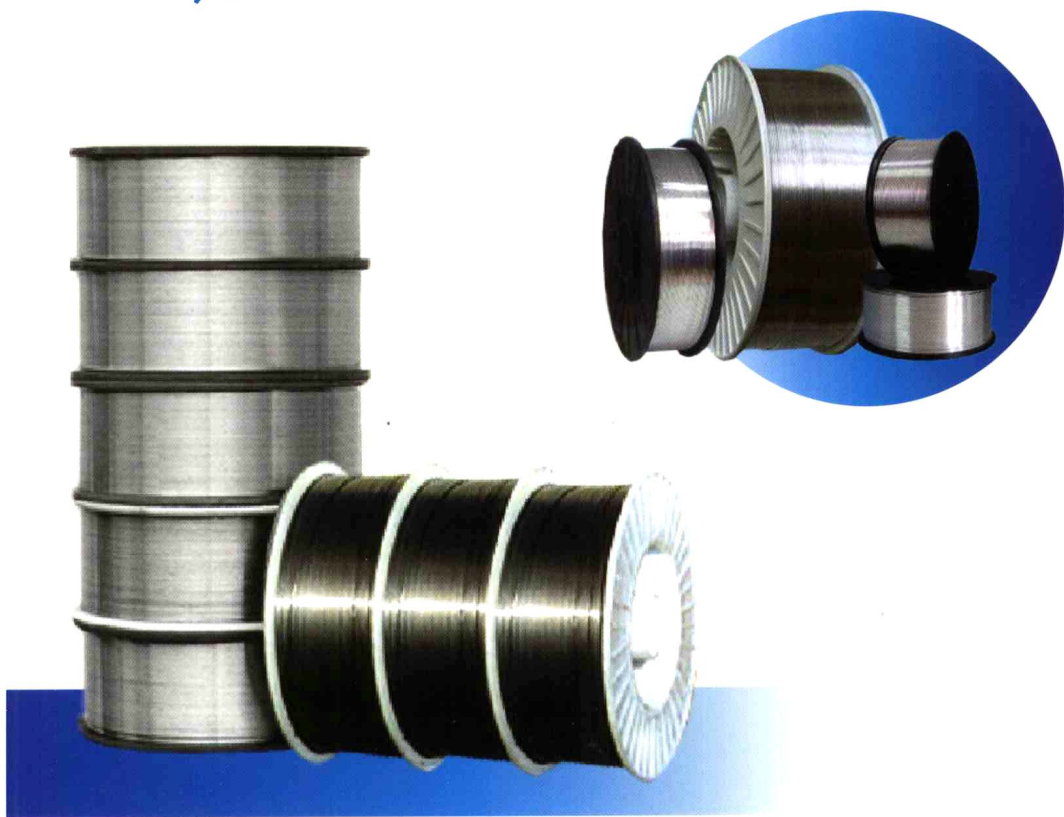


何少卿 王朝前 吴国权 编
YAOXIN HANSI
JI YINGYONG

药芯焊丝 及应用

药芯焊丝概要 / 药芯焊丝标准及其种类
药芯焊丝焊接要领 / 药芯焊丝焊接缺陷与防止措施
各种钢材药芯焊丝焊接性能 / 主要行业药芯焊丝应用状况



化学工业出版社

何少卿 王朝前 吴国权 编
YAOXIN HANSI
JI YINGYONG

药芯焊丝 及应用

药芯焊丝概要 / 药芯焊丝标准及其种类
药芯焊丝焊接要领 / 药芯焊丝焊接缺陷与防止措施
各种钢材药芯焊丝焊接性能 / 主要行业药芯焊丝应用状况



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

药芯焊丝及应用/何少卿, 王朝前, 吴国权编. —北京:
化学工业出版社, 2009. 3

ISBN 978-7-122-04240-8

I. 药… II. ①何…②王…③吴… III. 焊丝-研究
IV. TG422. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 187763 号

责任编辑: 周 红

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 洪雅姝

装帧设计: 刘丽华

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: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 20¼ 字数 420 千字 2009 年 3 月北京第 1 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言 >>

随着工业技术的发展,焊接已广泛应用于车辆、桥梁、船舶、压力容器、化工设备及海洋工程等行业,在经济建设中占有十分重要的地位。在各种电弧焊焊接方法中,药芯焊丝电弧焊虽然起步较晚,但是,由于这种方法比较简单,操作方便,适用于各种焊接位置,焊接效率高,焊接质量好,因此近年来发展迅速,使用范围极广。可以说药芯焊丝电弧焊是继焊条电弧焊和实心焊丝 CO_2 气体保护焊后的又一个应用广泛的焊接方法。

