

HANZI XUANYONG ZHINAN

焊丝选用 指南

● 吴树雄 尹士科 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

焊 丝 选 用 指 南

吴树雄 尹士科 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

ISBN 7-5025-3731-7



9 787502 537319 >

图书在版编目 (CIP) 数据

焊丝选用指南/吴树雄, 尹士科编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.5
ISBN 7-5025-3731-7

I. 焊… II. ①吴…②尹… III. 焊丝-基本知识
IV. TG422.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 014592 号

焊丝选用指南

吴树雄 尹士科 编著

责任编辑: 任文斗

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

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

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 17¼ 字数 432 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3731-7/TF·3

定 价: 37.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2001-19 号

内 容 提 要

本书系统地介绍了气体保护焊、自保护焊、埋弧焊、气电立焊、电渣焊及气焊等所用焊丝的基本知识，重点介绍各类实芯焊丝和药芯焊丝的特点、性能及用途，并从钢材、焊丝及焊接工艺三者结合的实践角度，介绍了各类焊丝的选择及使用原则。还介绍了国内外最新焊丝标准、近年来国外药芯焊丝的发展动态及研究成果。该书内容新颖，信息量大，实用性强，是一部颇具参考价值的工具书。

本书可供焊接工程技术人员、焊接结构设计人员、广大焊工及焊接材料购销人员阅读，也可作为高等院校、中等专业学校焊接专业的辅助教材和电焊工培训教材。

前 言

焊丝作为焊接材料的一个重要组成部分,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,不断地显示出在焊接领域中的重要作用。这一点,从焊丝在整个焊接材料构成中的比例不断增加便可以看出。在先进工业国家,焊丝占焊接材料的比重已达到60%~70%以上。而在我国,也从1985年的不足10%,上升到现在的20%以上。不论是实芯焊丝还是药芯焊丝,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。

近年来,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很大进展,已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。改革开放以来,我国的焊接材料有了很大发展,年产量已超过100万吨,成为世界上的焊材生产大国,但算不上焊材生产强国。目前我国焊接材料生产存在的主要问题仍是产品构成不合理,即自动化、机械化焊接用的焊材占的比例低,焊丝占焊材总量的比例还不到25%,远远落后于工业化国家的发展水平。另外,一些专用焊丝或对质量有较高要求的焊丝还要从国外进口。因此,如何加快气保焊用镀铜焊丝、药芯焊丝等高效焊材的生产和产品开发,以逐步替代和减少手工焊条的用量,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。尤为重要的是药芯焊丝,作为一种高科技材料产品,它的出现和发展适应了生产向高效率、高质量、自动化发展的趋势,焊接总成本也在降低。目前我国的药芯焊丝产业已经具备了良好的外部需求环境,也具备了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。

本书除了系统地介绍各类焊丝的性能和特征外,还对被焊材料的焊接性、相应的焊接工艺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。目前我国已加入WTO,为了适应我国与国外技术合作及经济交流的迫切需要,书中适当介绍了国外焊丝的性能及发展动向,选列了国外最新的焊丝标准,借以对我国的焊丝生产企业及研究开发部门提供借鉴。

本书编写过程中,李春范、吴振祥、马凤辉、史仁明、蔡士辉、徐斌、王增新、李箕福、王移山、陈邦固、金立鸿、阮国钰、李颖、杨翔云、郑汉强、陈义岗及蒲腊梅等给予了大力支持,提供了相关技术资料,协助及参与编写工作,在此致以衷心感谢。

