEP
	GEN-CM6	ENiCrMo-6	735	490	40	77~196	AC
天 泰	TNM-10	ENiCrMo-3	775	—	38	—	DCEP
	TNM-9	ENiCrMo-6	700	—	43	70	DCEP
大 桥	THNiCrMo-3	ENiCrMo-3	780	537	37	63	DCEP
	THNiCrMo-6	ENiCrMo-6	680	410	40	110	DCEP
日 铁	YAWATA WELD B (M)	ENiCrFe-4	700	420	40	76	DCEP或 AC
	YAWATA WELD 196	ENiMo-9	720	440	51	98	DCEP或 AC
金 桥	JQ · ENiCrMo-3	ENiCrMo-3	786	550	37	72	DCEP
	JQ · ENiCrMo-6	ENiCrMo-6	690	440	38	100	DCEP

9Ni 钢为马氏体型低温用钢，在运输等过程中很容易被磁化。当用直流焊机焊接时会进一步磁化，致使焊接过程中极易产生电弧的偏吹，焊接不稳定，从而导致各种缺陷的产生，甚至无法正常施焊。国内大部分焊材制造企业的镍基焊条焊接时主要以直流反接为主，不利于 9%Ni 钢焊接时的质量控制。因此，改变焊条配方设计，使焊条适应不同的焊接电流方式，从而达到提升 9%Ni 钢焊接接头的质量稳定性，是国内镍基焊条改进提升的重点。

6.4 高效超超临界钢用焊条

中国的冶金企业至 2013 年已全面实现 T23、T/P91、T/P92、S30432、S31042 等高端锅炉管的自主化产品生产，产品大量供应国内外市场。600°C 超超临界火电机组商业化应用后，国内外研究人员把目标转向 600°C 以上更高参数的火电机组。截止目前，已经大量使用的 T/P92 的温度上限为 600°C 蒸气温度，超过这一温度 T/P92 将面临持久强度不足或抗环境腐蚀性能不足的问题。因此，急需研发可用于 600°C ~650°C 温度段大口径锅炉管和大型厚壁构件，以使超过

600℃等级超超临界火电机组的批量建设具有经济性和可行性。

对此，国家科技部“863”计划于2012年启动了“先进超超临界火电机组关键锅炉管开发”项目。开展了高效超超临界G115厚壁大口径管的研发，解决了工业生产过程中的系列问题。G115钢的持久强度是T/P92钢的1.5倍，同时其抗高温蒸气、氧化腐蚀性能优于T/P92钢。四川大西洋目前已经完成G115钢配套焊条CHH767（见表18）、埋弧焊丝/焊剂、气体保护实心焊丝的开发，焊条、埋弧焊丝焊剂均通过模拟件大管的焊接，焊条模拟大管焊接见图85。焊接接头均已开展在650℃条件下高温持久试验，焊条已完成10000小时高温持久试验，持久强度满足用户设计要求。同时，开发的高温汽轮机CB2钢配套用焊条，已在CB2部件使用，效果良好。

表18 CHH767焊条室温力学性能

$R_{p0.2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	Z (%)	KV_2 (20℃) (J)	热处理
558	711	23	66	51; 54; 60/55	760℃ × 6h
567	741	25.5	63	60; 54; 58/57	760℃ × 4h

昆山京群展出了G115钢配套焊条GER-93，主要成分为9%Cr-3%W-3%Co。采用焊芯过渡，焊接工艺优良、成型美观，熔敷金属具有与母材相近的强度韧性且高温持久度比较高，抗裂纹敏感性好，可有效促进G115钢的推广应用。化学成分及力学性能见表19、表20、表21，GER-93焊条见图86。



图85 焊条大管对接

表19 熔敷金属化学成分（质量分数）（%）

牌号	C	Mn	Si	Cr	Co	W
GER-93	0.078	0.65	0.21	9.05	3.02	2.98

表20 GER-93室温力学性能

牌号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	KV_2 (室温) (J)	热处理 (°C × h)
GER-93	703	570	21	61 56 52	100 × 1 + 780 × 3

表21 GER-93高温拉伸性能

牌 号	试验温度	应力 (MPa)	破断时间 (h)	A (%)	Z (%)
GER-93	650°C	200	22.6	17.39	66.48
	650°C	190	221.93	10.85	63.37

6.5 承压设备用焊条

展示的承压设备制造领域专用焊条有, 天津大桥的 THJ507RHY、THJ557RHY、THJ607RHY、THR307Y 等, 天津金桥的 J507RH、J557RH、J607RH、R307 等, 昆山京群的 GEL-57RH、GEL-557RH、GEL-67RH 等, 四川大西洋的 CHE607RH、CHE507SHA、CHH407LH (熔敷金属力学性能见表 22) 等。



图86 GER-93焊条

表22 CHH407LH焊条熔敷金属力学性能

拉伸性能试验温度 (°C)	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	KV_2 (-30°C) (J)	热处理 (°C × h)
室 温	585	456	23	140	690 × 8
440	470	354	24		
室 温	564	498	23	152	690 × 32
440	455	327	24		

针对石油精炼、石油化工、火电、加氢反应器等使用条件苛刻的大型设备 2.25Cr-1Mo-0.25V 类钢板的焊接, 西冶新材展示了 XY-ECr2MoV 加氢反应器 2.25Cr-1Mo-0.25V 钢用焊条。该焊条具有熔敷金属纯净度高, 低温韧性优良, 回火脆化敏感性低的特点。其熔敷金属力学性能见表 23。

表23 XY-ECr2MoV焊条熔敷金属力学性能

拉伸性能试验温度 °C	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	KV_2 (-30°C) (J)	热处理 (°C × h)
室 温	658	543	20	130	705 × 8
475	502	451	19		
室 温	604	482	22.5	162	705 × 32

6.6 高强度、高韧性超低氢焊条

随着中国冶金技术的不断提升，高强度、高韧性钢材品种得到快速发展。为实现设备结构轻量化提供了有利条件。因此，高强度、高韧性钢在诸如建筑、桥梁、压力钢管、海洋工程、车辆等领域得到广泛应用。

天津大桥、四川大西洋、天津金桥、昆山京群、台湾汉泰、台湾首锐等企业相应展出 600MPa ~ 800MPa 不同级别的高强、高韧焊条，具有超低氢、抗裂性能优良以及优异的低温冲击韧性的特点，满足不同行业的设备制造在极苛刻环境下服役的要求。用于极寒地区海洋工程、采油平台运输船、破冰船等船舶焊接。熔敷金属力学性能见表 24。

表24 高强度、高韧性超低氢焊条熔敷金属力学性能

生产厂家	产品牌号	产品型号	R_m (MPa)	R_{eL} (MPa)	A (%)	KV_2 (J)	
						(-60°C)	(-80°C)
天津大桥	THJ607H-G	E6215-G	650	550	25	120	—
	THJ807H-G	E7815-G	836	758	17.5	86	—
	THJ807GL	E7815-G	826	740	17	—	80
四川大西洋	CHE607QR	E6215-G	650	545	27	130	—
天津金桥	J607RH	E6215-G	658	568	27	130	—
	J807RH	E7815-G	840	740	22	85	—
昆山京群	GEL-758	E7815-G	818	775	20	77	—

6.7 不锈钢焊条

不锈钢焊条依然是各焊材生产厂家展出的重点。北京金威、昆山京群等厂家分别展出了多品种不锈钢焊条。随着国内冶金技术的提高和各厂家不断的攻关，国内一般不锈钢焊条的品质与国外厂家相比已基本达到同一水平；但在熔敷金属的耐蚀性能、超低温性能等方面还需要进一步研究，缺乏比较详尽的数据。

北京金威展出了超级双相不锈钢 E2594-16，超级奥氏体不锈钢焊条 E385-16，控铁素体（铁素体含量 3-8%）不锈钢焊条，用于 -196°C 低温不锈钢焊条等品种。

7 钎焊材料

本届共有十余家专营或兼营钎焊材料的厂商参展。国内包括郑州机械所、上海斯米克、河北申澳、四川大西洋、铜陵新鑫、新利得（天津）、巩义市斯伟特等厂商。国外一些钎焊材料厂商，如韩国 SK BRAZING 公司、奥钢联集团、德国 Castolin 等，则通过其中国分公司或代理商的渠道参与展会，但只有少量钎焊材料展出。

钎焊材料产品种类以银基、铜基、铝基等常用钎料为主，也有少量镍基、锌基、锡基钎料和钎剂产品。部分参展厂家依据自身雄厚的技术实力，产品和服务呈现出定制化、精细化、专业化的趋势，可根据用户的特殊需求，对钎料的成分、形态和规格进行柔性研发和制造，并提供端到端的一揽子技术解决方案。其自身角色兼具传统产品制造商和服务系统供应商。例如，郑州机械所针对金刚石工具行业推出了系列银基钎料和铜基预合金粉末，产品既有中银、低银类通用钎料，又有针对某一特殊用途的专用钎料。产品形态涵盖丝状、带状、片状、粉状等。并可根据客户需求提供钎焊工艺设计、优化和产品性能检测等技术服务。

依据钎料合金系别、加工性能和应用领域的不同，常将钎料加工成不同形态。形态各异的钎焊材料见图 87。



图87 形态各异的钎焊材料

7.1 箔带钎料

箔带是钎料的常规形态之一，在使用过程中具有添加方式简单、易于控制钎缝间隙等优点。适用于大平面、窄间隙、平整规则的钎焊面，如蜂窝层板结构等。箔带钎料的制备流程遵循常规的钎料制造工序，即：熔炼 - 浇铸 - 挤压 - 轧制 - 表面处理或热处理 - 成品收卷、包装。从 20 世纪末开始，随着我国有色金属加工技术和装备水平的飞速提升，国内钎料制造行业的整体技术水平早已脱离作坊式生产模式。如今，感应熔炼和真空熔炼等洁净熔炼技术已在一线企业得到普遍应用，水平连铸、在线退火、精密轧制等技术已用于钎料制造，但多元合金低氧连铸、连铸连轧等高纯净、短流程制造装备仍依赖进口。

目前，常规的银基、铜基、锌基等塑性较好的合金钎料均可加工成箔带。

四川大西洋展出的银基宽带和窄带钎料，见图 88。宽带钎料可以采用常规的平辊轧制获得；窄带钎料传统加工方法是将宽带分切制成，但窄规格产品使分切刀过薄、刚度降低，易造成窄带钎料边缘毛糙、折边、宽度波动等缺陷，质量稳定性差。郑州机械所开发的“丝轧带”工艺，通过集成在线退火、自动反馈控制、精密层绕等技术，可实现一种原料、多种产品的柔性制造，并且钎料边缘整齐、圆滑。



图88 银基箔带钎料



图89 镍基非晶态箔带钎料

非晶态钎料具有成分无偏析、杂质含量少、润湿性好、铺展均匀等优点。近年来，由于非晶态材料性能独特而优异，可解决我国在国防工业等领域所面临的的技术和材料瓶颈，因而受到极大关注。镍基和铜磷、铜钛等高脆性钎料成形性极差，难以直接压延成箔带。将上述硬脆金属加热熔化，然后浇到高速旋转的铜质冷却辊上，使其以极高速度（ 10^6 °C/s 级别）冷却，即可得到非晶态箔带。目前，国内已经进入标准的非晶态钎料有 7K301（镍基）、7K701（Cu-Si-Ni 系）、7K702（Cu-Ni-Sn 系）、7K703（Cu-Ag-Sn-P 系）四个系列，常用的非晶态钎料厚度约 0.04mm，宽度通常在 200mm 以下。郑州机械所展出的 BNi-2 非晶态箔带，见图 89。利用该钎料在加压 3MPa 规范下钎焊等轴高温合金 DZ22，可得到焊接接头的室温和 900°C 的抗拉强度分别为 853MPa 和 658MPa，达到母材等轴高温合金 DZ22 性能指标的 70%。

7.2 棒状、块状钎料

棒状钎料特别适于烙铁钎焊或火焰钎焊等手工钎焊，具有送料方便的优点。例如，在火焰钎焊汽车、冰箱用邦迪管时，一般是将银钎料棒加热，蘸钎剂后钎焊。

棒状钎料生产工艺简单、技术成熟，可通过合金配制熔炼后直接浇铸而成，也可通过铸锭拉拔或挤压而成。成品出厂时应注意棒状钎料表面的粗糙度，不应有夹杂物和氧化皮等缺陷。

棒状钎料添加量不易控制，钎焊时容易产生钎料剩余，造成浪费。因此，在实际应用时常常将其加工成块状钎料。块状钎料可由棒状或带状钎料裁剪成特定体积的小块，或将钎料合金熔液直接浇铸成块状或粒状。块状钎料的加工需保证其尺寸均匀一致，确保焊接时钎料的定量添加。郑州机械所开发的块状钎料（图90）已应用于煤炭行业用截齿的钎焊及一些勘探、钻井、采掘用PDC钻头的浸渍钎焊中。



图90 块状钎料

7.3 线状钎料

线状钎料加入方式简单，能够显著减少钎料浪费、降低成本。因而，广泛用于手工钎焊、半自动钎焊或全自动钎焊。

随着铝质结构材料应用的日益增加，尤其是近年来以铝代铜势头不减，铝焊材的需求量与日俱增；加之铝材焊接难度较大，铝焊材产品质量较铜焊材、银焊材等要求更高。因此，众多展商纷纷推出自己的铝基焊料，以彰显技术优势和市场竞争力。铝基钎料形态以线状居多。国内企业大多采用连铸-挤压法生产线状钎料，挤压是关键的中工艺。线状合金钎料直径通常为 $\Phi 0.8\text{mm} \sim \Phi 5\text{mm}$ ，钎料越细，挤压速度越低，否则出丝过快，影响钎料的成形性能，不利于后续拉拔。随着环保节能要求的提高，国内企业围绕铸造-挤压法进行了多项技术和设备改进。目前，低能耗、短流程技术主要有中频感应加热挤压技术、热挤压-热连轧

成形技术、连续拉拔技术、在线加热-连续拉拔技术等。表面抛光是线状钎料尤其是铝基焊线重要的后段生产工序。近些年，国内企业通过积极引进先进设备，学习先进工艺，已逐步突破表面机械刮削、校直、抛光、切断、印字等工艺，大幅提高焊线的表面质量。

展出的部分铝焊线产品见图 91。郑州机械所推出无缝形态的药芯铝焊丝产品，内部充填无腐蚀性钎剂，性质稳定、不吸潮，适用于空调、制冷、汽车、电力装备等行业铝质零件的钎焊，特别适合铝换热器自动化钎焊。河北申奥推出的 ER4047F 铝焊丝熔化温度 $577^{\circ}\text{C} \sim 582^{\circ}\text{C}$ ，丝材表面涂有钎剂，可用于除铝镁合金以外的铝及铝合金钎焊。浙江宇光铝材推出了添加锆元素的 5087 铝焊丝，将锆作为一种晶粒细化剂，用以提高焊接接头的抗弯性能和抗腐蚀性。意大利埃博推出了 ELB5554 铝合金焊丝，可用于焊接在高温下和对抗应力腐蚀极度敏感的 5554 铝合金和所有 6000 系铝合金。



图91 线状钎料

7.4 粉状钎料

粉状钎料具有用量精确、预装配便捷、适合自动化生产等优点，也易于加工成形。对于高洁净、无偏析的粉状钎料，真空感应气雾化法被认为是目前生产中应用最广泛的方法。利用该法生产粉末适用的合金范围广泛，可制备银基、铜基、铝基、镍基等粉状钎料，且对原材料的尺寸基本无要求，所制备的粉末球形度好，组织细化、均匀。近年来，随着陶瓷或陶瓷基复合材料的广泛应用，活性钎料的用量逐渐增加。对于钛、锆、铌等活性钎料的加工，由于这些钎料可与石墨或陶

瓷等坩埚材料发生反应，坩埚熔炼/气体雾化法会造成粉末严重污染，甚至是安全事故。活性粉状钎料常利用电极感应气体雾化、等离子旋转电极雾化等方法制备，但细粉收得率较低，批量生产效率不高，国产设备相关参数与进口设备相比仍有较大差距。

目前，市场上常见的粉状钎料有银基、铜基、镍基、铁基等。郑州机械所推出的针对金刚石工具行业的粉状钎料，见图 92。其形态以球形为主，合金系包含银基、铜基、铁基等，其中，铜基钎料粉为铜锌钛活性钎料粉，该钎料熔点低，适于金刚石低温钎焊。同时，不含银元素，成本较低。专利显示该铁基粉状钎料中加入了一定含量的纳米铝

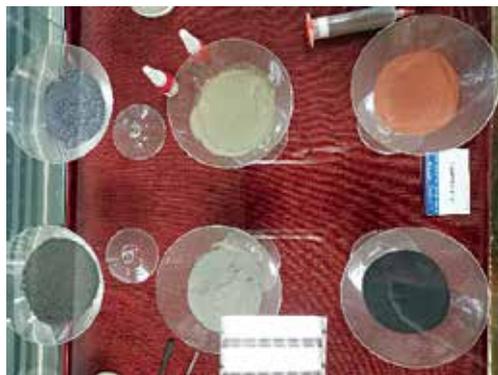


图92 粉状钎料

粉，在金刚石烧结过程中，纳米铝粉可同时与微区中的氧气以及金属粉末表面的氧化物反应，最终生成具有高硬度的氧化铝弥散相。该弥散相对提高金刚石复合块的硬度和耐磨性具有正向增强作用。实际使用时可将粉状钎料与粘合剂以一定比例混合形成粉末粘带，直接粘附于基体之上。

7.5 膏状钎料

膏状钎料容易控制钎料用量，便于复杂结构的装配和钎焊过程的自动化。例如，郑州机械所将 BNi-2 钎料粉与金刚石微粉、微纳 SiC 粉、TiH₂ 粉等混合调制成膏状，预置在具有复杂曲面特征的旋耕刀刃口，经真空烧结后可形成与基体结合牢固的金刚石和陶瓷相涂层，从而提高刀具的耐磨性。为了便于微电子器件焊接的自动化，软钎料常被加工成膏状。微电子软钎焊膏主要有锡铅系、锡铅银系和锡银系等，随着环保要求的不断提高，锡银系钎焊膏的需求量越来越大。

展出的硬钎料膏和锡基焊膏见图 93。膏状钎料虽使用方便，但制备和储存要求高，避免钎料粉、钎剂和粘结剂之间分离导致成分不均匀，抗氧化性差等问题。目前，国内有许多企业的膏状钎料不仅供应国内，国外订单也与日俱增。但由于缺乏核心装备，品质定位于低端，高端钎料膏仍需进口。

7.6 自钎剂钎料

与传统的实心钎料相比，自钎剂钎料具有以下特点：自带钎剂，钎焊时减少



图93 膏状钎料

添加钎剂的工序，焊接效率高；钎剂定量添加，节能节材；可连续施焊。

药芯钎料在钎焊生产中的应用历史不长，但发展极快。郑州机械所一直是国内外药芯钎料的先行者，在国际上最早提出并系统研究药芯铝钎料。20年来在研发和制造方面始终与国际同步，在短流程制造技术方面处于国际领先水平。实际钎焊生产中应用较多的是有缝型药芯钎料，根据钎料外皮边缘搭接的形式可分为直缝型和螺旋缝型。直缝型药芯钎料在储存及运输过程中容易漏粉、吸潮；具有螺旋搭接缝形态的药芯钎料是郑州机械所专利产品。该类药芯钎料解决了钎剂粉在运输使用过程中因颠簸而漏粉的问题。同时，钎剂不与空气接触不会失效。螺旋搭接缝还具有自旋紧的优势，能够增加钎料挺度。

通过将钎剂以粘附或浸涂的方式附于钎料外表面可制成药皮型钎料。郑州机械所发明的药皮银基钎料具有强度高、活性好、焊接效率高等特点；制备的药皮铜磷锡钎料可替代含银钎料，用于钎焊紫铜、黄铜及含有锡、铝、锰、硅等元素的铜合金。郑州机械所展出的药芯和药皮钎料，见图94。除了药芯、药皮钎料外，

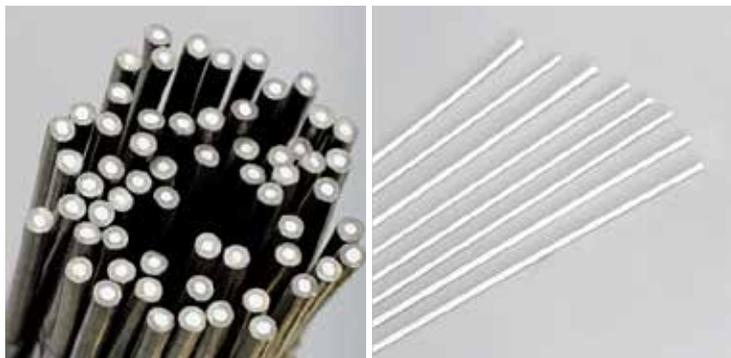


图94 药芯和药皮钎料

郑州机械所还通过将 Nocolok 钎剂和 Al-12Si 钎料粉末烘干、混粉、研磨后，填入特制的模具中将混合粉压实而得到自钎剂铝焊环。

7.7 预成型环状钎料

预成型钎料是依据钎缝特殊形状要求而特制的钎料，最常见的是环状，见图 95。此外，还有方形、梯形、扇形、弧形等。在钎焊过程中，预成型钎料易于实现自动化装配，钎料尺寸与钎缝形状吻合，减少了钎料在润湿铺展过程中的流损。例如，在钎焊空调制冷管路铜-铜接头时，可通过批量化预置环形钎料，使钎焊效率成倍提升。



图95 预成型环状钎料

同时，提高接头质量及其一致性。

国内企业环状钎料的生产已经摒弃借助机械手工卷制的工艺，普遍采用制环机进行自动化弯卷成形。自动制环机以盘丝为原料，可自动化实现开卷-送丝-矫直-加热-切断-卷制-落环等操作，生产效率达 1~2 件/秒。杭州华光将药芯钎料和预成型技术相结合创新开发出药芯钎焊环产品。该结构可在高频焊接时稳定高效地受热，并通过优化金属成分设计，满足窄间隙的渗透需求，熔深高于同基体钎料，大幅度提高钎料铺展面积，简化钎焊过程工序，满足钎焊自动化、智能化的需要。

7.8 特殊结构钎料

为了适应多变的钎焊接头设计，特殊结构钎料应运而生。最近产品以“三明治”钎料和原位合成钎料为代表。将一层塑性良好且线膨胀能力适中的材料夹裹在两层钎料合金之间可制成“三明治”形梯度结构钎料。利用该钎料的芯部材料松弛接头中的热应力，可较好地缓释异质材料钎焊后的接头残余应力，提高钎焊件的使用寿命。郑州机械所利用浇注复合法制备了银基梯度结构钎料，见图 96。该钎料的生产流程为：芯材表面处理-模具及芯材预热-熔化

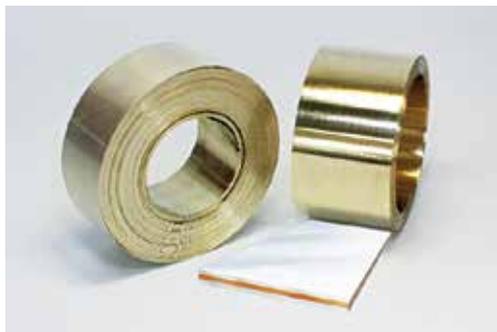


图96 梯度结构钎料

该钎料的生产流程为：芯材表面处理-模具及芯材预热-熔化

钎料 - 浇注复合 - 轧制成形。

郑州机械所设计了原位合成 AgCuZnSn 钎料。该原位合成钎料的形态与梯度结构钎料相似，双外侧为 AgCuZn（高银低锌）合金，内侧为 ZnCuAgSn（高锌高锡低银）合金，三层合金挤压而成。在钎焊过程中内外层合金通过熔合以及向母材扩散，实现原位合成新合金（AgCuZnSn 钎料），获得高强度钎缝。利用类似原理，还可以利用外层为 AlSi 合金、内层为 CuAl 合金粉的复合焊丝，在钎焊过程中原位合成 Al-Si-Cu 钎料。

8 对焊接材料行业发展建议

（1）关注焊接材料总量和比例，适时调整产业结构

每年度技术报告行业都适时公布上一年度焊接材料的总产量、进口量和出口量，以及各类焊接材料占总产量的比例。根据 2018 年度数据，焊条产量占总产量的比例已降至 40% 以下。按照自动化发展进程，我国的焊条产量比例预计将逐步下降至 25% 以下。今后，我国还将提高自动焊和半自动焊占有率，以适应行业结构调整与转型升级的步伐。

（2）关注钢结构高强度，开发高强度配套焊接材料

任何一个国家对于高强度材料的应用，都是必然的发展趋势。随着移动性设备的创新发展，其要求用钢高强度，结构轻量化，对应壁厚减薄，整体设备重量减轻。轻量化后的设备在固定或移动过程中能源消耗就减少。三一重工等工程机械制造企业，工程机械用 4000 吨以上的设备使用高强度材料结构，还有核电站、交通运输、桥梁、海工等重大装备、设施方面的应用，高强度材料的发展在未来 10 年仍将飞速发展。因此，应关注高强度配套焊接材料的开发。

（3）关注有色金属的广泛应用，加快相应焊接材料的研发

结构材料如高强度钢，其强度的提高不能是无限的。因此，随着轻量化不断增长的需求，派生了铝、钛、镁等轻合金，这是必然趋势。铝合金不仅在汽车、压力容器以及日用消费品等领域的应用日益增加，在轨道车辆、航空航天、海工船舶、军事装备等重大项目中应用更广泛，对高端铝合金焊材的需求更为迫切。

（4）关注焊接自动化更高需求，高效焊接材料将快速发展

随着自动化对焊接效率需求的提高和焊接机器人的普及，我国适用于高效焊

接的气保护实心焊丝、药芯焊丝、埋弧焊材产品应加快发展，在宏观、微观性能、制造技术上，都或多或少会带来变革和影响。自动化、机器人化不仅对焊接材料的成分、性能有更高要求，如焊丝 50kg ~ 100kg 强度级别系列化；还对包装材质等供货形式有多样化要求，包装过程中盘状、桶装焊丝的重量都一再突破常规限制。

（5）关注焊接材料制造过程的绿色化和数字化，走可持续发展之路

随着中国大力实施环保政策，特别是对焊接、铸造、涂装、粉末冶金等热加工制造倡导实现绿色化和数字化，焊接材料，如从焊条配粉、拉切丝、压涂、烘干、包装全过程中着手，例如烘干时减少煤的使用量，做到低碳节能减排的环保效果；例如对焊丝生产，一些企业研制无镀铜气保焊丝，采用环保型焊丝表面处理工艺，避免酸洗等污染环节。

我们正处在一个从制造大国到制造强国转变的战略时代，要充分认识到制造业核心竞争力的重要性，以及包括基础材料、基础零部件、基础工艺、产业技术基础等在内的工业强基的重大意义。焊接是典型的先进基础工艺，是船舶、航空、航天、桥梁各行各业都要应用的不可或缺的强基技术。因而，北京·埃森焊接与切割展览会举办了30多年还依然盛况空前。只有坚持改革开放，才能在竞争中，特别是环境要求不断提高下，适应挑战。另外，制造业的工匠精神也是焊接材料行业从大到强的一个关键环节。让我们齐心协力，全面提升焊接产品的供给质量，稳步提升产业发展质量，尽快提升焊接材料产品迈向世界高端行列。

切割机具

1 综述

第24届北京·埃森焊接与切割展览会于2019年6月25~28日在上海新国际博览中心隆重举办。据主办单位中国机械工程学会介绍，有26个国家和地区近千家展商参展。我国切割行业的主要代表性企业参加了展会，并展示在切割领域研发生产的先进技术和切割生产设备。

参展的主要切割机主机企业近20家。传统的数控等离子、火焰切割机等普通设备参展厂家并不多。参展的江苏博大、昆山MESSER、常州华强、昆山华恒等具有独立开发特种切割设备的能力；山东济宁高创、武汉梅莎尔等主要以产量和价格优势参展。目前，切割行业有以下三个主要发展特点：

(1) 具有中国制造特色的中小功率数控切割机。其特点是小机型、小功率、大批量、极具国际市场竞争力的价格。满足底端60%~80%大量中小企业的切割需求。如“小蜜蜂”便携式数控火焰等离子切割机，小台式或轻型龙门火焰等离子切割机，200A以下的数控等离子切割机，以及3000W以下台式或带交换平台的光纤激光切割机。这一市场区间竞争激烈，但国内外市场需求巨大，应用领域宽广。因此，这类切割机企业是市场主体，产能最大，销量最多，将会长期存在。

(2) 体现中国制造水平的中厚板高功率数控切割机。其特点是大机型、高功率、小批量、极具国际市场竞争力的价格。满足中高端20%~40%大中型企业的切割需求。比如切割150mm以上大厚度数控火焰切割机，300A以上大功率精细等离子切割机，6000W以上高功率光纤激光龙门式切割机。这一市场区域是大企业之间技术实力与资金实力的比拼。随着机器人和视觉识别技术的发展，三维智能切割将应用于平板坡口切割、封头筒体坡口切割、型材坡口切割。而伴随6000W以上高功率光纤激光器的发展，龙门式高功率光纤激光切割机将实现与火焰等离子切割机共轨切割，使6000W以上高功率光纤激光切割机在中厚板切割中大显身手。因此，这类切割机企业将是市场的龙头企业，其数控切割机切割能力大、技术水平高，主要满足大中型企业的需求。

(3) 代表中国智造发展方向的柔性切割生产线。其特点是针对“产线”，将

仓储、上下料、自动切割融为一体，满足最高端 10%–20% 专业用户的切割需要。这是一个广阔的需求市场。将机器人技术、视觉识别技术、5G 物联网技术、软件智能编程及云平台服务技术，与切割焊接工艺和生产流程相结合，形成不同产业的柔性生产线。如钢结构行业的型钢机器人柔性切割生产线，不锈钢仓储、上下料、多工位光纤激光切割生产线，卷材光纤激光柔性切割生产线等。“柔性切割生产线”作为中国焊接切割行业智能制造新的发展方向，势必成为中国切割行业企业发展新的增长点，在未来 3–5 年将会成长出多家各类专业柔性切割生产线的专业户、切割行业的独角兽，成为中国智能制造新的靓丽名片。

2 主要参展切割企业及其重点展品介绍

切割方向的主要参展企业有：江苏博大、宁波金凤、无锡华联、上海沪工、上海通用、上海华威、唐山小池、上海伊萨、上海兆展、昆山华恒、大连华锐、哈尔滨行健机器人、常州华强、成都华远、山东时代等。厂商们都展示了各自新近开发的技术和主要重点产品。

2.1 切割机主机厂商及其重点产品

(1) 江苏博大 (图 1、图 2、图 3、图 4)

江苏博大展出了系列切割设备：大功率精细等离子切割机，管子相贯线切割机、钻切复合与等离子坡口切割机。这两年重点研发的产品是机器人 360 度旋转型钢切割生产线。至此，江苏博大已经形成板、管、型钢完整的切割产品生产线。

(2) 梅塞尔 (中国) (图 5、图 6、图 7、图 8)

梅塞尔切割焊接 (中国) 有限公司 (MESSER) 是金属板材热切割行业著名



图1 展台



图2 博大机器人360度型钢切割生产线

江苏博大



图3 钻切镗铣复合加工中心



图4 平板坡口切割机



图5 展台



图6 火焰等离子切割机

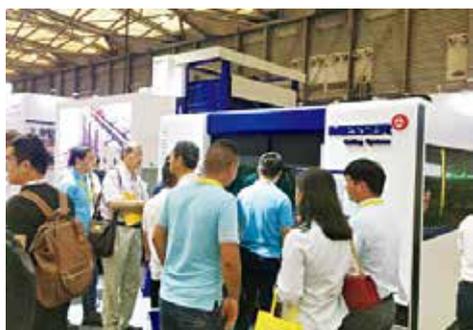


图7 全自动激光切割机上下料系统



图8 超高速等离子/激光增强型切割机

的国际品牌。除展示传统经典的精细等离子切割机外，重点展示新近研发的超高速等离子/激光增强型切割机（MeXcel）和全自动激光切割机上下料系统。新型MeXcel切割机具有高运行速度、高加速度的特点，可以同时配置激光和等离子切割头，大大提高切割质量和切割效率。梅塞尔根据客户的实际需求，切割系统可以拓展为全自动激光切割+物料搬运存储生产线，提供IoT智能化解决方案，实现全自动不间断生产，极大提高生产产能。

(3) 宁波金凤 (图9、图10)

宁波金凤展台以图片方式介绍了系列产品,如普通火焰等离子切割机,大功率厚板激光切割机,管子相贯线切割机,钢结构预制生产线,机器人型钢切割生产线,以及近两年重点投资研发的搅拌摩擦焊和绿色建筑自动化焊接生产线。宁波金凤不仅形成板、管、型钢完整的切割产品生产线,而且在智能焊接机器人焊接生产线方面形成独特创新型的焊接产品生产线。

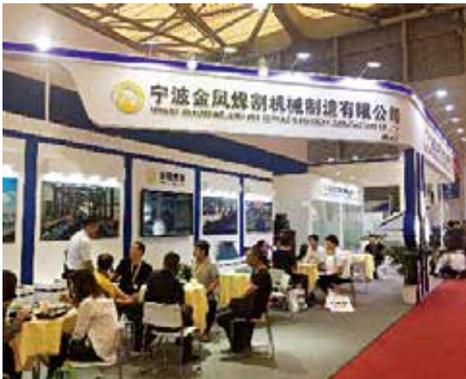


图9 展台



图10 机器人型钢切割生产线

(4) 无锡华联 (图11、图12、图13)

无锡华联展示大跨度大功率精细等离子切割机。并以图片视频等方式介绍系列产品。如管子相贯线切割机,钢结构预制生产线,型钢上下料柔性切割生产线,以及为船舶行业研发生产的薄板平面片体生产线。无锡华联同样是在板、管、型材形成完整的切割产品生产线,而且在此基础上,针对船舶、钢结构、桥梁工程、工程机械等重要行业开发生产智能化的机器人焊接生产线。



图11 高端大功率等离子切割机



图12 船舶平面片体生产线



图13 22.5m大跨度划线机

激光划线技术及其加工装备已在各个不同制造领域得到广泛应用，并不断发展和扩大使用领域与范围。随着激光技术的高速发展和生产工艺的不断提升，激光划线在多种领域的应用将持续上升。其作为精密高速高效下料设备正在悄然取代传统的火焰、等离子划线和冲剪设备，成为金属和非金属划线领域中市场份额增长的领先者。无锡华联密切关注市场需求，推出的数控激光划线机已应用于多家客户，其中 22.5m 跨度高精度划线设备为国内、甚至亚洲最大。

(5) 上海沪工 (图 14、图 15、图 16、图 17)

上海沪工除展出各种数字化焊接电源外，切割产品部分重点展示万瓦级超功率光纤激光切割机、中功率光纤激光切割机、大功率精细等离子数控切割机，



图14 展台



图15 大功率精细等离子切割机

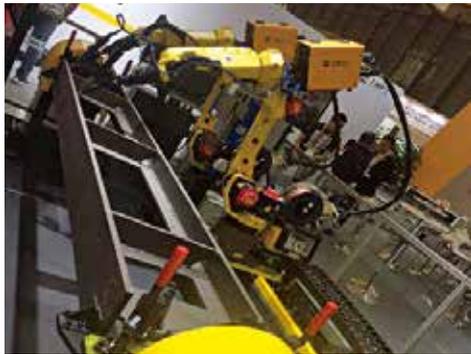


图16 机器人型钢焊接生产线

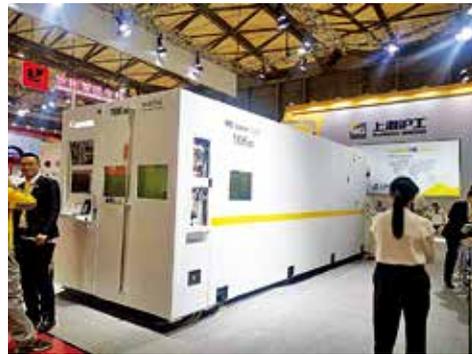


图17 万瓦级光纤激光切割机

以及机器人 H 型钢切割焊接生产线。至此，上海沪工形成完整的涵盖板材、管材到型材的切割产品生产线。产品包含数控火焰等离子切割机、光纤激光切割机，管子相贯线切割机，机器人型钢切割焊接生产线。

