

QITI BAOHUFAN
GONGYI JI YINGYONG

气体保护焊 工艺及应用



第二版



李亚江 刘强 王娟 等编著



化学工业出版社

图章题录自(CIP) 9787122088817

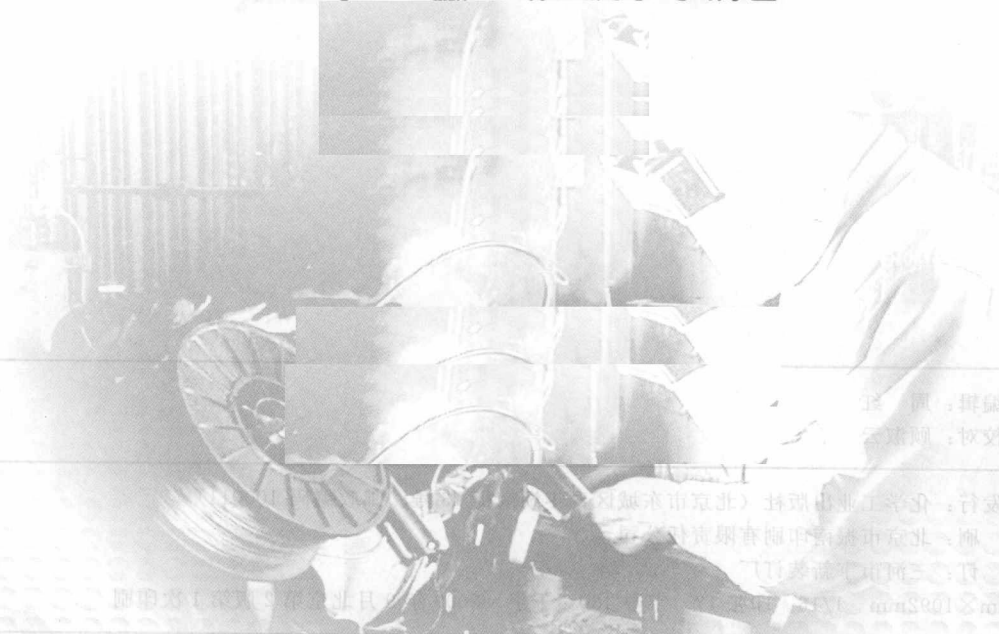
QITI BAOHUHAN
GONGYI JI YINGYONG

1. 气, Ⅱ. 李, Ⅲ. 焊接, Ⅳ. TG44

气体保护焊 工艺及应用

第二版

李亚江 刘强 王娟 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

定价: 39.00元

ISBN 978-7-122-08881-7

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. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2009. 8
ISBN 978-7-122-05987-1

I. 气… II. 李… III. 气体保护焊 IV. TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 098468 号

责任编辑: 周 红
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 460 千字 2009 年 9 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

气体保护焊是近 20 年来发展最快的一种焊接方法。由于气体保护焊便于实现机械化、自动化和智能化,并具有焊接质量好、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。

现代工业和科学技术,特别是汽车、工程机械、交通运输、桥梁和建筑、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提出了更高的要求。市场需求同时还要求提高生产率、降低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,推动气体保护焊技术得到了更快的发展。

本书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。书中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的阐述,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活性气体保护焊(CO_2 焊、MAG)、惰性气体保护焊(TIG、MIG)、等离子弧焊(PAW)等方法,重点介绍了这些焊接方法的工艺特点和应用,并给出了具体的工艺参数、相关技术数据及针对一些典型结构产品的应用实例,可以指导焊接生产。本书选用了一些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。

本书自 2005 年出版以来,受到广大读者的欢迎和好评。本书第二版在保持第一版风格和实用性特点之外,更新和补充了新的应用实例,使之更适用于指导实际应用。

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。

参加本书编写的人员还有:刘鹏、张永喜、马海军、陈茂爱、刘如伟、高进强、张永兰、夏春智、蒋庆磊、沈孝芹、黄万群、张蕾、吴娜等。

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、材料和工艺也在不断改进和变革,书中的不妥之处,恳请广大读者批评指正。

