

钢 结 构 焊 接 丛 书

# 建筑钢结构

---

## 焊接技术

吴成材◎刘景凤◎吴京伟◎段斌 编著

7.11  
1

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



钢结构焊接丛书

# 建筑钢结构焊接技术

吴成材 刘景凤 吴京伟 段 斌 编著



机械工业出版社

本书介绍了建筑钢结构所用钢材的物理性能、化学成分、力学性能；建筑钢结构焊接的特点；常用焊接与切割方法，包括：焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊和气电立焊、电渣焊、气体保护和自保护药芯焊丝电弧焊、栓钉焊、电阻点焊、碳弧气刨、氧气切割，阐述各种焊接方法的基本原理、特点和适用范围、焊接设备、焊接材料、焊接工艺、焊接缺陷及防止措施等；还介绍了焊接质量管理、焊接安全和设备维护；同时列举工程应用实例，提出思考题。在附录中列出了坡口形状和尺寸、常用焊接设备和焊接材料。

本书可供从事建筑钢结构焊接生产和焊接施工的技术人员学习和参考，也可作为焊工的培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑钢结构焊接技术/吴成材等编著. —北京：机械工业出版社，2006.8  
(钢结构焊接丛书)  
ISBN 7-111-19063-7

I. 建... II. 吴... 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041666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：吕德齐 版式设计：霍永明 责任校对：王欣  
封面设计：陈沛 责任印制：李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2006年7月第1版第1次印刷  
169mm×239mm·7.5印张·290千字  
0001—4000册  
定价：22.00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  
编辑热线电话(010)88379778  
封面无防伪标均为盗版

# 前 言

自 20 世纪 80 年代以来，随着我国经济建设的快速、持久、平稳发展，钢铁产量大幅度增加，建筑钢结构的应用领域不断扩大，结构形式、钢材品种、规格也有很大发展。

焊接是钢结构制作与安装中重要的技术。随着科技的发展，用于建筑钢结构的焊接技术得到改进和创新。在全国，经营建筑钢结构制作与安装的企业迅速增加，从事焊接工作的技术人员和焊工队伍不断壮大。为适应这一形势，我们编写了本书。希望能够促进建筑钢结构焊接技术的发展。

本书共 12 章。第 1 章介绍建筑钢结构焊接的特点，简述建筑钢结构焊接技术的应用与发展；建筑钢结构焊接的基本规定；焊接节点构造；焊缝计算厚度；节点形式与焊缝设置；现场焊接工艺；焊缝符号。

第 2 章介绍钢材的物理性能、化学成分与焊接性、力学性能试验、常用钢材力学性能、进场钢材复验。

第 3 章至第 11 章介绍了建筑钢结构常用的焊接方法与切割方法，包括：焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊和气电立焊、电渣焊、气体保护和自保护药芯焊丝电弧焊、栓钉焊、电阻点焊、碳弧气刨、氧气切割。在每一章中，阐述其基本原理、特点和适用范围、焊接设备、焊接材料、焊接工艺、焊接缺陷及防止措施等。同时列举工程应用实例，提出思考题。