(6) 上海通用 (图 18、图 19、图 20)

上海通用重工公司展示了光纤激光切割机、大功率精细等离子切割机，以及新近开发完成的小便携和轻型龙门数控切割机，使其平板数控切割机产品线更趋完整。除平板数控火焰、等离子和光纤激光切割机外，上海通用重工重点研发生产管子相贯线切割生产线、H 型钢切割生产线，形成完整的涵盖板材、管材和型材的产品生产线。



图18 展台

(7) 河北创力机电 (图 21、图 22、图 23、图 24、图 25)

河北创力机电科技有限公司成立于 2011 年 1 月，位于邢台市经济开发区。作为整体自动化方案提供商和核心装备供应商，公司的产品已稳定服务于机械



图19 管材切割生产线



图20 型钢切割生产线

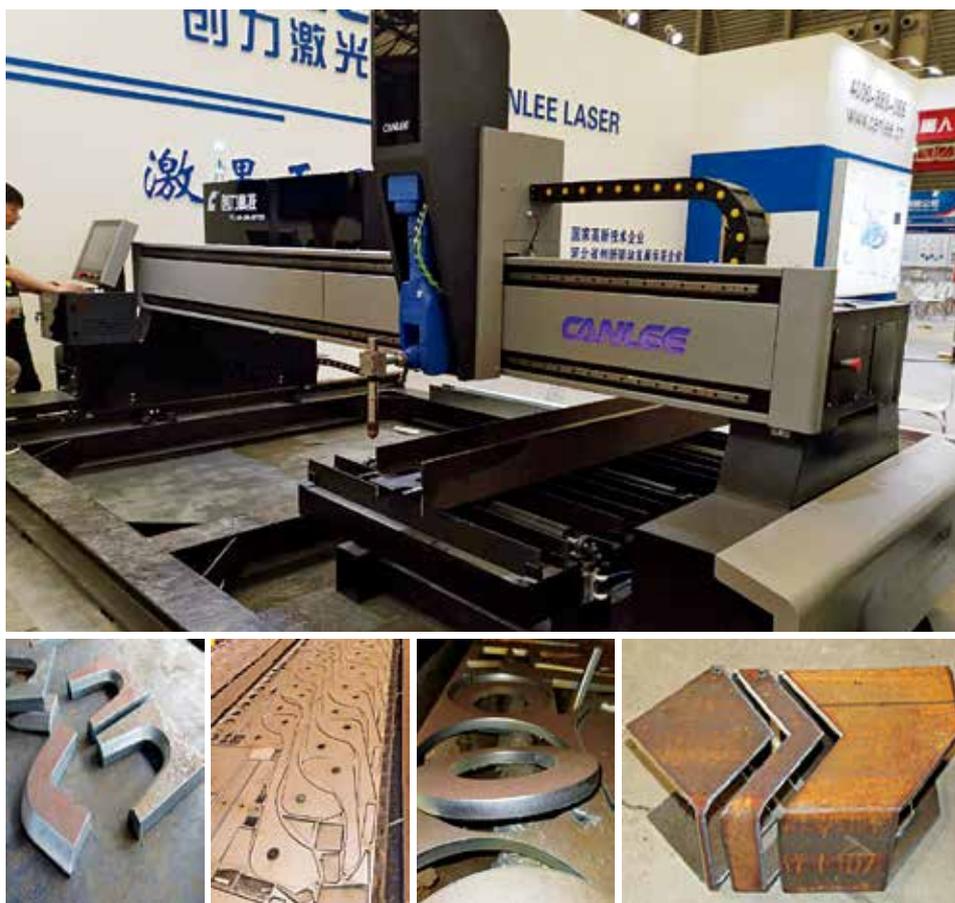


图21 多轴数控3D切割机器人及其切割样件



图22 台面激光切割机



图23 管板一体激光切割机



图24 激光切管机



图25 切割样件

制造、建筑钢构、石油化工、高铁、车辆、航空航天、军工等广大行业。产品已销往全国各地并出口韩国、马来西亚、印尼、泰国、越南、俄罗斯、乌克兰等国家。现已成为中国北方地区具有重要影响力的自动化焊割装备研发、制造企业。

河北创力机电展出了自主研发具有独立知识产权的多轴数控 3D 切割机器人，创新性的将串联机器人的三个关节旋转轴与龙门坐标式机床的三个直线运动轴进行融合联动设计。实现了技术特性优势互补。既具有机器人的操控灵活性优势，又具备龙门式三轴机床的大幅面、高精度、批量化作业优势。可实现金属板材及 H 型钢、槽钢、角钢等多种型材的智能化切割作业。

创力机电展出的激光 500W-15000W 全功率段激光切割机采用重型床身设计，经过两次退火时效处理，强度高、不变形；横梁采用铸铝，重量轻、速度快。专用于切割碳钢、不锈钢、铝、黄铜、镀锌等多种金属材料的板材、型材。

(8) 上海华威 (图 26、图 27)

上海华威展示了传统经典的各类便携式应用于板、管、型材的切割焊接工具。在数控切割设备方面，展示了各种类型的便携式数控切割机、经济型轻型龙门数控切割机，以及大功率精细等离子切割机。在板材和管材切割方面形成了完整的切割产品生产线，涵盖便携式板材、管材数控切割机，轻型铝型材的板材、管材数控切割机，大功率大厚度板材的数控等离子切割机和厚壁管材相贯线数控火焰等离子切割机。



图26 展台



图27 大功率精细等离子切割机

(9) 上海兆展 (图 28、图 29)

上海兆展作为上海本土的切割机企业，以经济型数控切割机生产为主。产品涵盖便携式火焰等离子平板数控切割机、便携式切管机、轻型龙门式火焰等离子切割机以及大型龙门式火焰等离子切割机。重点瞄准国际市场，以产品出口为主攻方向。为此，上海兆展公司注重品牌建立和产品外观设计，展出了两款全新工



图28 展台和新设计机型



图29 全新工业设计机型

业设计机型，受到国内同行和国外用户的一致好评。

(10) 上海伊萨 (图 30、图 31)

伊萨 (ESAB) 是切割焊接领域著名的国际品牌。展会重点展示了伊萨大厚度精细等离子坡口切割机以及等离子电源系统。伊萨 360 度无限回转坡口切割头是坡口切割机第一代产品，经历了近 20 年辉煌历程。新推出的双回转拟合角坡口头，旋转更快、精度更高、成本更低。是目前国际上公认的第三代坡口头产品。伊萨精细等离子电源系列也进行了更新和精简。目前，重点推广和销售二款等离子电源。一款是 300A 电源，类似于海宝的 XPR300；另一款是 600A 电源，是等离子电源家族中最大的单体电源，也是切割能力最大的等离子电源。

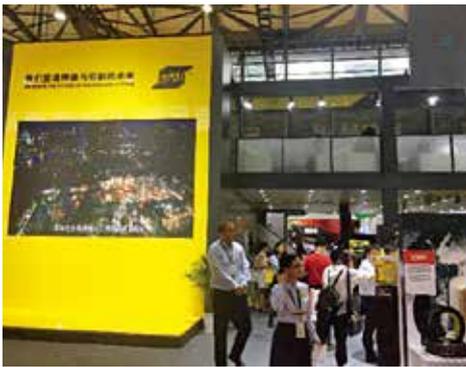


图30 展台



图31 精细等离子坡口切割机

(11) 唐山小池酸素 (图 32、图 33)

小池酸素是日本著名的数控切割机厂商，唐山小池是其在中国的生产基地。切割产品系列齐全，涵盖板材、管材、型材的数控切割。从便携式火焰等离子切



图32 展台

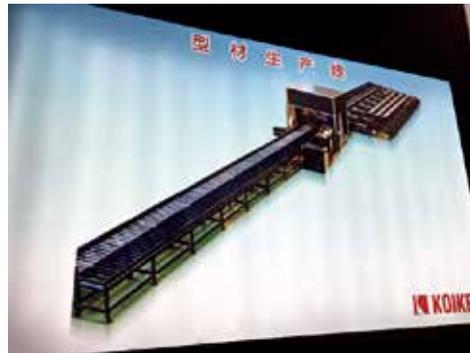


图33 型钢切割柔性生产线

割机，便携式管子相贯线切割机，大型龙门精细等离子切割机，光纤激光切割机，管子相贯线切割机，到型钢机器人柔性生产线，不锈钢激光切割柔性生产线，涵盖不锈钢仓储、上下料和激光切割交换工作台和激光切割机，且在日本有着成功和成熟的用户。

(12) 昆山华恒(图34、图35、图36、图37)

昆山华恒公司除展出丰富的焊接自动化产品设备外，切割设备方面展示了新开发的光纤激光切割机和独具特色的采用等离子水幕方式切割不锈钢的数控切割机。华恒公司在数控切割设备上已经形成齐全的切割产品生产线，涵盖板材、管材和型材的系列切割产品。包括普通火焰等离子切割机，大功率精细等离子切割机，大功率等离子坡口切割机，管子相贯线坡口切割机，光纤激光切割机，大功率厚板光纤激光切割机。近两年重点投入开发机器人视觉识别型钢柔性切割生产线，封头机器人视觉识别柔性切割机。

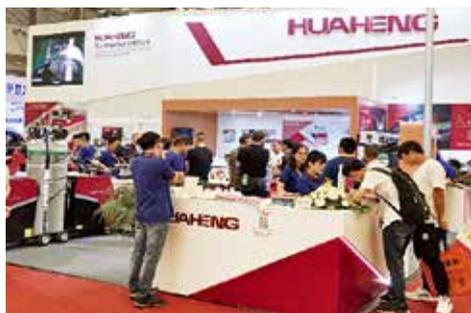


图34 展台



图35 光纤激光切割机系列



图36 不锈钢水幕等离子切割



图37 等离子坡口切割机

(13) 无锡洲翔(图38、图39)

无锡洲翔公司以钢结构切割焊接生产线为其主打产品之一。展出了切焊矫正



图38 展台

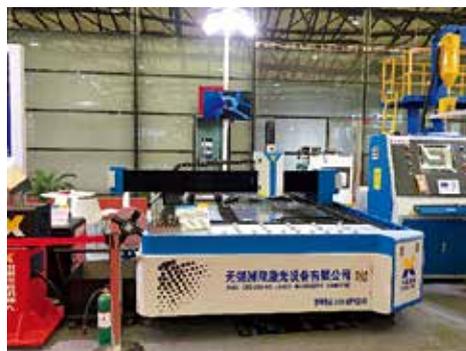


图39 光纤激光切割机

一体化的钢结构柔性生产线和机器人焊接设备。在切割设备方面，无锡洲翔在数控火焰等离子切割机的基础上，持续投入光纤激光切割机的开发生产。展会展出了数控光纤激光切割机。

(14) 常州华强 (图 40、图 41、图 42、图 43)

常州华强具有 20 多年发展历史，专业从事数控切割、机器人焊接、多功能切割自动化成套设备。华强产品广泛应用于航空航天、兵器工业、工程机械、煤矿机械、



图40 展台



图41 大功率精细等离子切割机



图42 履带梁机器人焊接系统



图43 机器人切割焊接工作站

船舶制造、轨道交通、汽车制造、石油机械、压力容器、电力钢铁、化工机械等行业。从焊接电源，发展到数控切割机，从普通中低档火焰等离子切割机，到专注中高档的大功率精细等离子数控切割机。再从机器人焊机，到现在的机器人切割焊接柔性生产线。华强公司展出了大功率精细等离子数控切割机。

(15) 大连华锐(图44、图45)

大连华锐小蜜蜂已有近20年发展历史，曾经多次通过技术创新引领中国新型数控切割机行业的发展。大连华锐研发著名的专利产品是“小蜜蜂”便携式数控切割机。时隔几年后又在“小蜜蜂”便携式数控切割机的基础上，研发出售价仅几万元的爆款产品：经济型龙门式切割机，满足大量中小企业的切割需求，再次填补行业空白。当前，公司产品有：智能焊接、切割机器人，台式激光切割机，龙门式激光切割机，龙门式精细等离子、火焰切割机，台式等离子切割机，相贯线切割机，便携式切割机等。

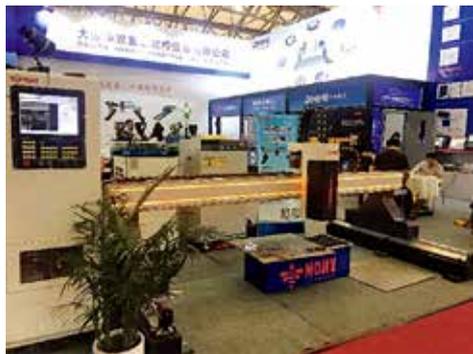


图44 龙门式激光切割机

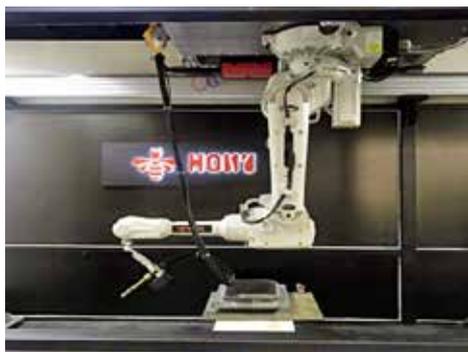


图45 柔性焊接机器人

大连华锐展出了新研发的铝镁合金横梁的龙门式激光切割机，切割幅面不再受限。同时，实现光纤激光切割机与等离子、火焰数控切割机共轨切割，实现了热切割行业的优势继承与创新提升。龙门式大功率光纤激光切割机适用于中厚板切割和精细小孔切割市场，将逐步挤压大功率精细等离子切割机市场。

同时，大连华锐展出视觉识别功能的智能焊接机器人切割与柔性焊接。华锐智能焊接机器人的特点“不示教、免编程，一件可焊接”，可实现自动检测工件尺寸，自主寻找焊缝起点，焊缝全程跟踪等优势。大连华锐已从传统的数控切割向机器人人工智能方向发展。

(16) 成都华远 (图 46、图 47、图 48、图 49)

成都华远是我国西部规模最大的切割焊接企业之一，以焊接电源起家，逐步进入数控切割行业。目前，已经形成完整的数控切割产品生产线，包括普通火焰等离子切割机，管子相贯线数控切割机，数控钻切复合一体机。

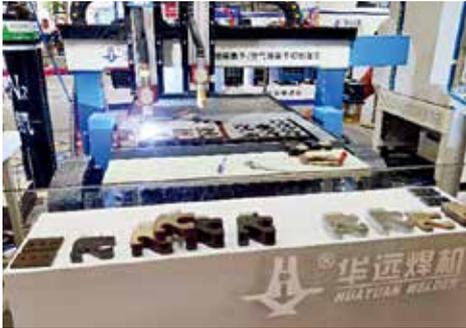


图46 全新切割机



图47 管子相贯线切割机



图48 双精细等离子切割机



图49 钻切复合一体机

成都华远展出了新近研发成功的基于德国倍福 BECKHOFF 平台进行二次开发的数控系统和高动态特性的精细等离子切割机以及型钢矩形管数控切割机。至此，成都华远已经形成完整的板、管、型钢切割产品线，从火焰等离子数控平面切割机，数控等离子坡口切割机，钻切复合切割机，管子相贯线切割机，到型钢矩形管数控切割机。

(17) 哈尔滨行健机器人 (图 50、图 51)

哈尔滨行健机器人不是从传统的台式或龙门式火焰等离子切割机起步，而是高起点从视觉识别技术起步，一步跨入人工智能机器人技术前沿，开发生产带视觉识别功能的各种人工智能切割焊接设备。如带视觉识别功能的零件坡口切割机

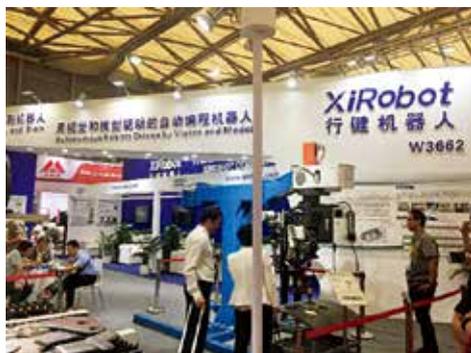


图50 展台

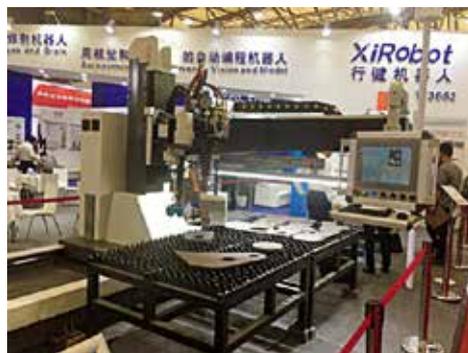


图51 坡口切割机

机器人、封头筒智能切割机器人、型钢智能切割机器人和船舶小组立焊接机器人、钢构组件焊接机器人等多款人工智能焊接机器人设备。

最近几年，国内光纤激光切割取得长足发展，不仅激光切割机厂家的数量快速增长，已经接近甚至超过数控火焰等离子切割机厂家的数量，而且光纤激光切割机的年销售量也已经达到甚至超过数控火焰等离子切割机的年产量。年产量预计达到 25000 台。

而且，随着光纤激光器功率的增大和激光切割工艺技术的改进，6000W-20000W 以上的大功率光纤激光切割机开始进入中厚板切割和精细小孔切割市场，将逐步挤压大功率精细等离子切割机市场。

(18) 大族激光智能装备集团 (图 52、图 53、图 54、图 55)

大族激光是中国激光切割设备行业的龙头老大。市场上运行有超过 5000 台的高功率光纤激光切割机。光纤激光切割产品线涵盖板材、管材和三维型材的光纤激光切割设备，以及包含板材仓储、自动上下料和光纤激光多工位切割柔性生产线。这四大类智能化产品代表了中国光纤激光切割机行业的顶尖水平。此外，大族激



图52 高速光纤激光切割机



图53 切管机



图54 三维激光切割机



图55 自动化柔性切割生产线

光自主研发了光纤激光器并实现配套应用。

在激光焊接方面，大族激光在激光自熔焊、激光填丝焊、激光-电弧复合焊、激光远程焊等方面积累了丰富的应用经验，效率高，柔性好，焊接工艺优越。大族激光焊接系统已在汽车零部件行业和主机厂广泛应用，并取得上汽通用、比亚迪、李尔中国等用户的一致好评。

(19) 济南邦德激光 (图 56、图 57、图 58、图 59)

济南邦德激光是中国激光切割机行业的后起之秀。展会展示了高达 15000W



图56 展台和铸铁床身



图57 自主研发的自动调高激光头



图58 超高功率光纤激光切割机



图59 卷材光纤激光切割机

的封闭式交换平台超高功率光纤激光切割机。给人印象最深、极具特色的是全铸铁床身和全三维数控加工，确保机身和使用寿命高达 30-50 年。自主研发自动调焦激光头，掌握光纤激光切割核心技术。

邦德激光开发生产完整系列的光纤激光平板切割机，还开发有管材光纤激光切割机、带仓储和上下料的光纤激光柔性生产线，以及不锈钢卷材光纤激光切割生产线。

邦德激光的做法让我们看到中国制造、中国智造的工匠精神，把光纤激光切割机做到极致。大批量、高品质、极具国际市场竞争力的价格，必定让中国制造走向世界。

2.2 切割机配套关键部件

随着国产精细等离子和高功率光纤激光器的快速崛起，可以预见切割行业的变迁和未来走势：①随着国产大功率精细等离子电源质量和量产的稳步提高和有竞争力的价格，将有效解决中厚板、管材和型材的焊接坡口切割，解决焊接打磨工人的短缺。重点产品是大功率精细等离子数控坡口切割机和三维机器人型材等离子坡口切割机；②随着国产高功率超高功率光纤激光器质量和量产的稳步提高和有竞争力的价格，将有效促进高功率光纤激光器在 10-20mm 中厚板、厚壁管材和型材切割中的应用，重点产品是龙门式高功率光纤激光数控切割机和三维机器人型钢光纤激光切割机；③高功率光纤激光器的迅猛发展，势必在中厚板切割市场上挤占大功率等离子电源的市场，势必导致大功率精细等离子电源销售量的萎缩。

成都华远与六和智能展出新开发的精细等离子电源产品。

(1) 成都华远(图 60、图 61)

成都华远公司在切割行业的国产等离子电源产品是当之无愧的龙头老大。据成都华远公司现场销售经理介绍，2018 年公司年销售 100A+200A 机载等离子切割电源超过 10000 台，年增长达到二位数。占国内等离子切割电源市场 60% 以上市场份额，成为切割机市场上中小功率等离子电源的主流产品。不仅实现了替代进口，而且远销世界各地。

成都华远重点展示两大系列的等离子电源产品。一是自主研发生产的 200A/300A 精细等离子电源，能准确控制电流，使切割质量更胜一筹；二是



图60 300Am精细等离子切割电源



图61 100/200Am等离子切割电源

120A/200A/300A/400A 全新一代数字化空气等离子电源，该系列搭载了最新的数字化芯片和多种传感器，具有超强的自我检测功能，且能自动显示异常时的故障代码。其最大特点是能够监控割炬消耗件的使用时长，进而可以控制消耗件的使用寿命。

(2) 六和智能 (图 62、图 63、图 64)

六和智能作为中国本土快速成长的等离子电源生产企业，专注于研发生产精细等离子电源。六和智能精细等离子电源起始于上海交大的产学研合作项目。由上海交大教授、博士和硕士领衔的研发团队，历时4年成功研发，并经市场实际运用和不断技术完善。六和智能本次展会推出全新的 LH270A 和 LH200A 两款精细等离子电源。



图62 200A精细等离子



图63 270A精细等离子



图64 精细等离子切割样件

六和智能精细等离子电源系统，包括精细等离子电源、数控系统和调高。数控系统和精细等离子电源的无缝配合，通过自动调用六和智能自有的精细小孔切割工艺库，可实现精细小孔切割时，外轮廓与小孔之间自动气体切换。据公司介绍，目前产品已经在国内市场开始销售，客户遍及 10 多个省和直辖市，并且已经外销国际市场。公司已经与多家国内主流数控切割机厂家展开合作，在今明两年的精细等离子电源市场上崭露头角，旨在成为今后精细等离子电源市场上的主流产品，替代进口，外销出口。

(3) 国外主要等离子配套部件 (图 65、图 66、图 67、图 68、图 69、图 70)

美国海宝 (Hypertherm)、德国凯尔贝 (Kjellberg)、美国维克多 (Victor, 原飞马特)、瑞典伊萨 (ESAB) 等电源厂商都带来了各自新的产品和技术。

美国海宝公司重点展出新款 X-Definition 等离子电源 XPR170, 与先前推出的 XPR300 成为市场上全新一代 XPR 等离子电源系列。并与最新的 EDGE Connect



图65 海宝公司展台



图66 海宝精细XPR300等离子电源



图67 海宝水刀解决方案

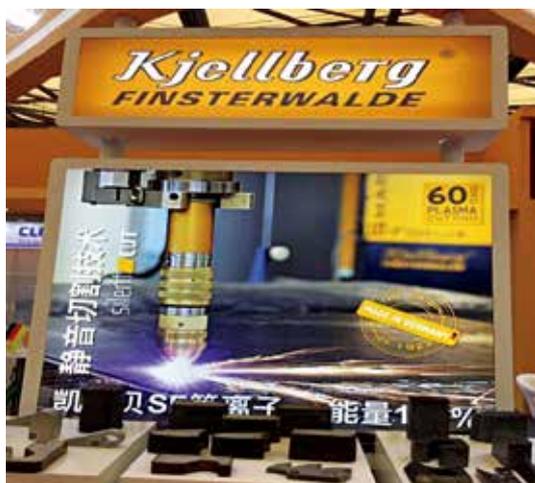


图68 凯尔贝静音切割技术



图69 德国凯尔贝公司展台

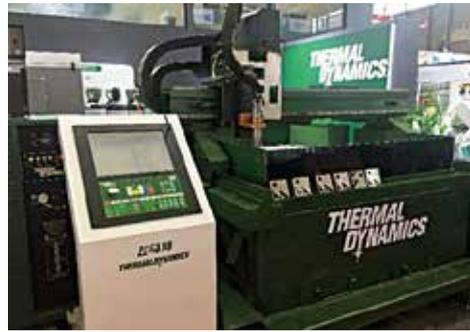


图70 美国飞马特公司展台

数控系统及 ProNest 套料软件为国内智能制造提供全新的数字式切割平台。海宝还展出水刀解决方案。不难看出，美国海宝公司除在核心等离子电源领域不断创新聚焦精细高质量切割外，同时聚焦高压水刀切割创新，给用户带来高质量、高效率及低运营成本的切割体验。

凯尔贝等离子公司重点推出绿色环保的等离子静音切割技术。在保持原有等离子高品质切割条件下，进一步降低等离子切割的噪音，实现绿色环保切割。

维克多等离子电源公司展示了自成体系的精细等离子电源和小孔切割解决方案。专门展示了 UC-300XT 配套新近开发完成的精致型智能数控系统，内置精细小孔切割软件数据库，配套全自动气体控制。至此，维克多公司完成了数控系统软件、自动气体控制与自家等离子电源系统集成，完美实现自动气体供气下的自动切割和精细小孔切割。

伊萨公司重点介绍在等离子行业，切割能力和电源功率最大的单体电源：伊萨 600A 大功率等离子电源。伊萨公司简化了原有的等离子产品系列，仅保留 200A/360A/600A 三款精细等离子电源。

从以上四家进口等离子电源厂家展出的产品和技术上看，200A 以下的中小功率等离子销售量下降，基本上已被国产等离子电源所替代。200A 以上的精细等离子是进口等离子厂家主打的核心产品，并进行产品的优化和调整。如海宝调整了精细等离子电源，集中为 XPR170/XPR300。伊萨则调整为 200A/360A/600A 三款精细等离子电源。

（4）激光切割关键部件（图 71）

光纤激光器过去一直被进口光纤激光器垄断，以锐科激光为首的国产光纤

激光器，在过去几年一直处在学习和跟随。先从500W-2000W小功率光纤激光器做起，逐步研发3000W-4000W中功率光纤激光器。截止到2018年底，4000W以内的国产中小功率光纤激光器产品质量稳步提高，已经成为国内市场上主流产品，逐步替代进口激光器。目前，进口激光器仍然还是高功率和超高功率光纤激光器市场上的主流产品。但是，中小功率光纤激光器市场已经被国产光纤激光器所取代。目前，以武汉锐科、深圳创鑫为代表的国产光纤激光器厂家，都在全力销售和量产6000W



图71 武汉锐科激光展台

到10000W的高功率光纤激光器，重点研发12000W-20000W超高功率光纤激光器。武汉锐科推出20000W超高功率光纤激光器。展会上，深圳创鑫更是发布了高达25000W超高功率光纤激光器。由此可见，中国制造中国智造的速度，在高功率和超高功率光纤激光器上赶超进口激光器指日可待。

本次埃森展参展厂商很多，纷纷展示自己的特色产品。由于不是专业激光展，多为国内展商。主要企业参看表1。

表1 主要参展企业

序号	参展公司	设备类型	激光功率	跟随器类型	备注
1	梅塞尔焊接切割(中国)有限公司Messer	大幅面台式激光(自动上下料)	12kW	Precitec (德国)	超大功率激光
2	无锡洲翔重工	台式激光	2kW	BCS100 (柏楚)	配宏宇达焊接控制器
		激光焊接	1kW		
3	高能激光	台式激光	2kW	BCS100 (柏楚)	
4	大连华锐重工数控设备有限公司(小蜜蜂)	龙门激光	2kW	CHC-1000S (宏宇达)	
5	大族激光智能装备集团	大幅面台式激光(自动上下料)	20kW	Precitec (德国)	超大功率激光

续表

序号	参展公司	设备类型	激光功率	跟随器类型	备注
6	山东邦德激光 (bodor)	管板一体机	2kW	BCS100 (柏楚)	
		切割机	2kW	BCS100 (柏楚)	
		台式激光	25kW	Precitec (德国)	毕孚系统, 超 大功率激光
7	上海通用重工集团 (TAYOR)	激光切管机	2kW	BCS100 (柏楚)	
		台式激光 (不带包围)	2kW	BCS100 (柏楚)	
		大幅面台式激光 (带自动上下料)	6kW	CHC-1000S (宏宇达)	德堡系统, 中 功率激光
8	深圳铭镭激光	中幅面台式精密切割	不详	CHC-1000L	固高轴卡系统
9	河北创力激光	台式	2kW	BCS100 (柏楚)	
		管板一体机	2kW	BCS100 (柏楚)	
10	上海沪工集团	大幅面台式激光 (带自动上下料)	不详	Precitec (德国)	
		台式激光	2kW	BCS100 (柏楚)	
11	奔腾激光	大幅面台式激光 (带自动上下料)	6kW	Precitec (德国)	毕孚系统, 大 功率快速穿孔 工艺 (闪电 BLOT激素智 能激光切割)
		激光焊接机器人			焊接控制器
12	山东锐捷激光	台式激光	2kW	BCS100 (柏楚)	
		激光切管	2kW	BCS100 (柏楚)	
13	力星激光 GLORystAR	精密激光切割	1kW	BCS100 (柏楚)	特殊切割
14	昆山华恒	台式激光切割机	2kW	BCS100 (柏楚)	

由表 1 可以看出, 在所列参展的 14 家展商中, 所用跟随器 21 台。其中, 采用德国普雷斯特 (Precitec) 跟随器 5 台, 占有所有跟随器的 23.8%。采用上海柏楚跟随器 13 台, 占 62%。深圳宏宇达 3 台, 占 14%。由此可见, 国产激光跟随器在展台上占比已达到 76%。每个客户都展出最高端产品。实际成交的订单中, 国内的跟随器仅上海柏楚一家就占到国内 80% 的市场份额。说明国产激光切割高度跟随器市场占有率远超进口品牌。也进一步说明, 国产激光切割高度跟随器的

性能和国外知名品牌基本不相上下。国产跟随器由于在本土设计生产，性能大幅度提升的同时，价格不断降低，这也是国产跟随器具有明显优势的根本原因。10多年前，高端激光跟随器完全依赖国外产品的局面已经不复存在。

2.3 切割机数控系统

上海方菱展示了最新控制技术。其特色功能如下：

(1) S型加减速与贝塞尔曲线(图72)

在原有的轨迹规划、速度前瞻、拐角控制的基础上，引入贝塞尔曲线和S型加减速，机床控制更加平稳高效，保护机制更加完善。在快速切割/样条曲线/精细小孔/空程快移时，设备的运动特性媲美激光切割，发挥出更佳的切割效率。

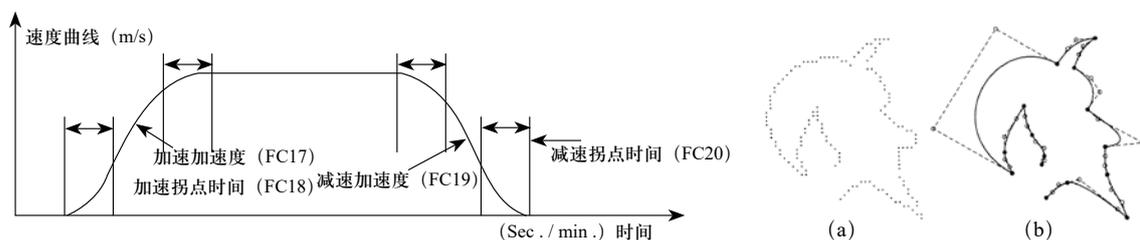


图72 高速、高精度切割

(2) 全套切割工艺参数库, 支持二次开发(图73)

上海方菱控制器可提供与凯尔贝/海宝/六和/飞马特/林肯/华远等多款精细等离子电源配套的工艺参数库。调整工艺参数, 便可获得不同工况下的设备最佳运行状态, 实现高品质切割和小孔切割。

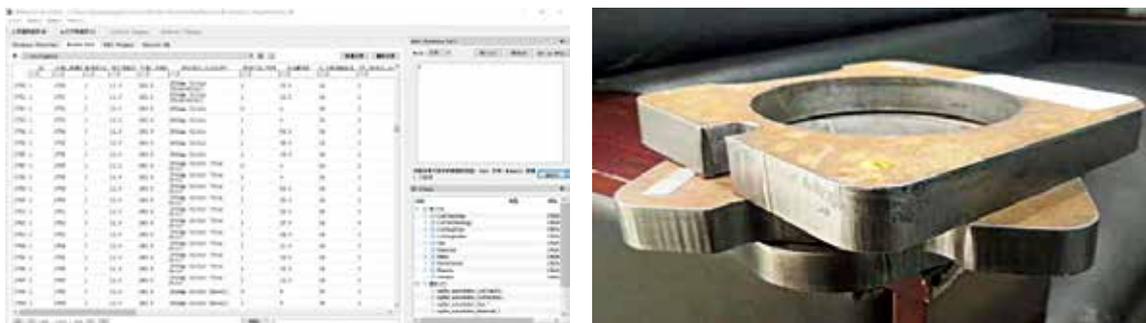


图73 切割工艺库与切割工件

(3) 切割机联网、组网控制、远程售后(图74)

具备多机联网功能, 支持局域网、路由器、wifi、USB 等通信接口, 方便使用

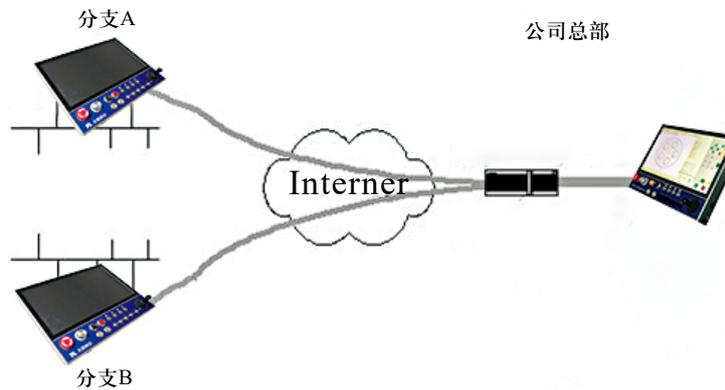


图74 切割联网技术

户传送文件或管理层监控切割工作状态。联网功能是数字化工厂不可缺失的条件之一。

通过网络互联，实现1人操作多机模式，完成组网控制。操作人员可在办公室直接集中操控多台数控切割机，有效节约人力成本。

通过联网实现远程售后诊断与故障排除，服务人员可在办公室解答用户提出的问题。

(4) 内置弧压调高器(图75)，支持双头等离子，双精细小孔和伺服升降体切割

内置弧压调高器结构，操作简便易学，外观简洁无累赘。同时，支持双等离子调高，切割效率更高。支持伺服升降，有助于提高切割品质(小孔切割)，延长易损件寿命。



图75 内置式调高器

(5) 内置套料软件 (图 76)

