

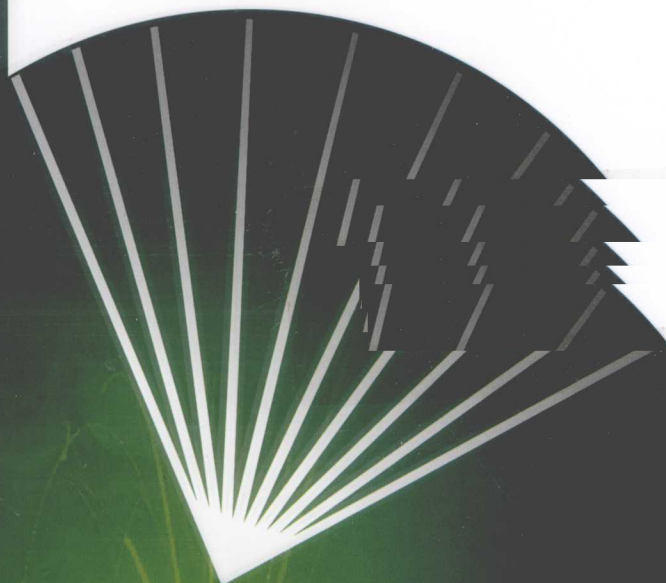


电焊条选用指南

第四版

DIANHANTIAO
XUANYONG ZHINAN

吴树雄 编著



化学工业出版社



从这... 国际... 标准... 规范... 指导... 焊接... 工艺... 技术... 应用... 范围... 广泛... 涉及... 多个... 领域... 具有... 重要... 意义... 本书... 旨在... 提供... 实用... 参考... 依据... 供... 从事... 焊接... 工作... 的... 工程... 技术人员... 参考... 使用... 本书... 可作为... 高等院校... 焊接... 专业... 教材... 也可... 供... 从事... 焊接... 工作的... 工程... 技术人员... 参考... 使用... 本书... 定价... 30.00元... 邮费... 在... 内... 印刷... 日期... 2010年6月... 北京... 化学... 工业出版社... 发行... 北京... 永鑫... 印刷... 有限公司... 地址... 北京市... 朝阳区... 潘家园... 13号... 邮编... 100011

电焊条选用指南

第四版

DIANHANTIAO
XUANYONG ZHINAN

吴树雄 编著

图 书 在 册 编 号 (CIP)

电 焊 条 选 用 指 南 / 吴 树 雄 编 著 . — 北 京 : 化 学 工 业 出 版 社 , 2010 . 7

ISBN 978-7-132-08182-8

Ⅰ. 电... Ⅱ. 吴... Ⅲ. 电焊条—选用—指南

中国版本图书馆CIP数据核字

11-2010-0818号

责任编辑: 张河红

封面设计: 张河红

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: 三河市前卷装订厂

87mm×102mm 1/16 印张28 字数740千字 2010年6月北京第4版第1次印刷



化学工业出版社

北京

网 址: <http://www.cip.com.cn>

电 话: 010-64889888 (传 真): 010-64811362

邮 政 订 购 电 话: 010-64811362

凡 购 书 满 30 元 赠 送 本 社 新 出 书 目 一 册 (不 限 邮 费 在 内)

本书系统地介绍了电焊条的基本知识, 各类焊条的型号、牌号的编制方法及其性能和应用范围, 并从钢材、焊条及焊接工艺三者结合的应用角度介绍了各类焊条的选择及使用知识, 还介绍了 2005 年以来国内外焊条标准的最新变化和最新科研成果以及当前焊条研制和发展动向, 而且结合我国进入 WTO 和改革开放后经济迅猛发展的实际, 大量介绍了国外著名厂商的各类焊条的典型性能。本书内容新颖、信息量大、实用性强, 是一本颇具参考价值的工具书。

本书可供焊接结构设计人员、焊接工艺技术人员、焊条研发人员、广大焊工及电焊条购销人员阅读, 也可作为高等学校、中等专业学校、技工学校焊接专业的辅助教材和电焊工的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电焊条选用指南/吴树雄编著. —4 版. —北京: 化学工业出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-122-08185-8

I. 电… II. 吴… III. 焊条-指南 IV. TG422.1462

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 062102 号

责任编辑: 周 红

文字编辑: 陈 喆

责任校对: 战河红

装帧设计: 韩 飞

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: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 28¼ 字数 746 千字 2010 年 6 月北京第 4 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: 69.00 元

版权所有 违者必究

《电焊条选用指南》(第三版)自2003年问世至今,已有7年了。这期间,我国的改革开放政策取得了巨大的成功,经济总量也迅速上升。作为一种主要的加工工艺,焊接技术获得了快速发展,焊接机械化、自动化率不断提高。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,因此我国已成为世界最大的焊接材料研发、生产、销售、消耗基地。焊条年产量已接近200万吨,占国内全部焊接材料总产量的50%左右,成为名副其实的世界第一焊条生产大国。但与2003年相比,我国的焊条生产有了长足的进步。但目前焊条生产的主要问题,仍然是产品质量和品种发展,一些专用焊条或对质量有较高要求的焊条仍需从国外进口。在焊条的研究上,具有我国自主知识产权的基础技术相当缺乏。焊条生产企业对产品开发的投入严重不足,缺乏技术创新能力,加上目前国内高等院校及科研机构对焊条研究的淡出,使这种技术上的“底气不足”矛盾在一段时期内仍将阻碍我国发展成为世界焊条生产强国。

