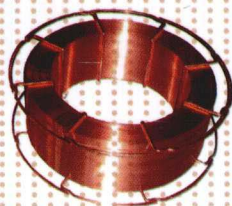
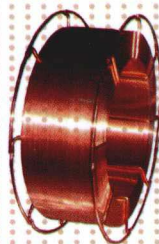


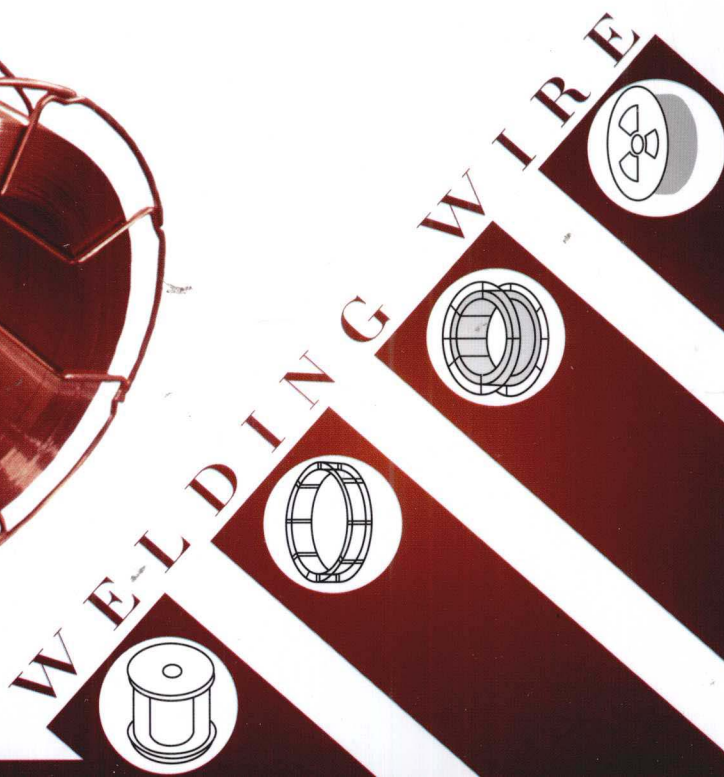
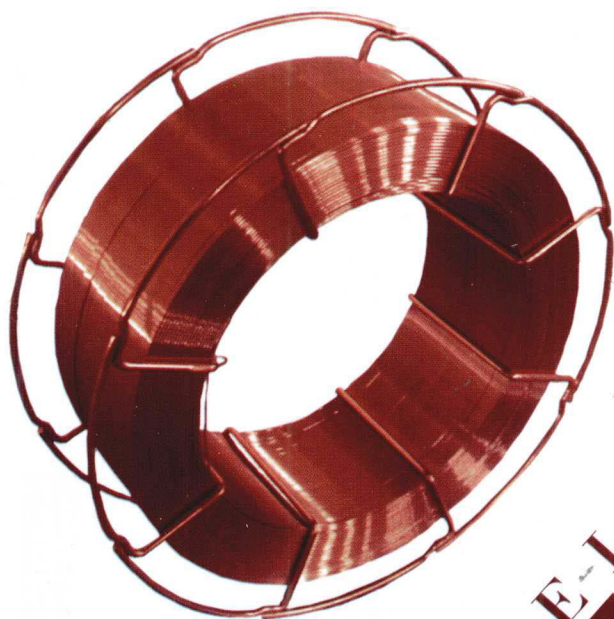
焊丝



选用指南

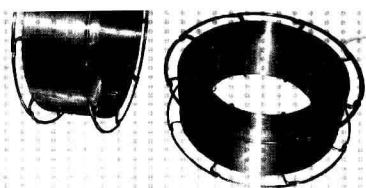
第二版

吴树雄 尹士科 喻萍 编著



化学工业出版社

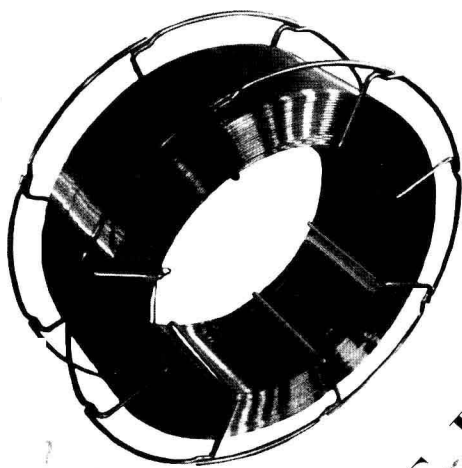
焊丝



选用指南

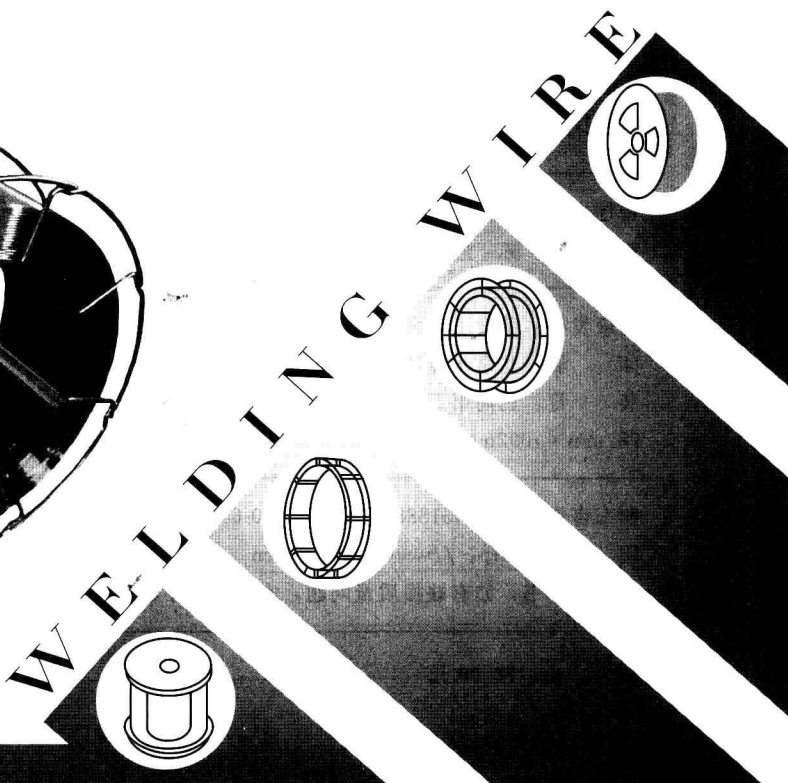
第二版

吴树雄 尹士科 喻萍 编著



化学工业出版社

· 北京 ·



图书在版编目 (CIP) 数据

焊丝选用指南/吴树雄, 尹士科, 喻萍编著. —2 版.
北京: 化学工业出版社, 2011. 5
ISBN 978-7-122-10723-7

I. 焊… II. ①吴…②尹…③喻… III. 焊丝-指南
IV. TG422.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 038718 号

责任编辑: 周 红

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 陈 静

装帧设计: 尹琳琳

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

787mm×1092mm 1/16 印张 28 字数 725 千字 2011 年 6 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: 78.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