套料软件具备现场套料 / 钢板余料库 / 切割零件库 / 套料结果库 / 文档报表库五项专业功能, 是一套基于关系型数据库技术。既可用于钢板手动 / 自动套料, 又可用于钢板切割管理的系统软件。管理功能可帮助用户分析和提高套料效率、切割效率、切割精度、钢板利用率、数据统计效率、数据正确率。



图76 套料软件适用现场编辑与不同图形排料

(6) 自动寻边 (图 77)

自动快速寻边功能可以简化钢板的校正工序, 是无人化切割的必备条件。

(7) 多小车 (图 78)

横向独立伺服小车(轴)可减小定位误差造成的板材浪费, 亦可提高操作效率。



图77 钢板自动寻边

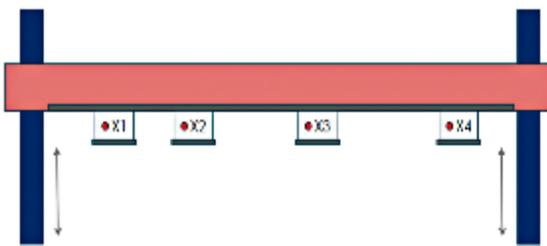


图78 多小车功能



(8) 喷码仪 (图 79)

与德国 EBS、深圳 MACCELL、日本 HITACHI 等品牌的喷码仪连接, 实现在钢板上喷字。

(9) 余料视觉 (图 80)

依靠摄像头和机器视觉技术实现余料再切割利用, 减少废料, 节约成本。



图79 喷码仪工作现场



图80 余料视觉应用



(10) 平面坡口切割 (图81)



图81 平面坡口切割机与坡口样件

(11) 总线控制技术 (图82)

多路总线技术让各个电气模块实现数据交换，即插即用。

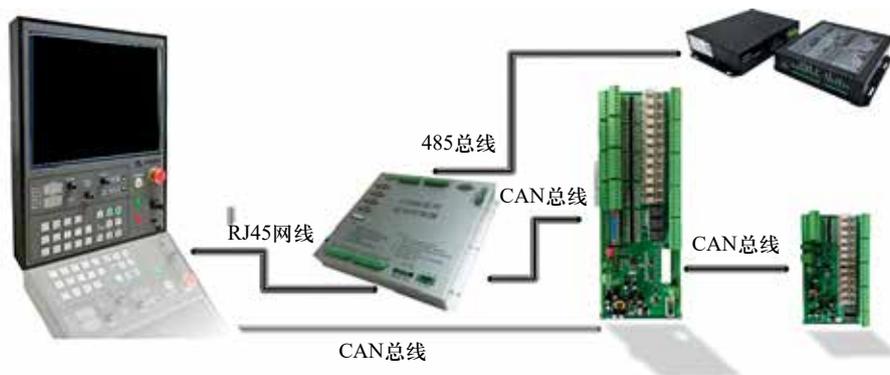


图82 总线控制示意图

(12) OPC UA 协议

数控系统具有良好的开放性，支持 OPC UA 通信协议，完成上位机与控制系统实时通信，完成设备数据采集，将所有采集数据上传至工厂 MES 系统（或上层集控系统），并保证信息传输的及时性和有效性。

(13) 相贯线切割 (图 83)

相贯线切割包括圆管、矩形管、槽钢、角钢、H 型钢、Tekla、海洋工程、封头与筒体等多项分支领域。控制系统支持多种机械结构，并提供丰富的图库和工艺功能。

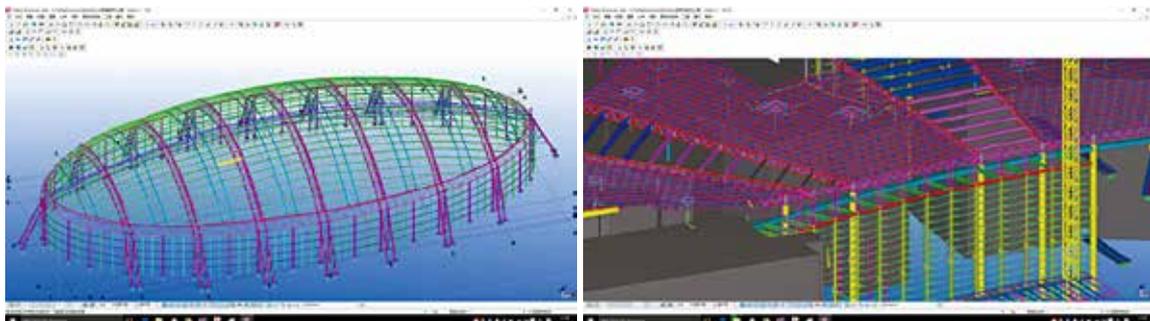


图83 相贯线控制系统与管套料软件

(14) 上海方菱成套电气控制系统应用于精细等离子切割 (图 84)

为了达到更好的切割效率与品质，成套电控技术应用越来越广泛。成套部件包括：控制系统 CNC、调高器 THC、套料软件 Nest、精细等离子切割电源 Plasma Power 及割炬。各部件之间实时通信，提效节能，实现切割垂直度 1° 左右，切割表面质量：①切口宽度。用于评价切割机切割质量最重要指标之一，也反映切割机所能切割最小圆的半径尺寸。它以切口最宽处尺寸计算，大部分等离子切割机的切口宽度在 0.15–6mm 之间；②表面粗糙度。用于描述切口表面质量，确定切割后是否需要再加工。它是测量切口深度 2/3 处横断面上的 R_a 值。

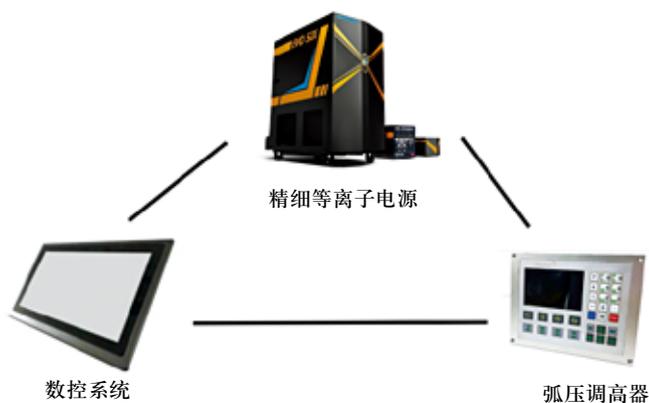


图84 精细等离子切割成套电控技术示意图

由于切割气流的作用在切割前进方向上产生纵向振动结果,主要形式是切割波纹。等离子切割的表面粗糙度高于火焰切割,但是低于激光切割及 1:1 小孔切割。

3 行业发展现状及趋势

随着我国越来越多的技术人员投入到数控切割设备技术的研发和创新,国内的数控等离子、火焰数控切割机在数控系统技术、等离子电源技术、自动调高跟随技术等关键技术方面取得重大突破。数控等离子、火焰切割设备的价格也由国外垄断时期的数百万变成几十万、几万、甚至几千元的产品。除特别高端的一些特殊切割设备外,普通数控切割设备国外产品已完全没有竞争力。

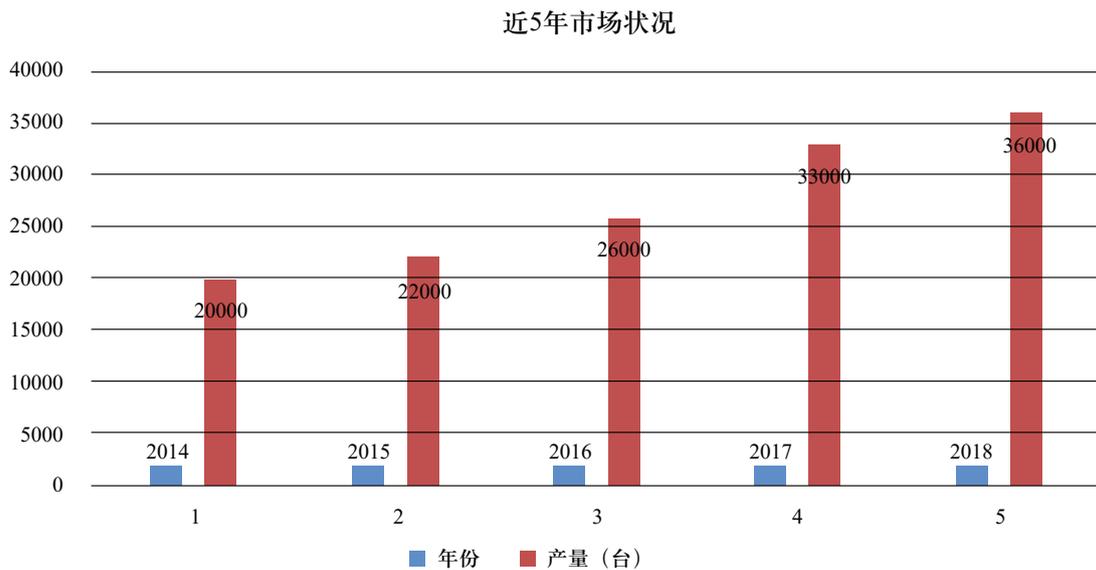


图85 2014年-2018年数控火焰/等离子切割机年产量统计

中国已成为全球数控火焰 / 等离子切割机最大生产制造国,产量和出口量双居首位。2014年至2018年,切割机年产量以15%均速递增。每台切割机需配置一套控制系统。图85为控制系统年销量。其中,等离子切割占比由50%提升至85%。图86为2018年等离子切割、火焰切割占比。

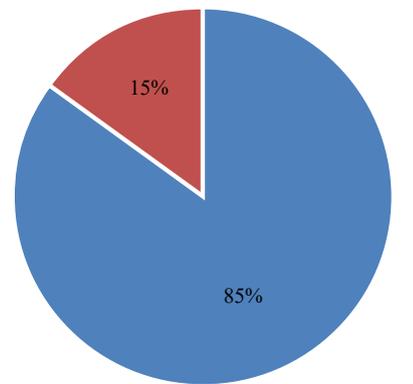


图86 2018年等离子切割、火焰切割占比

同时,激光切割设备在国内的发展势头远远超过数控等离子、火焰切割的发展规模。

最近 10 多年，光纤激光器应用到切割、焊接行业，使得激光切割设备的结构产生翻天覆地的变化。早期 CO₂ 激光复杂的飞行光路系统被光纤代替，激光切割设备的机械结构大大简化。随着国产大功率激光器技术的发展、性能的稳定和价格的不断降低，光纤激光切割已广泛应用到平面切割、龙门切割、激光切管、型材切割、定位切割等各个领域。

目前，我国切割行业现状概括几点如下：①年产 2 万台的小便携和经济型数控火焰等离子切割机，配套国产等离子电源，已成为国内外中低端切割机市场的主流产品；②年产 2 万台 4000W 以下台式数控光纤激光切割机，配套国产光纤激光器，已成为国内外中低端不锈钢切割市场的主流产品；③大功率精细等离子切割机和功率光纤激光切割机，将成为中高端切割机市场的主流产品；④视觉识别与三维机器人柔性切割焊接生产线将成为切割机市场新的增长点；⑤国产中小功率等离子切割电源和 4000W 以下光纤激光器，年产销量均超过 2 万台，已成为国内外切割电源市场的主流产品。

随着中国制造 2025 目标的提出和用工成本的不断爬升，数控切割行业正向着复合加工技术、智能切割工厂、工业物联网方向发展。数控切割机的指挥大脑是数控系统，恰好为控制系统的进一步发展创造了空间和挑战。

（1）激光 / 精细等离子复合切割技术（图 87）

此项复合切割技术的优势：①针对不同厚度的金属板材，灵活切换激光 / 等离子模式；②针对中厚板结构件切割，激光发挥内孔 / 内轮廓的高精度特点，精细等离子实现快速、光洁度高的外轮廓切割。此外，复合加工机床及其控制系统还包括钻切一体、冲割一体等多元化组合模式。



图87 3kW光纤激光与300A精细等离子复合切割机

（2）无人化切割与智能工厂（图 88）

国外高端品牌已从单一出售数控切割机，逐步转向提供无人化切割工厂的成套解决方案。钢板经行车吊入料台，后续的分料、排产、视觉套料、切割、打标、废料回收等工序，全部实现自动化管理。极高的产品可靠性和自动化控制，可达到 24 小时“日出日落”无人生产模式。



图88 智能切割工厂

(3) 智能切割云 MES 与工业物联网 (图 89)

智能切割云 MES 是基于工业物联网平台的切割制造执行系统。它通过与物联网切割设备互联，整合钢结构企业在物料、排产、切割全流程的切割生产数据。并根据实时采集的数据，为用户推送进度分析结果，为企业提高生产效率、把控生产进度、提高钢材利用率提供有效支持。

联网套装是切割机上网的成套解决方案。其包含的组件全部具备通信联网、数字化信息和数据采集功能。智能云MES作为数据处理中心，相当于建立了切割设备供应商与终端用户之间的直通网络，在实现智能和高效工作的同时，为用户创造出更高价值。



图89 切割物联网示意图

行业综合文萃

The background features a light teal gradient. A large, dark teal arrow shape is positioned on the right side, pointing downwards and to the right. The arrow is composed of several overlapping triangular and rectangular shapes, creating a sense of depth and movement.

IFWT2019焊接国际论坛

——焊接智造，信息融合

IFWT2019焊接国际论坛组委会

中国焊接领域的品牌学术活动之一“IFWT2019 焊接国际论坛”于6月24日在上海举行。论坛主题“焊接智造，信息融合”。来自国内外焊接界专家、学者、科研人员和大专院校师生200余人参加活动。

论坛由中国机械工程学会及其焊接分会、天津大学、大连理工大学主办；北京航空航天大学、天津市焊接研究所、中国民航大学、美国焊接学会协办；高端工程机械智能制造国家重点实验室、天津市现代连接技术重点实验室、辽宁省先进连接技术重点实验室、天津市设计学学会承办。支持媒体包括《焊接技术》杂志社和《机械设计》杂志社。天津大学罗震教授主持论坛开幕式（图1）。

中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明代表论坛主办单位致开幕辞（图2）。他说，焊接国际论坛是中国机械工程学会倾力打造的高水平学术交流平台，也是中国机械工程学会创建世界一流科技社团的品牌活动之一。多年来，与北京·埃森焊接展相伴相随、共生发展，从2002年开始举办“焊接国际论坛”，已持续17年。今天，来自全球各地从事焊接事业的专家、学者和企业界人士再次相聚，交流焊接制造的最新技术、成果和产业经验，探讨焊接制造的研究热点和发展趋势，对推动我国焊接制造技术的基础研究与产业化发展，具有十分重要的意义！

中国机械工程学会焊接学会副理事



图1 罗震教授主持开幕式



图2 陆大明秘书长致开幕辞

长兼秘书长何实研究员为论坛致辞（图3）。他肯定了大会的各项准备工作，对论坛未来的发展提出更高要求。希望各位致力于先进焊接制造技术研究的专家学者和参会代表们，深入交流，获得丰盛成果，并预祝大会圆满成功。



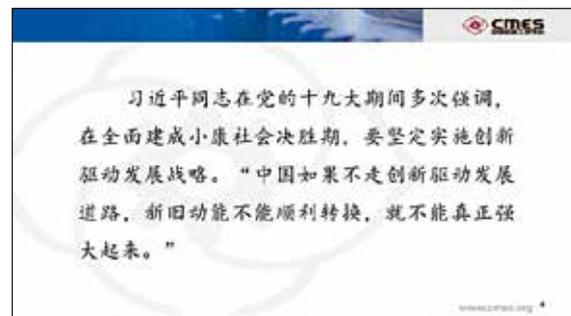
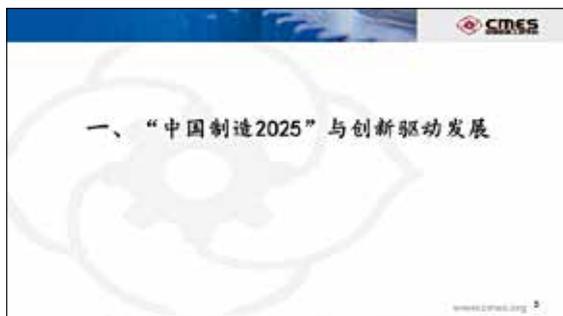
图3 何实研究员致辞

第一阶段报告由天津大学罗震教授主持

报告1：走向焊接制造高质量发展的新时代

中国机械工程学会监事长宋天虎研究员

宋天虎研究员从①“中国制造2025”与创新驱动发展；②制造业的“工匠精神”是推动高质量发展的关键；③制定高标准，推动高质量三个方面综合阐述了新时代对焊接制造高质量发展提出的要求。并进一步指出，我们正处于从“制造大国”向“制造强国”转型的时代，要充分认识到制造业核心竞争力的重要性，不断提升企业和行业的整体素质，才能实现科研成果的产业化、规模化，真正打造出高水准的产品，树立全球品牌。同时，以高标准促进高质量，要以质量变革为核心，一是着力提升要素投入质量；二是全面提升产品供给质量；三是稳步提高产业发展质量，从而促进我国包括焊接在内的制造业迈向全球价值链的中高端。



1.1 “创新驱动”的紧迫性

中国改革开放40年，在经济发展上取得了很大的成就，我国虽然已经是第一制造业大国，但是我们还处在价值链低端，按照微笑曲线理论，在生产制造环节所得到的利润率是整个产业链中最低的。

www.cmes.org 5

最新的统计数据表明：我国制造业的增加值率约为20%，远低于工业发达国家35%的水平；一些产业产能过剩，高端制造业和现代服务业发展滞后，存在较大的供给缺口。在高端制造业方面，很多重大装备和关键技术仍然依赖进口。集成电路产值不足全球7%，而市场需求却超过全球三分之一。

www.cmes.org 6

大中型工业企业研发费用不足主营业务收入的1%，远低于发达国家2.5%的平均水平。制造业企业亿元产值发明专利数平均约为0.4件，距《中国制造2025》提出的0.7件的目标要求仍有较大差距。

www.cmes.org 7

企业平均寿命、品牌数量明显落后于发达国家。随着劳动力短缺、环境约束增大、生产成本上升和国际竞争加剧等不利因素的显现，传统的发展方式已经无法支撑中国经济高速健康发展。目前有不少产业及其产品是靠拼规模、拼速度、拼要素投入出来的。

www.cmes.org 8

1.2 “芯片”带来的思考

最近一段时间，“芯片”成了各大媒体的热点，并引发了对“缺芯”的大讨论。在议论纷纷之中，对我们也许有以下两个方面的启发：



www.cmes.org 9

首先，让我们再次认识到：核心技术受制于人是我们最大的隐患。这个问题再一次表明：包括半导体工业、机器人、高端机床、高铁等等在内的核心科技才是一个国家的核心竞争力，从而进一步认识到我们多年来一直强调的“工业强基”是多么重要。

www.cmes.org 10

如果说，在发展底子太薄的情况下，还可以适度地以市场换技术；那么，当我们发展到如今这个阶段，光靠“拿来主义”就不行了。

www.cmes.org 11

有一个经典的例子，很长时间以来，中国作为一个制笔大国，有3000多家制笔企业，20余万从业人口，年产圆珠笔400多亿支，是当之无愧的制笔大国，却要海量进口圆珠笔笔尖的球珠。其症结并不在于球珠所用钢材的生产技术难以攻克，而是出于研发“性价比”和生产成本的考虑，企业没有动力去研发。这种选择在一定发展阶段还有一定合理性，但依赖外部技术的惰性思维一旦养成，则随时会有致命危险。

www.cmes.org 12

事实证明，如果核心部件都是舶来品，一台电脑就只能赚“一捆大葱的钱”，一个苹果手机中国内地仅有1.8%的利润。

www.cmes.org 13

然而，更重要的是，世界供应链在政治面前是脆弱的，一旦出现大国互搏，开放的大门往往会轰然关闭。作为一个制造大国，只有把“饭碗端在自己手上”，关键时刻才不会受制于人。在合适的时机抛开外部“拐杖”，铆足干劲抢占科技制高点，这是我们最务实的选择。或许在一段时间里，我们会经历阵痛，但这个困难期肯定要熬过去，并要熬过去，结局将是中国企业技术能力的再上台阶。

www.cmes.org 14

但是，我们也必须认识到：经济发展越是到了较高的阶段，遇到的矛盾和在国际环境上需要解决的问题就越多。作为后发国家，当前中国在科技创新领域总体上处于追赶者的状态。

无论何时，都要以市场为导向，通过开放合作，通过时间积累来厚植基础，然后才有可能在某个时刻实现突破。如脱离常识，总想着“弯道超车”恐怕是欲速而不达。

正如习近平总书记在“十九大”上明确指出的，未来中国进一步扩大对外开放的程度，通过采取大幅度放宽市场准入、创造更加有吸引力的投资环境、加强知识产权保护、主动扩大进口等措施，打开对外开放的新局面，通过“一带一路”建设，打造顺应经济全球化潮流的最广泛国际合作平台。
并向世界宣布，中国开放的大门不会关闭，只会越开越大。

“芯片”是受摩尔定律支配的全球竞争性产业，在中国高端芯片业的发展中，既有产业链综合技术积累不足的原因，也有更基础的教育环境甚至人文社会环境方面的原因。对于一个分工精密、高速迭代的高科技行业，自搞一套行不通，举国体制也行不通。市场经济的原则是“你中有我，我中有你”的生态互相依赖；在这样的技术与市场的国际竞争中，我们的综合实力还较薄弱，要走的路还很长。

中国的老话说：“单丝不成线，独木不成林”。因此，我们应该更多地加强开放与合作，只有这样我们才能构建真正的战略力量。
我们非常支持异军突起，但要避免建立封闭系统，要建立一个开放的体系。如果我们不向先进国家学习，我们就难以建设好美丽家园。

1.3 “集成创新”是制造业发展的重要驱动力

(以3D打印的发展为例)

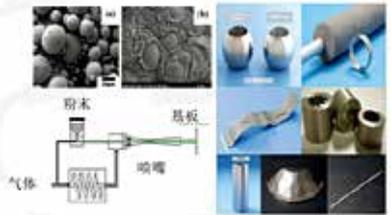
金属的增材制造可追溯到上世纪20年代



发明人拉尔夫·贝克在1925年发明了以金属熔敷方式的增材制造。

在当前各种新工艺和新技术的支持下进入了增材制造的新时代。

1.3.1 气喷粉成形新工艺与增材制造的集成



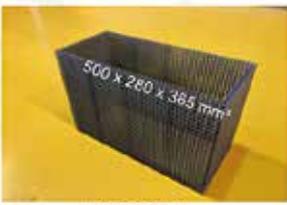
采用气喷粉成形的合金增材制造

1.3.2 激光新工艺与增材制造的集成



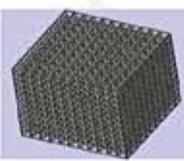
气缸本体的激光3D打印：
重量25千克，打印时间300小时，达到了气缸全部的技术性能指标。

1.3.3 选择性激光熔敷



铝镁合金网格

选择性激光熔敷



整体尺寸：1 m³
单元尺寸：2×2×2 mm³
单元数量：1.25 亿个单元组织

采用不锈钢、钛合金、铝合金、超高强度等金属材料

用不同增材制造方法加工的金属网络结构

晶格结构单元	晶格结构	材料	增材制造方法
Auretic 结构		Ti-6Al-4V	电子束增材
BCC结构		Ti-6Al-4V	激光选区增材
		Al-Si-12Mg	激光选区增材
BCCZ结构		Al-Si-12Mg	激光选区增材
		Ti-6Al-4V	电子束增材
Cross 1结构		Ti-6Al-4V	电子束增材
Cubic结构		Ti-6Al-4V	激光选区增材
		316L不锈钢	激光选区增材
		铜钨	激光选区增材
		Al-Si-12Mg	激光选区增材

www.csmc.org

1.3.4 选择性激光熔敷材料的搅拌摩擦焊

低 ————— 热输入 ————— 高

热输入与材料性能的关系

参考文献: Welding in the World (2018) 62: 676-682 ©CSMA 2018

中国已是世界第二大经济体、第一大工业国。我们要站在新的历史起点上，改革开放，坚持创新，在历史前进的逻辑中前进，在时代发展的潮流中发展，在人类对未来的期待中继续探索。

www.csmc.org 27

二、制造业的“工匠精神”是推动高质量发展的关键

www.csmc.org 28

党的十九大报告明确提出建设质量强国。实施质量强国战略、开展质量提升行动，是实现高质量发展的重要抓手。政府工作报告再次明确了质量强国的目标与路径：“**全面开展质量提升行动，推进与国际先进水平对标达标，弘扬工匠精神，来一场中国制造的品质革命。**”

www.csmc.org 29

2.1 焊接行业的“工匠精神”以“振康”的产品升级为例

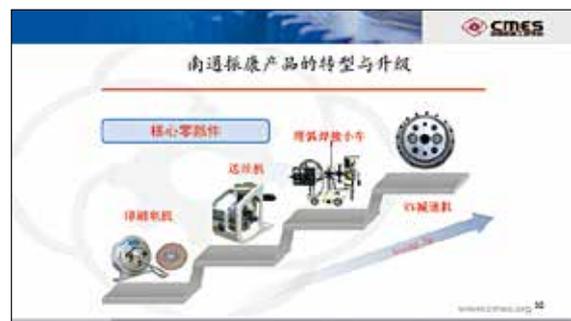
上世纪90年代初，国内焊接行业迎来CO₂焊接技术普及浪潮：比如“振康”开发出了具有自主知识产权、工作寿命超进口产品标准一倍的印制绕组伺服电机；完成10多个规格的CO₂送丝机产品开发，振康送丝机产品从1996年销售1000多台到现在年销售30万台，实现整个行业国产送丝机占有率达到市场90%以上。

产品升级

www.csmc.org 30

今天的振康是国内能够实现RV减速机“批量生产”的企业，且产品性能与日本进口产品相当。2017年振康RV减速机出货量达到1.5万台，拥有国内上百家机器人制造商客户。已实现了RV减速机的批量稳定生产，年产能近2万台，打破国外企业对市场的垄断。

www.csmc.org 31



在中国传统文化中，有“器物精神”之说，即“器以载道，物凝精神”，是说每一种器物寄寓着人们的精神追求，一切器物的背后都有一片精神的园地。

www.csmc.org 34

国内外企业发展的经验表明，只有夯实基础，不断提升企业和行业的整体素质，才能实现科研成果的产业化、规模化。其中特别要提倡十年磨一剑的专注精神，专注于对关键核心技术的研究。创新的压力，不仅来自竞争对手，更多的来自用户。

对于焊接这样的传统制造业，“工匠精神”对技术创新非常重要，“工匠”和“工匠精神”是企业核心竞争力存在的基础。

www.cmes.org 16

2.2 发扬“工匠”精神，打造焊接产业创新发展的环境

近年来，已出现了一批与焊接行业相关的创新联盟：

- ◆中国机器人产业联盟（中国机械工业联合会牵头）；
- ◆国家焊接产业技术创新战略联盟（上海通用重工集团有限公司等13家）；
- ◆广东省焊接产业技术创新联盟；
- ◆成都焊接装备协会暨产业联盟：。。。等等。

www.cmes.org 18

这些联盟，反映了企业“创新驱动发展”的正能量，面向行业关键共性技术，解决行业在专用设备、材料、工艺等专业化问题，对技术研发定位明确，以企业为主体、产学研深度融合的技术创新机制建设，提升科技成果转移转化的辐射带动能力，形成技术竞争合作、上下衔接发展的建设新格局。

www.cmes.org 17

2.3 我国焊接行业的转型升级与技术发展面临的三个关键问题

1、市场机制对创新者的利益保护力度不够。创新本身是一项风险事业，如果创新成功后还要冒着被山寨的巨大威胁，那就会造成企业投入研发新的产品和技术障碍，就没有企业家愿意做这样的赔本生意。

www.cmes.org 18

2、建立一个“优质优价”的市场环境。在过去十多年里，中国焊接制造业一直处于转型压力之中，其中一个主要原因是在价格竞争的主导下，谁的价格低谁更有利，而低成本往往意味着粗制滥造或者模仿，造成了很多制造业升级障碍。

www.cmes.org 19

3、对于技术与装备更新换代的准备还非常不足。我们很缺乏德国、日本那种接受过高等教育、经验丰富的、成熟的产业工人和技术工匠，研发能力不足，即使“机器换人”之后，又出现了新的“用工荒”。这是一个很大的短板。

www.cmes.org 19

技术创新对于工业界乃至整个社会的影响与改变从未像今天这样巨大，从几年前的信息化到当前的数字化，制造业正从传统的经验思维走向数字思维，大数据、互联网、人工智能以及智能机器等新技术的发展与应用，正把虚拟世界与实体世界联系在一起，一个数字时代（Data Time）已经到来并极为迅速地成长。

www.cmes.org 21

这对于多年徘徊在转型与重构十字路口的中国焊接制造行业既是一个生存挑战，又是一个前所未有的发展机遇，要靠我们焊接界的同仁们一起奋发努力，开拓创新，树立中国品牌，去迎接这一全球化的工业进程。

www.cmes.org 22

三、制定高标准，推动高质量

www.cmes.org 23

我国是世界上焊接材料第一生产和消耗大国，年总产量400万吨左右，已占世界总量的50%，但我国焊接材料长期以来一直存在常规产品批次稳定性欠佳、适用于自动化高效焊接材料比例较低、高性能自主化配套能力不强、绿色焊接材料研发及制备重视程度不高等问题。

www.cmes.org 24

3.1 背景

过去40年的高速增长，成功解决了“有没有”的问题。通过十八大以来的发展和调整，中国向高质量发展转变的条件已经基本具备，现在强调高质量发展，根本不在于解决“好不好”的问题。2018年是高质量发展的开启之年，焊接作为现代制造产业链的一个重要环节，应如何思考和回答。

www.cmes.org 15

我们的国家标准还比较欠缺，与国际标准还存在差距。要聚焦重点产品等领域，对企业设立更高要求的质量约束，形成规范成熟的质量标准体系。这些年，焊接协会、学会加快创建焊接行业制造质量新体系，鼓励和支持企业参与制定国家、行业标准，推进焊接行业质量的提升。

www.cmes.org 16

3.2 高质量从高标准开始

先进的焊接制造业不仅体现为产品技术上的先进，也体现为先进的生产模式和管理方式。新的标准将使我们在高的技术管理层面上实现焊接技术的高质量发展。

www.cmes.org 17

3.3 有高标准才有高质量

原机械电子工业部副部长，国家制造强国建设战略咨询委员会委员85岁高龄的陆燕荪先生在最近一次采访中强调了标准与质量的关系：

- ◆可靠性是机械产品最主要的质量特征之一，一切产品都要通过试验方可出厂。《中国制造2025》强调了产业质量技术基础的战略作用，而标准、计量、检测、试验、认证等及其主要技术支持体系。

www.cmes.org 18

我们现在要求产品符合国家标准，其实这是低标准，缺乏竞争力。我参加过很多国家标准、行业标准的制定，大家都讨价还价，最后标准的水平只能符合大多数的意见。有很多国家标准、行业标准，但事实上这些标准只是低水平的准入门槛。

www.cmes.org 19

在三峡工程中，我负责三峡工程机电设备的质量和三峡公司的制造质量标准，包括铸锻件质量标准，都远远高于同类国际标准，形成了我们自己的一套标准。

现在外国公司给三峡公司提供产品都要遵从这套标准，三峡公司后来把它列为采购标准，现在又上升为电器行业协会的协会标准。当前，《中国制造2025》的实施战略——强基工程就是要解决这个问题。

www.cmes.org 20

四、小结

www.cmes.org 21

1、我们正处于从“制造大国”向“制造强国”转型的时代，要充分认识制造业核心竞争力的重要性以及“工业强基”的重大意义。只有坚持改革开放，才能在国际竞争的环境下不断取得进步。

www.cmes.org 22

2、制造业的“工匠精神”是从大到强的关键环节。中国制造业急需培育和弘扬“工匠精神”，不断提升企业和行业的整体素质，才能实现科研成果的产业化、规模化，真正打造出高水准的产品，树立全球品牌。

www.cmes.org 23

3、以高标准促进高质量，是以质量变革为核心，一是着力提升要素投入质量；二是全面提升产品供给质量；三是稳步提高产业发展质量，从而促进我国包括焊接在内的制造业迈向全球价值链的中高端。

让中国的产品成为世界的品牌。

www.cmes.org 24



报告2：大型高性能金属构件的WAAM制造系统

英国克兰菲尔德大学丁佳洛资深研究员

电弧熔丝增材技术（WAAM）适用于制造大型高性能近净形状的工程部件，可有效节约制造成本，缩短制造周期，如图4、图5所示。

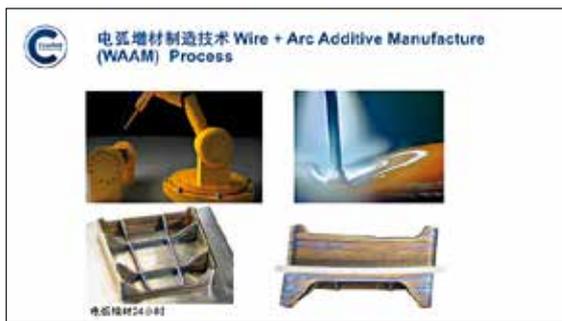


图4 电弧增材制造技术用于大型件的制造



图5 电弧增材制造技术制备的大型航空组件

经过十几年研究，克兰菲尔德大学研究团队成功开发出成熟的大型金属构件WAAM制造系统，主要包括增材过程的实时监测及控制系统、专用的路径及工艺规划软件等。用于包括钛合金、铝合金、钢（包括不锈钢、高强不锈钢、低碳钢和马氏体钢）、难熔稀有金属以及混合材料等多种金属材料的熔丝增材制造。基于研制的WAAM系统，研究团队已成功制造出诸多大型工程部件，部分产品即将进入工程验证及实际应用阶段（图6、图7）。并提取WAAM过程中的参量，用于检测质量，如图8所示。

