

建筑结构设计计算条文与算例系列图书

钢结构设计 计算条文与算例

本书编委会 编

中国建筑工业出版社

建筑结构设计计算条文与算例系列图书

钢结构设计计算条文与算例

本书编委会 编

中国建筑工程出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构设计计算条文与算例/本书编委会编. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 12

(建筑结构设计计算条文与算例系列图书)

ISBN 978-7-112-17522-2

I. ①钢… II. ①本… III. ①钢结构—结构设计—工程计算 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 269732 号

本书依据《钢结构设计规范》GB 50017—2003、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 编写而成, 共分为 6 章, 内容包括: 概述, 构件的连接计算, 轴心受力构件计算, 受弯构件计算, 拉弯、压弯构件计算, 疲劳计算。

本书可供钢结构设计人员、施工人员使用, 也可作为建筑工程院校各专业教学参考用书。

责任编辑: 武晓涛 张 磊

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 刘梦然

建筑结构设计计算条文与算例系列图书

钢结构设计计算条文与算例

本书编委会 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟公司制版

北京盈盛恒通印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 9 $\frac{1}{4}$ 字数: 231 千字

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月第一次印刷

定价: 23.00 元

ISBN 978-7-112-17522-2

(26681)

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)

前 言

钢结构是以钢材制作为主的结构，是主要的建筑结构类型之一。钢结构是现代建筑工程中较普通的结构形式之一。钢结构作为绿色环保产品，与传统的混凝土结构相比较，具有自重轻、强度高、抗震性能好等优点。随着国民经济的发展和科学技术的进步，我国综合国力大为增强，钢材产量和质量大幅度提高，钢结构工程的发展前景大好。为了使广大土木工程技术人员在从业过程中能够快速掌握钢结构的设计理论与具体设计计算方法，熟悉计算内容、步骤及构造要求，同时在解决工程中的实际技术问题能够得心应手地加以应用，我们组织相关技术人员，以《钢结构设计规范》GB 50017—2003、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 等现行标准规范为依据，并结合多年工程实际经验，编写了本书。

在内容编写上，本书依据最新的标准规范进行编写，简明扼要，通俗易懂，深入浅出，计算实例类型全面，解题思路清晰易懂，紧密联系实际，全面而系统地介绍了钢结构构件的设计理论和计算方法。

在结构体系上，本书重点突出，详略得当，注意了相关知识的融贯性，并突出了整合性的编写原则。

本书在编写过程中，得到了有关技术人员和学者的热情帮助，在此表示感谢。由于时间和作者水平有限，尽管编者尽心尽力，反复推敲核实，但疏漏或不妥之处在所难免，恳请有关专家和读者提出宝贵意见，予以批评指正，以便作进一步修改和完善。

18		18
18		18
22		22
00		00
00		00
00		00
1	概述.....	1
1.1	钢结构设计指标.....	1
1.1.1	钢材强度标准值.....	1
1.1.2	钢材强度设计值.....	1
1.2	钢结构抗震验算.....	2
1.2.1	构件的抗震验算.....	2
1.2.2	节点的抗震验算.....	4
2	构件的连接计算.....	6
2.1	焊缝连接.....	6
2.1.1	焊缝的代号表示.....	6
2.1.2	焊缝的强度计算.....	14
2.2	对接焊缝计算.....	15
2.2.1	计算方法.....	15
2.2.2	计算实例.....	16
2.3	角焊缝计算.....	18
2.3.1	计算方法.....	18
2.3.2	计算实例.....	20
2.4	普通螺栓计算.....	25
2.4.1	计算方法.....	25
2.4.2	计算实例.....	28
2.5	高强度螺栓.....	36
2.5.1	计算方法.....	36
2.5.2	计算实例.....	37
3	轴心受力构件计算.....	41
3.1	构件的计算长度和长细比.....	41
3.2	轴心受拉构件计算.....	57
3.3	轴心受压构件的稳定.....	59
3.3.1	实腹式轴心压杆的整体稳定计算.....	59
3.3.2	轴心受压构件局部稳定计算.....	68
3.3.3	格构式轴心压杆整体稳定计算.....	71

