

焊工益友

——焊接材料及钢铁焊接——

尹士科 吕向阳 合编
姜亦训 冯金令



机械工业出版社

11

内 容 简 介

本书较系统地介绍了常用电焊条、实芯焊丝、药芯焊丝、熔炼焊剂和烧结焊剂的牌号、渣系、成分、性能及其用途等，较全面地分析了碳钢、低合金高强度钢、耐热钢、低温钢、不锈钢、铸铁及异种钢的焊接特点，选用的焊接材料及工艺措施。书中还汇集了各种焊接接头的坡口形式及尺寸、工艺参数、焊接缺陷的产生原因及预防措施等较实用的资料。

本书主要供从事手工电弧焊、气体保护焊、埋弧焊及电渣焊等工作的广大焊工朋友，并为焊接技术人员参考。

焊 工 益 友

——焊接材料及钢铁焊接——

尹士科 吕向阳 合编
姜亦训 冯金令

*

责任编辑：董连仁 版式设计：霍永明

封面设计：方 芬 责任校对：肖新民

责任印制：王国光

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张 9 $\frac{1}{2}$ ·字数 209 千字

1990 年 11 月北京第一版·1990 年 11 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,050·定价：6.20 元

*

ISBN 7-111-02485-0/TG·580

前 言

在我国这辽阔的土地上，从事焊接的工人朋友目前达180万之多，他们战斗在焊接生产的第一线，所有宏伟的焊接结构件都是由他们亲手完成的。对于广大焊接工人来说，除了苦练操作技能和大量积累实践经验外，还要结合工作的需要，认真阅读一些焊接专业方面的书刊，学习一些焊接基本理论，并注意把理论和实践结合起来，通过反复学习、反复实践的过程，使自己得到提高和进步，为更好地完成自己所承担的焊接工作奠定了坚实的基础。

《焊工益友》正是为了满足广大焊工学习基本理论的需要而编写的。一个焊接工人，在日常工作中经常要碰到焊接材料的使用问题。为了正确地使用各类焊接材料，必须了解所用焊接材料的成分、性能，材料对焊接电源及焊接规范的要求等，并掌握焊接材料的再烘干及管理方面的知识。再者，不同的焊接结构所采用的钢材是不相同的，为了焊接出高质量的产品，必须了解所焊钢材的成分、性能、热处理状态、焊接特点等，这样才能正确地选用焊接材料及焊接工艺措施（预热、层温控制、焊后热处理等）。另外，进行焊接施工时，坡口形式及尺寸、焊接顺序、施焊层次、焊接规范参数等，对保证焊接接头质量也具有重要作用。在焊接过程中难免会产生这样或那样的缺陷，如裂纹、气孔、夹渣、未焊透、未熔合及咬边等，需要对这些缺陷产生的原因进行分析，并制定出相应的防止措施。

本书主要从上述几个方面加以论述，作者期望本书能起到焊工益友的作用，并欢迎广大读者提出意见和批评。

编 者

1989.3

目 录

前言

第一章 常用焊接材料	1
第一节 电焊条	2
一、结构钢焊条	3
二、耐热钢焊条	33
三、低温钢焊条	42
四、不锈钢焊条	44
五、堆焊焊条	55
六、铸铁焊条	70
第二节 焊丝	76
一、实芯焊丝	76
二、药芯焊丝	86
第三节 焊剂	95
一、熔炼焊剂	96
二、烧结焊剂	107
第四节 焊接材料的再烘干及管理	110
一、焊条的再烘干与管理	112
二、焊剂的再烘干与管理	116
三、焊丝的再烘干与管理	117
第二章 钢铁的焊接	119
第一节 钢铁焊接性试验方法	119
一、钢铁焊接性概念	119
二、钢铁焊接性试验方法	120
第二节 钢铁的焊接特点	145
一、碳钢的焊接	145
二、高强度钢的焊接	153

VI

三、耐热钢的焊接	170
四、低温钢的焊接	177
五、不锈钢的焊接	184
六、异种钢的焊接	200
七、铸铁的焊接	211
第三章 焊接施工	225
第一节 焊接坡口及规范参数	225
一、手工电弧焊接	227
二、埋弧自动焊接	241
三、气体保护焊接	253
第二节 焊接缺陷及其预防措施	275
一、外部缺陷	275
二、内部缺陷	276
三、焊接裂纹	285
参考文献	298