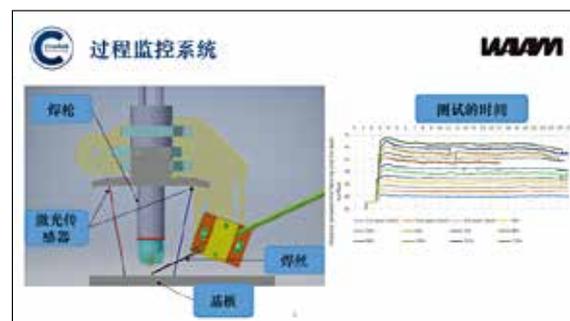


图6 电弧增材制造过程中的监控系统



图7 电弧增材制造过程监控装备

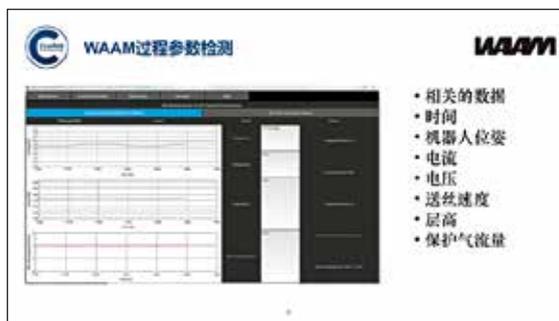


图8 电弧增材制造过程中的参量检测

团队采用过程参数检测系统，实现大型构件电弧增材制造，如图 9、图 10、图 11 所示。

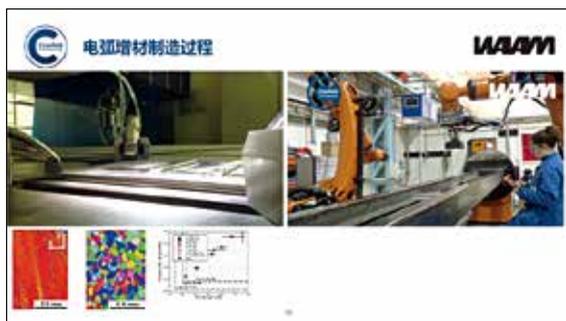


图9 WAAM制造过程

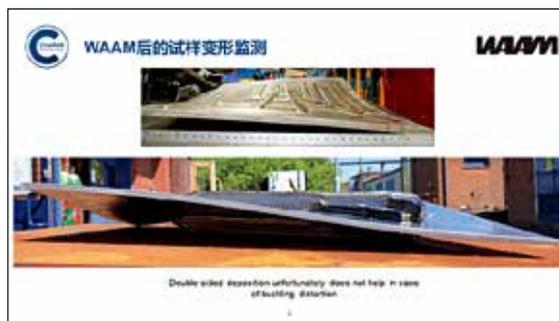


图10 WAAM过程基板的变形



图11 WAAM制备的典型航空用钛合金件

报告3：基于深度学习算法的等离子弧焊接穿孔/熔透状态预测

山东大学武传松教授

武传松教授介绍了穿孔等离子弧焊接工艺能够在不开坡口情况下对中厚板一次焊透，焊接效率较高。由于等离子弧作用于熔池形成一个贯穿工件厚度的小孔，

小孔的稳定性对工艺参数的变化较为敏感。实时检测穿孔状态是对等离子弧焊接过程有效控制的先决条件，如图 12 所示。

已有小孔状态间接检测方法以及从工件背面对小孔与熔池信息进行视觉检测的方法，但均存在各自缺点。本研究采用视觉传感方法从工件正面拍摄熔池

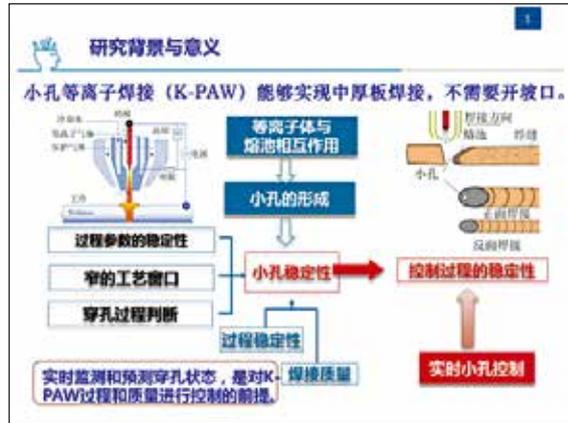


图12 穿孔等离子弧焊接过程监控的信号

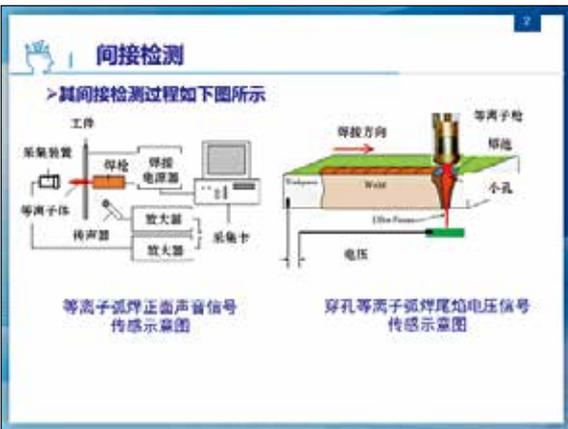
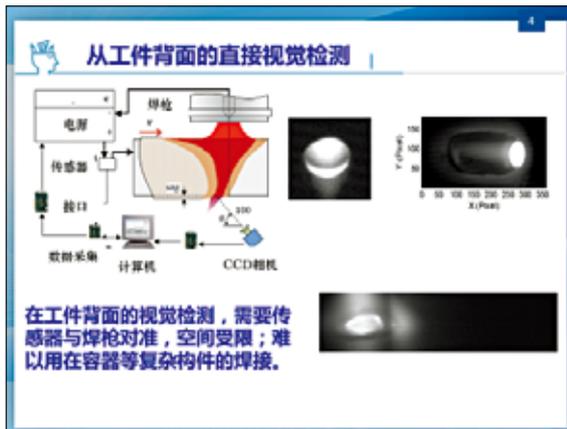


图13 穿孔等离子弧焊接过程监控的信号

与小孔入口的图像，提取不同工艺条件下正面熔池与小孔入口的动态变化信息，如图 13、图 14 所示。

研发了深度学习卷积神经网络模型，并进行充分训练，自动提取正面熔池图像中的特征信息，如图 15、图 16、图 17 所示。

从获取的正面熔池图像出发，利用深度学习算法预测熔池的穿孔状态与熔透情况，为等离子弧焊接穿孔状态的实时控制奠定了基础。得到以下三点重要结论，如图 18 所示。

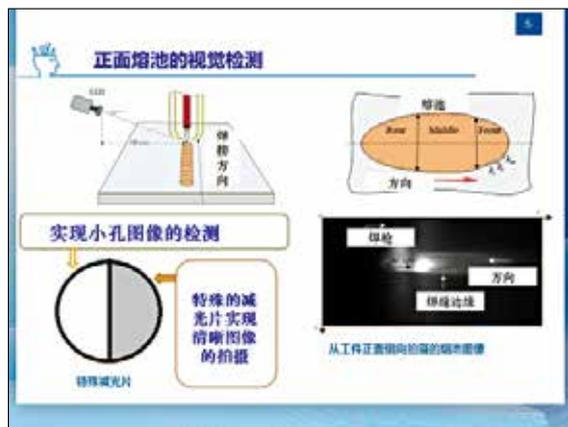


图14 正面熔池的视觉检测原理

得到以下三点重要结论，如图 18 所示。

Welding experiments 焊接实验用到的工艺参数

连续电流焊接工艺参数

Test Case No.	Welding current (A)	Welding speed (mm/min)	Plasma gas flow rate (L/min)	Arc voltage (V)
3-1	150	120	2.6	31.07
3-2	125	130	2.6	30.06
3-3	125-130-115-140-145-130	120	2.6	29.12-33.8
3-4	125	90-100-110-120-130	2.6	35.1-35.66
3-5	125	120	2.4-2.6-2.8-3.0-3.2	29.79-30.69
3-6	125	0	2.6	30.05

方波脉冲电流焊接工艺参数

Test case No.	Peak current (A)	Rise current (A)	Average current (A)	Welding speed (mm/min)	Plasma gas flow rate (L/min)
3-7	150	60	115	120	2.6
3-8	160	100	115	120	2.6

不锈钢板试样，厚度6 mm

图15 焊接实验用的工艺参数

AlphaZero: 在除了游戏规则外没有任何知识查表的情况下, 通过“试错”的机器学习方式, 进行强化学习, 不断调整神经网络的参数, 如此往复循环, 每过一轮, 系统的表现就提高了一点点, 神经网络也越来越准确。分别花39小时、12小时和13天, 掌握了国际象棋、日本将棋和围棋。

与此同时, 人工智能依然是个“黑箱子”, 可解释性比较差。处理特定任务究竟需要几层神经网络才能实现最佳, 也没有合理解释, 只能依靠经验和实验大量地测试。

将正面熔池图像为输入, 模型自动学习与识别, 判断实际的穿孔与熔透情况。

1. 将熔池图像组为输入;
2. 通过熔池边缘的提取。

图16 深度学习算法模型

预测结果 恒定电流条件下的穿孔状态预测

焊接条件: (130 A, 130 mm/min)

预测的精度:100%

Serial	Input	Output	Actual	Result
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21

预测精度达到100%, 准确率100%

图17 深度学习模型对于结果的预测测试

Conclusions 结论

(1) A special filter was designed and the whole weld pool images were captured from top side by a single CCD camera. 根据等离子弧焊接区域的光强梯度分布特征, 设计了特殊滤光片及滤光方案, 从侧向(垂直于焊接方向)利用单CCD拍摄出了清晰的正面熔池金属图像。

(2) According to comparative analysis of the topside weld pool images and the backside keyhole images, the reflected arc and weld pool surface profiles present different features in stages of blind keyhole, partial keyhole expanding, open keyhole and keyhole closure, which can be used to judge the keyhole status. 对同步视觉检测的正面熔池和小孔出口图像进行对比分析, 发现在穿孔状态、小孔闭合状态、小孔形成与长大的过程中, 熔池反射电弧光和熔池图像表现出不同的形态, 包含能够判断穿孔状态的特征信息。

(3) Deep learning convolution neural network with input of topside weld pool images was developed to predict the keyhole status and weld penetration. The model can automatically extract the feature information in weld pool images, and the prediction accuracy is over 90%. 采用深度学习卷积神经网络算法建立了以侧向正面熔池图像为输入、穿孔及熔透状态为输出的预测模型, 该模型能够自动提取熔池图像中的特征信息, 识别正确率达到90%以上。

图18 深度学习模型的小孔过程检测结论

第二阶段报告由大连理工大学宋刚教授主持
报告4：多工艺融合增材制造技术的研究进展

北京工业大学机械工程与应用电子学院院长陈树君教授

陈树君教授指出, 打破传统的冷热加工分割对立的制造模式, 将增材制造和等减材制造有机结合, 如图 19、图 20 所示。

增材制造和等减材制造可以材料高效丝材熔积实现增量成形(增材), 成形过程融入在线控温、锤击振动等手段调控组织和应力状态(等材), 再同步或交替使用精密切削保证尺寸精度(减材), 形成多工艺过程同步或交替协作的融合制造模式, 如图 21 所示。

同时, 在增材制造和等减材制造过程中, 需要对该过程中的控形控性进行

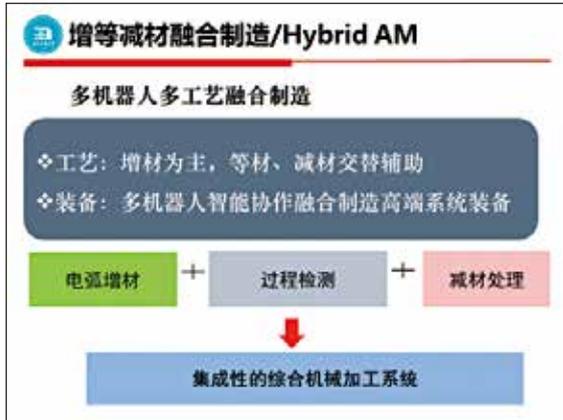


图19 增材+等减材有机结合过程



图20 多工艺融和制造的流程



图21 实际的增材制造和等减材制造过程

研究。如对温度场的调控实现电致冷却，外部力场调控等，如图 22、图 23、图 24 所示。

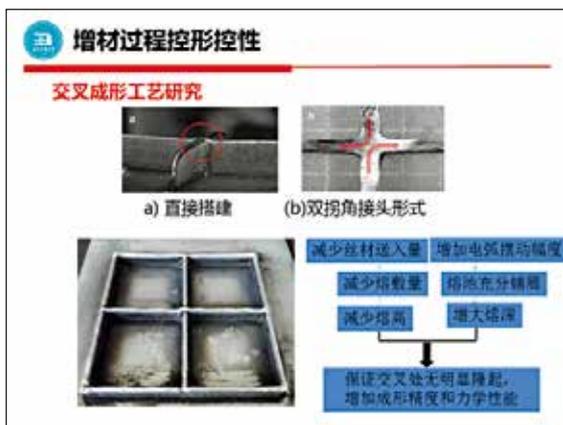


图22 增材制造和等减材制造过程的交叉成形工艺研究

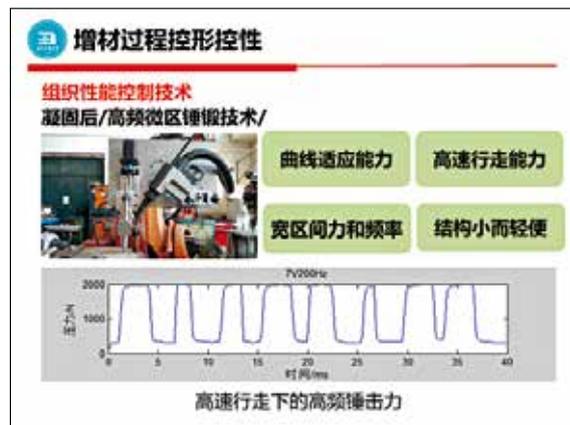


图23 增材制造和等减材制造过程的组织性能控制研究

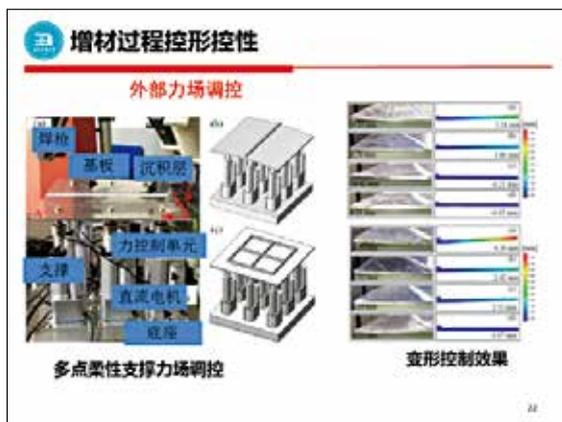


图24 增材制造和等减材制造过程的外部力场调控研究

开创一种全新的面向对象的增等减材复合冷热加工一体化的融合制造理念，将是电弧熔丝增材制造的一个重要发展方向，如图 25、图 26 所示。

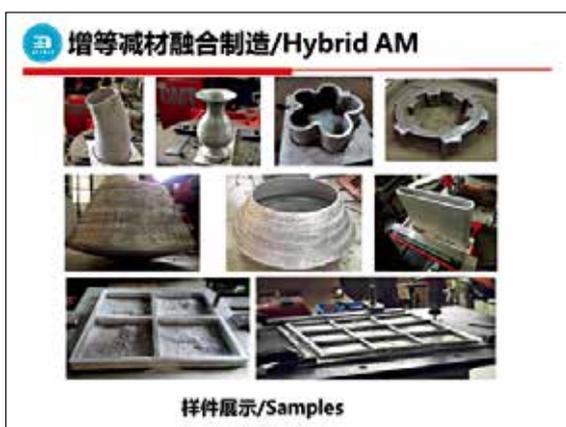


图25 增材制造和等减材制造得到的样件



图26 增材制造和等减材制造的发展方向

报告5：高质高效激光表面改性技术及其工业应用

浙江工业大学机械工程学院院长、激光先进制造研究院院长姚建华教授，见图27

报告介绍了在中国制造 2025 的背景下，国家对制造业提出新的要求。主要包括：①大规模个性化的定制；高精度、高效率和高复杂程度；②超高性能要求；③先进材料、先进结构和先进功



图27 姚建华教授

能件、智能化等。这些新要求的提出，使制造业的标准得到提升，产品发生由量到质的转变。

激光复合制造的基金项目和复合能场（动能场、电磁、超声能场和热场等）被引 SCI 论文逐年上升。充分说明高质高效激光技术已经成为学术界研究的热点领域。

在前期单一激光改性技术多年研究的基础上，通过耦合与控制方法，开发出高质高效激光表面改性“能场复合表面改性”技术，达到单一能场无法获得的效果，实现 1+1>2 的效果。

姚建华教授展示了团队具有自主知识产权的多能场复合高质、高效激光表面改性系列技术及专用装备：①新符合工艺方法（包括增材制造过程的复合方法、微纳级别的复合方法）；②高性能及经济性（包括效率、质量控制和性价比）；③复合制造装备及系统，包括专用系列化复合设备、关键元器件和集成技术。

同时，对实验室产品走向产业化提出需要考虑的标准：①功能、性能、质量、安全性；②精度、速度、产量、耗能、成本；③灵活性、操作复杂程度、可靠性与维护性；④环境和资源、设备占地面积等。从这四个方面评价和考虑技术、装备是否具备产业化要求。

报告6：航天构件焊缝熔核尺寸弱磁检测技术应用

航天科工集团第四研究院湖北三江航天江北机械工程有限公司副总工艺师
王晓勇研究员

我国航天技术不断发展，对航天器提出更新、更高的要求，如图 28 所示。

在质量检测和力学性能检测的基础上，针对航天构件焊缝提出熔核尺寸的检测新需求。通过弱磁检测技术对焊缝熔核尺寸进行大量工程化检测应用试验和数据积累，如图 29、图 30 所示。

该方法可有效检测焊缝的熔深等熔核尺寸，确认弱磁检测技术可对航天构件焊缝熔深、熔宽和熔高等尺寸进行检测评估，如图 31、图 32 所示。

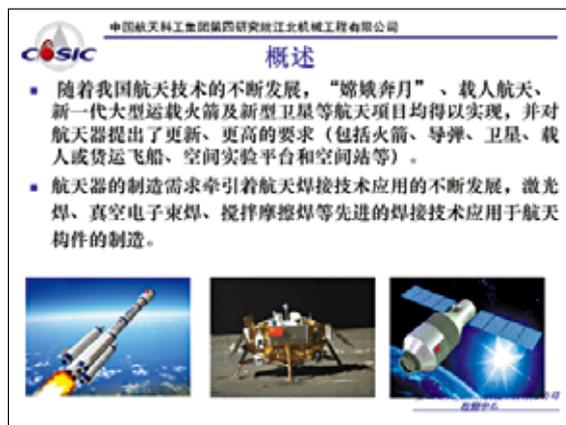


图28 我国航空航天对焊接技术的需求

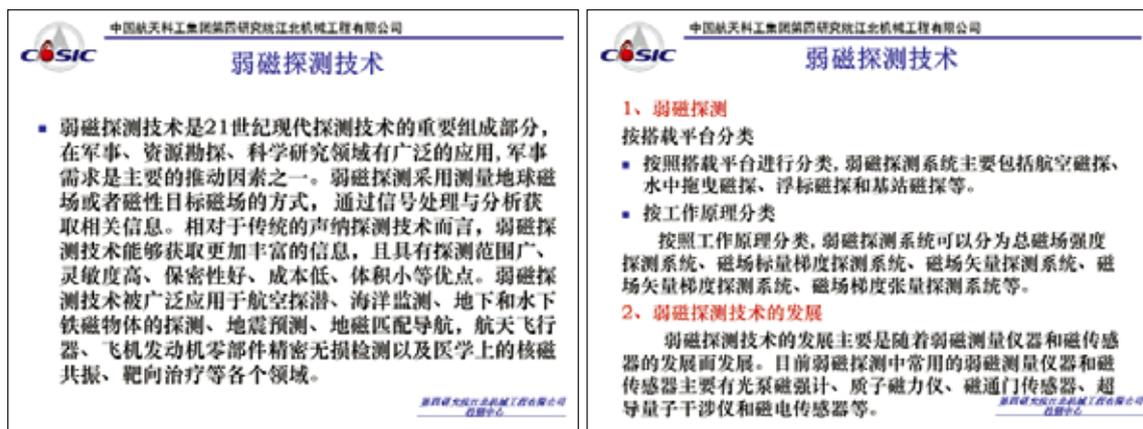


图29 弱磁探测技术的应用

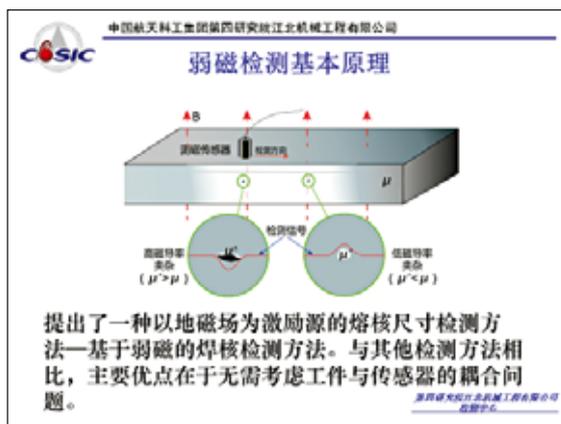


图30 弱磁探测的基本原理



图31 弱磁探测技术应用于熔核尺寸检测



图32 弱磁探测技术应用于熔核尺寸检测的优势

弱磁探测技术为航天构件焊接工艺优化和质量控制提供了一种新的测试手段，从而确保航天构件及航天器的使用安全性和可靠性，如图 33 所示。



图33 弱磁探测技术在航天构件熔深检测中的应用

第三阶段报告由中国民航大学纪朝辉教授主持

报告7 : In Welding Automation

Control including Vision

Systems

埃迈特智能装备(天津)有限公司

经理Mr.Don Schwemmer ,见图34

Mr.Don Schwemme 经理介绍了该公司的焊接集成装备与传感器一体化架构和设备组成,以及焊接视频图像采集及其自动化系统的特色性能,并展示该



图34 Mr.Don Schwemmer经理

系统的多个应用案例。埃迈特智能装备公司开发的视觉系统已经服务于实际焊接生产,包括电弧传感的相机、高速处理器和控制软件。

他指出,高水平的焊接软硬件设备,主要从以下几个方面评价其性能:

①焊接自动化解决方案;②焊接实时控制软硬件功能;③焊接专业图形界面功能;④研发焊接电源、焊枪和辅助装备等。视觉技术的目标是服务于实际焊接生产的需要,包括:①焊接前检验、焊接过程测量,以及接头几何尺寸检测;②检测焊缝中的气孔、裂纹,评价接头机械性能等。

埃迈特已将该检测系统应用于MAG焊接过程中的焊缝跟踪、自适应的拍照控制,并实现电弧熔池的外观参数检测,包括:焊缝位置、电弧信息、焊丝速度、熔池的尺寸和形状,以及焊接过程中电流、电压和送丝速度等。公司开发的视觉

系统可以根据这些信息，实现焊接过程全位置检测和控制。

报告8：工程机械大型结构件智能焊接关键共性技术及典型应用

徐州工程机械集团有限公司科技质量部部长闫丽娟研究员

闫丽娟研究员首先介绍了大型构件焊接的现状，如图 35 所示。并讲解集团对工程机械大型结构件智能焊接装备研制、激光 -MAG 复合焊接技术、焊接质量在线监控技术研究，如图 36 所示。



图35 工程机械大型结构件焊接过程中存在的主要问题



图36 徐工集团的焊接关键技术

徐工集团通过长期科研投入，形成高强度厚钢板的焊缝设计规范、焊接工艺参数库、焊接评定专家数据库、焊接操作规范，展现高端装备制造业焊接技术升级改造成就，如图 37、图 38 所示。并展望大型工程机械大型构件焊接技术发展，如图 39 所示。



图37 徐工集团的柔性自动化焊接装备



图38 徐工集团的在线监测及质量控制技术

报告9：焊接送丝方案的合理化设计及优化

ELCO Enterprises, Inc.上海代表处代表赵玲女士

ELCO 多年来专注于焊接配件的研发与生产，以及帮助客户实现心目中的焊接方案，如图 40、图 41、图 42 所示。并详细介绍机器人焊接过程中，导气管的

布局和实际应用情况，如图 43、图 44、图 45、图 46、图 47 所示。

图39 焊接技术的总结与展望

图40 送丝的设计理念关注点

图41 气体辅助装置在导丝管中的应用

图42 典型送丝机构设计

图43 机器人辅助送丝装置



图44 工厂中的实际应用案例



图45 干冰清理设备



图46 成套送丝装备

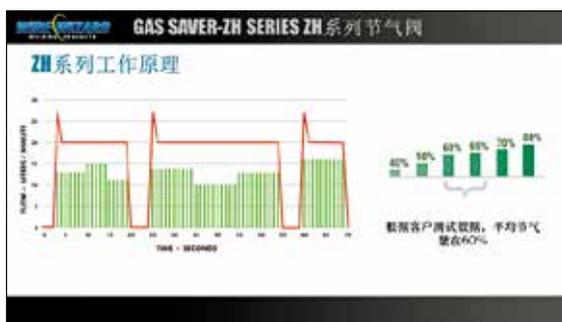


图47 节气阀节省气体的数据

第四阶段报告由北京航空航天大学从保强教授主持

报告10：特种焊接机器人及其典型行业应用

北京石油化工学院机械工程学院副院长薛龙教授

随着核电行业的不断发展和公众对核安全事故的高度重视，利用先进的机器人技术解决核电站特殊服役环境下的日常检测、退役核设施的封堵、核电行业核心部件的焊接以及核电站的建设等已成为全球机器人发展的热点。

报告介绍了核电导流环异形曲面堆焊工艺及机器人技术，如图 48 所示。薛龙

汽轮机导流环堆焊机器人技术需求分析

- 汽轮机导流环堆焊特点
 - 导流环内部需要堆焊 6mm厚的不锈钢防腐层
 - 由于导流环堆焊断面形状复杂，之前国内外导流环堆焊均采用手工焊
 - 手工堆焊的焊接质量控制难度大，返修率高，焊接劳动强度大，焊接生产效率低，是制约汽轮机生产的关键问题之一

导流环产品

导流环堆焊截面 导流环手工堆焊

图48 核电导流环异形曲面堆焊工艺需求

乏池不锈钢焊接机器人关键技术及特点

解决9个关键技术

- 采用真空吸盘+防滑导向带的柔性轨道
- 快速导轨拼接机构-多条导轨快速组装技术
- 自动填丝系统的精密焊丝三维调节机构
- 远距离车载微型送丝机构
- 高灵敏的稳定的弧长自动跟踪技术
- 焊接参数的优化管理技术—工艺参数管理系统
- 意外断电的防止脱落技术—UPS电源保障系统工作安全
- 数字化遥控操作控制技术
- 适于现场作业的轻量化/便携式的焊接机器人系统

图49 不锈钢机器人焊接关键技术

教授重点讲解不锈钢焊接机器人焊接关键技术（图 49）、控制棒驱动机构 Ω 密封焊缝自动堆焊技术（图 50）、堆内构件在役维修水下自动焊接技术（图 51、图 52、图 53、图 54、图 55）等核电发电装备智能制造技术、核电站建设机器人技

Ω密封焊缝堆焊维修专用焊接设备难点分析

研制控制棒驱动机构Ω密封焊缝堆焊维修专用焊接设备实现密封焊缝的对焊的主要难点：

- 空间结构狭小，设备需具备优秀的可达性；
- 需要远距离遥控操作设备进行焊接；
- 设备需轻量化，便于远距离吊装安装和焊接作业；
- 待焊坡口结构复杂，且设备需具备电弧跟踪功能；
- 焊接作业时可视化，需具备摄像观测系统。

管座结构

图50 密封焊缝自动堆焊技术

堆内构件在役维修水下焊接系统与装置

水下焊接试验系统与原理样机

核电水下焊接实验系统

核电水下焊接原理样机

水下焊接电控摄像系统

图51 水下焊接系统

堆内构件在役维修水下焊接系统与装置

水下焊接试验

水下焊接视频监控

电压/电流密度分布叠加图
水下焊接电流电压波形

图52 水下焊接系统的信号采集系统

水下局部干法焊接机器人

- 2012年成功立项北京市科委重大科技专项“水下焊接及切割智能装备工程样机研制”
- “磁轮式水下局部干式维修机器人”基于无导轨全位置焊接机器人技术，它不同于常规水下干式舱维修系统，主要作业形式包括水下切割、水下焊接、水下检测等功能
- 具有体积小，灵活方便，造价低等特点，非常适用于水下钢结构（如舰艇船体）的探测、表面打磨修补等作业任务

图53 水下焊接机器人的应用

水下局部干法焊接机器人

水下焊接各种压力下焊缝成型

水下局部干法焊接机器人工程样机

水下切割试件

图54 水下焊接机器人

水下局部干法焊接机器人

图55 水下焊接机器人样机

术以及核电行业在役检测技术等机器人技术在核电行业的应用现状，提出了未来我国核电行业机器人发展的思路。

报告11：熊谷管道全自动焊机的研发与应用

成都熊谷加世电器有限公司总经理熊健

熊谷管道全自动焊机广泛应用于石油长输管道行业，承担了多个大型项目的焊接任务，如图 56 所示。

熊谷管道全自动焊机的研发历程如图 57 所示。根据我国大口径石油天然气长输管线钢的发展，在研发中攻克多项关键技术，焊机在管道施工现场的工程得到广泛应用。

熊健总经理特别介绍“基于 GPS 卫星定位和移动互联网的管道全自动焊接数据管理云平台”，能使管道工程的相关方准确跟踪工程焊接质量，并能远程实时管理，为智慧管道工程提供有力支撑，如图 58 所示。管道全自动焊接系统见图 59。



长输管道焊接现状			
工程名称	干线管径×壁厚 (mm) Mainline dia. X WT	材质	焊接方法
西二线	Φ1219×18.4~33 Φ1219×15.3~ 26.4	X80	半自动焊+手工焊+极少量自动焊
西三线	Φ1219×18.4 Φ1219×15.3	X80	半自动焊+手工焊+极少量自动焊
中缅线(双线)	Φ1016×12.8 Φ1016×15.3	X80	半自动
	Φ813、219	X70	手工焊
中贵联络线	Φ1016×12.8~27	X80	半自动焊+手工焊+极少量自动焊
陕京四线	Φ1219×18.4~22	X80	自动焊>50%+半自动焊FCAW-SS
漠大线原油二线	Φ813×14	X65	自动焊>50%+半自动焊FCAW-SS
中俄东线	Φ1422×22~26.5	X80	自动焊100%

图56 长输管道焊接现状



图57 成都熊谷加世电器有限公司的管道研发过程

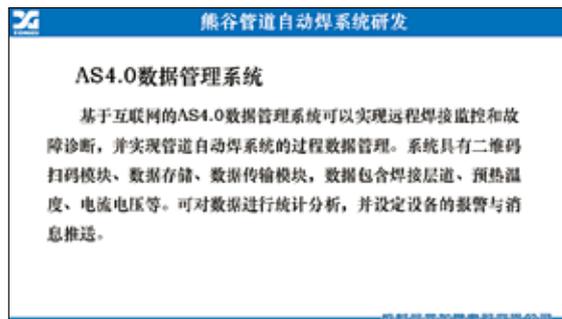


图58 管道全自动焊接数据管理云平台



图59 管道全自动焊接系统

报告12：智能机器人焊接制造技术及应用

上海交通大学材料科学与工程学院副院长李铸国教授

李铸国教授在报告中强调：针对复杂焊接工况，研发了自适应性强、工艺窗口宽、过程稳定的高效焊接技术。基于机器视觉信息对焊接环境自动识别、导引跟踪焊缝、焊接熔池动态特征智能控制等过程控制参数的关联，研发机器人智能焊接关键技术，包括初始焊位自主识别与导引、焊缝识别与跟踪、轨迹自主规划、修正和跟踪、焊接熔池视觉传感与特征提取、自适应工艺专家系统指导、焊接参数集群监控等系统；集成创新焊接工艺和智能焊接技术，研制了机器人智能焊接

装备，并在船舶、核电、航空航天、汽车等领域实现工程应用（图 60、图 61、图 62、图 63、图 64、图 65、图 66、图 67）。

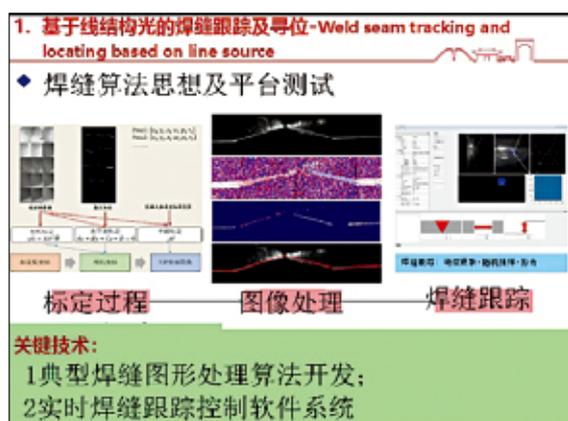


图60 基于线结构光的焊缝跟踪

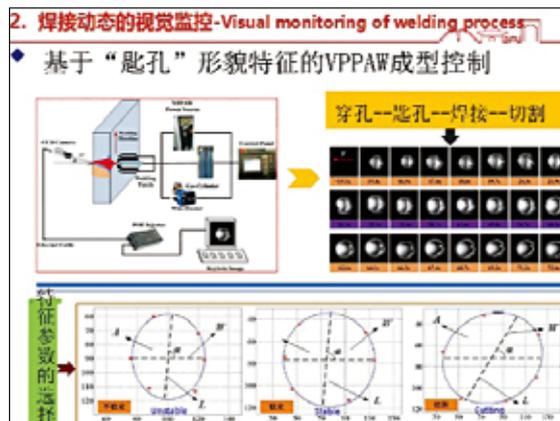


图61 焊接动态的视觉监控



图62 焊缝自适应填充系统

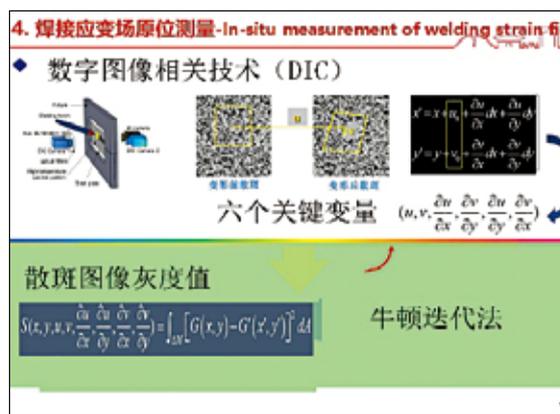


图63 焊接变形场原位测量

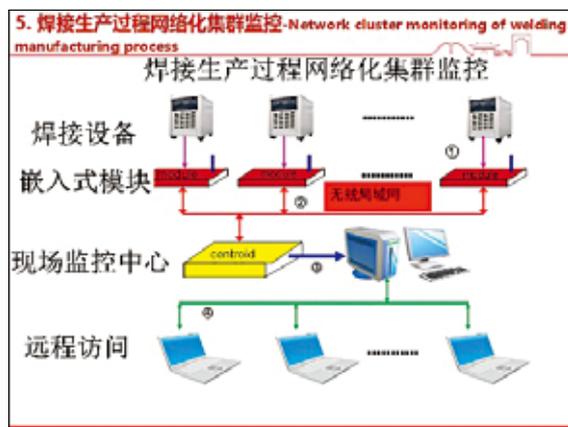


图64 焊接生产过程检测



图65 焊接生产过程网络化集群控制



图66 自主焊接机器人

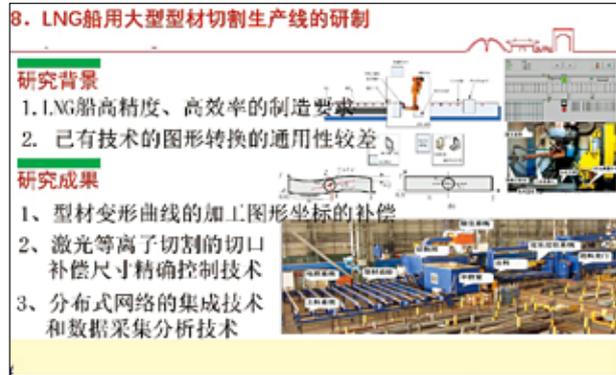


图67 LNG船用大型型材切割生产线

开创于2002年的焊接国际论坛（IFWT）已连续举办18届。每年一度的IFWT成为推动先进焊接理念、技术及装备与工业应用相融合的国际化交流平台。IFWT2020将继续集中报告“北京·埃森焊接与切割展览会”中的前沿技术和创新产品。IFWT焊接国际论坛将一如既往紧跟产业技术创新发展，构建焊接界同仁交流心得、探讨焊接新技术发展方向的国内外知名平台。

