



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3070—2005

代替 SH 3070—1995

石油化工管式炉钢结构设计规范

Specification for design of steel structure
of tubular heater in petrochemical industry



2006-01-17 发布

2006-07-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言.....III

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 设计原则.....2

4 设计基本规定.....2

4.1 材料.....2

4.2 设计指标.....3

4.3 结构或构件变形的规定..... 4

4.4 一般设计规定..... 4

5 荷载和作用.....6

5.1 荷载与作用的分类..... 6

5.2 风荷载..... 6

5.3 平台活荷载.....9

5.4 雪荷载.....9

5.5 炉顶风机当量荷载.....9

5.6 地震作用.....9

6 荷载和作用效应计算.....10

6.1 荷载效应计算.....10

6.2 地震作用效应与其他荷载效应组合计算.....10

7 构件强度和稳定性计算.....10

7.1 一般规定.....10

7.2 受弯构件.....10

7.3 轴心受力构件.....12

7.4 拉弯构件和压弯构件.....15

7.5 薄壁筒体.....19

7.6 构件的计算长度.....20

8 连接计算.....20

8.1 一般规定.....20

8.2 焊缝连接.....20

8.3 螺栓（普通螺栓等）连接.....22

8.4 梁与柱的刚性连接.....24

8.5 连接节点处板件的计算.....26

8.6 锚栓（地脚螺栓）连接.....27

9 构造要求.....28

9.1 一般构造.....28

9.2 焊缝连接.....29

9.3 螺栓连接和锚栓.....31

9.4 圆筒炉.....32

9.5 箱式炉.....32

9.6 烟囱和烟风道.....32

9.7 桁架.....33

9.8 提高寒冷地区结构抗脆断能力的措施.....33

9.9 制作、运输和安装.....34

9.10 防护和隔热.....34

附录A (资料性附录) 寒冷地区冬季计算温度.....35

附录B (规范性附录) 风荷载计算.....37

附录C (资料性附录) 螺栓和锚栓的有效面积.....41

附录D (资料性附录) 烟囱共振时最大位移.....42

用词说明.....43

附: 条文说明.....45

前 言

本规范是根据原国家经贸委“关于下达 2003 年行业标准项目计划的通知”(国经贸厅行业[2003]22 号),由中国石化集团洛阳石油化工工程公司对原 SH/T 3070—1995《石油化工管式炉钢结构设计规范》进行修订而成。

本规范共分 9 章和 4 个附录。其中附录 B 为规范性附录,附录 A、C、D 为资料性附录。

本规范与 SH/T 3070—1995《石油化工管式炉钢结构设计规范》(上一版本)相比,主要变化如下:

- 增加了“前言”和“规范性引用文件”内容,修订了“范围”内容,并指出了本规范不适用于需要验算疲劳的钢结构;
- 取消了原规范“主要符号”一章;
- 增加了“设计原则”一章,本规范不再采用容许应力法设计,而采用以概率论为基础的极限状态设计方法,以可靠度指标度量结构构件的可靠度,以荷载、材料性能等代表值、结构重要性系数、分项系数、组合值系数的设计表达式进行计算;
- 在“材料”中,对钢结构钢材提出了明确的要求;
- 在“设计指标”中,按照国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定,修改了钢材和连接的设计指标,并增加了温度作用对设计指标的折减;
- 修改了原规范“荷载和荷载效应组合”的内容,增加了“荷载和作用”和“荷载和作用效应计算”:荷载和荷载效应组合计算按照国家标准 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》的规定;地震作用效应与其他荷载效应组合计算按照国家标准 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》的规定;自支承烟囱、烟风道按照国家标准 GB 50051—2002《烟囱设计规范》的规定;
- 在“受弯构件”中,增加了局部承压强度的计算;
- 在“轴心受力构件”中,增加了采用高强度螺栓摩擦型连接的计算、减小轴心受压构件自由长度的侧向支撑的支撑力计算方法;
- 在“薄壁筒体”中,按照国家标准 GB 50051—2002《烟囱设计规范》的规定,修改了局部稳定计算公式;
- 在“构件的计算长度”中,按照国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定,增加了构件的计算长度计算方法;
- 在“连接计算”中,按照国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定,增加了“梁与柱的刚性连接”和“连接节点处板件的计算”;
- 在“构造要求”中,把“焊缝连接”和“螺栓连接和锚栓”明确列出,在“圆筒炉”和“箱式炉”中增加了抗震构造,增加了“桁架”、“提高寒冷地区结构抗脆断能力的措施”、“制作、运输和安装”及“防护和隔热”内容;
- 取消了“附录 B 轴心受压构件稳定系数”、“附录 C 欧拉临界力系数”、“附录 D 有侧移框架柱的计算长度系数 μ ”,增加了“附录 A 寒冷地区冬季计算温度”和“附录 D 烟囱共振时最大位移”;

SH/T 3070—2005

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由中国石油化工集团公司设备设计技术中心站管理，由中国石化集团洛阳石油化工工程公司负责解释。

本规范在实施过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和有关资料提供给管理单位和主编单位，以便今后修订时参考。

管理单位：中国石油化工集团公司设备设计技术中心站

通讯地址：北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码：100101

电 话：010—84877587

传 真：010—84878856

主编单位：中国石化集团洛阳石油化工工程公司

通讯地址：河南省洛阳市中州西路27号

邮政编码：471003

主要起草人：杨利然 李绍明 张海燕 李法海

本规范 1995 年发布，本次为第 1 次修订。

石油化工管式炉钢结构设计规范

1 范围

本规范规定了钢结构的设计原则、荷载和作用效应计算、构件和连接的计算及钢结构的构造要求等。

本规范适用于石油化工管式炉（包括圆筒炉、箱式炉）及其烟囱、烟风道系统的钢结构（以下简称钢结构）设计，不适用于需要验算疲劳的钢结构。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，然而，鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

GB/T 700 碳素结构钢

GB 985 手工电弧焊焊接接头基本型式与尺寸

GB 986 埋弧焊焊接接头基本型式与尺寸

GB/T 1228 钢结构用高强度大六角头螺栓

GB/T 1229 钢结构用高强度大六角头螺母

GB/T 1230 钢结构用高强度垫圈

GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 3632 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副

GB/T 3633 钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 技术条件

GB 4053.1 固定式钢直梯安全技术条件

GB 4053.2 固定式钢斜梯安全技术条件

GB 4053.3 固定式工业防护栏杆安全技术条件

GB 4053.4 固定式工业钢平台

GB/T 5117 碳钢焊条

GB/T 5118 低合金钢焊条

GB/T 5313 厚度方向性能钢板

GB/T 5780 六角头螺栓 C级

GB/T 5782 六角头螺栓

GB/T 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级

GB 50009—2001 建筑结构荷载规范

GB 50011 建筑抗震设计规范

GB 50017—2003 钢结构设计规范

GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范

GB 50051—2002 烟囱设计规范

GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范

SH 3022 石油化工设备和管道涂料防腐蚀技术规范

SH/T 3036 一般炼油装置用火焰加热炉

3 设计原则

3.1 本规范采用以概率论为基础的极限状态设计方法,以可靠度指标度量结构构件的可靠度,以荷载、材料性能等代表值、结构重要性系数、分项系数、组合值系数的设计表达式进行计算。

3.2 承重钢结构应按下列承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计:

- a) 承载能力极限状态包括:构件和连接的强度破坏和因过度变形而不适于继续承载,结构和构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆;
- b) 正常使用极限状态包括:影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形,影响正常使用的振动,影响正常使用或耐久性能的局部损坏。

3.3 石油化工管式炉及其烟囱、烟风道系统的钢结构安全等级应取为二级。

3.4 按承载能力极限状态设计钢结构时,应考虑荷载效应的基本组合,必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合。

3.5 按正常使用极限状态设计钢结构时,应考虑荷载效应的标准组合。

3.6 对于直接承受动力荷载的结构,在计算强度和稳定性时,动力荷载设计值应乘以动力系数。

3.7 钢结构的内力宜按结构静力学方法进行弹性分析。在进行构件强度、稳定验算时,不考虑截面部分发展塑性变形。

4 设计基本规定

4.1 材料

4.1.1 钢结构构件,宜选用 Q235 B 级钢或 Q345 钢制作,其质量应分别符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定。

4.1.2 下列情况的承重结构和构件不应采用 Q235 沸腾钢:

- a) 建厂区域冬季计算温度(参见附录 A)低于 -20°C 的直接承受动力荷载或振动荷载但可不验算疲劳的结构以及承受静力荷载的受弯及受拉的重要承重结构;
- b) 建厂区域冬季计算温度等于或低于 -30°C 的所有承重结构。

