



建筑

# 钢结构焊接工艺师

上海市金属结构行业协会 编

中国建筑工业出版社

# 建筑钢结构焊接工艺师

上海市金属结构行业协会 编

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

建筑钢结构焊接工艺师/上海市金属结构行业协会编.

—北京: 中国建筑工业出版社, 2006

ISBN 7-112-08486-5

I. 建... II. 上... III. 建筑结构: 钢结构-焊接工艺 IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 088298 号

**建筑钢结构焊接工艺师**  
**上海市金属结构行业协会 编**

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 12 插页: 1 字数: 286 千字

2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月第一次印刷

印数: 1 ~ 3,000 册 定价: 21.00 元

ISBN 7-112-08486-5

(15150)

**版权所有 翻印必究**

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书针对钢结构焊接工艺师必须掌握的知识和技术作了全面系统的讲解，包括常用钢材、常用焊接材料、常用焊接方法、焊接工艺评定、焊接通用工艺、焊接质量、焊缝的返修、焊接变形、焊接裂纹、焊接工艺实例及焊工资格考试等内容。读者可通过本书熟悉钢结构金属材料的性质、特点及应用，解决实际工程中的疑难问题，掌握并制定钢结构的工艺流程、工艺要领、质量标准、施工进度及应变调整措施，懂得施工技术规范、安全生产规范、机械设备及定额预算等相关内容。本书可以作为钢结构施工的工具书，也可以作为钢结构工艺师的培训教材。

\* \* \*

主 编：朱光照

责任编辑：徐 纺 邓 卫

责任设计：董建平

责任校对：张树梅 王雪竹

## 前 言

自改革开放以来,上海钢结构建设发展很快,目前全上海有 900 多家钢结构企业。一些大型企业引进和自主开发了许多钢结构新设备、新工艺、新技术、新材料,取得了良好的效果。上海市金属结构行业协会根据会员单位的建议和要求——在施工工艺上迫切需要加快钢结构行业专业技术人员的知识更新和提高企业队伍的整体素质,以确保工程质量,针对钢结构施工的四大主体专业技术(焊接、制作、安装和涂装),聘请有关专家编写了这套钢结构工艺师丛书,包括《建筑钢结构焊接工艺师》、《建筑钢结构制作工艺师》、《建筑钢结构安装工艺师》、《建筑钢结构涂装工艺师》。参与编写的专家一致认为,在钢结构建设工程项目中,焊接工艺师、制作工艺师、安装工艺师、涂装工艺师是施工阶段的关键岗位。丛书能使读者熟悉钢结构金属材料的性质、特点及应用,解决实际工程中的疑难问题,掌握并制定钢结构的工艺流程、工艺要领、质量标准、施工进度及应变调整措施,懂得施工技术规范、安全生产规范、机械设备及定额预算等相关内容。丛书可以作为钢结构施工的工具书,也可以作为钢结构工艺师的培训教材。

《建筑钢结构焊接工艺师》由朱光照先生编写,协会曾先后三次组织专家对初稿评审,并多次进行修改和补充。因钢结构行业还会不断出现新工艺、新标准,本书疏漏之处难免,殷切希望业内专家及广大读者指正。

上海市金属结构行业协会的会员目前已经拓展到江苏、浙江、安徽、山东、新疆、北京、甘肃、四川、山西、辽宁、河南、福建等 13 个省市。我们深信,本套丛书会对提高钢结构施工工艺水平起到良好的促进作用。

上海市金属结构行业协会  
2006 年 6 月 20 日

# 目 录

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| § 1 概述 .....                          | 1   |
| § 1.1 建筑钢结构工程的过去、现在和未来 .....          | 1   |
| § 1.2 建筑钢结构工程焊接工艺的特点 .....            | 4   |
| § 1.3 建筑钢结构焊接工艺师的职业道德 .....           | 5   |
| § 2 建筑钢结构工程用的主要材料 .....               | 7   |
| § 2.1 分类 .....                        | 7   |
| § 2.2 化学成分和力学性能 .....                 | 7   |
| § 2.3 标准 .....                        | 12  |
| § 2.4 缺陷 .....                        | 14  |
| § 2.5 品种 .....                        | 14  |
| § 2.6 质量控制手段 .....                    | 48  |
| § 3 常用的焊接材料和辅助材料 .....                | 52  |
| § 3.1 药皮焊条 .....                      | 52  |
| § 3.2 焊丝 .....                        | 55  |
| § 3.3 焊剂 .....                        | 57  |
| § 3.4 CO <sub>2</sub> 气体 (表 71) ..... | 59  |
| § 3.5 熔化嘴 .....                       | 60  |
| § 3.6 非熔化嘴 .....                      | 61  |
| § 3.7 助焊剂 .....                       | 61  |
| § 3.8 栓钉 .....                        | 61  |
| § 3.9 瓷环 (图 11 和表 81) .....           | 62  |
| § 3.10 药芯焊丝 .....                     | 63  |
| § 3.11 焊接材料的质量控制 .....                | 67  |
| § 4 常用的焊接方法 .....                     | 69  |
| § 4.1 同焊接方法有关的符号 .....                | 69  |
| § 4.2 药皮焊条手工电弧焊 .....                 | 83  |
| § 4.3 埋弧焊 .....                       | 84  |
| § 4.4 CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....     | 88  |
| § 4.5 电渣焊 .....                       | 93  |
| § 4.6 栓钉焊 .....                       | 98  |
| § 5 焊工资格考试 .....                      | 99  |
| § 5.1 一般的焊工资格考试 .....                 | 99  |
| § 5.2 手工操作技能附加考试 .....                | 103 |
| § 5.3 定位焊考试 .....                     | 109 |