IFWT2020“北京·埃森焊接与切割展览会”期待焊接同仁再聚首！交流心得、探求新知，IFWT2020再聚！

2019' 中国焊接产业论坛 ——高效焊接技术及应用

陈树君 张亮 张轲

智能制造是《中国制造 2025》战略深入部署和实施的核心方向。随着中国制造 2025 战略逐步实施,以新一代信息技术与制造业深度融合为主线的智能制造技术促进了制造业装备升级、产业转型,极大提升了企业的核心竞争力。焊接技术亦得到快速发展。数字技术、人工智能技术、网络技术的应用推动了智能焊接技术装备的不断涌现。工业 4.0 促进了智能装备的发展,尤其以机器人自动化焊接技术的发展尤为突出。

未来的中国制造业面临更加复杂、更有挑战性、竞争更激烈的市场。充分利用蓬勃发展的互联网、物联网资源和工业数字化智能化控制技术,成为我国焊接产业技术进步和企业升级转型的主要方向。我国焊接产业集中涌现出一大批以焊接机器人、智能焊接和先进焊接技术等为代表的高效焊接技术,为我国航空航天、石油化工、高铁船舶制造等国家重大装备项目的实施做出巨大贡献。智能焊接技术对推动中国制造向中国创造转变,中国速度向中国质量转变,中国产品向中国品牌转变,建设质量强国、迈向质量时代意义重大而深远。

2019' 中国焊接产业论坛结合焊接智能制造这一新的发展趋势在上海召开(图 1)。特别邀请国内外知名焊接专家做专题报告,旨在进一步推广焊接先进技术,助力焊接产业升级,共铸焊接强国之梦。论坛围绕“高效焊接技术及应用”这一主题,汇集 14 篇专题报告。

出席会议的嘉宾:大会组委会荣誉主席中国机械工程学会监事长宋天虎;大会副主席中国焊接协会副会长兼秘书长/哈尔滨焊接研究院有限公司总经理李连胜;协办单位代表:美国焊接学会亚太区总经理温惠娟,新加坡焊接学会副理事长孙政;大会组织委员会成员:中国焊接协会副会长/中国石油天然气管道科学研究院党委书记王鲁君、中国焊接协会副会长/天津世纪五矿贸易公司董事长冯美娟、中国焊接协会副会长/北京工业大学机电学院智能成型装备与系统研究所



图1 论坛现场

所长卢振洋、中国焊接协会副会长 / 太原重工股份有限公司总工程师陈清阳、中国焊接协会副会长 / 江苏博大数控成套设备有限公司董事长谢伟新；大会执行委员会副主席 / 中国焊接协会副秘书长吴九澎；中国焊接协会教育与培训委员会副理事长兼秘书长陈树君；中国焊接协会焊接设备分会副秘书长 / 国家电焊机检测中心主任杨庆轩、中国焊接协会焊接设备分会副秘书长刘斌、上海库茂机器人焊接有限公司董事长俞俊承、深圳市麦格米特焊接技术有限公司产品总监何志军。来自国内外焊接高校、科研院所、焊接企业和制造企业的焊接专家、工程技术人员、行业领导和企业家等 280 多位代表参加会议。

中国焊接协会副会长李连胜、卢振洋、柳铮、陈清阳等焊接专家联合主持专题技术报告。

(1) 中国机械工程学会监事长宋天虎做主旨报告“走向焊接制造高质量发展的新时代”(图2)，前瞻性地指导和介绍焊接行业的发展趋势由“制造大国”向“制造强国”转型。报告指出，我国焊接制造在发展底子太薄的情况下，可适度以市场换技术。发展到今天，仅靠“拿来主义”已经不行。需在合适时机抛开“拐杖”，铆足干劲抢占科技制高点。报告强调，解决行业专用设备、材料、工艺等专业化问题，应对技术研发定位明确，以企业为主体、产学研深度融合的技术创新机制建设，提升科技成果转移转化的辐射带动能力，形成技术竞争合作、上下衔接发展的新格局。要充分认识制造业核心竞争力的重要性；全面开展质量提升行动，

推进与国际先进水平对标达标,弘扬“工匠精神”,来一场中国制造的品质革命。以高标准促进高质量,是以质量变革为核心:一是着力提升要素投入质量;二是全面提升产品供给质量;三是稳步提高产业发展质量,从而促进我国包括焊接在内的制造业迈向全球价值链的中高端,让中国产品成为世界品牌。



图2 宋天虎监事长做论坛主旨报告

(2)南京理工大学王克鸿教授(图3)提出制造车间数字化技术,将制造工艺、数字化、智能控制以及机器人等技术相结合,是传统装备制造企业信息化建设的重要内容。以车间数字化为基础,向下拓展是建设智能化加工单元,向上拓展是建设智慧型企业。焊装车间级数字化技术结合焊装工艺、数字化、智能控制以及机器人等技术,涵盖焊前



图3 王克鸿教授

准备、焊接与焊后质量检测三大环节。其核心理念是焊接装备单元智能化、技术与管理网络化、工艺设计专家化、任务下达自动化、生产过程模拟与可视化、施焊工艺与质量可感知化、产品质量全程可追溯化、焊缝质量准确评价化、焊接控制智能化,适用于装焊、铆焊、总装、零部件等以焊接为主要工艺的车间及工段。

报告提出一套针对传统焊接加工车间生产全流程的数字化解决方案。通过建立车间级物联网络,开发“焊接工艺专家系统”“焊接计划排产与派工”“焊接工艺规范自动下达”“焊接过程在线实时传感传输与质量评价”“焊接生产信息管理”与“企业已有ERP、PDM、MES等数字化管控系统互联互通”六大核心模块,打通焊装工艺设计、工艺执行过程与质量检测等产品生产关键环节,实现技术与管理网络化、工艺设计专家化、任务下达自动化、施焊工艺可感知化、产品质量全程可追溯化与焊缝质量准确评价化,提升产品焊接质量、稳定性与可靠性,减

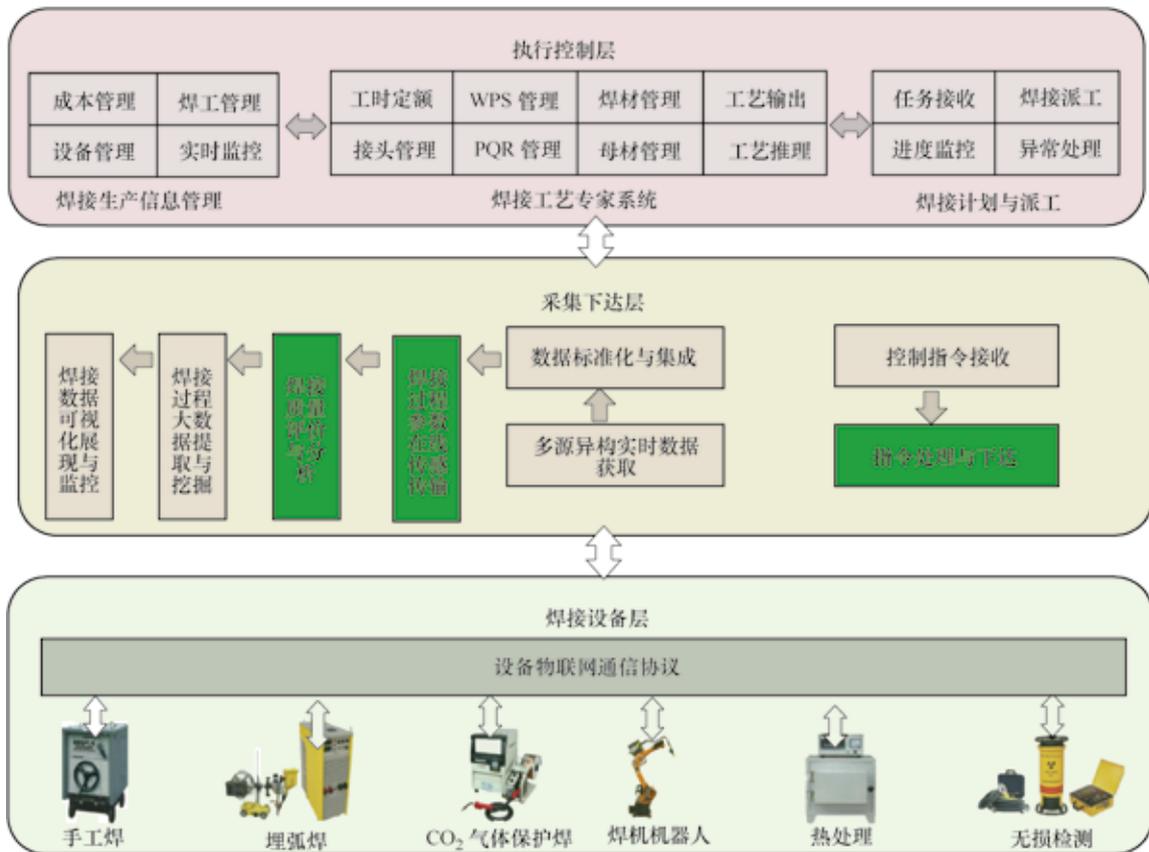


图4 数字化焊接车间层次架构

少材料与能源的无价值消耗，降低生产成本，提升企业整体效能，推升企业管理向数字化与智慧化方向发展。图4为数字化焊接车间层次架构。

(3) 广东省焊接技术研究所新材料研发中心张宇鹏主任(图5)介绍“中大厚度钛合金高效焊接技术发展现状”。



图5 张宇鹏主任

钛合金应用领域广泛，并在薄壁精密钛

合金构件的焊接制造技术日益成熟。激光焊、TIG焊、等离子弧焊、电子束焊等工艺均有应用。为进一步提升效率，人们尝试用穿孔型TIG焊、潜弧焊、激光焊和复合焊接等新技术。钛合金大型化的应用趋势要求解决中厚钛合金焊接难题。

中大厚度的钛合金构件(20mm以上)焊接要求高、技术难度大。目前，电子束焊、

窄间隙 TIG 焊等方法均实现了成功应用，得到高质量接头。然而，前者受到真空条件约束，成本高昂；后者则效率相对较低。钛合金的进一步推广应用仍需攻克中大厚度钛合金结构焊接的关键技术问题。同时，需要加强焊接自动化、焊接质量检测与评估等研发工作。图 6 为磁控窄间隙示意图与原理图。

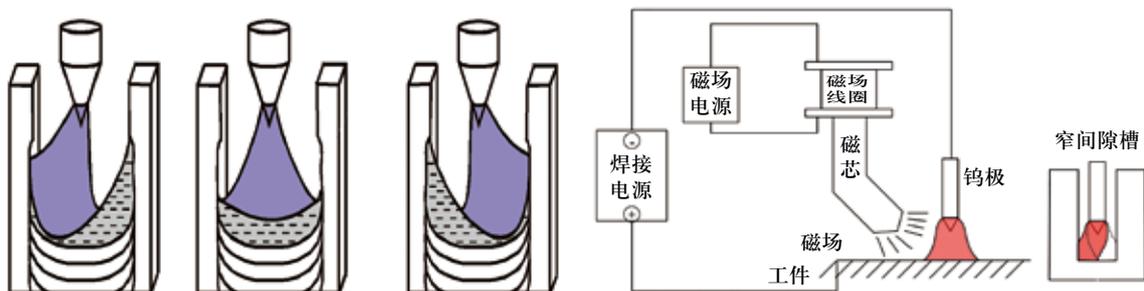


图6 磁控窄间隙示意图与原理图

报告指出，电子束焊接方法针对中大厚度钛合金焊接具有显著优势。电子束焊不仅适合材料广泛，而且可焊厚度范围宽。尤其适合活性较高的金属，可焊接工件的厚度达 200mm 以上。通过电子束焊接接头分析发现，不仅降低厚度和横向的晶粒尺寸、相成分、组织结构、力学等方面的差异，而且显著降低焊缝和热影响区的残余应力。报告介绍了磁控钨极氩弧焊 TIG 窄间隙连接技术在钛合金焊接应用的优势，磁控电弧窄间隙焊炬能够承载大电流，焊接速度快，焊接效率高，热输入却较低；磁控电弧焊接能够细化晶粒，焊缝组织更加均匀化，网篮状组织较多，有利于性能提升。

(4) 上海交通大学焊接与激光制造研究所华学明所长(图7)解读智能化焊接技术的现状与发展趋势。智能化焊接技术是制造领域的重要核心技术之一，数字技术、人工智能技术、网络技术、机器人技术、大数据、机器视觉、智能工厂等技术在焊接领域的应用推动了智能焊接及智能装备的发展。智能化、网络化、数字化、信息化是焊接技术的发展方向，高效、高质、环保、绿色是焊接技术研究的目标。新材料焊接、异种材



图7 华学明所长

料焊接、高效焊接（高速、高熔敷焊接）、焊缝的控形控性焊接等需求推动先进MIG、多电极多电弧焊、激光复合焊、超窄间隙焊等焊接新方法的出现，推动数字化焊接电源、智能（自动化）焊接技术的发展。报告主要介绍先进焊接新方法的发展及在工业应用中的状况、基于物联网的焊接装备及焊接过程监控平台构建及应用案例、机器视觉技术在焊接技术研究中的应用状况、机器人智能焊接技术、人工智能在焊接中的应用前景等内容，机器人激光焊接在智能制造中的应用如图8所示。

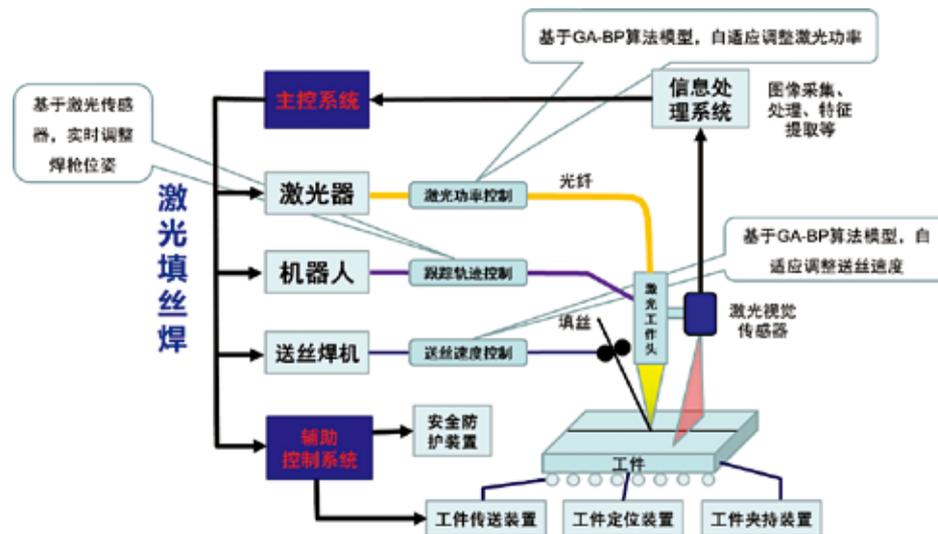


图8 机器人激光焊接在智能制造中的应用

（5）北京奔驰汽车有限公司自动化技术高级经理张霆（图9），轻量化车身连接技术在生产领域中的应用（图10）。介绍了汽车白车身连接技术的应用现状，针对车身轻量化和碳排放的要求，提出轻量化材料的应用与异种材料连接；针对车身强度和安全性要求，提出高强度材料的应用与连接的可靠性；针对车身舒适性和密封性要求，提出减震技术和密封技术。报告对比分析传统电阻点焊、气体保护焊、激光焊接等热连接技术，以及粘接、铆接、射钉连接等冷连接技术在汽车车身制造的特点。



图9 张霆高级经理

连接技术应用统计

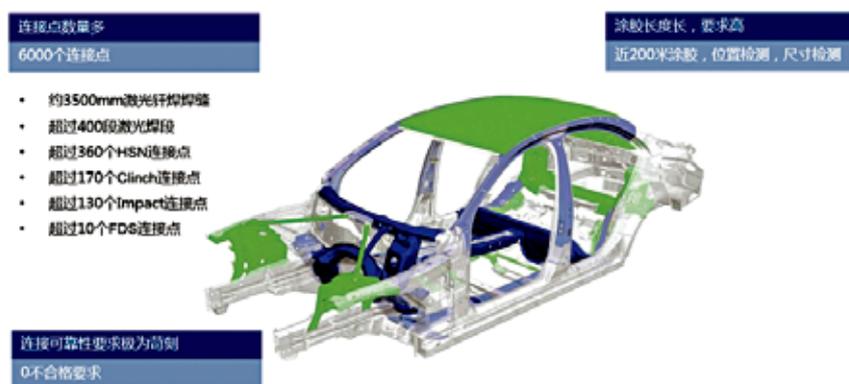


图10 轻量化车身连接技术在生产领域中的应用统计

(6) 哈尔滨威德焊接自动化系统工程有限公司张焱副总经理(图11)，基于视觉规划的全自动管子管板高效焊接技术。针对大型管板换热器的结构特点，通过自主研发的软件读取管孔图纸坐标，通过建立管板实际位置数模方程，计算出管板每个孔的理论空间位置，通过原点孔识别和理论空间位置的比对，规划出检测系统空间行走轨迹，开发高精度管孔坐标识别方法，识别管孔空间实际位置，继而完成管子管板接头的全自动焊接过程。



图11 张焱副总经理

图12为基于视觉规划的全自动管子管板高效焊接设备，控制系统读取管板钻孔时的CAD图纸数据，自动获取每一台换热器上千个管孔中心坐标、分布排列状况、管间距、排间距及每一排管孔数量，大大提高初始数据输入的效率。通过激光测距，建立管板平面方程，自动调整焊枪旋转中心线与管板平面垂直，确保后续焊接质量稳定。通过视觉传感器拍照，自动获取管孔中心实际坐标，建立管孔之间的相对坐标，为焊接机头自动行走定位提供精确数据。通过图像离散化、灰度化、边缘检测、二值化处理，得到管孔二值化图片。边缘取 n 个采样点，得到圆的拟合方程。对于环形角焊缝，采用弧压跟踪技术，利用相互垂直的两维运动，合成任意角度的跟踪运动，实现环形角焊缝两维自动跟踪。

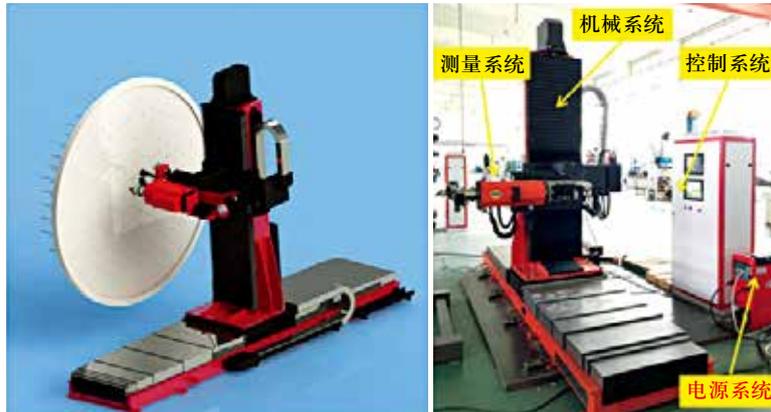


图12 视觉规划的全自动管子管板系统

(7) 中联重科股份有限公司中央研究院技术中心主任王霄腾(图13), 图14为Tri-Arc双丝焊原理及设备构成, Tri-Arc双丝高效焊接方法在实腹式高强钢结构中的应用。针对工程机械行业中厚板高强钢, 对热输入敏感、冷裂倾向高、焊接变形大的问题, 传统的电弧焊接方法往往需要多层多道焊接, 由此带来焊接热输入增大, 易出现焊后开裂、焊接变形大, 装配精度低等问题, 提出低热输入+高熔敷率的要求, 实现高强钢结构焊接制造。在传统的Tandem双丝焊及旁路电弧焊接的基础上进行创新, 通过在双丝中增加一外置的电流回路, 使传统双丝焊双弧上形成第三弧(旁路电弧), 即焊接过程可分解为两个传统电弧和丝间电弧构成的复合电弧, 两个旁路电弧状态之间进行实时切换, 形成“动态双丝三电弧”。通过调整丝间电弧电流, 实现



图13 王霄腾主任



图14 Tri-Arc双丝焊原理、电弧形态及设备外观

工件电流（热输入）和焊丝电流（送丝速度）的解耦，实现热输入和送丝速度单独控制，从而在较低热输入下获取较高熔敷率，适合于对热输入敏感的高强钢中厚板结构的焊接。

（8）南通中远海运川崎船舶工程有限公司制造本部副本部长许迎春（图15），高效焊接技术在造船领域的应用。主要介绍了国内外各种高效焊接技术、焊接装备在造船各个阶段的使用状况。



图15 许迎春副本部长

（9）OTC 日本 FA 机器人事业部技术部控制开发科主任楠本 太郎（图16）介绍了机器人高效高品质焊接技术的开发。通过送丝控制与电流波形控制的同步控制技术实现的超低飞溅焊接中熔深不足的问题，介绍了 Synchro Feed 超低飞溅焊接系统在大颗粒过渡的中高电流区域实现确保熔深的同时，完成超低飞溅高速焊接。



图16 楠本 太郎先生

系统（图17）通过采用控制响应性能良好的 AC 伺服电动机及伺服控制器，实现在高速送丝时电弧、短路状态快速切换焊丝的动作方向，并控制平均送丝速度保持稳定。采用焊接控制专用的 LSI 芯片，通过与送丝控制同期的高速高精度的电流波形控制，在实现超低飞溅的同时确保得到熔深。Synchro Feed 超低飞溅焊接系统实现 300A 电流的 100% 暂载率，可用于汽车行业、摩托车行业的薄板焊接，也可用于工程机械行业的中厚板焊接，在行业的焊接生产中实现焊接质量及生产效率的提高。报告同时介绍了系统在实现最大使用电流 400A 的 Synchro Feed 新焊接系统及相关技术。

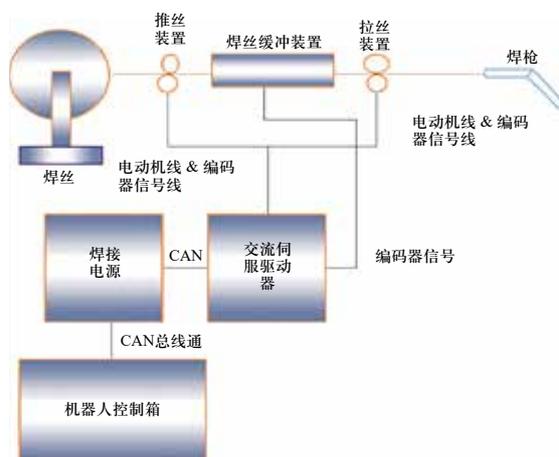


图17 系统构成

(10) 松下焊接(唐山)技术应用中心主任翁涛(图18), 高精度主动送丝技术及其应用。报告指出, 对于焊接性能的提高, 尤其是焊接飞溅的降低是焊接用户的主要诉求。但通过传统的单一对焊接输出波形进行优化已经没有太大改善空间。唐山松下采用高精度主动



图18 翁涛主任

送丝控制技术, 将主动送丝控制与焊接波形控制相结合, 实现电弧稳定控制。与传统的恒定送丝控制焊接方法相比, 大幅度降低引弧与焊接过程中的飞溅。同时, 通过燃弧短路过程主动控制, 实现对焊接热输入量的有效控制。

图19是对主动送丝技术起弧到正常焊接过程的飞溅消减分析。针对飞溅产生的原因, 通过主动送丝技术降低飞溅。小电流领域, 在熔滴过渡时回抽焊丝, 增加弧长, 进而避免微小短路的发生, 降低飞溅。在大电流领域, 降低燃弧后期的燃弧电流, 配合主动送丝控制, 将恒定送丝的射流过渡变换为送丝控制的主动短路过渡方式, 从而降低燃弧后期电弧反作用力对熔滴的影响, 避免大颗粒飞溅的产生。系统采用高扭矩、高动态响应伺服电机直驱焊丝的方式, 既保证足够的送

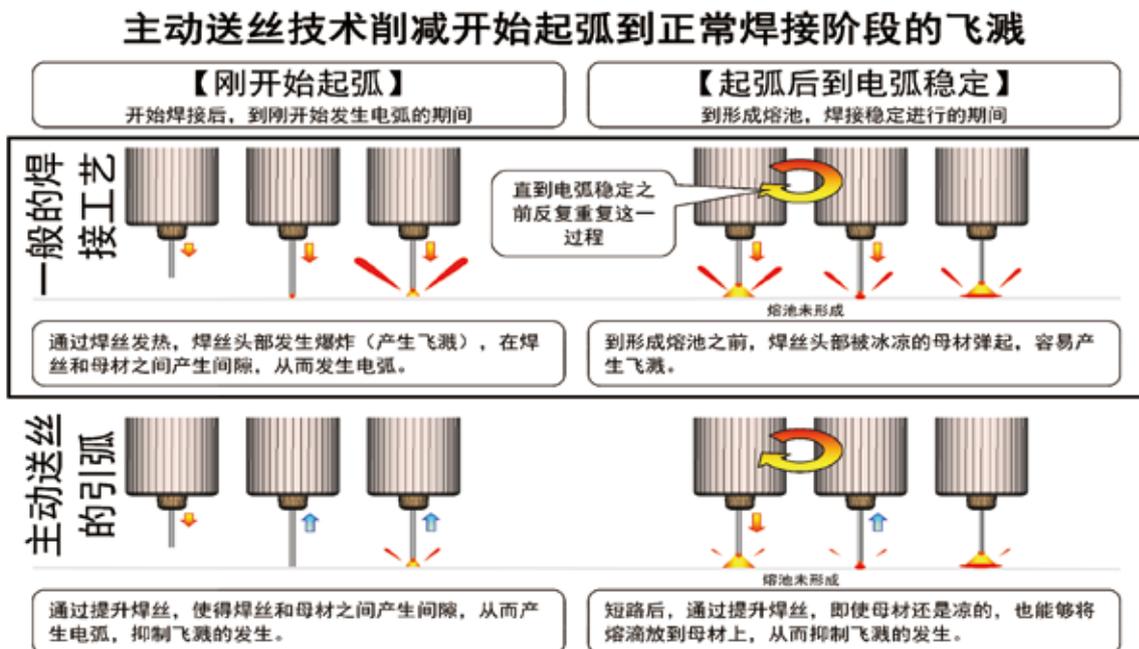


图19 主动送丝技术起弧到正常焊接的飞溅消减分析

丝力，又有很大的送丝加速度，满足高精度主动送丝技术要求。

(11) 上海库茂机器人有限公司互联网事业部总监姚金(图20)，焊接行业的互联网开SHOW。一是，B2B平台角度，用数字和用户行为链看焊接行业；二是，焊接品牌建立，其实很简单；三是，好产品、好技术和好公司如何学会利用互联网平台与客户建立联系。

(12) 深圳市麦格米特焊接技术有限公司产品总监何志军(图21)，基于高频软件焊接波形调制的智能弧焊电源的研究与设计。数字逆变控制技术的进步，可增加环路控制参数。在不同工况

下，系统需要使用不同的环路参数控制焊接的电流、电压波形。数字逆变控制技术带给弧焊电源最明显的变革，不仅减少系统硬件的复杂程度，而且拓展系统的工艺覆盖范围。

报告指出，焊接电源控制系统面临两个问题需要突破：一是进一步提高逆变电路的逆变频率和系统的控制频率。逆变频率和控制频率越高，系统对焊接过渡过程的精细化控制程度越高，系统对工艺控制的余量越大；二是实现焊接回路的能量突变。当电弧熔化焊丝时，需要较大能量，保证焊丝快速熔化；当熔滴接触熔池时，能量要尽可能小，保持熔池平静。麦格米特电源提出基于高频软件焊接波形调制的焊接工艺，实现平滑过渡、短弧脉冲过渡和高频脉动能量控制。

(13) 艾美特焊接自动化技术(北京)有限公司执行董事杨旭东(图22)，艾美特高效率高质量自动化焊接技术及其智能化。公司为用户提供从技术咨询、方案设计、工装 & 设备制造到



图20 姚金总监



图21 何志军总监



图22 杨旭东执行董事

工艺开发的高质量自动化焊接解决方案。在国内自动化焊接领域率先践行焊接制造的数字化及智能化，专注精细焊接自动化产品的研发与制造。产品主要服务于航空、航天、兵器、船舶、石化、制管、能源、压力容器、特种车辆及食品医疗设备等行业。艾美特焊接自动化技术（北京）有限公司在多种高效率、高质量自动化焊接解决方案，包括用于铝合金焊接的变极性等离子焊接、多丝共熔池埋弧焊接、热丝 TIG 焊接、多细丝堆焊、柔性机器人控制及真空辅助充氩舱等做了详实介绍。

（14）Fronius（伏能士）研发部专家 Dr.Stephan SCHARTNER（图 23）做“新型电弧控制系统对 GMAW 双丝焊的影响”报告。指出，相比于单丝焊，双丝焊的优势在于具有较高熔敷率，能量密度较低且熔池更大。当使用双丝焊工艺代替单丝焊时，焊接速度几乎翻倍，从 35cm/min 到 60cm/min，焊接热输入量减少 23%，降低至 20kJ/cm，热输入量对比如图 24 所示。在协同双丝焊接中开发实现 PMC 工艺，通过熔滴过渡阶段的控制而优化过的 PMC 电弧更短更集中，电弧特性具有高效率、深熔深、热输入低、咬边倾向小的优点。PMC 工艺中的“等弧长”和“恒熔深”功能应用在双丝焊中，系统功能将自动修正送丝速度，以获得恒定一致的熔深。这些工艺特点对厚板碳钢角焊缝和对接焊缝的焊接速度和熔深有很好的提高。



图23 Dr.Stephan SCHARTNER

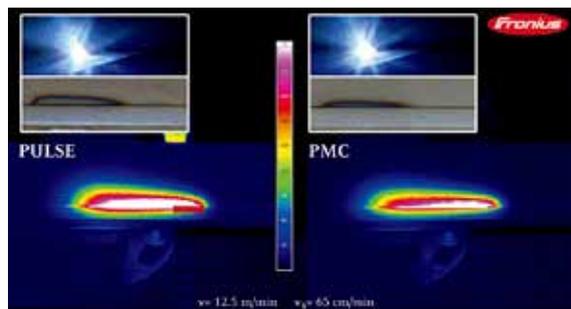


图24 热输入量对比

（15）武汉翔明激光科技有限公司王春明总经理（图 25）分享“浅谈激光清洗与焊接技术的结合”。为了保证焊接质量，完备的焊接过程通常需要严格的焊前和焊后清理。焊前清理通常包括除油、除锈和除氧化膜。焊后清理主要指去除氧化色和黑灰。传统的清理方法主要有化学清洗和机械打磨，存在污染环境、劳

动强度大、难以在线作业等缺点。激光清洗作为一种绿色、环保、节能的清理方式，可有效一次性除油除锈除氧化膜，作业方便，易于自动化，且适合于狭小空间处理，特别适合与各种焊接方法相结合，实现高质高效的自动化焊接。本文介绍激光清洗技术的基础原理，分析焊接过程中的清洗需求，介绍在焊接过程中激光清洗的具体应用以及简述典型企业应用案例。



图25 王春明总经理

结束语

习近平主席强调，在全面建成小康社会决胜期，要坚定实施创新驱动发展战略。智能化、高效化、数字化、网络化已经成为焊接创新制造的发展趋势。智能化控制与新型高效焊接工艺推动了焊接制造技术的发展。在未来中国制造业中，创新的焊接技术将为国家建设提供新型的制造动力。

2019年技术讲座

2019年6月26-27日，在第24届北京埃森焊接与切割展览会期间，共有7家企业举办了7场技术讲座；11位专家做了11个报告。累计听众400余人。

技术讲座是组委会统一组织规划、展商自愿参加、自主确定报告内容的展会配套活动。从第一届展会起，早期技术讲座以国外先进产品、先进技术进入中国市场而兴起的技术交流为主。近年来，随着经济发展、产品与技术的交流融合愈加充分，相关主题论坛也越来越多，技术讲座逐渐演变为以新产品推广为主。企业多以此进行产品、技术宣讲等活动。

本届11个报告涉及绿色工业、数字化碳化硅、工业厂房烟尘治理、高精度送丝控制、智能焊接云管理系统、精细等离子切割解决方案、智能云切割、智能工厂打造、高功率激光焊接等方面内容和产品，高度贴合我国制造业绿色环保、精细化、自动化、数字化、智能化的发展方向，所生产的产品已走向市场，广泛应用于各个相关领域。

报告一：哈工现代助力绿色工业4.0

海宁哈工现代机器人有限公司销售总监陆洪：报告介绍了哈工智能集团在汽车工业智能制造系统解决方案、工业机器人本体及核心零部件、工业机器人周边产品、工业机器人一站式服务平台等领域的业务，及其在汽车工业和一般工业领域的应用案例。重点介绍了工厂全力推出四款主打机型，手臂负载覆盖6kg、20kg、50kg、220kg，为行业打造高性价比机器人，助力绿色工业4.0。报告最后展望机器人未来发展趋势。

报告二：新一代全数字化碳化硅（SiC）逆变焊机-逆变焊机的第三次革命

华南理工大学王振民教授：报告主要介绍以SiC功率器件为代表的宽禁带功率器件的特点以及主要性能，分析SiC功率器件对逆变焊机综合性能提升的推动作用，探讨将SiC宽禁带功率器件应用于逆变焊机时需要重点解决的关键科学与技术难题。详细介绍研发团队在新一代全数字SiC逆变焊机方面的研究进展以及在波控焊接、水下焊接、高频脉冲焊接等领域的应用情况。最后，对基于SiC功率器件的第三代逆变焊机的发展进行展望。

报告三：1000V SiC MOSFET及其驱动器在超高频逆变焊机的应用

深圳市鹏源电子有限公司技术总监叶春显：报告主要介绍Wolfspeed公司第三代SiC MOSFET的特性以及其门极驱动的要求，分析SiC驱动器的设计要点及需解决事项，最后探讨并设计一款超小型、集成快速短路保护、支持300kHz开关频率的高可靠性SiC MOSFET驱动器，以及其在超高频逆变焊机的应用及测试情况。

报告四：工业厂房烟尘治理技术系统解决方案

大连兆和环境科技股份有限公司技术副总付明智：报告介绍了工业厂房烟尘治理系统解决方案与技术。深入分析当下工业厂房环境问题的痛点、烟尘治理的技术难点，并结合兆和青岛四方机车、株洲中车、一汽解放、中国一重等大型烟尘治理项目案例，详细介绍兆和烟尘净化产品及系统解决方案的特点与优势。其中，由兆和环境自主研发并全新升级的高大空间分布式环境控制系统及空气调节除尘机吸引了众多客户的关注，并有多家企业在技术宣讲会后来到了兆和展位现场深入交流。

报告五：SAWP（高精度主动送丝控制）技术及其应用

唐山松下产业机器有限公司技术应用中心主任翁涛：报告针对松下智能电源融合型Super Active TAWERS焊接机器人，介绍一种SAWP（主动送丝控制）技术。它使用推拉丝焊枪，采用高精度大功率伺服电机，通过专利焊接波形和主动送丝控制相结合，实现和短路频率相匹配的焊丝回抽，抽拉丝频率最高可达180次/秒。从而进一步压缩弧长，抑制熔池振荡。并可在全电流段大幅度降低焊接飞溅的同时，实现高速高效焊接，配合HBC热平衡控制焊接工法，有效控制焊接热输入量的分配，细化晶粒，提升焊缝综合力学性能。尤其适用于薄板高速焊接，广泛应用于汽车零部件、五金钣金等行业。

报告六：智能焊接云管理系统iWeldCloud

唐山松下产业机器有限公司应用软件开发课课长刘金龙：WeldCloud是唐山松下开发的基于工业互联网平台的焊接管理与服务系统。它通过物联网焊接设备、用户与厂家的互联，不仅为用户提供方便的焊接管理手段，也将厂家的增值服务直接传递给用户，提升用户焊接设备的应用价值。

