

金属管道焊接工艺 便携手册

柳金海 陈百诚 编

机械工业出版社

本手册重点介绍管道工程广泛使用的焊条电弧焊接工艺，还介绍了一些技术已经成熟而在施工中尚未普及的焊接方法，以及常遇到的但工程量很少的铜、铝金属焊接。全书包括焊接基础知识，焊接材料，管道焊接设备，压力管道焊接工艺评定及工艺方案制订，管道工程常用焊接方法，压力管道的焊接，铝、铝合金及其管道的焊接、铜、铜合金及其管道的焊接等 8 章。

本书供各行业的管线工程焊接技术人员使用，也可作焊接专业院校师生教学参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

金属管道焊接工艺便携手册 / 柳金海，陈百诚编. —北京：机械工业出版社，2005.1

ISBN 7-111-15390-1

I. 金... II. ①柳...②陈... III. 金属—管道—焊接工艺—基本知识 IV. TG457.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 103630 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：何文军 版式设计：冉晓华 责任校对：吴美英

封面设计：姚 毅 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

890mm×1240mm A5 · 11.75 印张 · 368 千字

0 001—4 000 册

定价：28.00 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) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

焊接技术是现代工业生产中不可缺少的先进工艺技术，被广泛地应用于国民经济的各个产业部门。

管道工程用于输送各种介质，它作为一项特殊的设施，广泛地用于石油、化工、电力、建筑和市政等行业。随着我国国民经济的发展，管道工程施工的工程量不断增加，施工质量要求越来越高，如 2002 年开工建设的西气东输工程就是一项大型的管道敷设焊接工程。

由于管道工程输送介质的种类多种多样，其运行参数和使用条件也各有不同，为此，在管道工程中经常会使用多种管材，也会采用多种连接方法，但就目前的技术经济条件来看，管道工程虽有螺扣、卡套、卡箍、承插……等多种连接方法，但对于直径大于 150mm 的各种金属管子和管子支承件、设备金属支座等结构件来说，基本上多是焊接连接的，因此，金属管道焊接是管道施工中的一个极为重要的关键环节。

管道工程焊接虽与其他焊接结构一样属于焊接工程技术范围，但由于管子连接属于典型的壳体结构，与一般梁架结构、网架结构不同，管道要承受管子内部介质和外部的压力，要求焊接接头具有很好的强度、致密性和韧度，以保障管道系统的安全运行。

我国管道工程焊接技术发展是很快的，但是存在的问题也不容忽视，特别是由于多种条件的限制，信息滞后、人才缺乏是困扰焊接技术提高和发展的重要因素。因此，编写一本针对管道焊接的实用书籍，以供施工和管理人员能方便地使用查阅并可从中得到必要的知识补充，以促进管道焊接技术的发展就显得很有必要了。为此，本手册除重点介绍在施工现场已广泛使用的焊条电弧焊外，还介绍了一些技术已经成熟、在管道焊接施工中应用尚不普及的焊接方法，如向下立焊等焊接方法，以及常遇到的但工程量很少的铜、铝金属焊接，以便在生产中遇到不同的焊接问题时，不局限于传统的焊接方法，而能拓宽视野，启迪思路，探求新的焊接方法，以完善、改进焊接工艺，提高焊接质量。依编者之管见，本手册的资料基本上反映了当前管道工程焊接技术的现状。

本手册在编写过程中遵守以下三点原则：

1. 可靠性。所介绍的内容严格按照各项现行国家和行业技术标准编写。
2. 实用性和系统性。使所介绍的内容从实用性的角度出发，将材料、设备的选用和施焊、检验的要求能形成一个完整的系统，方便查阅参考。
3. 理论与实践的统一性。以便知其原理，触类旁通，以优质高效的标准，完成焊接任务。

本手册在编写过程中承蒙中国空空导弹研究院有关领导和同志的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于本手册涉及面广，受水平和资料所限，难免出现疏误、遗漏等不足之处，恳请读者批评指正。