我国于 1987 年引进一条全连轧式药芯焊丝生产线,从此结束了不能生产药芯焊丝的历史。通过二十余年的设备研究和软件开发,到目前为止,国内共有药芯焊丝生产企业 30 多家,生产线近 50 余条,药芯焊丝品种已超过 100 种。

药芯焊丝电弧焊在机械、造船、桥梁、钢管、汽车等行业以及表面堆焊中应用越来越广泛,因此药芯焊丝的使用量逐年大幅度增加,而且要求的产品质量也不断提高,所以药芯焊丝在焊接材料中占有很重要的地位。药芯焊丝具有优良的焊接工艺性能、较高的熔化速度,具有较高的焊接效率,适用钢种范围大。随着焊接半自动化、自动化以及机器人的发展,药芯焊丝的应用面会进一步扩大,药芯焊丝品种和需求量的也会进一步增加。

本书叙述了药芯焊丝的基础知识,介绍了中国、美国、日本药芯焊丝标准的主要技术参数、种类与焊接性能等内容,特别是药芯焊丝特有的使用方法、焊丝的应用状况等。本书可供从事药芯焊丝生产的工程技术人员和实际应用药芯焊丝的焊接人员等阅读,也可供焊接技术人员、研究人员、学生等参考。

本书涉及的焊接方法有药芯焊丝电弧焊(FCAW)、表面堆焊,涉及的材料有碳素钢(碳钢、50kg 高强钢等)、不锈钢、低温钢等。

在本书的编写过程中,曾得到全国焊接标准化技术委员会焊材分会副主任吴树雄高级工程师、中国钢研科技集团公司尹士科教授级高级工程师的大力支持和帮助,谨表诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中难免出现不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

第 1 章	药芯焊丝概要	1
1.1	药芯焊丝的发展	1
1.2	药芯焊丝焊接原理	3
1.2.1	药芯焊丝焊接原理与特点	3
1.2.2	药芯焊丝电弧焊基础	5
1.3	药芯焊丝的构成	8
1.3.1	药芯的构成	9
1.3.2	药芯焊丝制造技术	11
第 2 章	药芯焊丝标准、种类及选用	19
2.1	药芯焊丝标准与种类	19
2.1.1	药芯焊丝的标准	19
2.1.2	药芯焊丝的分类	51
2.2	药芯焊丝特点与效果	54
2.2.1	熔渣型药芯焊丝	54
2.2.2	金属型药芯焊丝	56
2.2.3	自保护药芯焊丝	59
2.3	药芯焊丝的选用	64
2.3.1	焊接工艺性、适应性的选择	64
2.3.2	主要领域药芯焊丝的选用	65
2.3.3	药芯焊丝选用的一般原则	69
2.3.4	碳钢及低合金高强钢用药芯焊丝的选用	70
2.3.5	耐热钢药芯焊丝的选用	74
2.3.6	低温钢用药芯焊丝的选用	76

2.3.7	不锈钢用药芯焊丝的选用	76
2.3.8	异种钢及不锈钢复合钢板用药芯焊丝的选用	81
2.3.9	耐磨堆焊用药芯焊丝的选用	85
2.3.10	其他用途药芯焊丝的选用	85
2.4	药芯焊丝的基础管理	99

第3章 药芯焊丝焊接要领..... 100

3.1	焊前准备	100
3.1.1	坡口准备	100
3.1.2	定位焊	102
3.2	焊接规范的选择	102
3.2.1	焊接电流、电弧电压	103
3.2.2	焊接速度	103
3.2.3	焊丝伸出长度	103
3.2.4	喷嘴角度	105
3.2.5	运条方法	105
3.2.6	焊接用气体	105
3.3	操作要领	109
3.3.1	基本操作	109
3.3.2	应用操作	110
3.4	焊接施工的注意事项	117
3.4.1	气体保护性能	117
3.4.2	送丝性能	117
3.4.3	焊接电流、电弧电压的确定	119
3.4.4	保证熔合	120
3.4.5	焊接烟尘	120
3.5	半自动焊机	120
3.5.1	焊接电源	120
3.5.2	送丝系统	121
3.5.3	焊枪	122
3.5.4	供气系统和冷却系统	123
3.5.5	控制系统的功能	124
3.5.6	常用熔化极气体保护焊机型号编制方法	124