第 12 章介绍焊接质量、焊接安全和设备维护。

3 个附录提供了坡口形状和尺寸、常用焊接设备和焊接材料。

本书的论述由浅入深，理论联系实际，图文并茂，可供从事建筑

#### IV

钢结构焊接生产和焊接施工技术人员学习和参考，也可作为焊工的培训教材。

关于焊接工艺评定、预热和后热、焊接质量检查、补强与加固、焊工考试等，均应按现行行业标准 JGJ 81—2002《建筑钢结构焊接技术规程》中有关规定执行。

在本书的编写过程中，得到了肖明正、吴弘光的支持和帮助，对此深表感谢！由于我们水平有限，书中难免存在一些错误和不当之处，恳请读者批评指正。

**吴成材**

2006年1月5日

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 建筑钢结构焊接的特点</b> .....	1
1.1 建筑钢结构焊接技术的应用与发展 .....	1
1.2 建筑钢结构焊接的基本规定 .....	2
1.3 焊接节点构造 .....	4
1.4 焊缝计算厚度 .....	8
1.5 节点形式与焊缝设置 .....	9
1.6 现场焊接工艺 .....	14
1.7 焊缝符号 .....	21
思考题 .....	28
<b>第 2 章 钢材</b> .....	29
2.1 钢材物理性能 .....	29
2.2 钢材化学成分和焊接性 .....	29
2.3 钢材力学性能试验 .....	33
2.4 常用钢材力学性能 .....	38
2.5 钢材进场 .....	40
思考题 .....	40
<b>第 3 章 焊条电弧焊</b> .....	41
3.1 基本原理和适用范围 .....	41
3.2 交流弧焊电源 .....	52
3.3 直流弧焊电源 .....	61
3.4 焊条 .....	65
3.5 电弧焊工艺 .....	70
3.6 焊条电弧焊的缺陷及防止措施 .....	74
3.7 工程应用实例 .....	78
思考题 .....	80
<b>第 4 章 埋弧焊</b> .....	81
4.1 基本原理和适用范围 .....	81
4.2 埋弧焊设备 .....	84
4.3 焊丝和焊剂 .....	90

4.4	埋弧焊工艺	94
4.5	埋弧焊主要缺陷及防止措施	99
4.6	工程应用实例	100
	思考题	101
<b>第5章</b>	<b>熔化极气体保护焊和气电立焊</b>	<b>102</b>
5.1	基本原理和适用范围	102
5.2	焊接设备	105
5.3	焊丝和保护气体	112
5.4	焊接操作工艺	114
5.5	气电立焊	121
5.6	焊接缺陷及防止措施	122
5.7	工程应用实例	124
	思考题	130
<b>第6章</b>	<b>电渣焊</b>	<b>131</b>
6.1	基本原理和适用范围	131
6.2	熔嘴电渣焊设备	133
6.3	焊接材料	136
6.4	焊接操作工艺	136
6.5	电渣焊接头缺陷及防止措施	138
6.6	工程应用实例	139
	思考题	142
<b>第7章</b>	<b>气体保护和自保护药芯焊丝电弧焊</b>	<b>143</b>
7.1	基本原理和适用范围	143
7.2	药芯焊丝和保护气体	144
7.3	焊接设备	149
7.4	焊接参数	153
7.5	焊接缺陷及防止措施	154
7.6	工程应用实例	156
	思考题	156
<b>第8章</b>	<b>栓钉焊</b>	<b>157</b>
8.1	基本原理和适用范围	157
8.2	焊接设备	161
8.3	焊接工艺	165
8.4	接头质量检验	165
8.5	工程应用实例	166

思考题	167
<b>第9章 电阻点焊</b>	168
9.1 基本原理和适用范围	168
9.2 焊接设备	169
9.3 电阻点焊工艺	172
9.4 焊接缺陷及防止措施	174
思考题	175
<b>第10章 碳弧气刨</b>	176
10.1 基本原理和适用范围	176
10.2 设备及材料	176
10.3 碳弧气刨工艺	178
10.4 常见缺陷及防止措施	179
思考题	180
<b>第11章 氧气切割</b>	181
11.1 基本原理和适用范围	181
11.2 气割用设备	183
11.3 氧气、乙炔气和液化石油气	196
11.4 气割工艺	199
11.5 气割缺陷及防止措施	202
11.6 气割安全技术	204
思考题	207
<b>第12章 焊接质量、焊接安全与设备维护</b>	209
12.1 焊接质量	209
12.2 焊接安全	209
12.3 设备维护	210
思考题	211
<b>附录</b>	212
附录A 坡口形状和尺寸(摘自 JGJ 81—2002)	212
附录B 常用焊接设备	226
附录C 常用焊接材料	229
<b>参考文献</b>	231