4.1.3 承重结构的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证,对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材尚应具有冷弯试验的合格保证。

4.1.4 焊接连接的钢结构,当板厚大于 40 mm 时,为防止钢材的层状撕裂而采用的 Z 向钢,其材质应符合 GB/T 5313 的规定。

4.1.5 钢结构的连接材料,应符合下列要求:

- a) 手工焊接采用的焊条,应符合 GB/T 5117 或 GB/T 5118 的规定;焊条型号应与主体金属力学性能相适应;

- b) 自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和焊剂应与主体金属力学性能相适应;
- c) 普通螺栓应符合 GB/T 5780 和 GB/T 5782 的规定;
- d) 高强度螺栓、螺母、垫圈应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 或 GB/T 3632、GB/T 3633 的规定;
- e) 锚栓可采用 GB/T 700 中规定的 Q235 钢或 GB/T 1591 中规定的 Q345 钢制成。

4.1.6 除上述规定外,其他钢结构的材料选用应符合 GB 50017—2003 的规定。

4.2 设计指标

4.2.1 当设计金属温度小于或等于 100℃ 时,钢材和连接的强度设计值及钢材的弹性模量应符合 GB 50017—2003 的规定。

4.2.2 当设计金属温度大于 100℃ 时, Q235 钢和 Q345 钢材及其焊缝在温度作用下的强度设计值应按公式 (1)、公式 (2)、公式 (3) 计算:

$$f_t = \gamma_s f \dots\dots\dots (1)$$

$$f_{vt} = \gamma_s f_v \dots\dots\dots (2)$$

$$f_{xt}^w = \gamma_s f_x^w \dots\dots\dots (3)$$

上述式中:

- f_t —— 钢材在 t 温度作用下的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;
- f_{vt} —— 钢材在 t 温度作用下的抗剪强度设计值;
- f_{xt}^w —— 焊缝在 t 温度作用下各种受力状态的强度设计值,下标字母 x 为字母 c (抗压)、 t (抗拉)、 v (抗剪)、 f (角焊缝强度) 的代表;
- γ_s —— 钢材及焊缝在 t 温度作用下强度设计值的折减系数,按表 1 的规定采用;
- f 、 f_v 、 f_x^w —— 分别为钢材和焊缝在作用温度小于或等于 100℃ 时的强度设计值。

表 1 钢材及焊缝强度设计值的温度折减系数 γ_s

钢材牌号	在下列温度作用下的折减系数 γ_s						
	$\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$	250 $^{\circ}\text{C}$	300 $^{\circ}\text{C}$	350 $^{\circ}\text{C}$	400 $^{\circ}\text{C}$
Q235, Q345	1.00	0.92	0.88	0.83	0.78	0.72	0.65
注: 温度为中间值时, 采用线性插入法计算。							

4.2.3 当设计金属温度大于 100℃ 时, 钢材在温度作用下的弹性模量应按公式 (4) 计算:

$$E_t = \beta_d E \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- E_t —— 钢材在温度作用下的弹性模量;
- β_d —— 钢材在温度作用下弹性模量的折减系数, 按表 2 计算;
- E —— 钢材在作用温度小于或等于 100℃ 时的弹性模量。

表 2 钢材弹性模量的温度折减系数 β_d

温度, $^{\circ}\text{C}$	≤ 100	150	200	250	300	350	400
β_d	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.88	0.83
注: 温度为中间值时, 采用线性插入法计算。							

4.2.4 除上述规定外, 其他设计指标均应执行 GB 50017—2003 的规定。

4.3 结构或构件变形的规定

4.3.1 受弯构件的允许挠度见表 3。

4.3.2 框架柱的顶端允许侧移值应小于柱全长的 $1/450$ 。

4.3.3 由风荷载产生的烟囱挠度应不大于烟囱高度的 $1/200$ 。挠度应按壳壁厚度中仅含有 50% 以下的腐蚀裕度计算, 腐蚀裕度按不考虑衬里计。

表 3 受弯构件的允许挠度

构 件 名 称	允 许 挠 度
吊炉管大梁	$L/400$
主框架大梁	$L/400$
圆筒炉对流室底大梁	$L/450$
烟囱底座梁	$L/400$
炉底梁	$L/360$
其他梁	$L/250$
操作棚檩条	$L/200$
炉顶风机底座梁	$L/400$
注: L 为受弯构件跨度 (悬臂梁为悬伸长度的两倍)。	

4.4 一般设计规定

4.4.1 各类构件的允许长细比, 应符合下列规定:

- a) 受压构件的允许长细比, 见表 4;
- b) 受拉构件的允许长细比应小于 300。

表 4 受压构件的允许长细比

构 件 名 称	允 许 长 细 比
炉底柱、框架柱	120
圆筒炉的筒体柱、桁架弦杆及腹杆	150
框架柱间的联系杆	200

4.4.2 用填板连接而成的双角钢或双槽钢轴心受力构件, 可按实腹式构件进行计算, 但填板间的距离应符合下列规定:

- a) 对受压构件不超过 $40i$;
- b) 对受拉构件不超过 $80i$;

- c) i 为截面回转半径, 应按下列规定采用:
- 1) 当为图 1 a)、b) 所示的双角钢或双槽钢时, 取一个角钢或一个槽钢与填板平行的形心轴的回转半径;
 - 2) 当为图 1 c) 所示的十字形截面时, 取一个角钢的最小回转半径;
- d) 受压构件的两个侧向支承点之间的填板数不得少于 2 个。

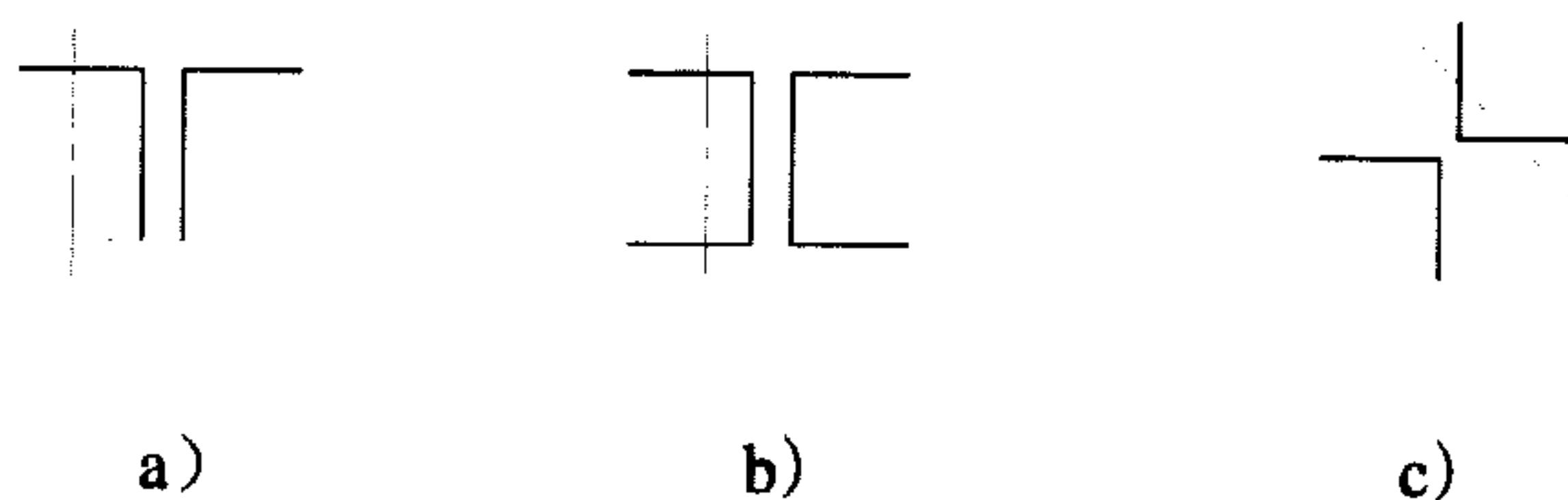


图 1 计算截面回转半径的轴线示意

4.4.3 采用缀板连接的格构式轴心受压构件, 计算分肢最小刚度轴的长细比 λ_1 时, 对焊接连接的缀板, 取相邻两缀板间的净距离为计算长度; 对螺栓连接的缀板, 取相邻两缀板边缘螺栓的距离为计算长度。其 λ_1 值不应大于构件两个方向长细比 (对虚轴取换算长细比) 的较大值 λ_{\max} 的 0.5 倍 (当 $\lambda_{\max} < 50$ 时, 取 $\lambda_{\max} = 50$), 且不应大于 40。