3.5.7	焊机使用的注意事项	125
-------	-----------------	-----

第4章 药芯焊丝焊接缺陷与防止措施 127

4.1	缺陷的种类和防止措施	127
4.1.1	焊接缺陷的分类	127
4.1.2	气孔	128
4.1.3	未熔合、未焊透	129
4.1.4	咬边、焊瘤	131
4.1.5	裂纹	132
4.2	缺陷的防止	133
4.2.1	涂漆钢板角焊的气孔	133
4.2.2	单面焊裂纹	140

第5章 各种钢材药芯焊丝的焊接性能 147

5.1	碳钢、高强钢的焊接	147
5.1.1	焊接规范与接头性能	147
5.1.2	焊接的注意事项	151
5.1.3	应用实例	155
5.2	低温钢药芯焊丝焊接	157
5.2.1	低温钢药芯焊丝种类	157
5.2.2	焊接规范与接头性能	158
5.2.3	施工时的注意事项	161
5.2.4	应用实例	163
5.3	不锈钢的药芯焊丝焊接	164
5.3.1	焊接规范与接头性能	164
5.3.2	施工的注意事项	174
5.3.3	应用实例	179
5.4	表面耐磨药芯焊丝堆焊	180
5.4.1	堆焊金属的性能	180
5.4.2	施工的注意事项	181
5.4.3	应用实例	186

第6章 主要行业药芯焊丝应用状况 187

6.1	药芯焊丝在造船、海上建造物中的应用	187
6.1.1	药芯焊丝在造船业的普及推广	187
6.1.2	不同装配台的应用现状	190
6.1.3	不同接头形式的焊接施工实例	196
6.1.4	海洋建造物的应用实例	200
6.1.5	发展方向	202
6.2	药芯焊丝在桥梁业的应用状况	202
6.2.1	桥梁的特征	202
6.2.2	使用钢材和焊接	204
6.2.3	药芯焊丝的现场焊接	204
6.2.4	现场焊接的应用实例	208
6.2.5	发展方向	208
6.3	药芯焊丝在钢结构中的应用状况	209
6.3.1	在钢结构中的普及推广	209
6.3.2	钢结构的结构概要	210
6.3.3	现场半自动焊接的适应状况	212
6.3.4	现场焊接	215
6.3.5	自动焊的应用实例	215
6.3.6	钢结构焊丝选择的注意事项	219
6.4	药芯焊丝在堆焊及表面修复中的应用	219
6.4.1	药芯焊丝耐磨、耐蚀、耐高温的堆焊	220
6.4.2	表面堆焊与修复	240
6.5	自保护药芯焊丝焊接应用实例	253
6.5.1	X70 管线钢的管线焊接	254
6.5.2	西气东输管道工程中大直径锚固法兰的焊接	258
6.5.3	输油管道工程的药芯焊丝电弧焊	261
6.5.4	高炉炉壳的焊接	265
6.5.5	输气管道的焊接	267
6.5.6	压力管道的焊接	270
6.5.7	STT 气保护半自动根焊、自保护药芯焊丝半自动焊填充盖面 工艺	272
6.6	不锈钢药芯焊丝应用实例	276

6.6.1	加氢反应器的焊接	276
6.6.2	加氢反应器接管内壁以及法兰密封槽的焊接	279
6.6.3	水轮机转轮的焊接	283
6.6.4	不锈钢复合钢板的焊接	285
6.7	药芯焊丝在其他领域中的应用实例	289
6.7.1	4 000m ³ 球罐的焊接	289
6.7.2	车辆行业中药芯焊丝的应用状况	293
6.7.3	工程机械高强异种钢的焊接	294
6.7.4	中低压阀门密封面的堆焊	297
6.7.5	“三峡永久船闸人字门”的焊接	300
6.7.6	车桥钢板弹簧座的焊接	301
6.7.7	钻头焊接	304
6.7.8	高压 Cr-Mo 耐热钢管的焊接	307
6.7.9	气电立焊技术简介	311
参考文献		314