李亚江

目 录

第1章 概述	1
1.1 气体保护焊的分类	1
1.2 气体保护焊的特点	2
1.3 气体保护焊的应用范围	4
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	17
第3章 钨极氩弧焊 (TIG)	20
3.1 钨极氩弧焊的分类及特点	20
3.1.1 钨极氩弧焊的分类	20
3.1.2 钨极氩弧焊的工艺特点	21
3.1.3 钨极氩弧焊电流种类及极性	22
3.1.4 钨极氩弧焊的应用范围	25
3.2 钨极氩弧焊设备	26
3.2.1 钨极氩弧焊设备的分类及型号	26
3.2.2 钨极氩弧焊设备的组成	26
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	33
3.3.1 电极材料	33
3.3.2 保护气体	36
3.3.3 填充金属	37
3.4 钨极氩弧焊工艺	39
3.4.1 TIG 焊接过程的一般步骤	39
3.4.2 焊前准备	39
3.4.3 TIG 焊工艺参数及选择	42

3.4.4	钨极氩弧焊操作技术	48
3.5	特种钨极氩弧焊技术	52
3.5.1	脉冲钨极氩弧焊	52
3.5.2	热丝和双电极钨极氩弧焊	55
3.5.3	活性焊剂钨极氩弧焊 (A-TIG)	56
3.5.4	钨极氩弧点焊	58
3.5.5	特种钨极氩弧焊应用实例	60
第4章	熔化极氩弧焊 (MIG)	66
4.1	熔化极气体保护焊的分类及特点	66
4.1.1	熔化极气体保护焊的分类	66
4.1.2	熔化极氩弧焊的特点及适用范围	67
4.1.3	熔化极氩弧焊的熔滴过渡特点	67
4.2	熔化极氩弧焊设备	70
4.2.1	熔化极氩弧焊设备的分类	70
4.2.2	熔化极氩弧焊设备的组成	71
4.2.3	保护气体和焊丝	74
4.3	熔化极氩弧焊工艺	81
4.3.1	熔化极氩弧焊的工艺参数	81
4.3.2	不同材料的熔化极氩弧焊工艺	86
4.4	特种熔化极气体保护焊	93
4.4.1	脉冲熔化极氩弧焊	93
4.4.2	熔化极气体保护气电立焊	97
4.4.3	窄间隙熔化极气体保护焊	101
4.4.4	多丝 MIG/MAG 焊	104
第5章	二氧化碳气体保护焊	106
5.1	CO ₂ 气体保护焊的分类及特点	106
5.1.1	CO ₂ 气体保护焊的分类	106
5.1.2	CO ₂ 气体保护焊的工艺特点	107
5.1.3	CO ₂ 气体保护焊的冶金特点	108
5.1.4	CO ₂ 气体保护焊的熔滴过渡	111
5.1.5	CO ₂ 气体保护焊的应用范围	113
5.2	CO ₂ 气体保护焊设备	113
5.2.1	CO ₂ 气体保护焊设备的分类和组成	113
5.2.2	焊接电源和控制系统	114
5.2.3	送丝机构和焊枪	115
5.2.4	气路和水路	120
5.2.5	二氧化碳焊机的技术参数	122
5.3	CO ₂ 气体保护焊的焊丝及气体	124
5.3.1	对焊丝成分要求及主要合金元素	124
5.3.2	焊丝的型号和牌号	124
5.3.3	焊丝的选用	129
5.3.4	二氧化碳气体 (CO ₂)	131
5.4	CO ₂ 气体保护焊工艺	136