报告七：精细等离子切割的成套解决方案

江阴市六和智能设备有限公司总经理董诗阳：报告主要介绍六和智能推出的

LH270A和LH200A两款精细等离子切割电源。精细等离子切割电源的切割质量，切割能力和切割效率都优于普通等离子切割电源，随着国产精细等离子切割电源产品的成熟，精细等离子切割必将成为等离子切割的主流方案。六和推出两款精细等离子电源，在上一代产品基础上优化结构，改进技术，简化安装方法，在产品稳定性和产品性能上更上一个台阶。同时，LH270A和LH200A配合上海方菱的7000系列数控系统，1627和1650等多款调高器，可提供给客户多样化的精细切割成套方案。

报告八：工业物联网：智能切割云MES

上海方菱计算机软件有限公司首席技术顾问季伟：上海方菱推出的智能切割云MES，是基于工业物联网平台的切割制造执行系统。它通过与物联网切割设备互联，整合钢结构企业在物料、排产、切割全流程的切割生产数据，并根据实时采集的数据，为用户推送进度分析结果。为企业提高生产效率、把控生产进度、提高钢材利用率提供有效支持。

报告九：全面焊接管理信息化解决方案——基于EN15085/ISO3834的智能焊接工厂打造

湖南九方焊接技术有限公司（隶属天一焊接集团）总经理李志明、常州龙星工业自动化系统有限公司副总经理蒋浩军联合报告：WRP7.0(焊接资源管理系统)是基于EN15085&ISO3834开发的焊接管理软件。软件实现焊接体系全要素覆盖，特别是WPS、WPQ、PQR库的建立，以及接头清单与焊接资源库文件之间的高效匹配，规范工程师工作，减少重复工作，形成数据积淀。大大提高工程师的效率和准确率。天一焊接执著焊接事业近30年，是焊接全产业链综合服务提供商。龙星软件是专业工业定制软件提供商，开发焊接专业软件近10年。双方联手打造焊接制造、焊接设备、焊接材料企业、服务机构与焊接技术和技能人才共有共享的平台，建立全国专业、独立的焊接平台生态系统。

报告十：智能制造：汉神焊接机器人与自动化焊接介绍

无锡汉神电气股份有限公司技术总工程师厉荣卫：主要介绍汉神机器人的特点及性能，由机器人+电源组成弧焊机器人、氩弧焊机器人、切割机器人，广泛用于各行各业。以其在焊接设备研发、焊接电源研发生产、机械设备制造、电气控制、软件开发方面的突出优势，在行业内有很多机器人应用案例。如智能化焊

接实训车间、废罐自动化机器人切割生产线、相贯线焊接机器人工作站、热加工工业 4.0 示范生产线、太阳能热电厂定日镜支架焊接工作站等众多案例。系统集成商可了解汉神机器人的广泛应用，无锡汉神也可提供系统集成等各方面的技术支持。

报告十一：高功率激光焊接应用前景

无锡汉神电气股份有限公司技术副总雷洪波：主要介绍汉神激光焊接的特点及性能，由机器人+激光器+各类附件组成的焊接系统，可以广泛用于各行各业。详细阐述了高功率激光焊接在汽车零部件：汽车覆盖件、传动齿轮、活塞、拨叉、离合器、座椅、密封件、尾气处理泵、油箱等，以及五金制品、钣金加工和轨道车辆制造中的实际应用。系统集成商可了解汉神激光的广泛应用，无锡汉神也可提供系统集成等各方面的技术支持。

展会技术讲座平台为展商提供了宣传新产品、新技术的交流平台，充分反映了焊接市场的产品状态和发展方向，是广大焊接工作者了解产品和市场的一个重要窗口。

展会亮点

焊接环境、健康与安全

根据展会组委会安排,《焊接环境、健康与安全》部分由中国焊接学会焊接环境、健康与安全专业委员会组织业界专家撰写,并由专委会副主任、北京工业大学栗卓新教授总负责,杨立军、李红、肖文凯、王延斌、欧泽兵、李伟、钟素娟、张熹、袁关兴、李明静等众多行业专家和专业技术人员参与撰写工作。

第24届北京·埃森焊接与切割展览会参展的焊接整体防护环保企业有24家。局部防护设备、个人防护用品及其他安全防护用品有93家参展商。报告论述了焊接环境、健康与安全(EHS)概况,展会焊接整体防护及应用,局部防护及应用,绿色焊接技术(材料、装备及应用),总结与展望等,希望对我国焊接行业和相关工艺与技术的发展有所帮助。

1 焊接EHS概述

电弧焊过程可能涉及的烟尘、辐射(紫外线(UV)辐射和电磁场)等多种因素可能对人体造成危害。在世界范围内,有1100万电焊工,约1.1亿工人直接或间接接触并面临可能的危害。对危害接触程度取决于工艺、焊接材料、通风、封闭程度和个人防护。世界卫生组织的研究表明,弧焊产生的紫外线辐射是眼部黑色素瘤的危险因素;当金属被加热到高于其熔点时,产生蒸气并凝结成细颗粒(主要是小于 $1\mu\text{m}$),形成焊接烟尘。包括20多个病例对照研究和近30个职业或基于人群的队列研究报告了电焊工或其相邻工人接触焊接烟尘。其肺癌风险增加。

紫外辐射的穿透能力很差,甚至很薄的纸都难以穿过。一般的焊工防护服和防护面罩可以有很好的防护效果。焊接烟尘通过人的呼吸系统造成危害,而其产生又是必然的。其控制与防护必须引起重视。

1.1 焊接烟尘的形成过程

一般认为,在焊接过程中,金属和非金属物质在电弧内部蒸发产生高温蒸气。蒸气向外扩散,首先被氧化和冷凝生成直径 $0.01\sim 0.4\mu\text{m}$ 的一次粒子;再继续扩散,一次粒子熔合聚集成为二次粒子,即为焊接烟尘。

根据焊接烟尘形成的过程,在电弧中产生高温蒸气居于首要地位。蒸气产生

强烈也意味着焊接烟尘的强烈产生。在电弧中，蒸气从液态熔滴和熔池产生，其中从熔滴产生的蒸气是焊接烟尘的主要来源。非熔化极的TIG焊比一般熔化极电弧焊的烟尘少得多。蒸气产生主要受到浓度梯度和压力梯度的驱动，具体表现为挥发和蒸发过程。其中，蒸发过程产生蒸气的速度更快，影响因素包括温度和特殊的电弧现象等。

主要蒸发过程包括：①电弧温度可高达数千乃至上万度，大大超过焊材及熔池中金属和非金属的沸点，熔滴在电弧高温区时，表面将有较强烈的蒸发；②电弧收缩易于在熔滴上产生阳极斑点或阴极斑点，斑点处电流密度较大，易产生较强烈的金属蒸发；③短路过渡过程熔滴缩颈，或者焊丝端部的熔滴脱离焊丝前形成缩颈，而缩颈处电流密度很大，缩颈内部因电阻热温度迅速升高达到材料沸点，内部强烈蒸发，蒸气膨胀形成电爆炸，因而产生飞溅和蒸气扩散；④飞溅往往伴随着蒸气的产生；⑤药芯焊丝电弧焊时，药粉中的低熔点物质容易蒸发。

焊接烟尘由电弧区向外扩散的一次粒子熔合聚集形成，而一次粒子则由蒸气粒子凝并而成。一次粒子的熔合聚集需要克服表面能，在高温下更易实现，当形成的粒子进入温度较低的空气后，克服表面能继续聚集的难度大大增加。因此，焊接烟尘粒子的尺寸与粒子形核率及其在高温区经历的时间密切相关。形核率高，在高温区经历的时间短，不易形成大尺寸的烟尘粒子；反之，形核率低，在高温区经历的时间长，易形成大尺寸的烟尘粒子。

在最终形成的焊接烟尘中，焊条电弧焊与药芯焊丝电弧焊由于成分复杂，形核率较高，烟尘颗粒不大，一般在 $0.1\sim 2\mu\text{m}$ 范围，不易沉降，易漂浮，易被人体吸收；实芯焊丝电弧焊成分较为简单，形核率低，可以形成较大直径的颗粒，直径可达十几微米乃至几十微米，相对较重，易沉降。

1.2 焊接烟尘的防护措施

虽然能够通过研发低尘焊接材料、适当的焊接工艺等措施减少烟尘产生量，但这些措施又会受到实际焊接条件的限制，实施的范围受到影响。目前，主要的焊接烟尘防护措施还是焊后除尘的方式，更易实施，更加有效。

近年来，出现了多种防护除尘的技术与方法，缩短扩散路径，在产生烟尘的源头将其排走。通风吸取或排除烟尘技术措施是消除焊接烟尘危害的有力措施，无论是局部通风吸取排烟，还是整体通风吸取排烟，都尽快在烟尘产生后消除有

害影响。

济南的诺斯焊接辅具有限公司研发制造了 MIG / MAG 环保焊枪，在焊枪上加装抽气调节装置，通过特制的焊枪气罩在焊接过程中吸取烟尘。主要的吸取烟尘调节参数是吸烟功率，可分档调节，根据实际焊接条件设置在合适的档位。

在电焊面罩上加装空气过滤装置也是保护操作者的有效方法。由锂电池提供过滤器动力，持续时间可达 10 个小时；气体过滤器过滤气体，将过滤后的气体提供到面罩呼吸区，几乎可以将 $0.3\mu\text{m}$ 以上的烟尘全部滤除。

利用专门设备除尘主要包括墙装式烟尘净化器、可移动式烟尘净化器以及中央烟尘净化系统。烟尘净化器对具体的焊接工位进行局部除尘，中央烟尘净化系统在整体上对更大的操作空间（车间）除尘。两者的核心技术都是烟尘过滤技术，包括过滤材料、滤芯设计等。由于焊接烟尘颗粒粒径一般在 $0.1\mu\text{m}$ 以上，滤芯内过滤材料的过滤精度是一个重要参数；覆膜滤材采用高科技覆膜技术，表面由数百万根随机排列的超细纤维组成，过滤精度可达 $0.1\mu\text{m}$ 。

由于大空间烟尘分布具有一定随机性，对于大空间或多工位车间，除使用各种除尘设备与措施之外，从节能环保的角度出发，在产生烟尘或烟尘浓度超过允许值的区域才启动除尘设备。这需实时监控烟尘分布。图 1 是 KEMPER 公司的空气质量监控装置 AirWatch，可以持续监控生产车间和其他区域的空气质量。该装置通过内置风扇吸入周围空气，内部激光测量装置测量空气中烟尘的分布状态，分析空气质量变化，传递报警信息；该装置单套可监控 $20\text{m} \times 30\text{m}$ 的区域，可通



图1 空气质量监控装置AirWatch

过网络连接到用户主控系统进行交互，智能联控车间内的通风、净化系统，可实现云、PC、移动终端 APP 远程监控。在大空间中的多个监控和吸尘点，中央净化系统通过管道吸入污染的空气，滤芯捕捉实现气尘分离，压缩空气自动清洁滤芯，清洁后粉尘落入收集箱。智能控制系统是中央净化系统的核心，各种传感器的诊断系统监视整个设备的运行。

2 焊接整体防护进展

2.1 展会概况

展会在焊接整体防护领域取得新进展：①环保产品种类更加齐全，涵盖广泛，除常规焊接烟尘、油雾油烟等除尘净化设备外，各大环保公司都有移动式除尘器和集中式除尘器产品；②特色类型净化器，包括静电式净化设备、高负压和防爆净化设备、挥发性有机废气（Volatile Organic Compounds, VOCs）净化器等；③机器人自动化焊接除尘系统和物联网智慧环保平台进入实用（图 2）；④高大工业厂房整体 + 局部结合的焊接污染治理技术渐成主流（图 3）。



图2 机器人自动化焊接除尘系统和物联网智慧环保平台

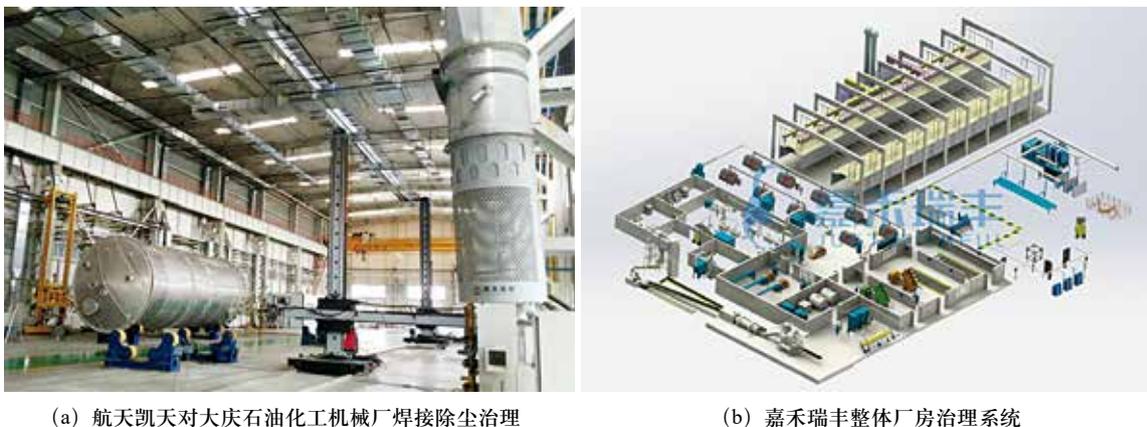


图3 工业厂房整体+局部结合的焊接污染治理

2.2 整体防护的焊接烟尘治理技术

2.2.1 焊接烟尘隔离防护

将焊接烟尘产生的区域集中隔离（图4），可有效减少烟尘的扩散，使集中除尘更加高效方便。



(a) 赫尔模块化焊接防护屏和隔音房

(b) 阔曼焊接防护房

图4 焊接烟尘隔离防护

2.2.2 移动式除尘器

移动式除尘器是各环保单位展出最多的产品，都带有灵活的吸气臂，采用高效滤筒，过滤效率高，除尘效果好，使用维护方便。航天凯天 KTY 移动单机，采用智能电脑控制，自动脉冲清灰。尼的曼 Filtercart 活性炭移动式过滤器，装备 HEPA 高效过滤器，安装操作简单。斯堪诺和空气净化机，采用颗粒活性炭和各种滤料相结合初效滤芯和 HEPA 高效过滤器。上海凯森移动式单机烟尘净化器适用于各种焊接烟尘和粉尘的净化以及对稀有金属、贵重物料的回收等（图5）。



(a) 航天凯天KTY单机



(b) 尼的曼活性炭过滤器



(c) 斯堪诺和空气净化机



(d) 上海凯森烟尘净化器

图5 移动式除尘器

赫尔工业设备（上海）有限公司和尼的曼国际贸易（上海）有限公司推出升级版强吸力烟尘和油雾净化单机（图6），效果显著。赫尔烟尘净化单机，具有6轴多关节吸气臂，采用分层逐级过滤，主过滤芯容量大，过滤精度高，并有多种滤芯配置可选择，从源头抽排各种焊接烟尘，整个单机设计紧凑灵活，轻便耐用、经济性高。尼的曼油雾净化单机采用三级分离系统，集成风机提供真空所需的风量，经过主过滤器后再经过 HEPA 过滤器，处理纯油过滤的效率达 97.5%PM<10，95%PM<2.5。



(a) 赫尔强吸力烟尘净化单机



(b) 尼的曼油雾净化单机

图6 强吸力烟尘和油雾净化单机

2.2.3 模块化集中式除尘器

采用模块化设计的集中式除尘器，适合于多工位的焊接烟尘集中治理，一般在各焊接工位设置除尘罩，通过管道连接到集中式除尘器。治理方式效果好、成本低，是普遍应用的焊接烟尘治理方式。

航天凯天环保的 KM 系列模块式除尘器，具有安装简单灵活，维护方便，成本低廉等特点，可以根据客户需求组合成不同规格的净化器及系统。尼的曼的 FMC 系列模块式滤芯除尘器，可以优选配置不同类型和数量的滤筒，更换简单方便。济南美蓝的集中除尘设备采用高效覆膜聚酯纤维滤筒过滤器，过滤精度达 0.3 μ m，过滤效率 99.7%；同时具有滤材更换周期长，费用低，可自动清灰等特点（图7）。



(a) 航天凯天KM模块式除尘器



(b) 尼的曼FMC模块式滤芯除尘器



(c) 济南美蓝集中除尘设备

图7 模块化集中式除尘器

2.2.4 空气净化塔

空气净化塔适合于封闭的空间空气净化，安装位置灵活。净化塔上部吸入空气，经高效过滤器后从净化塔底部向四周均匀推送清洁空气，实现层状循环通风。净化塔无需安装管道，运行维护方便（图8）。



图8 空气净化塔

2.2.5 中央除尘系统

当难以实现源头吸烟或效能不足时，中央排风除尘系统则成为保障性选择。它能胜任高强度烟尘的抽排过滤任务，适用于连接多个工作间和焊接消音房，有效保



(a) HERR600系列中央烟尘净化系统

(b) 华信烟尘净化系统

(c) 上海凯森中央式除尘器

(d) 大连兆和整体厂房通风除尘控温系统

图9 中央除尘系统

护员工和机器免受颗粒物的持续污染。HERR600 系列中央烟尘净化主机采用风机顶置式，占地空间小、噪音低、模块化组合可实现更大的风量需求。济南华信自动化工程有限公司的大风量中央烟尘净化系统，可根据需求定制；具有结构紧凑、脉冲反吹、节能高效的特点。上海凯森环保科技有限公司中央式烟尘净化系统的整个运行通过 PLC 系统控制；所有的功能控制和信息显示由一个带控制按钮和显示屏的控制面板完成，操作面板界面友好，操作方便。大连兆和整体厂房除尘净化与恒温恒湿相结合，采用分层置换通风形式，应用诸多成熟、先进的空气处理技术（图 9）。

2.3 焊接整体防护的各种除尘技术产品

2.3.1 静电式粉尘过滤器

赫尔静电式粉尘过滤器过滤面积大，维护间隔长，滤芯可反复清洗长久使用。滤芯低风阻使得风机能耗更低，噪音更小，具有使用寿命长、维护和二次扩容简

便等优势（图 10）。

2.3.2 防爆型粉尘净化器

防爆除尘系统一般采用泄爆、隔爆、抑爆、抗防静电、火花探测和熄灭等若干措施。HERR 高性能防爆型高真空粉尘净化器采用坚固、可靠的不锈钢结构设计，并通过 DEKRA 防爆测试和认证，应用广泛。尼的曼防爆袋式过滤器，设



图10 赫尔静电式粉尘过滤器

置防火阀、卸爆阀加防静电布袋，具有专业防爆的 ATEX 认证，使用镀锌钢板制成的模块化过滤器，可在线清洁。航天凯天防爆型高负压主机，采用防爆风机和防静电滤筒，除尘器灰斗上安装料位开关。上海铸越防爆型高真空粉尘净化器由多个真空机组组成，配备自动振尘装置，桶身高度可以调节，袋装系统设计（图 11）。



(a) 赫尔粉尘净化器

(b) 尼的曼袋式过滤器

(c) 航天凯天高负压主机

(d) 上海铸越防爆除尘器

图11 防爆型粉尘净化器

2.3.3 机器人焊接除尘系统

焊接机器人工作于一个相对封闭的工作房内。为便于收集烟尘，可在机械手活动范围上方安装吸尘罩，只需在工作房顶部设计排风口与除尘系统相互连接。焊接产生的烟尘通过吸气罩进入管道，经过除尘器处理后排出。通过机器人自动焊接除尘系统，从根源上解决对焊接人员的整体防护。

济南美蓝的机器人焊接烟尘净化器是一款小型除尘器，适用于单、双焊接工

位，轻巧灵活，操作方便。该净化器由箱体、滤筒、集尘抽屉、风机、清灰装置、电气系统等组成。上海 ABB 机器人焊接净化一体机，使用稳定可靠、高成本效益、高精度的 IRB 4400 机器人，可缩短工厂生产周期，提升生产效率（图 12）。



(a) 济南美蓝机器人焊接工作站



(b) 上海ABB机器人焊接净化一体机

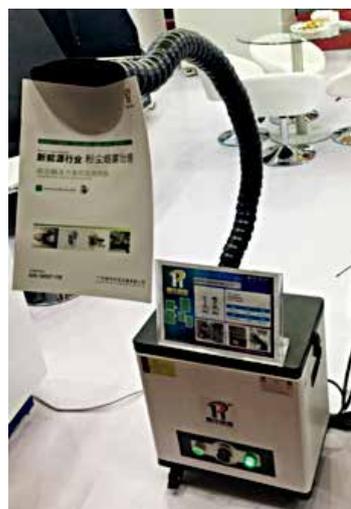
图12 机器人焊接除尘系统

2.3.4 小型烟雾净化器

航天凯天环保和广州普华环保都推出了小型烟雾净化器（图 13），外型美观，多级过滤，占地面积小，一般用于电子锡焊、松香焊、小功率激光打标、激光清洗等烟尘量较小的场合。航天凯天环保的产品还具有无线遥控无极调速功能、配有电子显示屏，操作直观方便。



(a) 航天凯天



(b) 广州普华

图13 小型烟雾净化器

2.3.5 激光切割机除尘器

航天凯天环保的激光切割机除尘器专业配套激光切割机。除尘器内置火花消除装置、高效过滤器和消声器。采用一体化设计，安装方便，使用维护简单（图 14）。



图14 激光切割机除尘器

2.3.6 VOCs废气治理

VOCs 废气治理技术是打赢蓝天保卫战的关键技术。废气治理更趋向于利用催化氧化作用分解，最终生成无害的 CO_2 、 H_2O 等（图 15）。沸石轮 +RTO 浓缩技术通过吸附浓缩技术，可将废气风量大幅度降低，浓度大幅度提高，节约 95% 以上的废气氧化需要的能耗。



(a) 大连兆和蓄热式热氧化RTO

(b) 航天凯天Uv光解装置

(c) 航天凯天生物净化装置

图15 VOCs废气治理技术

2.4 工业4.0除尘技术及焊接整体防护的物联网智慧环保平台

工业 4.0 (Industry4.0) 是指利用物联信息系统 (Cyber-Physical Systems, CPS) 将生产中的供应、制造、销售信息数据化、智慧化，最后达到快速、有效、个性化的产品供应。

德国肯派公司推出工业 4.0 除尘技术，通过 AirWatch 提供对工厂内的持续和详细的空气质量监测，采用高灵敏度激光传感器对烟雾、粉尘检测，包括粒径大小和重量分布。通过 App 可以在手机 / 平板电脑上读取测量值和数据。AirWatch 上的状态灯可以直观显示周边的空气质量。AirWatch 不仅是一套粉尘监控仪，还可以联动控制通风和过滤设施，并与用户的控制终端进行交互，实现整个净化系统的工业 4.0 智能化运行（图 16）。



图16 德国肯派AirWatch



图17 物联网智慧环保平台

航天凯天智慧环保远程监控服务平台，运用了物联网技术、云计算技术、大数据分析、GIS 地图技术，实现除尘系统的集中控制、远程监控、数据采集、故障预警等服务。在产品控制屏上可显示智慧环保系统中的所有内容，通过 App 实现操作工人与设备的智能对话，智能化运行、问题诊断等。利用平台进行大数据分析，优化设备运行参数，使环保设备运行更节能、更高效，有效保护作业者的职业健康（图 17）。

2.5 焊接整体防护的工业厂房整体治理技术

工业厂房废气、烟气、粉尘整体治理以及温度湿度整体控制一直是全球性的行业难题。航天凯天成功开发了工业厂房空气净化分层送风整体治理技术，并将这一技术应用于焊压铸、机加工、热处理等工业厂房的治理。技术核心是以一种全新的气流组织方式，即下送风顶回风的方式，所需风量只需传统方式的一半，节能达 50% 以上（图 18）。系统由 4 大部分组成，即冷热源、空气处理系统、送回风系统和控制系统。焊接车间采用组合式空气处理机，实现除尘、除湿、控温、除异味、送新风多种功能的统一。

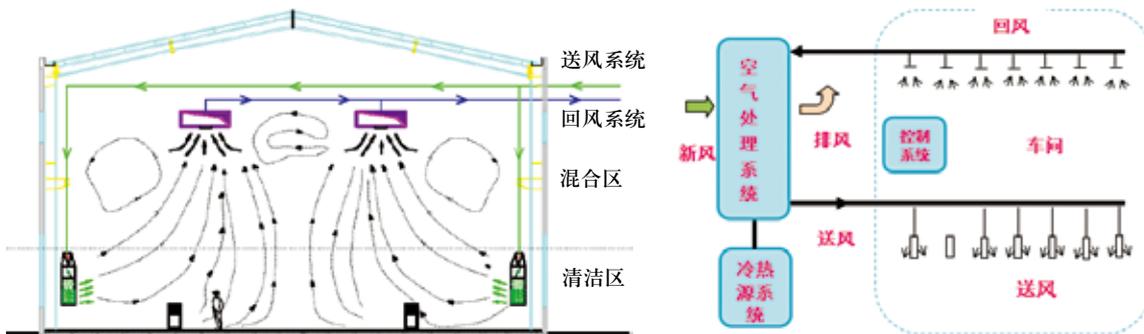


图18 整体厂房分层送风系统原理图

整体厂房分层送风在焊接作业厂房环境治理应用十分成功，解决了焊接污染物捕捉、净化等难点。同时，污染物净化系统又与空调系统有机整合统一，高效节能。目前，已成功运用于青岛四方机车、唐山机车、株洲电力机车、中车南京、株洲联诚等国内知名企业。

2.6 工业厂房环境整体治理技术应用工程案例

2.6.1 青岛四方机车整体厂房治理

青岛四方机车车辆股份有限公司是中国南车股份有限公司的龙头企业。采用10套凯天除尘恒温恒湿机组后，3万平方米的铝合金焊接厂房车间内粉尘浓度、湿度全部满足要求（图19）。



图19 青岛四方机车整体厂房治理

2.6.2 东风康明斯机加油雾整体治理

东风康明斯缸体机加工车间，总治理面积11520m²。采用航天凯天整体厂房分层送风技术治理，6台组合式空调油雾净化机组，系统总风量390000m³/h。室内治理效果：氨平均浓度降至0.4mg/m³以下；温度、风速达到《工业企业设计卫生标准》要求；空气新鲜度达到97%（图20）。



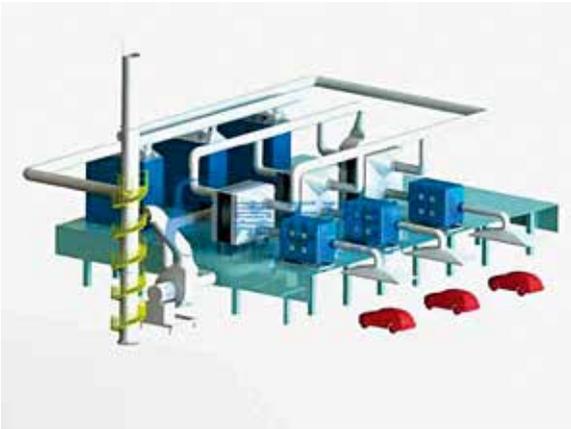
图20 东风康明斯机加油雾整体治理

2.6.3 更多整体厂房治理案例

大连兆和整体厂房除尘净化与恒温恒湿相结合，采用分层置换通风形式，利用高度上的温度梯度和气流控制，采用低温低速送风模式，分层控制，底层温湿度、风速控制更均匀，通风高效节能。济南嘉禾瑞丰则针对不同厂房布局，采取系统化设计，因地制宜，整体厂房治理更加科学高效（图 21）。



(a) 大连兆和整体厂房除尘净化治理



(b) 嘉禾瑞丰整体厂房治理

图21 更多整体厂房治理案例

2.7 焊接整体防护发展趋势

展会的焊接技术及焊接整体防护技术体现以下几个特点：

（1）焊接机器人及焊接专用生产线的大量普及应用已成行业共识，恶劣条件下的焊工使用数量越来越少，焊接整体防护烟尘治理空气净化技术大有用武之地。传统的厂房通风排烟措施已不能达到越来越严格的环保法规的要求，烟尘必须治理达标后方能排入大气。所以，厂房整体分层送风烟尘收集空气净化技术将占据主流地位。在此基础上，因地制宜，灵活布置点排烟及局部烟尘收集移动式单机，将局部治理与整体治理相结合，优化治理策略，更能达到净化系统节能降耗的运行目标。

（2）中小型焊接车间可以通过布置点位抽排烟单机和移动式空气净化器使室内空气达标，以保护焊工的身心健康。由于工业技术的进步，设备运行成本大大降低。

（3）基于工业 4.0 概念的物联网智慧环保远程监控技术逐渐进入实用。通过

建立物联网智慧环保服务平台，实现环保设备集中控制、远程监控、数据采集、故障预警、在线控制等服务。利用平台进行大数据分析，优化设备运行参数。各种客户端和手机终端数据交互系统可提供灵活方便的数据查看管理功能，手机APP微信服务，PLC程序上传和下载，设备管理等，可以使用手机随时浏览系统中所关心的数据和信息。

3 焊接局部防护进展

3.1 展会概况

焊接作业防护装备的主要类型包括焊接面罩（含送风式焊接面罩），防护口罩和防护面罩，焊接护目镜，焊接防护服，焊后防护手套等。展会期间，涉及焊接局部防护产品的企业达到93家。无论是焊工的个人防护用品，还是局部除尘和防护帘等产品，种类有大幅增加，整体品质也高于往届展会。防护用品生产企业对展会的重视程度也在提高。展商普遍反馈，有大量来自欧洲、中东的客户寻访国内的焊接防护产品，并表现出把焊接防护产品引进当地市场的积极意愿。

3.2 焊接局部防护新产品新成果及发展趋势

焊接个人防护在材料和工艺改进、整体通风，局部除尘等工程措施基础上发挥作用，降低作业者的伤害风险。基于法律法规的严格要求，焊工的安全与健康意识逐年提升。焊接作业人员对防护用品使用舒适度和便利性的更高期望，带来焊接防护用品的性能与时俱进。应用环境的多样性和多变性，作业人员的个体差异，防护装备应用的兼容性需求，防护装备对作业效率和质量的间接影响，材料和制造工艺的进步等都加速了防护样品行业的发展进程。

3.2.1 焊接作业的眼面部防护

焊接眼面部防护具是历年展会上展出最多的防护用品，也是生产企业和使用者普遍最关注的防护用品。焊接面罩不仅仅是眼面部防护具，也是重要的焊接辅助工具。焊接面罩用于防护焊接作业产生的紫外、红外和可见光辐射，以及炙热飞溅熔滴，高速飞溅颗粒等机械伤害因素。焊接面罩需要满足相应的标准要求。事实上自焊接面罩发明100多年来，眼伤害仍然是焊工面临的重大风险因素。展会上，3M、伊萨、米勒、肯倍、米莲娜、泰克曼、讯安、迅达、祥光、武汉威和等来自国内外的67家展商带来了针对不同细分市场的焊接防护面罩，呈现个性化、

高舒适度、多功能化、智能化及两极分化趋势。

(1) 外观设计年轻化

随着 90 后甚至 00 后年轻人和越来越多的女性焊工逐渐步入焊接市场，针对女性特征、迎合年轻人偏好的焊接面罩越来越受欢迎。彩绘个性化外观的焊接面罩也进一步趋于多元化。3M、讯达、祥光、胤威等众多企业均带来了此类产品。

(2) 焊接面罩呈现两极分化

黑玻璃焊接面罩仍有相当大的低端市场。根据展会情况，黑玻璃焊接面罩亦呈现两极发展态势。低端的黑玻璃焊接面罩以红钢纸面罩为典型代表，中高端黑玻璃焊接面罩多以耐热尼龙材料制成。黑玻璃焊接面罩由于其固有的缺陷，焊工仍然不可避免会被弧光灼伤。此外，传统黑玻璃滤光片在隔热方面存在较大不足，长时间焊接易把热传递到面罩内，导致焊工不舒适度上升；而且黑玻璃因温升而破裂，进而可能引发伤害焊工的风险。常规黑玻璃焊接面罩的改进是展会的亮点之一。多数厂家一改之前的红色款式，注塑成型的新型黑玻璃焊接面罩比之前的手持红钢纸焊接面罩无论从外观、还是实际佩戴效果和舒适度都有明显进步。不少厂家还为黑玻璃焊接面罩装备了内外保护片。

(3) 自然色彩焊接滤光镜技术走向市场

更低亮态遮光号的焊接滤光镜，具有更高的可见光透过率（表 1），有利于焊工在非焊接时的清晰观察。目前，市场上主流产品的亮态遮光号为 3 号或 4 号，最低的亮态遮光号为 2.5 号的焊接滤光镜。

表1 不同亮态遮光号的可见光透过率范围

亮态遮光号	2.5	3	4
可见光透过率 (%)	17.8~29.1	8.5~17.8	3.2~8.5

自然色彩自动变光焊接滤光镜是展会的又一特点。传统焊接滤光镜透过率最高约 600~650nm 的绿色光。焊工透过滤光镜观察时呈现绿色，对暗弱环境下需要仔细观察焊接工位存在不利影响。透过自然色彩焊接滤光镜，焊工观察到的是接近真实的颜色，不仅在弱光线条件下能有效识别焊接部位，且能降低焊工长时间作业带来的眼疲劳风险。本届有讯达、3M 和威和 3 个厂家带来多款装备“自然色彩”自动变光滤光镜（图 22）的焊接面罩。

(4) 送风式焊接面罩功能多样化

送风式焊接面罩采用电动方式过滤环境中的空气以供焊工呼吸，长时间使用在舒适度方面具有明显优势。肯倍、米勒、3M 等国外厂商及讯达、讯安、威和等国内厂商均带来新型送风式焊接面罩。其不仅舒适度高，且有更高防护因数。可用于焊接烟尘浓度更高的环境，而且利于焊工长时间舒适作业。

送风装置的轻量化、低功耗和低噪声设计，流量自动修正和适合搞海拔地区使用等新功能都是展会亮点。电动送风焊接面罩（图 23、图 24、图 25、图 26）逐步为焊工们接受。



图22 “真实色彩”自动变光滤光镜的观察效果



图23 “肯倍”电动送风式焊接面罩



图24 “讯达”电动送风焊接面罩



图25 3M可掀起式电动送风焊接面罩



图26 现场佩戴面罩焊接演示

(5) 舒适度日益受到关注

人机工效成为众多焊接面罩生产商的重要考虑因素。舒适型头箍、舒适型送风装置腰带等影响焊工长时间佩戴的部件出现在入门级的焊接面罩产品中

(图27)。紧凑型焊接面罩(图28)紧贴脸部,适用于狭小空间的焊接作业;此类焊接面罩的不足在于作业者无法佩戴防护口罩,如果适当加以改进,将更有利于狭小空间的焊接作业保护。



图27 3M舒适型焊接面罩的头箍



图28 紧凑型焊接面罩

机械加工操作会带来眼伤害风险,而眼伤害通常可能引起眼外伤、视力损伤甚至失明。当进行打磨、切割等非焊接操作时,需要佩戴防护眼镜和防护面屏(冲击物动能较大时,应在使用防护面屏的同时再佩戴防护眼镜),以降低眼伤害风险。所选择的眼护具应满足 GB32166, ANSI Z87.1 或 EN 标准要求,普通矫视眼镜不可以作为防护眼镜使用。此外,防护眼镜必须适合作业者的脸型,镜腿夹紧力适中且佩戴稳定。法规标准要求,任何进入存在眼伤害风险环境的人员必须佩戴防护眼镜。展会上,仅有不到 10 家厂家展出安全防护眼镜产品(图29)。

焊接护目镜(图30)及自动变光焊接护目镜(图31)仅提供焊工眼部的防护,不能对脸面部进行有效防护。因而,不适用于电弧焊等存在强紫外辐射及炙热颗粒物飞溅的焊接操作。焊接护目镜通常用于不存在强紫外辐射的操作,也可以用于焊接辅助人员的眼部防护