为了适应我国的经济的发展,加强与国外技术合作及经济交流,配合焊条行业自主研发具有较高技术含量的新产品,本书增加了一些基础理论知识以及对国外焊条的性能和发展动向的介绍。根据国家加快推进与国际标准化组织(ISO)标准接轨的方针,重点介绍了ISO及EN(欧洲标准)等国外标准资料,并介绍了按ISO标准修改采用的《镍及镍合金焊条》等最新标准,借以对我国焊条研究及开发提供借鉴。此外,还增加了“压力容器用焊条”、“核电站主设备对焊条性能的要求”等内容,并对双相不锈钢、9Ni钢及新型铁素体耐热钢焊条等部分作了较大的修改、补充,以便更好地满足生产、科研的需要。

本书在编写过程中,尹士科教授级高级工程师对部分内容协助进行了审核及修改,喻萍、储继君、陈默、何少卿、郭福君、徐斌、周昀、何自远、王增新、陶玉慧、王松海、陈义岗、胡江明、蒲腊梅以及付春晖、夏虹等给予了大力支持,提供了相关技术资料,协助及参与了资料整理工作,在此致以衷心感谢。

在此,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。

鉴于焊接技术的不断改进和发展,以及编者的水平所限,本书的内容难免存在某些不足之处,敬请广大读者批评指正。

作为已从从事焊材研制及生产50年的焊接工作者,谨以本书及《焊丝选用指南》(与尹士科合著)、《金属焊接材料手册》(与尹士科、李春范合著)等焊接材料著作,献给我国的焊接材料行业,衷心祝愿她发展得更为强大,更好地服务于我国的现代化建设。

吴树雄

2010年4月

《电焊条选用指南》自1996年出版第二版以来，受到了广大读者的热烈欢迎。时隔7年，国内外的经济、技术均发生了许多变化。由于焊接机械化、自动化的不断发展，电焊条在整个焊接材料构成中所占比重正逐渐减少。工业发达国家中，焊条所占比重已不足50%，日本甚至已降到20%以下，而我国现在约为75%左右，焊条年产量达到100万吨，成为世界第一焊条生产大国。

目前我国焊条生产的主要问题，仍然是产品质量和品种发展，一些专用焊条或对质量有较高要求的焊条仍需从国外进口。在焊条的研究上，具有我国自主知识产权的基础技术相当缺乏。焊条生产企业对产品开发的投入严重不足，缺乏技术创新能力，加上目前国内高等院校及科研机构对焊条研究的淡出，使这种技术上的“底气不足”矛盾在一段时期内将更为突出。

随着国内改革开放的深入发展及我国加入世界贸易组织（WTO），为了适应我国与国外技术合作及经济交流的迫切需要，书中增加了对国外焊条的性能及发展动向的介绍，介绍了《堆焊焊条》、《铝及铝合金焊条》等最新标准，选列了国际标准化组织（ISO）及欧盟（EN）等国外标准资料，借以对我国的焊条研究及开发提供借鉴。此外，还增加了“管道焊接用焊条”及“镍基合金焊条”等内容，以便更好地满足生产、科研的需要。

本书第三版编写过程中，尹士科、徐斌、马大卫、王增新、陶玉慧、王松海、颜河智、张楷林、李美珍、王玉娥、姚玉碧、阮国钰、陈义岗、李颖、张海琳及国金秀等给予了大力支持，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。

作为已从事焊条研制及生产40多年的焊接工作者，作者谨以本书及《焊条选用指南》（与尹士科合著）献给我国的焊接材料行业，衷心祝愿她发展得更为强大，更好地服务于我国的现代化建设。

吴树雄

2003年3月

随着科学技术的发展,焊接已成为重要的金属加工工艺之一,广泛应用于各个工业部门,在经济建设中占有重要地位。在各种电弧焊接方法中,手工电弧焊发展最早,应用范围也最广,可以说,在工业的各个领域中很难找到一个不使用电焊条的部门。

电焊条是一种使用量大、品种繁多的工业用消耗材料,目前国产焊条品种已超过300种。随着新钢种的不断涌现,焊条品种还将不断增多。此外,科学技术的发展,对焊接结构的质量,实际上也就是对电焊条的质量要求越来越高。

电焊条对焊接结构的质量影响极大。本书试图在钢材、焊条、焊接工艺三者有机结合的基础上,从应用的角度来阐述电焊条的选择和使用,希望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帮助。

《电焊条选用指南》于1989年出版,又于1994年修订出版,受到广大读者欢迎。从该书问世至今,国内外焊接材料取得了令人瞩目的发展,尽管CO₂气保焊丝、药芯焊丝在制造业中得到广泛使用,使电焊条在焊接材料中所占比重逐渐减少,但我国的电焊条行业伴随着改革开放,仍取得了长足的发展。此外,我国连续焊条的发明及推广应用,将引起焊接材料领域的重大变革,展现出电焊条将重现昨日辉煌的前景。

这期间,我国的《碳钢焊条》、《低合金钢焊条》、《不锈钢焊条》等国家标准及国外焊条标准相继修订;《全国焊接材料统一产品样本》(1996)新版本问世,又增添了许多焊条新品种。为了能更全面及时地反映这些标准变化及最新科技成果,故对《电焊条选用指南》一书作了全面修改。同时,结合生产实际需要,增加了“焊接条件对焊缝性能的影响”、“阀门堆焊焊条”及“连续焊条”等章节,以便更好地满足生产、科研的需要。

本书编写过程中,曾得到甘肃省机械工程学会焊接分会郑承炎高级工程师、冶金部钢铁研究总院尹士科高级工程师的大力支持。修订再版时,尹士科先生又提供了由他主编的即将付印的《世界焊接材料手册》书稿及国外资料,中国焊接材料质量检测中心李春燕、吕振祥高级工程师提供了许多技术资料。此外,还得到了侯立尊、杨翔云、郑汉强高级工程师的大力帮助。谨表示感谢。