5.4.1	焊前准备	136
5.4.2	CO ₂ 气体保护焊的工艺参数	137
5.4.3	CO ₂ 气体保护焊操作工艺要点	144
5.4.4	CO ₂ 焊的焊接缺陷及防止措施	153
5.5	高速 CO ₂ 气体保护焊	154
5.5.1	高速 CO ₂ 气体保护焊特点	154
5.5.2	高速 CO ₂ 气体保护焊应用实例	156
5.6	药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊	157
5.6.1	药芯焊丝 CO ₂ 焊的工艺特点	157
5.6.2	药芯焊丝的分类特点及选用	158
5.6.3	药芯焊丝 CO ₂ 焊机和工艺参数	160
5.6.4	药芯焊丝 CO ₂ 焊的应用	166
5.7	二氧化碳电弧点焊	167
5.7.1	二氧化碳电弧点焊的特点	167
5.7.2	二氧化碳电弧点焊设备	168
5.7.3	二氧化碳电弧点焊工艺参数及应用	168
第 6 章	混合气体保护焊	170
6.1	混合气体保护焊的特点及熔滴过渡	170
6.1.1	混合气体保护焊的特点	170
6.1.2	混合气体保护焊的熔滴过渡	171
6.2	混合气体保护焊设备及保护气体	174
6.2.1	混合气体保护焊设备	174
6.2.2	混合气体保护焊用的气体	175
6.3	混合气体保护焊工艺	180
6.3.1	混合气体保护焊焊丝的选用	180
6.3.2	混合气体保护焊的工艺参数	180
6.4	混合气体保护焊的应用	184
6.4.1	低合金钢的混合气体保护焊	184
6.4.2	耐热钢和不锈钢的混合气体保护焊	186
6.4.3	混合气体保护焊应用实例	188
第 7 章	等离子弧焊	193
7.1	等离子弧焊的特点及适用范围	193
7.1.1	等离子弧焊的特点	193
7.1.2	等离子弧的类型	195
7.1.3	等离子弧焊的适用范围	196
7.2	等离子弧焊接设备	197
7.2.1	等离子弧焊的分类	197
7.2.2	等离子弧焊机的组成及技术参数	200
7.3	等离子弧焊工艺	206
7.3.1	接头形式及装配	206
7.3.2	等离子弧焊的工艺参数及焊接缺陷	208
7.3.3	强流(大电流)等离子弧焊	209
7.3.4	微束等离子弧焊工艺	211

7.3.5	脉冲等离子弧焊工艺	215
7.4	材料的等离子弧焊接	216
7.4.1	高温合金的等离子弧焊接	216
7.4.2	铝及铝合金的等离子弧焊接	217
7.4.3	钛及钛合金的等离子弧焊接	218
7.4.4	银与铂的微束等离子弧焊接	219
7.4.5	等离子弧焊接的应用实例	219
第8章	气体保护焊的工程应用	222
8.1	气体保护焊在工程机械中的应用	222
8.1.1	起重机结构件的 CO ₂ 气体保护焊	222
8.1.2	带式输送机拖辊的 CO ₂ 气体保护焊	224
8.1.3	挖掘机起重臂的药芯焊丝气体保护焊	224
8.2	气体保护焊在车辆制造中的应用	225
8.2.1	车辆零部件的 CO ₂ 气体保护焊	225
8.2.2	电力机车铝制顶盖的 MIG 焊	227
8.2.3	拖拉机发动机罩的 TIG 焊	229
8.2.4	载重车轮的双枪自动 MAG 焊	230
8.2.5	集装箱波纹板的自动 MAG 焊	231
8.3	气体保护焊在建筑、造船业中的应用	232
8.3.1	奥运主体育场钢结构柱脚 CO ₂ 焊	232
8.3.2	船体结构的 CO ₂ 气体保护焊	234
8.3.3	高炉烟囱的药芯焊丝气体保护焊	236
8.4	气体保护焊在电力工业中的应用	238
8.4.1	电站锅炉构件的气体保护焊	238
8.4.2	水轮机的 CO ₂ 气体保护焊	241
8.4.3	低压铝线电机的 TIG 焊	244
8.4.4	压力传感器的等离子弧焊	246
8.5	气体保护焊在容器制造中的应用	247
8.5.1	不锈钢储罐的 CO ₂ 气体保护焊	247
8.5.2	啤酒发酵罐的 TIG 焊	248
8.5.3	铝制储罐的 MIG 焊	249
8.5.4	不锈钢乳化缸的等离子弧焊	252
第9章	气体保护焊的安全与防护	253
9.1	气体保护焊的操作安全	253
9.1.1	气体保护焊操作安全技术要点	253
9.1.2	气体保护焊操作的安全措施	254
9.1.3	气瓶的安全使用	255
9.2	气体保护焊的安全防护	255
9.2.1	触电和辐射的危害及防护	255
9.2.2	焊接烟尘的危害及防护	257
9.2.3	火灾与预防	259
参考文献		260

