

# 焊接施工 及安全技術



中国标准出版社



# 焊接施工及安全技术

邢小琳 编  
张晓岩

中国标准出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

焊接施工及安全技术/邢小琳, 张晓岩编. —北京: 中国标准出版社, 1996. 10

ISBN 7-5066-1293-3

I. 焊… II. ①邢… ②张… III. ①焊接工艺②焊接工艺-安全技术 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 13894 号

**中国标准出版社出版**

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码: 100045

电 话: 68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

**版权专有 不得翻印**

\*

开本 850×1168 1/32 印张 10 1/4 字数 291 千字

1996 年 11 月第一版 1996 年 11 月第一次印刷

\*

印数 1—3000 定价 23.00 元

# 前 言

焊接质量在焊接结构的质量中占有相当重要的地位,有些产品的质量与焊接接头的质量密切相关,在某种程度上讲,焊接接头质量决定着产品质量,因此焊接生产的核心问题是焊接质量的保证。

焊接质量的保证,除了依靠焊接技术人员和焊工的努力之外,还和产品有关的所有人员,即全员参加的管理活动有关。对所有焊接施工有关人员来说,除了要求对现行标准、法规、设计技术要求等有一个全面正确的理解外,还应该具有较充实的焊接设计、材料、焊接方法、焊接工艺和焊接材料知识,了解各种缺陷产生的原因、影响因素和预防措施,熟悉各种有关的试验方法和检验方法以及施工安全卫生知识等,具备了上述各种知识与技能后,无疑有助于焊接质量的提高和控制。

本书从质量保证的角度出发,按焊接施工过程的不同阶段,围绕施工过程中可能出现的问题,系统地介绍了有关焊接和质量检验的基本知识以及正确的焊接施工方法和保证质量的措施。本书还介绍了有关焊接安全技术的基本知识。