编者 柳金海

陈百诚

2004 年 4 月于洛阳

目 录

前 言

第 1 章 焊接基础知识	1
1.1 概述	1
1.1.1 焊接连接的特点	1
1.1.2 人员技术素质	2
1.1.3 焊接材料	2
1.1.4 焊接工艺	3
1.1.5 管道焊接一般规定	4
1.2 金属材料的焊接性	6
1.2.1 焊接性定义及影响因素	6
1.2.2 金属材料的焊接特点	7
1.3 常用金属材料知识	11
1.3.1 常用金属材料的性能	11
1.3.2 金属材料的力学性能	12
1.3.3 金属受力时结构和性能的变化	16
1.4 钢的组织	16
1.4.1 基本定义	16
1.4.2 金属的晶体结构	16
1.4.3 铁碳合金相图（钢部分）	17
1.4.4 钢的组织	19
1.5 钢的分类及钢材牌号与性能	21
1.5.1 钢的分类	21
1.5.2 碳素钢的牌号与性能	21
1.5.3 合金钢的牌号与性能	28
1.6 铝、铜及其合金的牌号和性能	30
1.6.1 铝及铝合金的牌号与性能	31
1.6.2 铜及铜合金的分类、成分及性能	32
1.7 焊接冶金基础	43

1.7.1	焊接冶金的特点	43
1.7.2	焊缝及焊接接头	54
1.8	压力管道焊工的考试	56
1.8.1	对焊工考试的一般规定	57
1.8.2	操作技能考试的具体要求	69
1.8.3	考试结果与评定	75
1.8.4	发证	79
第 2 章	焊接材料	81
2.1	焊条	81
2.1.1	焊条基本知识	81
2.1.2	碳钢焊条 (GB/T 5117—1995)	85
2.1.3	低合金钢焊条型号的划分	89
2.1.4	不锈钢焊条型号的划分	91
2.1.5	铜及铜合金焊条	95
2.1.6	铝及铝合金焊条	95
2.2	焊丝	100
2.2.1	钢焊丝	100
2.2.2	非铁金属焊丝	101
2.3	焊接用气体的技术要求	107
第 3 章	管道焊接设备	110
3.1	焊条电弧焊设备	110
3.1.1	概述	110
3.1.2	交流焊条电弧焊设备	117
3.1.3	直流焊条电弧焊设备	125
3.1.4	弧焊逆变器	133
3.1.5	焊条电焊机的选择	136
3.1.6	焊条电弧焊设备辅助器件	139
3.2	管子对接 TIG 焊机及管板对接 TIG 焊机	144
3.3	气焊设备	149
3.3.1	氧气瓶、乙炔瓶及瓶阀	149
3.3.2	乙炔发生器	151
3.3.3	回火防止器	152
3.3.4	减压器	154

3.3.5 手工焊炬和割炬	157
第4章 压力管道焊接工艺评定及工艺方案制订	165
4.1 焊接工艺评定的目的与过程	165
4.1.1 焊接工艺评定的目的与程序	165
4.1.2 焊接工艺评定	168
4.2 焊接工艺方案制订	197
4.3 管道焊接工艺要点	202
4.3.1 焊接接头形式与坡口	202
4.3.2 管道装配的定位焊	218
4.3.3 钢管焊前预热及焊后热处理	218
第5章 管道工程常用焊接方法	223
5.1 焊条电弧焊	223
5.1.1 基本原理	223
5.1.2 特点与应用	224
5.1.3 焊接电弧	225
5.1.4 焊条电弧焊工艺	237
5.1.5 各种位置的焊接法	244
5.1.6 焊接参数	257
5.1.7 焊缝缺陷	260
5.2 半自动钨极氩弧焊	263
5.2.1 基本原理	263
5.2.2 特点与应用	263
5.2.3 钨极氩弧焊工艺	265
第6章 压力管道的焊接	275
6.1 管道焊接概述	275
6.1.1 工业管道的分类与分级	275
6.1.2 管道组成件及支承件检验	276
6.1.3 管道的焊接	280
6.2 钢管道焊接技术	292
6.2.1 管道的转动焊接（管子水平放置）	292
6.2.2 固定管道焊接	294
6.2.3 垂直固定管的焊接	301