# 第 1 章 建筑钢结构焊接的特点

## 1.1 建筑钢结构焊接技术的应用与发展

自 20 世纪 80 年代以来,我国的钢铁工业持续快速发展,现已成为世界钢铁大国。在此基础上,建筑钢结构的发展十分迅速,从大型工业厂房、冶金厂房,发展到各种塔桅建筑、网架结构、超高层建筑。从钢材品种来看,从 Q235(A3 钢)、Q345(16Mn 钢)正向多种牌号的低合金高强度钢方向发展;从钢材形式来看,从传统的工字钢、槽钢、角钢、钢板的生产,正在研制开发多种规格的轧制 H 型钢、冷弯型钢、压型钢板,以及供建筑结构用的钢管和彩涂钢板(彩板)。

采用建筑钢结构具有很大优越性,它的特点是:跨度大、高度高、空间大,并且是一项绿色环保工程。因此,很多新建工业厂房、体育场馆、各种公共建筑、高耸建筑等国家重点工程均采用钢结构。

连接技术是钢结构生产中主要技术之一。钢结构的连接方法很多,但是焊接是钢结构制作与安装中的一项最重要的技术。在重型钢结构建筑中,70%以上的构件制作和安装连接是通过焊接来实现。焊接技术直接影响钢结构工程的质量和生产效率,推广应用现代焊接技术对于促进建筑钢结构的发展具有十分重要的意义。

近几年来,国家批准发布多项新标准:国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》、GB 50018—2002《冷弯薄壁型钢结构技术规范》、GB 50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》、行业标准 JGJ 81—2002《建筑钢结构焊接技术规程》等,并且随着建设事业的发展,有的标准正在修订。这些标准的颁布实施既总结前一阶段的生产实践经验,吸收国外先进技术,又推动建筑钢结构焊接技术更好、更快地发展。

在建筑钢结构制作和安装中,采用的焊接方法和切割技术有很多,主要有:焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、气电立焊、气体保护和自保护药芯焊丝电弧焊、电渣焊、栓钉焊、电阻点焊、碳弧气刨、氧气切割等。所用的焊接设备和工艺技术在不断地改进和创新。

建筑钢结构焊接的特点是“三多一高”,即钢材品种规格多,节点构造形式多,焊接方法多,焊接质量要求高。焊接技术人员和焊工是焊接技术的组织者和

实施者,应该了解自己肩负的重任,了解建筑钢结构的特点、钢材性能、节点构造,掌握各种焊接方法的基本原理、特点和适用范围,熟悉焊接设备、焊接材料,掌握焊接工艺参数,了解焊接工艺评定、焊接质量的要求和检验等,以设计图样和国家有关标准为依据,精心组织,以优良的焊接质量完成各种任务。焊工应努力学习焊接基本知识,提高操作技能,持证上岗。

## 1.2 建筑钢结构焊接的基本规定

### 1.2.1 焊接难度

建筑钢结构工程焊接难度可分为一般、较难和难三种情况。施工单位在承担钢结构焊接工程时,应具备与焊接难度相适应的技术条件。建筑钢结构工程的焊接难度可按表 1-1 区分。

表 1-1 建筑钢结构工程的焊接难度

焊接难度	焊接难度影响因素	节点复杂程度和拘束度	板厚/mm	受力状态	钢材碳当量 <sup>①</sup> CE(%)
一般		简单对接、角接,焊缝能自由收缩	$t < 30$	一般静载拉、压	$< 0.38$
较难		复杂节点或已施加限制收缩变形的措施	$30 \leq t \leq 80$	静载且板厚方向受拉或间接动载	$0.38 \sim 0.45$
难		复杂节点或局部返修条件而使焊缝不能自由收缩	$t > 80$	直接动载、抗震设防烈度大于 8 度	$> 0.45$