在编写本书时,对所引用重要参考文献的作者及提供有益帮助的各位同志,一并表示感谢。

由于编者水平有限,又缺乏经验,书中难免有不少缺点和错误,欢迎批评指正。

吴树雄

1996年1月

第 1 章 电焊条概论	1
1.1 电焊条的发展	1
1.2 电焊条的组成	4
1.3 电焊条的分类	8
1.4 电焊条的型号和牌号	12
1.5 电焊条的制造	44
第 2 章 电焊条的使用性能及其检测	49
2.1 电焊条的使用性能	49
2.2 电焊条使用性能的检测	50
第 3 章 电焊条的现场质量管理	60
第 4 章 电焊条的需用量	68
第 5 章 焊接条件对焊缝性能的影响	73
第 6 章 各种电焊条的选择和使用	81
6.1 选择电焊条的基本要点	81
6.2 焊条选用时应注意的几个问题	83
第 7 章 低碳钢及低合金高强度钢电焊条	90
7.1 低碳钢电焊条	90
7.1.1 焊条药皮类型及一般特性	90
7.1.2 根据各种具体情况选择焊条	95
7.1.3 焊条使用要点	98
7.2 低合金高强度钢电焊条	104
7.2.1 低合金高强度钢的种类及其焊接	104
7.2.2 低合金高强度钢焊条种类及主要性能	111
7.2.3 低合金高强度钢焊条的选用	127
7.2.4 焊接施工注意要点	129
7.2.5 压力容器用焊条	132
7.2.6 管道用钢的焊接	135
7.2.7 核电站主设备对焊条性能的要求	143
7.2.8 中、高碳钢的焊接	148

第 8 章 不锈钢电焊条	150
8.1 不锈钢的种类和性质	150
8.2 不锈钢的组织图及铁素体量的测量	159
8.3 不锈钢焊条的种类	165
8.4 不锈钢焊条的选择	178
8.5 不锈钢焊接的注意事项	185
8.6 双相不锈钢的焊接	187
8.6.1 双相不锈钢的分类和合金化原理	187
8.6.2 双相不锈钢的分类	188
8.6.3 合金元素对双相不锈钢耐应力腐蚀性能的作用	191
8.6.4 双相不锈钢焊条	191
8.7 一些新型不锈钢焊条的开发	200
第 9 章 耐热钢及低温钢电焊条	204
9.1 耐热钢焊条	204
9.1.1 耐热钢的种类	204
9.1.2 耐热钢焊条种类及其主要性能	210
9.1.3 新型铁素体耐热钢焊条的性能	213
9.1.4 新型铁素体耐热钢焊接材料的选择	226
9.1.5 耐热钢焊条的使用注意要点	229
9.2 低温钢电焊条	231
9.2.1 低温钢的种类和性能	231
9.2.2 低温钢焊条的种类和性能	235
9.2.3 焊接施工注意要点	236
9.2.4 焊接 9%Ni 钢用焊条	239
第 10 章 堆焊、铸铁及其他电焊条	243
10.1 堆焊电焊条	243
10.1.1 金属磨损类型	243
10.1.2 常用堆焊金属类型及其主要性能	246
10.1.3 堆焊焊条的种类和性能	248
10.1.4 堆焊焊条的选用	262
10.1.5 阀门堆焊焊条的性能比较和选用	268
10.1.6 手工电弧堆焊时焊接施工的注意事项	268
10.2 铸铁电焊条	269
10.2.1 铸铁的分类	270
10.2.2 铸铁焊条的种类	270
10.2.3 铸铁焊条的选择	274
10.2.4 铸铁焊条的使用	277
10.2.5 铸铁焊条的代用和自制	279
10.3 铜、铝、镍及其合金电焊条	280

10.3.1	铜及铜合金焊条	280
10.3.2	铝及铝合金焊条	281
10.3.3	镍及镍合金焊条	281
10.3.4	特殊用途焊条	287
第 11 章 冶金工业的技术进步与值得关注和发展的电焊条		300
11.1	冶金工业的技术进步	300
11.2	钢铁技术的发展引起的焊接性转变	303
11.3	值得关注和发展的电焊条	305
11.3.1	低尘焊条	305
11.3.2	铁粉焊条	309
11.3.3	高韧性焊条	311
11.3.4	难吸潮焊条	317
11.3.5	高效不锈钢焊条	317
11.3.6	专用焊条	319
第 12 章 国内外电焊条标准资料		322
12.1	国内外电焊条标准概况	322
12.2	国外电焊条标准资料	324
12.2.1	ISO 焊条标准	325
12.2.2	欧洲标准	368
12.2.3	美国焊接协会标准 (AWS 标准)	374
12.2.4	其他国家标准	384
12.3	国内外电焊条型号对照	388
12.4	国内外电焊条牌号对照	393
12.5	日本电焊条标准摘录	402
12.6	各船级社对低碳钢及低合金钢船用焊条的性能要求	411
12.7	电焊条新旧型号对照	415
附录 1 填充金属的选用		421
附录 2 焊接材料的分类		439
参考文献		443

第1章

电焊条概论

现在，电弧焊接在造船、建筑、石油化工、桥梁、车辆、机械、核反应堆等多个领域中被广泛地采用，不仅用于制造新的产品，就连各种产品的修理，也几乎不可能脱离焊接。当前，焊接作为一种加工工艺获得了飞速发展，新的焊接方法不断出现。虽然气焊、电弧焊、接触焊、气体保护焊、埋弧焊、电子束焊等焊接方法都被广泛应用，但手工电弧焊因方法简单、灵活方便，仍作为最基本的焊接方法活跃在各个工业领域中。

