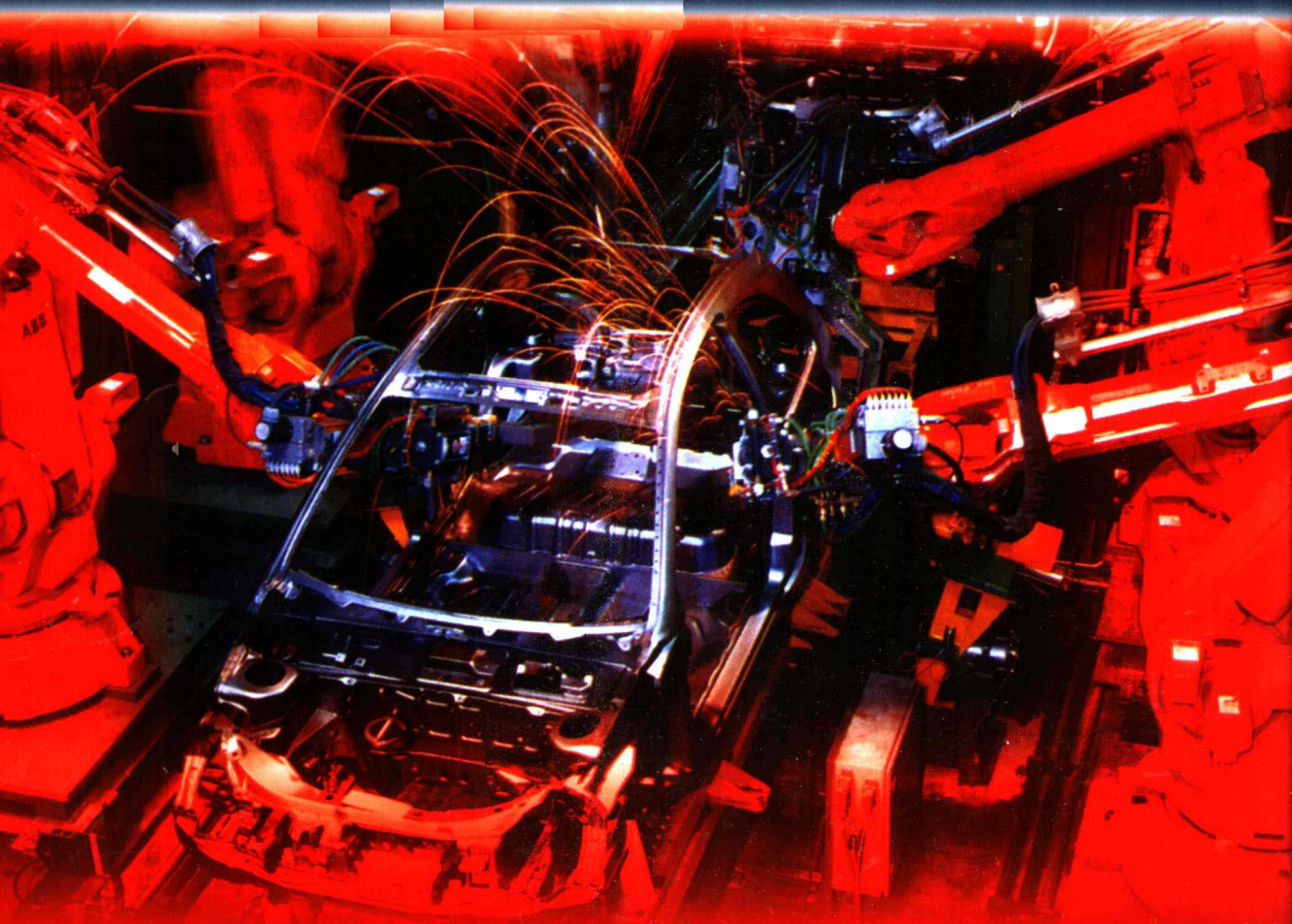


现代 焊接生产 实用手册

上海市焊接学会
上海市焊接协会

编

主编 陈裕川



现代焊接生产实用手册

上海市焊接学会 编
上海市焊接协会
主编 陈裕川



机械工业出版社



本手册从焊接生产实际出发,全面、系统、详尽地论述了焊接结构材料、焊接材料、焊接方法、焊接设备及其选用原则;以较大篇幅介绍了现代焊接结构制造工艺及其装备;扼要地阐明了各种钢铁材料和有色金属的焊接工艺、典型焊接结构的焊接生产工艺,并列举了大量焊接工艺规程。对焊接结构生产中的质量控制、检验方法和管理程序,本手册也作了明确的说明,引用了国内外最新的有关标准资料。

本手册的读者对象主要是从事焊接生产的初中级焊接工程技术人员,高级焊接技师。也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代焊接生产实用手册/陈裕川主编. —北京:机械工业出版社, 2005.3
ISBN 7-111-16024-X

I. 现... II. 陈... III. 焊接—技术手册 IV. TG4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第004097号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:俞逢英

责任编辑:俞逢英 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛 李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年5月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·61印张·3插页·1921千字

0 001—4 000册

定价:108.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

近 20 年来,我国经济持续高速增长,制造业作为我国国民经济主要的支柱产业以空前的速度发展。2003 年,我国钢产量突破 2.3 亿吨,其中焊接结构用钢量超过 1.0 亿吨,跃居世界首位,由此推动了我国焊接结构制造业向规模化发展。焊接技术也已从一种传统的加工工艺和材料连接方法演变成为当今世界先进的制造技术之一。焊接结构生产工艺的先进性、合理性和经济性对我国制造业的发展和经济效益正产生越来越大的影响。因此编写一本以当代焊接生产技术为中心内容的实用手册显得甚为必要。

鉴于焊接技术具有一系列独特的优点,已在几乎所有的工业部门得到广泛的推广应用。其中最主要的应用领域有建筑结构、交通运输、发电设备、冶金设备、石油化工机械、工业管道、食品医药机械、航空航天工程、重型机械、工程机械和机床制造业等。随着焊接结构不断向大型化、重型化、精密化和高参数化方向发展,焊接生产技术的整体水平得到相应的提升。各种先进高效的焊接方法以及机械化、自动化焊接装备在我国普遍推广应用。