第一章 常用焊接材料

焊接是一种重要的金属加工工艺，随着科学技术的不断发展，它已成为一门独立的学科，在工业建设中起着重要作用。焊接材料是实现焊接的必要条件，像手工电弧焊、气体保护焊、埋弧焊、电渣焊等这些应用最广的焊接方法，没有焊接材料是无法进行焊接的。本章所介绍的焊接材料，正是这些使用量大、应用范围广的常用焊接材料，是绝大多数电焊工或焊接技术人员经常碰到的。它包括手工电弧焊用电焊条，埋弧焊或电渣焊用焊丝和焊剂，气体保护焊用实芯焊丝和药芯焊丝等。

我国焊接材料的生产始于本世纪40~50年代，历经40余年的发展和变革，到目前为止已具有近百家规模较大的生产厂，其生产能力也是相当可观的。

在焊条行业中，接受国家指导性计划的有48个规模较大的焊条厂，其设计生产总能力可达60万 t，近几年的年产量都在40~50万 t，可供生产的焊条品种有260多个。目前已有38个企业通过了国家船检局（ZC）的工厂认可或产品认可；有34个企业同时通过了多国船级社的认可，这些机构包括英国劳埃德船级社（LR）、美国船级社（ABS）、法国船级社（BU）、西德劳埃德船级社（GL）、挪威船级社（DNV）、日本海事协会（NK）、美国焊接学会（AWS）、美国机械工程师协会（ASME）及加拿大国家焊接局等。近年来焊条产品的质量有明显提高，有一个工厂的两个产品获国家金质

奖，有二个工厂的两个产品获国家银质奖，有淄博焊条厂等13个工厂的五个产品获部优产品称号。

焊丝行业有30余个企业，其中有10家从国外引进了 CO_2 焊丝生产设备，年生产能力约3万t，主要产品是H08Mn2Si焊丝，也有少量60、70及80kgf级焊丝。埋弧焊焊丝的年产量约1~1.5万t，主要产品H08、H08Mn、H10Mn2、H10MnSi、H10Mn2Mo、H10MnSiMoTi、H08CrMo等。药芯焊丝的生产厂家仅有几家，部分厂还引进了国外的生产设备，年生产能力1000t左右。

焊剂行业约有22个生产厂，近年来总产量在1.5万t左右，生产能力约2万t，以熔炼焊剂为主，其中HJ431占产量的90%以上。近几年烧结焊剂发展较快，已有4家生产厂，其中有一家从国外引进了生产线，年生产能力5000t。

当前我国焊接材料方面存在的问题是产品构成比例不够合理。从1988年的产量统计，手工电弧焊焊条的产量占焊接材料总产量的90%以上，自动焊用的焊丝、焊剂等还不足总产量的10%，这主要是因我国自动焊发展不普及，焊接自动化、机械化水平较低所致。为适应我国经济发展的需要，应尽快提高我国焊接自动化水平，并能从战略上调整我国焊接材料的构成比例，大力发展自动或半自动焊焊接材料。

第一节 电 焊 条

目前，电焊条已广泛用于造船、建筑、石油化工、桥梁、车辆、机械、原子反应堆等各工业领域的结构焊接。为便于广大焊工更好地掌握各种牌号焊条的性能和特征，本书将介绍生产中常见的六类焊条，即结构钢焊条、耐热钢焊条、低温钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条和铸铁焊条，逐一加以说

明。

一、结构钢焊条

结构钢焊条是用量最大的焊条，它的品种又很多，是广大焊接工作者应予熟悉和掌握的。根据《焊接材料产品样本》中的焊条牌号编制方法：结构钢焊条用“J”字表示；“J”后面的第一、第二位数字表示焊缝金属的抗拉强度等级，如表1-1所列；第三位数字表示焊条药皮类型和焊接电

表1-1 焊缝金属强度等级的编排

牌 号	焊缝抗拉强度等级 MPa(kgf/mm ²)	焊缝屈服强度等级 MPa(kgf/mm ²)
J 42 ×	420(43)	330(34)
J 50 ×	490(50)	410(42)
J 55 ×	540(55)	440(45)
J 60 ×	590(60)	530(54)
J 70 ×	690(70)	590(60)
J 75 ×	740(75)	640(65)
J 80 ×	780(80)	690(70)
J 85 ×	830(85)	740(75)
J 90 ×	880(90)	780(80)
J 10 ×	980(100)	880(90)