|             |                                       |            |
|-------------|---------------------------------------|------------|
| § 5.4       | 电渣焊考试 .....                           | 111        |
| § 5.5       | 栓钉焊考试 .....                           | 111        |
| § 5.6       | 埋弧焊 SAW 和实芯焊丝气体保护焊 GMAW 的一般考试 .....   | 112        |
| § 5.7       | 发证 .....                              | 114        |
| <b>§ 6</b>  | <b>焊接工艺评定 PQR .....</b>               | <b>116</b> |
| § 6.1       | PQR 的含义 .....                         | 116        |
| § 6.2       | 必须做 PQR 的范围 .....                     | 116        |
| § 6.3       | PQR 的可替代与不可替代 .....                   | 116        |
| § 6.4       | PQR 的操作 .....                         | 119        |
| § 6.5       | 焊接工艺评定报告的撰写 .....                     | 128        |
| § 6.6       | 焊接工艺文件的编制 .....                       | 136        |
| <b>§ 7</b>  | <b>焊接通用工艺 .....</b>                   | <b>138</b> |
| § 7.1       | 焊接材料同母材的匹配 .....                      | 138        |
| § 7.2       | 坡口及其周边的清洁 .....                       | 138        |
| § 7.3       | 焊接材料的烘焙 .....                         | 138        |
| § 7.4       | 焊机的保养和鉴定 .....                        | 139        |
| § 7.5       | 工件的组装 (表 162) .....                   | 139        |
| § 7.6       | 定位焊和预热后的定位焊 .....                     | 142        |
| § 7.7       | 引弧板和引出板 .....                         | 143        |
| § 7.8       | 焊接环境 .....                            | 144        |
| § 7.9       | 预热 (表 164) .....                      | 144        |
| § 7.10      | 层间 (道间) 温度控制 .....                    | 145        |
| § 7.11      | 背面清根、打磨及 MT 判断 .....                  | 145        |
| § 7.12      | 后热 (去氢) .....                         | 145        |
| § 7.13      | 焊后热处理 .....                           | 145        |
| § 7.14      | 加热方法 .....                            | 146        |
| § 7.15      | $t_{8/5}$ 理论 .....                    | 146        |
| <b>§ 8</b>  | <b>焊接质量 .....</b>                     | <b>149</b> |
| § 8.1       | 焊接质量的重要性 .....                        | 149        |
| § 8.2       | 焊缝的外观检查 VT (表 166、表 167 和表 168) ..... | 149        |
| § 8.3       | 焊缝的超声波检测 UT .....                     | 151        |
| § 8.4       | 焊缝的射线检测 RT .....                      | 151        |
| § 8.5       | 焊缝的磁粉检测 MT .....                      | 152        |
| § 8.6       | 焊缝的渗透检测 PT .....                      | 152        |
| § 8.7       | 对无损检测的时间的规定 .....                     | 152        |
| <b>§ 9</b>  | <b>焊缝的返修 .....</b>                    | <b>153</b> |
| § 9.1       | 焊缝外观缺陷的返修 .....                       | 153        |
| § 9.2       | 焊缝内部缺陷的返修 .....                       | 153        |
| § 9.3       | 焊缝返修的允许次数 .....                       | 154        |
| <b>§ 10</b> | <b>焊接变形 .....</b>                     | <b>155</b> |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| § 10.1 焊接变形的防止 .....         | 155        |
| § 10.2 焊接变形的矫正 .....         | 158        |
| <b>§ 11 焊接裂纹 .....</b>       | <b>161</b> |
| § 11.1 焊接裂纹的致命性 .....        | 161        |
| § 11.2 焊接裂纹的分类 .....         | 161        |
| § 11.3 防止热裂纹的几项有效的工艺措施 ..... | 161        |
| § 11.4 防止冷裂纹的几项有效的工艺措施 ..... | 162        |
| <b>§ 12 焊接工程实例 .....</b>     | <b>164</b> |
| <b>补充资料 .....</b>            | <b>174</b> |
| <b>建筑钢结构焊接工艺师岗位规范 .....</b>  | <b>180</b> |
| <b>后记 .....</b>              | <b>181</b> |