近年来,在我国虽然相继出版了多种综合性焊接手册,但大部分内容不能直接用于指导焊接生产。为弥补这方面的不足,本手册内容以生产实用性为主,并偏重阐述在实际生产中已得到应用的最先进的焊接技术和工艺。

本手册由上海市焊接学会和上海市焊接协会联合组织编写。聘请了从事焊接生产 30 年以上的焊接高级工程师和业内著名专家参加编写,手册内容系统、详尽、实用性强,且突出先进性,是作者们长期积累的丰富实践经验的总结,期望本手册对广大焊接工程技术人员在指导和管理现代焊接生产中有所裨益。

本手册共分九章。参加编写的人员名单如下:王同芬高级工程师(第 2 章),华大龙高级工程师(第 4 章),郭云曾研究员级高级工程师(第 5 章 5、8 节),顾曾迪教授(第 7 章),朱光照高级工程师(第 8 章 8.2.5 节),其余各章节均由本手册主编陈裕川高级工程师编写。本手册主审由王钹教授和吴祖乾研究员级高级工程师担任。

本手册在编写过程中得到了上海大阳焊接技术工程合作公司徐自友董事长兼总经理的大力支持,在本手册出版之际,对此表示深切的感谢。

本手册虽经作者们精心编写,但错误和不足之处在所难免,诚请广大读者批评指正。

主编
陈裕川

现代焊接生产实用手册编委会

主 任	王 钹		
副主任	吴祖乾	吴宣武	
委 员	顾曾迪	徐自友	徐 锋
	俞逢英	徐 明	陈裕川
	朱光照	华大龙	

编 审 者 名 单

主 编	陈裕川		
主 审	王 钹	吴祖乾	
参 编	陈裕川	王同芬	华大龙
	郭云曾	顾曾迪	朱光照

目 录

前言

第 1 章 焊接结构材料 1

1.1 钢铁材料 1

1.1.1 钢与铁的分类 1

1.1.2 钢铁材料的牌号 1

1.1.3 碳素结构钢 3

1.1.4 低合金结构钢 12

1.1.5 高合金结构钢 44

1.2 有色金属材料 62

1.2.1 铝及铝合金 62

1.2.2 镁及镁合金 92

1.2.3 钛及钛合金 94

1.2.4 铜及铜合金 102

1.2.5 镍及镍合金 123

1.3 焊接结构材料的选用 137

1.3.1 焊接结构的运行条件 137

1.3.2 工作环境 138

1.3.3 材料的加工工艺特性 138

1.3.4 选材的经济性 138

第 2 章 焊接材料 139

2.1 概述 139

2.2 焊条 139

2.2.1 焊条的类别 139

2.2.2 焊条的型号及表示方法 140

2.2.3 焊条的牌号和表示方法 144

2.2.4 焊条的化学成分及力学性能 148

2.2.5 焊条的选用原则 180

2.3 焊丝与焊剂 180

2.3.1 焊丝的分类 180

2.3.2 实芯焊丝的型号或牌号表示方法 及标准化学成分 180

2.3.3 药芯焊丝的型号或牌号表示方法 及标准理化性能 195

2.3.4 焊剂的类别、型号和牌号 207

2.3.5 常用焊剂的成分及用途 209

2.3.6 焊丝和焊剂的选用 218

2.3.7 气体保护焊用焊丝及保护气体 的选用 220

第 3 章 焊接与切割方法 234

3.1 概述 234

3.2 电弧焊焊接方法 234

3.2.1 焊条电弧焊 234

3.2.2 埋弧焊 244

3.2.3 钨极惰性气体保护焊 262

3.2.4 等离子弧焊 274

3.2.5 熔化极气体保护焊 281

3.3 电阻焊焊接方法 306

3.3.1 电阻点焊 307

3.3.2 电阻缝焊 312

3.3.3 电阻凸焊 317

3.3.4 电阻对焊 321

3.4 电渣焊焊接方法 328

3.5 摩擦焊焊接方法 343

3.6 堆焊方法 347

3.6.1 对堆焊方法的基本要求 348

3.6.2 堆焊方法的特点及应用范围 348

3.6.3 堆焊工艺 350

3.7 热切割方法 356

3.7.1 氧-燃气火焰切割 356

3.7.2 等离子弧切割 357

3.7.3 激光切割 358

第 4 章 焊接设备 360

4.1 焊接设备的分类 360

4.2 对焊接设备的基本要求 360

4.2.1 对弧焊设备技术特性的要求 360

4.2.2 对电阻焊设备技术特性的要 求 362

4.3 通用焊接设备标准	362	5.5 成形加工	472
4.3.1 电弧焊机的通用技术条件	363	5.5.1 成形加工工艺	472
4.3.2 电阻焊机的通用技术条件	364	5.5.2 成形加工设备	479
4.4 电焊机型号的编制方法	365	5.6 焊件组装工艺及其装备	492
4.5 通用焊接与切割设备的技术 特性参数	369	5.6.1 焊件的组装工艺	492
4.5.1 弧焊设备	369	5.6.2 装焊工装夹具及设备	497
4.5.2 电阻焊设备	381	5.7 焊接工艺及其装备	518
4.5.3 特种焊机	386	5.7.1 焊接生产工艺程序	518
4.5.4 切割机	390	5.7.2 焊接生产工艺主要内容	519
4.6 现代通用弧焊设备的技术 特性	391	5.7.3 焊接工艺装备的类别	527
4.6.1 高精度 TIG 焊机	392	5.7.4 自动化焊接工艺装备	527
4.6.2 高性能 MIG/MAG 焊机	397	5.7.5 焊接机头的移动机械	535
4.6.3 数控埋弧焊机	406	5.7.6 焊件变位机械	551
4.7 焊接设备的选用	413	5.7.7 标准型自动化焊接专机	579
4.7.1 焊接设备的选用原则	413	5.7.8 管子对接自动焊接专机	585