3.4 柱头和柱脚构造计算	81
3.4.1 柱头的构造和计算	81
3.4.2 柱脚的构造和计算	83
4 受弯构件计算	90
4.1 强度及刚度计算	90
4.1.1 强度计算及实例	90
4.1.2 刚度计算及实例	94
4.2 稳定计算	97
4.2.1 整体稳定计算及实例	97
4.2.2 局部稳定计算及实例	102
5 拉弯、压弯构件计算	112
5.1 强度及刚度计算	112
5.1.1 强度计算及实例	112
5.1.2 刚度计算及实例	114
5.2 稳定计算	116
5.2.1 计算方法	116
5.2.2 计算实例	120
6 疲劳计算	134
6.1 疲劳计算的方法	134
6.1.1 常幅疲劳计算	134
6.1.2 变幅疲劳计算	137
6.1.3 吊车梁和吊车桁架疲劳计算	137
6.2 疲劳计算实例	138
6.2.1 常幅疲劳计算实例	138
6.2.2 变幅疲劳计算实例	139
6.2.3 吊车梁及吊车桁架疲劳计算实例	140
参考文献	142

表 1-1

(N/mm²) 钢材强度设计值

牌号	厚度或直径 (mm)	抗拉、抗压或抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
Q235	≤ 16	215	125	325
	$> 16 \sim 40$	205	120	
	$> 40 \sim 60$	200	115	
	$> 60 \sim 100$	190	110	
Q345	≤ 16	310	180	400
	$> 16 \sim 35$	295	170	
	$> 35 \sim 50$	265	155	
	$> 50 \sim 100$	250	145	
Q390	≤ 16	350	205	415
	$> 16 \sim 35$	335	190	
	$> 35 \sim 50$	315	180	
	$> 50 \sim 100$	295	170	
Q420	≤ 16	380	220	440
	$> 16 \sim 35$	360	210	
	$> 35 \sim 50$	340	195	
	$> 50 \sim 100$	325	185	

1 概述

1.1 钢结构设计指标

1.1.1 钢材强度标准值

材料强度标准值是结构设计时采用的材料强度的基本代表值，根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 的规定，取材料强度实测值总体中，具有 95% 以上的保证率为材料强度的标准值。这意味着材料强度标准值是一个可能出现偏低强度的强度指标，即存在 5% 的风险。

热轧钢的强度标准值取原冶金部门颁布的屈服强度废品限值，其保证率为 97.73%。所谓屈服强度废品限值是指冶金部为避免质量过低的钢材出厂，规定在每 60t 钢材或每炉钢材中抽取两个试件，每个试件的屈服强度应不低于规定的废品限值，否则认为是废品。

1.1.2 钢材强度设计值

(1) 钢材的强度设计值，应根据钢材厚度或直径按表 1-1 采用。钢铸件的强度设计值应按表 1-2 采用。

钢材的强度设计值 (N/mm²)

表 1-1

钢材		抗拉、抗压或抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
牌号	厚度或直径 (mm)			
Q235 钢	≤ 16	215	125	325
	$> 16 \sim 40$	205	120	
	$> 40 \sim 60$	200	115	
	$> 60 \sim 100$	190	110	
Q345 钢	≤ 16	310	180	400
	$> 16 \sim 35$	295	170	
	$> 35 \sim 50$	265	155	
	$> 50 \sim 100$	250	145	
Q390 钢	≤ 16	350	205	415
	$> 16 \sim 35$	335	190	
	$> 35 \sim 50$	315	180	
	$> 50 \sim 100$	295	170	
Q420 钢	≤ 16	380	220	440
	$> 16 \sim 35$	360	210	
	$> 35 \sim 50$	340	195	
	$> 50 \sim 100$	325	185	

注：表中厚度系指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件系指截面较厚板件的厚度。

钢铸件的强度设计值 (N/mm²)

表 1-2

钢 号	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
ZG200~400	155	90	260
ZG230~450	180	105	290
ZG270~500	210	120	325
ZG310~570	240	140	370

(2) 计算下列情况的结构构件或连接时, 前述规定的强度设计值应乘以相应的折减系数。

1) 单面连接的单角钢。按轴心受力计算强度和连接, 取 0.85。按轴心受压计算稳定性时, 对等边角钢, 取 $0.6 + 0.015\lambda$, 但不大于 1.0; 对短边相连的不等边角钢, 取 $0.5 + 0.0025\lambda$, 但不大于 1.0; 对长边相连的不等边角钢, 取 0.7。 λ 为长细比, 对中间无联系的单角钢压杆, 应按最小回转半径计算, 当 $\lambda < 20$ 时, 取 $\lambda = 20$ 。