药芯焊丝概要

药芯焊丝电弧焊按照保护类型可分为药芯焊丝气体保护电弧焊和自保护药芯焊丝电弧焊两类。

(1) 药芯焊丝气体保护电弧焊

与实心焊丝气体保护焊的主要区别是所用焊丝的构造不同。药芯焊丝是在焊丝内部装有药芯或金属粉末混合物，焊接时在电弧热的作用下，熔化状态的药芯、焊丝金属、母材金属和保护气体相互之间发生冶金作用，形成一层较薄的液态熔渣包覆熔滴并覆盖熔池，对熔化金属构成又一层保护。而药芯焊丝气体保护电弧焊实质上是一种气渣联合保护的焊接方法。

(2) 自保护药芯焊丝电弧焊

自保护药芯焊丝电弧焊通过焊丝药芯中的造渣剂、造气剂在电弧高温作用下产生的气、渣对熔滴和熔池进行保护。自保护药芯焊丝电弧焊突出的特点是在施焊过程中具有较强的抗风能力，适合于远离中心城市、交通运输较困难的野外工程的焊接。但由于造气剂、造渣剂包覆在金属外皮内部，所产生的气、渣对熔滴（特别是焊丝端部的熔滴）的保护效果较差，焊缝金属的韧性稍差。随着科学技术的进步，近几年高韧性自保护药芯焊丝的出现，使自保护药芯焊丝的应用领域正在逐渐扩大。

1.1 药芯焊丝的发展

1987年北京焊条厂从英国CPV公司的CORWIRE工厂引进一条全连轧式药芯焊丝生产线，我国从此开始生产药芯焊丝。从1993~2002年，已先后有十几个企业分别从英国、美国、日本、乌克兰、德国、意大利、瑞典等国家引进20余条生产线，与此同时，我国对生产设备和软件技术进行了引进消化。到目前为止，国内共有药芯焊丝生产企业30多家，生产线50余条（引进生产线30多条、自制生产线20多条），其中有40多条生产线采用钢带法生产药芯焊丝。

我国药芯焊丝产品品种主要有钛型气保护、碱性气保护和耐磨堆焊（主要是埋弧堆焊类）三大系列，适用于碳钢、低合金高强钢、不锈钢、低温钢等，大体可满足一般工程结构焊接需求。在产品质量方面，用于结构钢焊接的E71T-1钛型气保护药芯

焊丝产品质量已经有了突破性提高，而碱性药芯焊丝的产品质量仍然有待进一步提高。

药芯焊丝的产量从 1996 年不足千吨（以粗丝为主），发展到 2001 年的近 1.2 万吨（以细丝为主），平均每年以超过一倍的增长率在发展，到目前为止，药芯焊丝的产量约 20 万吨，已经成为焊材行业的主要材料之一。应用领域也从造船、海洋结构行业逐步扩大到建筑、桥梁、重型机械、锅炉、压力容器、输油输气用管道、钢结构等多个行业。

在生产设备上已研制出钢带法生产线、盘条法生产线和钢管法生产线，已具备了一定的生产设备设计和制造能力。其中，国产钢带法生产线已稳定地在实际生产中运行，单套年生产能力可达 1000~1500t，从生产能力上对比，钢带法生产线高于盘条法生产线，盘条法生产线高于钢管法生产线。

日本药芯焊丝的发展大体经历了三个阶段，见表 1-1。

表 1-1 日本药芯焊丝的历史

项 目	第一阶段	第二阶段	第三阶段
	1960~1979 年	1979~1985 年	1985 年以后
活性气体保护焊	φ3.2mm、φ2.4mm 的大直径焊丝，使用交流电源，用于管线的角焊接	φ1.2~1.6mm 小直径焊丝，使用直流电源，φ1.2mm、φ1.4mm 主要用于船体的全位置焊接 开发不锈钢、低温钢、60kg 级别钢等各种焊丝	开发 φ1.2~1.6mm 各种小直径焊丝和 φ1.2~2.0mm 金属型药芯焊丝，在非造船行业应用
自保护焊	φ3.2mm、φ2.4mm 的大直径焊丝，使用交流电源，主要用于焊接建筑结构	φ3.2mm、φ2.4mm 等大直径焊丝，使用交流电源 开发钢管用（φ1.2~2.0mm，交直流两用）焊丝	φ3.2mm、φ2.4mm 等大直径焊丝，使用交流电源 开发钢管用（φ1.2~2.0mm，交直流两用）焊丝
气电立焊	φ3.2mm、φ2.4mm 等大直径焊丝，交直流两用，用于焊接船舶结构	φ1.6mm 小直径焊丝，使用直流电源，主要焊接原油储罐、船体钢板等	φ1.6mm 小直径焊丝，使用直流电源，主要焊接原油储罐、船体钢板等