对本书所引用重要参考文献的作者及提供有益帮助的各位焊接界同仁,一并表示谢意。

由于编者水平有限,书中会有错误或不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2001年11月

目 录

第一章 概论	1
第一节 焊丝的发展	1
一、从实芯焊丝到药芯焊丝	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、实芯焊丝的分类	7
二、药芯焊丝的分类	10
三、药芯焊丝的渣系类型	12
第三节 焊丝的制造	16
一、实芯焊丝的制造	16
二、药芯焊丝的制造	17
三、焊丝的包装	18
第四节 焊丝施焊的原理与特征	21
一、基本原理	21
二、各种焊接方法的施焊特征	23
三、熔滴过渡类型	25
四、药芯焊丝与实芯焊丝施焊特征对比	26
第五节 焊丝的保管及质量管理	27
第二章 焊丝的型号和牌号	29
第一节 实芯焊丝的型号和牌号	29
一、常用结构钢、耐热钢及不锈钢实芯焊丝	29
二、气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝	29
三、铜及铜合金焊丝	34
四、铝及铝合金焊丝	34
五、镍及镍合金焊丝	34
六、铸铁焊丝	37
七、硬质合金堆焊焊丝	37
第二节 药芯焊丝型号和牌号	39
一、碳钢药芯焊丝的型号	39
二、低合金钢药芯焊丝的型号	45
三、不锈钢药芯焊丝的型号	47
四、药芯焊丝牌号的表示方法	51
第三章 碳钢及低合金钢焊丝	53
第一节 国产碳钢和低合金钢焊丝的性能	53

一、碳钢和低合金钢气保焊用实芯焊丝	53
二、碳钢和低合金钢气保焊用药芯焊丝	57
三、碳钢和低合金钢用埋弧焊焊丝	59
第二节 国产碳钢和低合金钢焊丝的选用	61
一、焊丝选用的基本要点	61
二、气保焊焊丝的选用	63
三、埋弧焊焊丝的选用	75
第三节 国外碳钢和低合金钢气保焊焊丝的开发与应用	80
一、国外现有碳钢和低合金钢焊丝的综合分析	80
二、国外新型碳钢和低合金钢气保焊丝的开发动向	93
第四章 不锈钢焊丝	96
第一节 不锈钢的分类及其焊接要点	96
第二节 不锈钢焊丝的性能	100
一、不锈钢焊接用实芯焊丝	100
二、不锈钢焊接用药芯焊丝	102
第三节 不锈钢焊丝的选用	104
一、同种不锈钢的焊接	104
二、异种钢的焊接	110
第四节 国外不锈钢焊丝的开发与应用	113
一、不锈钢实芯焊丝的开发与应用	113
二、不锈钢药芯焊丝的开发与应用	115
第五章 堆焊用焊丝	117
第一节 金属磨损及堆焊金属类型	117
一、金属磨损类型	117
二、堆焊金属类型	119
第二节 堆焊用焊丝	123
第三节 药芯焊丝堆焊技术	129
一、选用堆焊焊丝应考虑的因素	129
二、药芯焊丝堆焊技术的应用	131
第六章 有色金属焊丝	134
第一节 镍基合金焊丝	134
第二节 铝及铝合金焊丝	139
第三节 铜及铜合金焊丝	142
第四节 钛及钛合金焊丝	146
第七章 焊接施工技术及焊接缺陷的防止	150
第一节 焊接施工技术	150
一、焊接工艺参数的影响	150
二、焊接线能量对熔敷金属韧性的影响	156
三、保护气体的种类及其影响	157
四、常用焊接工艺参数	163

第二节 焊接缺陷及其防止·····	180
一、夹渣·····	180
二、气孔·····	180
三、裂纹·····	181
四、未熔合和未焊透·····	182
五、咬边和焊瘤·····	183
六、飞溅过大·····	184
第八章 国内外焊丝对照·····	185
一、国内外焊丝型号对照·····	185
二、国内外焊丝牌号对照·····	194
三、国内外焊丝、焊剂标准号及名称对照·····	200
四、各国船级社对低碳钢及低合金钢船用焊丝的性能要求·····	202
第九章 国外焊丝有关标准摘录·····	211
一、日本焊丝标准摘录·····	211
二、美国焊丝标准摘录·····	232
三、欧洲焊丝标准摘录·····	245
附录 1 填充金属的选用·····	248
附录 2 焊接材料需用量的计算方法·····	266
参考文献·····	270