6.2.4 倾斜固定管的焊接	302
6.2.5 碳素钢、低合金钢管道的焊接工艺要求	303
6.2.6 其他技术要求	311
6.3 向下立焊	314
6.3.1 向下立焊焊接工艺概述	314
6.3.2 向下立焊的操作技术与焊接参数	318
6.3.3 向下立焊技术使用的焊接材料	320
6.3.4 适用于向下立焊的电焊机	321
6.4 管道维修焊接实例	322
6.4.1 泄漏管道的补焊	322
6.4.2 蒸汽管道的带压补焊	323
6.4.3 输油管线的在线焊接	325
第 7 章 铝、铝合金及其管道的焊接	328
7.1 铝及铝合金的分类	328
7.2 铝及铝合金的焊接性	329
7.3 铝及铝合金的焊接工艺	331
第 8 章 铜、铜合金及其管道的焊接	350
8.1 铜及铜合金的焊接性	350
8.2 铜及铜合金的焊接工艺	351
参考文献	365

第 1 章 焊接基础知识

1.1 概述

焊接技术是现代工业高质量、高效率制造技术中一种不可缺少的加工工艺。大多数发达国家利用焊接加工的钢材量已超过钢材产量的一半。大量的铝、铜、钛等非铁金属及其合金的结构件也是用焊接方法制造的。

焊接是通过适当的物理化学方法，使两个分离的固体产生原子间的结合力，从而实现连接的一种工艺方法。

焊接也是管道工程最主要、而且应用最广泛的连接施工工艺。按焊接工艺不同，主要分为气焊和电焊两大类。

管道是典型的焊接结构。它与容器和锅炉一样，都属于焊接结构中的壳体结构。与格架结构、梁型结构和柱型结构等相比，壳体结构的特点是承受内部和外部压力，要求焊接接头有良好的致密性。

1.1.1 焊接连接的特点

1. 焊接的优点

焊接与螺钉联接、铆接、法兰连接等相比，具有下列优点：

- (1) 节省金属材料、减轻结构重量，不需要接头配件，成本低。
- (2) 简化加工与装配工序，生产周期短，生产率高。

在利用焊接进行加工时，可将结构复杂的大型构件分解为许多小型零部件分别加工，然后再将这些零部件焊接起来，这样就简化了金属结构的加工工艺，缩短了加工周期。

- (3) 结构强度高（接头能达到与母材等强度），接头密封性好。

因焊接接头是通过原子间的结合力实现的连接，整体性好、刚度大，在外力作用下不像机械联接（如铆接、销子联接等）那样产生较大的变形。而且，焊接结构具有良好的气密性、水密性，这是其他联接方法无法比拟的。工作性能可靠，当管道投入运行后不需要经常管理。

(4) 为结构设计提供较大的灵活性。例如，按结构的受力情况可优化配置材料，按工况需要，在不同部位选用不同强度、不同耐磨性、耐腐蚀性、耐高温性等的材料。

(5) 焊接工艺过程容易实现机械化和自动化。

2. 焊接的缺点

(1) 焊接接头具有较大的性能不均匀性。由于焊缝的成分及金相组织与母材不同，接头各部位经历的热循环不同，使不同区域接头的性能不同。

(2) 接口固定，若需拆卸必须把管子切断。

(3) 焊接工艺要求较高，必须由受过专门训练的焊工进行施工。

(4) 焊接过程中产生高温、强光及一些有毒气体，对人体有一定的损害，故需加强劳动保护。

尽管如此，在钢管的连接方式中，焊接连接仍占第一位。

1.1.2 人员技术素质

与其焊接质量有关的人员较多，如焊接责任师、材料责任师、无损检测责任师、项目经理（或管道安装施工负责人）、质检员、焊工、管工、探伤工、机加工工人以及材料保管员等等。其中最主要的是焊接责任师、质检员、探伤人员及焊工。

焊接责任师是管道焊接质量的重要负责人，在管理上要负责一系列焊接技术文件的编制或审核签发，如焊接性试验、焊接工艺评定及其报告、焊接方案或焊接工艺指导书以及焊接作业指导书等。焊接责任师应经常与材料责任师及无损检测责任师保持联系，随时掌握管道工程中的材料（质量及代用情况等）与质量检验情况，以便拟定或签发（修改）适用于现场施工的焊接工艺。