第一阶段（1960~1979 年），主要是用于交流电源的大规格（φ3.2mm）的药芯焊丝生产时期。

第二阶段（1979~1985 年），由于研制了小规格（φ1.2~1.6mm）的氧化钛（也叫金红石）型的药芯焊丝，广泛应用在造船行业中，因此这一阶段是药芯焊丝飞速发展时期。

第三阶段（1985 年以后），不仅大规模增加产量，而且由于金属型药芯焊丝的开发，不仅在造船行业广泛应用，而且也扩展到造船以外的行业。同时焊接设备的配合和发展，使药芯焊丝进入了崭新的时期。

此外，药芯焊丝电弧焊保护气体大部分采用 CO₂，而美国自保护药芯焊丝的比例较大，欧洲主要使用混合气体 Ar+CO₂。由于生产结构不同，考虑保护气体的价格差异、经济性、抗焊接缺陷能力等，主要发展以 CO₂ 气体保护为主的药芯焊丝。

日本近十年来药芯焊丝得到大力的发展，焊材总的产量变化不大，唯有药芯焊丝得到较快的增长（焊条量减少）。到 2007 年，药芯焊丝的产量已基本与实心焊丝持平，见表 1-2 和图 1-1。在药芯焊丝品种方面，以神钢为例，用于焊接低碳钢、490MPa 级高强钢的药芯焊丝共有 29 种（其中金属粉芯焊丝占一半）。这些药芯焊丝的渣系类型有 T-1、T-2、T-4、T-5、T-9，但以 T-1 占绝大多数。使用的保护气体以 CO₂ 为主，也有部分为 Ar+20%CO₂ 用药芯焊丝。开发了许多具有专门特性的药芯焊丝，分别具有以下特性。

- ① 耐涂料性好。
- ② 对于无机锌涂层及其他涂层钢板显示出优异的耐气孔性，能以不同的焊接速度进行快速焊。
- ③ 可焊镀锌钢板，飞溅少。
- ④ 抗裂性好。
- ⑤ 熔敷速度大。

表 1-2 日本近十年的各类焊接材料产量

年 份	1989 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年
气保实心焊丝	64395	55723	57554	62839	59227	60971	62795	65850	59558	63572
药芯焊丝	47089	43247	44951	47576	45334	44604	48095	50804	56587	61767
焊条	34057	28485	29105	28769	26024	25759	27208	25919	23340	24935
埋弧焊丝焊剂	20722	18090	16510	21081	19196	17180	18874	20979	20753	20934
TIG 焊丝及其他	1163	1065	1017	1188	1114	1069	1323	1337	1270	1508