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很大变化。从整体上说，手工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 50%，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低。1985 年焊条占焊材总量的 90% 以上，1998 年焊条仍占全部焊材总量的 78% 左右，与工业化国家相比，存在着明显的差距。因此，如何加快气保焊用的实芯焊丝、药芯焊丝等高效焊材的生产和产品开发，以逐步替代和减少手工焊焊条的用量，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。

第一节 焊丝的发展

一、从实芯焊丝到药芯焊丝

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，经历了从光焊丝到薄药皮焊条再到厚药皮焊条以及实芯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)。在大力发展手工电弧焊焊条的同时，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。填充材料为实芯焊丝，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手工电弧焊的竞争，它的应用和发展受到了限制。这时用的填充丝为实芯焊丝。

通过对手工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 等脱氧元素高的实芯焊丝。

到 20 世纪 50 年代， 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十分困难。同时，焊接飞溅也过大。

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）的创造人奥斯卡尔·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。由于当时的冶金、机械制造工艺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，实芯焊丝 CO_2 气保焊的应用重新引起了人们对药芯焊丝的重视。实芯焊丝 CO_2 气保焊的最大优点是电流在 300 A 以上时，熔敷速度很高，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3.2 mm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,即目前的自保护药芯焊丝。该焊丝的芯部材料由适当熔点的造渣剂、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,使药芯焊丝的应用得到了进一步发展。

在药芯焊丝的发展中,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3.2 mm和2.4 mm减少到1.6 mm和1.2 mm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的能力。由于药芯焊丝实现了全位置焊接,加上其具有熔敷速度高、运条速度快、力学性能好及成分调整的灵活性,显著地增加了药芯焊丝的应用范围。在某些工业国家,药芯焊丝产量的增长速度已超过实芯焊丝。

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,可使将来手工电弧焊焊条所有的品种,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。

药芯焊丝的应用领域主要有如下几个方面。

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159 km,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,成为代替手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与总的焊接材料消费量的比值)已达到63%,其中MAG焊丝中药芯焊丝占有率为90%,而其余的10%才是实芯焊丝。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都可采用药芯焊丝焊接。

2. 石油化工

输油、输气管线的焊接需用大量的药芯焊丝。纤维素焊条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;加氢反应器内表面需用超低碳不锈钢药芯焊丝堆敷耐蚀层;不锈钢管道底层焊接时采用神钢TGX系列TIG焊接用药芯焊丝,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10⁶ m³大型球罐,运行情况良好。并正式用于200 MW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），道路及桥梁、采矿设备中的移动平台、钢结构、贮气罐、挖掘和轨道支架；各种农业机械等均可采用药芯焊丝焊接。

二、国外焊丝的发展概况

实芯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，有力地推动了实芯焊丝的发展。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% 左右，而气保护焊用实芯焊丝却有着飞速发展。到 80 年代，各工业化国家的气保护焊用实芯焊丝占焊材比例已超过 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 60~70 年代已广泛应用，药芯焊丝占全部焊材的比例从 1962 年 1% 增加到 1978 年的 14%。60~70 年代，美国大量使用的是 $\phi 2.0$ mm 和 2.4 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。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 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。

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）及麦凯公司（McKAY），伊萨（ESAB）公司（含 ALLOY ROD 和 L-TEC 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。由图可以看出，焊接材料年产量在 40~60 万吨之间。从焊接材料的构成看，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；实芯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为 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 60~70 年代主要用 $\phi 2.4$ mm 及 $\phi 3.2$ mm 粗径药芯焊丝，配合交流电源，主要用于焊接建筑钢架。80 年代初，直径 1.2 mm 的高钛型细径药芯焊丝问世后才得以飞速发展。药芯焊丝占焊材的比例从 1981 年的 1% 增加到 1991 年的 17%。1989~1998 年间，日本的焊条、埋弧焊焊材和气保焊焊材的年产量汇总于表 1-1。