# § 1 概 述

## § 1.1 建筑钢结构工程的过去、现在和未来

### § 1.1.1 砖木结构房屋沿用了几千年

中国古代的造房概念向来是八个字：木柱，木梁，秦砖，汉瓦。上自帝王将相，下至黎民百姓，概莫能外，统统都住在这种砖木结构的房屋里。皇帝颐指气使地操纵臣民生杀大权的皇宫是砖木结构的；供人们花天酒地，纵情享受的楼台亭阁是砖木结构的；拜天祭祖用的庙宇也是砖木结构的；老百姓呢，劳累了一天，回去喘口气的那直不起腰背的窝棚多半也是砖木结构的。

砖木结构建筑作为中国人引以自豪的创造发明，陪伴中国人挨过了漫漫几千年的历史长河。

### § 1.1.2 近代用混凝土和钢筋混凝土建造房屋

近 100 多年来，人们先用木板搭制并支牢模板，形成模壳，再在模壳内纵横交错地设置并扎牢钢筋，然后往模壳里浇筑并捣实混凝土，经过一定时间的浇水养护后，拆去模板，于是便露出了构成一体的柱、梁、楼板、屋面等房屋结构。再经过装修之后，这样的房屋便可以交付使用了。

鸦片战争以后，中国建造了大量的钢筋混凝土的建筑物，上海的西施、永安、新新、大新四大公司，以及其他许多建筑物，就是它们之中的佼佼者。

直至目前为止，钢筋混凝土建筑还在大量地、不断地建造着。

### § 1.1.3 120 年前开始采用钢结构建筑

1885 年美国芝加哥市试建了一幢 9 层的钢结构建筑，它的梁、柱、支撑等主要构件都是用型钢做的。经过专家鉴定，人们认识到房屋采用钢结构至少有三点好处：

1) 柱、梁、支撑等构件的断面比钢筋混凝土结构的断面小。

2) 柱、梁、支撑等构件各自在车间里制作，到建筑工地后把它们像小孩搭积木一样地组装起来，速度快。曾被誉为远东第一、世界第三高楼的金茂大厦，地上 88 层，地下 3 层，用钢 19000t，其构件的制作和安装，总共才用了不到两年半的时间。速度之快是可想而知的。

3) 钢有弹性，钢结构能在一定限度内倾侧而不致折断倒下。这个好处在建筑物经受飓风和地震时是非常有用的。20 世纪 80 年代，墨西哥的墨西哥城发生了一次强烈地震，市内所有的钢筋混凝土高楼顷刻之间碎成了瓦砾，唯独那几幢钢结构高楼的钢结构骨架经

受住了倾侧和摇晃，仍旧岿然不动，稍加修整，重新装饰之后便又成为新的高楼了。

§ 1.1.4 美国最早、最多地建造了钢结构高楼

前面说过，专家们对芝加哥那幢 9 层的钢结构建筑做过鉴定。鉴定的结论是：可以放心地建造钢结构建筑，能够快速地建造钢结构建筑，能够比建造钢筋混凝土建筑节约地建造钢结构建筑。

恰好在那之后不久，芝加哥发生了一场祸及整个城市的火灾，变成了一片废墟。在重新开始的建设过程中，大批钢结构建筑物应运而生。如今的芝加哥高楼成群，鳞次栉比，错落有致。在这些气度非凡的高楼当中，钢结构建筑占了相当大的比例。迄今为止，芝加哥还是全世界高层建筑最为密集的城市。

§ 1.1.5 20 世纪末超高层钢结构建筑高度排行榜（表 1）

20 世纪末超高层钢结构建筑高度排行榜

表 1

| 排名 | 建筑物名称    | 所在国家 | 所在城市 | 楼高(m)  | 地上层数 | 竣工年份 | 备 注             |
|----|----------|------|------|--------|------|------|-----------------|
| 1  | 石油大厦     | 马来西亚 | 吉隆坡  | 452    | 95   | 1996 |                 |
| 2  | 西尔斯大厦    | 美国   | 芝加哥  | 443    | 110  | 1974 |                 |
| 3  | 金茂大厦     | 中国   | 上海   | 420.50 | 88   | 1998 |                 |
| 4  | 世界贸易中心大厦 | 美国   | 纽约   | 417    | 110  | 1972 | 已毁于九一一事件        |
| 5  | 帝国大厦     | 美国   | 纽约   | 381    | 102  | 1931 | 曾雄居世界第一高度 40 多年 |