2) 无垫板的单面施焊对接焊缝取 0.85。

3) 施工条件较差的高空安装焊缝和铆钉连接取 0.90。

4) 沉头和半沉头铆钉连接取 0.80。

当以上几种情况同时存在时, 其折减系数应连乘。

1.2 钢结构抗震验算

1.2.1 构件的抗震验算

我国抗震规范对高层钢结构中心支撑框架和偏心支撑框架的抗震计算作了规定。对于中心支撑的斜杆可按端部铰接杆件进行分析 (见图 1-1)。

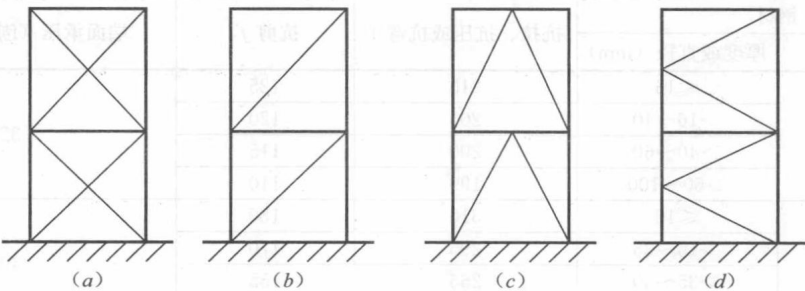


图 1-1 中心支撑类型

当斜杆轴线偏离梁柱轴线交点不超过支撑杆件的宽度时, 仍可按支撑框架分析, 但应考虑由此产生的附加弯矩。支撑斜杆的受压承载力应按下式验算:

$$N/(\varphi A_{br}) \leq \psi f / \gamma_{RE} \tag{1-1}$$

$$\psi = 1 / (1 + 0.35\lambda_n) \tag{1-2}$$

$$\lambda_n = (\lambda / \pi) \sqrt{f_{ay} / E} \tag{1-3}$$

式中 N ——杆的轴向力设计值;

A_{br} ——支撑斜杆的截面面积；

φ ——受压构件的稳定系数；

ϕ ——环荷载时的强度降低系数；

λ 、 λ_n ——支撑斜杆的长细比和正则化长细比；

E ——斜杆材料的弹性模量；

f 、 f_{ay} ——分别为支撑斜杆的抗拉强度设计值和屈服强度；

γ_{RE} ——支撑承载力抗震调整系数，取 0.85。

偏心支撑框架的每根支撑应至少一端与梁连接，这样任意一框架横梁上既有柱与梁的节点，又有支撑与梁的节点。这些节点，将该横梁划分为许多所谓的消能梁段（见图 1-2）。消能梁段的受剪承载力应按下列规定验算：

当 $N \leq 0.5Af$ 时：

$$V \leq \varphi V_l / \gamma_{RE} \quad (1-4)$$

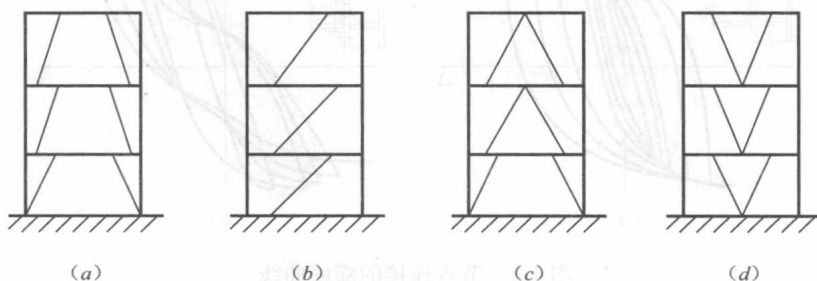


图 1-2 偏心支撑类型

$V_l = 0.58A_w f_{ay}$ 或 $V_l = 2M_{lp}/a$ ，取较小值。

$$A_w = (h - 2t_f)t_w \quad (1-5)$$

$$M_{lp} = fW_p \quad (1-6)$$

当 $N > 0.15Af$ 时：

$$V \leq \varphi V_{lc} / \gamma_{RE} \quad (1-7)$$

$V_{lc} = 0.58A_w f_{ay} \sqrt{1 - [N/(Af)]^2}$ 或 $V_{lc} = 2.4M_{lp} [1 - N/(Af)]/a$ ，取较小值。