4.7.2 焊接设备的选用程序	414	5.7.9 管子-管板接头自动焊专机	594
4.7.3 各类焊接设备的选择	414	5.8 焊接机器人及其工作站	596
第 5 章 焊接结构制造工艺及其 装备	418	5.8.1 概述	596
5.1 焊接结构制造工艺流程	418	5.8.2 工业机器人系统	600
5.1.1 板材焊接结构的制造工艺 流程	418	5.8.3 弧焊机器人工作站	605
5.1.2 型材焊接结构的制造工艺 流程	421	5.8.4 点焊机器人工作站	620
5.1.3 管材焊接结构的制造工艺 流程	422	5.8.5 焊接机器人工作站应用实例	627
5.2 钢材预处理工艺及其装备	422	5.8.6 焊接机器人操作及安全技术	632
5.2.1 钢材的矫正工艺	422	第 6 章 钢铁材料的焊接工艺	635
5.2.2 钢材矫正工艺装备	424	6.1 碳素结构钢的焊接工艺	635
5.2.3 钢材表面的清理工艺	427	6.1.1 低碳钢的焊接工艺	635
5.2.4 钢材的表面预处理设备	427	6.1.2 中碳钢的焊接工艺	636
5.3 划线、放样工艺	428	6.1.3 高碳钢的焊接工艺	637
5.4 下料和边缘加工工艺	429	6.2 低合金结构钢的焊接工艺	637
5.4.1 金属材料的机械切割工艺	429	6.2.1 低合金结构钢的焊接特点	637
5.4.2 金属材料的机械切割设备	430	6.2.2 低合金结构钢的焊接材料	637
5.4.3 金属材料的热切割工艺	435	6.2.3 低合金结构钢的焊接方法	638
5.4.4 金属材料的热切割设备	442	6.2.4 低合金结构钢的焊接参数	639
5.4.5 金属材料的高压水射流切割	465	6.2.5 低合金结构钢的焊后热处理	639
5.4.6 金属材料的边缘和坡口加工	467	6.2.6 常用低合金结构钢的典型 焊接工艺	641
		6.3 耐热钢的焊接工艺	642
		6.3.1 对耐热钢焊接接头性能的 基本要求	642
		6.3.2 低合金耐热钢的焊接工艺	643
		6.3.3 中合金耐热钢的焊接工艺	645

6.3.4 高合金耐热钢的焊接工艺	647	的选择	714
6.4 不锈钢耐蚀钢的焊接工艺	654	7.4 锆及锆合金的焊接工艺	717
6.4.1 对不锈钢耐蚀钢焊接接头性能 的要求	654	7.4.1 锆及锆合金的焊接特点	717
6.4.2 不锈钢耐蚀钢的焊接工艺	655	7.4.2 锆及锆合金的焊接方法、工艺 及参数	717
6.5 低温合金钢的焊接工艺	665	7.5 镁及镁合金的焊接	720
6.5.1 5Ni 和 9Ni 钢的焊接工艺	665	7.5.1 镁及镁合金的焊接特点	720
6.5.2 0Cr21Ni6Mn9N 低温无磁钢 的焊接工艺	668	7.5.2 镁及镁合金的焊接方法	721
6.5.3 15Mn26Al4 低温高锰钢的焊 接工艺	669	7.5.3 镁及镁合金焊接材料的选择	721
6.6 高合金超高强度钢的焊接 工艺	670	7.5.4 镁及镁合金的焊前准备	722
6.6.1 马氏体时效钢的焊接工艺	670	7.5.5 镁及镁合金的焊接工艺及参数 的选择	724
6.6.2 HP9Ni-4Co 超高强度钢的焊 接工艺	673	7.6 镍及镍基合金的焊接工艺	726
6.7 铸铁的焊接工艺	674	7.6.1 镍及镍基合金的焊接特点	726
6.7.1 铸铁的焊接特性	674	7.6.2 镍及镍基合金的焊接方法	726
6.7.2 铸铁的焊接方法和焊接材料	676	7.6.3 镍及镍合金焊接材料的 选择	727
6.7.3 铸铁的焊接参数	677	7.6.4 镍及镍合金的焊接工艺及参 数的选择	728
第 7 章 有色金属的焊接工艺	684	7.7 纯银的焊接	730
7.1 铝及铝合金的焊接工艺	684	7.7.1 纯银的气焊	730
7.1.1 铝及铝合金的焊接特点	684	7.7.2 纯银的钨极惰性气体保护焊	731
7.1.2 铝及铝合金的焊接方法	684	7.7.3 纯银的电阻焊	731
7.1.3 铝及铝合金焊接材料的选择	685	7.7.4 纯银的冷压焊	731
7.1.4 焊件和焊丝的清理	688	7.8 异种金属的焊接	731
7.1.5 焊接工艺及参数的选择	688	7.8.1 铝与铜的焊接	732
7.2 铜及铜合金的焊接工艺	699	7.8.2 铜与碳钢的焊接	733
7.2.1 铜及铜合金的焊接特点	699	7.8.3 纯铜、铜合金与不锈钢的 焊接	734
7.2.2 铜及铜合金的焊接方法	699	7.8.4 纯镍与碳钢的焊接	735
7.2.3 铜及铜合金焊接材料的选择	699	7.8.5 铜镍合金与钢的焊接	735
7.2.4 焊前准备	700	第 8 章 典型焊接结构的焊接工艺	736
7.2.5 铜及铜合金的焊接工艺及参 数的选择	701	8.1 概述	736
7.3 钛及钛合金的焊接工艺	710	8.2 锅炉、压力容器与管道的焊接 工艺	736
7.3.1 钛及钛合金的焊接特点	710	8.2.1 锅炉、压力容器与管道的结构 特点	736
7.3.2 钛及钛合金的焊接方法	710	8.2.2 锅炉、压力容器与管道的焊接 接头形式	744
7.3.3 钛及钛合金焊接材料的选择	710	8.2.3 锅炉、压力容器与管道的通用 焊接技术要求	764
7.3.4 焊前准备	711		
7.3.5 焊接区的保护	712		
7.3.6 钛及钛合金的焊接工艺及参数			