4.4.4 圆筒炉钢结构, 应符合下列要求:

- a) 筒体直径小于 4m 时, 宜采用无立柱的筒体结构;
- b) 筒体直径等于或大于 4m 时, 应采用有立柱的筒体结构, 立柱的根数应为偶数, 相邻两立柱之间的筒体外壁弧长宜为 1.6m~2.7m;
- c) 筒体中间环梁上下间距, 宜为 2m~3m;
- d) 筒体直径大于 4m 时, 筒体上、下口环梁宜为矩形空腹组合截面;
- e) 有立柱的筒体, 筒体壁厚不应小于 5mm; 无立柱的筒体壁厚, 不应小于 6mm;
- f) 对流室钢结构, 当采用持力斜撑承重时 (图 2), 斜撑与竖向或水平杆之间的夹角, 宜为 $35^\circ \sim 55^\circ$ 。

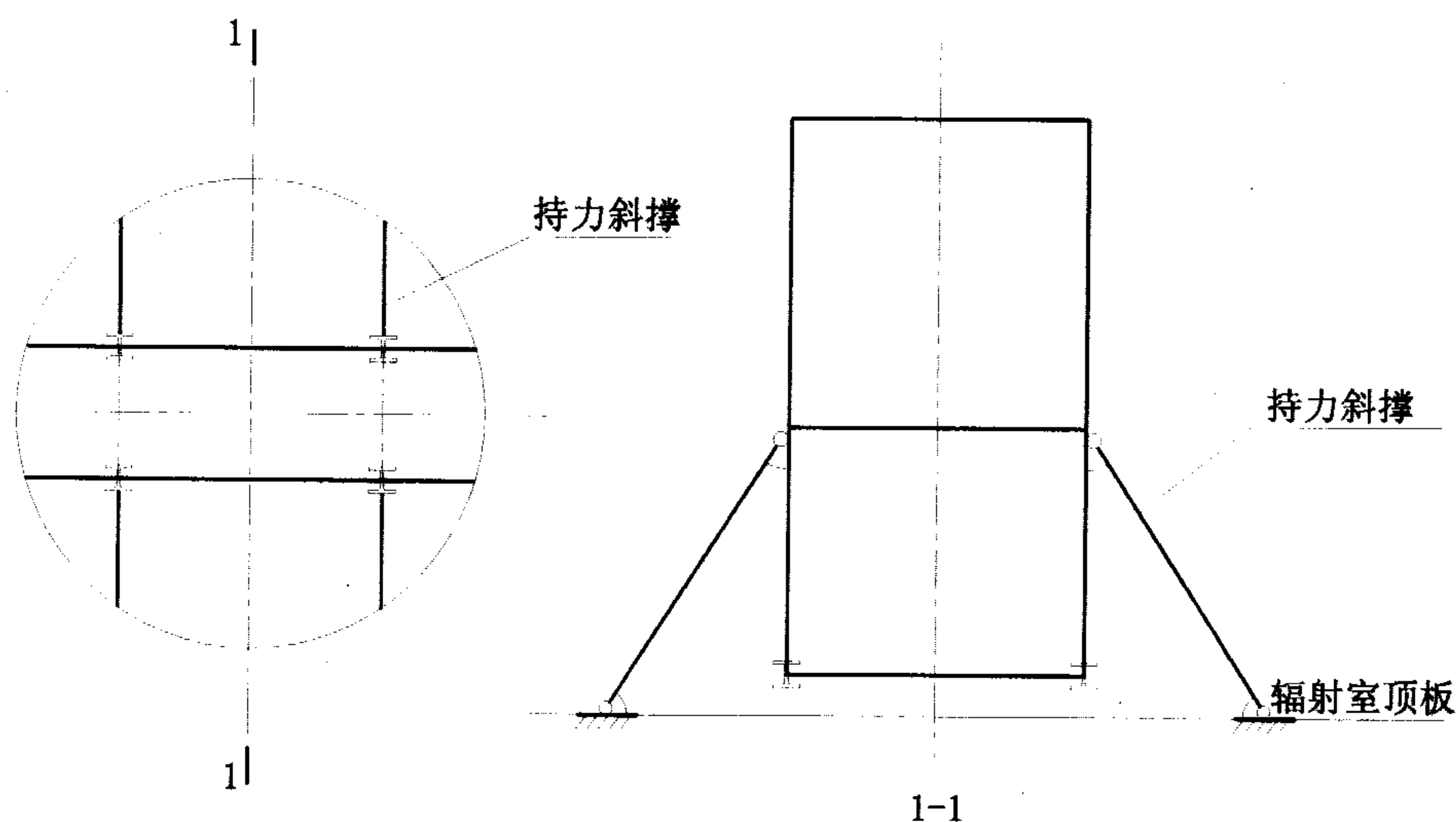


图 2 有持力斜撑的对流室

4.4.5 箱式炉钢结构, 应符合下列要求:

- a) 在框架平面内的梁、柱连接应为刚性节点；
- b) 在侧向柱列的两端，相邻两柱之间宜布置斜撑，当炉顶有烟囱时，在支承烟囱的两柱之间也宜布置斜撑，斜撑的夹角宜为 $35^\circ \sim 55^\circ$ ；
- c) 侧向柱列相邻两柱的间距不宜大于 6m；
- d) 侧向柱列连系梁的上、下间距宜为 3m~6m；
- e) 穿过炉膛的梁、柱，应采取降温隔热措施。

4.4.6 烟囱和烟风道的钢结构，应符合下列要求：

- a) 烟风道沿长度方向应合理的设置支撑型式和膨胀节以减小结构温度作用效应；
- b) 烟囱筒体相邻连接段的壁板厚度差，不应大于 4mm；烟风道的相邻壁板厚度差，不应大于 2mm；
- c) 烟囱上开口的净宽应不超过烟囱直径的 2/3；对于两个相对的开口，每个开口的弦长应不超过烟囱的半径；开口处采用等强度方法补强；
- d) 自支承烟囱锥段部分的坡度，不宜大于 2%；
- e) 自支承烟囱的螺栓底座，应为高台底座的形式；
- f) 炉顶上的烟囱，其高径比不宜大于 20；
- g) 炉顶上的烟囱，当下部带有圆锥段时，其锥顶角不应大于 60° ；当下部带有天圆地方段时，天圆地方段相对壁板的交角不应大于 60° 。

4.4.7 烟风道除应进行强度计算和稳定性计算外，尚应进行挠度计算，其挠度值不应大于 $L/300$ (L 为烟风道跨度)。

4.4.8 平台、梯子、防护栏杆应符合 SH/T 3036 和 GB 4053.1~GB 4053.4 的规定。

5 荷载和作用

5.1 荷载与作用的分类

5.1.1 钢结构的荷载与作用可分为下列三类：

- a) 永久荷载：钢结构自重、衬砌结构重、配件重、炉管及管内介质重（无数据时，管内介质重可以水计算）等；
- b) 可变荷载和作用：风荷载、平台活荷载、雪荷载、炉顶风机当量荷载和常遇地震作用等；
- c) 偶然荷载：罕遇地震作用等。

5.1.2 凡本规范未规定的荷载和作用，均按 GB 50009—2001、GB 50011 和 GB 50051—2002 的规定采用。

5.2 风荷载

5.2.1 基本风压应按 GB 50009—2001 的规定采用，但不得小于 0.35kN/m^2 。

5.2.2 顺风向风荷载，取垂直于钢结构表面的风荷载，应按附录 B 的规定计算。

5.2.3 烟囱横风向的荷载应按本规范 5.2.3.1~5.2.3.6 条的规定确定。

5.2.3.1 应根据雷诺数 Re 的不同情况按下列规定进行横风向风振（旋涡脱落）的校核：

- a) 当 $Re < 3 \times 10^5$ 时（亚临界的微风共振），应控制烟囱顶部风速 v_H 不超过临界风速 v_{cr} ， v_{cr} 和 v_H 可按公式（5）、公式（6）确定：

$$v_{cr} = \frac{D}{T_1 St} \dots\dots\dots (5)$$

$$v_H = \sqrt{\frac{2000\gamma_w\mu_H W_0}{\rho}} \dots\dots\dots (6)$$

上述式中:

- D —— 烟囱截面的外径, m;
 St —— 斯脱罗哈数, 对圆截面结构取 0.2;
 T_1 —— 烟囱基本自振周期, s;
 W_0 —— 基本风压, kN/m^2 ;
 v_{cr} —— 临界风速, m/s;
 v_H —— 烟囱顶部风速, m/s;
 γ_w —— 风荷载分项系数, 取 1.4;
 μ_H —— 烟囱顶部风压高度变化系数;
 ρ —— 空气密度, kg/m^3 。

当烟囱顶部风速超过 v_{cr} 时, 可在构造上采取防振措施, 或控制烟囱的临界风速 v_{cr} 不小于 15m/s。

- b) 当 $Re \geq 3.5 \times 10^6$ 且烟囱顶部风速大于 v_{cr} 时 (跨临界的强风共振), 应按本规范 5.2.3.2 条考虑横风向荷载引起的荷载效应;
c) 雷诺数 Re 可按公式 (7) 确定:

$$Re = 69\,000vD \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- Re —— 雷诺数;
 D —— 烟囱截面的外径, m;
 v —— 计算高度处的风速, m/s;

- d) 当烟囱沿高度方向截面缩小时 (坡度不大于 0.02), 可近似取 2/3 烟囱高度处的风速和直径。

5.2.3.2 跨临界强风共振引起在高度 z 处第 j 振型的等效风荷载可由公式 (8) 确定:

$$W_{czj} = |\lambda_j| v_{cr}^2 \phi_{zj} / 12\,800 \zeta_j \dots\dots\dots (8)$$

式中:

- W_{czj} —— 跨临界强风共振引起在高度 z 处第 j 振型的等效风荷载, kN/m^2 ;
 λ_j —— 第 j 振型计算系数, 按表 5 确定;
 ϕ_{zj} —— 在高度 z 处烟囱的第 j 振型振型系数, 由计算确定或按 GB 50009—2001 附录 F 表 F.1.1 采用;
 ζ_j —— 第 j 振型的阻尼比; 对第 1 振型, 钢结构取 0.01; 高振型的阻尼比, 若无实测资料, 可近似按第 1 振型的值取用;
 v_{cr} —— 临界风速, m/s, 按公式 (5) 确定。

表 5 λ_j 计算用表

振型序号	不同 H_1/H 值时的 λ_j										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	1.56	1.55	1.54	1.49	1.42	1.31	1.15	0.94	0.68	0.37	0
2	0.83	0.82	0.76	0.60	0.37	0.09	-0.16	-0.33	-0.38	-0.27	0
3	0.52	0.48	0.32	0.06	-0.19	-0.30	-0.21	0.00	0.20	0.23	0
4	0.30	0.33	0.02	-0.20	-0.23	0.03	0.16	0.15	-0.05	-0.18	0
注 1: H 为烟囱总高度; H_1 按公式 (12) 确定。 注 2: 校核横风向风振时所考虑的高振型序号不大于 4, 对一般悬臂型结构, 可只取第 1 或第 2 个振型。											

5.2.3.3 当烟囱可能出现跨临界强风共振时, 对于第 1 振型横风向风振, 当烟囱顶端设计风压值 W_H 满足公式 (9) 时, 烟囱承载能力极限状态仍由顺风向设计风压控制。

$$W_H \geq W_{cr1} \sqrt{\frac{0.04}{\zeta_1^2} + \beta_H^2} \dots\dots\dots (9)$$

$$W_{cr1} = \frac{v_{cr1}^2}{1600} \dots\dots\dots (10)$$

上述式中:

- W_H —— 烟囱顶端风压设计值, kN/m^2 ;
- W_{cr1} —— 临界风速下的风压, kN/m^2 ;
- β_H —— 烟囱顶端风振系数, 按附录 B 的规定计算;
- v_{cr1} —— 第 1 振型对应的临界风速, m/s , 按公式 (5) 确定;
- ζ_1 —— 风振计算时, 第 1 振型结构阻尼比, 钢烟囱取 0.01。

5.2.3.4 当不满足式 (9) 时, 第 1 振型横风向风振可能起控制作用, 应按下列规定计算横风向风振效应 (弯矩和剪力):

a) 横风向风振锁住区, 最不利起点高度 H_1 按公式 (11)、公式 (12) 计算:

1) 当 $1.3 v_{cr1} \leq v_H$ 时:

$$H_1 = \frac{H}{(1.3)^{1/\alpha}} \dots\dots\dots (11)$$

2) 当 $1.3 v_{cr1} > v_H$ 时:

$$H_1 = H \times \left(\frac{v_{cr1}}{v_H} \right)^{1/\alpha} \dots\dots\dots (12)$$

b) 临界风速时, 在 10m 标高处对应的顺风向基本风压 W_{cr10} , 可按公式 (13) 计算:

1) 当 $1.3 v_{cr1} \leq v_H$ 时:

$$W_{cr10} = \frac{(1.3 v_{cr1})^2}{1600} \left(\frac{10}{H} \right)^{2\alpha} \dots\dots\dots (13)$$

2) 当 $1.3 v_{cr1} > v_H$ 时: 直接取 10m 高度处的基本风压值。

上述式中:

H_1 —— 横风向风振锁住区最不利起点高度, m;

H —— 烟囱高度, m;

α —— 地面粗糙度指数, 对 A、B、C、D 四类分别取 0.12、0.16、0.22 和 0.30;

v_{cr1} —— 第 1 振型对应的临界风速, m/s;

v_H —— 烟囱顶端风速设计值, m/s;

W_{cr10} —— 烟囱发生横风向风振时, 在 10m 标高处对应的顺风向基本风压, kN/m^2 。

c) 烟囱共振时的最大位移计算参见附录 D。

5.2.3.5 当 $3 \times 10^5 \leq Re < 3.5 \times 10^6$ 时, 则可能发生超临界范围的共振, 此时可按本规范 5.2.3.1 a) 的规定处理。

5.2.3.6 校核横风向风振时, 风的荷载总效应可将横风向风荷载效应 S_C 与顺风向风荷载效应 S_A 按公式 (14) 组合后确定:

$$S = \sqrt{S_C^2 + S_A^2} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

S —— 横风向风振时风的荷载总效应;

S_C —— 横风向风振时横风向风荷载效应;

S_A —— 横风向风振时顺风向风荷载效应。

5.2.4 验算围护构件 (如雨棚) 及其连接的强度时, 风荷载计算应符合 GB 50009—2001 的规定。

5.3 平台活荷载

仅考虑搁置零星器材时, 平台操作荷载标准值取 $2.5 kN/m^2$; 需要堆放较重器材时, 平台操作荷载标准值取 $3.5 kN/m^2$ 。

5.4 雪荷载

5.4.1 基本雪压应按 GB 50009—2001 的规定采用。

5.4.2 加热炉钢结构设计, 仅应计算炉顶棚和操作棚上的雪荷载。

5.5 炉顶风机当量荷载

风机扰力及静力当量荷载应根据制造厂提供的数据确定。当无此数据时, 可按下列规定计算:

a) 风机当量竖向荷载标准值, 取风机加电机重量的 1.5 倍;

b) 风机当量水平荷载标准值, 取风机加电机重量的 0.3 倍。

5.6 地震作用

5.6.1 本规定适用于地震设防烈度为 6 度到 9 度地震区的钢结构抗震设计。

5.6.2 管式炉本体进行抗震设计时, 结构阻尼比可取 0.035。

5.6.3 计算地震作用时, 重力荷载代表值应取结构和构配件自重标准值和各可变荷载组合值之和。平台活荷载的组合值系数取 0.5。

5.6.4 采用底部剪力法计算加热炉钢结构的水平地震作用时, 结构等效总重力荷载应取各质点总的重力荷载代表值之和。

5.6.5 采用底部剪力法时, 炉顶烟囱的地震作用效应, 宜乘以增大系数 3, 此增大部分不应往下传递,

但与烟囱相连的构件应予计入；采用振型分解法时，炉顶烟囱可作为一个质点。

5.6.6 估计加热炉钢结构水平地震作用扭转影响时，可按不采用扭转耦联振型分解法计算，其平行于地震作用方向的两个边梃，地震作用效应应乘以增大系数：短边可按 1.15；长边可按 1.05；当扭转刚度较小时，均可按 1.3。

5.6.7 设计基本地震加速度为 0.2g、0.3g 和 0.4g 地区内的大跨度和长悬臂结构，应计算竖向地震作用，其竖向地震作用标准值可分别取该结构、构件重力荷载代表值的 10%、15% 和 20%。