焊丝作为一种高效焊接材料,随着科学技术和经济建设的发展及焊接机械化、自动化水平的不断提高,正不断地显示出其在焊接领域中的重要作用。焊丝在整个焊接材料构成中的比例不断增加,目前我国机械化、自动化焊接用材已占到焊材总量的 50% 左右。不论是实心焊丝,还是药芯焊丝,都已广泛用于船舶、桥梁、车辆、压力容器、化工设备、工程机械、海洋工程及核电工业等领域,在国民经济建设中起着越来越重要的作用。

《焊丝选用指南》自 2002 年出版以来,得到了广大读者的认可和喜爱。随着科学技术的飞速发展,国内外各焊接材料制造厂在产品结构和品种数量方面都有了很大的变化。研制开发了许多新产品,特别是药芯焊丝的开发和生产都有了长足的发展,已成为当今焊接材料研究开发的主流。改革开放以来,专用焊丝或对焊接质量有较高要求的焊丝国内正在逐步开发和研究,有不少产品还要从国外进口。目前,我国药芯焊丝产业已进入一个快速发展期,如何加快气保焊用实心焊丝、药芯焊丝等高效焊材的生产和产品开发,仍是摆在我国焊接科技工作者面前的一项迫切而重要的任务。

本书系统地介绍了各类焊丝的性能与特征,包括气体保护焊(含 MAG、MIG 和 TIG)焊丝、自保护焊焊丝、埋弧焊焊丝和气电立焊焊丝,这些焊丝既有黑色金属(碳钢和低合金钢、不锈钢、铸铁及硬质合金等)用的焊丝,也有有色金属(镍、铜、铝、钛、镁、锆及其合金)用的焊丝;还简要介绍了各类保护气体的使用要点及焊接施工的工艺参数等。在焊丝品种方面,既有国产焊丝,也有国外知名公司的品牌产品;在焊丝选用方面,既有国内的规范,也有国外的选用原则和实例;在焊丝发展动向和展望方面,则以国外动向为主,以提供给国内同行作为借鉴。除了介绍焊材产品外,书中专有一章介绍有关基础理论方面的内容,主要是与焊接冶金和熔滴过渡有关的最新技术数据。本书还对被焊材料的焊接性及与之相应的焊接参数等作了简要说明,试图在母材、焊丝及焊接工艺三者有机结合的基础上,从应用的角度来阐述焊丝的选择和使用,以期能对生产现场的设计工作者、焊接技术人员及广大焊工有所裨益。

根据当前我国标准化工作要向 ISO 标准靠拢的现实情况,书中摘录了十四项 ISO 制定的有关焊丝方面的最新标准,还摘录了十项美国的焊丝标准及十六项日本的焊丝标准,借以对我国焊丝生产企业及研发部门提供技术支持,为我国的焊丝标准的修订提供参考。

本书编写过程中,王宝教授提供了药芯焊丝熔滴过渡研究的高速摄影资料,王喜春、胡江明、李春范、李连胜、储继君、陈默、段炼军、何少卿、郭丽君、徐斌、周昀、王增新、李勇、李忠、王国亮、潘川、何志勇、李箕福、王移山、裴新军、何长红、马成勇、肖红军、刘奇凡、李凤辉、王勇、寇伟祥、邵朱云及蒲腊梅等给予了大力支持,提供了相关资料,协助编写工作,在此致以衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有不足之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 概论	1
第一节 焊丝的发展	1
一、从实心焊丝到药芯焊丝	1
二、国外焊丝的发展概况	4
三、我国焊丝行业现状和发展	6
第二节 焊丝的分类	7
一、实心焊丝的分类	7
二、药芯焊丝的分类	10
第三节 焊丝的制造	19
一、实心焊丝的制造	20
二、药芯焊丝的制造	20
三、焊丝的包装	23
第四节 焊丝施焊的原理与特征	25
一、基本原理	25
二、各种焊接方法的施焊特征	26
三、熔滴过渡类型	28
四、药芯焊丝与实心焊丝施焊特征对比	31
第五节 焊丝的保管及质量管理	32
第二章 焊丝的型号和牌号	34
第一节 实心焊丝的型号和牌号	34
一、常用结构钢、耐热钢、低温钢及不锈钢实心焊丝	34
二、气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝	34
三、铜及铜合金焊丝	46
四、铝及铝合金焊丝	49
五、镍及镍合金焊丝	52
六、铸铁焊丝	59
七、硬质合金堆焊焊丝	61
第二节 药芯焊丝型号和牌号	63
一、碳钢药芯焊丝的型号	63
二、低合金钢药芯焊丝的型号	69
三、不锈钢药芯焊丝的型号	77
四、药芯焊丝牌号的表示方法	80
第三章 碳钢、低合金钢药芯焊丝的冶金特性及熔滴过渡	82
第一节 气保护熔渣型药芯焊丝	82
一、熔敷金属中的扩散氢	82
二、熔敷金属中的氮气	83
三、熔滴过渡形式	84
四、药芯焊丝的焊缝组织	88

第二节 金属粉型药芯焊丝	88
一、金属粉型药芯焊丝的熔滴过渡特点	88
二、金属粉型药芯焊丝的发尘量	92
第三节 自保护药芯焊丝	93
一、自保护药芯焊丝气孔的产生原因及防止措施	94
二、自保护药芯焊丝的低温冲击韧性	96
三、铝对自保护药芯焊丝焊缝微观组织、夹杂物特征和力学性能的影响	96
第四章 碳钢及低合金钢焊丝	101
第一节 国产碳钢和低合金钢焊丝的性能	101
一、碳钢和低合金钢气保焊用实心焊丝	101
二、碳钢和低合金钢气保焊用药芯焊丝	102
三、碳钢和低合金钢用埋弧焊焊丝	102
第二节 国产碳钢和低合金钢焊丝的选用	113
一、碳钢和低合金钢焊丝选用的基本要点	113
二、气保焊焊丝的选用	117
三、埋弧焊焊丝的选用	129
第三节 国外碳钢和低合金钢气保焊焊丝的开发与应用	134
一、国外现有碳钢和低合金钢焊丝的综合分析	134
二、国外新型碳钢和低合金钢气保焊丝的开发动向	153
第五章 不锈钢焊丝	161
第一节 不锈钢的分类及其焊接要点	161
第二节 不锈钢焊丝的性能	167
一、不锈钢焊接用实心焊丝	167
二、不锈钢焊接用药芯焊丝	173
第三节 不锈钢焊丝的选用	175
一、同种不锈钢的焊接	175
二、异种钢的焊接	182
三、超级奥氏体不锈钢的焊接	185
第四节 国外不锈钢焊丝的开发与应用	189
一、不锈钢实心焊丝的开发与应用	189
二、不锈钢药芯焊丝的开发与应用	191
第六章 堆焊用焊丝	195
第一节 金属磨损及堆焊金属类型	195
一、金属磨损类型	195
二、堆焊金属类型	199
第二节 堆焊用焊丝	204
一、堆焊用焊丝的分类	204
二、堆焊用实心焊丝	204
三、堆焊用药芯焊丝	204
第三节 药芯焊丝堆焊技术	211
一、选用堆焊焊丝应考虑的因素	211
二、药芯焊丝堆焊技术的应用	213