8.2.4 锅炉、压力容器与管道的典型 焊接工艺规程	785	9.3.3 焊接结构生产企业的质量 体系	897
8.3 钢结构的焊接工艺	817	9.4 焊接接头的目视检查	902
8.3.1 现代焊接钢结构的基本特点	817	9.4.1 概述	902
8.3.2 钢结构焊接接头的形式	820	9.4.2 焊前目视检查	902
8.3.3 钢结构焊接的通用技术要求	827	9.4.3 焊接过程中的目视检查	903
8.3.4 钢结构典型构件的焊接参数	858	9.4.4 焊后目视检查	903
8.3.5 钢结构部件典型焊接工艺 规程	863	9.5 焊接接头的无损检测	904
第 9 章 焊接结构制造质量的控制 与检测	868	9.5.1 概述	904
9.1 概述	868	9.5.2 焊接接头的无损检测 标准	907
9.2 焊接结构制造质量的控制 程序	868	9.5.3 焊缝射线照相探伤	908
9.2.1 产品图样的评审	868	9.5.4 焊缝超声波探伤	914
9.2.2 产品焊接技术条件的编制	869	9.5.5 焊缝的磁粉探伤	920
9.2.3 产品焊接工艺方案的编制	870	9.5.6 焊缝的渗透探伤	925
9.2.4 焊接工艺文件及焊接工艺 评定	870	9.6 焊接接头的破坏性试验	928
9.2.5 材料的入厂检验	872	9.6.1 概述	928
9.2.6 焊接生产工艺过程的控制	872	9.6.2 焊接接头破坏性检验范围	929
9.2.7 焊件质量的检验	876	9.6.3 焊接接头破坏性检验方法及 检验标准	929
9.2.8 焊接缺陷的返修和补焊	877	附录 A 美国 ASME《锅炉与压力 容器法规》对常用钢种的 分类	943
9.3 焊接结构制造质量控制标准	878	附录 B 美国 AWS《钢结构焊接法 规》对免除焊接工艺评定 的规定	946
9.3.1 影响钢熔焊接头质量的技术 因素	884	参考文献	965
9.3.2 焊缝缺陷的类别及其分级	887		

第 1 章 焊接结构材料

近半个世纪以来,我国工业现代化的快速发展,促使焊接结构在各制造加工行业中不断地扩大了应用范围。当前,我国钢材产量的 40% 以上用于各类焊接结构,所涉及的主要工业领域有建筑钢结构、船舶、锅炉及压力容器、管道、输油气管线、石油化工机械、矿冶设备、各种车辆、重型机械、锻压机械、工程机械、铁路、桥梁、食品和饮料机械、制药机械、航空航天飞行器、军械兵器、农用机械、港口机械、建筑机械、起吊设备、家用电器和微电子元器件等。焊接结构用材料种类包括碳素结构钢、低合金结构钢、耐热钢、不锈钢、低温钢、高合金超高强度钢、铝及其合金、铜及其合金、钛及其合金、镍基合金和高温合金等,范围极其广泛,品种繁多。

从事焊接结构设计、焊接工艺编制、焊接试验研究和焊接质量检验的焊接工作者首先必须全面了解焊接结构材料方面的知识,包括基本特性、标准规定的理化性能指标及其检验方法等。本章按材料的类别,分别介绍焊接结构生产中必须掌握的有关材料方面的数据。

1.1 钢铁材料

钢铁材料亦称黑色金属材料,是以铁为基本成分的铁碳合金及其加入某些合金元素后的总称,它在焊接结构材料中占有绝对重要的地位。

钢按其含碳量和合金成分的含量不同,可分成碳素钢和合金钢两大类。在工程上应用的铁,除了含碳量极低的纯铁外,主要是碳的质量分数 $[w(C)]$ (含量) 大于 2.14% 的铸铁材料。本节主要论述在焊接结构中常用的碳素结构钢、各类低合金、中合金和高合金结构钢以及铸铁等。

1.1.1 钢与铁的分类

焊接结构用钢材按其特性可分成碳素结构钢、低合金结构钢、合金结构钢、耐热钢、不锈钢、低温钢等几大类;按特殊的用途可分成船用钢、压力容器用钢、桥梁用钢、锅炉用钢、管线用钢和焊接

材料用钢等。

各大类钢按含碳量和合金成分又可分成若干小类、系列品种和各种牌号的钢材。目前在焊接结构中应用的钢材已接近 400 种牌号。

在工程上应用的铸铁分为灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和白口铸铁五大类。在工业上铸铁件焊接结构很少采用,而铸件缺陷的焊补以及失效铸件的焊接修复工作则占有越来越重要的地位。

1.1.2 钢铁材料的牌号

在我国,焊接结构中应用的各种钢材极大部分已列入国家标准。钢材的牌号已统一按最新的国家标准 GB/T221—2000《钢铁产品牌号表示方法》编写的。由于该标准规定的钢铁产品牌号表示方法与 GB/T221—1979 版标准的内容有较大差别,且于 2000 年 11 月才贯彻实施,因此,概括地介绍钢铁产品牌号表示方法的新规定是十分必要的。

1. 牌号编写的基本原则

1) 钢铁产品牌号一般采用汉语拼音字母、化学元素符号和阿拉伯数字相结合的方法表示。

钢铁材料中常用的化学元素符号见表 1-1。

表 1-1 钢铁材料常用化学元素符号

元素名称	元素符号	元素名称	元素符号
铁	Fe	锆	Zr
锰	Mn	锡	Sn
铬	Cr	铅	Pb
镍	Ni	铋	Bi
钴	Co	铯	Cs
铜	Cu	钡	Ba
钨	W	铈	Ce
钼	Mo	钕	Nd
钒	V	镧	La
钛	Ti	钐	Sm
铝	Al	铀	Ac
铌	Nb	硼	B
钽	Ta	碳	C
锂	Li	硅	Si
铍	Be	硒	Se
镁	Mg	碲	Te
钙	Ca	砷	As

(续)

