

实用焊接技术丛书

气体保护焊工艺及应用

李亚江 刘鹏 刘强 等编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

实用焊接技术丛书

气体保护焊工艺及应用

李亚江 刘鹏 刘强 等编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

气体保护焊工艺及应用/李亚江等编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 11

(实用焊接技术丛书)

ISBN 7-5025-6338-5

I. 气… II. 李… III. 气体保护焊 IV. TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 120401 号

实用焊接技术丛书

气体保护焊工艺及应用

李亚江 刘鹏 刘强 等编著

责任编辑: 任文斗

文字编辑: 韩庆利

责任校对: 陈 静 于志岩

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 440 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6338-5/TH·269

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

气体保护焊是最近 20 年来发展起来的一类先进的焊接方法。由于气体保护焊便于实现机械化、自动化和智能化焊接,以及具有焊接质量好、效率高等优点,受到世界各国的普遍重视,在生产中的应用日益广泛。

随着现代工业和科学技术,特别是汽车、电力、石油化工、航空航天、海洋开发等工业的迅速发展,对焊接技术和焊接质量不断提出新的要求。市场需求同时还要求提高劳动生产率、降低焊接成本和实现焊接过程自动化、智能化。近年来新材料、新结构和计算机技术的发展,结合生产需求和现代科学技术新成就,推动气体保护焊这一新技术得到了更快发展。

本书对易于实现自动化和智能化生产的气体保护焊技术及工程中的应用作了简明地阐述,力求突出先进性和实用性特色。本书主要针对工程中最常见的惰性气体保护焊(TIG、MIG)、活性气体保护焊(CO_2 焊、MAG)、等离子弧焊(PAW)等焊接方法,突出了各种气体保护焊的工艺特点和应用。给出了具体的工艺参数、相关技术数据及针对一些典型工程结构产品的应用实例,可以指导焊接生产。本书内容选用了一些便于实现自动化焊接的先进的气体保护焊工艺和成功的经验,书中的数据大多选自近几年的技术资料,反映了当前气体保护焊工艺的应用现状。使一些生产部门的科研和技术人员能全面了解气体保护焊的技术现状和发展,扩大其应用领域。

本书是《实用焊接技术丛书》中的一本,是以从事与焊接技术相关的技术人员和操作者为读者对象的技术图书。在此,特向所援引文献的作者表示诚挚的谢意。本书主要供从事与焊接技术相关的工程技术人员、管理人员和操作人员使用,也可供大中专院校、科研单位的有关教学和科研人员参考。

参加本书编写的其他写作人员还有:王娟、张永喜、郭国林、马海军、郝滨海、赵越、陈茂爱、刘如伟、孙俊生、高进强、张永兰、王芳、沈孝芹、刘毅、何卓宁、黄海啸、石海玉、张燕等。

鉴于气体保护焊技术正处于日新月异的发展之中,其焊接设备、材料、智能化控制和焊接工艺也在不断改进和变革,书中内容和结构难免存在错误和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

李亚江

2004 年 9 月 15 日

内 容 提 要

本书对气体保护焊技术及工程中的应用作了简明阐述,力求突出先进性和实用性等特色。本书主要针对惰性气体保护焊(TIG、MIG)、CO₂气体保护焊、等离子弧焊(PAW)等便于实现机械化、自动化的焊接方法,突出了各种气体保护焊工艺的特点和应用。给出了具体的工艺参数、相关技术数据及针对一些典型工程结构产品的应用实例,可以指导焊接生产。本书内容选用了一些先进的气体保护焊工艺和新产品开发中成功的经验,使生产中的科技和操作人员能全面了解气体保护焊技术的发展,扩大其应用领域。书中的数据大多选自近几年的技术资料,反映了当前气体保护焊工艺的应用现状。

本书主要供从事与焊接技术相关的工程技术人员、管理人员和操作人员使用,也可供大专院校、科研单位的有关教学和科研人员参考。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 气体保护焊的分类及特点	1
1.1.1 气体保护焊方法的分类	1
1.1.2 气体保护焊的特点	3
1.2 气体保护焊的应用及发展前景	4
1.2.1 气体保护焊的应用范围	4
1.2.2 气体保护焊的发展前景	5
第 2 章 气体保护焊现状及发展	7
2.1 气体保护焊的历史发展	7
2.1.1 惰性气体保护焊的发展	7
2.1.2 活性气体保护焊的发展	8
2.2 气体保护焊的应用现状	9
2.2.1 惰性气体保护焊应用现状	9
2.2.2 活性气体保护焊应用现状	10
2.2.3 等离子弧焊应用现状	11
2.3 气体保护焊的新技术发展	12
2.3.1 气体保护焊工艺的发展	12
2.3.2 气体保护焊材料的发展	13
2.3.3 气体保护焊设备的发展	16
第 3 章 钨极氩弧焊 (TIG)	19
3.1 钨极氩弧焊的分类及特点	19
3.1.1 钨极氩弧焊的分类	19
3.1.2 钨极氩弧焊的工艺特点	20
3.1.3 钨极氩弧焊电流种类及极性	21
3.1.4 钨极氩弧焊的应用范围	24
3.2 钨极氩弧焊设备	25
3.2.1 钨极氩弧焊设备的分类及型号	25
3.2.2 钨极氩弧焊设备的组成	25
3.2.3 钨极氩弧焊设备的技术特点	31
3.3 钨极氩弧焊的焊接材料	34
3.3.1 电极材料	34
3.3.2 保护气体	36
3.3.3 填充金属	39
3.4 钨极氩弧焊工艺	40
3.4.1 钨极氩弧焊焊接过程的一般程序	40