第四节 堆焊用焊带.....	215
第七章 有色金属焊丝.....	220
第一节 镍基合金焊丝.....	220
第二节 铝及铝合金焊丝.....	234
第三节 铜及铜合金焊丝.....	238
第四节 钛及钛合金焊丝.....	241
第五节 镁及镁合金焊丝.....	244
第六节 锆及锆合金焊丝.....	246
第八章 焊接施工技术及焊接缺陷的防止.....	248
第一节 焊接施工技术.....	248
一、焊接工艺参数的影响.....	248
二、焊接热输入对熔敷金属韧性的影响.....	254
三、保护气体的种类及其影响.....	255
四、气体保护焊的保护效果研究.....	261
五、常用焊接工艺参数.....	271
第二节 焊接缺陷及其防止.....	287
一、夹渣.....	287
二、气孔.....	287
三、裂纹.....	288
四、未熔合和未焊透.....	289
五、咬边和焊瘤.....	290
六、飞溅过大.....	291
第九章 国外焊丝标准摘录.....	292
第一节 国际标准化组织 (ISO) 的焊丝标准摘录.....	294
一、气体保护焊用实心焊丝和填充丝.....	294
二、气体保护焊和自保护焊用药芯焊丝.....	321
三、埋弧焊用焊丝和焊剂.....	336
第二节 美国焊丝标准摘录.....	349
一、实心焊丝.....	349
二、药芯焊丝.....	362
三、埋弧焊用焊丝和焊剂.....	372
第三节 日本焊丝标准摘录.....	378
一、实心焊丝、填充丝及焊带.....	378
二、药芯焊丝.....	388
三、埋弧焊用焊丝和焊剂.....	395
四、其他专用焊接材料.....	398
第十章 各船级社规范及焊丝型号对照.....	400
第一节 各船级社规范摘要.....	400
第二节 焊丝型号对照.....	409
附录 1 填充金属的选用.....	416
附录 2 焊接材料需用量的计算方法.....	437
参考文献.....	440

第一章 概 论

焊接作为一种加工工艺,随着科学技术的发展,已经获得了飞速的发展。焊接材料,包括焊条、焊丝、焊带、焊剂、焊料等,在船舶、桥梁、车辆、工程机械、压力容器、化工设备、海洋设施及核工业等多个领域中被广泛采用,在国民经济建设中发挥了重要的作用。

近年来,随着焊接机械化、自动化程度的不断提高,焊接材料的产品结构和品种也发生了很大的变化。从整体上说,焊条电弧焊用焊条占整个焊接材料产量的比重正不断下降。在日本、欧美等工业化国家,焊条所占比例已从原来的 80% 以上降到不足 40%,日本则降到 20% 以下。与其相对应,焊丝的比重在不断上升,有力地推进了机械化、自动化焊接工艺的发展。特别是药芯焊丝的开发和生产,有了长足的进步,成为当今焊接材料研究开发的主流,并将延续很长一段时间。在我国,焊接材料行业存在的主要问题是产品构成不合理,即自动化、机械化焊接用的焊材的比例偏低。1985 年焊条占焊材总产量的 90% 以上,1998 年焊条为焊材总量的 78% 左右。据归口单位统计,2009 年我国的焊接材料总产量约为 454 万吨,焊条占 51%,气保焊用实心焊丝占 27.5%,药芯焊丝占 9%,埋弧焊用焊丝和焊剂占 12.5%。与工业化国家相比,差距已明显减小。但是,加快高效焊接材料的生产和产品开发,进而逐步减少手工焊焊条的使用量,不断提高焊接机械化、自动化程度,仍是放在我国焊接科技工作者面前的一项迫切而重要的任务。

第一节 焊丝的发展

一、从实心焊丝到药芯焊丝

从 1892 年俄罗斯人斯拉维扬诺夫研究成功现行的金属电弧焊接法的实用化方案至今,焊接工艺已经历了上百年的发展历程,焊接材料也伴随科学技术和焊接工艺的发展,经历了从光焊丝—薄药皮焊条—厚药皮焊条以及实心焊丝到药芯焊丝的一系列的变化。1904 年瑞典人奥斯卡·克杰尔贝格 (Oscar Kjellberg) 建成了世界上第一家焊条厂——ESAB 公司的 OK 焊条厂。同期,欧美各国对焊条药皮的作用都分别进行了研究,先后发明了矿物型厚药皮焊条 (1910 年)、纤维素型焊条 (1919 年) 及碱性焊条 (1921 年)。在大力发展焊条电弧焊焊条的同时,气体保护焊工艺在 1920 年也已开始采用,当时主要依靠惰性气体进行保护,靠惰性气体使电弧及焊接熔池与大气中的气体隔离,免受大气中的氧、氮等气体的侵害。在焊接冶金理论方面,当时尚缺乏系统的研究,主要是靠经验来指导焊缝金属性能的改进。1920 年后,药皮焊条的大力发展,加上惰性气体的价格昂贵,减少了人们对发展气体保护焊工艺的兴趣。

钨极气体保护电弧焊 (GTAW) 是一种利用非熔化电极与工件间的电弧热加热金属而接合的工艺,该工艺有时简称为 TIG 焊,即 “Tungsten Inert Gas Welding”。在欧洲,它也称为 WIG 焊,因为德语中的钨是 Walfgram。TIG 焊可用于焊接黑色及有色金属,这种工艺最初用于一些“难焊”的金属。1930 年实现了铝和镁的焊接的商业性开发,主要用于航空工业。当时 TIG 焊使用氦气保护,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。以后发现,将钨极改接负极,可避免钨极过热,这使它成功地用于不锈钢焊接。

在第二次世界大战期间，生产了交流氩弧焊机，并开发了高频稳弧装置，实现了铝和镁的优质焊接。氩气仅在 TIG 焊早期开发阶段使用，后来由于氩气的大量供应而大部分取代了氦。TIG 焊工艺从 20 世纪 40 年代初期开始在工业上大批量应用，并且成为现代气体保护焊、包括药芯焊丝气体保护焊（FCAW）焊接工艺的先驱，1950 年初该工艺正式被美国焊接学会分类为 TIG 焊工艺。填充材料为实心焊丝，可以是黑色金属焊丝，也可以是有色金属焊丝。

1940 年以后，采用可熔化的焊丝来代替钨极，开发了熔化极（金属）气体保护焊工艺（GMAW），保护气体为惰性气体，也称为 MIG 焊。保护气体通常为氩或氦气，用于焊接有色金属。随着熔化极气体保护焊的发展，工程师们也试图用来焊接碳钢及低合金钢，然而，惰性气体的高成本妨碍了这项工艺在经济方面与低成本的焊条电弧焊的竞争，它的应用和发展受到了限制。这时用的填充丝为实心焊丝。

对焊条电弧焊时焊条药皮分解产生的气体进行的分析研究结果表明，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焊接低碳钢时采用 CO_2 气体作保护，但是用 CO_2 气体作保护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，直到进一步试验研究，调整了焊丝的化学成分，并开发出专用于碳钢焊接的熔化极气体保护焊工艺及设备后， CO_2 气体保护焊在低碳钢上才得到广泛应用。此时，所用的焊丝为含 Mn、Si 等脱氧元素高的实心焊丝。