本书第一章、第二章和第三章由邢小琳编写,第四章由张晓岩编写,有不妥之处,欢迎批评指正。

本书编写过程中,得到尹士科教授级高级工程师的大力帮助,在此特表示感谢。

编 者

1996年3月

# 目 录

## 前 言

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第一章 焊前准备        | 1  |
| 第一节 常用钢材及焊接材料   | 1  |
| 一、常用焊接结构钢材及特性   | 1  |
| 二、焊接结构选材基本原则    | 18 |
| 三、钢材和焊接材料的验收    | 23 |
| 第二节 焊接接头及坡口形式   | 57 |
| 一、焊接接头的基本类型     | 58 |
| 二、焊接接头的坡口形状和尺寸  | 59 |
| 三、焊接接头的选择原则     | 63 |
| 四、焊接接头在图纸上的表示方法 | 64 |
| 第三节 焊接工艺评定      | 73 |
| 一、焊接工艺评定的目的意义   | 73 |
| 二、焊接工艺评定的程序     | 74 |
| 三、焊接工艺评定规则      | 80 |
| 四、力学性能试验        | 83 |
| 第四节 焊接工装夹具      | 86 |
| 一、分类及组成         | 86 |
| 二、特点及结构性能要求     | 87 |
| 三、焊件的定位及定位器     | 88 |
| 四、夹紧机构          | 89 |
| 五、夹具体           | 96 |
| 六、专用夹具          | 96 |
| 第五节 焊前检查        | 97 |
| 一、金属材料(母材)的检查   | 97 |
| 二、焊接材料的检查       | 97 |
| 三、焊接件备料的检查      | 98 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 四、焊接件装配检查 .....        | 99  |
| 五、焊接试板的检查 .....        | 100 |
| 六、焊接预热的检查 .....        | 102 |
| 七、焊工资格的检查 .....        | 103 |
| 八、焊接环境的检查 .....        | 104 |
| 九、焊接试验的检查 .....        | 104 |
| 第二章 焊接过程的质量控制 .....    | 105 |
| 第一节 焊接工艺参数 .....       | 105 |
| 一、手工电弧焊工艺参数的选择 .....   | 105 |
| 二、埋弧自动焊工艺参数选择 .....    | 109 |
| 三、气体保护焊工艺参数选择 .....    | 112 |
| 第二节 预热、后热和焊后热处理 .....  | 117 |
| 一、低碳钢的焊接 .....         | 118 |
| 二、中碳钢的焊接 .....         | 120 |
| 三、高碳钢的焊接 .....         | 121 |
| 四、热轧及正火钢的焊接 .....      | 121 |
| 五、低碳调质钢的焊接 .....       | 124 |
| 六、中碳调质钢的焊接 .....       | 126 |
| 七、低温用钢的焊接 .....        | 126 |
| 八、耐热钢的焊接 .....         | 127 |
| 九、不锈钢的焊接 .....         | 135 |
| 第三节 焊接变形与应力 .....      | 137 |
| 一、焊接时金属变形和应力的分类 .....  | 138 |
| 二、焊接残余变形和控制变形的措施 ..... | 138 |
| 三、焊接残余应力和调节应力的措施 ..... | 142 |
| 第四节 焊接缺陷及预防措施 .....    | 147 |
| 一、焊接缺陷及其分类 .....       | 147 |
| 二、焊接缺陷产生的原因及其危害 .....  | 148 |
| 三、焊接缺陷的预防 .....        | 159 |
| 第三章 焊接质量检验与管理 .....    | 172 |
| 第一节 焊接质量保证一般原则 .....   | 172 |
| 一、焊接质量保证一般要求 .....     | 172 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 二、焊接检验的依据 .....        | 175 |
| 三、焊接检验的分类 .....        | 176 |
| 第二节 焊接过程检验 .....       | 178 |
| 一、复核焊接材料 .....         | 179 |
| 二、复核焊接工艺 .....         | 180 |
| 三、检查焊道质量 .....         | 181 |
| 四、检查后热 .....           | 181 |
| 五、检查焊后热处理 .....        | 181 |
| 第三节 焊后检验 .....         | 185 |
| 一、外观检验 .....           | 186 |
| 二、焊缝无损探伤的检验 .....      | 191 |
| 三、焊接接头组织与性能检验 .....    | 221 |
| 四、焊缝致密性的检验 .....       | 223 |
| 五、焊缝强度的检验 .....        | 224 |
| 第四节 焊接检验档案 .....       | 228 |
| 一、检验记录 .....           | 228 |
| 二、检验证书 .....           | 230 |
| 三、检验档案 .....           | 231 |
| 第四章 焊接安全技术 .....       | 233 |
| 第一节 气焊与气割安全技术 .....    | 233 |
| 一、常用易燃易爆气体的性质 .....    | 234 |
| 二、电石的安全使用 .....        | 238 |
| 三、乙炔发生器安全技术措施 .....    | 241 |
| 四、常用气瓶的安全使用 .....      | 251 |
| 五、气焊与气割工具安全要求 .....    | 261 |
| 第二节 电焊安全防护技术 .....     | 269 |
| 一、电焊施工的工伤事故 .....      | 269 |
| 二、焊接电源的安全措施 .....      | 273 |
| 三、电焊工具和操作安全技术 .....    | 283 |
| 四、燃料容器焊补安全技术 .....     | 286 |
| 五、触电急救 .....           | 294 |
| 第三节 焊割作业的劳动卫生与防护 ..... | 296 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 一、电弧辐射的损伤与防护 .....    | 296 |
| 二、粉尘和有毒气体的危害与防护 ..... | 299 |
| 三、高温热辐射的防护 .....      | 302 |
| 四、化工企业焊接防毒 .....      | 303 |
| 第四节 焊接安全组织措施.....     | 304 |
| 一、焊接安全检查要点 .....      | 304 |
| 二、卫生保健措施 .....        | 314 |
| 三、安全教育和考试 .....       | 315 |
| 四、安全操作规程 .....        | 316 |
| 参考文献.....             | 317 |

# 第一章 焊 前 准 备

焊接产品的好坏,在很大程度上取决于焊接的准备工作。该项工作包括材料(母材、焊接材料)准备、焊接工艺制定、工装夹具、定位焊、坡口加工、清理、焊前检查和焊工技术水平等等。这些工作如果准备得充分,焊接产品的质量就基本有了保证。

## 第一节 常用钢材及焊接材料

在实际焊接生产中,经常要遇到各类钢种的焊接问题。由于不同钢种的化学成分、机械性能、使用场合及环境的不同,相应的焊接性特点也不同。为保证优良的焊接质量,焊工必须对常用钢材的基本特性有所了解,以便合理地选择相应的焊接材料及工艺。

### 一、常用焊接结构钢材及特性

#### (一)碳素结构钢的种类及特性

碳素结构钢是铁和碳的合金,含碳量通常不超过1%,含锰量不超过1.65%,含铜量和硅量不超过0.6%。这类钢的焊接性主要取决于含碳量,其他元素只起有限作用。

按含碳量的不同分为三类:

低碳钢:含碳量小于0.25%。

中碳钢:含碳量0.25~0.60%。

高碳钢:含碳量大于0.60%。

按炼钢时的脱氧程度分为三类:

沸腾钢:不完全脱氧,含氧量高,硫、磷杂质分布不均。

镇静钢:含氧量低,杂质分布均匀。

半镇静钢:介于沸腾钢与镇静钢之间。

按冶金质量不同分为两类:

普通碳素钢:含 S、P $\leq$ 0.050%。

优质碳素钢:含 S、P $\leq$ 0.035%。

有关普通碳素钢和优质碳素钢的化学成分和机械性能等可查阅国家标准 GB 700—88 和 GB 699—88。表 1-1 和表 1-2 只列举了部分碳素结构钢的化学成分和机械性能。

表 1-1 常用碳素结构钢的牌号和化学成分

%

| 钢 号  | C         | Si          | Mn        | P     | S     | Cr   | Ni   |
|------|-----------|-------------|-----------|-------|-------|------|------|
|      |           |             |           | 不 大 于 |       |      |      |
| 08F  | 0.05~0.11 | $\leq$ 0.03 | 0.25~0.50 | 0.035 | 0.035 | 0.10 | 0.25 |
| 08   | 0.05~0.12 | 0.17~0.37   | 0.35~0.65 | 0.035 | 0.035 | 0.10 | 0.25 |
| 10F  | 0.07~0.14 | $\leq$ 0.07 | 0.25~0.50 | 0.035 | 0.035 | 0.15 | 0.25 |
| 10   | 0.07~0.14 | 0.17~0.37   | 0.35~0.65 | 0.035 | 0.035 | 0.15 | 0.25 |
| 15F  | 0.12~0.19 | $\leq$ 0.07 | 0.25~0.50 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 15   | 0.12~0.19 | 0.17~0.37   | 0.35~0.65 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 20   | 0.17~0.24 | 0.17~0.37   | 0.35~0.65 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 25   | 0.22~0.30 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 30   | 0.27~0.35 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 35   | 0.32~0.40 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 40   | 0.37~0.45 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 45   | 0.42~0.50 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 50   | 0.47~0.55 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 55   | 0.52~0.60 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 60   | 0.57~0.65 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 65   | 0.62~0.70 | 0.17~0.37   | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 15Mn | 0.12~0.19 | 0.17~0.37   | 0.70~1.00 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 20Mn | 0.17~0.24 | 0.17~0.37   | 0.70~1.00 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| 25Mn | 0.22~0.30 | 0.17~0.37   | 0.70~1.00 | 0.035 | 0.035 | 0.25 | 0.25 |
| Q195 | 0.06~0.12 | $\leq$ 0.3  | 0.25~0.50 | 0.045 | 0.050 |      |      |

续表 1-1

| 钢 号    | C         | Si          | Mn         | P         | S     | Cr    | Ni |
|--------|-----------|-------------|------------|-----------|-------|-------|----|
|        |           |             |            | 不 大 于     |       |       |    |
| Q215-A | 0.09~0.15 | $\leq 0.3$  | 0.25~0.55  | 0.045     | 0.050 |       |    |
| Q215-B |           |             |            |           | 0.045 |       |    |
| Q235   | A         | 0.14~0.22   | $\leq 0.3$ | 0.30~0.65 | 0.045 | 0.050 |    |
|        | B         | 0.12~0.20   |            | 0.30~0.70 | 0.045 | 0.045 |    |
|        | C         | $\leq 0.18$ |            | 0.35~0.80 | 0.040 | 0.040 |    |
|        | D         | $\leq 0.17$ |            | 0.35~0.80 | 0.035 | 0.035 |    |
| Q255   | A         | 0.18~0.28   | $\leq 0.3$ | 0.40~0.70 | 0.045 | 0.050 |    |
|        | B         |             |            |           |       | 0.045 |    |
| Q275   | 0.28~0.38 | $\leq 0.35$ | 0.50~0.80  | 0.045     | 0.050 |       |    |