3.4.2	焊前准备	40
3.4.3	钨极氩弧焊工艺参数及选择	44
3.4.4	钨极氩弧焊操作技术	51
3.5	脉冲钨极氩弧焊	56
3.5.1	脉冲钨极氩弧焊的工艺特点	56
3.5.2	脉冲钨极氩弧焊的分类	57
3.5.3	脉冲钨极氩弧焊工艺参数的选择	57
3.5.4	不同材料的脉冲钨极氩弧焊	58
第4章	二氧化碳气体保护焊	60
4.1	CO ₂ 气体保护焊的分类及特点	60
4.1.1	CO ₂ 气体保护焊的分类	60
4.1.2	CO ₂ 气体保护焊的工艺特点	61
4.1.3	CO ₂ 气体保护焊的冶金特点	62
4.1.4	CO ₂ 气体保护焊的熔滴过渡	66
4.1.5	CO ₂ 气体保护焊的应用范围	68
4.2	CO ₂ 气体保护焊设备	68
4.2.1	CO ₂ 气体保护焊设备的分类和组成	68
4.2.2	焊接电源和控制系统	69
4.2.3	送丝机构和焊枪	70
4.2.4	气路和水路	77
4.2.5	二氧化碳焊机的技术参数	78
4.3	CO ₂ 气体保护焊的焊丝及气体	80
4.3.1	对焊丝成分要求及主要合金元素	80
4.3.2	焊丝的型号和牌号	81
4.3.3	焊丝的选用	86
4.3.4	二氧化碳气体 (CO ₂)	88
4.4	CO ₂ 气体保护焊工艺	92
4.4.1	焊前准备	93
4.4.2	CO ₂ 气体保护焊的工艺参数	94
4.4.3	CO ₂ 气体保护焊操作工艺要点	102
4.4.4	CO ₂ 焊的焊接缺陷及防止措施	110
4.4.5	CO ₂ 气体保护焊的应用实例	111
4.5	药芯焊丝气体保护焊	113
4.5.1	药芯焊丝 CO ₂ 焊的工艺特点	113
4.5.2	药芯焊丝的分类特点及选用	114
4.5.3	药芯焊丝 CO ₂ 焊机和工艺参数	116
4.5.4	药芯焊丝 CO ₂ 焊的应用	122
4.6	二氧化碳电弧点焊	123
4.6.1	二氧化碳电弧点焊的特点	123
4.6.2	二氧化碳电弧点焊设备	124

4.6.3 二氧化碳电弧点焊工艺参数及应用	124
第5章 熔化极氩弧焊 (MIG)	127
5.1 熔化极气体保护焊的分类及特点	127
5.1.1 熔化极气体保护焊的分类	127
5.1.2 熔化极氩弧焊的特点及适用范围	127
5.1.3 熔化极氩弧焊的熔滴过渡特点	128
5.2 熔化极氩弧焊设备	131
5.2.1 熔化极氩弧焊设备的分类	131
5.2.2 熔化极氩弧焊设备的组成	132
5.2.3 保护气体和焊丝	136
5.3 熔化极氩弧焊工艺	144
5.3.1 熔化极氩弧焊的工艺参数	144
5.3.2 不同材料的熔化极氩弧焊工艺	149
5.4 脉冲熔化极氩弧焊	157
5.4.1 脉冲熔化极氩弧焊的工艺特点	157
5.4.2 脉冲熔化极氩弧焊的工艺参数	159
5.4.3 不同材料的脉冲熔化极氩弧焊	160
第6章 混合气体保护焊	163
6.1 混合气体保护焊的特点及熔滴过渡	163
6.1.1 混合气体保护焊的特点	163
6.1.2 混合气体保护焊的熔滴过渡	164
6.2 混合气体保护焊设备及保护气体	167
6.2.1 混合气体保护焊设备	167
6.2.2 混合气体保护焊用的气体	168
6.3 混合气体保护焊工艺	172
6.3.1 混合气体保护焊焊丝的选用	172
6.3.2 混合气体保护焊的工艺参数	173
6.4 混合气体保护焊的应用	178
6.4.1 钢铁材料的混合气体保护焊	178
6.4.2 混合气体保护焊应用实例	181
第7章 特种气体保护焊	187
7.1 特种钨极氩弧焊技术	187
7.1.1 钨极氩弧点焊	187
7.1.2 热丝和双电极钨极氩弧焊	190
7.1.3 特种钨极氩弧焊应用实例	191
7.2 特种熔化极气体保护焊	196
7.2.1 熔化极气体保护气电立焊	196
7.2.2 窄间隙熔化极气体保护焊	199
7.2.3 熔化极气体保护明弧堆焊	203
7.3 高速 CO ₂ 气体保护焊	203