焊工的操作技能不是一朝一夕便能熟练的，而应通过实际锻炼、培训甚至强化才能日臻完美，最后通过考试取得相应项目的焊接资格。焊工考试的具体要求见 1.8 节。

质检员和探伤人员是直接进行焊缝质量检验的人员，他们的每一项检验结果（数据）对评定焊接质量的优劣都有着举足轻重的意义。

1.1.3 焊接材料

焊接材料按压力管道焊接的要求，应设焊材一级库和二级库进行管理。焊材一级库一般是施工单位材料总库的焊材专用库房，库内只存放

焊材。库房内应保持通风、干燥、室温宜为 $10\sim 25^{\circ}\text{C}$ 相对湿度宜小于 50%。

只有经验收合格的焊材方能进入一级库，验收可按焊材的质量证明书进行。焊材质量书应注明生产厂家、生产日期、型号或牌号、批号、规格、化学成分和力学性能等项内容。验收时除核对焊材的型号或牌号、批号、规格及数量等项内容外，还要检查焊材的包装是否符合要求，生产日期是否超过 1 年。如包装破损，焊条容易吸潮变质；如出厂日期超过 1 年，焊条需要复验。各验收项目均合格后，方可登记入库，并妥善保管焊材的质量证明书。

焊材二级库一般设在管道施工现场或施工队，二级库房中的焊条摆放、库房条件等与一级库相同。由于施工用的焊材是直接由二级库领取的，故二级库除要建立焊材的入库及发放台账外，还必须建立焊条的烘烤、发放回收记录以及库房内的干湿度记录。为此，二级库房必须有能满足施工需要的焊条烘烤箱及恒温箱，烘烤时要严格区别碱性焊条、酸性焊条及不锈钢焊条等的不同烘烤要求，不能在同一烘烤箱内同时烘烤碳钢焊条和不锈钢焊条；也不能在同一烘烤箱中同时烘烤酸性焊条和碱性焊条。烘烤好的焊条应存入恒温箱中供电焊工领用。

1.1.4 焊接工艺

焊接工艺实际上包括两大部分，一部分是焊接工艺文件编制，另一部分是焊接工艺文件的实际贯彻执行情况，二者是相辅相成、缺一不可的。

焊接工艺文件是指导焊接作业的技术规定或措施，一般是由技术人员完成的，按照焊接工艺文件编制的程序与要求，主要有焊接性试验与焊接工艺评定、焊接工艺指导书或焊接方案、焊接作业指导书等项内容。

焊接工艺评定的过程及各项检验要求在第 4 章中将予以较详细的介绍，此处不再重复。

焊接工艺指导书和焊接工艺评定报告中列有焊接接头的坡口形式、母材钢号、焊接材料牌号与规格、焊前预热与焊后热处理要求、焊接电流、电压、速度等主要工艺参数以及各项检验要求等项内容。可以说把焊接时的主要技术措施及工艺参数都包括进去了。但是，焊接工艺指导书及焊接工艺评定报告是作为技术文件进行管理的，一般都由技术管理

人员保存管理，下面直接施焊的焊工不一定人人都能见到这些技术文件。另一方面，实际施焊时还有若干具体的技术要求必须交待，如对管道焊缝位置的具体要求（直管段上两对接焊口中心距、环焊缝距支、吊架净距等）、对管道组对错边量的要求、层间清理的具体要求以及预热与层间温度的测量方法等等。因此，在管道焊接时，往往还须编制焊接作业指导书，将所有管道焊接时的各项原则及具体的技术措施与工艺参数都交待清楚，并将焊接作业指导书发至焊工班组，由班长组织全班焊工学习掌握其各项要求之后，在实际施焊中切实贯彻执行。

1.1.5 管道焊接一般规定

管道焊接应按设计文件和现行国家标准《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB50236—1998 的有关规定进行。