注：① 优质碳素结构钢牌号有 70、75、80、85、30Mn、35Mn、40Mn、45Mn、50Mn、60Mn、65Mn 和 70Mn 未列入。

② 优质碳素钢化学成分中 Cu 含量均不大于 0.25%。

表 1-2 常用优质碳素结构钢的机械性能

| 钢 号   | 屈服点        | 抗拉强度       | 伸长率        | 断面收缩率  | 冲击值               |
|-------|------------|------------|------------|--------|-------------------|
|       | $\sigma_s$ | $\sigma_b$ | $\delta_5$ | $\psi$ | $a_k$             |
|       | MPa        | MPa        | %          | %      | J/cm <sup>2</sup> |
| 不 小 于 |            |            |            |        |                   |
| 08F   | 175        | 295        | 35         | 60     | —                 |
| 08    | 195        | 325        | 33         | 60     | —                 |
| 10F   | 185        | 315        | 33         | 55     | —                 |
| 10    | 205        | 335        | 31         | 55     | —                 |
| 15F   | 205        | 355        | 29         | 55     | —                 |
| 15    | 225        | 375        | 27         | 55     | —                 |
| 20    | 245        | 440        | 25         | 55     | —                 |
| 25    | 275        | 450        | 23         | 50     | 71                |
| 30    | 295        | 490        | 21         | 50     | 63                |
| 35    | 315        | 530        | 20         | 45     | 55                |

续表 1-2

| 钢 号  | 屈服点        | 抗拉强度       | 伸长率        | 断面收缩率  | 冲击值               |
|------|------------|------------|------------|--------|-------------------|
|      | $\sigma_s$ | $\sigma_b$ | $\delta_5$ | $\psi$ | $a_k$             |
|      | MPa        | MPa        | %          | %      | J/cm <sup>2</sup> |
|      | 不 小 于      |            |            |        |                   |
| 40   | 335        | 570        | 19         | 45     | 47                |
| 45   | 355        | 600        | 16         | 40     | 39                |
| 50   | 375        | 630        | 14         | 40     | 31                |
| 55   | 380        | 645        | 13         | 35     | —                 |
| 60   | 400        | 675        | 12         | 35     | —                 |
| 65   | 410        | 695        | 10         | 30     | —                 |
| 15Mn | 245        | 410        | 26         | 55     | —                 |
| 20Mn | 275        | 450        | 24         | 50     | —                 |
| 25Mn | 295        | 490        | 22         | 50     | 71                |

碳钢的焊接性与钢中含碳量的多少有极大的关系。含碳量越高，钢的焊接性越差，低碳钢的含碳量低，因而焊接性好，几乎适用于各种焊接方法进行焊接，一般不需采用特殊工艺措施即可得到优质的焊接接头。中碳钢由于含碳量较高，淬硬倾向增大，焊接性较差，焊接的主要问题有冷裂纹、热裂纹和气孔。高碳钢的含碳量高，淬硬性强，裂纹敏感性大，焊接性差。有关碳钢的焊接工艺，见本书第二章。

## (二) 高强度钢的种类及特性

高强度钢是在碳钢的基础上，添加一定量的合金元素后形成的屈服强度在 294MPa (30kgf/mm<sup>2</sup>) 以上，抗拉强度在 441MPa (45kgf/mm<sup>2</sup>) 以上的钢。按热处理工艺和化学成分的不同，可分为下面三类。

### 1. 热轧钢与正火钢

在低碳钢中加入少量固溶强化元素 Si、Mn 后，便形成热轧钢，其基本成分为：C≤0.20%、Si≤0.55%、Mn≤1.5%。在热轧状态使用时，屈服强度为 294~392MPa (30~40kgf/mm<sup>2</sup>)。如再添加一些 V、Nb、Ti 等沉淀强化元素，且使用正火处理，便能得到屈服强度为 392~490MPa (40~50kgf/mm<sup>2</sup>) 的正火钢。表 1-3 和表 1-4 中给出几