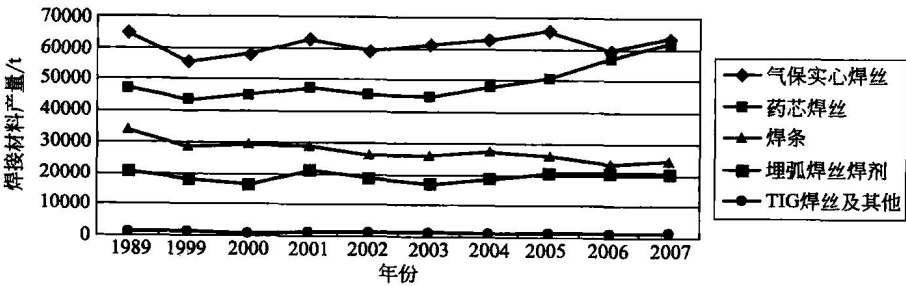


图 1-1 焊接材料发展趋势

1.2 药芯焊丝焊接原理

1.2.1 药芯焊丝焊接原理与特点

药芯焊丝电弧焊原理如图 1-2 所示。药芯焊丝由电机通过焊枪送丝，由导电嘴导电，在药芯焊丝和母材之间产生电弧，喷嘴喷出气体保护焊接熔池，形成熔池和

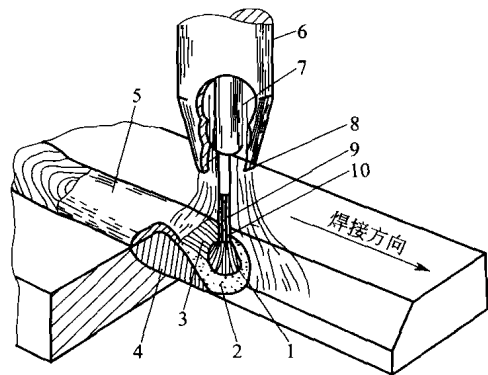


图 1-2 药芯焊丝气体保护电弧焊原理

1—熔滴；2—熔池；3—熔渣；4—焊缝金属；5—凝固的熔渣；
6—喷嘴；7—导电嘴；8—保护气体；9—药芯焊丝；10—药芯

焊缝。

在导电嘴的外侧安装气体喷嘴，喷射保护气体，防止周围的空气与电弧和熔池接触，作为保护气体，一般是 CO_2 ，也使用氩气与 CO_2 的混合气体。保护气体的标准： CO_2 的标准是 HG/T 2537—1993《焊接用二氧化碳》；氩气的标准是 GB/T 4842—2006《氩》，气体的具体质量指标见 3.2.6。

药芯焊丝电弧焊的焊机组成如图 1-3 所示，由焊接电源（平特性或陡降特性）、送丝装置、送气系统和焊枪等构成，基本上与实心焊丝用焊机相同。送丝有自动送丝，也有焊工用手拿焊枪进行“半自动”送丝。