7.3.1	高速 CO ₂ 气体保护焊的特点	203
7.3.2	高速 CO ₂ 气体保护焊应用实例	205
第 8 章	等离子弧焊接	207
8.1	等离子弧焊的特点及适用范围	207
8.1.1	等离子弧焊的特点	207
8.1.2	等离子弧的类型	209
8.1.3	等离子弧焊的适用范围	210
8.2	等离子弧焊接设备	211
8.2.1	等离子弧焊的分类	211
8.2.2	等离子弧焊机的组成及技术参数	214
8.3	等离子弧焊工艺	220
8.3.1	接头形式及装配	220
8.3.2	等离子弧焊的工艺参数及焊接缺陷	222
8.3.3	强流(大电流)等离子弧焊	224
8.3.4	微束等离子弧焊工艺	226
8.3.5	脉冲等离子弧焊工艺	231
8.4	材料的等离子弧焊接	232
8.4.1	高温合金的等离子弧焊接	232
8.4.2	铝及铝合金的等离子弧焊接	232
8.4.3	钛及钛合金的等离子弧焊接	234
8.4.4	银与铂的微束等离子弧焊接	235
8.4.5	等离子弧焊接的应用实例	235
第 9 章	气体保护焊的工程应用	238
9.1	气体保护焊在工程机械中的应用	238
9.1.1	起重机结构件的 CO ₂ 气体保护焊	238
9.1.2	输送机拖辊的 CO ₂ 气体保护焊	240
9.1.3	挖掘机起重臂的药芯焊丝气体保护焊	241
9.2	气体保护焊在车辆制造中的应用	241
9.2.1	拖拉机发动机罩的钨极氩弧焊	241
9.2.2	车辆零部件的 CO ₂ 气体保护焊	242
9.2.3	载重车轮的双枪自动熔化极混合气体保护焊	245
9.2.4	摩托车车架的混合气体保护焊	246
9.2.5	集装箱波纹板的自动熔化极混合气体保护焊	247
9.3	气体保护焊在建筑、造船业中的应用	247
9.3.1	船体结构的 CO ₂ 气体保护焊	247
9.3.2	高炉烟囱的药芯焊丝气体保护焊	248
9.3.3	高炉紫铜螺旋风口的自动熔化极惰性气体保护焊	253
9.4	气体保护焊在电力工业中的应用	254
9.4.1	电站锅炉构件的气体保护焊	254
9.4.2	水轮机的 CO ₂ 气体保护焊	257

9.4.3 低压铝线电机的钨极氩弧焊	260
9.4.4 压力传感器的等离子弧焊	261
9.5 气体保护焊在容器制造中的应用	262
9.5.1 氟里昂-12 钢瓶的 CO ₂ 气体保护焊	262
9.5.2 啤酒发酵罐的钨极氩弧焊	263
9.5.3 铝储罐的熔化极氩弧焊	264
9.5.4 不锈钢乳化缸的等离子弧焊	267
第 10 章 气体保护焊的安全与防护	269
10.1 气体保护焊的操作安全	269
10.1.1 气体保护焊操作安全技术要点	269
10.1.2 气体保护焊操作的卫生措施	269
10.2 气体保护焊的安全防护	270
10.2.1 触电和辐射的危害及防护	270
10.2.2 焊接烟尘的危害及防护	272
10.2.3 气瓶与用气安全	274
10.2.4 火灾与预防	274
参考文献	275

第 1 章 概 述

气体保护焊是通过电极（焊丝或钨极）与母材间产生的电弧熔化焊丝（或填丝）及母材，形成熔池和焊缝金属的一种先进的焊接方法。电极、电弧和焊接熔池是靠焊枪喷嘴喷出的保护气体来保护，以防止周围大气的侵入，对焊接接头区域形成良好的保护效果的。随着科学技术的突飞猛进和现代工业的迅速发展，各种新的金属材料和新的产品结构对焊接技术要求提高，促进了新的、更加优越的气体保护焊方法的推广应用。