到 20 世纪 50 年代中期， CO_2 气体保护焊在工业上的应用得到普及，它的最成功应用是在汽车制造业中的全自动焊接。高的熔敷率和快的焊接速度构成了这项工艺的特征，由于焊接熔池流动性大，也使这种填充焊工艺只限于平焊及横焊位置。对于粗丝 CO_2 气保焊，熔化过程是如此之快，以致作为手工操作的半自动焊也十分困难；同时，焊接飞溅过大也是个问题。近年来，数字化焊接电源的出现，使熔滴过渡的形态及焊接参数的瞬时变化得到精确的控制，解决了以往实心焊丝不能进行全位置焊接的难题，进而推动了实心焊丝的应用。

药芯焊丝或当时所谓药皮放在里面的焊条，早在 1912 年，伊萨公司（ESAB）的创造人奥斯卡·克杰尔伯格在他的专利中就已涉及药芯焊丝的概念，他写道：“至于这个金属棒可以做成任何形状，甚至可以做成管状，其内部的物质需经良好的混合，以求得到适当化学成分的焊缝”。也就是说，药芯焊丝的基本概念几乎是和手工焊条同时提出的。1920 年美国发表了第一个涉及药芯焊丝的制造专利，它是先在一条钢带的一面喷镀或涂敷一层焊剂，干燥后把钢带卷成圆管，粘有焊剂层的一面位于管内。20 世纪 20 年代，在美国和德国都进行过药芯焊丝的试验，使用的是切成直长条状，而不是连续成盘的钢带。由于当时的冶金、机械制造工艺的水平尚无法满足现代药芯焊丝制造中的种种要求，保护气体的价格及供应也是个问题，加上药皮焊条的技术进步和埋弧焊方法的研制开发，同样也降低了人们对药芯焊丝开发的兴趣，这就使药芯焊丝的研制仅仅作为试验室中的课题，而未能进入工业领域。

20 世纪 50 年代中期，实心焊丝 CO_2 气保焊的应用重新引起了人们对药芯焊丝的重视。实心焊丝 CO_2 气保焊的最大优点是电流在 300A 以上时，熔敷速度很高，其缺点是飞溅较大，焊缝表面质量比有熔渣的差，而且气体保护的变化增大了焊缝金属的气孔倾向。为了克服上述缺点，人们重新考虑利用在焊丝中加入药芯的方法，把 CO_2 气体保护系统结合到药芯焊丝的开发应用上，提供了一种可以克服上述许多缺陷的新的焊接工艺。由于药芯焊丝中加入了許多改善焊接工艺性能的材料，同时又限制了大气的污染，使焊接质量得到提高。这种新的焊接工艺于 1954 年 5 月由美国焊接学会正式向公众介绍，直到 1957 年，经过改进的焊丝和设备才以目前的形式出现，欧洲和美国出现了商品化的直径为 3.2mm 的气保护药芯焊丝。

药芯焊丝电弧焊的一个重要进展,是在 1958 年美国和前苏联同时研制成一种不需要外加气体保护的药芯焊丝,即目前所称的自保护药芯焊丝。该焊丝的芯部材料由具有适当熔点的造渣剂、脱氧剂和脱氮剂等组成,这些材料在金属熔化的过程中产生“蒸气”和熔渣,使焊缝金属得到保护,这种焊丝更适合于野外工程,因为那里为提供所需要的保护气体的系统受到种种限制。同时,也因为制成了在野外工地移动更方便的焊接设备,如由柴油机驱动的焊接电源等,使自保护药芯焊丝的应用得到了进一步发展。

在药芯焊丝的发展过程中,另一个重要的飞跃是全位置焊药芯焊丝的开发。随着制造技术的进步,焊丝的直径不断减小,气保护药芯焊丝的直径由 3.2mm 和 2.4mm 减少到 1.6mm 和 1.2mm 后,基本上获得了全位置焊接的功能;自保护药芯焊丝通过减少焊丝直径至 2.0mm 和调整药皮组成物,也成功地获得了全位置焊接(特别是立向下焊接)的能力。由于药芯焊丝实现了全位置焊接,加上其熔敷速度快、运条速度快、力学性能好及成分调整灵活,显著地增加了药芯焊丝的应用范围。在许多工业国家,药芯焊丝产量的增长速度已超过实心焊丝。

通过这些年来的不断努力,使药芯焊丝电弧焊的焊接质量迅速提高,改善了焊接接头的力学性能,尤其是冲击韧性。同时,已经开发出许多用于焊接高合金钢的药芯焊丝。由于药芯焊丝内部添加粉剂成分调整的灵活性,因此,可以毫不夸张地说,将来凡是焊条电弧焊焊接的品种,药芯焊丝同样可以做到。而药芯焊丝可以与气体保护焊、埋弧焊等焊接工艺相结合,具有广泛的用途,将成为最有发展前途的焊接材料。

药芯焊丝的应用主要如下:

(1) 造船及海洋工程

焊接是船体建造的支柱工艺方法之一。一艘万吨巨轮焊缝长达 159km,且多为曲线不同、空间位置各异的焊缝,又多在户外焊接,应用药芯焊丝焊接技术最为适宜。目前药芯焊丝半自动 CO₂ 气保焊迅速普及到造船业,成为代替焊条电弧焊的基本施焊方法。1996 年日本造船业的半自动化率(即半自动焊接材料消费量占总的焊接材料消费量的比例)已达到 63%,其中 MAG 焊接用药芯焊丝占有率为 90%,而其余的 10%才是实心焊丝。在管子的焊接、船壳组装焊接中,几乎都使用了 CO₂ 气保护药芯焊丝。海洋钻井平台的钢架和立柱也都普遍采用药芯焊丝焊接。

(2) 石油化工

输油、输气管线的焊接需用大量的药芯焊丝。金属粉型药芯焊丝打底加自保护药芯焊丝(立向下)填充、盖面已成为管线焊接的基本工艺之一,我国以“西气东输”管线为代表的输油、气管线大量采用自保护药芯焊丝;加氢反应器内表面需用超低碳不锈钢药芯焊丝或不锈钢带极堆敷耐蚀层;不锈钢管道底层焊接时,采用 TGX 系列(神钢)药芯焊丝或 TGF 系列(油脂)带药皮的实心焊丝进行 TIG 焊接,可取消传统的背面充氩保护措施,显著提高工效,改善焊接质量,降低成本,还有各种阀门耐蚀表面堆焊等。

(3) 压力容器

各国对压力容器的焊接材料选择一直极为慎重,国外已用药芯焊丝焊接热电站增压沸腾燃烧器及压力容器、核电站的防护结构、大型容器、空气换热器等。用于各种耐热钢的药芯焊丝已大批生产。国内已成功焊接了数台 10⁶m³ 大型球罐及大型 LNG 储罐,运行情况良好,并正式用于 200MW 锅炉集箱全焊透结构马鞍形接管的焊接生产中。

(4) 各种机械的易损部位堆焊

零件的表面堆焊不仅可修旧复新,还可延长寿命。通常可提高寿命 30%~300%,降低成本 25%~75%。药芯焊丝不仅可用于气体保护焊及自保护焊,而且可以和焊剂配合,用