源种类，如表1-2所列；数字后面的字母符号表示焊条的特殊性能和用途。各符号的意义如表1-3所列。对于任一给定的电焊条，只要从表中查出各数字所表示的具体内容，就可以掌握这种焊条的主要特征。举例说明如下：

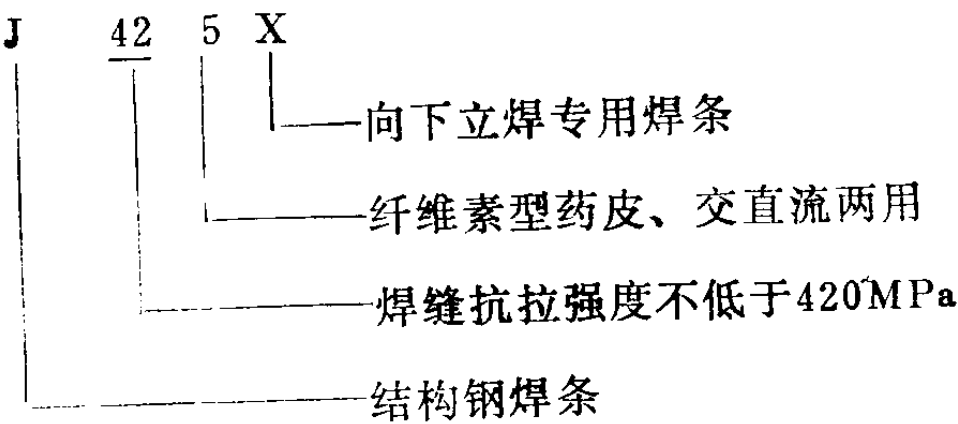


表1-2 药皮类型和焊接电源种类

牌号	药 皮 类 型	焊接电源种类
J × × 0	未规定	未规定
J × × 1	氧化钛型	直流或交流
J × × 2	氧化钛钙型	直流或交流
J × × 3	钛铁矿型	直流或交流
J × × 4	氧化铁型	直流或交流
J × × 5	纤维素型	直流或交流
J × × 6	低氢钾型	直流或交流
J × × 7	低氢钠型	直流
J × × 8	石墨型	直流或交流

表1-3 各字母符号的意义

字母符号	表示的意义
D	底层焊条
DF	低尘焊条
Fe	铁粉焊条
Fe13	铁粉焊条，焊条名义熔敷效率130%
Fe18	铁粉焊条，焊条名义熔敷效率180%
G	高韧性焊条
GM	盖面焊条
GR	高韧性压力容器用焊条
H	超低氢焊条
LMA	低吸潮焊条
R	压力容器用焊条

(续)

字母符号	表示的意义
RH	高韧性超低氢焊条
SL	渗铝钢焊条
X	向下立焊用焊条
XG	管子用向下立焊焊条
Z	重力焊条
Z15	重力焊条，焊条名义熔敷效率150%
CuP	含Cu和P的抗大气腐蚀焊条
CrNi	含Cr和Ni的耐海水腐蚀焊条

结构钢焊条的牌号有近百个，可从几个方面加以分类。若从药皮的酸碱度来划分，主要分两大类，即碱性焊条和酸性焊条。酸性焊条又包括氧化钛型、氧化钛钙型、钛铁矿型、氧化铁型和纤维素型五种药皮；碱性焊条主要是低氢钾、低氢钠型。若按照焊缝金属的强度级别来划分，可分为碳钢焊条和低合金高强度钢焊条。碳钢焊条的焊缝强度通常小于540MPa (55kgf/mm²)，只有420和490MPa (43和50kgf/mm²) 两个强度级别；高强度钢焊条的焊缝强度为540~980MPa (55~100kgf/mm²)。目前大量使用的是490MPa (50kgf/mm²) 级以下的焊条，但高强度钢焊条的用量正在逐年增加。若按照焊条的焊接特征划分，可分为底层焊条、盖面焊条、向下立焊焊条、重力焊条、低尘焊条和铁粉焊条等。若按照焊条的使用性能，还可以分为高韧性焊条、超低氢焊条、抗吸潮焊条及低合金耐腐蚀焊条，如抗大气腐蚀、抗海水腐蚀、抗硫化氢腐蚀等。