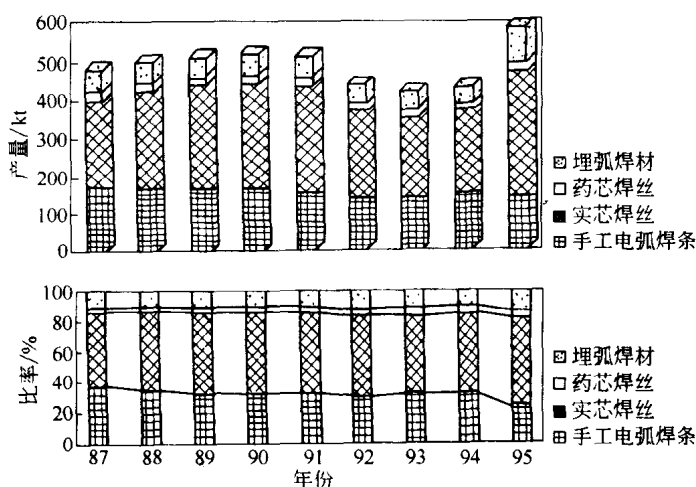


图 1-1 西欧的焊接材料年产量

表 1-1 日本的焊接材料年产量

/kt

年 份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
品 种										
焊 条	107.8	98.6	91.7	79.0	84.3	73.3	77.3	75.5	71.0	63.0
埋弧焊焊丝	18.9	21.8	22.2	21.2	19.1	17.4	19.4	18.2	19.4	18.2
埋弧焊焊剂	22.1	23.9	24.6	24.4	22.1	21.4	22.9	22.1	23.9	21.8
气保焊实芯焊丝	173.5	189.8	208.7	165.9	155.8	135.7	147.3	143.6	147.5	122.2
气保焊药芯焊丝	52.4	66.3	73.5	72.1	71.9	73.9	86.1	89.9	96.4	91.5
气保焊 TIG 焊丝	1.9	2.1	2.2	2.0	2.1	2.1	2.3	2.2	2.4	2.2
总 计	376.6	402.5	422.9	364.7	355.4	323.7	355.4	351.5	360.7	318.8

由表 1-1 可以看出，焊条的产量逐年减少，1998 年的产量仅为 1989 年的 58%，其下降幅度之大实属罕见。与焊条的情况相反，气保焊药芯焊丝的产量却明显增加，1998 年的产量为 1989 年的 1.25 倍。气保焊实芯焊丝的产量，1991 年前为上升趋势，此后逐年下降。1998 年的产量仅为 1991 年的 59%。十年间，埋弧焊焊丝、焊剂及 TIG 焊丝的年产量基本没有变化。从焊接材料构成看，1989 年，焊条占 28.6%，埋弧焊焊材占 10.9%，气保焊焊材占 60.5%。自动化、机械化焊接用的焊材由 1989 年的 71.4% 上升到 1998 年的 80.2%。其中，药芯焊丝占焊材总量的比例由 1989 年的 13.9% 增至 1998 年的 28.7%，十年间增加了一倍以上。从日本焊接材料的出口统计也可以看出这一变化。1989 年气保焊焊丝占出口焊材总量的 50.3%，手工焊焊条占 33.1%；而到 1998 年时气保焊焊丝占 74.6%，手工焊焊条则降到 11%。即气保焊丝出口大幅度增加，而在出口的 21 139 t 气保焊焊丝中，药芯焊丝占 97.52%。

日本的药芯焊丝产量和质量均具世界先进水平，药芯焊丝的使用量占世界领先地位。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，西欧和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%，而西欧和日本的自保护药芯焊丝年产量均不足 1 000 t。

美国和日本的药芯焊丝在各种行业的使用情况列于表 1-2。

表 1-2 1990 年美国和日本药芯焊丝在各行业使用比率

/%

行 业	汽车、车辆	桥梁、建筑	锅炉、压力容器	工程机械	造船、海洋结构
美 国	(64) 29	(25) 23	(31) 21	(35) 21	(11) 31
日 本	(93) 2	(38) 18	(44) 13	(82) 10	(5) 53