元素名称	元素符号	元素名称	元素符号
硫	S	氧	O
磷	P	氢	H
氮	N		

特性和工艺方法时,一般从代表产品名称的汉字拼音中选取第一个字母。当和另一产品所取字母重复时,改取第二个字母或第三个字母,或同时选取两个汉字的第一个拼音字母。

焊接结构用钢铁产品名称、用途、特性和工艺

2) 采用汉语拼音字母表示产品名称、用途、方法表示符号见表 1-2。

表 1-2 钢铁产品名称、用途、特性和工艺方法表示符号

名 称	汉字及汉语拼音		符号	字体	位置
	汉字	拼音			
碳素结构钢	屈	QU	Q	大写	牌号头
低合金高强度钢	屈	QU	Q	大写	牌号头
耐候钢	耐候	NAIHO	NH	大写	牌号尾
焊接用钢	焊	HAN	H	大写	牌号头
船用钢			国际通用符号		
汽车大梁用钢	梁	LIANG			牌号尾
压力容器用钢	容	RONG	R	大写	牌号尾
桥梁用钢	桥	QIAO	q	小写	牌号尾
锅炉用钢	锅	GUO	g	小写	牌号尾
焊接气瓶用钢	焊瓶	HAN PING	HP	大写	牌号尾
管线用钢			S	大写	牌号头
沸腾钢	沸	FEI	F	大写	牌号尾
半镇静钢	半	BAN	b	小写	牌号尾
镇静钢	镇	ZHEN	Z	大写	牌号尾
特殊镇静钢	特镇	TE ZHEN	TZ	大写	牌号尾
质量等级			A	大写	牌号尾
			B	大写	牌号尾
			C	大写	牌号尾
			D	大写	牌号尾
			E	大写	牌号尾

2. 牌号表示方法

(1) 碳素结构钢和低合金结构钢 这类钢分为通用钢和专用钢两类。

通用结构钢采用代表屈服强度的拼音字母“Q”、屈服强度值(单位 MPa)和表 1-2 中规定的质量等级、脱氧方法等符号表示,并按顺序组成牌号。例如,碳素结构钢牌号表示为:Q235AF, Q235BZ;低合金高强度钢牌号表示为:Q345C、Q345D。

碳素结构钢的牌号组成中,表示镇静钢的符号 Z 和表示特殊镇静钢的符号“TZ”可以省略。例如质量等级分别为 C 级和 D 级的 Q235 钢,其完整的牌号应为 Q235CZ 和 Q235DTZ,可以省略为 Q235C 和 Q235D。

低合金高强度钢可分为镇静钢和特殊镇静钢,在牌号的组成中不加表示脱氧方法的符号。

专用结构钢牌号一般由代表钢屈服强度的符号“Q”、屈服强度值和表 1-2 中规定的代表产品用途的符号组成。例如,压力容器用钢牌号表示为“Q345R”,焊接气瓶用钢牌号为“Q295HP”,锅炉用钢牌号为“Q390g”,桥梁用钢牌号为“Q420q”,耐候钢的牌号为“Q340NH”。

根据需要,通用低合金高强度钢的牌号也可以采用两位阿拉伯数字(表示平均含碳量,以万分之几计)和表 1-1 规定的元素符号,按顺序表示。专用低合金高强度钢的牌号也可采用二位阿拉伯数字(表示平均含碳量,以万分之几计),表 1-1 规定的元素符号和表 1-2 规定的代表产品用途的符号,按顺序表示。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢采用阿拉伯数字或阿拉伯数字加表 1-1 和表 1-2 规定的符号表示。以二位阿拉伯数字表示平均含碳量(以万

分之几计)。

优质碳素沸腾钢和半镇静钢,在牌号尾部分别加符号“F”和b。例如平均碳的质量分数为0.08%的沸腾钢,其牌号为“08F”,平均碳的质量分数为0.10%的半镇静钢,其牌号为“10b”。

镇静钢一般不另加符号。如平均碳的质量分数为0.35%的镇静钢,其牌号为“35”。

含锰量较高的优质碳素结构钢,在表示平均含碳量的阿拉伯数字后加锰元素符号。例如平均碳的质量分数为0.25%,锰的质量分数为0.70%~1.00%的钢,其牌号为“25Mn”。

高级优质碳素结构钢,在牌号后加符号“A”。例如平均碳的质量分数为0.20%的高级优质碳素结构钢牌号为“20A”。

特级优质碳素结构钢在牌号后加符号“E”。例如平均碳的质量分数为0.45%的特级优质碳素结构钢的牌号为“45E”。

专用优质碳素结构钢牌号以阿拉伯数字(表示平均含碳量)和表1-2规定的代表产品用途的符号表示。例如平均碳的质量分数为0.20%的锅炉用钢的牌号为“20g”。

(3) 合金结构钢 合金结构钢牌号采用阿拉伯数字和表1-1规定的合金元素符号表示。用二位阿拉伯数字表示平均含碳量(以万分之几计),放在牌号头部。

合金元素含量表示方法为:平均含量(质量分数)小于1.50%时,牌号中仅表明元素符号,不标含量;平均合金的质量分数为1.50%~2.49%、2.50%~3.49%、3.50%~4.49%、4.50%~5.49%,……时,在合金元素符号后相应标出2、3、4、5,……。

例如碳、铬、锰、硅的平均质量分数分别为0.30%、0.95%、0.85%、1.05%的合金结构钢,其牌号表示为“30CrMnSi”;碳、铬、镍的平均质量分数分别为0.20%、0.75%、2.95%的合金结构钢的牌号为“20CrNi3”。

高级优质合金结构钢在牌号尾部加符号“A”,例如“30CrMnSiA”。特级优质合金结构钢的牌号尾部加符号“E”,例如“30CrMnSiE”。

(4) 不锈钢和耐热钢 不锈钢和耐热钢牌号采用表1-1规定的合金元素符号和阿拉伯数字表示。一般用一位阿拉伯数字表示平均含碳量(以千分之几计)。当平均碳的质量分数不小于1.00%时,采