种常用热轧钢及正火钢的化学成分和机械性能。

表 1-3 几种热轧钢和正火钢的化学成分

%

| 钢 号      | C             | Mn            | Si            | V             | Mo            | Nb              | Ti            | N               |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 09MnV    | ≤0.12         | 0.8<br>~1.2   | 0.2<br>~0.6   | 0.04<br>~0.12 |               |                 |               |                 |
| 09MnNb   | ≤0.12         | 0.8<br>~1.2   | 0.2<br>~0.6   |               |               | 0.015<br>~0.050 |               |                 |
| 14MnNb   | 0.12<br>~0.18 | 0.8<br>~1.2   | 0.2<br>~0.6   |               |               | 0.015<br>~0.050 |               |                 |
| 16Mn     | 0.12<br>~0.20 | 1.2<br>~1.6   | 0.2<br>~0.6   |               |               |                 |               |                 |
| 15MnV    | 0.12<br>~0.18 | 1.0<br>~1.6   | 0.2<br>~0.6   | 0.04<br>~0.12 |               |                 |               |                 |
| 15MnTi   | 0.12<br>~0.18 | 1.2<br>~1.6   | 0.2<br>~0.6   |               |               |                 | 0.12<br>~0.20 |                 |
| 15MnVN   | 0.12<br>~0.20 | 1.2<br>~1.7   | 0.2<br>~0.5   | 0.16<br>~0.25 |               |                 |               | 0.014<br>~0.022 |
| 14MnMoV  | 0.10<br>~0.18 | 1.2<br>~1.6   | 0.2<br>~0.5   | 0.05<br>~0.15 | 0.4<br>~0.65  |                 |               |                 |
| 18MnMoNb | 0.17<br>~0.23 | 1.35<br>~1.65 | 0.17<br>~0.37 |               | 0.45<br>~0.65 | 0.025<br>~0.05  |               |                 |

表 1-4 几种热轧钢和正火钢的机械性能

| 钢 号      | 热处理状态 | 机 械 性 能           |                   |                 |                            |
|----------|-------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|
|          |       | $\sigma_s$<br>MPa | $\sigma_b$<br>MPa | $\delta_5$<br>% | $a_k$<br>J/cm <sup>2</sup> |
| 09MnV    | 热轧    | ≥294              | ≥431              | ≥22             | ≥59                        |
| 09MnNb   | 热轧    | ≥294              | ≥412              | ≥22             | ≥59                        |
| 14MnNb   | 热轧    | ≥343              | ≥490              | ≥20             | ≥59                        |
| 16Mn     | 热轧    | ≥343              | ≥490              | ≥21             | ≥59                        |
| 15MnV    | 热轧    | ≥392              | ≥529              | ≥18             | ≥59                        |
| 15MnTi   | 正火    | ≥392              | ≥529              | ≥19             | ≥69                        |
| 15MnVN   | 正火    | ≥441              | ≥588              | ≥17             | ≥69                        |
| 14MnMoV  | 正火十回火 | ≥490              | ≥637              | ≥16             | ≥69                        |
| 18MnMoNb | 正火十回火 | ≥490              | ≥637              | ≥16             | ≥69                        |

表 1-5 几种低碳调质钢的化学成分

%

| 钢 号           | C             | Mn            | Si            | S      | P      | Ni            | Cr            | Mo            | V             | 其 他                                 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------------|
| HQ60          | ≤0.16         | 0.90<br>~1.50 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.60         | ≤0.30         | ≤0.30         | ≤0.10         |                                     |
| HQ70          | ≤0.16         | 0.60<br>~1.20 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.030 | ≤0.030 | 0.30<br>~1.00 | ≤0.60         | ≤0.40         | ≤0.10         | B≤0.006                             |
| 14MnMoVN      | 0.14          | 1.41          | 0.30          | 0.025  | 0.012  |               |               | 0.47          | 0.13          | N=0.0155                            |
| 12MnNiCrMoVCu | 0.12<br>~0.21 | 0.60<br>~1.00 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.035 | ≤0.04  | 0.70<br>~1.00 | 0.40<br>~0.65 | 0.40<br>~0.60 | 0.03<br>~0.08 | Cu=0.15~0.50<br>B≤0.006             |
| 12Ni3CrMoV    | ≤0.18         | 0.10<br>~0.40 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.025 | ≤0.025 | 2.00<br>~3.25 | 1.00<br>~1.80 | 0.20<br>~0.60 | ≤0.03         | Cu≤0.25<br>Ti≤0.02                  |
| HQ80          | ≤0.16         | 0.60<br>~1.20 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.030 | ≤0.030 | 0.40<br>~1.50 | 0.40<br>~0.80 | 0.30<br>~0.60 | ≤0.10         | Cu=0.15~0.50<br>B≤0.006             |
| HQ80C         | ≤0.16         | 0.60<br>~1.20 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.030 | ≤0.030 |               | 0.60<br>~1.20 | 0.30<br>~0.60 | ≤0.10         | Cu=0.15~0.50<br>B≤0.006             |
| 14MnMoNbB     | 0.12<br>~0.18 | 1.30<br>~1.80 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.030 | ≤0.030 |               |               | 0.45<br>~0.70 |               | Nb=0.02~0.06<br>B=0.0005~<br>0.0030 |
| 10Ni5CrMoV    | ≤0.12         | 0.60<br>~0.90 | 0.20<br>~0.35 | ≤0.01  | ≤0.01  | 4.75<br>~5.25 | 0.40<br>~0.70 | 0.30<br>~0.65 |               |                                     |
| HQ100         | ≤0.18         | 0.60<br>~1.20 | 0.15<br>~0.35 | ≤0.030 | ≤0.030 | 0.70<br>~1.50 | 0.40<br>~0.80 | 0.30<br>~0.60 |               | Cu=0.15~0.50                        |