① 按国际焊接学会(IIW)计算公式,  $CE(\%) = w(C) + \frac{w(Mn)}{6} + \frac{w(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{w(Cu + Ni)}{15}$  (适用于非调质钢)。

### 1.2.2 技术要求

施工图中应标明下列焊接技术要求:

1) 应明确规定结构构件使用钢材和焊接材料的类型和焊缝质量等级,有特殊要求时,应标明无损检测的类别和抽查百分比。

2) 应标明钢材和焊接材料的品种、性能及相应的国家现行标准,并应对焊接方法、焊缝坡口形式和尺寸、焊后热处理要求等作出明确规定。对于重型、大型钢结构,应明确规定工厂制作单元和工地拼装焊接的位置,标注工厂制作和工

地安装焊缝符号

### 1.2.3 资质等级

制作与安装单位承担钢结构焊接工程施工图设计时，应具有与工程类型相适应的设计资质等级或由原设计单位认可。

### 1.2.4 焊接制作与安装单位条件

钢结构工程焊接制作与安装单位应具备下列条件：

- 1) 应具有国家认可的企业资质和焊接质量管理体系。
- 2) 具有规定资格的焊接技术责任人员、焊接质检人员、无损检测人员、焊工、焊接预热和后热处理人员。
- 3) 对焊接技术难或较难的大型及重型钢结构、特殊钢结构工程，施工单位的焊接技术责任人员应由中、高级焊接技术人员担任。
- 4) 应具备与所承担工程的焊接技术难易程度相适应的焊接方法、焊接设备、检验和试验设备。
- 5) 属计量器具的仪器、仪表应在计量检定有效期内。
- 6) 应具有与所承担工程的结构类型相适应的企业钢结构焊接规程、焊接作业指导书、焊接工艺评定文件等技术软件。
- 7) 对于特殊结构或采用屈服强度等级超过 390MPa 的钢材、新钢种、特厚材料及焊接新工艺的钢结构工程，焊接制作与安装企业应具备焊接工艺试验室和相应的试验员工。

### 1.2.5 焊接人员资格

建筑钢结构焊接有关人员的资格应符合下列规定：

- 1) 焊接技术责任人员应接受过专门的焊接技术培训，取得中级以上技术职称，并有一年以上焊接生产或施工实践经验。
- 2) 焊接质检人员应接受过专门的技术培训，有一定的焊接实践经验和技术水平，并具有质检人员上岗资质证。
- 3) 无损检测人员必须由国家授权的专业考核机构考核合格，其相应等级证书应在有效期内，并应按考核合格项目及权限从事焊缝无损检测和审核工作。
- 4) 焊工应按规定考试合格并取得资格证书，其施焊范围不得超越资格证书的规定。
- 5) 气体火焰加热或切割操作人员应具有气割、气焊操作上岗证。
- 6) 焊接预热、后热处理人员应具备相应的专业技术。用电加热设备加热时，其操作人员应经过专业培训。

### 1.2.6 焊接人员职责

建筑钢结构焊接有关人员的职责如下：

1) 焊接技术责任人员负责组织进行焊接工艺评定，编制焊接工艺方案、技术措施、焊接作业指导书或焊接工艺卡，处理施工过程中的焊接技术问题。

2) 焊接质检人员负责对焊接作业进行全过程的检查和控制，根据设计文件要求确定焊缝检测部位，填报、签发检测报告。

3) 无损检测人员应按设计文件或相应规范规定的检测方法及标准，对受检部位进行检测，填报、签发检测报告。

4) 焊工应按焊接作业指导书或工艺卡规定的工艺方法、参数和措施进行焊接。当遇到焊接准备条件、环境条件及焊接技术措施不符合焊接作业指导书要求时，应要求焊接技术责任人员采取相应整改措施，必要时应拒绝施焊。