注：() 内数字为实芯焊丝的使用比率。

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，如韩国现代综合金属株式会社 (HYUNDAI)，1988 年成立药芯焊丝厂，经过四次扩建，1997 年已达到年产 45 000 t 的生产能力，向中国出口的药芯焊丝的数量已超过日本。

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芯焊丝。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。近年来为了防止焊丝锈蚀，有些焊丝加了镀铜保护层。

CO₂ 气保焊用实芯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 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、瑞士等国家和台湾地区的生产设备近 50 套，总投资约 5 000 万美元。焊丝产量在逐年增加，焊丝质量也有了一定提高。近十几年来，埋弧焊及 CO₂ 气保焊用焊丝的产量见表 1-3。

表 1-3 1986~2000 年我国埋弧焊及 CO₂ 气保焊用焊丝的产量

/kt

年 份	1986	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
埋弧焊丝	12	13	15	20	30	36	40	45	47	50	54	约 60
CO ₂ 焊丝	5	19	20	26	32	45	70	72	80	90	100	约 110
焊 条	490	410	420	710	780	720	600	600	700	870	900	约 900

我国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。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 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），天津大学三英焊业有限公司研制的多品种药芯焊丝，其生产设备均为自行研制，也采用钢带生产药芯焊丝。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。安泰科技股份有限公司正在兴建年产 5 000 t 药芯焊丝的项目，该项目已由原国家科委批准列入国家高新技术产业化示范工程计划内。目前，国内的药芯焊丝制造厂已有 28 家，共有生产线 34 条，其中从国外引进了 20 条生产线和部分配方，现有设备的生产能力预计可达 2 万余吨。目前国内已批量生产碳钢、低合金钢、不锈钢及堆焊用药芯焊丝。有些药芯焊丝已通过 CCS、LR、ABS 等多国船级社的质量认可 1998 年焊丝产品品种（不完全统计）列于表 1-4。

表 1-4 1998 年焊丝产品品种

品 种	碳钢	高 强 钢	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
实芯焊丝(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

目前,我国的药芯焊丝生产,无论在数量上还是在质量上,与国外相比还存在一定差距,不能满足市场需求。药芯焊丝大批量生产中涉及的诸多问题没有得到解决,因而一时还不能形成大批量生产能力。大部分企业尚处于年产1 000 t以下的水平,并且各自的技术力量有限,形成了目前这种品种少、产量小、质量差、整体水平低的局面。

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芯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 1-2。

一、实芯焊丝的分类

实芯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3.2~6.4 mm;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0.8~1.6 mm。