高强度钢焊条、低合金耐腐蚀焊条、超低氢焊条、高韧性焊条、耐吸潮焊条等，基本上都是碱性焊条，适用于对焊缝的韧性和抗裂性能要求较高时的焊接；当对焊缝的韧性和

抗裂性能要求不高，而对焊接工艺性能要求较高时，宜采用酸性焊条。低强度的焊条、低尘焊条、铁粉焊条、向下立焊焊条等，既有碱性的也有酸性的。盖面焊条、重力焊条往往是采用酸性的。

表1-4列出了结构钢焊条的简明特性，表1-5列出了各牌号焊条的焊缝成分与性能。为便于掌握这两个汇总表，下面分别从焊条药皮类型及焊缝成分、组织与性能两个方面加以具体说明。

(一) 结构钢焊条的药皮类型及特性

1. 氧化钛型药皮 在这类药皮中， TiO_2 的含量达35%（质量分数）左右，还含有一些硅铝酸盐、锰铁和纤维素等，碱性氧化物的含量很少，一般不超过百分之十。该类型焊条的焊接工艺性能优良，电弧柔和、稳定，再引弧性良好，脱渣容易，焊道成形美观，熔深较浅，多用于单道焊或盖面部位的焊接。可采用交、直流电源，适于全位置焊接。由于熔渣为酸性，焊缝金属的塑性、韧性较差，抗裂性能比较差，故不适于焊接重要结构和大厚度产品，主要用于焊接一般的低碳钢结构，特别是薄板结构。这类药皮的焊条牌号有ZBJ421、ZBJ501等（ZB为淄博焊条厂的代号，下同）。

为了提高焊接熔敷效率，可在药皮中加入适量铁粉，这样的焊条称铁粉钛型焊条，如ZBJ421Fe或ZBJ421Fe16，焊条名义熔敷效率可达120%或160%。ZBJ421Fe16焊条，不但焊接熔敷效率高，工艺性能也相当好，飞溅很小，渣壳能自动翘起，深受焊工欢迎。在美国或欧洲市场上，铁粉钛型焊条也是销售量很大的品种之一。

另外，氧化钛型药皮的熔渣粘度和熔点较高，熔渣特性易于满足向下立焊的要求，故这类焊条可用于向下立焊，如

表1-4 结构钢焊条简明表

牌 号	国 标	药皮类型	焊接电源	主要用途
J 350			直 流	专用于微碳纯铁 氮合成塔内件的焊 接
J 420 G	E 4300	特殊型	交直流	高温高压电站碳 钢管道焊接
J 421	E 4313	高钛钾型	交直流	焊接一般低碳钢 薄板结构
J 421 X	E 4313	高钛钾型	交直流	用于碳钢薄板立 向下行焊及间断焊
J 421 Fe	E 4313	铁粉钛型	交直流	焊接一般低碳钢 薄板结构
J 421 Fe13	E 4324	铁粉钛型	交直流	焊接一般低碳钢 薄板结构的高效率 电焊条
J 422	E 4303	钛钙型	交直流	焊接较重要的低 碳钢结构相同强度 等级的低合金钢
J 422 GM	E 4303	钛钙型	交直流	焊接海上平台、 船舶、车辆、工程 机械等表面装饰焊 缝的电焊条
J 422 Fe	E 4303	铁粉钛钙型	交直流	焊接较重要低碳 钢结构的铁粉型电 焊条
J 422 Fe13	E 4323	铁粉钛钙型	交直流	焊接较重要低碳 钢结构的高效率电 焊条

(续)

牌 号	国 标	药皮类型	焊接电源	主要用途
J 422Fe16	E 4323	铁粉钛钙型	交直流	焊接较重要低碳 钢结构的高效率电 焊条
J 422 Z 13	E 4323	铁粉钛钙型	交直流	焊接低碳钢结构 的高效高速重力焊 条
J 422CrCu	E 4303	钛钙型	交直流	焊接12MnCrCu 等耐候钢结构
J 423	E 4301	钛铁矿型	交直流	焊接低碳钢结构
J 424	E 4320	氧化铁型	交直流	焊接低碳钢结构
J 424Fe14	E 4327	铁粉氧化铁型	交直流	焊接低碳钢结构 的高效率电焊条
J 425	E 4311	高纤维素钾型	交直流	适用于立向下焊 的低碳钢薄板结构
J 426	E 4316	低氢钾型	交直流	焊接重要的低碳 钢及某些低合金钢 结构
J 427	E 4315	低氢钠型	直 流	焊接重要的低碳 钢及某些低合金钢 结构
J 427Ni	E 4315	低氢钠型	直 流	焊接重要的低碳 钢及某些低合金钢 结构
J 501Fe15	E 5024	铁粉钛型	交直流	焊接 16Mn 及某 些低合金钢结构的 高效率电焊条