3.2.2 焊接作业的呼吸防护

焊接烟尘已被证明对作业者带来呼吸伤害风险,可导致呼吸道刺激性反应、中毒、致癌、尘肺等。依据《用人单位劳动防护用品管理规范》,进入焊接车间



图29 3M SF400防护眼镜



图30 焊接护目镜



图31 自动变光焊接护目镜

人员至少应佩戴符合国标 GB2626 KN95 过滤效率的防护口罩或活性炭防护口罩，或者配置 KN95 滤棉的半面罩（图 32）。展会上，展出呼吸防护口罩产品的厂家有 22 家，而且越来越多的企业展示了多款带呼气阀的口罩。厂家及焊工对佩戴舒适度的重视程度明显上升。



图32 GVS半面罩

焊接作业中，焊接面罩需要与防护口罩或半面罩配合使用，即两者应具有良好兼容性。过大半面罩的外形尺寸，将与焊接面罩的使用带来干扰，影响作业者的视线和眼面部防护效果。焊接烟尘和有害气体的防护也可以选用电动送风式焊接面罩，比口罩或半面罩有更高的防护水平，而且没有呼吸阻力，更适合长时间佩戴。

3.2.3 焊接防护服和防护手套

焊接防护服和防护手套是焊工的重要辅助工具，也是展会中占有很大比重的防护用品。43 家企业带来焊接防护服和防护围裙等产品，防护手套厂商达 49 家。焊接防护手套用于保护作业者手部及腕部，在进行金属焊接及类似作业中免遭金属熔滴、炙热飞溅颗粒、短时接触有限的火焰、对流热、热传导和弧光的紫外线辐射，以及机械性伤害。受成本、材料来源和加工工艺要求限制，皮革材质的手套仍是国内厂商的主流产品。

焊接防护服和防护头罩作为焊工的重要防护装备，在保证防护性能基础上，良好的穿着舒适度和使用便利性是重点考虑因素。阻燃织物焊接防护服、背部透气式设计的皮质焊接防护服在降低焊工热应力方面有不错的效果。头部是重要的散热区域，阻燃织物的散热透湿性能优于皮质材料，阻燃织物材料的防护头罩更适合焊工作业的保护。

3.2.4 其他焊接防护用品

焊接作业涉及的职业危害风险因素包括光辐射、热伤害、机械伤害、噪声、焊接烟尘、有害气体、高处坠落等，焊接作业的防护需要考虑上述风险因素的影响。8 家企业带来了防护鞋产品，1 家企业带来了高处焊接作业的坠落防护用品，6 家厂家展出了耳塞耳罩等听力保护产品，较上届展会略有减少。

噪声是机械加工作业面临的主要职业危害风险因素之一。噪声的健康影响已引起部分企业的高度重视。现场测试数据显示，在焊工耳部附件区域的噪声达92~95dBA，碳弧气刨作业噪声更是高达103dBA。长时间接触高噪声对作业人员的听力带来不利影响，而且还会引发全身性的健康问题。

在保护听力的同时，确保作业人员能够“听”清楚非常重要。Protac III 环境声功能耳罩的声级关联功能启用时，所有组别（不同程度的听力损失）的使用者对语音的识别率都明显提高。当环境声音音量设置在最高档位时，识别率平均提高36%~69%。环境声耳罩非常适合管理人员和其他需要及时沟通人群使用。考虑到与焊接面罩的兼容性，焊工通常选用耳塞。

安全鞋是机加工作业必备的足部防护用品，用于焊接相关作业安全鞋的鞋面应当能防护炙热颗粒，鞋底耐高温且接触高温地面不会影响防滑性能。

由于焊接作业的特殊性，在高处且存在坠落风险的位置进行焊接作业时，焊工需要配置防坠落装备。3M Capital 防坠装备（图33）包括阻燃安全带、带减震装置的安全绳或速差器及锚点连接件，可以满足高处焊接作业的防护需要。



图33 3M Capital 防坠落防护装备

3.2.5 局部烟尘净化和排尘

在职业危害的控制系统中，首先是材料和工艺因素的改善以降低有害物的产出量；其次是工程控制措施；最后才是个人防护装备。防护装备是员工安全和健康的最后一道防线。局部烟尘净化和排尘是焊接车间的重要工程控制措施，通过净化车间空气降低烟尘浓度。

除了局部烟尘净化装置，济南诺斯焊接辅具带吸尘装置的“环保焊枪”（图34），可以从产尘源头降低烟尘扩散。

3.3 焊接作业局部防护的发展新趋势

基于防护用品应用环境的多样性和多变性、作业人员的个体差异、作业人员对防护用品使用舒适度的更高要求、防护用品之间的兼容性需求、防护用品对作



图34 “诺斯”吸尘焊枪

业效率和质量的间接影响，以及经济发展、技术和材料的进步，近年来防护用品呈现新的发展趋势。

（1）自动变光焊接面罩更小的亮态遮光号

更小的亮态遮光号意味着在亮态时允许更多的可见光透过滤光镜，让焊工清晰观察焊接工位，提升焊接效率和质量；同时也用于非焊接作业的防护，实现一机多用，降低防护用品的目录和管理难度。

（2）滤光镜显示色彩的多样化选择方案

由于环境照明和个体感受的差异，自然色彩、冷色调或暖色调的滤光镜（图 35）可以满足不同焊工的需求。相比之前显示绿色的滤光镜或滤光片，一方面利于清晰观察细节，同时降低焊工长时间作业的眼疲劳。



图35 3M G5-01可选色彩的焊接滤光镜

（3）人机工效的改进

在人机系统中，人体各部分尺寸，人的视觉和听觉的正常生理值，人在工作时的姿势和习惯，人体活动范围、动作节奏和速度，劳动条件引起工作疲劳的程度，都将直接影响个体防护装备的设计（图 36）。

（4）焊接面罩的轻量化

对于长时间作业，焊接面罩更小的重量意味着更高的舒适度。改进材料、

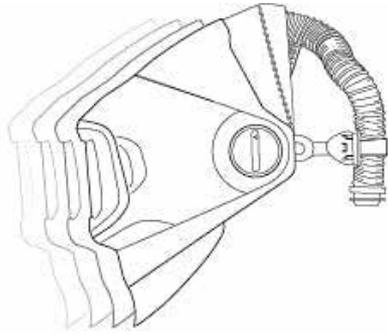


图36 多维度可调节的焊接面罩满足更多人群的需求

结构和生产工艺，有效降低焊接面罩的整体重量是焊接防护用品创新的一个重要方向。

(5) 防护用品的智能化

智能化的防护用品能够给使用者带来极大便利，并减少错误使用的概率。随着技术的进步，带失效指示的滤毒盒、具有寿命指示功能的安全帽、随海拔高度变化、空气密度而自动修正流量的电动送风装置、身体状态监控、运动停止报警及位置发送功能的防护产品，正确穿戴警示和报告功能防护产品，以及关联安全产品(图37)正在走进用户市场。



图37 可通过蓝牙连接监控的焊接滤光镜

(6) 安全互联

智能化的防护系统工作原理见图38。该系统具备通信装置、三维定位功能；作业者身体功能及环境的监控传感器、升降温控制系统（尤其是高温、高湿环境条件下）；当进入高风险区时或

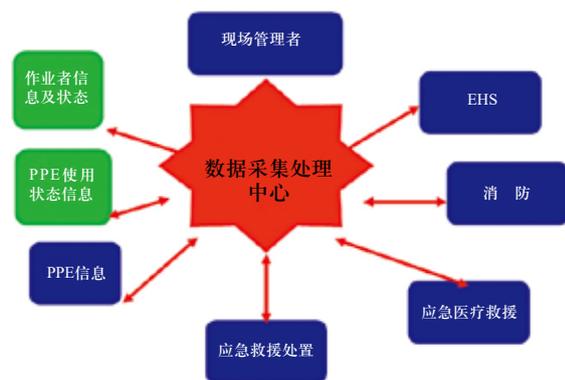


图38 智能化的焊接作业防护系统

作业者处于高风险状态或防护因素不足时，具备主动监控、提醒及信息传递后方及其他作业者功能；可穿戴式防护用品（作业者信息、位置信息、图像声音信息传递）。

(7) 防护用品的个性化

年轻一代作业人员的加入劳动力市场，增加了对防护用品个性化的需求；个性化风格及企业定制化的防护用品、适合女性特点的防护用品越来越收到市场的欢迎。焊接防护用品需要依据细分市场的变化而变化，充分促进企业发展。

4 绿色焊接及其制造技术

国家推行严格的环保政策，绿色焊接及其制造技术显得尤为突出。绿色化焊接是绿色制造的重要支撑和组成部分。绿色焊接的实现，需要绿色的焊接材料、焊接工艺、生产技术与生产装备为保障。焊接材料的无害化设计，可从源头上避免有害物质进入环境；成熟可靠的环保生产工艺，可进一步减少有害物质对环境的影响；应用绿色焊接工艺与装备和绿色环保型焊接材料，可持续减少焊接污染物的产生，并降低总体能源消耗。总之，从消耗品的焊接材料到实施焊接的工装设备，以及生产焊接材料及设备所需的能源消耗，都可进行控制和干预。

4.1 展会概况

近年来，数字化和智能化是比较高的热点。相应产品技术革新进步较大，国产数字化焊接装备在局部领域可与国外主流厂家抗衡。焊材方面，部分国内知名焊材制造及研发企业，在特种焊材领域追赶步伐加快，越来越多的特种焊材实现国产化。部分大中型企业科技创新能力较强，正在以专业化模块化的方式进行行业布局。

随着环保意识逐渐增强，各厂家除了关注焊材和设备生产过程中的污染治理和有害排放，也开始对部分产品进行探索。但是，由于国内法规政策和行业环境等因素，对环保型焊材和绿色设备，各厂家的研究还处于初始起步阶段，没有严格意义的绿色焊材产品专项展示。总结近几年参展情况，绿色焊接相关展品一直不温不火；研究的深度和广度上，钎焊材料可与国外产品相比较；但在熔焊焊接材料和绿色焊接设备方面，与国外差距较大。

4.2 绿色焊接相关展品

4.2.1 钎焊材料

自 20 世纪 90 年代，尤其是 2003 年欧盟发布 RoHS 指令以来，绿色发展理念一直推动着钎焊行业不断进行材料和技术革新。经过十几年的发展，钎焊相关

企业在钎料成分与结构、钎料生产技术与装备、钎焊技术与装备等方面均取得长足的进步，具体体现如下方面：

（1）钎料成分无害化

鉴于镉元素的危害，世界各国均进行无镉钎料开发，其设计思路为在 AgCuZn 基础上添加 Ni、Mn 等元素。如德国开发的 4900 成分为 Ag49Cu16Zn23Ni4.5Mn7.5；美国 AWS 标准钎料 Bag24 成分是 Ag50Cu20Zn28Ni2；我国用于白色家电铜管和不锈钢管钎焊的常见无镉钎料为 Bag30CuZnSn。但该钎料存在流动性差、熔化温度高、润湿性差等缺点。郑州机械研究有限公司针对不同的钎焊接头展出多种无镉钎料，如针对白色家电领域使用的速流无镉钎料 Ag30CuZnSnInP 和针对硬质合金工具的高强韧无镉钎料 Ag50CuZnNiCoB。

针对电子器件等的软钎焊，全世界已开发出超过数百种无铅钎料。近年来，研究者在 SnAgCu 合金中添加 Al_2O_3 、 TiO_2 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 纳米粉或者碳纤维形成无铅复合钎料，这些纳米粉或碳纤维可以降低合金密度和热膨胀系数，细化组织，从而提高接头力学性能。

（2）钎料结构多样化

随着钎焊技术应用领域的逐渐拓展，钎料结构也日益多样化。展会上出现了各种形态的钎料，除传统的片状、丝状、粉状以外，还出现了复合钎料、非晶钎料、预成形钎料等。作为新型复合钎料的代表，药芯钎料满足自动化钎焊的要求，可实现钎剂定位—定温—定时—定量利用。以图 39 无缝药芯铝焊丝为例，该钎料适于铜—铝、铝—铝钎焊，能够减少 75% 的钎剂用量，大大降低钎剂排放污染。

除药芯焊丝外，郑州机械研究有限公司还针对钎缝的特殊要求推出特制的预成形药芯钎料。如图 40 所示的预成形药芯焊环。该钎料预置方便，尺寸与钎缝吻合，材料在润湿铺展过程中流损少；同时形成钎料与钎剂复合结构，可明显降低钎料与钎剂的使用量。

（3）钎料生产精细化

随着有色金属加工技术和装备水平的不断提高，钎料生产组织方式早已摆脱粗放模式，向着精细化方向不断迈进。为更好应对来自国外企业的激烈竞争，国内钎料精细化生产主要表现在高洁净和短流程。



图39 无缝药芯铝焊丝



图40 预成形药芯焊环

洁净熔炼技术主要指真空熔炼或气保护熔炼，二者熔炼气氛不同，但都是密闭体系，与大气隔绝。短流程铸造技术有水平连铸、大铸锭铸造、底漏浇铸技术、连续铸轧技术等。水平连铸设备的中间包与结晶器直接相连，防止二次氧化，提高了钎料合金的清洁度。连续铸轧技术是将金属熔体连续铸造凝固的同时进行轧制变形。其中，轧辊既发挥结晶器的作用，又同时对金属施加变形，大大减少生产工序，降低生产成本。但技术复杂度高，目前仅有很少企业针对部分产品进行了连续铸轧生产。此外，在钎料后处理环节，为了避免酸洗工艺对环境的污染，其替代技术如表面刮削处理和光亮退火处理技术均已应用于钎料生产中。

（4）钎焊过程高效化

针对传统感应钎焊能量密度低、高温区分散、热耗散大、能效低的问题，国内企业开发了导磁体驱流/脉冲加热钎焊技术，实现对钎焊区域的集中快速加热；采用脉冲加热方式，避免感应热冲击导致的过烧。该技术可提高钎焊效率 24%，节约电能 32%，显著改善钎缝质量。

针对炉焊加热效率随温度升高而降低的问题，郑州机械研究所有限公司开发了感应-炉焊复合钎焊技术。在低温区段采用电阻炉加热，高温区段采用感应快速加热，通过压缩高温区时间，抑制钎料离析变质变性，重建物质流，实现工作效率提高 3~6 倍，能耗降低 75%；针对真空钎焊辐射加热升温速率低、降温慢、钎焊周期长的问题，以感应加热取代辐射加热，开发的真空感应钎焊技术可使钎焊作业时间缩短至 60 分钟，能耗降低 30%~50%。

4.2.2 熔焊材料

(1) 实心焊丝

随着国家经济发展方式向可持续发展模式的转化，过去以牺牲环境求发展的经营模式已经快速抛弃；虽然国内众多镀铜实心焊丝生产企业积极响应国家环保政策，进行环保处理升级，以最大幅度的降低生产制造对环境的影响。但由于镀铜工艺等制造工艺自身的原因，并不能从根本上解决这一环保问题。而随着国家相对应的环保政策越来越严厉，相关的环保整治费用将会越来越高，相关生产企业的生存压力势必越来越大。展会针对实心焊丝制造工艺方面有些亮点，见图 41（现场焊丝高速镀铜生产技术展示）。但是，后期具体的生产实际效果有待进一步跟进。



图41 焊丝高速镀铜生产技术

无镀铜实心焊丝已经逐步走向成熟，成为大众化产品。各个厂家从关注产品品种，已经转变为注重产品品质。与往届展会相比，无镀铜焊丝无论从展示厂家数量还是产品质量提升均有很大提高。同时，在无镀铜焊丝的产品种类方面也获得大幅提升。从原来较单一的以气保实心低强度级别焊丝为主转变为不同产品种类、不同强度级别的系列产品结构。

前几年，伊萨公司推出专利——独创的八角形硬纸桶包装形式；神钢也推出连续筒产品；林肯推出的 Gem-Pak 是一个严格控制绕丝过程的桶装，承诺无缠丝，更低飞溅，更少送丝管和导电嘴的更换。展会也有类似的系统出现，SG 方形桶装和与机器人结合的 Sidergas 桶丝包装技术（图 42）。总之，包装技术的进步都是围绕高效做工作。

(2) 药芯焊丝

对于药芯焊丝，大幅度降低焊接烟尘量和飞溅量，是改善焊接环境最为实用的方式，也是药芯焊丝从调整角度可实现程度最高的方式。如日本神钢开发成功的 DW-Z5（二氧化钛型）系列药芯焊丝，烟尘和飞溅量分别比原来 DW 焊丝约低 20% 和 35%（图 43），机械性能见表 2。国内厂家也强调低烟尘低飞溅，如北京金威开发的系列低烟尘低飞溅不锈钢药芯焊丝，但是并无相对数据作为支撑。



图42 Sidergas桶丝技术

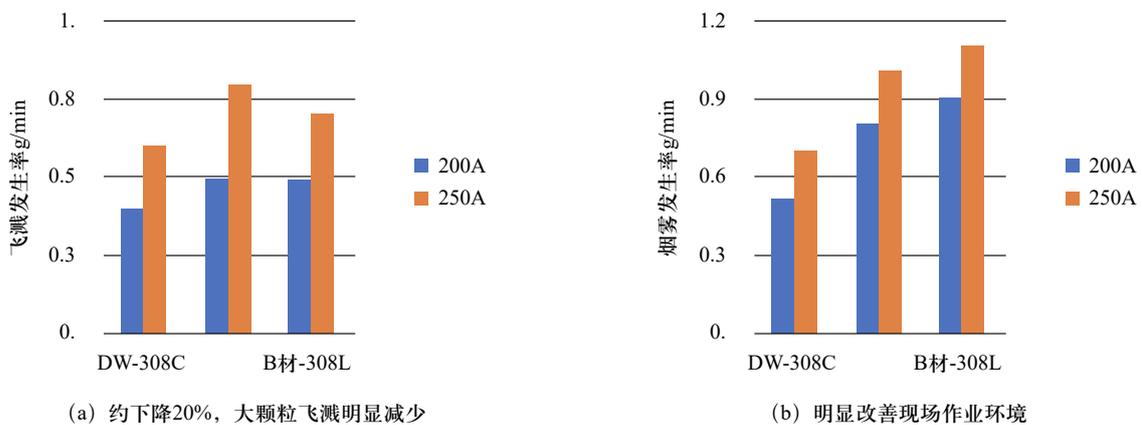


图43 神钢产品

表2 神钢DW-Z5（二氧化钛型）系列药芯焊丝的机械性能

牌 号	熔覆金属机械性能			冲击试验	
	0.2%PS (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	试验温度	Av (J)
DW-308LC	424	621	37	-40	43
				-20	44
DW-309LC	427	562	38	-40	38
				-20	40
DW-316LC	391	532	44	-40	42
				-20	45

无缝药芯焊丝经过这几年发展，研究深度和品种系列都有较大提高。日本新日铁的无缝药芯焊丝见图 44。但其也有不足之处，制造工艺复杂，生产成本较高。因此，仅用于对韧性有特别严格要求的结构上，用量有限。



图44 新日铁的无缝药芯焊丝

(3) 焊接设备与工艺

焊丝拉拔设备在节能降耗方面也有新型的技术展示。目前，在焊材制造行业普遍采用以变频电机为代表的拉拔设备，因其需要通过变速箱等配套装备进行传动，增加能源损耗。而伺服直驱电机则可降低维修成本，降低能耗约 20%。

4.3 发展趋势

近年来，绿色高效焊接技术不断涌现，主要特点是高效率、节能节材、低排放。代表性技术有高能束焊（激光、电子束、离子束）、超声波焊、搅拌摩擦焊和 CMT 焊等（见图 45）。上述设备和技术，有些已与智能化相结合，比如 CMT 技术，大规模推向行业市场。但展会上相关展品少，且技术和设备价格有待进一

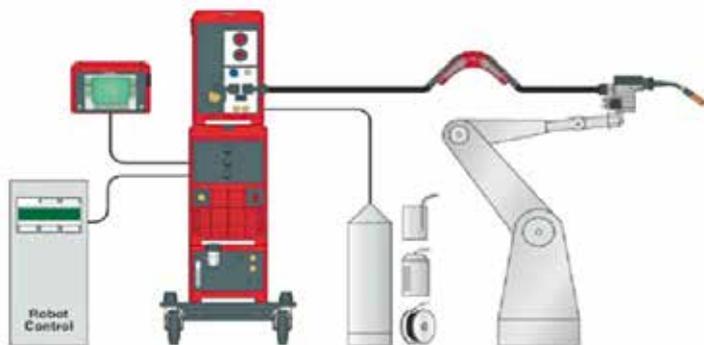


图45 CMT技术与机器人系统的结合

步低廉。应提高其性价比和适应性，以期在工业生产中推广应用。相比较，国外一些传统的焊接材料和焊接设备制造厂已经开始向高端技术进军。国内水平仍有一定差距。

随着我国制造业整体技术水平的提高，智能化焊机的应用比例快速增长，未来市场需求广阔。通过将数字化焊机与智能控制技术融合，形成基于数字化焊接电源的焊接机器人系统。同时，具备绿色化和智能化特征，有望成为焊接机器人发展方向。近几年的展会明显看出，机器人概念逐渐强化，加上高速脉冲和新型逆变技术的涌现，在绿色焊接技术和设备方面，有良好前景。

5 焊材绿色生产装备

随着国家对节能环保、节能减排的重视力度逐渐加大，发展循环经济，倡导绿色制造势在必行。国内焊材企业逐步加大环保投入，节能减排生产提升到新高度。经过对焊丝生产设备的深入研究，有效达到节能环保的目标。设备经过一系列改进达到在原有生产设备的基础上节约能源 20%、减少设备占地 50%、节约维修成本 40%。焊丝前处理采用砂带除锈。由于机械除锈技术的快速进步，实现了稳定控制线材表面的粗糙度，保障携带润滑粉的数量。部分企业实现盘条表面处理的免涂硼工艺。完全去除硼的有害影响。

展会推出了焊丝高速镀铜一体生产线，放线 + 预处理 + 6/560 + 7/450 + 1/450 + 镀铜 + 收线可在一条线上生产 1.2mm、1.0mm、0.8mm 焊丝。并创新性地使用直驱电机取代传统伺服电机，见图 46。设备及工艺进一步简化，降低运营成本。高速镀铜焊丝工艺：放线、剥壳、机械除锈、清洗、拉拔。去掉酸洗、烘干，实

现节能减排。拉拔后的焊丝经表面清洗后进入镀槽（镀槽只有水介质且不排放，可循环使用）。焊丝从镀槽出来，经抛光后在工字轮完成收线。新工艺的特点是 无酸洗、无碱洗、无涂硼，拉丝机采用具有自主知识产权的永磁电机驱动卷筒拉拔，节能环保。从 5.5mm 拉拔到 1.24mm，拉丝机电耗 170 度 / 吨；另一特点是电、化镀工艺的结合，镀铜部分槽体长度仅 3m，线速达到 25m~28m/s。镀铜工艺减少水消耗、废水利用、达标排放，进一步实现绿色生产。经初步核算，高速镀铜一体机具有以下优势，见表 3。

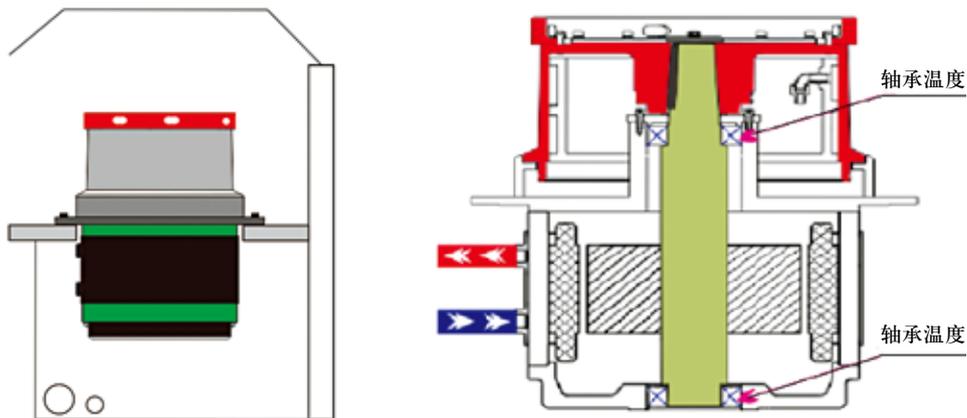


图46 直驱电机拉丝罐

表3 高速镀铜一体机节能降耗优势

类别	指标	说明
电耗	210~220度/吨	Φ1.2mm焊丝（镀铜后收至Φ800mm大工字轮上），未含气源、制冷机、吸尘机以及卷筒供水
水耗	200~300kg/吨	—
用气	6.34~7.0m ³ /min	压力不低于4kg/cm ²
制冷	制冷机功率6.0kW	用于永磁电机的冷却
用人	2人操作，2条线，1万吨产量	比传统工艺减少75%
占地	占地70m×8m	厂房减少60%（1m ² 年产量8吨，含材料库、成品库）

此外，焊材生产大量采用绿色工艺，如蒸气、天然气、电、太阳能等清洁能源。淘汰燃煤锅炉，用电或天然气代替煤炭。部分厂家利用太阳能、地热作为辅助热源。天津大桥集团利用 22.9 万 m² 屋顶，铺设了 68 434 块光伏组件（图 47），光伏发



图47 屋顶光伏设备

电装机容量 17.76MW，采用“自发自用、余电上网”模式，解决厂内 20% 用电量。我国焊材生产企业在绿色生产、智能制造方面已经迈出可喜的一步。

6 绿色焊接工程实例

6.1 实心焊丝免酸洗处理技术

实心焊丝采用酸洗除锈会产生大量酸液。酸性废液处理费用高，并对环境造成污染。天津大桥焊材集团有限公司以焊材绿色制造为目标，摒弃传统酸洗除锈工艺，开发实心焊丝机械剥壳、机械除锈设备及生产工艺，实现了实心焊丝免酸洗绿色生产。

随着实心自动焊应用日益广泛，对焊丝送丝稳定性提出更高要求。由于盘条氧化皮前处理效果直接影响成品焊丝的送丝稳定性，天津大桥与钢厂紧密合作，严格控制盘条氧化皮的结构、组成、厚度等关键指标，保证送丝阻力低、送丝稳定，完全满足下游行业自动化焊接及超规范焊接的需求（图 48、图 49、图 50）。



图48 机械剥壳设备



图49 机械除锈设备

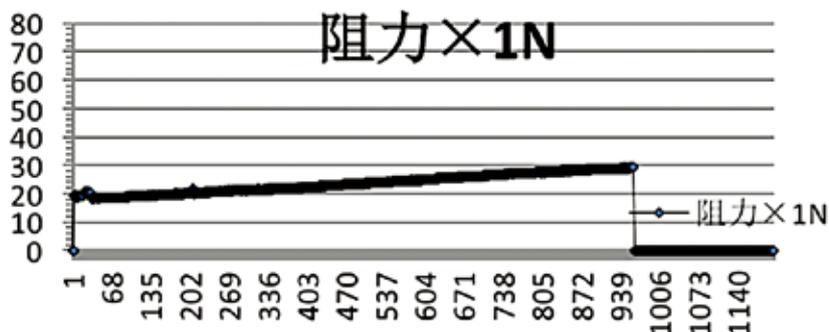


图50 送丝阻力测试结果

6.2 焊条烘焙炉能源梯级利用

焊条烘焙能源消耗大，而且烘焙效果直接影响焊条稳定性。为了有效利用能源，天津大桥焊材集团有限公司采取焊条烘焙炉能源梯级利用技术，将高温区余热用于加热低温区及新吸入的冷空气，大幅提高能源利用率，每年可降低烘焙能源消耗 30%。目前，天津大桥正在开展烘焙设备的智能化改造，随着焊条生产智能化的推进，统筹协调生产节奏与能源消耗，可提升能源的利用率，见图 51。



图51 焊条烘烤炉

7 建议和展望

(1) 随着国家对节能环保、节能减排的重视力度逐渐加大，发展循环经济，倡导绿色制造势在必行。国内焊材企业逐步加大环保投入，节能减排生产提升到新高度，经过对焊丝材料及生产设备的深入研究，有效达到节能环保的目标。

目前，国内现有的法规政策及相匹配的行业环境，对绿色焊接及其制造技术要求不高；有些虽有要求，但很难落实。国内的科研院所和企业对相关产品的参与度也不高，基本处于在其他研究的基础上顺手做些工作。同时，焊接材料国家标准及试验检验方法标准虽已按相应国际标准及国外先进标准建立了较为完整的标准体系，但没有对焊接材料的制备稳定性、工艺适应性、产品一致性、绿色环保性等建立一个系统的焊接材料质量评价方法，以适应机器人、自动化焊接要求，

满足新钢种、新工艺、新技术的高端优质、高效、绿色需求。因此，无论是国家高端装备制造业支撑，还是行业发展需求，都迫切需要通过制定一套完整、系统的质量评价方法，开展科学、准确的评价，不断推动焊接材料行业的产品质量提升和技术进步，提升国产化配套能力。

(2) 整体和个人防护水平逐年进步很大，但对焊接相关作业人员的教育仍需进一步加强。焊接安全教育要从作业安全扩展到健康。建议在未来的展会中增设“焊接安全与健康教育”板块，同时推进在高校、职业技术学院和大型企业培训中心的焊接安全与健康教育进程。

(3) 建议行业协会和国家焊材中心在现有标准技术要求基础上，开展特性技术指标、工艺指标、绿色指标和管理指标评价。同时，针对国家高端装备制造业的实际需求，提出质量评价技术的新思路，形成新的评价技术内容和指标，以满足不断增长的高端优质、绿色、高效等焊接材料的质量检验和评定需求，填补焊接材料标准体系中评价标准领域的空白。

焊接专利与科技成果展示区

根据北京·埃森焊接与切割展览会组委会安排，焊接专利与科技成果展示区部分由中国焊接协会秘书处组织行业内专家撰写。编撰工作由中国焊接协会秘书长李连胜和秘书李爱民、方乃文、宋南，中国机械工程学会焊接分会副秘书长黄彩艳，焊接杂志社副社长张汇文负责，并得到宋天虎、龙伟民、秦国梁、马佳、邱光、耿正、梁裕、陈建武、霍树斌、杨战利、张春波、孙谦、王智新、焦怀志、李振建、张健、许立宝、李志提、杨敬雷、白昶、贾兴旺、白建斌等多位业内专家、企业领导、专业技术人员的积极配合与大力支持。本部分集中介绍此次展会专利成果展示项目及2016年~2018年以来中国焊接专利与科技成果申请与发布的部分统计数据，以便广大用户了解我国焊接行业专利成果的总体发展态势，以期推动我国焊接专利成果的应用转化和提高关键技术的自主创新水平。

1 引言

“十三五”开局以来，焊接智能化制造、工业互联网、行业大数据已成为当前焊接产业发展的主题。产业结构正向数字化、网络化、智能化方向发展，绿色、高效、节能是当代焊接人不懈的追求。为了加快我国焊接产业转型速度和提高焊接技术自主创新能力，向企业、大学、科研院所和焊接同仁提供一个展示焊接专利和推广科技成果的舞台，更好地为广大展商及协会会员服务；中国焊接协会、中国机械工程学会焊接分会决定，在第24届北京·埃森焊接与切割展览会期间，继续设立展会增值服务项目“焊接专利与科技成果展示区”。

2 焊接专利与科技成果展示

2019年3~6月，第24届北京·埃森展焊接专利与科技成果展示区共征集焊接专利与科技鉴定成果33项，《焊接科技成果汇编》收录27项焊接专利及成果。展会现场展示专利及科技成果33项。

2.1 焊接专利

用于核级高压汽缸的不锈钢电焊条及其制备方法：本专利为四川大西洋焊接材料股份有限公司所有。该焊条焊接熔敷金属化学成分分析、射线

检测、拉伸试验、均满足核电的特殊要求，焊接熔敷金属在热处理状态下（ $680^{\circ}\text{C} \times 10\text{h}$ 或 $750^{\circ}\text{C} \times 1\text{h}$ ），常温条件下的抗拉强度(R_m) $\geq 620\text{MPa}$ 、屈服强度($R_{p0.2}$) $\geq 450\text{MPa}$ 、延伸率(A) $\geq 15\%$ ，尤其是（ $+20^{\circ}\text{C}$ ）冲击功（ A_{kv} ）能达到70J，满足CAP1400核电汽轮机动力装置高压汽缸的焊接要求。焊接时药皮不易发红开裂，焊条剩余部分短，脱渣容易，具有较好的焊接工艺性。该焊条也适用于焊接12%Cr马氏体不锈钢锻件和铸件，如工业炉部件、加氢裂解炉、蒸馏设备、汽轮机部件等，也可用于耐蚀、耐磨的表面堆焊。

一种蒸汽温度 630°C 超超临界火电机组用钢的埋弧焊剂及其制备方法：本专利为四川大西洋焊接材料股份有限公司所有。该焊丝焊剂组合熔敷的成分特点为9Cr-3W-3Co，与传统的T/P92焊材相比，具有更高的使用温度和许用应力，在 $630\sim 650^{\circ}\text{C}$ 蒸气温度锅炉中具有广阔的应用前景。本专利的焊剂焊接时焊接工艺性能良好，电弧稳定，脱渣性好，焊缝成形美观。焊丝焊剂组合，在 $760^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$ 分别保温2、4、6小时情况下其熔敷金属力学性能满足如下要求：室温抗拉强度 $R_m \geq 680\text{MPa}$ ，室温屈服强度 $R_{p0.2} \geq 540\text{MPa}$ ，室温伸长率 $A \geq 17\%$ ， 20°C 冲击功 $KV_2 \geq 27\text{J}$ 。焊剂适用于蒸气参数 $630\sim 650^{\circ}\text{C}$ 的超超临界锅炉用钢的焊接，与母材钢种具有相近的强度、韧性和高温性能。超超临界焊剂外包装和焊剂粒度见图1、图2。



图1 超超临界焊剂外包装



图2 超超临界焊剂粒度

免涂装桥梁钢用耐候药芯焊丝及其制备方法：本专利为四川大西洋焊接材料股份有限公司所有。为了解决普通钢制桥梁在自然环境下，油漆容易受强紫外

线、温度、湿度、降水、风速等影响老化而需要多次重新涂装维护的问题，钢厂研发出外表面会自动形成免维护、致密稳定的氧化保护层，起到长期防大气腐蚀的免涂装桥梁钢。为了匹配免涂装钢的焊接，研制了免涂装桥梁钢专用配套药芯焊丝CHT71NHQ，适用于免涂装桥梁钢Q370qENH钢的焊接。该焊丝具有诸多特点，优良的操作性能和 -40°C 低温冲击韧性，耐腐蚀指数I达到6.8，广泛用于国内免涂装钢桥的建设。目前，已在国内多座桥梁中应用。

长输管线自动化焊材：本专利为天津市金桥焊材集团有限公司所有。针对长输管线全自动焊接的发展趋势，研发了长输管线自动化焊材。其中，金属粉芯气保护药芯焊丝和富氩气保护药芯焊丝已成功用于漠大二线管道工程的全自动焊接，取得双检：AUT+射线探伤，一次性合格率98%的好成绩。其自主研发的实心焊丝已经成功用于中俄东线



图3 “中俄东线”焊接

全自动焊接（图3）。金属粉型药芯焊丝熔敷效率高，焊接飞溅少，熔渣少，抗气孔性好，其中JQ·YJ621K2-1Q已用于沪通大桥Q500QE的焊接。气电立焊药芯焊丝JQ·YJL50G、JQ·YJL60G在厚度35mm以下钢板立焊位置对接可一次焊接成型，焊接效率高。产品通过石油工程协会鉴定为达到国际先进水平。其中JQ.YJL60G配合12MnNiVR通过合肥通用所进行了工艺评定系列试验，脆性转变温度为 -61°C ，NDTT温度达到 -50°C ，焊缝金属止裂性能良好。