§ 1.1.6 目前超高层钢结构建筑高度排行榜（表 2）

目前超高层钢结构建筑高度排行榜

表 2

| 排名 | 建筑物名称     | 所在国家 | 所在城市 | 楼高(m)  | 地上层数 | 竣工年份 |
|----|-----------|------|------|--------|------|------|
| 1  | 台北 101 大厦 | 中国   | 台北   | 508    | 101  | 2004 |
| 2  | 石油大厦      | 马来西亚 | 吉隆坡  | 452    | 95   | 1996 |
| 3  | 西尔斯大厦     | 美国   | 芝加哥  | 443    | 110  | 1974 |
| 4  | 金茂大厦      | 中国   | 上海   | 420.50 | 88   | 1998 |

看了表 2，中国人感到十分自豪，四幢超高层钢结构建筑当中，中国竟占了两幢。

§ 1.1.7 中国解放前就建造过高层钢结构建筑

在 20 世纪 20 年代至 30 年代，也就是从北伐战争胜利至抗日战争开始之前的那段时间里，上海建造了三幢钢结构的高层建筑（表 3）。

解放前上海建造的钢结构高层建筑

表 3

| 序号 | 建筑物名称        | 楼高(m) | 层 数 | 竣工年代        |
|----|--------------|-------|-----|-------------|
| 1  | 国际饭店         | 83.8  | 24  | 20 世纪 30 年代 |
| 2  | 百老汇大厦(现上海大厦) | 76.6  | 22  | 20 世纪 30 年代 |
| 3  | 中国银行大楼       | 69    | 18  | 20 世纪 30 年代 |

这三幢高层建筑有三个特点：

- 1) 除中国银行大楼外，建筑设计是外国人搞的，但施工详图是中国人自己搞的。
- 2) 钢结构构件的制作和安装都是中国人独立完成的，特别值得一提的是无锡人和溧阳人在这三个工程中出足了风头。
- 3) 那时的焊接水平不够高，所以采用的全是铆接。

#### § 1.1.8 改革开放以来，中国建造了许多钢结构超高层建筑

(1) 在上海（表 4）。

改革开放以来，在上海建造的部分钢结构高层建筑（无序排列）

表 4

| 编号 | 建筑物名称      | 楼高(m)  | 地上层数 | 用钢量(t) | 竣工年份 |
|----|------------|--------|------|--------|------|
| 1  | 新锦江大楼      | 153.09 | 43   | 6300   | 1985 |
| 2  | 上海国际贸易中心大厦 | 155.25 | 37   | 11000  | 1987 |
| 3  | 新金桥大厦      | 212.30 | 39   | 6250   | 1996 |
| 4  | 上海证券大厦     | 177.70 | 27   | 9300   | 1997 |
| 5  | 世界广场       | 199    | 38   | 11700  | 1996 |
| 6  | 上海世界金融大厦   | 210    | 44   | 3860   | 1997 |
| 7  | 金茂大厦       | 420.50 | 88   | 19000  | 1998 |
| 8  | 上海国际航运大厦   | 232    | 52   | 6300   | 1998 |
| 9  | 上海国际金融大厦   | 226    | 53   | 9400   | 1998 |
| 10 | 上海申茂大厦     | 187.50 | 46   | 6900   | 1997 |
| 11 | 上海商品交易大厦   | 156    | 38   | 7000   | 1997 |
| 12 | 浦项广场       | 110.80 | 26   | 3399   | 1998 |
| 13 | 上海香港新世界大厦  | 206    | 60   | 6830   | 2001 |
| 14 | 上海正大商业广场   | 57     | 10   | 7000   | 2001 |
| 15 | 上海信息枢纽大厦   | 288    | 41   | 9150   | 2000 |
| 16 | 上海震旦国际大楼   | 159.80 | 37   | 4300   | 2002 |
| 17 | 上海银行大厦     | 229.90 | 50   | 8500   | 2003 |
| 18 | 上海世茂国际广场   | 333    | 60   | 10400  | 2004 |

(2) 在外地，例如北京、深圳、广州、天津、大连、南京、武汉等地，这些年来也建造了不少钢结构超高层建筑。还有一些城市正在建造或准备建造钢结构超高层建筑，例如苏州、无锡、杭州、温州、绍兴、宁波、重庆、西安、兰州、沈阳等地。

(3) 上海正在建造当代世界实际第一高楼。

前面说过，我国已经建造了举世瞩目的金茂大厦和台北 101 大厦。更加令中国人自豪的是，我们正在建造上海环球金融中心大厦，这幢 101 层的楼高 492m。这 492m 是实际使用高度，而台北 101 大厦的 508m 高度中的实际使用高度为 448m（另有 60m 旗杆高度）。从这个意义上说，上海环球金融中心大厦到 2008 年建成时，将成为世界上的实际第一高楼。这将会使中国人感到无上光荣。