用二位阿拉伯数字表示;当碳的质量分数上限小于0.1%时,以“0”表示含碳量。当碳的质量分数上限不大于0.03%,大于0.01%时(超低碳),以“03”表示含碳量。当碳的质量分数上限不大于0.01%时(极低碳),以“01”表示含碳量。含碳量未规定下限时,采用阿拉伯数字表示含碳量的上限数字。合金元素含量表示方法与合金结构钢相同。例如平均碳的质量分数为0.20%、平均铬的质量分数为13%的不锈钢,其牌号以“2Cr13”表示,碳的(质量分数)上限为0.08%,平均铬的质量分数为18%,平均镍的质量分数为9%的铬镍不锈钢,其牌号为“0Cr18Ni9”。碳的质量分数上限为0.03%,平均铬的质量分数为19%,平均镍的质量分数为10%的超低碳不锈钢,其牌号以“03Cr19Ni10”表示。碳的质量分数上限为0.01%,平均铬的质量分数为19%,平均镍的质量分数为11%的极低碳不锈钢,其牌号表示为“01Cr19Ni11”。

(5) 焊接用钢 实际上是指焊接材料用钢,焊接材料用钢包括焊接材料用碳素钢、焊接材料用合金钢和焊接材料用不锈钢。其牌号表示方法是在各类焊接材料用钢牌号头部加符号“H”。例如“H08”、“H08Mn2Si”、“H10Cr19Ni9”。

高级优质焊接材料用钢的牌号尾部加符号“A”,例如:“H08A”、“H08Mn2SiA”。

1.1.3 碳素结构钢

碳素结构钢是焊接结构中应用量最大的一类钢种。碳素结构钢可按含碳量、冶炼方法、脱氧程度和质量等级进行分类。

1. 碳素结构钢的分类

(1) 按含碳量分类 按钢中含碳量不同,可分为低碳钢、中碳钢和高碳钢三类。

1) $w(C)$ (含碳量) $\leq 0.30\%$ 的碳素钢为低碳钢;

2) $w(C)$ (含碳量) $= 0.30\% \sim 0.60\%$ 的碳素钢为中碳钢;

3) $w(C)$ (含碳量) $> 0.60\%$ 的碳素钢为高碳钢。

(2) 按冶炼方法分类 按钢的冶炼方法可分为平炉钢、转炉钢和电炉钢。转炉钢又可分为氧气顶吹转炉钢和空气碱性转炉钢。近年来,由于转炉炼钢技术取得重大的突破,转炉炼钢效率高、成本

低，产品质量好，目前已逐步代替平炉钢。

(3) 按脱氧程度分类 按炼钢过程中钢材的脱氧程度可分为沸腾钢、半镇静钢和镇静钢。沸腾钢的 $w(Si) \leq 0.07\%$ ；半镇静钢的 $w(Si) \leq 0.17\%$ ；镇静钢的 $w(Si) \geq 0.12\%$ 。

(4) 按钢材的质量等级分类 按钢中有害杂质 S 和 P 的含量不同，可将碳素钢分为普通碳素钢、优质碳素钢、高级优质碳素钢和特级优质碳素钢。国家标准对这四类钢的 S、P 含量的规定如下：

1) 普通碳素结构钢： $w(S) \leq 0.050\%$ ， $w(P) \leq 0.045\%$ ；

2) 优质碳素结构钢： $w(S) \leq 0.035\%$ ， $w(P) \leq 0.035\%$ ；

3) 高级优质碳素结构钢： $w(S) \leq 0.03\%$ ， $w(P) \leq 0.030\%$ ；

4) 特级优质碳素结构钢： $w(S) \leq 0.020\%$ ， $w(P) \leq 0.025\%$ ；

2. 碳素结构钢的化学成分和力学性能

(1) 普通碳素结构钢 按 GB/T 700—1988 普通碳素结构钢的国家标准规定，这类钢有五种牌号，每种牌号还分不同的质量等级。标准对这些钢规定的化学成分和力学性能分别列于表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 普通碳素结构钢的化学成分 (GB/T 700—1988)

化学成分 (质量分数, %)							脱氧方法
牌号	等级	C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q195	—	0.06~0.12	0.25~0.50	0.30	0.050	0.045	F, b, Z
Q215	A	0.09~0.15	0.25~0.55	0.30	0.050	0.045	F, b, Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14~0.22	0.30~0.65	0.30	0.050	0.045	F, b, Z
	B	0.12~0.20	0.30~0.70		0.045		
	C	≤0.18	0.35~0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18~0.28	0.40~0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28~0.38	0.50~0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注：1. Q235A 和 B 级沸腾钢 $w(Mn)$ 上限为 0.60%。

2. D 级钢应有足够的细化晶粒的元素。

表 1-4 普通碳素结构钢的力学性能 (GB/T 700—1988)

牌号	等级	拉伸试验			冲击试验		冷弯试验 180°	
		σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	温度 /℃	夏比 V 形缺口 冲击吸收功 (纵向) /J	弯芯直径	
		不小于					纵向	横向
Q195	—	315~390	195	33	—	—	0	0.5a
Q215	A	335~410	215	31	—	—	0.5a	a
	B				20	≥27		
Q235	A	375~460	235	26	—	—	a	1.5a
	B				20	≥27		
	C				0			
	D				-20			

(续)

牌号	等级	拉伸试验			冲击试验		冷弯试验 180°	
		σ_b /MPa	σ_s /MPa	δ_5 (%)	温度 /℃	夏比 V 形缺口 冲击吸收功 (纵向) /J	弯芯直径	
		不小于					纵向	横向
Q255	A	410~510	255	24	—	—	2a	2a
	B				20	≥27		
Q275	—	490~610	275	20	—	—	3a	3a

注：1. Q195 钢的屈服强度值仅作参考，不作为交货条件。

2. 冷弯试验中 b 试样宽度 = $2a$ ， a 为钢材厚度 (mm)，弯心直径值适用于厚度不大于 60mm 钢材。

3. 钢材一般以热轧 (包括控轧) 状态交货，根据需方要求，双方协议，也可以正火状态交货 (A 级钢除外)。

(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢国家标准 GB/T 699—1988 已为 GB/T 699—1999 新标准所代替。标准内容有较大改动。其中最主要的是将优质钢增加二个质量等级，即高级优质钢和特级优质钢。最重要的差别是 S 和 P 含量不同，如表 1-5 所示。