(续)

牌 号	国 标	药皮类型	焊接电源	主要用途
J 501Fe18	E 5024	铁粉钛型	交直流	焊接低碳钢及船用 A 级、D 级钢的焊接结构
J 501Z18	E 5024	铁粉钛型	交直流	焊接碳钢及某些低合金钢的平角焊结构的重力焊条
J 502	E 5003	钛钙型	交直流	焊接 16Mn 及相同强度等级低合金钢的一般结构
J 502Fe	E 5014	铁粉钛钙型	交直流	焊接 16Mn 及相同强度等级低合金钢的一般结构
J 502Fe15	E 5023	铁粉钛钙型	交直流	用于 16Mn 等相同强度级钢的焊接
J 502Fe16	E 5023	铁粉钛钙型	交直流	用于低碳钢及相同强度等级低合金钢结构的高效率电焊条
J 502CuP	—	钛钙型	交直流	用于铜磷系统抗大气、抗硫化氢、耐海水腐蚀钢结构的焊接
J 502NiCu	E 5003—G	钛钙型	交直流	用于耐大气腐蚀的铁道、机车车辆的焊接
J 502WCu	E 5003—G	钛钙型	交直流	用于耐大气腐蚀的铁道、机车车辆的焊接

(续)

牌 号	国 标	药皮类型	焊接电源	主要用途
J 502CrNiCu	E 5003—G	钛钙型	交直流	用于耐大气腐蚀及近海工程结构的焊接
J 503	E 5001	钛铁矿型	交直流	焊接16Mn 及相同强度等级低合金钢的一般结构
J 503 Z	E 5001	钛铁矿型	交直流	焊接低碳钢及相同强度等级低合金级钢一般结构的高效高速重力焊条
J 504Fe	E 5027	铁粉氧化铁型	交直流	焊接碳钢及某些低合金钢结构的高效率电焊条
J 504Fe14	E 5027	铁粉氧化铁型	交直流	焊接低碳钢及低合金钢结构
J 505	E 5011	高纤维素钾型	交直流	用于碳钢及某些低合金钢管的焊接
J 505MoD	E 5011	高纤维素钾型	交直流	不用铲焊根封底焊用
J 506	E 5016	低氢钾型	交直流	焊接中碳钢及某些重要的低合金钢结构, 如16Mn 等
J 506H	E 5016—1	低氢钾型	交直流	焊接重要的碳钢及低合金钢结构
J 506X	E 5016	低氢钾型	交直流	抗拉强度为 50 kgf 级的立向下焊条

(续)

牌 号	国 标	药皮类型	焊接电源	主要用途
J 506DF	E 5016	低氢钾型	交直流	用途同 J 506, 但该焊条焊接时烟尘发生量及烟尘中之可溶性氯化物含量较低, 适用于密闭容器的焊接
J 506 D	E 5016	低氢钾型	交直流	用于底层打底焊接, 可免去铲根和封底焊
J 506GM	E 5016	低氢钾型	交直流	用于碳钢、低合金钢的压力容器、石油管道、造船等表面装饰焊缝的焊接
J 506Fe	E 5018	铁粉低氢钾型	交直流	用于焊接某些低合金钢结构的高效率焊条
J 506Fe—1	E 5018—1	铁粉低氢钾型	交直流	用于碳钢及低合金钢的焊接。如 16Mn、16MnR 等
J 506Fe16	E 5028	铁粉低氢钾型	交直流	用于碳钢及低合金钢的焊接
J 506Fe' J	E 5028	铁粉低氢钾型	交直流	用于碳钢及低合金钢结构平焊、平角焊接
J 506LMA	E 5018	低氢钾型	交直流	用于碳钢及低合金钢的船舶结构