1.1 气体保护焊的分类及特点

1.1.1 气体保护焊方法的分类

气体保护焊在工业生产中的应用种类很多，可以根据保护气体、电极、焊丝等进行分类。如果按选用的保护气体进行分类，可分为钨极氩弧焊（TIG）、CO₂ 气体保护焊、熔化极惰性气体保护焊（MIG）、熔化极混合气体保护焊（包括 MAG）等。按采用的电极类型进行分类，可分为熔化极气体保护焊和非熔化极气体保护焊。按采用的焊丝类型进行分类，可分为实芯焊丝气体保护焊和药芯焊丝气体保护焊等。

各种气体保护焊方法的分类见表 1.1。

表 1.1 各种气体保护焊方法的分类

按电极分类	按焊丝分类	按保护气体分类	采用的保护气体
熔化极气体 保护焊	实芯焊丝气体 保护焊	CO ₂ 气体保护焊	CO ₂ (二氧化碳)
			CO ₂ +O ₂ (二氧化碳+氧气)
		惰性气体保护焊	Ar(氩气)
			He(氦气)
			He+Ar(氦气+氩气)
		混合气体保护焊	Ar+CO ₂ (氩气+二氧化碳)
	Ar+O ₂ (氩气+氧气)		
	Ar+CO ₂ +O ₂ (氩气+二氧化碳+氧气)		
	药芯焊丝气体 保护焊	药芯焊丝气体 保护焊	CO ₂ (二氧化碳)
			CO ₂ +Ar(二氧化碳+氩气)
药芯焊丝自保护 电弧焊		Ar+O ₂ (氩气+氧气)	
非熔化极气体 保护焊	—	钨极氩弧焊	Ar(氩气)
		钨极氦弧焊	He(氦气)
特殊气体保护焊	等离子弧焊(PAW)		Ar(氩气)
	钨极氩弧点焊、热丝钨极氩弧焊、双电极钨极氩弧焊等		
	气体保护气电立焊、窄间隙气体保护焊等		Ar+CO ₂ (氩气+二氧化碳)

除了上述几种分类方法外，按气体保护焊的焊接操作方式可以分为以下几种。

① 手工气体保护电弧焊 主要用于非熔化极焊接，在焊接过程中焊炬移动和添加焊丝金属均由手工操作，如手工钨极氩弧焊。

② 半自动焊气体保护焊 主要用于熔化极焊接，在焊接过程中输送焊丝是自动进行的，而焊枪移动则靠手工操作，如最常见的细丝 CO₂ 半自动气体保护焊。

③ 自动焊气体保护焊 用于非熔化极、熔化极焊接，在焊接过程中焊枪相对于焊件移动，输送焊丝金属完全是自动进行的，如粗丝智能控制的气体保护焊。

由普通气体保护焊改进的特殊气体保护焊方法，主要包括氩弧点焊（钨极、熔化极）、热丝 TIG 焊、脉冲气体保护焊、气体保护电弧立焊等。

在熔化极气体保护焊方面，可以根据金属从焊丝到工件的过渡形态进行分类，即根据电弧熔滴过渡类型可分为短路过渡电弧焊、潜弧焊、射流电弧焊、脉冲电弧焊以及大电流电弧焊等。表 1.2 列出熔化极气体保护焊熔滴过渡形式及保护气体的种类。

表 1.2 熔化极气体保护焊熔滴过渡形式及保护气体的种类

熔滴过渡形式	保 护 气 体 种 类			
	氩气 (Ar)	氦气 (He)	混合气体 (Ar+CO ₂ 或 Ar+O ₂)	二氧化碳 (CO ₂)
短路过渡焊	D	D	B	A
射流电弧焊	A	B	B	D
脉冲电弧焊	A	D	B	D
潜弧焊	D	D	C	A
大电流电弧焊	A	D	B	C

注：A——最常用；B——常用；C——不常用；D——不用。

各种熔化极气体保护焊的熔滴过渡特点如下。

① 短路过渡电弧焊 短路过渡电弧焊时，可以通过适当的电源来降低平均电流和熔敷速度，可使熔滴只在短路期间过渡；通常采用细丝，焊接电流较小，适合于焊接薄板和空间位置结构的焊接；焊接厚度大于 6mm 的结构件时，易产生未熔合。

② 射流过渡电弧焊 射流过渡电弧焊时，熔滴细小并沿着焊丝轴向射向熔池，熔滴过渡过程极为稳定，几乎无飞溅产生。采用氩气或 CO₂ 含量不超过 25% 的富氩混合气体，或氧气含量不超过 5% 的富氩混合气体，都可以实现射流电弧焊；采用直流反接，并且电流必须高于一个临界值。