1. 通用规定

(1) 设计文件应标明母材、焊接材料、焊缝系数及焊缝坡口的形式，并对焊接方法、焊前预热、焊后热处理及焊接检验提出要求。

(2) 焊接人员及其职责应符合下列规定：

1) 焊接技术人员应由中专及以上学历，有 1 年以上焊接生产实践的人员担任。

焊接技术人员应负责焊接工艺评定，编制焊接作业指导书和焊接技术措施，指导焊接作业，参与焊接质量管理，处理焊接技术问题，整理焊接技术资料。

2) 焊接质检人员应由相当于中专及以上文化水平，有一定的焊接经验和技术水平的人员担任。

焊接质检人员应对现场焊接作业进行全面检查和控制，负责确定焊缝检测部位，评定焊接质量，签发检查文件，参与焊接技术措施的审定。

3) 无损探伤人员应由国家授权的专业考核机构考核合格的人员担任，并按考核合格项目及权限，从事焊接检测和审核工作。

无损探伤人员应根据焊接质检人员确定的受检部位进行检验，评定焊缝质量，签发检验报告，对外观不符合检验要求的焊缝应拒绝检验。

4) 焊工必须按 GB 50236 规范中考试的规定进行考试，合格后方可上岗施焊。

焊工应按规定的焊接作业指导书及焊接技术措施进行施焊，当遇到

工况条件与焊接作业指导书及焊接技术措施的要求不符合时，应拒绝施焊。

5) 焊接热处理人员应经专业培训。

焊接热处理人员应按 GB 50236 规范、焊接作业指导书及设计文件中的有关规定进行焊缝热处理工作。

(3) 施工单位应具备下列条件：

1) 施工单位应建立焊接质量管理体系，并应拥有符合本规定 (2) 条要求的焊接技术人员、焊接质检人员、无损探伤人员、焊工和焊接热处理人员。

2) 施工单位的焊接工装设备、检验试验手段，应满足相应焊接工程项目的技术要求。

3) 在焊工考试和工程施焊前，施工单位应具有相应项目的焊接工艺评定。

(4) 施焊环境应符合下列规定：

1) 焊接的环境温度应能保证焊件焊接所需的足够温度和焊工技能不受影响。

2) 焊接时的风速不应超过下列规定，当超过规定时，应有防风设施。

① 焊条电弧焊、埋弧焊、氧乙炔焊： 8m/s 。

② 氩弧焊、二氧化碳气体保护焊： 2m/s 。

3) 焊接电弧 1m 范围内的相对湿度应符合下列规定：

① 铝及铝合金焊接：不得大于 80% 。

② 其他材料焊接：不得大于 90% 。

4) 当焊件表面潮湿、覆盖有冰雪，或在下雨、下雪、刮风期间，焊工及焊件无保护措施时，不应进行焊接。

(5) 对不合格焊缝的返修，返修前应进行质量分析，当同一部位的返修次数超过两次时，应制订返修措施并经焊接技术负责人审批后方可进行返修。补焊工艺应与原焊缝施焊工艺相同。

2. 材料

(1) 焊接工程所采用的材料，应符合设计文件的规定。

(2) 材料必须具有制造厂的质量证明书，其质量不得低于国家现行标准的规定。

(3) 材料使用前,应按相关国家现行标准的规定进行检查和验收。对设计选用的新材料,应由设计单位提供该材料的焊接性资料。

(4) 焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117—1995、《低合金钢焊条》GB/T 5118—1995、《低温钢焊条》JB 2385、《不锈钢焊条》GB/T 983—1995、《堆焊焊条》GB/T 984—2001、《铝及铝合金焊条》GB/T 3669—2001、《铜及铜合金焊条》GB/T 3670—1995、《镍及镍合金焊条》GB/T 13814—1992 的规定。

(5) 焊丝应符合现行国家标准《焊接用钢丝》GB 1300、《焊接用不锈钢丝》GB 4242、《铝及铝合金焊丝》GB/T 10858—1989、《铜及铜合金焊丝》GB/T 9460—1988、《钛及钛合金焊丝》GB/T 3623—1998、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 的规定。