所有已建、在建、拟建的超高层钢结构建筑，都是我国改革开放的巨大成果，体现了

我国综合国力的强盛，显示了我国国际地位的日益提高。

### § 1.1.9 你爬我攀，欲与天公试比高

我们想在这里提供三条新的信息：

(1) 在纽约被九一一事件毁掉的世界贸易中心大厦的废墟上，美国准备在 2009 年建成高 541.30m、82 层的自由塔。

(2) 在迪拜，沙特阿拉伯正在建造高 805m 的迪拜之地，大约会于 2008 年建成。

(3) 在东京，日本人已放出风声，要建造 800m、200 层的千年城。

三家都宣称，建成后要荣登当时世界最高超高层钢结构建筑的宝座。已经崛起的中国岂能自甘落后？我们相信，在不久的将来，一定会有一些令世人更加瞩目的超高层钢结构建筑矗立在中华大地之上。

## § 1.2 建筑钢结构工程焊接工艺的特点

### § 1.2.1 建筑钢结构工程的分类

建筑钢结构工程大致上可划分为民用建筑钢结构工程、工业建筑钢结构工程和其他建筑钢结构工程三大类。民用建筑钢结构工程包括多层、高层、超高层的梁——柱框架全钢结构，劲性混凝土结构中的钢结构，钢管混凝土结构中的钢结构，以及别墅类的钢结构。工业建筑钢结构工程指的是轻型、中型、重型工业厂房，以及物流用房（仓库）一类的钢结构。桁架或网架（壳）钢结构工程常用于机场候机厅、飞机维修库、码头候船厅、车站候车厅、体育场馆、商业大卖场等场合，统统归入其他建筑钢结构工程一类里。

### § 1.2.2 建筑钢结构工程焊接工艺的主要特点

(1) 焊接难度大。

建筑钢结构工程的构件，多半采用低合金高强度结构钢作原材料，部分采用碳素结构钢，另外还有些钢管可能采用优质碳素结构钢。许多钢结构采用断面很大、厚度很大的热轧型钢，或者采用厚板或超厚板焊接成型钢作构件。作为构件的组成部分，这些厚板或超厚板必须做对接焊；这些板相互之间要焊接成型钢（如 H 型钢、T 型钢、十字形钢、箱形钢等）；构件同构件之间要按节点要求焊成框架（如梁、柱、支撑相互之间的焊接或栓——焊混合连接）。低合金高强度结构钢的碳当量比较高，建筑钢结构的强度高，节点形状复杂，工件厚度大，约束度大，所以焊接难度大。

(2) 焊接技术新。

建筑钢结构行业中应用的焊接方法，已远不止药皮焊条手工电弧焊和半自动实芯焊丝气体保护焊两种，目前已扩大到了半自动药芯焊丝气体保护焊、半自动药芯焊丝自保护焊、非熔化极气体保护焊、单丝自动埋弧焊、多丝自动埋弧焊、熔化嘴电渣焊、非熔化嘴电渣焊、旋转并晃动的非熔化嘴电渣焊、丝极电渣焊、板极电渣焊、单丝气电立焊、多丝气电立焊、自动实芯焊丝气体保护焊、自动药芯焊丝气体保护焊、自动药芯焊丝自保护焊、穿透栓钉焊、非穿透栓钉焊等。可以说建筑钢结构行业用的焊接方法是多种多样的，

其中不少是很先进的。

### (3) 焊接质量极其重要。

建筑钢结构工程中的焊缝和焊接接头，除承受正常荷载、自重、风力之外，还要承受强烈地震带来的破坏力，因此它们的质量是极其重要的。为了焊出不呈现严重粗化晶粒的焊缝和焊接接头，为了使焊缝和焊接接头的强度、塑性、韧性不下降，为了使焊缝中不留存会扩展的裂纹和超标的其他缺陷，为了不使焊缝和焊接接头的局部区域的冲击韧性下降，总之一句话为了不出现房塌人亡的悲剧，建筑钢结构工程的焊接工艺师必须把焊接工艺考虑得十分周详。

### (4) 焊接变形要防止，残余应力应减少和消除。

焊接是一个局部急剧加热和随后快速冷却的过程，所以焊后局部的塑性变形和焊接残余应力几乎是难以避免的。怎样防止超标的变形，怎样减少和消除残余应力，也是钢结构焊接工程工艺师必须考虑的问题之一。

(5) 安全隐患务必消除。钢结构建筑行业中的焊接，除了制作部分在车间里施工以外，还有相当一部分要到建筑工地去施工。焊工要“攀”在数十米甚至数百米高的框架上，还要“捂”在防风雨的“蒙古包”里操作，坠落和昏厥的可能性始终威胁着他们。遵照以人为本的指导精神，钢结构焊接工艺师在编制焊接工艺文件时，必须周详而又切实地考虑安全措施，消除安全隐患。