焊接材料一般包括焊条、焊丝、焊剂、焊粉及焊料，具体分类如图 1-1 所示。

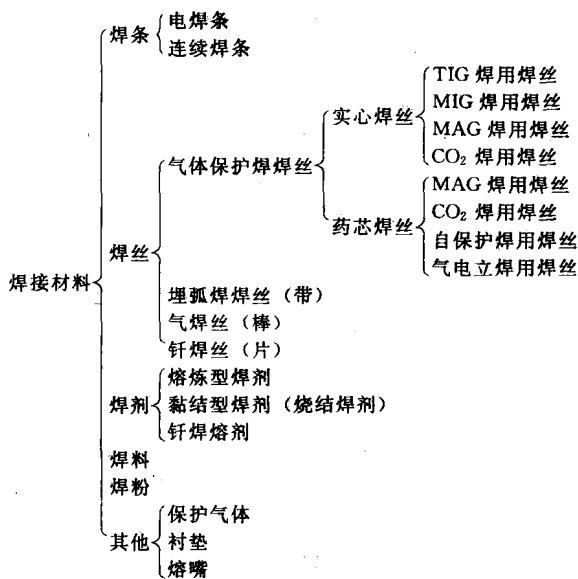


图 1-1 焊接材料分类

就大多数国家而言，电焊条的生产在焊接材料生产中所占的比重仍处于领先地位。电焊条的消耗量很大，在工业比较发达的国家，电焊条产量占钢产量的 0.2%~0.4%，由于各种高效焊接工艺的不断发展和制造业中广泛采用气体保护焊，使实心焊丝及药芯焊丝的用量快速增长，而电焊条在整个焊接材料产量中的比重正逐步减少，目前占 20%~50%。我国由于焊接自动化和新的焊接设备及工艺方法应用尚处于全面推广应用阶段，因而手工焊及电焊条占的比重更大些，目前电焊条的产量约占钢产量的 0.6%，占全部焊接材料产量的 75% 左右。

因此，正确地选择和使用电焊条就显得非常重要。

1.1 电焊条的发展

1892 年俄罗斯人斯拉维扬诺夫研究成功了现行的金属电弧焊接法的实用化方案。特别是 1904 年瑞典人奥斯卡尔·克杰尔贝格 (Oscar Kjellberg) 建造了世界上第一个焊条

厂——ESAB公司的OK焊条厂。同期，欧美各国对焊条的药皮作用都分别进行了大量的研究，1910年瑞典发明矿物型厚药皮焊条，1919年美国发明用纸缠在焊芯上，提出了纤维素型焊条的初型，1921年英国人提出用大理石、萤石制造焊条药皮。

开始，焊条全是手工沾制，1917年欧洲依·纳·乔内斯发明用机械压制焊条，1927年美国开始用机械大量生产焊条。随着冶金工业和机械工业的不断发展，尤其是第二次世界大战以来，焊条生产得到了很大发展，出现了许多新的药皮类型及焊条品种，性能也进一步完善。1964年日本研制成功“无害”焊条，20世纪70年代又开发了低尘焊条、超低氢焊条和难吸潮焊条等，把焊条质量提高到一个新的水平。

日本、美国和西欧等工业发达国家，在过去15~20年中，完成了强强联合和资产重组，组建了许多跨国公司。例如，伯乐-蒂森公司，包含德国蒂森(Thyssen)、比利时苏多凯(SOUDOKAY)、奥地利伯乐(BHLER)、德国UTP及瑞典阿维斯塔(AVESTA)等著名焊材企业；液化空气集团由法国沙福(SAF)、瑞士奥利康(Oerlikon)及意大利富乐(FRO)三家组成规模庞大的国际集团——ALW(Air Liquide Welding)；美国ITW集团也包含了几家著名焊材公司的品牌，如合伯特(HOBART)、麦凯(McKAY)、三角(TRI-MARK)。而且这些集团公司通过产品重组，使集团中各子公司的优质名牌产品为整个集团公司所用，充分发挥了产品优势，提升了产品竞争力。

我国的电焊条制造始于1949年，开始是采用半机械气动焊条压涂机，后来研制了螺旋式连续压涂机，并有了切丝机、送丝机等生产附属设备。所生产的焊条主要是以氧化矿物型为主的低碳结构钢电焊条。1956年以后开始大量采用机器制造焊条，焊条品种也逐步扩大，钛铁矿型、钛型、钛钙型和低氢型等类型焊条相继出现。目前，全国除西藏外，各省、自治区及直辖市都有了不同规模的焊条厂，有些焊条厂从国外引进了生产设备、制造工艺和配方技术，有力地推动了焊条行业技术水平的提高。

在产量规模上，经过近几年的资产重组及强强联合，已形成了年产焊条30万吨以上的天津金桥、天津大桥及四川大西洋三个大型焊材生产企业集团。年产焊条1万吨以上的企业已超过20家。美国林肯、伯乐-蒂森公司、韩国现代及高丽溶接棒、伊萨和日本神钢等世界著名焊材企业也先后在中国内地建立了焊材生产基地。我国粗钢及焊接材料产量连续13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研发、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。表1-1列出了近年我国粗钢及主要焊接材料产量和占有量。历年电焊条产量见表1-2。2008年各类焊条的构成比例大致为：普通酸性结构钢焊条约87.9%，低氢型结构钢焊条约9.9%，低合金钢焊条约0.5%，不锈钢焊条约1.3%，堆焊焊条约0.2%。图1-2列出了近年我国主要焊接材料产量，图1-3为我国历年来电焊条消耗量及其占焊材总量比例。从图1-3可见，尽管近几年焊条的绝对产量还在缓慢增加，但其占焊材总量的比例在不断下降，2008年已下降到50%以下，反映出我国的焊接机械化和自动化程度在不断提高。