(6) 施工现场的焊接材料贮存场所及烘干、去污设施,应符合国家现行标准《焊条质量管理规程》JB 3223 的规定,并应建立保管、烘干、清洗、发放制度。

(7) 埋弧焊所采用的焊剂应符合现行国家标准《碳素钢埋弧焊剂》GB/T 5293—1999 及《低合金钢埋弧焊用焊剂》GB/T 1270—1996 的规定。

(8) 氩弧焊所采用的氩气应符合现行国家标准《氩气》GB/T 4842—1995 的规定,且纯度不应低于 99.96%。

(9) 手工钨极氩弧焊,宜采用铈钨极或钍钨极。

(10) 二氧化碳气体保护焊采用的二氧化碳气体纯度,不应低于 99.5%,含水量不应超过 0.005%,使用前应预热和干燥。当瓶内气体压力低于 0.98MPa 时,应停止使用。

(11) 氧乙炔焊所采用的氧气纯度不应低于 98.5%,乙炔气的纯度和气瓶中的剩余压力应符合现行国家标准《溶解乙炔》GB 6819—1996 的规定。当采用电石制备乙炔气时,电石的质量可采用检查焊缝中硫、磷含量的方法确定,其硫、磷含量不应超过母材的标准值。

1.2 金属材料的焊接性

1.2.1 焊接性定义及影响因素

焊接性是材料焊接加工的适应性,指材料在一定的焊接工艺条件下

(包括焊接方法、焊接材料、焊接参数和结构形式等), 获得优质焊接接头的难易程度和该焊接接头能否在使用条件下可靠运行。

焊接性可分为工艺焊接性和使用焊接性。工艺焊接性是指能否获得优质致密、无缺陷焊接接头的能力。使用焊接性是指焊接接头或整体结构满足技术条件所规定的各种使用性能的程度, 包括常规的力学性能或特定工作条件下的性能, 如低温韧性、高温强度、疲劳性能以及抗腐蚀性、耐磨性等。

影响焊接性的四大因素是材料、设计、工艺及服役环境。材料因素有钢的化学成分、冶炼轧制状态、热处理、组织状态和力学性能等。设计因素是指焊接结构的安全性, 它不但受到材料的影响, 而且在很大程度上还受到结构形式的影响。工艺因素包括施工时所采用的焊接方法、焊接工艺规程(如焊接热输入、焊接材料、预热、后热、焊接顺序等)和焊后热处理等。服役环境因素是指焊接结构的工作温度、负荷条件(动载、静载、冲击等)和工作环境(化工区、沿海及腐蚀介质等)。

1.2.2 金属材料的焊接特点

各种金属材料焊接的难易程度见表 1-1, 常用金属材料的焊接性特点见表 1-2, 各种金属材料可能产生的焊接裂纹类型见表 1-3。

表 1-1 各种金属材料焊接难易程度一览

金属及其合金	焊接 电弧焊	埋弧焊	CO ₂ 气体 保护焊	惰性 气体 保护焊	电渣焊	电子 束焊	气焊	气压焊	电阻焊	闪光 对焊	铝热 剂焊	钎焊
纯铁	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A
碳 素 钢	低碳钢	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A
	中碳钢	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	B
	高碳钢	A	B	B	B	A	A	A	D	A	A	B
	工具钢	B	B	B	—	A	A	A	A	A	B	B
	含铜钢	A	A	B	—	A	A	A	A	A	B	B
铸 钢	碳素钢	A	A	B	A	B	A	B	B	A	A	B
	高锰钢	B	B	B	A	B	A	D	B	B	B	B
铸 铁	灰铸铁	B	D	B	B	C	A	D	D	D	B	C
	可锻铸铁	B	D	B	B	C	A	D	D	D	B	C
	合金铸铁	B	D	B	B	C	A	D	D	D	A	C

(续)