5) 焊接预热、后热处理人员应按焊接作业指导书及相应的操作规程进行作业。

## 1.3 焊接节点构造

### 1.3.1 节点构造形式

建筑钢结构节点构造形式多，比较复杂。建筑钢结构一般由柱子、梁、屋盖系统、钢杆支撑系统等组成。这些构件系统采用热轧钢板、角钢、槽钢、工字钢、圆钢、无缝(有缝)钢管、钢球，以及各种横截面冷弯薄壁型钢进行拼装焊接。钢板有薄有厚，薄的只有1.5mm，厚的达到40mm，甚至更薄或更厚；型钢有不同规格。拼装时有对接、搭接、直角角接、斜角接。形成的接头有对接接头、搭接接头、T形接头、塞焊接头、槽焊接头、电阻点焊接头。与此相应的焊缝有对接焊缝、角焊缝等。为了达到焊透的目的，采用了开坡口、留间隙、加垫板、双面焊、单面焊双面成形等方法。坡口的形状有I形、V形、J形、U形等，还有部分焊透的坡口。这样就增加了节点构造和接头形式的多样性。

如果在工厂车间内加工制作，具有多种辅助设施，焊接操作大部分可在平焊位置进行；如果是在工程现场安装中，难免要进行横焊、立焊，甚至仰焊，这就要求焊工掌握全位置焊接的操作技能。

在节点构造设计时，应注意以下几点：

- 1) 尽量减少焊缝的数量和尺寸。
- 2) 焊缝的布置应对称于构件截面的中轴。

- 3) 便于焊接操作, 避免在仰焊位置施焊。
- 4) 采用刚性较小的节点形式, 避免焊缝密集和双向、三向相交。
- 5) 焊缝位置避开高应力区。
- 6) 根据不同焊接工艺方法, 合理选用坡口形状和尺寸。

### 1.3.2 焊接方法及焊透种类

焊接方法及焊透种类的代号见表 1-2。

表 1-2 焊接方法及焊透种类的代号

代 号	焊 接 方 法	焊 透 种 类
MC	焊条电弧焊接	完全焊透焊接
MP		部分焊透焊接
CC	气体保护电弧焊接 自保护电弧焊接	完全焊透焊接
GP		部分焊透焊接
SC	埋弧焊接	完全焊透焊接
SP		部分焊透焊接

### 1.3.3 接头形式及坡口形状

接头形式及坡口形状的代号见表 1-3。

表 1-3 接头形式及坡口形状的代号

接 头 形 式		坡 口 形 状	
代 号	名 称	代 号	名 称
B	对接接头	I	i 形坡口
		V	V 形坡口
U	U 形坡口	X	X 形坡口
		L	单边 V 形坡口
T	T 形接头	K	K 形坡口
		U <sup>①</sup>	U 形坡口
C	角接头	J <sup>①</sup>	单边 U 形坡口