## 2. 低碳调质钢

这类钢的含碳量一般低于 0.20%，同时加入了 Mn、Cr、Ni、Mo、V、B 等多种合金元素。通过调质处理后，其屈服强度可达到 490~980MPa (50~100kgf/mm<sup>2</sup>)，塑韧性也较好。在受压容器中使用较为普遍。表 1-5 和表 1-6 为几种低碳调质钢的化学成分和机械性能。

表 1-6 几种低碳调质钢的机械性能

| 钢 号           | 板 厚<br>mm             | $\sigma_s$<br>MPa  | $\sigma_b$<br>MPa | $\delta$<br>%     | $A_{KV}$<br>J                                                                             |
|---------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| HQ50          | ≤16<br>17~20<br>21~50 | ≥451               | 588~706           | ≥20<br>≥28<br>≥20 | -5℃, ≥47<br>( $\delta=12\sim32\text{mm}$ )<br>-10℃, ≥47<br>( $\delta=33\sim50\text{mm}$ ) |
| HQ70          | ≤16<br>17~20<br>21~75 | ≥617<br>(6~50mm)   | 686~833           | ≥17<br>≥25        | -15℃, ≥39<br>( $\delta=13\sim32\text{mm}$ )                                               |
|               |                       | ≥598<br>(51~75mm)  | 666~813           | ≥17               | -20℃, ≥39<br>( $\delta=32\sim75\text{mm}$ )                                               |
| 14MnMoVN      | 36                    | 598                | 701               | 20                | 20℃, 77( $A_{KV}$ )(横向)<br>-40℃, 56( $A_{KV}$ )(横向)                                       |
| 12MnNiCrMoVCu | 5~64                  | ≥686               | 784~931           | ≥18               | -45℃, ≥27<br>-18℃, ≥41                                                                    |
|               | 65~102                | ≥617               | 725~931           | ≥17               |                                                                                           |
|               | 103~152               | ≥617               | 725~931           | ≥16               |                                                                                           |
| 12Ni3CrMoV    | <15                   | 540~686            |                   | ≥19               | -20℃, ≥64                                                                                 |
|               | 16~51                 | 540~656            |                   | ≥20               |                                                                                           |
|               | >51                   | 540~656            |                   | ≥20               |                                                                                           |
| HQ80          | ≤15                   | ≥686<br>(6~50mm)   | 784~931           | ≥16               | -15℃, ≥35<br>( $\delta=13\sim32\text{mm}$ )                                               |
|               | 17~20<br>21~100       | ≥666<br>(51~100mm) | 764~911           | ≥24<br>≥16        | -20℃, ≥35<br>( $\delta=33\sim100\text{mm}$ )                                              |
| HQ80C         | ≤15                   | ≥686               | 784~931           | ≥16               | -15℃, ≥35<br>( $\delta=13\sim32\text{mm}$ )                                               |
|               | 16~20                 |                    |                   | ≥24               | -20℃, ≥35                                                                                 |
|               | 21~50                 |                    |                   | ≥16               | ( $\delta=33\sim50\text{mm}$ )                                                            |
| 14MnMoNbB     | ≤50                   | ≥686               | ≥755              | ≥14               | -40℃, ≥39<br>( $A_{KV}$ , 横向)                                                             |
| 10Ni5CrMoV    | <15                   | 882~1029           |                   | ≥14               | -20℃, ≥64                                                                                 |
|               | 16~102                | 882~1029           |                   | ≥15               |                                                                                           |
| HQ100         | ≤15                   | ≥882               | 951~1127          | ≥13               | -25℃, ≥27                                                                                 |
|               | 17~20                 |                    |                   | ≥19               |                                                                                           |
|               | 21~32                 |                    |                   | ≥13               |                                                                                           |