焊接铝、钛和镁等活性金属时，采用 Ar 和 Ar+He 混合气体作为保护气体；而焊接钢铁材料时，为了避免产生咬边和不规则焊缝，需要加入少量 O₂ 或 CO₂。射流过渡电弧焊广泛应用于铝、钛和镁的平焊和横焊位置的焊接，而不适合于钢铁材料的立焊和仰焊位置的焊接。

③ 脉冲电弧焊 通过特殊的焊接电源提供脉冲电流而进行的焊接方法，通常采用 Ar 作为保护气体，能够用较大直径的焊丝对薄板和厚板进行各种位置的焊接，以及空间位置结构的焊接。脉冲电弧焊在进行各种位置焊接时，为了得到优良的焊接接头，对操作者的技术要求较高。

④ 潜弧焊 潜弧焊时，主要是利用富 CO₂ 气体保护的电弧和焊接区进行焊接。潜弧焊

比采用 Ar 作为保护气体时焊接速度高得多，适合于在机械化操作和重复性手工操作的焊接工艺中使用，例如汽车工业，其生产效率较高。由于焊接时采用较大的电流，电弧穿透力较大。

⑤ 大电流电弧焊 也称为大电流熔化极惰性气体保护焊，该方法适合于厚板的高效焊接，在铝及铝合金的焊接施工中，大电流电弧焊得到了广泛的应用，同时大电流熔化极惰性气体保护焊方法高效率的特点更为突出。

1.1.2 气体保护焊的特点

近年来气体保护焊得到迅速发展，成为熔化焊接方法的一个重要分支。各种气体保护焊的原理及工艺特点见表 1.3。

表 1.3 各种气体保护焊的原理及工艺特点

焊 接 方 法		原 理	工 艺 特 点
活性气体 保护焊	实芯 CO ₂ 气体 保护焊	利用二氧化碳(CO ₂)作为保护气体的熔化极气体保护电弧焊方法	CO ₂ 电弧的穿透力强,焊缝抗腐蚀能力强,适合于全位置焊接,焊接飞溅少、成本低等
	药芯焊丝 CO ₂ 气 体保护焊	利用药芯焊丝熔化时产生的气体和熔渣进行保护,并且需要另加保护气体进行焊接	焊接飞溅少,焊缝成形良好,焊接速度较高,可以焊接不同的钢种,对焊接电源无特殊要求等
	混合气体保护焊	在惰性气体(Ar)中加入一定量的氧化性气体(例如 CO ₂ 、O ₂)作为保护气体,也被称为 MAG 焊	熔滴过渡稳定性好,良好的焊缝成形和外观,焊接飞溅少,可实现不同的熔滴过渡形式,成本较低等
惰性气体 保护焊	熔化极惰性 气体保护焊	采用 Ar 或 He 或二者的混合气体作为保护气体进行焊接的方法	对电弧区和熔池的保护效果好,焊接中不产生熔渣,可实现各种熔滴过渡方式,喷射过渡时基本无飞溅产生等
	钨极氩弧焊	在惰性气体的保护下,利用钨电极与工件之间产生的电弧热熔化母材和填充焊丝的焊接方法	焊接时钨极不熔化,电弧比较稳定,焊接质量易于控制,易于实现机械化和自动化焊接,可进行全位置焊接
等离子弧焊		利用自由钨弧压缩得到的等离子弧进行焊接的工艺方法	能量密度大,电弧方向性强,焊接速度快,焊接变形小,可以焊接薄板及精密零部件等

与手工电弧焊、埋弧焊等焊接方法相比较，气体保护焊在工艺性、接头质量、焊接过程自动化控制、生产率与经济效益等方面具有以下优点。

① 气体保护焊是在明弧下进行焊接，在焊接过程中易于观察电弧与熔池情况，便于发现问题并及时调整，有利于对焊接过程和焊缝成形质量进行控制。

② 气体保护焊不需要采用焊条或焊剂，焊后不需要对焊缝表面清渣，故可以省掉清渣的辅助工时和制造涂药焊条或焊剂的费用，这一点在多层焊时更为突出，能提高劳动生产率和降低焊接成本。

③ 气体保护焊的类型较多，只要通过改变电极材料和焊丝直径、保护气体成分和焊接工艺参数等，就可以用于焊接薄壁结构和零部件，也可实现厚大结构件的焊接。同时，可针对不同的金属材料与合金，选用合适的气体保护焊方法，易于获得质量优良的接头。

④ 节省焊接材料和能源消耗小。据统计，CO₂ 气体保护焊焊丝有效利用率可达 95% 以上，而手工电弧焊焊条的利用率一般只能达到 65%。在焊接中、厚板时，由于坡口角度的减小，减少了焊缝金属填充量，不但节省了焊接材料，也使能源消耗大大降低。