5.6.8 自支承烟囱、烟风道抗震设计应符合 GB 50051—2002 的规定。

5.6.9 本规范未作规定的地震作用均按 GB 50011 的规定执行。

6 荷载和作用效应计算

6.1 荷载效应计算

6.1.1 设计钢结构时，荷载的标准值、荷载分项系数、荷载组合值系数等应按 GB 50009—2001 的规定采用，设计自支承烟囱、烟风道时应符合 GB 50051—2002 的规定。

6.1.2 荷载效应计算尚应符合 GB 50017—2003 和 GB 50051—2002 的规定。

6.2 地震作用效应与其他荷载效应组合计算

6.2.1 箱式炉和圆筒炉对流室的框架结构，应在水平面上两个主轴方向分别计算水平地震作用并进行抗震验算，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。

6.2.2 自支承烟囱、烟风道的地震作用效应与其他荷载效应的组合应符合 GB 50051—2002 的规定。

6.2.3 除上述规定外，设计地震设防烈度为 6 度到 9 度地震区的钢结构，地震作用效应与其他荷载效应的组合应符合 GB 50011 的规定。

7 构件强度和稳定性计算

7.1 一般规定

本规范未作规定的构件强度和稳定性计算应符合 GB 50017—2003 的规定，需进行抗震设计的构件，尚应符合 GB 50011 的规定。

7.2 受弯构件

7.2.1 在主平面内受弯的实腹构件，其抗弯强度应按公式 (15) 计算：

$$\frac{M_X}{W_{nX}} + \frac{M_Y}{W_{nY}} \leq f \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中：

M_X 、 M_Y —— 同一截面处绕 X 轴和 Y 轴的弯矩；

W_{nX} 、 W_{nY} —— 对 X 轴和 Y 轴的净截面模量（对工字形截面：X 轴为强轴，Y 轴为弱轴）；

f —— 钢材的抗弯强度设计值。

7.2.2 在主平面内受弯的实腹构件，其抗剪强度应按公式 (16) 计算：

$$\tau = \frac{VS}{I_t} \leq f_v \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中：

I —— 毛截面惯性矩；

S —— 计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩；

V —— 计算截面沿腹板平面作用的剪力；

f_v —— 钢材的抗剪强度设计值；

t_w —— 腹板厚度；

τ —— 受剪构件的计算剪应力。

7.2.3 当梁上翼缘受有沿腹板平面作用的集中荷载、且该荷载处又未设置支承加劲肋时，腹板计算高度边缘的局部承压强度应按下列公式计算：

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_x} \leq f \quad (17)$$

$$l_x = a + 5h_y \quad (18)$$

上述式中：

F —— 集中荷载，对动力荷载应考虑动力系数；

l_x —— 集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度；

a —— 集中荷载沿梁跨度方向的支承长度；

h_y —— 自梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离。腹板的计算高度：对轧制型钢梁，为腹板与上、下翼缘相接处两内弧起点间的距离；对焊接组合梁，为腹板高度；对高强度螺栓连接组合梁，为上、下翼缘与腹板连接的高强度螺栓线间最近距离；

f —— 钢材的抗压强度设计值；

t_w —— 腹板厚度；

σ_c —— 构件的计算局部压应力；

ψ —— 集中荷载增大系数，取 1.0。

7.2.4 在梁的支座处，当不设置支承加劲肋时，也应按公式 (17) 计算腹板计算高度下边缘的局部压应力，但 ψ 取 1.0。支座集中反力的假定分布长度，应根据支座具体尺寸参照公式 (18) 计算。

7.2.5 在梁的腹板计算高度边缘处，若同时受有较大的正应力、剪应力和局部压应力，或同时受有较大的正应力和剪应力（如连续梁中部支座处或梁的翼缘截面改变处等）时，其折算应力应按下列公式计算：

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 f \quad (19)$$

式中：

σ 、 τ 、 σ_c —— 腹板计算高度边缘处同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力，其中 σ 和 σ_c 以拉应力为正值，以压应力为负值。 τ 和 σ_c 应按公式 (16) 和公式 (17) 计算， σ 应按公式 (20) 计算：

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_1 \quad (20)$$

M —— 作用于截面处的弯矩；

I_n —— 梁净截面惯性矩；

y_1 —— 所计算点至梁中和轴的距离；

β_1 —— 计算折算应力的强度设计值增大系数；当 σ 与 σ_c 异号时，取 $\beta_1 = 1.2$ ；当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c = 0$ 时，取 $\beta_1 = 1.1$ ；

f —— 钢材的抗压强度设计值。

7.2.6 符合下列情况之一时，可不计算梁的整体稳定性：

- a) 在梁的受压翼缘上有密铺铺板，并与其牢固相连，能阻止梁受压翼缘的侧向位移时；
- b) 型钢和等截面工字形简支梁受压翼缘的自由长度 l_1 与其宽度 b_1 之比，不超过表 6 所规定的数值时。

表 6 H 型钢和等截面工字形简支梁不需计算整体稳定性的最大 l_1/b_1 值

钢 号	跨中无侧向支承点的梁		跨中有侧向支承点的梁，不论 荷载作用于何处
	荷载作用在上翼缘	荷载作用在下翼缘	
Q235	13	20	16
Q345	10.5	16.5	13

注：对跨中无侧向支承点的梁， l_1 为其跨度；对梁中有侧向支承点的梁， l_1 为受压翼缘侧向支承点的距离（梁的支座处视为有侧向支承）。

7.2.7 除本规范 7.2.6 条所指情况外，在最大刚度主平面内受弯的构件，其整体稳定性应按公式 (21) 计算：

$$\frac{M_x}{\phi_b W_x} \leq f \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：

- M_x —— 绕强轴作用的最大弯矩；
- W_x —— 按受压纤维确定的梁毛截面模量；
- f —— 钢材的抗弯强度设计值；
- ϕ_b —— 绕强轴弯曲所确定的梁整体性稳定系数，应按 GB 50017—2003 附录 B 的规定采用。

7.2.8 除本规范 7.2.6 条所指情况外，在两个主平面内受弯的 H 型钢截面和工字形截面构件，其整体稳定性应按公式 (22) 计算：

$$\frac{M_x}{\phi_b W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq f \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- M_x 、 M_y —— 同一截面处绕 X 轴和 Y 轴的弯矩；
- W_x 、 W_y —— 按受压纤维确定的对 X 轴和 Y 轴的毛截面模量；
- f —— 钢材的抗弯强度设计值；
- ϕ_b —— 绕强轴弯曲所确定的梁整体性稳定系数，应按 GB 50017—2003 附录 B 的规定采用。

7.2.9 梁的支座处，应采取构造措施，以防止梁端截面的扭转。

7.3 轴心受力构件

7.3.1 轴心受拉构件和轴心受压构件，除高强度螺栓摩擦型连接处外，其强度应按公式 (23) 计算：

$$\frac{N}{A_n} \leq f \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

- N —— 轴心拉力或轴心压力;
- A_n —— 构件的净截面面积;
- f —— 构件的抗拉、抗压强度设计值。

7.3.2 轴心受拉构件和轴心受压构件, 高强度螺栓摩擦型连接处的强度应按下列公式计算:

$$\left(1 - 0.5 \frac{n_1}{n}\right) \frac{N}{A_n} \leq f \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$\frac{N}{A} \leq f \quad \dots\dots\dots (25)$$

上述式中:

- A —— 构件的毛截面面积;
- N —— 轴心拉力或轴心压力;
- A_n —— 构件的净截面面积;
- f —— 构件的抗拉、抗压强度设计值;
- n —— 在节点或拼接处, 构件一端连接的高强度螺栓数目;
- n_1 —— 所计算截面 (最外列螺栓处) 上高强度螺栓数目。

7.3.3 实腹式轴心受压构件的稳定性, 应按公式 (26) 计算:

$$\frac{N}{\phi A} \leq f \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

- A —— 构件的毛截面面积;
- N —— 轴心压力;
- f —— 构件的抗压强度设计值;
- ϕ —— 轴心受压构件的稳定系数 (取截面两主轴稳定系数中的较小者), 应根据构件的长细比、钢材屈服强度和截面分类按 GB 50017—2003 附录 C 的规定采用。

7.3.4 对双轴对称十字形截面的构件, 构件长细比 λ_x 或 λ_y 取值不得小于 $5.07b/t$ (其中 b/t 为悬伸板件宽厚比)。

7.3.5 用缀板连接的双肢格构式轴心受压构件的稳定性计算, 应按公式 (26) 计算, 但对虚轴 (图 3 中的 X 轴) 的长细比, 应取换算长细比。换算长细比、缀板 (见图 4) 的剪力、计算弯矩可分别用公式 (27)、公式 (28)、公式 (29)、公式 (30)、公式 (31) 计算:



图 3 缀板柱截面

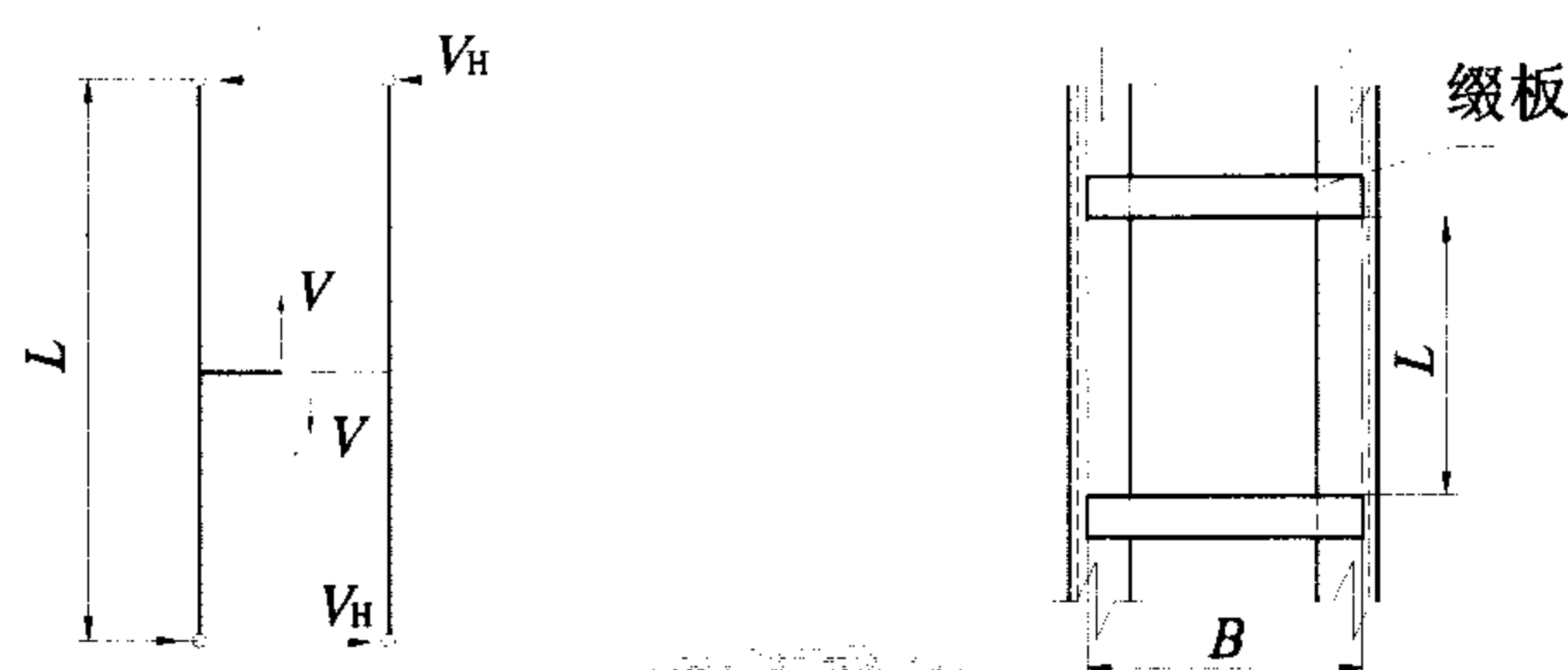


图4 缀板柱及其内力

$$\lambda_{0X} = \sqrt{\lambda_X^2 + \lambda_1^2} \dots\dots\dots (27)$$

$$V_1 = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}} \dots\dots\dots (28)$$

$$V_H = \frac{V_1}{2} \dots\dots\dots (29)$$

$$V = \frac{V_H L}{B} \dots\dots\dots (30)$$

$$M = \frac{V_H L}{2} \dots\dots\dots (31)$$

上述式中:

- A —— 缀板柱的全面积;
- B —— 缀板计算宽度;
- L —— 缀板净间距;
- M —— 缀板计算弯矩;
- V —— 缀板计算剪力;
- f —— 构件的抗压强度设计值;
- f_y —— 构件钢材的屈服强度, N/mm^2 ;
- V_1 —— 缀板柱的计算剪力;
- V_H —— 一个柱肢所受的剪力;
- λ_{0X} —— 对 X 轴的换算长细比;
- λ_X —— 整个构件对 X 轴的长细比;
- λ_1 —— 分肢对最小刚度轴 (图 3 中的 1-1 轴) 的长细比。

7.3.6 轴心受压构件应按公式 (28) 计算剪力, 其剪力值可认为沿构件全长不变。

7.3.7 用作减小轴心受压构件 (柱) 自由长度的支撑, 当其轴线通过被撑构件截面剪心时, 沿被撑构件屈曲方向的支撑力应按本规范 7.3.7.1~7.3.7.4 条的规定计算。

7.3.7.1 长度为 l 的单根柱设置一道支撑时, 支撑力 F_{b1} 按下列公式计算:

a) 当支撑杆位于柱高度中央时:

$$F_{b1} = N/60 \dots\dots\dots (32)$$

b) 当支撑杆位于距柱端 al 处时 ($0 < a < 1$):

$$F_{b1} = \frac{N}{240 a (1-a)} \quad \dots\dots\dots (33)$$

上述式中:

N —— 被撑构件的最大轴心压力;

F_{b1} —— 支撑力;

a —— 支撑杆距柱端的距离与柱长度 l 的比值。

7.3.7.2 长度为 l 的单根柱设置 m 道等间距 (或间距不等但与平均间距相比相差不超过 20%) 支撑时, 各支撑点的支撑力 F_{bm} 按公式 (34) 计算:

$$F_{bm} = N / [30 (m+1)] \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中:

N —— 被撑构件的最大轴心压力;

F_{bm} —— 支撑点的支撑力;

m —— 支撑间距数。

7.3.7.3 被撑构件为多根柱组成的柱列, 在柱高度中央附近设置一道支撑时, 支撑力 F_{bm} 按公式 (35) 计算:

$$F_{bm} = \frac{\sum N_i}{60} \left(0.6 + \frac{0.4}{n} \right) \quad \dots\dots\dots (35)$$

式中:

F_{bm} —— 支撑力;

$\sum N_i$ —— 被撑柱同时存在的轴心压力设计值之和;

n —— 柱列中被撑柱的根数。

7.3.7.4 当支撑同时承担结构上其他作用的效应时, 其相应的轴力可不与支撑力叠加。

7.4 拉弯构件和压弯构件

7.4.1 弯矩作用在主平面内的拉弯构件和压弯构件, 其强度应按公式 (36) 计算:

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_{nx}} \pm \frac{M_y}{W_{ny}} \leq f \quad \dots\dots\dots (36)$$

式中:

N —— 所计算构件的轴心拉力或压力;

A_n —— 构件的净截面面积;

M_x 、 M_y —— 同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩;

W_{nx} 、 W_{ny} —— 对 x 轴和 y 轴的净截面模量;

f —— 构件的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

7.4.2 弯矩作用在对称轴平面内 (绕 x 轴, 对工字形截面: x 轴为强轴, y 轴为弱轴) 的实腹式压弯构件的稳定性, 应按下列公式计算:

a) 弯矩作用平面内的稳定性应按公式 (37) 计算:

$$\frac{N}{\phi_X A} + \frac{\beta_{MX} M_X}{W_{1X} \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{EX}} \right)} \leq f \quad \dots\dots\dots (37)$$

- b) 对单轴对称截面压弯构件, 当弯矩作用在对称轴平面内且使翼缘受压时, 除应按公式 (37) 计算外, 尚应按公式 (38) 计算:

$$\left| \frac{N}{A} - \frac{\beta_{MX} M_X}{W_{2X} \left(1 - 1.25 \frac{N}{N'_{EX}} \right)} \right| \leq f \quad \dots\dots\dots (38)$$

- c) 弯矩作用平面外的稳定性应按公式 (39) 计算:

$$\frac{N}{\phi_Y A} + \eta \frac{\beta_{TX} M_X}{\phi_b W_{1X}} \leq f \quad \dots\dots\dots (39)$$

上述式中:

- A —— 构件的毛截面面积;
- N —— 所计算构件段范围内的轴心压力;
- M_X —— 所计算构件段范围内的最大弯矩;
- W_{1X} —— 在弯矩作用平面内对较大受压纤维的毛截面模量;
- W_{2X} —— 对无翼缘端的毛截面模量;
- N'_{EX} —— 参数, $N'_{EX} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_X^2)$, 其中 λ_X 表示构件对 X 轴的长细比, E 表示构件钢材的弹性模量;
- ϕ_X —— 弯矩作用平面内的轴心受压构件稳定系数;
- ϕ_Y —— 弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数;
- ϕ_b —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数, 按 GB 50017—2003 附录 B 计算, 其中工字形 (含 H 型钢) 和 T 形截面的非悬臂 (悬伸) 构件, 可按 GB 50017—2003 中 B.5 确定; 对闭口截面 $\phi_b = 1.0$;
- β_{MX} —— 弯矩作用平面内等效弯矩系数, 一般情况下, 可取 1.0;
- η —— 截面影响系数, 闭口截面 $\eta = 0.7$, 其他截面 $\eta = 1.0$;
- β_{TX} —— 弯矩作用平面外等效弯矩系数, 一般情况下, 可取 1.0;
- f —— 构件的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

7.4.3 弯矩绕虚轴 (X 轴) 作用的格构式压弯构件, 其弯矩作用平面内的整体稳定性应按公式 (40) 计算:

$$\frac{N}{\phi_X A} + \frac{\beta_{MX} M_X}{W_{1X} \left(1 - \phi_X \frac{N}{N'_{EX}} \right)} \leq f \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中:

- A —— 构件的毛截面面积;

- N —— 所计算构件段范围内的轴心压力；
- M_X —— 所计算构件段范围内的最大弯矩；
- W_{1X} —— 在弯矩作用平面内对较大受压纤维的毛截面模量， $W_{1X}=I_X/Y_0$ ，其中 I_X 表示对 X 轴的毛截面惯性矩， Y_0 表示由 X 轴到压力较大分肢的轴线距离，或者到压力较大分肢腹板边缘的距离，二者取较大者；
- N'_{EX} —— 参数， $N'_{EX}=\pi^2 EA/(1.1\lambda_{0X}^2)$ ，其中 E 表示构件钢材的弹性模量， λ_{0X} 表示构件对虚轴 $X-X$ 的换算长细比；
- f —— 构件的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
- ϕ_X —— 弯矩作用平面内的格构式构件轴心受压稳定系数，此时长细比由换算长细比 λ_{0X} 确定；
- β_{MX} —— 弯矩作用平面内等效弯矩系数，一般情况下，可取 1.0。

弯矩作用平面外的整体稳定性可不计算，但应计算分肢的稳定性，分肢的轴心力应按桁架的弦杆计算。对缀板柱的分肢尚应考虑由剪力引起的局部弯矩。

7.4.4 弯矩绕实轴作用的格构式压弯构件，其弯矩作用平面内和平面外的稳定性计算与实腹式构件相同。但在计算弯矩作用平面外的整体稳定性时，长细比应取换算长细比， ϕ_b 应取 1.0。

7.4.5 弯矩作用在两个主平面内的双轴对称实腹式工字形（含 H 形）和箱形（闭口）截面的压弯构件，其稳定性应按公式（41）、公式（42）计算：

$$\frac{N}{\phi_X A} + \frac{\beta_{MX} M_X}{W_X \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{EX}}\right)} + \eta \frac{\beta_{TY} M_Y}{\phi_{bY} W_Y} \leq f \quad \dots\dots\dots (41)$$

$$\frac{N}{\phi_Y A} + \frac{\beta_{MY} M_Y}{W_Y \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{EY}}\right)} + \eta \frac{\beta_{TX} M_X}{\phi_{bX} W_X} \leq f \quad \dots\dots\dots (42)$$

上述式中：

- A —— 构件的毛截面面积；
- N —— 所计算构件段范围内的轴心压力；
- M_X 、 M_Y —— 所计算构件段范围内对强轴和弱轴的最大弯矩；
- W_X 、 W_Y —— 对强轴和弱轴的毛截面模量；
- N'_{EX} 、 N'_{EY} —— 参数， $N'_{EX}=\pi^2 EA/(1.1\lambda_X^2)$ ， $N'_{EY}=\pi^2 EA/(1.1\lambda_Y^2)$ ，其中 E 表示构件钢材的弹性模量， λ_X 、 λ_Y 表示构件对强轴 $X-X$ 和弱轴 $Y-Y$ 的长细比；
- f —— 构件的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
- ϕ_X 、 ϕ_Y —— 对强轴 $X-X$ 和弱轴 $Y-Y$ 的轴心受压构件的稳定系数，按 GB 50017—2003 附录 C 计算；
- β_{MX} 、 β_{MY} —— 弯矩作用平面内等效弯矩系数，一般情况下，可取 1.0；
- β_{TX} 、 β_{TY} —— 弯矩作用平面外等效弯矩系数，一般情况下，可取 1.0；

ϕ_{bX} 、 ϕ_{bY} —— 均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数，按 GB 50017—2003 附录 B 计算，其中工字形（含 H 型钢）截面的非悬臂（悬伸）构件 ϕ_{bX} 可按 GB 50017—2003 中 B.5 确定， ϕ_{bY} 可取 1.0；对于闭口截面，取 $\phi_{bX} = \phi_{bY} = 1.0$ ；

η —— 截面影响系数，闭口截面 $\eta = 0.7$ ，其他截面 $\eta = 1.0$ 。

7.4.6 弯矩作用在两个主平面内的双肢格构式压弯构件，其稳定性应按下列规定计算：

a) 整体稳定计算：

$$\frac{N}{\phi_X A} + \frac{\beta_{MX} M_X}{W_{1X} \left(1 - \phi_X \frac{N}{N_{EX}} \right)} + \frac{\beta_{TY} M_Y}{W_{1Y}} \leq f \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中：

A —— 构件的毛截面面积；

N —— 所计算构件段范围内的轴心压力；

M_X 、 M_Y —— 所计算构件段范围内对强轴和弱轴的最大弯矩；

N_{EX} —— 参数， $N_{EX} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_{0X}^2)$ ，其中 E 表示构件钢材的弹性模量， λ_{0X} 表示构件对 X 轴的换算长细比；

W_{1X} —— 在弯矩作用平面内对较大受压纤维的毛截面模量， $W_{1X} = I_X / Y_0$ ，其中 I_X 表示对 X 轴的毛截面惯性矩， Y_0 表示由 X 轴到压力较大分肢的轴线距离，或者到压力较大分肢腹板边缘的距离，二者取较大者；

W_{1Y} —— 在 M_Y 作用下，对较大受压纤维的毛截面模量；

f —— 构件的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

β_{MX} —— 弯矩作用平面内等效弯矩系数，一般情况下，可取 1.0；

β_{TY} —— 弯矩作用平面外等效弯矩系数，一般情况下，可取 1.0；

ϕ_X —— 格构式构件对虚轴 $X-X$ 的轴心受压稳定系数，此时长细比由换算长细比 λ_{0X} 确定。

b) 分肢稳定计算：

在 N 和 M_X 的作用下，将分肢作为桁架弦杆计算其轴心力， M_Y 按公式 (44) 和公式 (45) 分配给两分肢（图 5），然后按本规范 7.4.2 条的规定计算分肢稳定性。

$$M_{Y1} = \frac{I_1 / Y_1}{I_1 / Y_1 + I_2 / Y_2} \cdot M_Y \quad \dots\dots\dots (44)$$

$$M_{Y2} = \frac{I_2 / Y_2}{I_1 / Y_1 + I_2 / Y_2} \cdot M_Y \quad \dots\dots\dots (45)$$

上述式中：

I_1 、 I_2 —— 分肢 1、分肢 2 对 Y 轴的惯性矩；

M_Y —— 所计算构件段范围内对 Y 轴的最大弯矩；

M_{Y1} —— 在 M_Y 作用下，分配给分肢 1 的计算弯矩；

M_{Y2} —— 在 M_Y 作用下, 分配给分枝 2 的计算弯矩;