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。

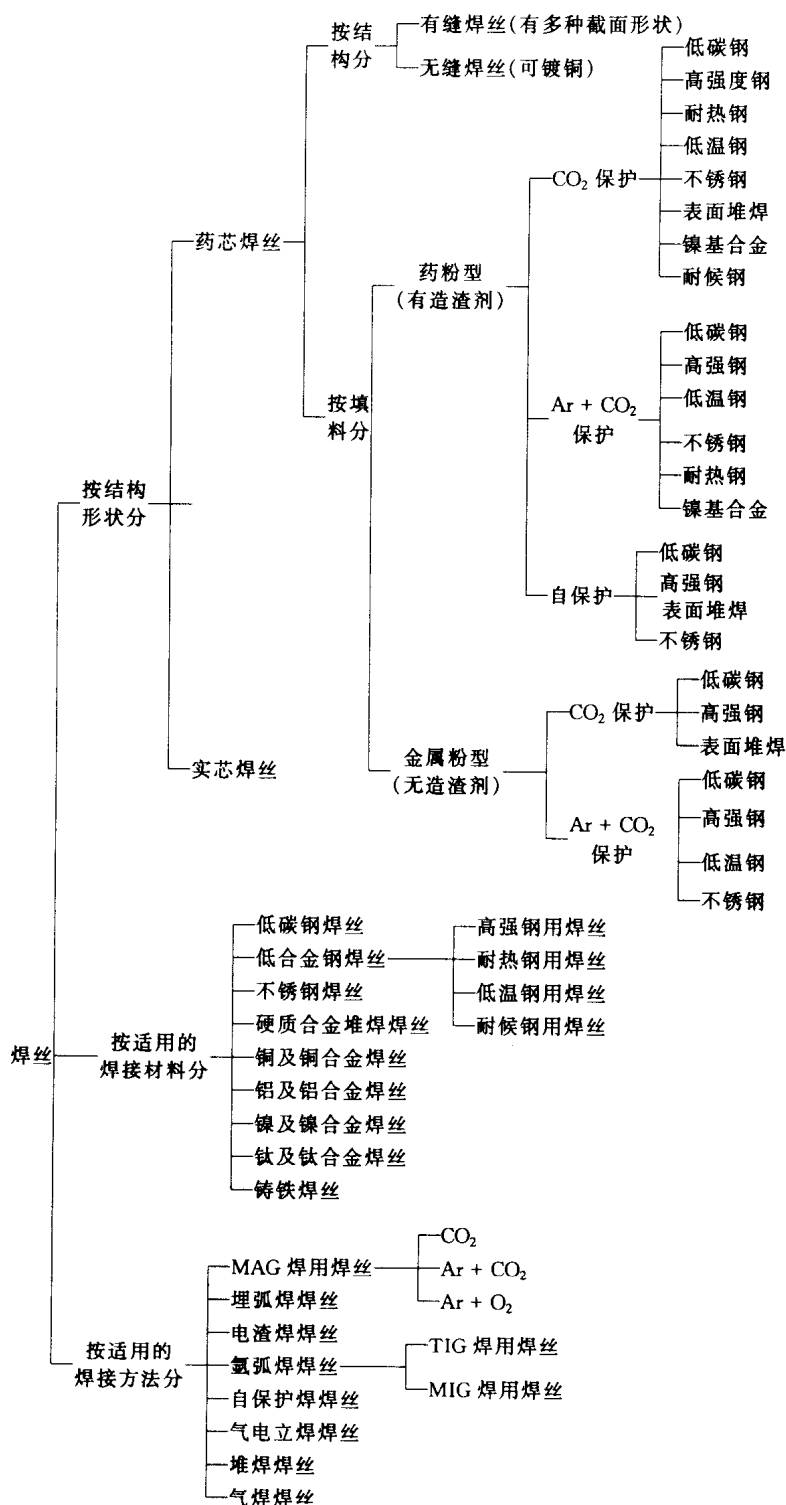


图 1-2 焊丝的详细分类示意图

(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。590 MPa 级的焊缝多采用 Mn-Mo 系焊丝, 如 H08MnMoA、H08Mn2MoA、等; 690 ~ 780 MPa 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 690 MPa 级以下的钢种时, 可采用熔炼型焊剂和烧结型焊剂; 焊接 780 MPa 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。

(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-0.5 Mo、2Cr-1Mo、5Cr-Mo 钢时, 可分别采用 H08CrMoA、H08Cr2MoA 和 H1Cr5Mo 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 H0Cr14、H1Cr13 等焊丝; 焊接铬镍不锈钢时, 可采用 H0Cr19Ni9、H0Cr19Ni9Ti 等焊丝; 焊接超低碳不锈钢时, 应采用相应的超低碳焊丝, 如 H00Cr21Ni10 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, 但正在研制和推广使用烧结型焊剂。

(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, 难于加工制造, 目前主要采用液态(连铸)拉丝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堆焊层, 它与实芯焊丝相配合, 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 CO₂ 气, TIG 焊接时采用纯 Ar; MIG 焊接时一般采用 Ar+2% O₂ 或 Ar+5% CO₂; MAG 焊接时采用 CO₂、Ar+CO₂ 或 Ar+O₂。采用纯 CO₂ 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 CO₂ 焊接的工艺性能, 一是采用 CO₂+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。