铝及铝合金焊丝：本专利为天津市金桥焊材集团有限公司所有。采用最优的生产工艺及高品质的焊材原料，开发及生产1系、4系、5系等的铝及铝合金焊材；亦可以做全品类铝焊材定制，涉及熔化极惰性气体保护焊、非熔化极惰性气体保护焊。已经应用于集装箱、汽车、电力、机电、自行车等行业（图4、图5）。

硬面堆焊药芯焊丝：本专利为天津市金桥焊材集团有限公司所有。针对不同客户的技术需求，不断优化焊丝渣系及合金元素的种类和含量，相继开发包括焊条、药芯焊丝、焊剂等堆焊产品。可用于堆焊制造及修复磨粒磨损、金属间磨损、摩擦、腐蚀、高温氧化等恶劣工况下的设备和构件。产品种类涵盖合金铸铁系堆焊金属（马氏体合金铸铁型、高铬合金铸铁型）、合金耐磨钢系堆焊金属



图4 自行车厂应用

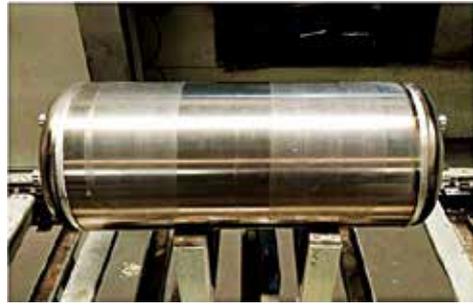


图5 一汽配套厂应用

(Cr2型、Cr5型、Cr9型、Cr13型)、高锰钢系堆焊金属(高锰钢型、铬锰奥氏体型);产品广泛应用于钢铁冶金、水泥制造、火力发电、采矿挖掘、模具、铁路等行业易磨损部件的堆焊制造修复。

一种50公斤级全位置焊耐火耐候钢药芯焊丝:本专利为天津大桥焊材集团有限公司所有。焊丝外皮由优质超低碳冷轧钢带制成,药芯的主要成分重量组成为:TiO₂为25%~40%,硅铝酸盐5%~15%,铝酸盐2%~8%,锆酸盐2%~10%,氟化物1.5%~4%,碳酸盐1%~4%。通过药芯药粉向熔敷金属过渡适量的钼、铜及其他合金元素,使焊缝金属得到良好的耐火耐候性能。本专利适用于500MPa级耐火、耐候建筑用钢的焊接,如LWFR490耐火、耐候钢结构的焊接。600℃×1h高温拉伸试验,屈服强度大于230MPa,延伸率大于25%;在模拟工业大气的特定环境下,熔敷金属耐腐蚀性能优异。

一种80公斤级超低温高强钢焊条及其制备方法:本专利为天津大桥焊材集团有限公司所有。本专利提供一种满足低温环境下抗拉强度在780MPa以上的超低温高强钢焊条,适用于相应强度等级低温设备以及在寒冷条件下重要钢结构的焊接。焊条内部焊芯由H08E盘条经拉拔制成,表层药皮主要成分重量组成为:大理石30%~40%,萤石25%~35%,硅灰石2%~5%,电解锰5%~8%,硅铁5%~8%,金红石7%~10%,钛铁2%~5%,CMC 0.4%~0.8%,镍粉4%~8%,钼铁2%~4%。将上述药粉搅拌混合均匀后,加入浓度为40%~45%钾钠水玻璃混合均匀后置于压涂机内使其包于焊芯上,使用焊条烘干炉分低温50℃~90℃、中温90℃~150℃、高温350℃~400℃三个阶段烘干,制成成品焊条。焊接熔敷金属在焊态下具有优良的力学性能,在保证抗拉强度大于780MPa的前提下,-80℃冲击功仍能保证在70J以上。焊接成形美观,飞溅小,电弧稳

定。本专利适用于焊接相应强度等级的低合金钢重要结构，如水电站下降管、压力容器、桥梁、海洋工程等，尤其适用于在低温设备及寒冷地区等条件下重要结构的焊接。

激光焊接熔透在线检测方法：本专利为哈尔滨焊接研究院有限公司所有。依据激光焊接熔透变化时的特殊状态特征，通过对常规光学混合信号，依次采用特殊谱段信号分离、特定焊接区域信号分离、焊接缺陷概率分布特征信号分离三种处理方法，有效去除混合信号中的剧烈干扰，将可靠的焊接熔透特征信息逐层简化、分离，解决激光焊接时检测信号内混合信息数量多、时域及频域变化复杂、信号波动剧烈、焊接熔透特征信息难以有效分离的技术难题，实现对激光焊接熔透的准确在线识别。

一种直焊道侧向力跟踪装置：本专利为哈尔滨焊接研究院有限公司所有。近年来，冶金复合管由于其巨大的利润空间，受到国内外焊管企业热捧。国内焊管企业开始兴建冶金复合管生产线。由于冶金复合管的内焊部分为基管焊接和覆管焊接，必须采用多层多道方式。为了提高生产效率，40mm以上的厚壁直缝埋弧焊管，内焊也最好采用多层多道方式，刀轮跟踪方式无法实施。如没有可靠的跟踪方式，上述钢管无法高质量地可靠生产。为了解决冶金复合管和厚板直缝埋弧焊管多层多道内焊跟踪困难的问题，本专利提出一种直焊道侧向力跟踪装置及跟踪方法（图6）。

本专利研发的装置包括随动跟踪机构1、八字跟踪轮电动升降机构2、过渡连接板和焊枪调节机构3。本发明还提供基于该装置的具有侧向力自动跟踪功能和电

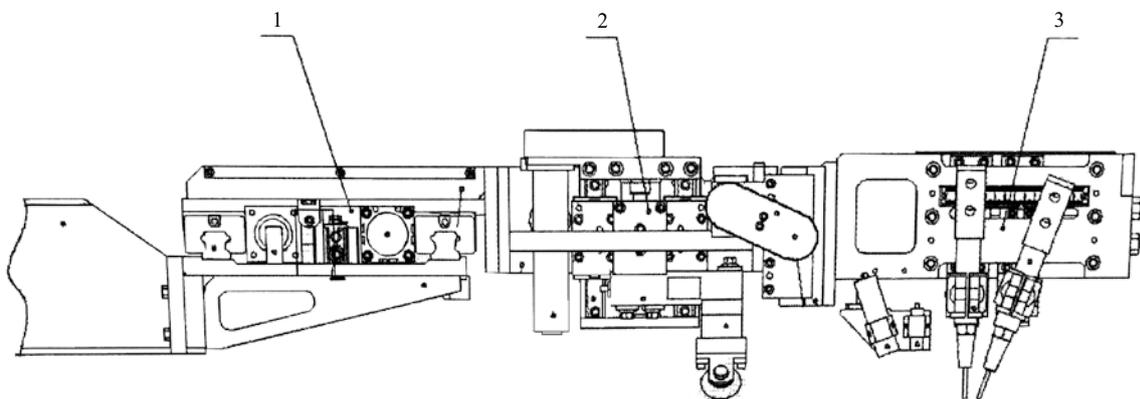


图6 一种直焊道侧向力跟踪装置的侧视图

动纠偏功能以及侧向力跟踪的新方法。本发明的直焊道侧向力跟踪装置及该装置的跟踪方法在直缝管车间冶金复合管内覆层焊接工序以及40mm以上的厚壁直缝埋弧焊管焊接中使用，可以实现焊缝的高质量跟踪，满足冶金复合管和厚板直缝埋弧焊管的正常生产需求。

一种药皮钎料：本专利为郑州机械研究所有限公司所有。本专利涉及一种钎剂用粘结体系，钎料用涂料组合物及药皮钎料，属于药皮钎料领域。该钎剂用粘结体系包括主剂和固化剂；主剂由以下重量份的组分组成：环氧树脂18~23份，聚硫橡胶15~20份，邻苯二甲酸二丁酯7~14份，稀释剂3~8份；固化剂由以下质量百分比的组分组成：二乙烯三胺70%~80%，邻苯二甲酸酐20%~30%。提供的钎料用粘结体系，由环氧树脂、聚硫橡胶等组分组成，加入钎剂后混合均匀即可用于钎料表面制备防潮防脱落药皮。该药皮与钎料内芯的结合力好，可起到良好的防潮防脱落效果；经该涂料组合物固化制备的钎料药皮中，有机物含量低且在钎焊温度下可完全分解，残留物少，对钎焊过程影响小（图7）。



图7 药皮焊条和药皮焊环

一种PDC与硬质合金的连接方法：本专利为郑州机械研究所有限公司所有。本方法首先对PDC和硬质合金的被连接面进行改性，使PDC和硬质合金的被连接面形成一层镀镍层。之后采用AgCu共晶钎料进行低温真空钎焊连接。该方法利用AgCu钎料熔化温度低，AgCuNi钎料对硬质合金有良好湿润性的优点，在AgCu钎料的焊接温度下，形成连接硬质合金的性能优良的AgCuNi成分的接缝区，实现在较低温度下焊接PDC，保证PCD部分的性能不受损伤。该方法具有钎焊和扩散焊的优点，连接过程中不用钎剂，无钎剂残留，钎着率高；经保温扩散后，连接强度足以满足接长后的PDC使用。同时，该方法工艺简单、生产周期短、制造成本低、能实现批量生产，实用效果好，便于推广应用（图8）。

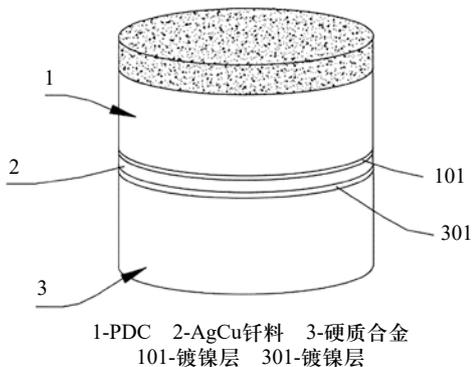


图8 PDC与硬质合金的连接方法示意图

一种耐热耐磨药芯焊丝：本专利为郑州机械研究所有限公司所有。耐热耐磨药芯焊丝通过添加纳米级石墨烯、纳米级稀土元素和纳米级碳化铬等组分，通过优化组分合理范围，能获得组织均匀的微观组织，并且能获得具有良好高温回火稳定性的堆焊层。在高温工况下使用状况良好，部分代替了较为昂贵的钴基和镍基耐热耐磨材料。纳米级石墨烯表面原子具有极高的化学活性，这使得在金属熔体中比石墨更易扩散，提高其分布均匀性；纳米级稀土氧化物颗粒，具有细化晶粒的作用；纳米级碳化铬可起到非自发形核的作用。此外，本专利中焊丝药芯粉中添加Ni、W、Cr等多种合金元素，在堆焊金属中形成稳定性极高的含W、Nb、B和Mo等合金元素的碳化物。同时，基体中也含有较高的合金元素。其优点为生产成本低，能够获得耐热耐磨性能优异的熔敷金属，操作方便适用性强，有利于自动化焊接工艺的推广应用（图9）。



图9 耐磨药芯焊丝

药芯银钎料及其制备方法：本专利为郑州机械研究所有限公司所有。传统钎焊钎剂、钎料独立添加，难以实现自动化钎焊，且腐蚀性钎剂用量大，污染环境。药芯银钎料将钎料/钎剂按固定比例复合为一体，钎剂用量可降到最低，解决了上述难题。本专利公开了一种螺旋缝形态的药芯银钎料及其制备方法。通过旋转卷制工艺，将焊带制成具有螺旋搭接缝特征的管状结构，实现药芯焊丝应力的整体平衡，提升了药芯银焊丝挺度，利于钎焊过程中自动送丝；通过螺旋缝的自旋紧作用，解决了传统药芯钎料在存储及运输过程中钎剂吸潮、漏粉的问题。本发明制备流程短、不加热，无需大型设备和复杂模具，效率高、成本低；单套设备可用于厚度为0.1~0.8mm、宽度为3.0~26.0mm、含银量为1.5%~65%的薄带制备药芯银钎料，适宜于钎料行业柔性生产模式，实现高品质药芯银钎料国产化（图10）。该专利荣获2019年第二十一届中国专利优秀奖。



图10 药芯银钎料

一种锻打绞股焊丝：本专利为江苏联捷焊业科技有限公司所有。一种针对多股绞合焊丝的表面处理工艺的

专利。其原理是通过旋转锻压、辊压等方式使多股绞合焊丝表面呈现出整体的圆柱形态，在保持多股绞合焊丝原有优势的基础上，提高焊丝的性能稳定性和可操作性。此项工艺使得锻打后的多股绞合焊丝具有如下特点：降低单丝线径控制精度，降低焊丝线径控制难度和成本；有利于焊丝的密排，提高层绕效率；改善焊丝与导电嘴间的电接触条件；减小焊丝与导电嘴间的摩擦力；提高焊丝挺度，提升送丝稳定性；实现焊接过程电弧的集中和稳定，提升焊接效果（图11）。

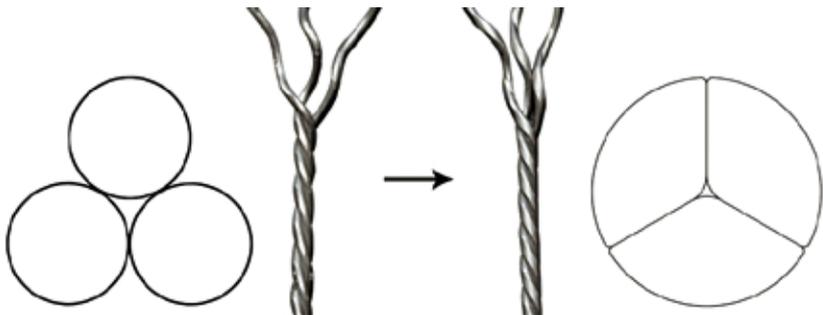


图11 绞股焊丝锻打前后实物及截面示意图

装甲用不锈钢多股绞合焊丝：本专利为江苏联捷焊业科技有限公司所有。多股绞合焊丝具有“控形和控性”的优势：控形—采用不同直径或数量的单丝组合，实现对熔深、熔宽及熔敷率的调控；控性—采用不同成分和数量的单丝组合，实现焊接接头性能的精量优化。通过优化绞股结构及焊丝成分开发出装甲用不锈钢多股绞合焊丝。同时，由于多股绞合焊丝的电弧具有自旋转效应，带动熔池旋转和扰动，有利于熔池内部气体的逸出、氧化夹渣的排出，有利于焊缝组织的细化和成分均匀化，进而提高焊接接头的质量。本专利已应用于实际生产，有效解决高氮装甲钢的焊接气孔问题，在提升焊接质量的同时也提高了焊接效率（图12、图13）。



图12 绞股焊丝机器人自动焊接高氮钢



图13 绞股焊丝手工氩弧焊接高氮钢

镍基带极埋弧焊用烧结焊剂：本专利为北京金威焊材有限公司所有。本专利为一种镍基带极埋弧焊用烧结焊剂，主要配合镍基焊带在服役条件苛刻的大型容器内壁堆焊使用。此镍基带极埋弧焊用烧结焊剂采用合理渣系，优化渣系中各组分的添加量，良好调整熔渣的黏度、透气性、表面张力和流动性，焊接工艺性能优良。其堆焊过程稳定，热脱渣性能好，焊道成型美观，搭接处平整度好（图14），并且工艺参数适应范围广。其配合镍基合金焊带在较宽的焊接工艺参数范围内都能保持稳定的堆焊过程和优良的焊接工艺性能（图15）。

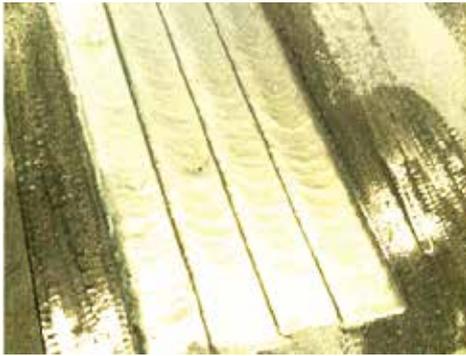


图14 镍基带极埋弧焊道图



图15 镍基带极埋弧现场焊接图

镍基合金用的药芯焊丝：本专利为北京金威焊材有限公司所有。本专利为一种镍铬铂系镍基合金用的药芯焊丝。该种焊丝在现代工业技术下苛刻的介质环境（多种性质介质共存、高温高压、高辐射等）更大的通用性，应用于如离岸钻井平台，陆基或船基燃汽轮机，各种航天、航空发动机的高温燃烧室、核电以及石油精炼及各种化工设备等。该药芯焊丝产品用于焊接镍基合金特别是镍铬铂系合金的特殊用不锈钢，其焊缝金属的耐高温、抗氧化、耐腐蚀性能强，具有良好的抗裂性，焊接效率高，焊接性能好，可提高焊缝接头的高温持久性能，从而延长焊件使用寿命。该药芯焊丝适用多种焊接保护气体，如适用于100%CO₂气体、80%Ar+20%CO₂混合气体、100%Ar气体以及加入少量惰性气体的富氢气体等。在使用不同焊接保护气体的情况下，焊接所形成的焊缝金属均具有良好性能，满足工件使用条件。焊丝剖面结构见图16。

一种切割超大厚度2000mm~3500mm低碳和低合金钢锭的割炬：本专利为哈尔滨焊接研究院有限公司所有。本专利技术涉及的2000mm~3500mm切割技

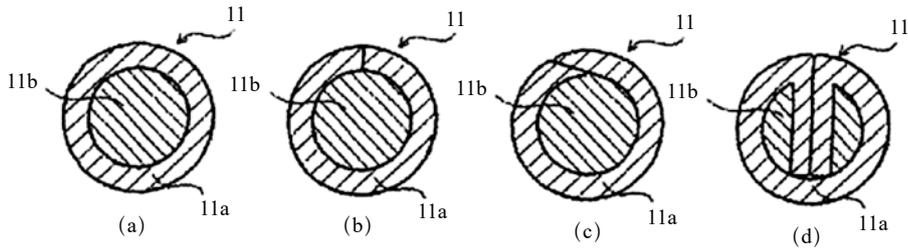


图16 焊丝剖面结构

术和设备在几大重型行业应用效果良好。目前，已经确定可以应用的范围有核电 AP1000核电低压转子、1000MW核电蒸发器椎体锻件、645kW~2.5MW风力发电主轴、国产大型立磨减速机外壳、大型十字轴式万向接轴等国内制造的大型装备及其部件。解决了大型核电、火电、煤化工、重型容器、舰船等大型铸锻件高效优质火焰切割的技术瓶颈问题。该产品的研发和应用，将我国在大型铸锻件切割领域的技术能力提升至3.5米，实现重大技术突破，填补国内空白，大幅度提升我国超大厚度切割技术装备的水平和制造能力（图17）。2016年获得“中国机械工业科学技术奖”二等奖，2019年获得中国专利优秀奖。



图17 超大厚度钢锭火焰切割设备生产应用

列置双TIG电弧低热输入高速焊接技术：本专利为山东大学所有。针对薄壁不锈钢管高效焊接生产、基于咬边和驼峰焊道形成机理的研究，发明的双TIG电弧高速低热输入焊接技术原理如图18所示。该技术采用独立电源分别供电、共处于同一熔池、前后列置且分工明确的两TIG电弧间存在一定距离且相互独立、不发生电弧耦

合，其本质是复合电弧一次焊接。位于前面的主TIG电弧产生足够的熔深，确保焊缝焊透并保证钢管内表面焊缝良好成形；辅助TIG电弧在主TIG焊接熔池后部加热，在延长熔池存在时间、为液态金属回流和向两侧铺展提供时间的同时，其向前的作用力对堆积的熔池金属具有较强的推动作用，不仅抑制液态金属后向流动，还促进其回流填充熔池凹陷，将驼峰焊道和咬边的形成抑制在萌芽状态，保证高速TIG焊接过程中形成成形良好的焊缝。采用本技术生产 $\Phi 42 \times 1.5\text{mm}$ 和 $\Phi 48 \times 1.2\text{mm}$ 两种规格的409L铁素体管可以分别提高焊接生产速度141%和240%、降低生产能耗20%以上。提速降耗效果显著，焊缝成形良好，且钢管性能不低于传统单TIG焊接工艺生产的焊管，如图19所示。本专利技术在单TIG焊管生产线上通过加装专门焊接机头和加配一台TIG焊接电源即可实现，焊接效率提高一倍以上。具有投资小、见效快、成本低的显著特点，尤其适合中小企业技术改造升级。

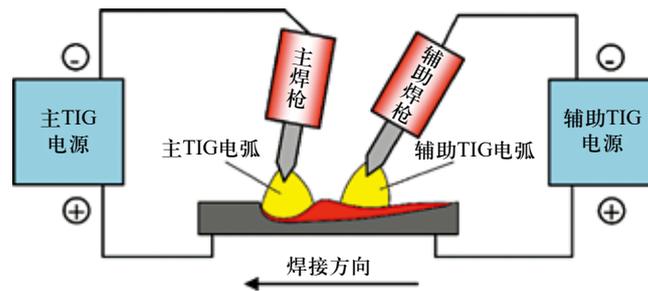
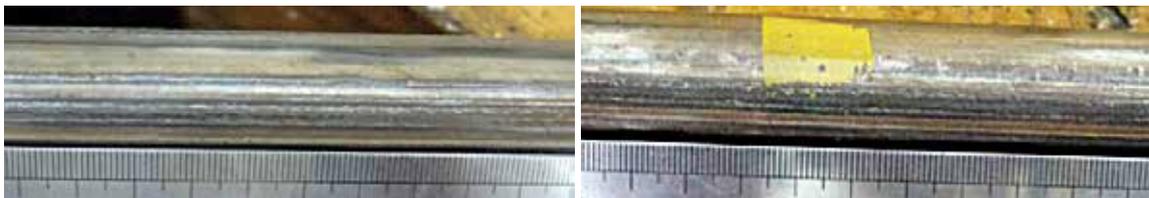


图18 列置双TIG电弧高速焊接工艺原理



(a) $\Phi 42\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ($v=3.2\text{m/min}$)

(b) $\Phi 48\text{mm} \times 1.2\text{mm}$ ($v=5.1\text{m/min}$)

图19 409L不锈钢管双TIG高速焊接焊缝表面成形

基于AVR单片机的电弧焊精确熔滴短路过渡控制电路：该专利为深圳市佳士科技股份有限公司所有。基于AVR单片机研制的精确熔滴短路过渡控制电路，能根据设置的焊接条件（如被焊材料、焊丝类型和规格、保护气成分、焊接电流、弧长等）信息，利用科学算法计算出熔滴短路过渡各阶段的最佳电流波形。焊接

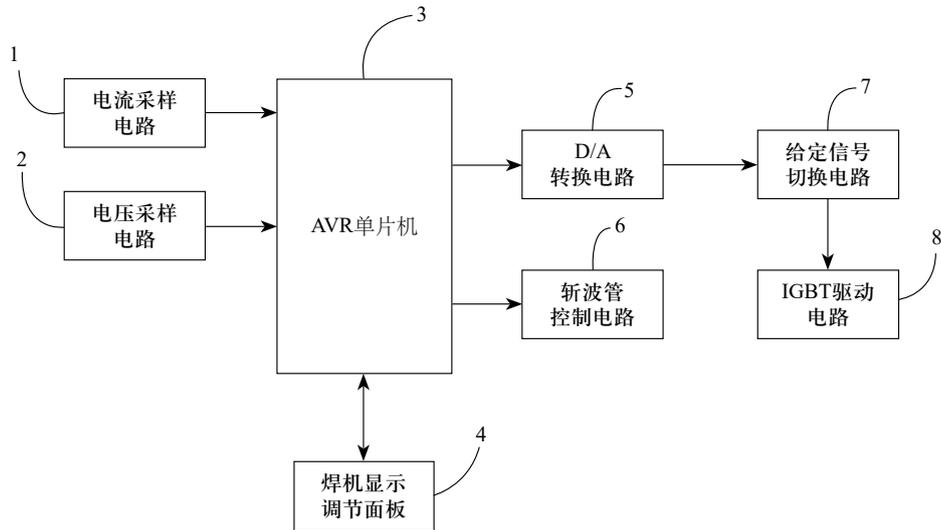


图20 基于AVR单片机研制焊机控制原理框图

时利用传感器电子电路对焊接电流、焊接电压实时采样（图20中的1和2），将信号量及时输送AVR（图20中3）。AVR根据焊接条件和反馈的电流和电压动态信号，快速精确判断熔滴过渡所处的阶段和状态，实时调节焊机输出电流，调控燃弧时期热输入量，适时减小电弧电流创造短路条件，从而实现焊丝端头的熔滴与熔池小电流下的平稳接触。



图21 基于AVR单片机研制焊机在施工现场

短路期间熔滴金属向熔池快速过渡，焊丝与熔池的连接液桥可靠缩颈并在缩颈的保险丝熔断效应出现之前快速降低流过焊丝的电流，使熔滴在无电流下自然脱离焊丝，减少瞬时过渡和大电流下缩颈爆破产生的金属飞溅（图21）。本专利采用AVR单片机为控制核心，以软件代替部分硬件实现短路无飞溅过渡，控制灵活性大，适用焊接材料广，焊接电流范围大。

多功能数字波控弧焊逆变电源：该专利为深圳市佳士科技股份有限公司所有。是基于ARM单片机为控制核心而研制的熔化极直流气体保护焊机，外形见图22。焊机由逆变原理构成的主回路和控制回路组成。控制回路包括ARM控制系统模块，以及与ARM控制系统模块连接的数字化面板模块、高频逆变驱动模块、焊接电压和电流检测模块、送丝机驱动模块和保护模块。实时采集电弧电流和

电压，通过ARM和PWM数字化控制，对焊接电弧的瞬态能量进行实时精细化控制，优化配置整个焊接过程中的电弧能量，保证良好的电弧稳定性和挺度，更易于获得优质的焊接质量。实现多种焊接电流波形调节控制，针对不同焊丝，通过专家数据库调出对应的焊接波形，以适应各种金属材料焊接。通过软件实现多种焊接工艺方法，一机多用，节省生产投入成本，提高生产效率。开发的焊机具有手工电弧焊、钨极氩弧焊、CO₂焊和脉冲气体保护焊功能，可应用于碳钢、合金钢、不锈钢和铝合金等多种金属材料，焊机操作面板见图23。



图22 多功能数字波控弧焊逆变电源系统



图23 多功能数字波控弧焊逆变电源操作面板

2.2 科技成果

轨道车辆铝合金部件搅拌摩擦焊接工艺及装备：该成果为哈尔滨焊接研究院有限公司所有。该成果基于“搅拌摩擦焊接摩擦界面温度测量”专利技术，实现对焊接界面温度精确测量；基于“双轴肩搅拌摩擦焊接装置”专利技术，解决双轴肩搅拌摩擦焊头部和尾部缺陷；基于工件圆角判据及动态坐标变换方法的焊缝跟踪系统，解决振动条件下小间隙焊缝识别问题，达到国内先进技术水平。该公司已经形成搅拌摩擦焊接工艺开发及系列搅拌摩擦焊装备制造能力，现已提供台式搅拌摩擦焊机2台套，龙门式搅拌摩擦焊机（图24）2台套，提供搅拌摩擦焊接工艺开发服务1项。



图24 龙门式搅拌摩擦焊机

国产高镍合金焊接材料在石化高压设备上的应用研究：该成果为哈尔滨焊接研究院有限公司所有。该成果经过试验研发、焊接工艺评定和产品应用，开发出符合项目技术要求的焊材产品。研制出镍基合金焊条Ni625、镍基合金气保焊丝HS625、镍基合金焊带焊剂H625/电渣焊剂SJ82B、埋弧焊剂SJ613。另外，研制了600系列焊材和904系



图25 神华宁煤400万吨年煤炭间接液化项目

列焊材，应用工程见图25。项目研制的625焊条、焊丝、焊带和焊剂，已在兰州兰石重型装备股份有限公司、大连金州重型机器集团有限公司、太原重工煤化工分公司、上海森松化工装备有限公司、抚顺机械设备制造有限公司、内蒙古大唐国际克什腾煤制天然气有限责任公司、甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司等十多家单位得到大量生产应用，产品质量稳定，并实现了625焊接材料的进口替代。

双丝三电弧焊接系统-Tri-ARC：该成果为深圳市瑞凌实业股份有限公司所有。Tri-arc焊接技术的特点是同时具有高焊接熔敷率和低焊接热输入。该技术电弧功率增大的同时焊接效率（熔敷率）增加，但工件的热输入不增大，甚至降低。电弧功率和焊接热输入不再成正比关系，从根本上解决高强钢、超高强钢焊接时效率与热输入之间的矛盾。与其他焊接方法比较，Tri-arc焊接方法的最显著特点是焊接热源由3个电弧组成（图26）。电弧A1是电源P1通过导电嘴N1在焊丝W1和焊接工件Work间产生的电弧；电弧A2是电源P2通过导电嘴N2在焊丝W2和焊接工件Work间产生的电弧；电弧Am是电

源Pm通过导电嘴N1、N2在焊丝W1、W2之间产生的电弧（中间电弧）。由于中间电弧Am的存在，使得电弧焊接过程中电弧功率的分配产生了变化，导致焊接的过程和结果发生了重大改变。在Tri-arc焊接系统中，电弧A1、A2都产生在焊丝与工件之间，电弧Am则产生在两根焊丝W1、W2之间，第三电弧Am最明显的特点是其热量主要熔化焊

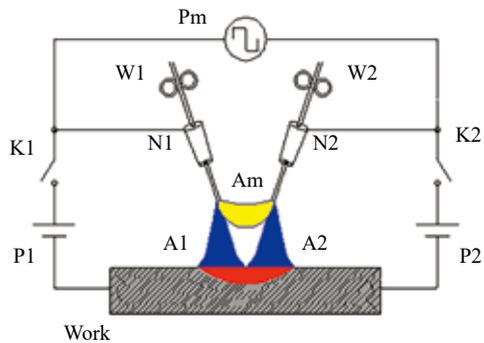


图26 Tri-arc技术工作原理示意图

Pm-恒流交流电源；P1、P2-恒压直流电源；K1、K2-电子开关；Work-焊接工件；N1、N2-导电嘴；W1、W2-焊丝；A1、A2、Am-3个电弧

丝，基本不熔化母材。它消耗的这部分电弧功率并没有进入母材，即电弧功率的增加不再与工件的热输入成正比。由于电弧Am的作用，相同电弧功率条件下，焊接熔敷率增加、工件的热输入减少。

便捷节能的焊割设备冷却水箱：该成果为上海温帕智能科技有限公司、上海正特焊接器材制造有限公司所有。独创的LED水位显示窗，方便用户检查储水箱水位。采用24V直流无刷水泵，功耗小、效率高、使用更安全，也无须定期检查、更换碳刷。水泵具有自吸功能，首次使用或久置不用时无需排气，操作便捷。内置液体流量控制装置，当水流过低时发出报警信号，有效保护焊（割）炬。内置独立风机，优化风道结构及散热面积，冷却功率高（图27、图28）。



图27 CT-10型10升容量冷却水箱



图28 CT-20型20升容量冷却水箱

3 焊接行业重点发展的专利技术情况

近年来，随着我国自主创新投入比例大幅提高，国家原始创新能力得到加强，大众创业万众创新理念已经深入人心。深入焊接技术的基础领域研究，加强外延式发展，加速跨专业协同、多学科融合，提高焊接技术的成组成套能力；加快焊接技术与装备的数字化、网络化、智能化发展，是我国当前焊接装备自主创新的主攻方向。

“十三五”前后，我国焊接行业重点发展的专利数迅猛增长。从表1可以看出，2016年、2017年、2018年专利总和呈爆炸式增长，特别是3D打印技术、焊接机器人、搅拌摩擦焊、激光复合焊等重点发展的专利技术在2016年（“十三五”开局后）取得显著发展，提高了我国焊接产业的总体技术水平。但是，在无铅钎料、无镉钎料、高强钢焊材、耐热钢焊材、焊接数据系统等焊接基

基础研究领域，专利发布数量提升缓慢。

表1 国家知识产权局专利局2015年~2018年公布的焊接行业重点发展专利技术
技术及大数据系统相关专利数量汇总表

类别	2015年			2016年			2017年			2018年			合计
	发明	实用	外观	发明	实用	外观	发明	实用	外观	发明	实用	外观	
复合焊接	5	1		46	8		59	13		40	37		209
激光填丝焊	1			11	2		12	3		13	1		43
磁脉冲焊接		1		2			9	3		3			18
3D打印	579	336	44	2033	1410	234	3230	1571	253	3209	2418	379	15696
搅拌摩擦焊	26	9		130	69	3	146	49	2	172	82	4	692
切割机器人	4	3		24	15		40	14		77	36		213
焊接机器人	38	14	1	144	108	6	203	120	4	276	207	11	1132
无铅钎料	2			15			9			7			33
无镉钎料				1			1			2			4
高强钢焊材				2			3			1			6
耐热钢焊材	2			3			2			1			8
焊接数据系统	6	3		7			9			5			30
焊接专利合计	663	367	45	2418	1612	243	3723	1773	259	3806	2781	394	18084
大数据相关	274	31	2	1003	107	5	1809	225	6	2786	395	32	6675
工业互联网	4	1		16	4		14	1		42	4		86
智能焊接	17	12		26	21		25	14		49	35		199

由表1还可以看出，2015年~2018年我国大数据相关专利发布数量增长迅猛，但相对于焊接数据系统专利数总计才30件，工业互联网专利总计86件，而焊接行业没有相关成果问世。智能焊接专利总数量199件，但都是相关焊接设备（系统）的组成部件（或子系统），不能形成整套焊接系统的智能控制。

4 结束语

《中国制造2025》包括对智能制造三个阶段的表述：数字化、网络化、智能化。在“十三五”期间，需把主要着力点放在数字化网络化技术的普及应用；应把主要着力点放在智能制造基础技术（新四基）的研发上；应把主要着力点放在焊接科技的自主创新上，推动我国焊接产业的转型升级。中国焊接协会和中国机械工程学会焊接分会将继续秉承“努力为行业搭建高效焊接专利及成果推广平台，实现焊接产业关键科技成果自主化”的宗旨，做好焊接科技成果的推广普及，提供更好服务。

结束语



在2019年复杂严峻的国内外经济形势下，第24届北京·埃森焊接与切割展览会依旧取得卓越效果。本届展会于6月在上海新国际博览中心举办，为期4天，共吸引海内外观众4万余人次。这不仅代表着长三角地区市场需求依旧强势，也说明我国经济发展仍然稳中有进，坚定前行。

从北京·埃森展盛况我们欣喜发现，展会不再只是海内外知名企业的高光时刻，许许多多的国内中小企业开始崭露头角，展现他们特有的风采，大有百花齐放万马奔腾的气势。

我们尽可能收集了这些亮点，并汇编成册。以期启发读者思考，助力行业发展。

在这里，我们由衷向所有参与编写《展会综合技术报告》的专家、学者，向积极投稿的展商朋友们以及所有给予我们支持的企业致以崇高敬意和诚挚谢意！

受篇幅所限，《报告》难以将所有优质企业和先进技术一一列举，敬请海涵。同时，欢迎业内同仁不吝赐教，继续提出宝贵意见和建议，使《报告》不断完善。感谢朋友们对北京·埃森焊接与切割展览会及《报告》的关心和爱护，我们来年相约深圳！

北京·埃森焊接与切割展览会组委会

2019年11月