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，对焊接接头区形成良好的保护效果。随着科学技术的突飞猛进和装备制造技术的迅速发展，各种新的金属材料和新的产品结构对焊接技术要求的提高，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

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，可分为非熔化极氩弧焊（也称钨极氩弧焊，TIG）、熔化极惰性气体保护焊（MIG 焊）、CO₂ 气体保护焊、混合气体保护焊（包括 MAG 焊）等。按采用的电极（或填丝）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 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 (MIG)	Ar (氩气)
			He (氦气)
			He + Ar (氦气 + 氩气)
			Ar + CO ₂ (氩气 + 二氧化碳)
	药芯焊丝气体保护焊	混合气体保护焊	Ar + O ₂ (氩气 + 氧气)
			Ar + CO ₂ + O ₂ (氩气 + 二氧化碳 + 氧气)
		药芯焊丝自保护电弧焊	CO ₂ (二氧化碳)
			CO ₂ + Ar (二氧化碳 + 氩气)
非熔化极气体保护焊	钨极	钨极氩弧焊 (TIG)	Ar (氩气)
		钨极氦弧焊	He (氦气)
		等离子弧焊 (PAW)	Ar (氩气)
特殊气体保护焊	钨极氩弧点焊、热丝 TIG 焊、双电极 TIG 焊等 气体保护电弧立焊、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类。

① 手工气体保护焊：主要用于非熔化极焊接，在焊接过程中焊炬移动和添加填充金属均由手工操作，如手工钨极氩弧焊等。

② 半自动气体保护焊：主要用于熔化极，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，如最常见的是细丝半自动 CO₂ 气体保护焊。

③ 自动气体保护焊：用于非熔化极、熔化极，在焊接过程中输送焊丝以及焊枪相对于焊件的移动都是依靠焊接工装或机器人自动进行的，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、双丝（或双弧）气体保护焊、脉冲气体保护焊、气体保护电弧立焊、复合电源气体保护焊等。

在熔化极气体保护焊方面，可以根据从焊丝到工件的熔滴过渡形态进行分类，即根据电弧熔滴过渡类型，可分为短路过渡电弧焊、潜弧焊、射流过渡电弧焊、脉冲电弧焊以及大电流高速电弧焊等。表 1.2 是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)	二氧化碳气体 (CO ₂)
短路过渡电弧焊	D	D	B	A
射流过渡电弧焊	A	B	B	D
脉冲电弧焊	A	D	B	D
潜弧焊	D	D	C	A
大电流高速电弧焊	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，易产生未熔合缺陷。

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，都可以实现射流过渡电弧焊；一般采用直流反接，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 或 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 气作为保护气体，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 气体保护的电弧进行焊接。潜弧焊比采用 Ar 作为保护气体时的焊接速度高得多，适合于在机械化操作和重复性的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 大电流高速电弧焊 也称为大电流 MIG 或 MAG 焊，这种方法适合于厚板的高效焊接。在低合金钢结构、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 MIG 或 MAG 焊方法高效率的特点更为突出。

1.2 气体保护焊的特点

近年来气体保护焊在工业生产中得到快速发展和广泛地应用，成为熔化焊接方法的一个重

要分支。各种气体保护焊的工艺特点见表 1.3。

表 1.3 各种气体保护焊的工艺特点

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	CO ₂ 气体保护焊是利用二氧化碳(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	焊接过程中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	混合气体保护焊是在惰性气体(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及成本较低等
惰性气 体保护焊	熔化极惰性气体 保护焊(MIG)	熔化极气体保护焊(MIG)是采用 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 (TIG)	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,并可进行全位置焊接
等离子弧焊(PAW)		等离子弧焊是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,以及可以焊接薄板及精密零部件等