表 1-7 几种中碳调质钢的化学成分

| 钢 号          | C         | Mn      | Si        | Cr       | Ni        | Mo        | V         | S      | P      |
|--------------|-----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 30CrMnSiA    | 0.28~0.35 | 0.8~1.1 | 0.9~1.2   | 0.8~1.1  | ≤0.30     | —         | —         | ≤0.030 | ≤0.035 |
| 30CrMnSiNi2A | 0.27~0.34 | 1.0~1.3 | 0.9~1.2   | 0.9~1.2  | 1.4~1.8   | —         | —         | ≤0.025 | ≤0.025 |
| 40CrMnSiMoVA | 0.37~0.42 | 0.8~1.2 | 1.2~1.6   | 1.2~1.5  | ≤0.25     | 0.45~0.60 | 0.07~0.12 | ≤0.025 | ≤0.025 |
| 35CrMoA      | 0.30~0.40 | 0.4~0.7 | 0.17~0.35 | 0.9~1.3  | —         | 0.2~0.3   | —         | ≤0.030 | ≤0.035 |
| 35CrMoVA     | 0.30~0.38 | 0.4~0.7 | 0.2~0.4   | 1.0~1.3  | —         | 0.2~0.3   | 0.1~0.2   | ≤0.030 | ≤0.035 |
| 34CrNi3MoA   | 0.3~0.4   | 0.5~0.8 | 0.27~0.37 | 0.7~1.1  | 2.75~3.25 | 0.25~0.4  | —         | ≤0.030 | ≤0.035 |
| 40CrNiMoA    | 0.36~0.44 | 0.5~0.8 | 0.17~0.37 | 0.6~0.9  | 1.25~1.75 | 0.15~0.25 | —         | ≤0.030 | ≤0.030 |
| 4340         | 0.38~0.40 | 0.6~0.8 | 0.2~0.35  | 0.7~0.9  | 1.62~2.00 | 0.2~0.3   | —         | ≤0.025 | ≤0.025 |
| H-11         | 0.3~0.4   | 0.2~0.4 | 0.8~1.2   | 4.75~5.5 | —         | 1.25~1.75 | 0.3~0.5   | ≤0.010 | ≤0.010 |

表 1-8 几种中碳调质钢的机械性能

| 钢 号          | 热处理规范                               | $\sigma_s$<br>MPa | $\sigma_b$<br>MPa | $\delta$<br>% | $\psi$<br>% | $a_{KV}$<br>J/cm <sup>2</sup> | HB            |
|--------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|-------------|-------------------------------|---------------|
| 30CrMnSiA    | 870~890℃油淬<br>510~550℃回火            | ≥833              | ≥1078             | ≥10           | ≥40         | ≥49                           | 346~363       |
|              | 870~890℃油淬<br>200~260℃回火            | —                 | ≥1568             | ≥5            | —           | ≥25                           | ≥444          |
| 30CrMnSiNi2A | 890~910℃油淬<br>200~300℃回火            | ≥1372             | ≥1568             | ≥9            | ≥45         | ≥59                           | ≥444          |
| 40CrMnSiMoVA | 890~970℃油淬<br>250~270℃回火, 4h 空冷     | —                 | ≥1862             | ≥8            | ≥35         | ≥49                           | $R_c \geq 52$ |
| 35CrMoA      | 860~880℃油淬<br>560~580℃回火            | ≥490              | ≥657              | ≥15           | ≥35         | ≥49                           | 197~241       |
| 35CrMoVA     | 880~900℃油淬<br>640~660℃回火            | ≥686              | ≥814              | ≥13           | ≥35         | ≥39                           | 255~302       |
| 34CrNi3MoA   | 850~870℃油淬<br>580~650℃回火            | ≥833              | ≥931              | ≥12           | ≥35         | ≥39                           | 285~341       |
| 40CrNiMoA    | 840~860℃油淬<br>550~650℃水或空冷          | 833               | 980               | 12            | 50          | 79                            | —             |
| 4340         | 约 870℃油淬<br>约 425℃回火                | ~1305             | ~1480             | ~14           | ~50         | 25                            | —             |
| H-11         | 980~1040℃空淬<br>约 540℃回火<br>约 480℃回火 | ~1725<br>~2070    | —                 | —             | —           | —                             | —             |