式中 φ ——系数，取 0.9；

V 、 N ——分别为消能梁段的剪力设计值和轴力设计值；

V_l 、 V_{lc} ——分别为消能梁段的受剪承载力和考虑轴力影响的受剪承载力；

M_{lp} ——消能梁段的全塑性受弯承载力；

a 、 h 、 t_w 、 t_f ——分别为消能梁段的长度、截面高度、腹板厚度和翼缘厚度；

A 、 A_w ——分别为消能梁段的截面面积和腹板截面面积；

W_p ——消能梁段的塑性截面模量；

f 、 f_{ay} ——分别为消能梁段钢材的抗拉强度设计值和屈服强度；

γ_{RE} ——消能梁段承载力抗震调整系数，取 1.0。

偏心支撑框架构件的内力设计值，应按下列要求进行调整：

(1) 偏心支撑斜杆的内力设计值，应取与支撑斜杆相连接的消能梁段达到受剪承载力时支撑斜杆内力乘以增大系数，其值在 8 度时应大于 1.8，9 度时应大于 1.9；

(2) 位于消能梁段同一跨的框架内力设计值, 应取当消能梁段达到受剪承载力时框架梁内力乘以增大系数, 其值在 8 度时应大于 1.6, 9 度时应大于 1.7;

(3) 偏心支撑框架柱的内力设计值, 应取当消能梁段达到受剪承载力时柱内力乘以增大系数, 其值在 8 度时应大于 1.6, 9 度时应大于 1.7。

1.2.2 节点的抗震验算

不同设计形式的梁柱节点在循环荷载作用下的滞回性能与下列因素相关: 节点域钢板厚度, 节点域周围梁柱构件翼缘、腹板及加劲肋的约束, 节点域的连接形式(焊接、高强度螺栓的刚性连接和用角钢螺栓连接的柔性连接)。节点连接的滞回曲线如图 1-3 所示。

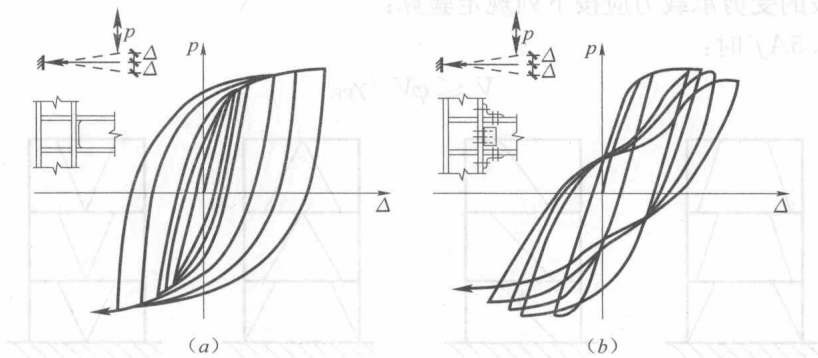


图 1-3 节点连接的滞回曲线

钢框架节点处的抗震承载力验算, 应符合下列规定:

(1) 节点左右梁端和上下柱端的全塑性承载力, 除下列情况之一外, 应符合下式要求:

- 1) 柱所在楼层的受剪承载力比相邻上一层的受剪承载力高出 25%。
- 2) 柱轴压比不超过 0.4, 或 $N_2 \leq \varphi A_c f$ (N_2 为 2 倍地震作用下的组合轴力设计值)。
- 3) 与支撑斜杆相连的节点。

等截面梁:

$$\sum W_{pc} (f_{yc} - N/A_c) \geq \eta \sum W_{pb} f_{yb} \quad (1-8)$$

端部翼缘变截面的梁:

$$\sum W_{pc} (f_{yc} - N/A_c) \geq \sum (\eta W_{pbl} f_{yb} + V_{bp} s) \quad (1-9)$$

式中 W_{pc} 、 W_{pb} ——分别为交汇于节点的柱和梁的塑性截面模量;

W_{pbl} ——梁塑性铰所在截面的梁塑性截面模量;

f_{yc} 、 f_{yb} ——分别为柱和梁的钢材屈服强度;

N ——地震组合的柱轴力;

A_c ——框架柱的截面面积;

η ——强柱系数, 一级取 1.15, 二级取 1.10, 三级取 1.05;