与焊条电弧焊、埋弧焊等焊接方法相比较,气体保护焊在焊接工艺性、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动态与熔池情况,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,这一点在多层多道焊时更为突出,能大幅度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,适用性广泛,只要通过改变电极或焊丝直径、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复杂零部件,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,易于获得优良的接头质量。

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,而焊条电弧焊的焊条利用率一般只能达到 80%。在焊接中、厚板时,由于气体保护焊坡口角度的减小,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,气体保护焊设备比焊条电弧焊设备复杂,对焊工的知识结构和操作技能要求更高。

随着现代工业和科学技术,特别是航空航天、原子能、石油化工、海洋开发等工业部门的迅速发展,对焊接技术与焊接质量不断提出新要求,以满足各种使用性能,如高压、高温、低温、耐腐蚀、耐磨、强韧性等。同时还要求能实现焊接过程自动化,提高劳动生产率和降低焊接成本,发展了一些特种气体保护焊工艺方法。主要包括钨极氩弧点焊、热丝钨极氩弧焊、双电极或脉冲钨极氩弧焊、熔化极气电立焊、混合气体保护窄间隙焊以及大电流高速焊等,并已经在焊接生产中得到了应用。显然,气体保护焊是近年来发展最快、应用最为广泛的焊接技

术, 日益受到人们的重视。

1.3 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, 气体保护焊可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, 更适用于焊接铝、钛、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。

气体保护焊特别适合于焊接薄板。不论是熔化极气体保护焊还是非熔化极气体保护焊工艺, 都可以成功地焊接厚度不足 1mm 的薄板。采用气体保护焊工艺焊接大厚板有一定的限制。一般来说, 当厚度超过一定限度后, 其他电弧焊方法, 如埋弧焊或电渣焊大批量生产的效率和成本比气体保护焊合适。

气体保护焊根据实际生产中应用材质的具体情况, 也可焊接中、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, 氩气比空气的质量重, 因而氩弧焊更适合于水平位置的焊接; 氦气比空气质量轻, 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, 大量应用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) 钨极氩弧焊 (TIG)

钨极氩弧焊又称为非熔化极惰性气体保护焊。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都可以用 TIG 焊进行焊接, 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, 例如薄壁管子、管板、阀门与法兰盘的焊接等。TIG 焊方法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。

钨极氩弧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。脉冲 TIG 焊可以焊接厚度 1.0mm 以下的低合金钢或不锈钢薄板, 焊接质量很好。

(2) 熔化极氩弧焊 (MIG)

熔化极氩弧焊又称为熔化极惰性气体保护焊, 可以采用半自动或全自动焊接, 应用范围较广泛。熔化极氩弧焊 (MIG) 可以对各种材料进行焊接, 但近年来由于碳钢和低合金钢更多的是采用 CO_2 焊或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 MIG 焊一般常用于焊接铝、镁、铜、钛及其合金和不锈钢的焊接。MIG 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, 例如厚度 2mm 以下的薄板采用 MIG 焊的效果较好。MIG 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, 因此不能用于活泼金属 (如 Al、Mg、Ti 及其合金) 的焊接。MAG 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。MAG 焊在车辆制造、工程机械、矿山机械、建筑、船舶制造等行业得到了广泛的应用。

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,近年来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发展的趋势;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。随着焊接机器人技术的发展,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) CO₂ 气体保护焊

CO₂ 气体保护焊一般用于汽车、船舶、机车车辆、集装箱、矿山及工程机械、桥梁、建筑等金属结构的焊接生产。CO₂ 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、射流过渡可以焊接中、厚板。CO₂ 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。

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。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。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 CO₂ 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主题进行探索,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地研究。如在材料方面,发展了药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊;在送丝方面,发展了脉动送丝 CO₂ 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 CO₂ 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。例如 80 %Ar+20 %CO₂ 的混合保护气体,在生产中得到了广泛地应用。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。