根据药芯焊丝电弧焊的原理，药芯焊丝首先是具有与实心焊丝相同的气体保护焊的特点，并具有如下的一般特征。

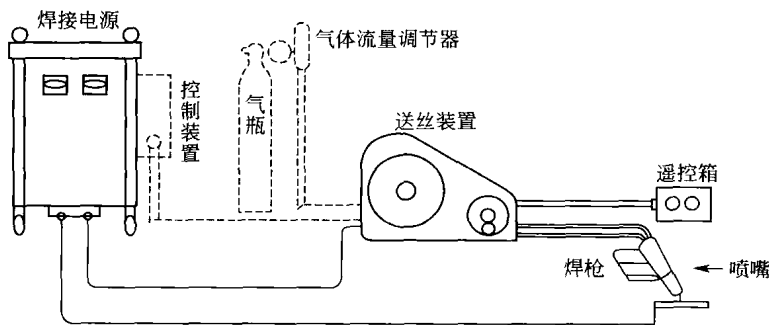


图 1-3 药芯焊丝电弧焊的焊机组成

- ① 与药皮焊条相比，具有较高的焊接效率。
- ② 容易实现自动化、机械化。
- ③ 可以看到电弧，确认焊接状态。
- ④ 抗风弱，有保护不良的危险。

⑤ 比实心焊丝的焊接效率高（图 1-4）。特别是全位置焊接时，可以使用大电流，显著提高效率。

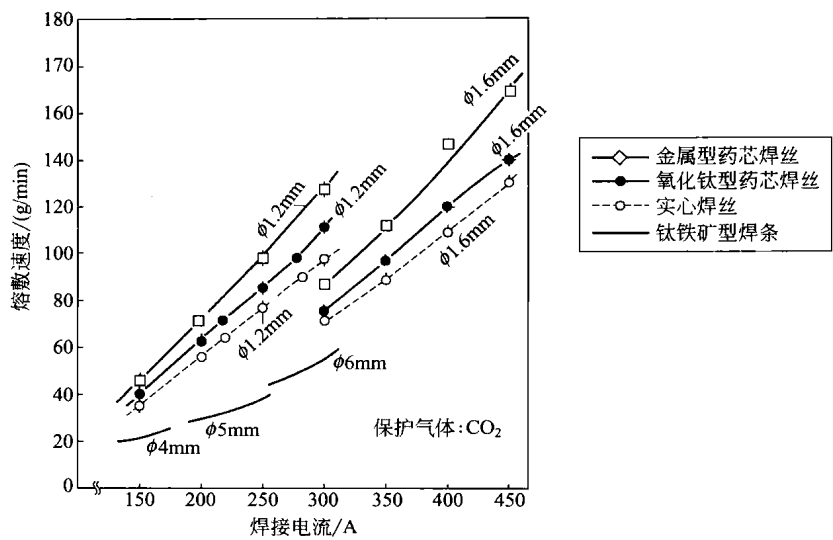


图 1-4 熔敷速度测定结果

- ⑥ 电弧柔和，飞溅少。
- ⑦ 具有良好的焊道形状，外观平滑美观。
- ⑧ 烟尘量稍多。
- ⑨ 形成熔渣，必须清渣。

药芯焊丝电弧焊不仅具有效率高、焊接工艺性能良好等特点，同时具有缩短焊接时间、减少焊接成本的效果，在各行业中有较高的评价。

1.2.2 药芯焊丝电弧焊基础

关于药芯焊丝的优点（效率高、飞溅少等），以焊接行为来进行简单说明。

首先是关于药芯焊丝的熔化行为，其熔化速度根据热传导的观点由式(1-1)来表示。

$$v = \frac{1}{4.2\rho(H_0 + b)}(\varphi j + aLj^2) \tag{1-1}$$

- 式中 v ——焊丝熔化速度，mm/s；
 ρ ——密度，g/mm³；
 H_0 ——熔滴的潜热，cal/g；
 φ ——熔化的电压，V；
 L ——焊丝伸出长度，mm；
 j ——电流密度，A/mm²；

a, b ——常数, a 单位 mm, b 单位 cal/g。

药芯焊丝电弧焊时的电流主要是受外皮金属的限制, 与实心焊丝相比, 相同直径、同一电流时, 电流密度 (j) 大。由式 (1-1) 可知, 药芯焊丝的电流密度大, 药芯焊丝具有较高的熔化速度。一般地, 药芯焊丝的熔化速度随着焊接电流、药芯焊丝伸出长度的增加而增加, 随着焊丝直径的减少而增加。作为药芯焊丝的组成, 焊芯的影响不大, 随着药芯比 (药芯与焊丝总量的比例) 的增加, 熔化速度增加。这种现象可通过式 (1-1) 换算得出, 如图 1-5 所示。

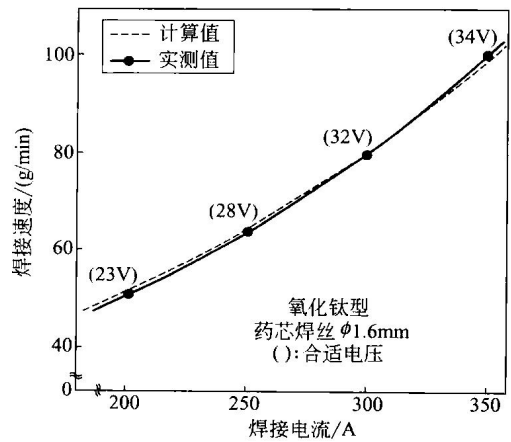


图 1-5 药芯焊丝的熔化速度和焊接电流的关系

其次, 飞溅少的特点可通过熔滴过渡来说明, 典型的药芯焊丝的熔滴过渡行为如图 1-6 所示。

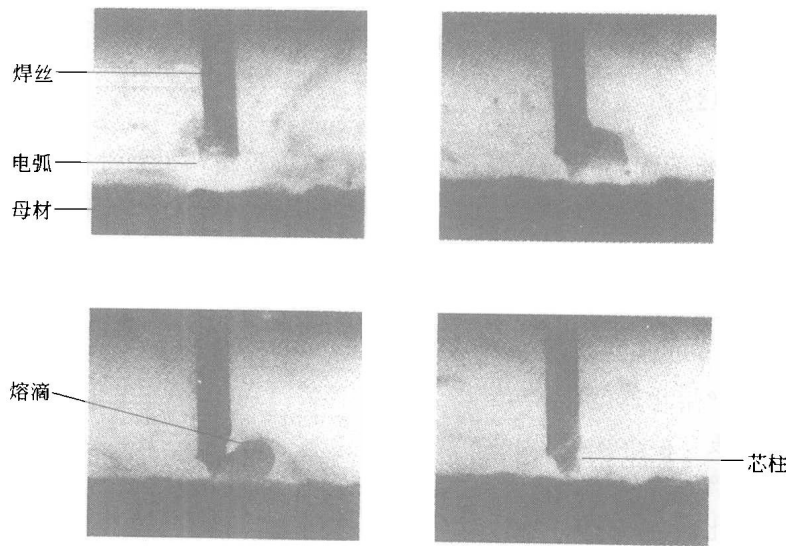


图 1-6 典型药芯焊丝的熔滴过渡现象
(2000 幅/s, $\phi 1.6\text{mm}$, CO_2 , 300A)

如图 1-6 所示, 在电弧中, 从焊丝端部的熔滴伸向药芯柱中, 熔融金属集聚在外皮, 形成熔滴, 这个熔滴不再短路, 而是向熔池过渡。这种熔滴过渡形态属于 IIW 分类中的自由过渡 (喷射过渡)。