## § 1.3 建筑钢结构焊接工艺师的职业道德

### (1) 要爱祖国。

a) 我们每建一幢高楼，每建一间厂房，每建一座公共设施，都要想到是在为国争光。因此我们必须按照先进的设计理念，采用先进的技术、工艺和装备，造出先进的建筑物来，让这些建筑物矗立在中华大地之上，以其坚固、实用、美观及其同周围环境的和谐，去同世界上的同类建筑物比美。

b) 中国的钢铁工业这些年来有了长足的进步，在钢种及其化学成分和力学性能方面，中外之间是可以互相替代的。在同外商洽谈技术问题时，我们有必要提请对方注意这个事实。

c) 在焊接材料方面，我们可以自豪地说：国外达到的水平，中国也达到了。我们既可以用中国的焊材焊中国的钢材，也可以用中国的焊材焊外国的钢材。没有必要专门去进口焊材。

### (2) 不要做假。

a) 在焊接工艺评定这项工作中，存在着相互替代的问题。然而替代是有条件的。在下“可以替代”的结论时要讲真话，不能做假。

b) 在对焊接工艺评定试件作冲击吸收功试验的时候，常常规定取样的位置，例如焊缝部位、熔合线部位、热影响区部位和母材部位，还在焊缝部位里规定焊缝的上、中、下三个部位。对这些不同部位的试件作冲击吸收功试验，其结果是各不相同的，其数值的分布呈一定的规律，不能互相换位。特别要指出的是，焊缝的中心部位（也就是焊前坡口的钝边那个部位）最可能不合格。此时我们特别应坚持讲真话，不做假，绝对不能往上挪一

下，在偏上的那个部位取个试件冒名顶替焊缝中心部位。

c) 焊接工艺评定报告上往往会罗列出数十个，甚至上百个数据。这些数据必须个个都是合格的，个别不合格的试验结果可以设法重新做试验，但必须强调按规范办事。再说工艺评定总是希望一次成功，但没有规定过不准重做。所以我们完全应该而且必须讲真话，不更动一个数据，不伪造一个数据。

(3) 要到现场。

钢结构工程的制作车间和安装工地，是两个广阔的天地，在那里可以学到从书本上学不到的知识，了解到在办公室和焊接试验室里碰不到的问题。实践知识会使我们开拓思路，增长才干，也可以帮我们修正错误。因此焊接工艺师要多到现场，常到现场。

§ 2 建筑钢结构工程用的主要材料

§ 2.1 分 类

- (1) 碳素结构钢，用得最多的是 Q235（其含义是屈服点  $\sigma_s$  为 235MPa）。
- (2) 低合金高强度结构钢，用得最多的是 Q345（其含义是屈服点  $\sigma_s$  为 345MPa）。
- (3) 优质碳素结构钢，有些钢管就是用的这类钢，用得较多的是 20（其含义是平均含碳量为 0.20%）。

§ 2.2 化学成分和力学性能

- (1) 碳素结构钢（表 5、表 6、表 7 和表 8）。

碳素结构钢的化学成分 (%) 表 5

| 钢 号    | 质量等级 | C         | Si    | Mn        | P      | S      |
|--------|------|-----------|-------|-----------|--------|--------|
| Q195   | —    | 0.06~0.12 | ≤0.30 | 0.25~0.50 | ≤0.045 | ≤0.050 |
| Q215   | A    | 0.09~0.15 | ≤0.30 | 0.25~0.55 | ≤0.045 | ≤0.050 |
|        | B    | 0.09~0.15 | ≤0.30 | 0.25~0.55 | ≤0.045 | ≤0.045 |
| • Q235 | A    | 0.14~0.22 | ≤0.30 | 0.30~0.65 | ≤0.045 | ≤0.050 |
|        | B    | 0.12~0.20 | ≤0.30 | 0.30~0.70 | ≤0.045 | ≤0.045 |
|        | C    | ≤0.18     | ≤0.30 | 0.35~0.80 | ≤0.040 | ≤0.040 |
|        | D    | ≤0.17     | ≤0.30 | 0.35~0.80 | ≤0.035 | ≤0.030 |
| Q255   | A    | 0.18~0.28 | ≤0.30 | 0.40~0.70 | ≤0.045 | ≤0.050 |
|        | B    | 0.18~0.28 | ≤0.30 | 0.40~0.70 | ≤0.045 | ≤0.045 |
| Q275   | —    | 0.28~0.38 | ≤0.35 | 0.50~0.80 | ≤0.045 | ≤0.050 |