⑤ 由于焊丝连续送进，焊接过程易于实现机械化和智能控制的全自动焊接。

气体保护焊也存在某些不足之处，主要问题是：由于采用明弧焊接和大电流密度，电弧光辐射较强，要加强对操作者的劳动保护；焊枪喷嘴喷出的保护气流属于柔性体，易受侧风干扰而破坏其保护效果，故气体保护焊不宜在露天或有风的条件下施焊。此外，气体保护焊设备比手工电弧焊设备复杂，对焊工的操作技术要求更高。

1.2 气体保护焊的应用及发展前景

1.2.1 气体保护焊的应用范围

根据所采用的保护气体的种类不同，气体保护焊适用于焊接不同的金属结构。例如， CO_2 气体保护焊适用于焊接碳钢、低合金钢，而惰性气体保护焊除了可以焊接碳钢、低合金钢外，也适用于焊接铝、铜、镁等有色金属及其合金。某些熔点较低的金属，如锌、铅、锡等，由于焊接时易于蒸发出有毒的物质，或污染焊缝，因此很难采用气体保护焊进行焊接或不宜焊接。

气体保护焊方法特别适合于焊接薄板。不论是熔化极气体保护焊工艺还是非熔化极气体保护焊工艺，都可以成功的焊接厚度不足 1mm 的薄板。采用气体保护焊工艺焊接中、厚板有一定的限制。一般来说，当厚度超过一定限度后，其他电弧焊方法（如埋弧焊或电渣焊）的生产效率和成本比气体保护焊高。

气体保护焊根据实际生产中应用材质的具体情况，也可焊接厚板材料。例如在铝合金焊接中，厚度 75mm 的工件采用大电流熔化极惰性气体保护焊（即 MIG 焊），双面单道焊可完成铝合金的焊接。从生产效率上看，熔化极气体保护焊高于非熔化极气体保护焊，从焊缝美观上看，非熔化极气体保护焊（填丝或不填丝）没有飞溅，焊缝成形美观。

就焊接位置而言，气体保护焊方法适合于焊接各种位置的焊缝，特别是 CO_2 气体保护焊由于电弧有一定吹力更适合全位置焊接。由于各种气体保护焊采用的保护气体不同，每种方法具体的适应性也不同。比如，氩气比空气的密度大，因而氩弧焊更适合于水平位置的焊接；氦气比空气密度小，氦弧焊适合于空间位置焊接，特别是仰焊位置的焊接，但实际应用较少，大量的仍然是采用氩气作为保护气体进行焊接。

几种常用气体保护焊方法的应用范围如下。

(1) CO_2 气体保护焊

CO_2 气体保护焊一般用于汽车、船舶、管道、机车车辆、集装箱、矿山及工程机械、电站设备、建筑等金属结构的焊接生产。 CO_2 气体保护焊可以焊接碳钢和低合金钢，并可以焊接从薄板到厚板不同的工件。采用细丝、短路过渡的方法可以焊接薄板；采用粗丝、射流过渡的方法可以焊接中、厚板。 CO_2 气体保护焊可以进行全位置焊接，也可以进行平焊、横焊及其他空间位置的焊接。

药芯焊丝 CO_2 气体保护焊是近年来发展起来的采用渣-气联合保护的适用性广泛的焊接工艺，主要适合于焊接低碳钢、500MPa 级及 600MPa 级的低合金高强钢、耐热钢以及表面堆焊等。通常药芯焊丝气体保护焊适合于中厚板进行水平位置的焊接，一般用于对外观要求较严格的箱形结构件、工程机械。目前是用于焊接碳钢和低合金钢的重要焊接方法之一，具有很大的发展前景。

(2) 熔化极气体保护焊

熔化极惰性气体保护焊（MIG）可以采用半自动或全自动焊接，应用范围较广。MIG

焊可以对各种材料进行焊接,但近年来由于碳钢和低合金钢等更多的采用富氩混合气体保护焊进行焊接,而很少采用纯惰性气体保护焊,因此熔化极惰性气体保护焊一般常用于焊接铝、镁、铜、钛及其合金和不锈钢。熔化极惰性气体保护焊可以焊接各种厚度的工件,但实际生产中一般焊接较薄的板,如厚度 2mm 以下的薄板采用熔化极惰性气体保护焊的焊接效果较好。熔化极惰性气体保护焊可以实现智能化控制的全位置焊接。

熔化极活性气体保护焊(MAG)因为电弧气氛具有一定的氧化性,所以不能用于活泼金属(如 Al、Mg、Cu 及其合金)的焊接。熔化极活性气体保护焊多应用于碳钢和某些低合金钢的焊接,可以提高电弧稳定性和焊接效率。熔化极活性气体保护焊在汽车制造、化工机械、工程机械、矿山机械、电站锅炉等行业得到了广泛的应用。