V_{bp} ——梁塑性铰剪力;

s ——塑性铰至柱面的距离, 塑性铰可取梁端部变截面翼缘的最小处。

(2) 节点域的屈服承载力应符合下列要求:

$$\psi(M_{pb1} + M_{pb2})/V_p \leq (4/3)f_{yv} \tag{1-10}$$

工字形截面柱：

$$V_p = h_{b1}h_{c1}t_w \tag{1-11}$$

箱形截面柱：

$$V_p = 1.8h_{b1}h_{c1}t_w \tag{1-12}$$

圆管截面柱：

$$V_p = (\pi/2)b_{b1}h_{c1}t_w \tag{1-13}$$

(3) 工字形截面柱和箱形截面柱的节点域应按下列公式验算：

$$t_w \geq (h_b + h_c)/90 \tag{1-14}$$

$$(M_{b1} + M_{b2})/V_p \leq (4/3)f_v/\gamma_{RE} \tag{1-15}$$

式中 M_{pb1} 、 M_{pb2} ——分别为节点域两侧梁的全塑性受弯承载力；
 V_p ——节点域的体积；
 f_v ——钢材的抗剪强度设计值；
 f_{yv} ——钢材的屈服抗剪强度，取钢材屈服强度的 0.58 倍；
 ψ ——折减系数，三、四级取 0.6，一、二级取 0.7；
 h_{b1} 、 h_{c1} ——分别为梁翼缘厚度中点间的距离和柱翼缘（或钢管直径线上管壁）厚度中点间的距离；
 t_w ——柱在节点域的腹板厚度；
 M_{b1} 、 M_{b2} ——分别为节点域两侧梁的弯矩设计值；
 γ_{RE} ——节点域承载力抗震调整系数，取 0.75。

1-5 表

抗震等级	抗震等级
一级	抗震等级
二级	抗震等级
三级	抗震等级
四级	抗震等级
注：抗震等级由设计人员根据抗震等级表（GB 50011-2010）第 6.1.2 条确定。	抗震等级

2-2 表 抗震等级与抗震等级表（GB 50011-2010）第 6.1.2 条

2-3 表

抗震等级

抗震等级	抗震等级	抗震等级	抗震等级
一级	抗震等级	抗震等级	抗震等级
二级	抗震等级	抗震等级	抗震等级
三级	抗震等级	抗震等级	抗震等级
四级	抗震等级	抗震等级	抗震等级

2 构件的连接计算

2.1 焊缝连接

2.1.1 焊缝的代号表示

焊缝符号是工程语言的一种，是用符号在焊接结构设计的图样中标注出焊缝形式、焊缝和坡口的尺寸及其他焊接要求。我国的焊缝符号是由国家标准《焊缝符号表示法》GB/T 324—2008 统一规定的。

1. 焊缝符号

完整的焊缝符号包括基本符号、指引线、补充符号、尺寸符号及数据等。其详细内容如下：

(1) 常用焊接方法的代号：《焊接及相关工艺方法代号》GB/T 5185—2005 规定各种焊接方法用数字代号表示。常用焊接方法的数字代号见表 2-1。

常用焊接方法的数字代号

表 2-1

焊接方法	数字代号
焊条电弧焊	111
氧乙炔焊	311
钨极惰性气体保护电弧焊 (TIG)	141
埋弧焊	12
电渣焊	72
熔化极气体保护电弧焊	MIG: 熔化极惰性气体保护电弧焊 131 MAG: 熔化极非惰性气体保护电弧焊 135

(2) 基本符号：基本符号表示焊缝横截面的基本形式或特征，见表 2-2。

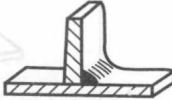
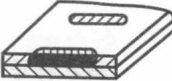
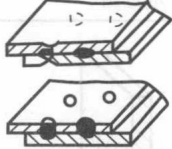
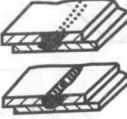
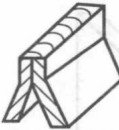
基本符号

表 2-2

序号	名称	示意图	符号
1	卷边焊缝 (卷边完全熔化)		八
2	I 形焊缝		//
3	V 形焊缝		√
4	单边 V 形焊缝		√

2.1 焊缝连接

续表

序号	名称	示意图	符号
5	带钝边 V 形焊缝		
6	带钝边单边 V 形焊缝		
7	带钝边 U 形焊缝		
8	带钝边 J 形焊缝		
9	封底焊缝		
10	角焊缝		
11	塞焊缝或槽焊缝		
12	点焊缝		
13	缝焊缝		
14	陡边 V 形焊缝		
15	陡边单 V 形焊缝		
16	端焊缝		
17	堆焊缝		