作埋弧自动焊。可以用于如水泥磨盘、岩石钻机、破碎机、螺旋输送机、挖掘机、搅拌器叶片、铁路道轨、碎渣机、锻锤、锅炉传动装置的齿轮轮缘等，其用途可谓不胜枚举。

(5) 其他方面

如建筑工程中高层建筑的基础钢结构的焊接；水电工程中电站转轮异种钢拼焊结构、闸门；冶金炉体及其钢结构的立缝和横缝，如高炉料钟；工程机械（建筑机械、重型机械），道路设施及桥梁、采矿设备中的移动平台、钢结构、储气罐、挖掘和轨道支架；各种农业机械等均可采用药芯焊丝焊接。我国已采用埋弧双丝焊、三丝焊及 CO_2 粗丝焊等焊接工艺，成功焊接了国家体育场“鸟巢”、主楼高达 492m 的上海环球中心大楼等钢结构，并采用耐候钢药芯焊丝焊接了广州电视新塔。

二、国外焊丝的发展概况

实心焊丝的快速发展开始于 20 世纪 40 年代。在第二次世界大战期间，由于战争的需要，连续送丝的焊接方法应运而生。前苏联发明了埋弧自动焊，美国发明了气体保护焊，这两种焊接方法的发明，标志着电弧焊进入了一个新时代，有力地推动了实心焊丝的发展。从总体上看，几十年来，埋弧焊用焊丝在焊材中占的比例变化不大，大致稳定在 7%~11%，而气保护焊用实心焊丝却有着飞速的发展。到 20 世纪 80 年代，各工业化国家的气保护焊用实心焊丝占焊材总量的比例已超过 30%，在日本已接近 50%。大量使用的焊丝型号是相当于 AWS ER70S-6 等的碳钢焊丝。

在国外，药芯焊丝发展较早、较快的国家是美国。日本发展较晚，但发展速度很快。欧洲和前苏联发展较早，于 20 世纪 70 年代开始应用，但发展速度较缓慢。前苏联 1986 年药芯焊丝的产量为 1.8 万吨，只占焊材总量的 3%。

美国于 20 世纪 50 年代大力发展药芯焊丝，至 20 世纪六七十年代已广泛应用，药芯焊丝占焊材总量的比例从 1962 年的 1% 增加到 1978 年的 14%。20 世纪六七十年代，美国大量使用的是 $\phi 2.0\text{mm}$ 和 $\phi 2.4\text{mm}$ 的粗径药芯焊丝，主要用于平焊和平角焊，用来焊接建筑机械、重型机械、钢架及桥梁等。20 世纪 70 年代中期研制的全位置焊接用 E71T-1 型细直径药芯焊丝，到了 20 世纪 80 年代用量急剧增加，应用范围从薄板到厚板，从普通机械到船舶、海洋结构，并扩展到各个领域。1998 年药芯焊丝所占比例超过 20%，药芯焊丝的产量达 7 万吨，焊材总量为 30 多万吨。

目前，美国药芯焊丝的生产厂家主要有林肯公司（LINCOLN），ITW 集团所属合伯特公司（HOBART、TRI-MARK、McKAY），伊萨（ESAB）公司（含 ALLOY ROD 和 LTEC 公司）。尤其是合伯特公司，其生产的药芯焊丝约占美国市场的 50% 以上。

西欧国家的焊接材料产量示于图 1-1。由图 1-1 可以看出，西欧国家的焊接材料年产量在 40 万~60 万吨。从焊接材料的构成来看，手工焊条占的比例逐年减少，即由 1987 年的 36% 左右下降到 1995 年的 24% 左右；实心焊丝占的比例逐年增加，由 1987 年的 48% 左右增加到 1995 年的 56% 左右；药芯焊丝和埋弧焊丝的比例也在增加，但不明显，埋弧焊焊材占的比例约在 11%，药芯焊丝占的比例约为 8%。另据报道，挪威、英国、荷兰等国的药芯焊丝均占 15% 以上。

在日本，20 世纪六七十年代主要用 $\phi 2.4\text{mm}$ 及 $\phi 3.2\text{mm}$ 的粗径药芯焊丝，配合交流电源，主要用于焊接建筑钢架。20 世纪 80 年代初，直径 1.2mm 的钛型细径药芯焊丝问世后才得以飞速发展。药芯焊丝占焊材总量的比例从 1981 年的 1% 增加到 1991 年的 17%，到 2009 年已达到 39%，并超过了实心焊丝占的比例。日本在 2000~2009 年间各种焊材所占比例见表 1-1。

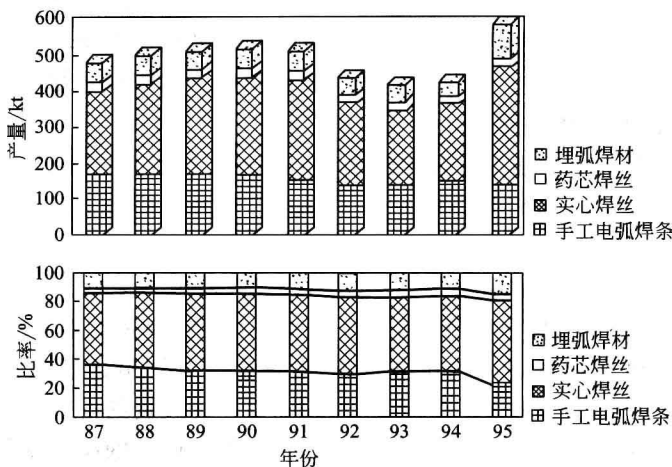


图 1-1 西欧的焊接材料年产量

表 1-1 日本 2000~2009 年间各种焊材所占比例 %

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
焊条	19.3	17.6	17.4	16.6	16.0	14.9	14.2	14.2	13.7	12.0
实心焊丝	39.2	39.0	39.7	41.2	40.3	39.4	37.8	36.9	36.8	32.3
药芯焊丝	29.4	29.5	29.7	29.7	30.8	32.2	35.5	35.5	34.4	39.0
埋弧焊材	11.4	13.1	12.5	11.8	12.0	12.8	13.4	12.6	14.5	15.9

2009 年与 2000 年相比，10 年间的变化情况是：焊条减少 7.3%；实心焊丝减少 6.9%；药芯焊丝增加 9.6%，埋弧焊焊材增加 4.5%。

由表可以看出，日本焊条的产量逐年减少；与焊条的情况相反，气保焊用药芯焊丝的产量却明显增加。气保焊用实心焊丝的产量，1991 年前为上升趋势，此后逐年下降。埋弧焊用焊丝和焊剂的年产量近两年有增加的趋势。

日本的药芯焊丝品种和质量均居世界先进水平，药芯焊丝使用量的比例也居世界领先地位。主要的药芯焊丝生产厂家是日本神户制钢所和日本日铁溶接工业株式会社。日本神户制钢所的 DW 系列 CO₂ 气体保护焊用药芯焊丝在我国享有很好的声誉，其典型产品为 DW-100。