药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊是近年来发展很快的采用渣-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 及 600MPa 级的低合金高强度钢、耐热钢以及表面堆焊等。药芯焊丝 CO₂ 气体保护焊适合于中厚板的焊接,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、工程机械等,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。

(4) 等离子弧焊 (PAW)

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、铝及铝合金、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。微束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。

采用穿孔型等离子弧焊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的目标。与钨极氩弧焊(TIG)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TIG焊需要一层封底焊和3~4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铝制压力容器的焊接。

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地应用。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,实现了单一电源下的等离子弧焊接。近年来,国内外不断涌现出有关等离子弧焊接新工艺、新技术的报道,并不断地推动等离子弧焊接技术的发展。

等离子弧焊技术具有许多优点,如焊接效率高、焊接质量好、焊接变形小、焊接成本低等。但是,等离子弧焊也存在一些缺点,如设备复杂、操作难度大、焊接成本高等。随着科学技术的进步,等离子弧焊技术将不断完善,为工业生产提供更加优质的焊接服务。

等离子弧焊技术广泛应用于航空航天、船舶制造、石油化工、冶金工业等领域。在航空航天领域,等离子弧焊用于焊接发动机壳体、涡轮机等关键部件。在船舶制造领域,等离子弧焊用于焊接船体结构、舵杆等。在石油化工领域,等离子弧焊用于焊接反应器、换热器等。在冶金工业领域,等离子弧焊用于焊接炉衬、电极等。

随着等离子弧焊技术的不断发展,其在工业生产中的应用越来越广泛。未来,等离子弧焊技术将朝着自动化、智能化方向发展,进一步提高焊接效率和焊接质量。同时,随着新材料的不断涌现,等离子弧焊技术也将不断拓展其应用范围,为工业生产提供更加全面的焊接解决方案。

等离子弧焊技术作为一种先进的焊接方法,在工业生产中具有不可替代的地位。通过不断的技术创新和工艺优化,等离子弧焊技术将为工业生产提供更加优质、高效的焊接服务,推动我国制造业的转型升级。

等离子弧焊技术的研究和应用,对于提高我国焊接技术水平、提升制造业竞争力具有重要意义。未来,我们将继续加大等离子弧焊技术的研究力度,推动其在工业生产中的广泛应用,为我国制造业的高质量发展做出更大的贡献。

(4) 等离子弧焊 (PAW)

等离子弧焊技术具有许多优点,如焊接效率高、焊接质量好、焊接变形小、焊接成本低等。但是,等离子弧焊也存在一些缺点,如设备复杂、操作难度大、焊接成本高等。随着科学技术的进步,等离子弧焊技术将不断完善,为工业生产提供更加优质的焊接服务。

第2章 气体保护焊现状及发展

气体保护焊是在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,科学技术的快速发展,人们对各种新的金属材料和新产品结构焊接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,是利用电弧离解的氢由原子状态过渡到分子状态时放出的热量来局部加热和熔化金属的过程。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 从20世纪30年代至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 从20世纪50年代至70年代,是活性气体保护焊的发展阶段,包括 CO_2 气体保护焊、混合气体保护焊(MAG)等;

③ 从20世纪80年代至今,是等离子弧焊(PAW)以及先进的电子化气体保护焊设备(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

(1) 非熔化极惰性气体保护焊

非熔化极惰性气体保护焊(又称钨极氩弧焊,即TIG焊)是在氩气保护下利用钨极与工件间的电弧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、镁等有色金属惰性气体保护焊的商业性开发,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,并且金属钨易进入焊缝,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,大量的由不锈钢、铝合金、耐热合金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。采用传统的气焊或焊条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(TIG),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(钨极)许用电流的限制,而且向焊缝中添加焊丝不方便,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 TIG 焊早期开发阶段, 后来由于氦气的大量供应而大部分取代了氩气。钨极氩弧焊 (TIG) 工艺从 20 世纪 40 年代初开始在工业生产中被大量采用, 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, 也可是有色金属焊丝, 通过手工方式填加。