① 当钢板厚度  $\geq 50\text{mm}$  时, 可采用 U 形或 J 形坡口。

### 1.3.4 焊接面及垫板种类

焊接面及垫板种类的代号见表 1-4。



每一个代号表示一个意思，聚合起来，表达一个焊接接头的含义。例如：焊条电弧焊、完全焊透、对接、I形坡口、背面加钢衬垫的单面焊接接头表示为MC-BI-B、1。

焊接技术人员和焊工应熟悉这些代号，做到按规定施焊。

### 1.3.8 管材连接接头的形式

管材连接接头形式示意图 1-2。

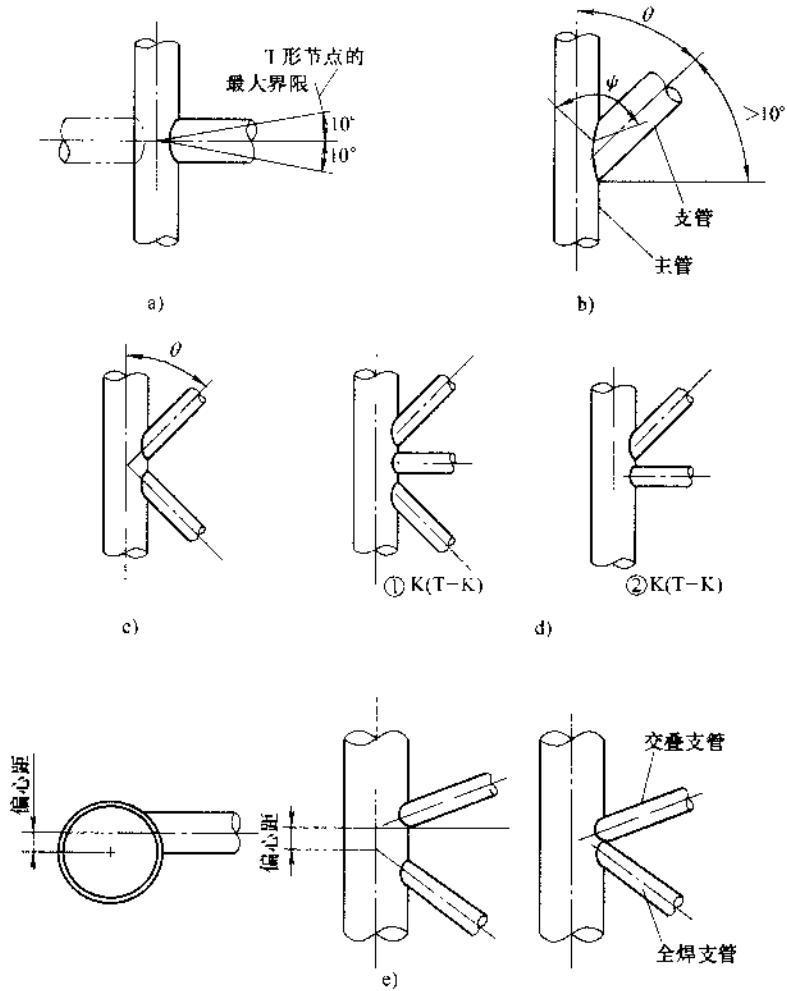


图 1-2 管材连接接头形式示意

a) T(X)形节点 b) Y形节点 c) K形节点 d) K形复合节点 e) 偏离中心的连接

### 1.3.9 不同焊接方法接头坡口形状和尺寸

不同焊接方法接头坡口形状和尺寸见附录 A。

## 1.4 焊缝计算厚度

焊缝实际厚度和有效长度直接影响焊接接头的承载力，焊工应根据设计图样中的规定施焊。焊接技术人员应进行技术交底，并对焊接施工进行技术指导和检查。

### 1.4.1 全焊透对接焊缝

全焊透的对接焊缝及对接与角接组合焊缝，双面焊时反面应清根后焊接；加垫板单面焊时，当坡口形状、尺寸符合附录 A 的表 A-1 至表 A-3 要求，可按全焊透计算。其计算厚度  $h_c$  应为坡口根部至焊缝表面(不计余高)的最短距离。

### 1.4.2 开坡口部分焊透对接焊缝

开坡口的部分焊透对接焊缝及对接与角接组合焊缝，其焊缝计算厚度  $h_c$  (见图 1-3) 应根据焊接方法、坡口形状及尺寸、焊接位置不同，分别对坡口深度  $H$  进行折减。部分焊透的对接焊缝及对接与角接组合焊缝计算厚度应符合表 1-7 的规定。