表1-1 近年我国粗钢及主要焊接材料产量和占有量

年份	粗钢产量 /亿吨	世界占有量/%	主要焊接材料 产量/万吨	主要焊材占有量/%			
				电焊条	实心焊丝	药芯焊丝	埋弧焊材
2006	4.2	34	320	57.8	25.9	3.8	12.5
2007	4.9	36	360	50.0	31.1	7.2	11.7
2008	5.0	38	378	48.9	31.8	8.7	10.6

表 1-2 近年来电焊条产量变化情况

万吨

年份	1962	1963	1964	1965	1966	1972	1973	1974
产量	3.1	4.4	5.8	9.1	11	13.5	17	16.5
年份	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
产量	13.5	13.5	17.7	20	19	20.5	22	23
年份	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
产量	25.5	30	33	49	52	48	42	37.2
年份	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
产量	42	71	78	57	56	60	70	87
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
产量	80	90	108	116	150	160	170	180

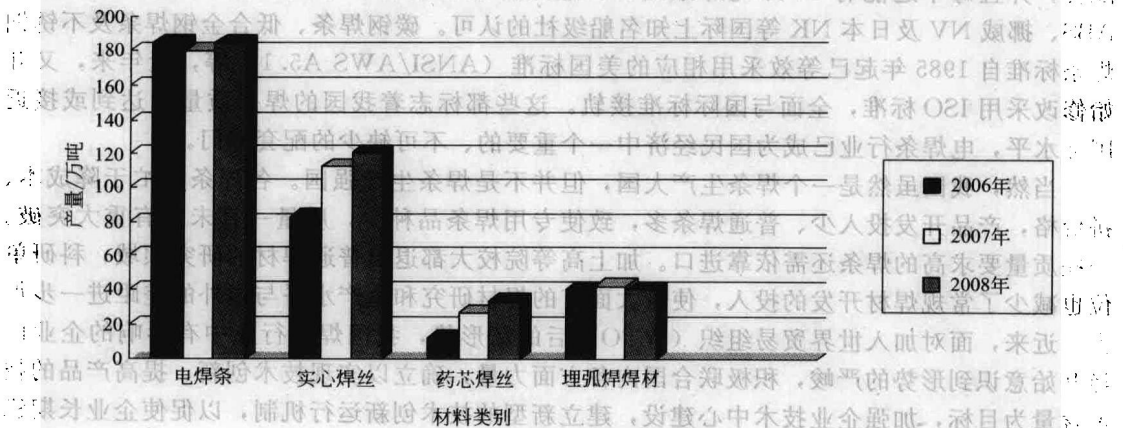


图 1-2 近年我国主要焊接材料产量

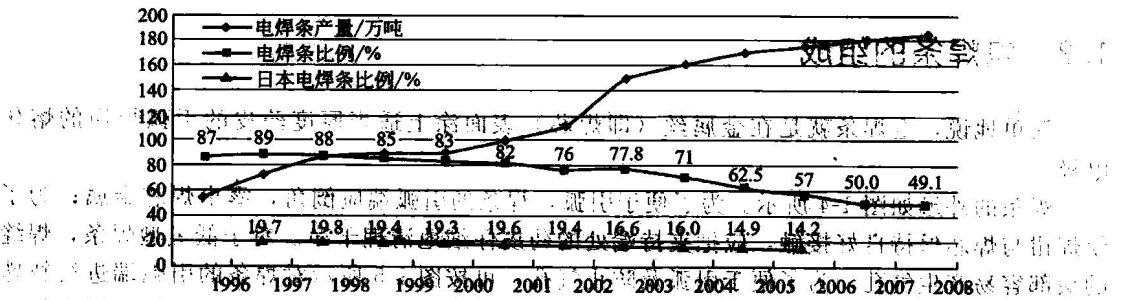


图 1-3 我国历年来电焊条消耗量及其占焊材总量比例

在焊条品种上，也由解放初期的仿制发展到独立研制各类焊条，基本能满足从一般机械到高压容器、舰艇、海洋平台等重要工程建设的需要。开发了强度 600~1000MPa 级的超低氢高韧性高强钢焊条系列产品。同类电焊条产品熔敷金属的塑性水平、扩散氢含量和纯净度基本与国外同类产品水平相当。产品成功用于重大军事工程、奥运“鸟巢”工程、三峡工程等重大项目。国内在双相不锈钢、超级双相不锈钢、控氮不锈钢、高温耐热不锈钢、超低碳（硫磷）不锈钢和高温耐热不锈钢等新型焊接材料产品方面也获得新的发展。产品已实现商业化生产。目前正式列入焊接材料统一产品样本的焊条品种已超过 300 种，各种类型焊条的品种变化见表 1-3。我国还以独创的“先涂后切”工艺成批生产了直径为 1.0~1.4mm 的特细焊条。

表 1-3 焊条品种发展情况

种

年份 \ 种类	结构钢焊条	耐热钢焊条	不锈钢焊条	堆焊焊条	铸铁焊条	其他焊条 ^①	品种合计
1972	28	15	31	36	10	12	132
1977	40	18	34	42	12	18	164
1987	94	24	48	58	17	22	263
1997	129	33	65	84	20	37	368

① 包括低温钢、镍及镍合金、铜及铜合金、铝及铝合金以及特殊用途焊条等。

在产品质量上,从过去只能用于一般焊接结构到基本上能满足国内各项重大建设项目的配套,并且每年还能有 10 万吨焊条出口。船用焊条已取得了中国 CCS、英国 LR、美国 ABS、挪威 NV 及日本 NK 等国际知名船级社的认可。碳钢焊条、低合金钢焊条及不锈钢焊条标准自 1985 年起已等效采用相应的美国标准 (ANSI/AWS A5.1) 等,近年来,又开始修改采用 ISO 标准,全面与国际标准接轨。这些都标志着我国的焊条质量已达到或接近国际水平,电焊条行业已成为国民经济中一个重要的、不可缺少的配套部门。