一般地, 药芯焊丝的熔滴过渡, 随着焊接电流的增加以及向保护气体中增加氩气而向良好的方向变化 (喷射过渡)。此外, 随着药芯中的 TiO_2 、 Fe-Si 、 Al_2O_3 的增加以及 CaF_2 的减少, 熔滴过渡变好, 还有在实心焊丝中, 伴随短路过渡而产生飞溅。在药芯焊丝中, 几乎不产生短路过渡, 所以飞溅很少。

表 1-3 所示为气体保护焊时药芯焊丝的熔滴过渡形态。药芯焊丝 (氧化钛型) 全位置焊接时具有良好的操作性能, 这是由于适当的熔渣组成形成的。图 1-7 为适应全位置焊接的熔渣组成。

表 1-3 气体保护焊时药芯焊丝的熔滴过渡形态

焊接方法	焊接材料	条 件	过渡形态
CO_2 焊	实心焊丝	小电流	短路过渡
		大电流	大熔滴过渡
	药芯焊丝	小电流	大熔滴过渡
		大电流	自由过渡 (喷射过渡)
混合气体保护焊	实心焊丝	小电流	短路过渡
		小电流范围脉冲并用	喷射过渡
		大电流	喷射过渡

熔滴过渡示意图

大熔滴过渡

短路过渡

喷射过渡

根据熔渣的作用与效果, 大电流全位置焊 (特别是立焊) 可获得良好的焊缝成形和外观。原来药芯焊丝的缺点是发尘量大, 对药芯焊丝的组成、焊接规范等影响因素进行研究, 开发了与实心焊丝发尘量相当的焊丝 (图 1-8)。

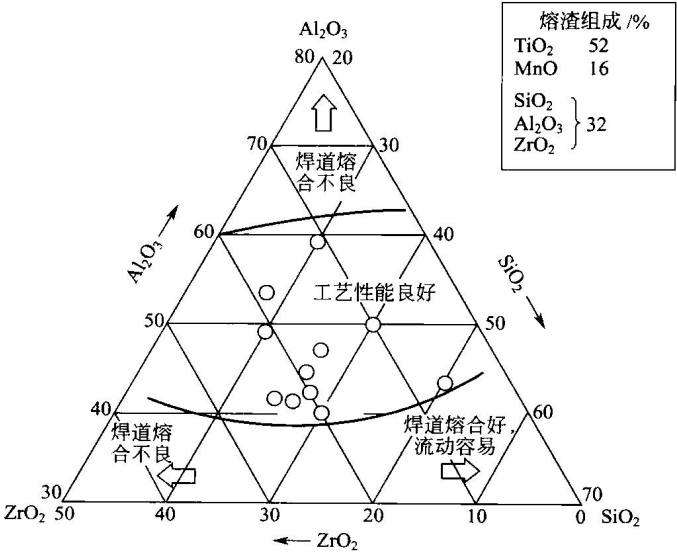


图 1-7 适应全位置焊接的熔渣组成

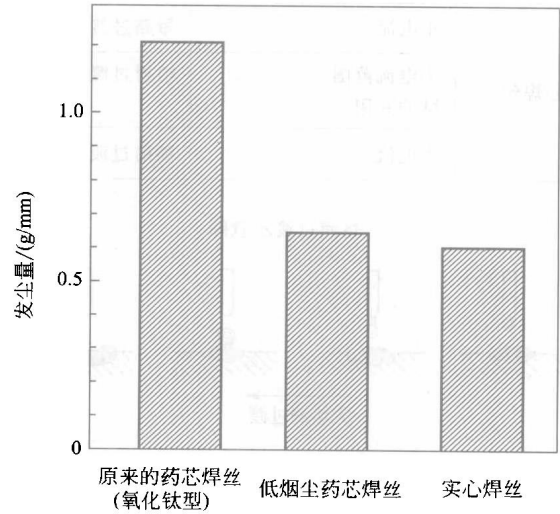


图 1-8 各种焊丝的发尘量对比

1.3 药芯焊丝的构成

药芯焊丝是在外皮金属（带钢或管子）内部填加药芯的焊丝。图 1-9(a)、(b) 是一般形式的焊丝，以直径 $\phi 1.2$ (0.8)~1.6mm 为主，也有 $\phi 2.0\sim 2.4\text{mm}$ 的规