碳素结构钢的力学性能 (一) 表 6

| 钢号与质量等级                | 屈服点 $\sigma_s$ (MPa) ≥<br>在钢材不同厚度(mm)时 |       |       |        |         |      |
|------------------------|----------------------------------------|-------|-------|--------|---------|------|
|                        | ≤16                                    | 16~40 | 40~60 | 60~100 | 100~150 | >150 |
|                        |                                        |       |       |        |         |      |
| Q195                   | 195                                    | 185   | —     | —      | —       | —    |
| Q215A<br>Q215B         | 215                                    | 205   | 195   | 185    | 175     | 165  |
| • Q235A,B<br>• Q235C,D | 235                                    | 225   | 215   | 205    | 195     | 185  |
| Q255A<br>Q255B         | 255                                    | 245   | 235   | 225    | 215     | 205  |
| Q275                   | 275                                    | 265   | 255   | 245    | 235     | 225  |

碳素结构钢的力学性能 (二)

表 7

| 钢号与<br>质量等级 | 抗拉强度<br>$\sigma_b$<br>(MPa) | 伸长率 $\delta_s$ (%) $\geq$<br>在钢材不同厚度 (mm) 时 |       |       |        |         |     | 冲击试验                         |                       |
|-------------|-----------------------------|---------------------------------------------|-------|-------|--------|---------|-----|------------------------------|-----------------------|
|             |                             | $\leq 16$                                   | 16~40 | 40~60 | 60~100 | 100~150 | 150 | 温度<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) | 冲击吸收功<br>$A_{KV}$ (J) |
| Q195        | 315~430                     | 33                                          | 32    | —     | —      | —       | —   | —                            | —                     |
| Q215A       | 335~450                     | 31                                          | 30    | 29    | 28     | 27      | 26  | —                            | —                     |
| Q215B       |                             |                                             |       |       |        |         |     | 20                           | $\geq 27$             |
| • Q235A     | 375~500                     | 26                                          | 25    | 24    | 23     | 22      | 21  | —                            | —                     |
| • Q235B     |                             |                                             |       |       |        |         |     | 20                           | $\geq 27$             |
| • Q235C     | 375~500                     | 26                                          | 25    | 24    | 23     | 22      | 21  | 0                            | $\geq 27$             |
| • Q235D     |                             |                                             |       |       |        |         |     | -20                          | $\geq 27$             |
| Q255A       | 410~550                     | 24                                          | 23    | 22    | 21     | 20      | 19  | —                            | —                     |
| Q255B       |                             |                                             |       |       |        |         |     | 20                           | $\geq 27$             |
| Q275        | 490~630                     | 20                                          | 19    | 18    | 17     | 16      | 15  | —                            | —                     |

碳素结构钢的冷弯性能

表 8

| 钢 号    | 试样方向 | 180°冷弯试验 $b=2a$<br>在钢材不同厚度 (mm) 时 |          |          |
|--------|------|-----------------------------------|----------|----------|
|        |      | $\leq 60$                         | 60~100   | 100~200  |
| Q195   | 纵向   | 0                                 | —        | —        |
|        | 横向   | $d=0.5a$                          | —        | —        |
| Q215   | 纵向   | $d=0.5a$                          | $d=1.5a$ | $d=2a$   |
|        | 横向   | $d=a$                             | $d=2a$   | $d=2.5a$ |
| • Q235 | 纵向   | $d=a$                             | $d=2a$   | $d=2.5a$ |
|        | 横向   | $d=1.5a$                          | $d=2.5a$ | $d=3a$   |
| Q255   | —    | $d=2a$                            | $d=3a$   | $d=3.5a$ |
| Q275   | —    | $d=3a$                            | $d=4a$   | $d=4.5a$ |

注：b—试样宽度；d—弯心直径；a—钢材厚度或直径；下同。

(2) 低合金高强度结构钢 (表 9 和表 10)。

低合金高强度结构钢的钢号与化学成分 (%)

表 9

| 钢号     | 质量等级 | C           | Mn        | Si          | P            | S            | V         | Nb          | Ti        | Al           |
|--------|------|-------------|-----------|-------------|--------------|--------------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| Q295   | A    | $\leq 0.16$ | 0.80~1.50 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.045$ | $\leq 0.045$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —            |
|        | B    | $\leq 0.16$ | 0.80~1.50 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.040$ | $\leq 0.040$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —            |
| • Q345 | A    | $\leq 0.20$ | 1.00~1.60 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.045$ | $\leq 0.045$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —            |
|        | B    | $\leq 0.20$ | 1.00~1.60 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.040$ | $\leq 0.040$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —            |
|        | C    | $\leq 0.20$ | 1.00~1.60 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.035$ | $\leq 0.035$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | $\geq 0.015$ |
|        | D    | $\leq 0.18$ | 1.00~1.60 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.030$ | $\leq 0.030$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | $\geq 0.015$ |
|        | E    | $\leq 0.18$ | 1.00~1.60 | $\leq 0.55$ | $\leq 0.025$ | $\leq 0.025$ | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | $\geq 0.015$ |