当然,我国虽然是一个焊条生产大国,但并不是焊条生产强国。各焊条厂忙于降成本、拼价格,产品开发投入少、普通焊条多,致使专用焊条品种少,质量一直未能有重大突破。一些质量要求高的焊条还需依靠进口。加上高等院校大都退出普通焊材的研究领域,科研单位也减少了常规焊材开发的投入,使量大面广的焊材研究和生产水平与国外的差距进一步加大。近来,面对加入世界贸易组织 (WTO) 后的新形势,我国焊条行业中有影响的企业已经开始意识到形势的严峻,积极联合国内各方面力量,确立以实现技术创新、提高产品的技术含量为目标,加强企业技术中心建设,建立新型的技术创新运行机制,以促使企业长期稳定、健康发展。

1.2 电焊条的组成

简单地说,电焊条就是在金属丝(即焊芯)表面涂上适当厚度药皮的手弧焊用的熔化电极。

焊条的外形如图 1-4 所示。为了便于引弧,焊条的引弧端应倒角,露出焊芯金属;为了使焊钳与焊芯保持良好接触,应把夹持端处的药皮仔细地清理干净。对于低氢型焊条,焊缝的头部容易产生气孔,为了便于引弧及防止气孔,可按图 1-5 所示对焊条的引弧端进行特殊加工处理,图 1-5(a)、(b) 所示为减小引弧端处焊芯截面,提高电流密度,使电弧容易产生,并增加保护作用,图 1-5(c) 所示为在引弧端处涂一层引弧剂(主要由石墨、有机物等组成),以便于引弧。

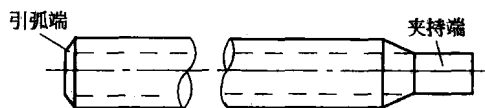


图 1-4 焊条的外形

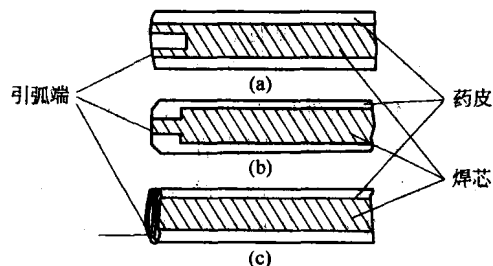


图 1-5 低氢焊条的引弧端加工

普通焊条的断面形状如图 1-6(a) 所示，图 1-6(b)、(c) 所示为特殊的断面形状，图 1-6(b) 所示为一种双层药皮焊条，主要是为了改善低氢焊条的工艺性能，两层药皮按不同成分配方。例如，某厂生产的双层药皮的 J427 焊条，其药皮配方：第一层药皮的配方为大理石 46%，石英砂 9%，钛铁 15%，硅铁 3%，锰铁 2%；第二层药皮的配方为萤石 18%，大理石 7%。图 1-6(c) 所示的焊芯为一空心管，外面包覆药皮，管子中心填充合金剂或涂料，这种产品已在含有多量合金粉的耐磨堆焊焊条中采用。

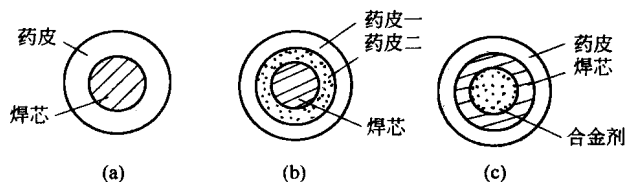


图 1-6 焊条的断面形状

各种焊条的药皮都有一定的厚度，通常用“药皮质量系数”来表示焊条药皮在焊条中所占的质量比例。

$$\text{药皮质量系数 } K(\%) = \frac{\text{药皮质量}}{\text{带药皮的这部分焊芯质量}} \times 100\%$$

一般药皮质量系数为 35%~55%，随焊条药皮类型及使用目的而异，对于为提高焊接效率而在药皮中加入大量铁粉的高效铁粉焊条或通过药皮掺合金的某些堆焊焊条，药皮质量系数可在 100% 以上。

下面叙述焊芯和药皮的作用及组成。

(1) 焊芯

焊芯的作用主要是导电，在焊条端部形成电弧。同时，焊芯靠电弧热熔化后，冷却形成具有一定成分的熔敷金属。

目前，焊条的品种已有几百种，但用于制造焊条的焊芯种类不过数十种。为了保证熔敷金属具有所需的合金成分，一般可通过两种掺合金方法来达到：一种是利用低碳钢芯，通过药皮来过渡，这种方法主要用在低碳钢焊条、低合金钢焊条及堆焊焊条等；另一种是利用合金芯，再通过药皮来补充少量合金元素，这种方法主要用在不锈钢焊条、有色金属焊条及高合金钢焊条。当然，这种区分也不是绝对的，利用低碳钢芯，同样可以制成不锈钢焊条。但无论在什么样的情况下，焊芯的成分都直接影响熔敷金属的成分和性能，因此，要求焊芯尽量减少有害元素的含量。随着冶金工业的发展，对焊芯中有害元素含量的控制要求越来越严格，除了通常的 S、P 外，有些焊条已要求焊芯控制 As、Sb、Sn 等。

通常各种电焊条所用的焊芯见表 1-4。常用焊芯的化学成分见表 1-5。目前，由于冶金工业的技术进步，钢中的杂质含量已可降低到很低的水平，如有的钢厂已可供应含 S 量不大于 0.005% 的焊条用钢，为生产一些有特殊要求的焊条，如抗 HIC 的焊条等提供了可靠的物质保证。