表 1-5 各级优质碳素结构钢的
P 和 S 含量 (质量分数, %)

级 别	P	S
	不大于	
优质钢	0.035	0.035
高级优质钢	0.030	0.030
特级优质钢	0.025	0.020

在 GB/T 699—1999《优质碳素结构钢》标准

中列出了 31 种优质碳素结构钢，但不是所有这些钢种都适用于焊接结构，表 1-6 和表 1-7 分别列出在焊接结构中常用的优质碳素结构钢的化学成分和力学性能。这些钢材通常以热轧或热锻状态交货，如需方要求，也可以热处理状态 (退火、正火或高温回火) 或特殊表面状态交货。

其中 08 钢用铝脱氧冶炼镇静钢时，锰的质量分数下限为 0.25%，硅的质量分数不大于 0.03%，铝的质量分数为 0.02%~0.07% 钢的牌号为 08Al。

08~25 钢可供应硅的质量分数不大于 0.17% 的半镇静钢，其牌号为 08b~25b。

表 1-7 所列的力学性能仅适用于截面尺寸不大于 80mm 的钢材。对于超过 80mm 的钢材，允许其断后伸长率、断面收缩率比表 1-7 规定的分别降低 2% (绝对值) 及 5% (绝对值)。

表 1-6 焊接结构用优质碳素结构钢化学成分 (按 GB/T 699—1999)

序号	统一数字代号	牌号	化学成分 (质量分数, %)					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
						不大于		
1	U20080	08F	0.05~0.11	≤ 0.03	0.25~0.50	0.10	0.30	0.25
2	U20100	10F	0.07~0.13	≤ 0.07	0.25~0.50	0.15	0.30	0.25
3	U20150	15F	0.12~0.18	≤ 0.07	0.25~0.50	0.25	0.30	0.25
4	U20082	08	0.05~0.11	0.17~0.37	0.35~0.65	0.10	0.30	0.25
5	U20102	10	0.07~0.13	0.17~0.37	0.35~0.65	0.15	0.30	0.25
6	U20152	15	0.12~0.18	0.17~0.37	0.35~0.65	0.25	0.30	0.25
7	U20202	20	0.17~0.23	0.17~0.37	0.35~0.65	0.25	0.30	0.25
8	U20252	25	0.22~0.29	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
9	U20302	30	0.27~0.34	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
10	U20352	35	0.32~0.39	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25

(续)

序号	统一数字代号	牌号	化学成分 (质量分数, %)					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
11	U20402	40	0.37~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
12	U20452	45	0.42~0.50	0.17~0.37	0.50~0.80	0.25	0.30	0.25
13	U21152	15Mn	0.12~0.18	0.17~0.37	0.70~1.00	0.25	0.30	0.25
14	U21202	20Mn	0.17~0.23	0.17~0.37	0.70~1.00	0.25	0.30	0.25
15	U21252	25Mn	0.22~0.29	0.17~0.37	0.70~1.00	0.25	0.30	0.25
16	U21302	30Mn	0.27~0.34	0.17~0.37	0.70~1.00	0.25	0.30	0.25
17	U21352	35Mn	0.32~0.39	0.17~0.37	0.70~1.00	0.25	0.30	0.25
18	U21402	40Mn	0.37~0.44	0.17~0.37	0.70~1.00	0.25	0.30	0.25

- 注: 1. 如果是高级优质钢, 在所牌号后面加 A, 统一数字代号最后一位数字改为 3;
2. 如果是特级优质钢, 在所牌号后面加 E, 统一数字代号最后一位数字改为 “6”;
3. 对于沸腾钢, 牌号后加 “F”, 统一数字代号最后一位数字为 “0”;
4. 对于半镇静钢, 牌号后面加 “b”, 统一数字代号最后一位数字为 “1”;
5. 冷冲压用沸腾钢的 $w(\text{Si})$ 不大于 0.03%;
6. 氧气转炉冶炼的钢, 其含氮量 $[\varphi(\text{N})]$ 应不大于 0.008%。

表 1-7 焊接结构用优质碳素结构钢力学性能 (按 GB/T 699—1999)

序号	牌号	试样毛 坯尺寸 /mm	推荐热处理温度/℃			力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000 不大于	
			正火	淬火	回火	σ_b	σ_s	δ_5	φ	A_{KU2}	未热处理	退火
						/MPa	/MPa	(%)	(%)	/J		
						不小于						
1	08F	25	930	—	—	295	175	35	60	—	131	—
2	10F	25	930	—	—	315	185	33	55	—	137	
3	15F	25	920	—	—	355	205	29	55	—	143	
4	08	25	930	—	—	325	195	33	60	—	131	—
5	10	25	930	—	—	335	205	31	55	—	137	
6	15	25	920	—	—	375	225	27	55	—	143	
7	20	25	910	—	—	410	245	25	55	—	156	
8	25	25	900	870	600	450	275	23	50	71	170	
9	30	25	880	860	600	490	295	21	50	63	179	
10	35	25	870	850	600	530	315	20	45	55	197	
11	40	25	860	840	600	570	335	19	45	47	217	187
12	45	25	850	840	600	600	355	16	40	39	229	197
13	15Mn	25	920	—	—	410	245	26	55	—	163	—
14	20Mn	25	910	—	—	450	275	24	50	—	197	
15	25Mn	25	900	870	600	490	295	22	50	71	207	
16	30Mn	25	880	860	600	540	315	20	45	63	217	187

(续)

序号	牌号	试样毛坯尺寸/mm	推荐热处理温度/℃			力学性能					交货状态硬度 HBS10/3000 不大于	
			正火	淬火	回火	σ_b	σ_s	δ_5	φ	A_{KU2}	未热处理	退火
						/MPa	/MPa	(%)	(%)	/J		
17	35Mn	25	870	850	600	560	335	18	45	55	229	197
18	40Mn	25	860	840	600	590	355	17	45	47	229	207