就自保护药芯焊丝而言，日本与美国有较大的差距。在美国，自保护药芯焊丝约占药芯焊丝总量的 30%；而日本的自保护药芯焊丝年产量均不足 1000t，西欧也是如此。

不同焊接方法和焊接材料在日本各种行业中的使用情况列于表 1-2。

表 1-2 不同焊接方法和焊接材料在日本各种行业中的使用情况

行业类别	造船、桥梁	建筑、钢架	汽车、工程机械	能源产业
焊接方法 (焊接材料)	MAG 焊(药芯焊丝) 埋弧焊、气电立焊、焊条电 弧焊	MAG 焊(实心焊丝) 埋弧焊 电渣焊	MAG 焊(实心焊丝)	MAG 焊(药芯焊丝) MIG 焊(实心焊丝)埋 弧焊、TIG 焊
机器人化	少	中	多	少
保护气体	CO ₂	CO ₂	Ar+CO ₂	Ar+CO ₂ , Ar

韩国的药芯焊丝起步虽晚，但进步迅速，已崛起为世界药芯焊丝的主要供应国之一，如韩国现代（HYUNDAI）综合金属株式会社，1988 年建起药芯焊丝厂，经过四次扩建，1997 年已达到年产 45000t 的生产能力。它向中国出口的药芯焊丝数量已超过日本。

三、我国焊丝行业现状和发展

我国早期生产的焊丝，主要是埋弧焊用的实心焊丝。各焊条厂和焊丝厂均能提供。品种主要是仿前苏联的 H08A、H08Mn、H10Mn2 等。后来为了防止焊丝锈蚀，有些焊丝加了镀铜保护层。

CO₂ 气保焊用实心焊丝在我国发展较早，但品种较少，大量供货的只有 ER49-1（H08Mn2SiA）及 ER50-6（相当于 AWS ER70S-6）。直到 20 世纪 80 年代末期，随着市场需求量的增加，才得到迅速发展。现在已有 30 多家企业分别引进了意大利、德国、日本、瑞典、瑞士等国家和中国台湾地区的生产设备近 50 套，总投资约 5000 万美元。焊丝产量在逐年增加，焊丝质量也有了一定提高。近 10 余年我国焊材产量的结构变化见图 1-2。

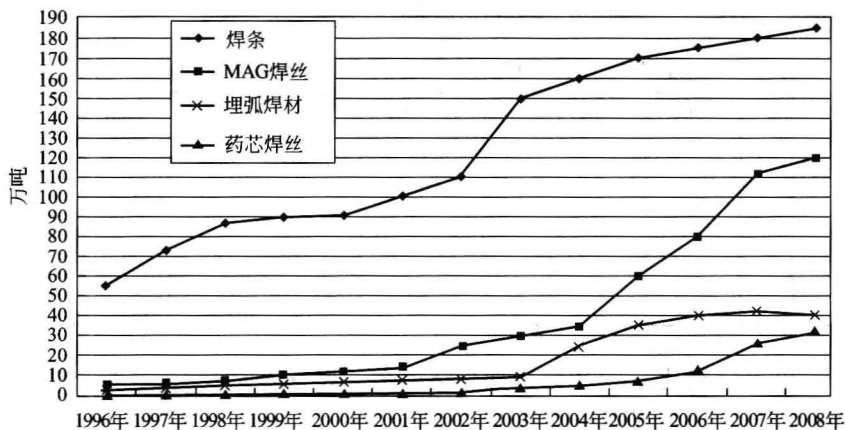


图 1-2 近 10 余年我国焊材产量的结构变化

在国内，药芯焊丝的发展始于 20 世纪 60 年代初，上海亚洲焊条厂和北京大红门电焊条厂分别与机械部机械科学研究院和北京工业大学合作，研制了药芯焊丝生产设备。由于技术上的原因，没有形成生产能力。20 世纪 80 年代中期，北京焊条厂从英国引进药芯焊丝生产线和配方，首次形成了药芯焊丝生产能力。进入 20 世纪 90 年代后，又有多家企业分别从美国、乌克兰、德国和日本引进了药芯焊丝生产线，所引进的生产线均采用钢带轧制或轧拔工艺。由于引进技术消化吸收能力薄弱，引进消化投资不足及国内钢带的质量、尺寸精度和规格尚不能完全满足药芯焊丝的要求，生产技术也不够成熟，因而产量不高。冶金建筑研究总院与漯河电工器材厂联营生产的粗直径药芯焊丝主要用于堆焊。

天津三英焊业有限公司研制了多种药芯焊丝，其生产设备均为自行研制。他们研制成功的多机架主动轧制全自动高速药芯焊丝生产线，单线生产能力已达 4000t/年；并实现药芯焊丝生产装备的成套出口。北京机电研究所、东北大学等研制了用盘条轧制生产药芯焊丝的设备，上海斯米克焊材有限公司和郑州机械研究所研制了无缝药芯焊丝生产设备。近年来，国内药芯焊丝的生产发展很快，年产量已超过 40 万吨。目前国内已经建立了包括碳钢、低合金高强钢、耐候钢、耐热钢、低温钢、不锈钢、气保护堆焊、埋弧焊和气电立焊等多系列药芯焊丝体系。有些药芯焊丝已通过 CCS、LR、ABS 等多国船级

社的质量认可。1998 年的焊丝产品品种列于表 1-3。据不完全统计, 2008 年, 焊丝的品种已达 180 余种。

表 1-3 1998 年焊丝产品品种统计

项目	碳钢	高强度	耐热钢	不锈钢	堆焊	铜及铜合金	铝及铝合金	镍及镍合金	气焊丝	小计
实心焊丝(带)	14	16	7	14/(带 6)	9	7	4	2	3	82
药芯焊丝	9	3	1	6	18					37
合计	23	19	9	26	27	7	4	2	3	119

我国粗钢及焊接材料产量连续 10 多年均居世界首位, 近几年我国粗钢产量占世界总产量的 1/3 以上; 焊接材料产量占世界总产量的 1/2 以上。因此, 中国已成为世界最大的焊接材料生产、销售、消耗基地, 焊接材料及焊接技术在中国具有广阔的发展空间。国际上著名的焊材企业纷纷来中国设厂, 这也推动了国内焊材行业的技术进步。

目前, 国内药芯焊丝产量逐年增加, 2009 年中国药芯焊丝总产量为 41.5 万吨, 处于世界第一。中国已从几年前的药芯焊丝净进口国转为净出口国。粗略估计, 2008 年中国药芯焊丝出口量大约有 8.1 万吨, 其中外资企业约 6.6 万吨, 内资企业约 1.5 万吨, 但内资企业主要是贴牌贸易。

就行业整体而言, 产品质量与国外相比还存在一定差距, 一些技术含量高的药芯焊丝还需进口, 不能满足市场需求。作为一个产业, 许多企业大都以 E501T-1 (即 AWS E71T-1) 类产品为主, 其他产品少有生产。因此亟需调整战略, 加强有关工艺和技术的理论研究, 尤其是创新性研究, 发展有中国自主知识产权的产品, 提高技术水平。适度发展普通产品, 提高品质, 调整结构, 研发新产品, 促进产品升级换代, 从而提高整个行业的技术水平。

药芯焊丝是一种高科技材料产品, 它的出现和发展适应了生产向高效益、低成本、高质量、自动化发展的趋势。目前我国药芯焊丝产业已经具备了良好的外部需求环境和内部发展的基础及竞争动力。在全国焊接工作者的共同努力下, 我国药芯焊丝产业将会进入一个快速发展的新时期。

第二节 焊丝的分类

焊丝的分类方法很多, 习惯的分类方法有:

按不同的制造方法可分为实心焊丝和药芯焊丝两大类, 其中药芯焊丝又可分为气保护和自保护两种。按其适用的焊接工艺方法可分为埋弧焊焊丝、气保焊焊丝、电渣焊焊丝、堆焊焊丝和气焊焊丝等。按其适用的被焊材料性质又可分为碳钢焊丝、低合金钢焊丝、不锈钢焊丝、铸铁焊丝和有色金属焊丝等。焊丝的详细分类示意图见图 1-3。

一、实心焊丝的分类

实心焊丝是轧制的线材经拉拔加工而成的。产量大且合金元素含量少的碳钢及低合金钢线材, 常采用转炉冶炼; 产量小而合金元素含量多的线材多采用电炉冶炼, 分别经开坯、轧制、拉拔而成。为了防止焊丝生锈, 除不锈钢焊丝外, 都要进行表面处理。目前主要是镀铜处理, 包括电镀、浸铜及化学镀铜等方法。不同的焊接方法应采用不同直径的焊丝。埋弧焊时电流大, 要采用粗焊丝, 焊丝直径在 3.2~6.4mm; 气保焊时, 为了得到良好的保护效果, 要采用细焊丝, 直径多为 0.8~1.6mm。

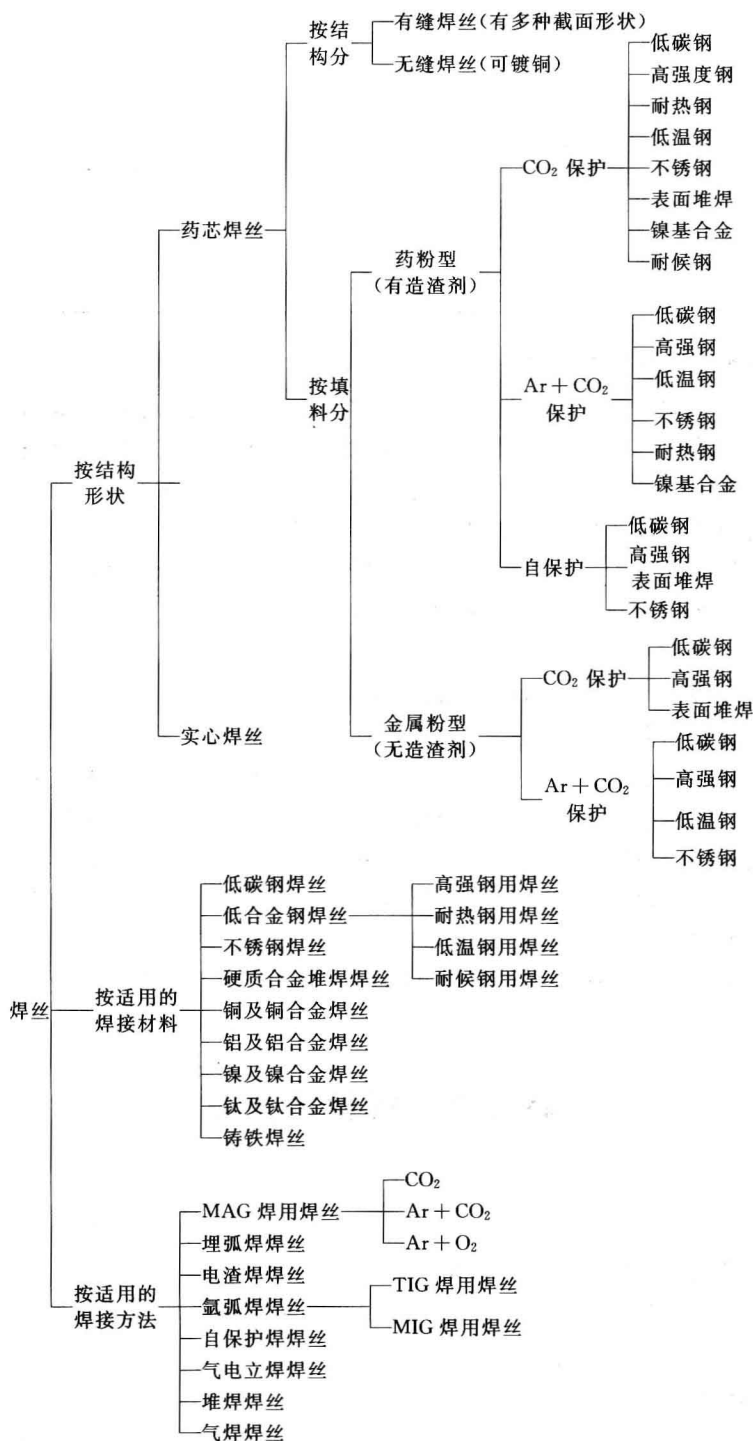


图 1-3 焊丝分类示意图

1. 埋弧焊用焊丝

埋弧焊接时，焊缝成分和性能主要是由焊丝和焊剂共同决定的。另外，埋弧焊接时焊接电流大，熔深大，母材熔合比高，母材成分的影响也大，所以焊接规范变化时，也会给焊缝成分和性能带来较大影响。所以埋弧焊焊丝的选择既要考虑焊剂成分的影响，又要考虑母材

的影响。为了得到不同的焊缝成分,可以采用一种焊剂(主要是熔炼焊剂)与几种焊丝配合;也可以采用一种焊丝与几种焊剂(主要是烧结焊剂)配合。对于给定的焊接结构,应根据钢种成分、对焊缝性能的要求指标及焊接规范大小的变化等进行综合分析之后,再决定所采用的焊丝和焊剂。

① 低碳钢用焊丝 由于焊缝中合金成分不多,故可采用焊丝渗合金,也可采用焊剂渗合金。通过焊剂向焊缝中过渡锰,有利于改善焊缝的抗热裂纹能力和气孔性能;通过焊丝向焊缝中过渡锰时,有利于提高焊缝的低温韧性。焊接低碳钢时多采用低碳焊丝(H08A等),当母材含碳量较高或强度要求较高、而对焊缝韧性要求不高时,也可采用含碳量较高的焊丝,如H15A或H15Mn等。

② 高强度钢用焊丝 根据对焊缝强度级别和韧性的要求,分别采用不同成分的焊丝。590MPa级的焊缝多采用Mn-Mo系焊丝,如H08MnMoA、H08Mn2MoA等;690~780MPa级的焊缝多采用Mn-Cr-Mo系、Mn-Ni-Mo系或Mn-Ni-Cr-Mo系焊丝。当对焊缝韧性要求较高时,往往采用含Ni的焊丝成分系统,如H08CrNiMoA等。焊接690MPa级以下的钢种时,可采用熔炼型焊剂和烧结型焊剂;焊接780MPa级高强度钢时,为了得到高的韧性,最好采用烧结型焊剂。因为熔炼型焊剂碱度较低,为提高韧性,应提高焊剂碱度,但又会导致焊接工艺性能明显变坏,故熔炼型焊剂的应用受到限制。国内已研制成用于焊接X80微合金化高强钢的埋弧焊丝和相匹配的焊剂。