表 1-4 各种电焊条所用的焊芯

电焊条种类	所用焊芯	电焊条种类	所用焊芯
低碳钢焊条	低碳钢焊芯(H08A等)	堆焊用焊条	低碳钢或合金钢芯
低合金高强度焊条	低碳钢或低合金钢焊芯	铸铁焊条	低碳钢、铸铁、非铁合金焊芯
低合金耐热钢焊条	低碳钢或低合金钢焊芯	有色金属焊条	有色金属焊芯
不锈钢焊条	不锈钢或低碳钢焊芯		

表 1-5 常用焊芯的化学成分

%

钢号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	其他	S	P
H04E	0.04	0.30~0.60	0.10	0.20	0.30	—	—	0.010	0.015
H08A	0.10	0.35~0.60	0.03 ^①	0.20	0.30	—	—	0.030	0.030
H08E	0.10	0.35~0.60	0.03 ^①	0.20	0.30	—	—	0.020	0.020
H08C	0.10	0.35~0.60	0.03 ^①	0.10	0.10	—	—	0.015	0.015
H08MnA	0.10	0.85~1.10	0.07	0.20	0.30	—	—	0.030	0.030
H10Mn2	0.12	1.50~1.90	0.07					0.030	0.030
H08Mn2Si	0.11	1.70~2.10	0.65~0.95					0.030	0.030
H08Mn2SiA	0.11	1.80~2.10	0.65~0.95					0.025	0.025
H08MnMoA	0.10	1.20~1.60	0.25			0.30~0.50	Ti 0.15 ^②	0.030	0.030
H08Mn2MoA	0.06~0.11	1.60~1.90	0.25			0.50~0.70	Ti 0.15 ^②	0.030	0.030
H10MnSiNi2A	0.12	1.25	0.40~0.80	—	2.00~2.75	—	—	0.025	0.025
H10MnSiNi3A	0.12	1.25	0.40~0.80	—	3.00~3.75	—	—	0.025	0.025
H06Cr14	0.06	0.30~0.70	0.30~0.70	13.0~17.0	0.60			0.030	0.030
H03Cr21Ni10	0.030	1.0~2.5	0.35	19.5~22.0	9.0~11.0			0.020	0.030
H06Cr21Ni10	0.04~0.08	1.0~2.5	0.30~0.65	19.5~22.0	9.0~11.0			0.020	0.030
H04Cr20Ni11Mo2	0.04	1.0~2.5	0.30~0.65	18.0~21.0	9.0~12.0	2.0~3.0		0.020	0.030
H08Cr20Ni11Mo2	0.08	1.0~2.5	0.30~0.65	18.0~21.0	9.0~12.0	2.0~3.0		0.020	0.030
H12Cr24Ni13	0.12	1.0~2.5	0.35	23.0~25.0	12.0~14.0			0.020	0.030
H12Cr26Ni21	0.08~0.15	1.0~2.5	0.35	25.0~28.0	20.0~22.0			0.020	0.030
H08Cr20Ni10Nb	0.08	1.0~2.5	0.30~0.65	19.5~22.0	9.0~11.0		Nb 10C~1.0	0.020	0.030
H21Cr16Ni35	0.18~0.25	1.0~2.5	0.30~0.65	15.0~17.0	34.0~37.0			0.020	0.030

① 根据供需双方协议，H08A、H08E、H08C非沸腾钢允许硅含量（质量分数）不大于0.07%。

② Ti为加入量。

注：1. 本表摘自GB/T 3429—2002、GB 4241—2006。

2. 表中单个值为最大值。

焊芯除了铸造焊芯外，一般可在平炉、转炉或电炉中冶炼，也可用高频炉熔化某些合金，铸成钢锭后热轧，再拉拔到所需的尺寸切断而成。

焊条国标中规定的各种焊条的基本尺寸见表1-6，每根焊芯的质量见表1-7。

表 1-6 各种焊条的基本尺寸

mm

焊条直径		焊条长度	
基本尺寸	极限偏差	基本尺寸	极限偏差
1.6	±0.05	200~250	±2.0
2.0, 2.5		250~300	
3.2, 4.0, 5.0		350~450	
6.0(5.8), 8.0		500, 650	

注：对于重力焊条，焊条长度可达700mm、900mm；对于特细焊条，焊条直径可为0.8mm、1.0mm、1.2mm、1.4mm。

表 1-7 每根焊芯的质量

焊芯尺寸(直径×长度)/mm	质量/g	焊芯尺寸(直径×长度)/mm	质量/g
1.6×200	3.0	4.0×400	39.2
2.0×250	6.1	5.0×400	61.5
2.5×300	11.3	5.8×400	82.4
3.2×350	21.8		

(2) 药皮

焊条药皮又可称为涂料，把它涂到焊芯上主要是为了便于焊接操作以及保证熔敷金属具有一定的成分和性能。药皮的主要作用是：

① 保证电弧的集中、稳定，使熔滴金属容易过渡。

② 在电弧的周围造成一种还原性或中性的气氛，以防止空气中的氧和氮等进入熔敷金属。

③ 生成的熔渣均匀地覆盖在焊缝金属表面，减缓了焊缝金属的冷却速度，并获得良好的焊缝外形。

④ 保证熔渣具有合适的熔点、黏度、密度等，使焊条能进行全位置焊接或容易进行特殊的作业，如向下立焊等。

⑤ 药皮在电弧的高温作用下，发生一系列冶金化学反应，除去氧化物及 S、P 等有害杂质，还可加入适当的合金元素，以保证熔敷金属具有所要求的力学性能或其他特殊的性能（如耐蚀、耐热、耐磨等）。此外，在焊条药皮中加入一定量的铁粉，可以改善焊接工艺性能或提高熔敷效率。焊条药皮可以采用氧化物、碳酸盐、硅酸盐、有机物、氟化物、铁合金及化工产品等上百种原料粉末，按照一定的配方比例进行混合而成。各种原料根据其在焊条药皮中的作用，可分成下列几类。