金属及其合金		焊接 电弧焊	埋弧焊	CO ₂ 气体 保护焊	惰性 气体 保护焊	电渣焊	电子 束焊	气焊	气压焊	电阻焊	闪光 对焊	铝热 剂焊	钎焊
低 合 金 钢	镍钢	A	A	A	B	B	A	B	A	A	A	B	B
	镍铜钢	A	A	A	—	B	A	B	A	A	A	B	B
	锰钼钢	A	A	A	—	B	A	B	B	A	A	B	B
	碳素钼钢	A	A	A	—	B	A	B	B	—	A	B	B
	镍铬钢	A	A	A	—	B	A	B	A	D	A	B	B
	镍铬钼钢	B	A	B	B	B	A	B	A	D	B	B	B
	镍钼钢	B	B	B	A	B	A	B	B	D	B	B	B
	铬钢	A	B	A	—	B	A	B	A	D	A	B	B
	铬钒钢	A	A	A	—	B	A	B	A	D	A	B	B
不 锈 钢	锰钢	A	A	A	B	B	A	B	B	D	A	B	B
	铬钢(马氏体)	A	A	B	A	C	A	A	B	C	B	D	C
	高铬钢(铁素体)	A	A	B	A	C	A	A	B	A	A	D	C
	铬镍钢(奥氏体)	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	D	B
耐热合金		A	A	A	A	D	A	B	B	A	A	D	C
高镍合金		A	A	A	A	D	A	A	B	A	A	D	B
轻 金 属	纯铝	B	D	D	A	D	A	B	C	A	A	D	B
	非热处理铝合金	B	D	D	A	D	A	B	C	A	A	D	B
	热处理铝合金	B	D	D	B	D	A	B	C	A	A	D	C
	纯镁	D	D	D	A	D	B	D	C	A	A	D	B
	镁合金	D	D	D	A	D	B	C	C	A	A	D	C
	纯钛	D	D	D	A	D	A	D	D	A	D	D	C
	钛合金(α 相)	D	D	D	A	D	A	D	D	A	D	D	D
	钛合金(其他相)	D	D	D	B	D	A	D	D	B	D	D	D
铜 合 金	纯铜	B	C	B	A	D	B	B	C	C	C	D	B
	黄铜	B	D	B	A	D	B	B	C	C	C	D	B
	磷青铜	B	C	C	A	D	B	B	C	C	C	D	C
	铝青铜	B	D	D	A	D	B	B	C	C	C	D	C
	镍青铜	B	D	C	A	D	B	B	C	C	C	D	B

(续)

金属及其合金	焊接 电弧焊	埋弧焊	CO ₂ 气体 保护焊	惰性 气体 保护焊	电渣焊	电子 束焊	气焊	气压焊	电阻焊	闪光 对焊	铝热 剂焊	钎焊
锆、铌	D	D	D	B	D	B	B	D	B	D	D	C

注：A—通常采用，B—有时采用，C—很少采用，D—不采用。

表 1-2 常用金属材料的焊接性特点

金属材料	可能出现的问题	
	工 艺 方 面	使 用 方 面
低碳钢	(1) 厚板的刚性拘束裂纹 (2) 硫致裂纹	(1) 板厚方向伸长率减少 (2) 厚板方向缺口韧性低
中、高碳钢	(1) 焊道下裂纹 (2) 热影响区硬化	疲劳极限降低
低合金高强度钢 (热轧及正火钢)	(1) 焊道下裂纹 (2) 热影响区硬化	(1) 焊缝区塑性低 (2) 抗拉强度低、疲劳极限低 (3) 容易引起脆性破坏 (4) 板的异向性大 (5) 引起 H ₂ S 应力腐蚀裂纹
低合金高强度钢 (调质钢)	(1) 热影响区软化 (2) 厚板焊道裂纹	(1) 焊缝区塑性低 (2) 抗拉强度低、疲劳极限低 (3) 容易引起脆性破坏 (4) 板的异向性大 (5) 引起 H ₂ S 应力腐蚀裂纹
低合金 Cr-Mo 钢	(1) 焊缝金属冷裂纹 (2) 热影响区的硬化裂纹	(1) 焊缝区塑性低 (2) 高温、高压氢脆
低合金调质强韧 钢	热影响区硬化裂纹	(1) 抗拉强度不足 (2) 调质强度低 (3) 疲劳极限低
Cr13 钢 (马氏 体系)	焊缝金属、热影响区冷裂纹	(1) 焊缝塑性低 (2) 有时引起应力腐蚀