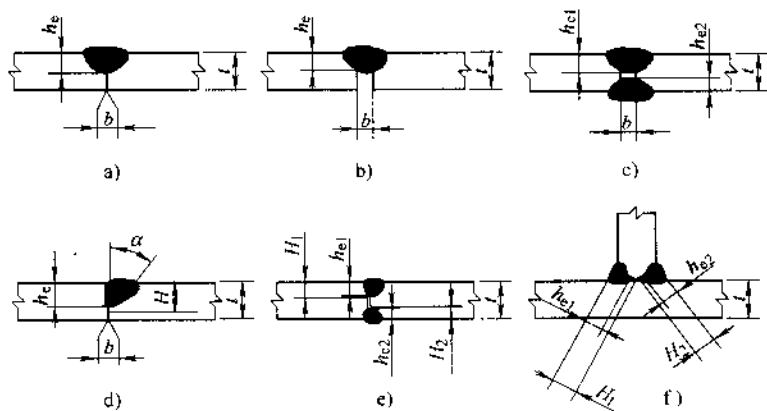


图 1-3 部分焊透的对接焊缝及对接与角接组合焊缝计算厚度示意

V 形坡口  $\alpha \geq 60^\circ$  及 U、J 形坡口，当坡口尺寸符合附录 A 的表 A-4 至表 A-6 规定时，焊缝的计算厚度  $h_c$  应为坡口深度  $H$ 。



表 1-7 部分焊透的对接焊缝及对接与角接组合焊缝计算厚度

示意图号	坡口形式	焊接方法	$t/\text{mm}$	$\alpha/(\text{°})$	$b/\text{mm}$	$p/\text{mm}$	焊接位置	焊缝计算厚度 $h_e/\text{mm}$
图 1-3a	I 形坡口单面焊	焊条电弧焊	3		1~1.5		全部	$t-1$
图 1-3b	I 形坡口单面焊	焊条电弧焊	$>3, \leq 6$		$\frac{t}{2}$		全部	$\frac{t}{2}$
图 1-3c	I 形坡口双面焊	焊条电弧焊	$>3, \leq 6$		$\frac{t}{2}$		全部	$\frac{3}{4}t$
图 1-3d	L 形坡口	焊条电弧焊	$\geq 6$	45°	0	3	全部	$H-3$
图 1-3d	L 形坡口	气体保护焊	$\geq 6$	45°	0	3	F, H	$H$
							V, O	$H-3$
图 1-3d	L 形坡口	埋弧焊	$\geq 12$	60°	0	6	F	$H$
							H	$H-3$
图 1-3e、f	K 形坡口	焊条电弧焊	$\geq 8$	45°	0	3	全部	$H_1 + H_2 - 6$
图 1-3e、f	K 形坡口	气体保护焊	$\geq 12$	45°	0	3	F, H	$H_1 + H_2$
							V, O	$H_1 + H_2 - 6$
图 1-3e、f	K 形坡口	埋弧焊	$\geq 20$	60°	0	6	F	$H_1 + H_2$

### 1.4.3 搭接角焊缝

搭接角焊缝及直角角焊缝的计算厚度  $h_e$  (见图 1-4) 应分别按下列公式计算:

1) 当间隙  $b \leq 1.5\text{mm}$  时,  $h_e = 0.7h_t$ 。

2) 当间隙  $1.5\text{mm} < b \leq 5\text{mm}$  时,  $h_e = 0.7(h_t - b)$ 。

塞焊和槽焊焊缝的计算厚度可按角焊缝计算方法确定。

其他各种形式焊缝, 包括斜角角焊缝、圆钢与平板、圆钢与圆钢之间焊缝, 圆管、矩形管各相贯接头焊缝计算厚度, 以及组焊构件焊接节点、各焊接节点形式, 详见现行行业标准 JGJ 81—2002 《建筑钢结构焊接技术规程》中有关规定。

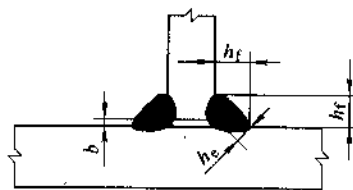


图 1-4 直角角焊缝及搭接角焊缝计算厚度示意

## 1.5 节点形式与焊缝设置

建筑钢结构的节点形式有很多, 对焊缝设置亦有不同要求。