① 稳弧剂使焊条容易引弧及在焊接过程中能保持电弧稳定燃烧。作为稳弧剂的材料大都是含有一定量的低电离电位元素的物质，如金红石、二氧化钛、钛铁矿、还原钛铁矿、钾长石、水玻璃（含有钾、钠等碱土金属的硅酸盐），此外还有铝镁合金等。

② 造渣剂焊接时能形成具有一定物理化学性能的熔渣，保护焊接熔池及改善焊缝成形。熔渣的碱度对焊接工艺性能及焊缝金属理化性能均有很大的影响。主要的造渣剂大都是碳酸盐、硅酸盐、氧化物及氟化物，如大理石、萤石、白云石、菱苦土、长石、白泥、云母、石英砂、金红石、二氧化钛、钛铁矿、还原钛铁矿、铁砂及冰晶石等。有些材料对熔渣的黏度、流动性影响很大，可以起到稀渣的作用，如萤石、冰晶石、锰矿等。

③ 脱氧剂通过焊接过程中进行的冶金化学反应，降低焊缝金属中的含氧量，提高焊缝性能。主要是含有对氧亲和力大的元素的铁合金及金属粉，如锰铁、硅铁、钛铁、铝铁、镁粉、铝镁合金、硅钙合金及石墨等。

④ 造气剂在电弧高温作用下，能进行分解，放出气体，以保护电弧及熔池，防止周围空气中的氧和氮的侵入。常用的造气剂有碳酸盐及有机物，如大理石、白云石、菱苦土、碳酸钡、木粉、纤维素、淀粉及树脂等。

⑤ 合金剂用来补偿焊接过程中合金元素的烧损及向焊缝过渡合金元素，以保证焊缝金属获得必要的化学成分及性能等。常用各种铁合金及金属粉作为合金剂，如锰铁、硅铁、铬铁、钼铁、钒铁、铌铁、钽铁、金属锰、金属铬、镍粉、钨粉、稀土硅铁等。

⑥ 增塑润滑剂增加药皮粉料在焊条压涂过程中的塑性、滑性及流动性，以提高焊条的压涂质量，减少偏心度。这些材料通常都具有一定的吸水后膨胀的特性或具有一定的弹性、滑性，如云母、合成云母、滑石粉、白土、二氧化钛、白泥、木粉、膨润土、碳酸钠、海泡石、绢云母、藻朊酸盐及 CMC 等。

⑦ 黏结剂使药皮粉料在压涂过程中具有一定的黏性，能与焊芯牢固地黏结，并使焊条药皮在烘干后具有一定的强度。主要的黏结剂有水玻璃（钾、钠及锂水玻璃）及酚醛树脂等。

当然，以上仅是根据每种材料的主要作用进行简单的分类，实际上，一种材料同时可以

具备几种作用。例如，大理石在电弧高温作用下分解为 CaO 及 CO_2 ， CO_2 起保护作用， CaO 可以造渣，因此，大理石主要起造气剂和造渣剂的作用。再如，锰铁主要是脱氧剂，但除了脱氧外，多余的锰将渗入焊缝，起合金剂的作用，同时，作为脱氧产物的 MnO 又可以造渣。

常用材料在焊条药皮中的作用见表 1-8。

表 1-8 常用材料在焊条药皮中的作用

材料名称	主要成分	稳定电弧	造渣	脱氧	氧化	气体保护	掺合金	增塑润滑	药皮黏结
大理石	CaCO_3	○	△		△	○			
萤石	CaF_2		○						
金红石	TiO_2	○	○						
二氧化钛	TiO_2	○	○					△	
钛铁矿	TiO_2 、 FeO	○	○		△				
长石	SiO_2 、 Al_2O_3 、 R_2O	○	○						
云母	SiO_2 、 Al_2O_3		○					○	
锰铁	Mn		△	○			○		
硅铁	Si		△	○			○		
钛铁	Ti		△	○					
金属铬	Cr						○		
镍粉	Ni						○		
木粉、淀粉	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$			△		○		△	
钾水玻璃	$\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	○	△						○
钠水玻璃	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$	○	△						○

注：○主要的作用；△次要的作用。

1.3 电焊条的分类

电焊条的分类方法很多，可以从不同角度对电焊条进行分类。从焊接冶金角度，按熔渣的碱度可将焊条分为酸性焊条和碱性焊条；按焊条药皮的主要成分可将焊条分为钛钙型焊条、钛铁矿型焊条、低氢型焊条、铁粉焊条等。从标准化角度，可按照焊条的特点（如熔敷金属抗拉强度、化学组成类型等），将焊条分成许多类型及不同等级，从而确定焊条的各种型号。从用途角度，又可将焊条分为结构钢焊条、耐热钢焊条及不锈钢焊条等十大类。现将各种分类方法分别叙述如下。

(1) 按熔渣的碱度分类

在实际生产中，通常将焊条分为两大类——酸性焊条和碱性焊条（又称低氢型焊条）。它们主要是根据熔渣的碱度，亦即熔渣中酸性氧化物和碱性氧化物的比例来划分，当熔渣中酸性氧化物占主要比例时为酸性焊条，反之即为碱性焊条。

从焊接工艺性能来比较，酸性焊条电弧柔软，飞溅小，熔渣流动性和覆盖性均好，因此，焊缝外表美观，焊波细密，成形平滑；碱性焊条的熔滴过渡是短路过渡，电弧不够稳定，熔渣的覆盖性差，焊缝形状凸起，且焊缝外观波纹粗糙，但在向上立焊时，容易操作。