③ Cr-Mo耐热钢用焊丝 为保证焊缝成分与母材相接近,焊接Cr-Mo钢时多采用Cr-Mo系统的焊丝。如焊接Cr-0.5Mo、2Cr-1Mo、5Cr-Mo钢时,可分别采用H08CrMoA、H08Cr2MoA和H15Cr5Mo焊丝,所用的焊剂通常为熔炼型焊剂。为了降低焊缝金属的回火脆性,已研制出了降低焊缝含P量的熔炼型焊剂和烧结型焊剂,同时严格限制焊丝中P、S、Sn、Sb、As等有害杂质的含量。

④ 低温钢用焊丝 埋弧焊焊接低温钢的主要困难是如何保证低温韧性。首先,焊丝成分要控制得当,C、Si的含量要低些,P、S的含量要尽可能降低。根据使用温度的不同,焊丝中可加入不同数量的Ni。使用温度越低,加入的Ni要越多。含Ni低时,Mn的含量可适当高些;含Ni高时,Mn的含量要适当降低。为消除回火脆性,还应加入0.3%左右的钼。其次,要采用碱度高的焊剂。

⑤ 不锈钢用焊丝 采用的焊丝成分要与被焊接的不锈钢成分基本一致。焊接铬不锈钢时可采用H06Cr14、H12Cr13等焊丝;焊接铬镍不锈钢时,可采用H08Cr19Ni9、H08Cr19Ni9Ti等焊丝;焊接超低碳不锈钢时,应采用相应的超低碳焊丝,如H03Cr21Ni10等。焊剂可采用熔炼型或烧结型,要求焊剂的氧化性要小,以减少合金元素的烧损。目前国外主要采用烧结型焊剂,我国仍然以熔炼型焊剂为主,但也有采用烧结型焊剂的,如2209焊丝配合CHF601A烧结焊剂。

⑥ 表面堆焊用焊丝 为了增加耐磨性,或使金属表面获得某些特殊性能,需要从焊丝中过渡一定量的合金元素。这类焊丝因含碳或合金元素较多,难以加工制造,目前主要采用线材水平连铸方法进行小批量生产。随着药芯焊丝的问世,这些合金元素可加入药芯中,且加工制造和合金元素调节方便。故采用药芯焊丝来进行埋弧堆焊耐磨表面是一种可行的方法,并已得到广泛应用。此外,在烧结型焊剂中加入合金元素,堆焊后也能得到相应成分的堆焊层,它与实心焊丝相配合,可完成各种要求的堆焊。

2. 气保焊用焊丝

气保焊方法分为:惰性气体保护非熔化极焊接,简称TIG焊接;惰性气体保护熔化极

焊接, 简称 MIG; 活性气体保护熔化极焊接, 简称 MAG 焊接; 还有自保护焊接。惰性气体主要采用 Ar 气, 活性气体主要采用 CO_2 气, TIG 焊接时采用纯 Ar; MIG 时一般采用 $\text{Ar}+2\%\text{O}_2$ 或 $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$; MAG 焊接时采用 CO_2 、 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 或 $\text{Ar}+\text{O}_2$ 。采用纯 CO_2 焊接时, 飞溅较多, 焊道外观及成形不良, 焊接薄板时难以操作。为了改善 CO_2 焊接的工艺性能, 一是采用 CO_2+Ar 混合气体; 二是采用药芯焊丝。

① TIG 焊接用焊丝 TIG 焊接有时不加填充焊丝, 将被焊母材直接加热熔化后焊接起来; 有的加填充焊丝。手工填丝为切成一定长度的焊丝, 自动填丝时采用盘式焊丝。由于保护气体为纯 Ar, 无氧化性, 焊丝熔化后成分基本不变化, 母材的稀释率也很低, 所以焊丝成分接近于焊缝成分。也有的采用母材成分作为焊丝成分, 使焊缝成分与母材相一致。TIG 焊接时热输入很小, 焊缝强度和塑性都优良, 很容易满足各方面的性能要求。

② MIG 和 MAG 焊接用焊丝 MIG 方法主要用于焊接不锈钢等高合金钢。为了改善电弧特性, 在 Ar 气中混入少量 O_2 或 CO_2 。焊接超低碳不锈钢时, 不能采用 $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$ 混合气体; 只可采用 $\text{Ar}+2\%\text{O}_2$ 混合气体, 以防焊缝增碳。但是焊接低合金钢时, 宜采用 $\text{Ar}+5\%\text{CO}_2$, 以便提高焊缝的抗气孔能力。由于 Ar 较昂贵, 现在低合金钢的 MIG 焊接正在逐步被 $\text{Ar}+20\%\text{CO}_2$ 的 MAG 焊接所取代。MAG 焊接时由于保护气体有一定氧化性, 使某些易氧化的合金元素烧损掉, 故应适当提高焊丝中 Si、Mn 等脱氧元素的含量, 其他成分可以与母材相一致, 也可以有若干差别。如焊接高强度钢时, 焊缝中 C 的含量通常低于母材, Mn 的含量往往明显高于母材, 这不仅为了脱氧, 也是焊缝合金成分的要求。这种成分有利于提高焊缝强度, 且很少降低塑性和韧性。另外, 为了改善低温韧性, 焊缝中硅的含量不宜过高。

③ CO_2 焊接用焊丝 CO_2 焊接时, 由于电弧的热作用, CO_2 气体中分解出原子氧, 具有强烈的氧化性质, CO_2 本身也是一种活性气体, 具有一定的氧化性能。氧化反应的结果, 导致合金元素大量烧损。所以 CO_2 焊接用焊丝成分中应有足够数量的脱氧剂, 如 Si、Mn、Ti 等。如果合金量不足, 脱氧不充分, 将导致焊缝中产生气孔; 焊缝力学性能, 特别是韧性也将明显下降。

采用 CO_2 焊接薄板或立焊、仰焊时, 焊接电流很小, 熔滴呈短路过渡; 而焊接厚板或平焊、角焊时, 焊接电流大, 熔滴呈滴状过渡。在第二种情况下, 熔滴中的合金元素容易烧损, 故焊丝中除加入 Si、Mn 脱氧元素外, 还要加入 Ti、Zr、Al 等强脱氧剂。由于 Ti 等的加入, 熔滴细化、电弧稳定、飞溅减小, 焊接工艺性能变好。

在我国, CO_2 焊接已得到广泛应用, 主要是焊接低碳钢及低合金钢结构, 最常用的焊丝是 H08Mn2Si 和 H08Mn2SiA, 该焊丝的焊接工艺性能较好, 飞溅不大, 抗气孔性能良好, 焊缝力学性能可达到国标及美国标准中规定的要求。

适于 CO_2 焊接的焊丝还有 H10MnSi、H10MnSiMo、H30CrMnSiA 等, 可根据被焊钢种成分及对性能的要求进行选用。

④ 自保护焊接用实心焊丝 它是利用焊丝中所含有的合金元素在焊接过程中进行脱氧、脱氮, 以消除从空气中进入焊接熔池的氧和氮的不良影响。为此, 除提高焊丝中 C、Si、Mn 的含量外, 还要加入强脱氧元素 Ti、Zr、Al、Ce 等。这种焊丝在前苏联研究较早, 并有应用。我国虽然也做了不少研究工作, 但没有正式用于焊接产品。

二、药芯焊丝的分类

(一) 按是否使用外加保护气体

根据是否使用外加保护气体, 分为自保护 (无外加保护气) 和气保护 (有外加保护气)