续表

| 钢号   | 质量等级 | C     | Mn        | Si    | P      | S      | V         | Nb          | Ti        | Al     |
|------|------|-------|-----------|-------|--------|--------|-----------|-------------|-----------|--------|
| Q390 | A    | ≤0.20 | 1.00~1.60 | ≤0.55 | ≤0.045 | ≤0.045 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —      |
|      | B    | ≤0.20 | 1.00~1.60 | ≤0.55 | ≤0.040 | ≤0.040 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —      |
|      | C    | ≤0.20 | 1.00~1.60 | ≤0.55 | ≤0.035 | ≤0.035 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
|      | D    | ≤0.20 | 1.00~1.60 | ≤0.55 | ≤0.030 | ≤0.030 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
|      | E    | ≤0.20 | 1.00~1.60 | ≤0.55 | ≤0.025 | ≤0.025 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
| Q420 | A    | ≤0.20 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.045 | ≤0.045 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —      |
|      | B    | ≤0.20 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.040 | ≤0.040 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | —      |
|      | C    | ≤0.20 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.035 | ≤0.035 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
|      | D    | ≤0.18 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.030 | ≤0.030 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
|      | E    | ≤0.18 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.025 | ≤0.025 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
| Q460 | C    | ≤0.20 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.035 | ≤0.035 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
|      | D    | ≤0.20 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.030 | ≤0.030 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |
|      | E    | ≤0.20 | 1.00~1.70 | ≤0.55 | ≤0.025 | ≤0.025 | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | ≥0.015 |

低合金高强度结构钢的力学性能 表 10

| 钢号     | 质量等级 | 屈服点 $\sigma_s$ (MPa) ≥<br>在下列厚度 (mm) 时 |       |       |        | 抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa) | 伸长率 $\delta_5$ (%) ≥ | 冲击吸收功 ≥ |              | 180° 弯曲试验<br>在下列厚度 (mm) 时 |        |
|--------|------|----------------------------------------|-------|-------|--------|-----------------------|----------------------|---------|--------------|---------------------------|--------|
|        |      | ≤16                                    | 16~35 | 35~50 | 50~100 |                       |                      | 温度 (°C) | $A_{KV}$ (J) | ≤16                       | 16~100 |
|        |      |                                        |       |       |        |                       |                      |         |              |                           |        |
| Q295   | A    | 295                                    | 275   | 255   | 235    | 390~570               | 23                   | —       | —            | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | B    | 295                                    | 275   | 255   | 235    | 390~570               | 23                   | +20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
| • Q345 | A    | 345                                    | 325   | 295   | 275    | 470~630               | 21                   | —       | —            | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | B    | 345                                    | 325   | 295   | 275    | 470~630               | 21                   | +20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | C    | 345                                    | 325   | 295   | 275    | 470~630               | 22                   | 0       | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | D    | 345                                    | 325   | 295   | 275    | 470~630               | 22                   | -20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | E    | 345                                    | 325   | 295   | 275    | 470~630               | 22                   | -40     | 27           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
| Q390   | A    | 390                                    | 370   | 350   | 330    | 490~650               | 19                   | —       | —            | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | B    | 390                                    | 370   | 350   | 330    | 490~650               | 19                   | +20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | C    | 390                                    | 370   | 350   | 330    | 490~650               | 20                   | 0       | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | D    | 390                                    | 370   | 350   | 330    | 490~650               | 20                   | -20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | E    | 390                                    | 370   | 350   | 330    | 490~650               | 20                   | -40     | 27           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
| Q420   | A    | 420                                    | 400   | 380   | 360    | 520~680               | 18                   | —       | —            | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | B    | 420                                    | 400   | 380   | 360    | 520~680               | 18                   | +20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | C    | 420                                    | 400   | 380   | 360    | 520~680               | 19                   | 0       | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | D    | 420                                    | 400   | 380   | 360    | 520~680               | 19                   | -20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | E    | 420                                    | 400   | 380   | 360    | 520~680               | 19                   | -40     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
| Q460   | C    | 460                                    | 440   | 420   | 400    | 550~720               | 17                   | 0       | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | D    | 460                                    | 440   | 420   | 400    | 550~720               | 17                   | -20     | 34           | $d=2a$                    | $d=3a$ |
|        | E    | 460                                    | 440   | 420   | 400    | 550~720               | 17                   | -40     | 27           | $d=2a$                    | $d=3a$ |

(3) 优质碳素结构钢 (表 11 和表 12)。