(3) 非熔化极惰性气体保护焊

非熔化极惰性气体保护焊又称为钨极氩弧焊(TIG)。除了熔点较低的铅、锌等金属难以焊接外,对大多数金属及其合金用钨极氩弧焊进行焊接,都可以得到满意的焊接接头质量。TIG 焊可以焊接质量要求较高的薄壁件,如薄壁管子、管-板、阀门与法兰盘等。TIG 焊适合于焊接各种类型的坡口和接头,特别是管接头,并可进行堆焊,最适合于焊接厚度 1.6~10mm 的板材和直径 25~100mm 的管子。对于更大厚度的板材,采用熔化极气体保护焊更加经济实用。

TIG 焊可以焊接形状复杂而焊缝较短的工件,通常采用半自动 TIG 焊工艺;形状规则的焊缝可以采用自动 TIG 焊工艺。

(4) 等离子弧焊

等离子弧焊适合于手工和自动两种操作,可以焊接连续或断续的焊缝。焊接时可添加或不添加填充金属。一般 TIG 焊能焊接的大多数金属,均可用等离子弧焊进行焊接,如碳钢、低合金钢、不锈钢、铜合金、镍及镍合金、钛及钛合金等。低熔点和沸点的金属(如铅、锌等)不适合等离子弧焊。

手工等离子弧焊可进行全位置焊接,而自动等离子弧焊通常是在平焊位置进行焊接。等离子弧焊适于焊接薄板,不开坡口并且背面不需要加衬垫。等离子弧焊最薄可焊接厚度 0.01mm 的金属薄片,板厚超过 8mm 的金属一般不采用等离子弧焊进行焊接。

1.2.2 气体保护焊的发展前景

(1) CO₂ 气体保护焊

CO₂ 气体保护焊是一种节能、高效、优质的焊接工艺,自 20 世纪 50 年代初问世以来,受到世界各国的普遍重视,很多国家的焊接工作者都致力于 CO₂ 气体保护焊的研究与技术开发,并且随着相关科学技术的发展及研究手段的提高,进一步推动了 CO₂ 气体保护焊技术的应用与发展。

20 世纪 60~70 年代,CO₂ 气体保护焊的基础理论研究取得了突破性进展,提出了 CO₂ 气体保护焊熔滴过渡模型,成功研制出了晶闸管焊接设备,实现了工艺参数的一元化调节。20 世纪 80 年代以后,CO₂ 气体保护焊无论在焊接电弧理论还是焊接冶金方面都日趋成熟。20 世纪 90 年代至今,焊接电源已从简单的抽头式变压器向高性能的逆变电源方向发展,出现了一些新设备和新工艺,如高速焊等;应用领域进一步扩大,CO₂ 气体保护焊在机车车辆、汽车制造、石油化工、工程机械等众多领域得到了广泛应用。

CO₂ 气体保护焊有很多优点,但其固有的缺点也十分明显,主要是焊接飞溅和焊缝成形问题,焊接工作者多年来一直围绕该问题进行探索,在焊接电源方面进行了大量的研究工

作。与此同时，在其他方面也进行了广泛的研究。如在材料方面，进行药芯焊丝 CO_2 气体保护焊；在送丝方面，进行脉动送丝 CO_2 气体保护焊；在保护气体方面，对多种成分的保护气体进行了研究，取得了一定的成果。

针对 CO_2 气体保护焊的飞溅和成形问题，对多种成分的保护气体进行了研究，并且进展很快。如 $80\% \text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$ 的混合保护气体，在生产中得到了广泛的应用。改变保护气体成分，可有效地改变电弧形态，减小飞溅，得到满意的焊缝成形。

(2) 熔化极气体保护焊

熔化极气体保护焊 (MIG、MAG) 是近年来我国大力发展的自动化焊接方法。如何进一步提高它的焊接质量和效率，一直是焊接工作者致力研究的课题。要提高焊接效率，应当提高焊接速度或者提高焊缝熔敷率。其中高效熔敷焊是通过改变气体成分来提高焊接效率；大容量焊机、气电自动焊机、多外特性焊机、双丝焊机等是通过改变焊机性能来提高焊接效率；药芯焊丝熔化极气体保护焊通过改变焊接材料实现不同的熔滴过渡方式来提高接头质量和焊接效率；自动焊、焊接机器人等是通过智能控制一系列工艺参数来提高焊接生产效率。

从熔化极气体保护焊设备和工艺等方面来看，主要有以下几方面的发展：采用数字式焊机、谐振电源、智能化焊机是气体保护焊设备的发展趋势；脉冲熔化极气体保护焊、双脉冲熔化极气体保护焊、双丝熔化极气体保护焊、激光混合焊是高效熔化极气体保护工艺的发展趋势。随着焊接机器人的发展，尤其是单机器人操作、双机器人配合操作甚至多机器人协同工作，标志着气体保护焊的机器人技术已取得进展。