注：1. 对于直径或厚度小于 25mm 的钢材，热处理是在与成品截面尺寸相同的试样毛坯上进行。

2. 表中所列正火保温时间应不少于 30min，空冷；淬火保温时间应不少于 30min，回火保温时间应不少于 1h。

(3) 专用碳素结构钢 在各类焊接结构中，专 船体用碳素钢的交货状态应符合表 1-10 的规定的碳素结构钢有以下几种。

1) 船体用碳素结构钢 按 GB 712—2000《船体用碳素钢》标准，将船体用结构钢分为一般强度钢和高强度钢两类。一般强度钢为碳素结构钢，分 A、B、D、E 四个质量等级。其化学成分和力学性能的标准规定值分别列于表 1-8 和表 1-9。

2) 锅炉和压力容器用碳素结构钢 GB 713—1997《锅炉用钢板》和 GB 6654—1996《压力容器用钢板》标准分别规定了一种锅炉用碳素钢和压力容器用碳素钢。其化学成分和力学性能列于表 1-11 和表 1-12。

表 1-8 船体用碳素结构钢的标准化学成分 (%) (按 GB 712—2000)

名称	等级	化学成分 (质量分数, %)								
		C	Mn	Si	S	P	Als	Cr	Ni	Cu
船体用 碳素钢	A	≤0.21	≥2.5C	≤0.50	≤0.035	≤0.035	—	≤0.30	≤0.30	≤0.35
	B	≤0.21	0.80~1.20	≤0.35	≤0.035	≤0.035	—	≤0.30	≤0.30	≤0.35
	D	≤0.21	0.60~1.20	≤0.35	≤0.035	≤0.035	≥0.015	≤0.30	≤0.30	≤0.35
	E	≤0.18	0.70~1.20	≤0.35	≤0.035	≤0.035	≥0.015	≤0.30	≤0.30	≤0.35

注：1. 经需方同意，厚度不大于 12.5mm 的 A 级钢，可采用沸腾钢。

2. 型钢碳的质量分数上限可到 0.23%。

3. 所有质量等级钢的碳当量为： $1w(C) + 1/6w(Mn) \leq 0.40$ (%)。

4. 当 B 级钢要求做冲击试验时，锰的质量分数下限可降到 0.60%。

5. 若采用温度-形变控轧状态交货，经船检部门同意，化学成分可不同于上表的规定。

表 1-9 船体用碳素结构钢标准力学性能 (按 GB 712—2000)

钢材 等级	屈服强度 σ_s /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 (%)	缺口冲击试验冲击吸收功 A_{KV}/J										
				试验 温度 /℃	板厚/mm									
					≤50		＞50～70		＞70～100mm					
					纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向				
A	235	400～520	≥22	20	—	—	≥34	≥24	≥41	≥27				
B				0	≥27	≥20								
D				－20										
E				－40										

注：1. 经船检部门同意，A 级型钢的抗拉强度上限可以超过上表规定。

2. 夏比 V 形缺口冲击吸收功，按三个试样的平均值，允许其中一个试样的冲击吸收功单值低于上表规定。但不得低于规定值的 70%。

3. 厚度不大于 25mm 的 B 级钢，经船检部门同意，可不作冲击试验。

4. 厚度大于 50mm 的 A 级钢，如经细化晶粒处理，并以正火状态交货，可以不做冲击试验。经船检部门同意，以温度-形变控轧状态交货的 A 级钢亦可不作冲击试验。

表 1-10 船体用碳素结构钢的交货状态(按 GB 712—2000)

钢材等级	产品类型	交货状态				
		厚度/mm				
		≤12.5	>12.5~25	>25~35	>35~50	>50~100
A	板材	A(-)				N(-), TM(-) CR(50) AR*(50)
	型材					—
B	板材	A(-)		A(50)		N(50) TM(50) CR(50) AR*(50)
	型材					—
D	板材	A(50)			N(50) CR(50) TM(50)	N(50) TM(50) CR(25)
	型材				N(50) CR(50) TM(50) AR*(25)	—
E	板材	N(每件), TM(每件)				
	型材	R(25), TM(25), AR*(15), CR*(15)				

注:1. 交货状态代号:A 任意;N 正火;CR 控轧;TM 温度-形变控轧
AR* 经船检部门同意,可以热轧交货
CR* 经船检部门同意,可以控轧交货

2. 厚度>50~100mm 的 A 级钢板采用 TM 状态交货和厚度>35~50mm 的 D 级型钢采用热轧状态交货,须经船检部门同意。

3. 上表括号中的数值表示冲击试验的取样批量,括号中数值(15,25,50)的单位为 t(吨)。(—)表示不要求做冲击试验。

表 1-11 锅炉和压力容器用碳素钢板标准化学成分 (按 GB 713—1997
GB 6654—1996)

钢种	牌号	化学成分(质量分数,%)								
		C	Mn	Si	S	P	Al _h	Cr	Ni	Cu
锅炉用钢	20g	≤0.20	≤0.50~0.90	0.15~0.30	≤0.035	≤0.035	—	≤0.30	≤0.30	≤0.30
压力容器用钢	20R	≤0.20	≤0.40~0.90	0.15~0.30	≤0.035	≤0.035	—	≤0.30	≤0.30	≤0.30

注:1. 厚度大于 60mm 的 20R 的锰钢, w(Mn)上限可以提高到 1.00%。

2. 为改善 20R 钢的性能,可添加微量合金元素。

3. 20g 钢板在满足性能要求的前提下 w(Mn)可为 0.40%,对于厚度大于 25mm 的钢板, w(C)最大可到 0.22%。

3) 管道用碳素结构钢 管道用碳素结构钢标准 GB 9711—1988 已改为 GB/T 9711.1—1997《石油天然气工业输送钢管交货技术条件 第 1 部分: A 级钢管》和 GB/T 9711.2—1999《石油天然气工业输送钢管交货技术条件 第 2 部分: B 级钢管》。为适应工业标准国际化的需要,该标准等同采用 ISO