(2) 熔化极惰性气体保护焊

为了克服钨极氩弧焊存在的问题, 研究者们开始探索和研究熔化极惰性气体保护焊工艺。20 世纪 40 年代以后, 采用可熔化的焊丝来代替钨极, 开发了熔化极 (焊丝) 惰性气体保护焊工艺 (又称熔化极氩弧焊, 即 MIG 焊)。MIG 焊于 1948 年在美国得到应用, 1952 年在欧洲得到应用, 主要采用半自动焊 (焊丝自动送进, 焊炬手工操作)。这一时期, 人们通过深入地研究熔化极氩弧焊时焊丝加热熔化与熔滴过渡规律, 以及有关工艺条件, 使熔化极氩弧焊逐渐在焊接生产中得到推广和广泛应用。直到 20 世纪 60 年代初, 随着自动焊炬和工艺装备的应用, MIG 焊才实现了自动化焊接生产。

(3) 等离子弧焊 (PAW)

等离子弧焊 (PAW) 是在钨极氩弧焊的基础上发展起来的一种先进、高效的焊接方法, 主要是通过压缩电弧产生的等离子弧进行焊接, 焊接过程中采用的保护气体是氩气。1954 年研究者们发现, 经过压缩的电弧能量更加集中, 电弧温度和射流速度大幅度提高。这种具有高温、长弧柱特性的拘束态电弧很快被用于切割有色金属, 随后进一步的实验研究证实, 这种压缩电弧也可用于焊接。

1966 年美国 Linde 公司与 Westinghouse 电气公司合作开发研制了一套自动化等离子弧焊设备, 用于焊接直径为 3m、壁厚为 9.5mm、材料为 D6AC 钢的大力神 A-C 火箭助推器壳体, 这标志着等离子弧焊接技术正式应用于实际产品的生产。

我国等离子弧焊的研究始于 20 世纪 60 年代末, 经过近 40 年的发展已经日趋完善, 无论在焊接方法和焊接工艺方面, 还是焊接设备、焊枪结构、控制系统以及等离子气体和保护气体等方面都得到了较大的发展。目前已经成功地发展了多种等离子弧焊工艺, 例如微束等离子弧焊、等离子弧-熔化极气体保护焊、脉冲等离子弧焊、交极性等离子弧焊等。

2.1.2 活性气体保护焊的发展

熔化极惰性气体保护焊在焊接生产中得到应用后, 虽然其优点很突出, 但要大量用于焊接碳钢、低合金结构钢和普通焊接结构件仍不是很经济, 因为氩气较稀缺和昂贵, 焊接成本高, 而且气体供应较困难。如何用廉价气体取代氩气进行气体保护焊来焊接碳钢、低合金结构钢接件, 从而降低成本和扩大气体保护焊的应用范围, 这一思路受到人们关注。

(1) 实芯焊丝 CO_2 气体保护焊

早在 20 世纪 30 年代电弧焊发展的初期, 人们就曾设想并试验用廉价的 CO_2 气体作为保护气体焊接碳钢, 但由于当时采用的是普通低碳钢焊丝, 焊接过程中发现焊缝金属受到严重的氧化, 焊缝金属中产生大量气孔, 同时因为未能掌握焊丝加热熔化与熔滴过渡规律, 致使在焊接生产中无法应用。

通过对焊条电弧焊时焊条药皮分解产生的气体的分析研究表明, 焊条药皮产生的气体主要是 CO_2 。这个发现很快导致在使用熔化极气体保护焊工艺的焊接低碳钢时采用 CO_2 作为保护气体。但是用 CO_2 作保护气体的早期试验是不成功的, 因为 CO_2 气体的高氧化性造成了焊丝中合金元素的大量烧损, 严重恶化了焊缝金属的质量。直到进一步试验调整了焊丝的化学成分, 开发出专用于碳钢焊接的 CO_2 气体保护焊焊丝、设备和工艺后, CO_2 气体保护焊在低碳钢上才得到了应用。