(3) 等离子弧焊 (PAW)

采用穿孔型等离子弧技术焊接大厚度的材料，以及提高焊接过程稳定性一直是研究人员致力研究的目标。与钨极氩弧焊相比，等离子弧焊的生产效率和焊接质量都明显提高。原来采用钨极氩弧焊需要一层封底焊和三到四层填充焊的工件，采用等离子弧焊接技术，只需要一层穿透焊和一层盖面焊，省去了开坡口工序，焊接工时缩短了一半，而且焊接质量优于钨极氩弧焊。

变极性等离子弧焊接技术以其特有的工艺优势，在各个工艺领域的钢结构焊接和有色金属结构（如铝合金）焊接中得到广泛的应用，如对焊缝质量和焊接变形要求很高的压力容器的焊接。

目前，微束等离子弧焊接和中、厚板材料的大电流穿孔等离子弧焊接技术已得到广泛的应用。在等离子弧焊接设备的研制方面，通过脉冲等离子弧焊接技术的研究，实现了单一电源下的等离子弧焊接。近年来，国内外不断涌现出关于等离子弧焊接新工艺、新技术的研究报道，并不断推动等离子弧焊接技术的发展。

第2章 气体保护焊现状及发展

气体保护焊是在手工电弧焊应用的基础上逐步发展起来的。特别是在第二次世界大战和战后的几十年中,由于科学技术的突飞猛进和现代工业的迅速发展,各种新的金属材料和新产品结构对焊接技术及质量提出越来越高的要求,促进了比熔渣保护焊优越的气体保护焊的技术开发和推广应用。目前气体保护焊的发展已经进入一个新的阶段,产生了许多先进的、实用的和高效的气体保护焊方法及新工艺。

2.1 气体保护焊的历史发展

气体保护焊是在气体保护气氛中,以电弧为能源对被焊金属进行熔化焊的焊接方法,简称为气电焊。最早在焊接生产中应用的气体保护焊方法是氢原子焊,由于氢原子焊的焊接加热过程较缓慢、传热范围宽,同时氢气保护对焊接熔池会产生有害作用,一般只用于焊接低碳钢的薄壁构件和焊缝补焊,应用范围有限,目前已很少采用。

在工业生产中的气体保护焊经历了三个重要的发展阶段:

① 20世纪30~50年代,是惰性气体保护焊的发展阶段,包括非熔化极惰性气体保护焊(TIG)和熔化极惰性气体保护焊(MIG);

② 20世纪50~60年代,是活性气体保护焊的发展阶段,包括CO₂气体保护焊、熔化极混合气体保护焊(MAG)等;

③ 20世纪70年代至今,是等离子弧焊(PAW)以及先进的电子化焊接设备(如逆变电源、智能控制等)的发展阶段。

2.1.1 惰性气体保护焊的发展

非熔化极惰性气体保护焊是在氩气保护下利用钨极与工件间的电弧热加热金属形成焊接接头的工艺方法。这种工艺最初用于一些“难焊”的金属材料。20世纪30年代初开始了铝、镁等有色金属焊接的商业性开发,主要用于飞机制造业。当时惰性气体保护焊使用氦气(He)保护,只能采用直流,钨极接正极,因此钨极容易过热,并且钨粒容易进入焊缝,影响焊缝质量。

在第二次世界大战中,由于航空工业的迅猛发展,大量的由铝合金、不锈钢等金属材料制成的飞机和航空发动机零部件需要进行焊接,而且焊接接头质量要求很高。采用传统的气焊或手工电弧焊工艺已不能适应和保证优质的焊接接头性能,这样就促进了非熔化极惰性气体保护焊的发展,出现了采用氩气(Ar)保护的钨极氩弧焊,用于焊接活性有色金属(如Al、Mg、Ti)、不锈钢、镍基合金等。但是采用钨极氩弧焊时,焊接电流要受非熔化极许用电流的限制,而且向焊缝中填加焊丝不方便,故这种焊接方法不适用于焊接厚大件,提高焊接生产率也受到一定限制。

交流氩弧焊机的出现和开发出的高频稳弧装置,使铝、镁、钛等有色金属钨极氩弧焊接头的质量明显提高。氦气最初用于惰性气体保护焊早期开发阶段,后来由于氩气地大量供应而大部分取代了氦气。钨极氩弧焊工艺从20世纪40年代初开始在工业上被大量采用,并且成为现代气体保护焊工艺的先驱。钨极氩弧焊的填充材料为实芯焊丝,可以是钢焊丝,也可