2 构件的连接计算

续表

序号	名称	示意图	符号
18	平面连接 (钎焊)		=
19	斜面连接 (钎焊)		≡
20	折叠连接 (钎焊)		≈

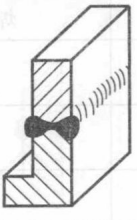
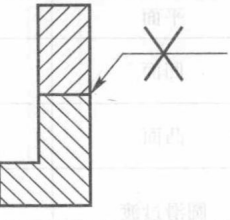
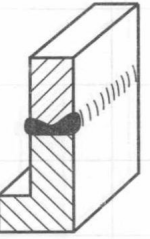
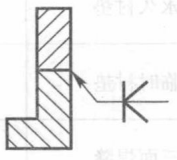
基本符号的应用见表 2-3。

基本符号的应用示例

表 2-3

序号	符号	示意图	标注示例
1			
2			
3			

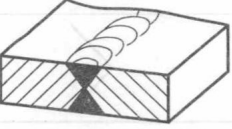
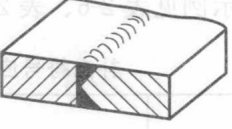
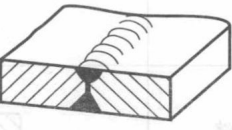
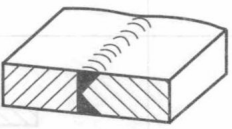
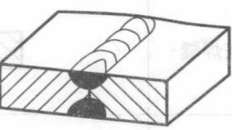
续表

序号	符号	示意图	标注示例
4			
5			

(3) 基本符号的组合：标注双面焊缝或接头时，基本符号可以组合使用，见表 2-4。

基本符号的组合

表 2-4

序号	名称	示意图	符号
1	双面 V 形焊缝 (X 焊缝)		
2	双面单 V 形焊缝 (K 焊缝)		
3	带钝边的双面 V 形焊缝		
4	带钝边的双面单 V 形焊缝		
5	双面 U 形焊缝		

(4) 补充符号：补充符号是用来补充说明有关焊缝或接头的某些特征（诸如表面形状、衬垫、焊缝分布、施焊地点等）而采用的符号，见表 2-5。

2 构件的连接计算

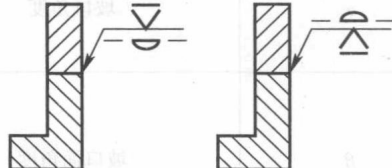
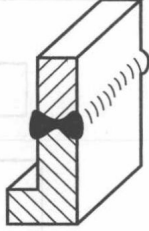
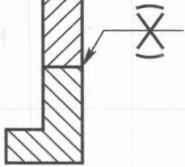
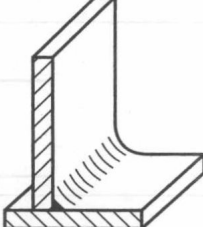
补充符号			表 2-5
序号	名称	符号	说明
1	平面		焊缝表面通常经过加工后平整
2	凹面		焊缝表面凹陷
3	凸面		焊缝表面凸起
4	圆滑过渡		焊趾处过渡圆滑
5	永久衬垫		衬垫永久保留
6	临时衬垫		衬垫在焊接完成后拆除
7	三面焊缝		三面带有焊缝
8	周围焊缝		沿着工件周边施焊的焊缝 标注位置为基准线与箭头线的交点处
9	现场焊缝		在现场焊接的焊缝
10	尾部		可以表示所需的信息

补充符号的应用及标注示例见表 2-6、表 2-7。

补充符号应用示例			表 2-6
序号	名称	示意图	符号
1	平齐的 V 形焊缝		
2	凸起的双面 V 形焊缝		
3	凹陷的角焊缝		
4	平齐的 V 形焊缝和封底焊缝		
5	表面过渡平滑的角焊缝		

补充符号标注示例

表 2-7

序号	符号	示意图	标注示例
1			
2			
3			

(5) 指引线：指引线由箭头线和基准线（实线和虚线）组成，如图 2-1 所示。

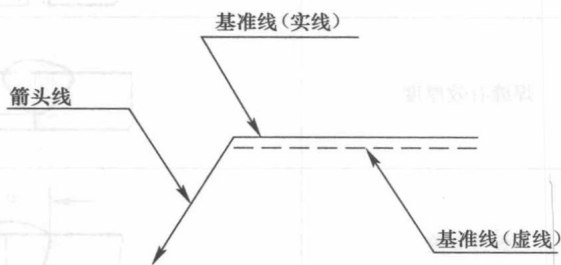


图 2-1 指引线

(6) 尺寸符号：必要时，可以在焊缝符号中标注尺寸。尺寸符号见表 2-8。

尺寸符号

表 2-8

符号	名称	示意图
δ	工件厚度	