通过不断的实践,采用了含有 Si、Mn 等脱氧元素的低合金钢焊丝,并深入研究了 CO_2 气体保护焊的冶金特性和工艺规律。世界各国学者都认为, CO_2 气体保护焊中金属的氧化、焊缝气孔及飞溅等问题是阻碍 CO_2 气体保护焊技术应用的关键。为此重点进行了 CO_2 气体保护焊冶金学的研究并取得进展,解决了阻碍 CO_2 气体保护焊应用中的氧化和焊缝气孔等技术问题,从而保证了 CO_2 气体保护焊接头的质量。

到 20 世纪 50 年代, CO_2 气体保护焊在工业上的应用得到重视,它的最成功应用是在汽车制造业中的半自动和全自动焊接。较高的熔敷效率和焊接速度是 CO_2 气体保护焊得以推广应用的主要工艺特点,但是由于焊接熔池流动性大,也使这种工艺只限于平焊及横焊位置。对于粗丝 CO_2 气体保护焊,熔化过程很快,使得手工操作的半自动焊接十分困难,同时焊接飞溅也很大。

(2) 药芯焊丝 CO_2 气体保护焊

药芯焊丝 CO_2 气体保护焊是在实芯焊丝发展基础上产生的一种新型、高效的气体保护焊方法。20 世纪 60~80 年代,药芯焊丝 CO_2 气体保护焊的发展主要集中于采用粗丝、大电流以获得高质量的焊接接头,并主要应用于大型和中型结构的焊接,但只能进行平焊位置的焊接。采用的焊丝直径一般为 $\phi 2.4\text{mm}$ 、 $\phi 2.6\text{mm}$ 及 $\phi 2.8\text{mm}$ 等。

20 世纪 90 年代以来,随着细直径全位置药芯焊丝(直径小于 2mm)的出现,使得药芯焊丝的应用范围得到了较大的发展。利用半自动 CO_2 气体保护焊设备进行各种位置的焊接,焊丝直径一般为 $\phi 1.6\text{mm}$ 。由于药芯焊丝 CO_2 气体保护焊具有优良的工艺性能,克服了过去实芯焊丝 CO_2 气体保护焊不能解决的问题,例如飞溅大、焊缝成形差、电弧较硬等缺点。目前,药芯焊丝 CO_2 气体保护焊得到世界各国的普遍重视,成为工业生产中常用的高效焊接方法之一。

(3) 混合气体保护焊

混合气体保护焊是在 20 世纪 50 年代末在 MIG 焊的基础上发展起来的,混合气体主要是在惰性气体中加入一定比例的活性气体 CO_2 或 O_2 ,或者同时加入 CO_2 和 O_2 ,也被称为 MAG 焊,采用的填充材料为实芯焊丝。

混合气体保护焊最初主要用于焊接有色金属。随着混合气体保护焊技术的发展,研究者们采用混合气体保护焊来焊接碳钢及低合金钢。由于混合气体保护焊需要采用一定的活性气体(例如 CO_2 、 O_2 等),其成本较低,因此混合气体保护焊工艺在工业生产中得到了较大的发展。但由于采用钨极氩弧焊能获得焊接质量优良和熔透性较好的焊缝,并且与混合气体保护焊相比,对焊件的厚度范围、焊接位置以及接头几何形状的适应性比较强,因此混合气体保护焊的应用也受到了一定的限制。

目前随着焊接技术的飞速发展,焊接设备和控制技术大幅度改善,高效的混合气体保护焊工艺已经得到长足发展和广泛地应用。

2.2 气体保护焊的应用现状

近年来,在钢结构焊接中,气体保护焊得到广泛应用。而且随着制造工艺水平的不断提高,越来越多的世界级大规模焊接结构在国内诞生。表 2.1 是钢结构焊接工程的典型示例,表明钢结构焊接已经步入了兴旺发达的成熟期,而且大量采用了气体保护焊技术。

2.2.1 惰性气体保护焊应用现状

(1) 钨极惰性气体保护焊(TIG)

钨极惰性气体保护焊(TIG)可以焊接几乎所有的金属,TIG 焊有直流、交流、脉冲、热