Y_1 、 Y_2 —— M_Y 作用的主轴平面至分枝 1、分枝 2 轴线的距离。

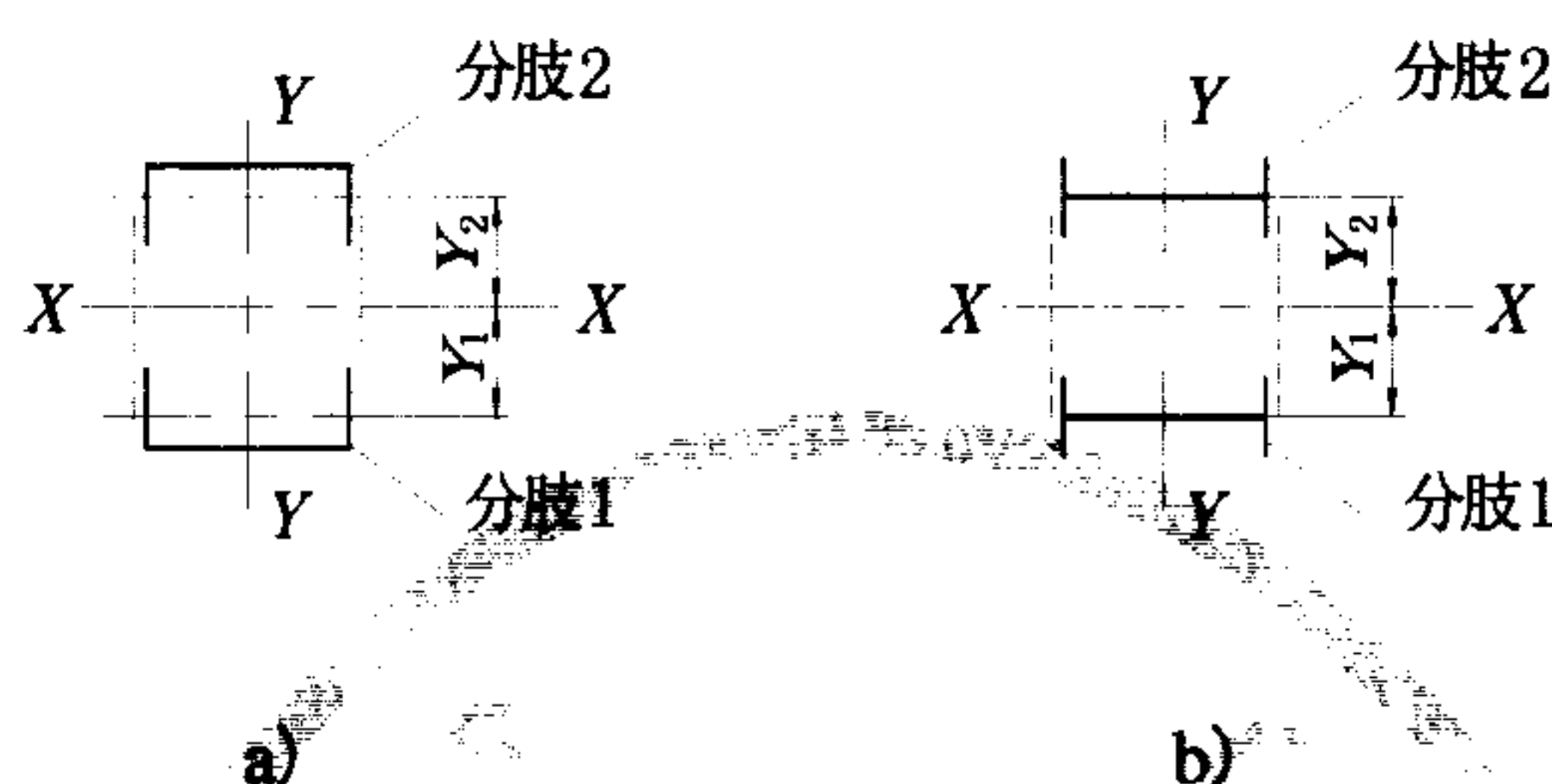


图 5 格构式构件截面

7.5 薄壁筒体

计算薄壁筒体应按公式 (46)、公式 (47)、公式 (48) 计算:

a) 强度计算:

$$\sigma = \frac{N_i}{A_{ni}} \pm \frac{M_i}{W_{ni}} \leq f \quad \dots\dots\dots (46)$$

b) 局部稳定性:

$$\sigma_E = 0.4 \frac{E}{k} \cdot \frac{t_i}{d_i} \geq \sigma \quad \dots\dots\dots (47)$$

c) 整体稳定性:

$$\frac{N_i}{\phi A_{bi}} + \frac{M_i}{W_{bi} \left(1 - 0.8 \frac{N_i}{N_{EX}} \right)} \leq f \quad \dots\dots\dots (48)$$

上述式中:

E —— 筒体钢材的弹性模量;

A_{bi} —— i 截面处毛截面面积;

A_{ni} —— i 截面处净截面面积;

M_i —— i 截面处的最大弯矩;

N_i —— i 截面处的轴心压力或轴心拉力;

N_{EX} —— 参数, $N_{EX} = \pi^2 EA_{bi} / (1.1\lambda^2)$, 其中 λ 表示薄壁筒体长细比;

W_{bi} —— i 截面处的毛截面模量;

W_{ni} —— i 截面处的净截面模量;

f —— 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;

k —— 局部抗压强度调整系数, 对应于风荷载时, 取 $k = 1.50$; 对应于地震作用时, $k = 1.20$;

t_i —— i 截面处筒体净壁厚;

d_i —— i 截面处筒体外直径;

σ —— 筒体的计算应力;

ϕ —— 焊接圆筒截面轴心受压构件稳定系数, 按 GB 50051—2002 附录 B 采用;

σ_E —— 筒壁局部稳定的临界应力值。

7.6 构件的计算长度

- 7.6.1 桁架结构构件的计算长度应按 GB 50017—2003 的规定确定。
- 7.6.2 确定炉框架侧墙柱列之间的斜撑长细比时，其计算长度 l_0 应按下列规定采用：
- a) 单系腹杆，平面内、外均取节点间距离；
 - b) 再分式腹杆和交叉式腹杆，平面内均取 $l_0 = l_1$ ， l_1 为节点中心到交叉点间的距离；平面外取 $l_0 = 0.8l$ ， l 为节点中心间距离（交叉点不作为节点考虑）。
- 7.6.3 确定圆筒炉炉底柱和圆筒炉筒体柱的长细比时，其计算长度 l_0 应按表 7 采用。

表 7 圆筒炉炉底柱和圆筒炉筒体柱的计算长度 l_0

构 件 名 称		计 算 长 度
圆筒炉炉底柱	柱脚铰接于基础时	$2l$
	柱脚固接于基础时	l
圆筒炉筒体柱	在计算平面内（径向）	$0.7h_1$
	在计算平面外（切向）	l
注 1： l 为圆筒炉炉底柱高度或圆筒炉筒体柱的层间长度。 注 2： h_1 为圆筒炉筒体柱的全长。		

- 7.6.4 单层或多层框架等截面柱，在框架平面内的计算长度应等于该层柱的高度乘以计算长度系数 μ ， μ 应按 GB 50017—2003 的规定采用。
- 7.6.5 框架柱框架平面外的计算长度应取阻止框架柱平面外位移的支承点之间的距离。

8 连接计算

8.1 一般规定

对于本规范未作规定的连接计算应符合 GB 50017—2003 的规定，需要进行抗震设计时，其连接计算尚应符合 GB 50011 的规定。

8.2 焊缝连接

8.2.1 焊缝应根据结构的重要性、荷载特性、焊缝形式、工作环境以及应力状态等情况，按下述原则分别选用不同的质量等级：

- a) 凡要求与母材等强的对接焊缝应予焊透，其质量等级当受拉时应不低于 GB 50205 规定的二级，受压时宜为二级；
- b) 不要求焊透的 T 形接头采用的角焊缝或部分焊透的对接与角接组合焊缝，以及搭接连接采用的角焊缝，焊缝的质量等级可为三级。

8.2.2 对接焊缝或对接与角接组合焊缝应按下列规定进行强度计算：

- a) 在对接接头和 T 形接头中，垂直于轴心拉力或轴心压力的对接焊缝或对接与角接组合焊缝，其强度应按公式（49）计算：

$$\sigma = \frac{N}{L_w t} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w \dots\dots\dots (49)$$

式中：

N —— 轴心拉力或轴心压力；

L_w —— 焊缝长度；

t —— 在对接接头中为连接件的较小厚度，在 T 形接头中为腹板厚度；

f_t^w 、 f_c^w —— 对接焊缝的抗拉、抗压强度设计值；

σ —— 焊缝的计算应力。

- b) 在对接接头和 T 形接头中，承受弯矩和剪力共同作用的对接焊缝或对接与角接组合焊缝，其正应力和剪应力应分别进行计算。但在同时承受较大的正应力和剪应力处（例如：梁腹板横向对接焊缝的端部），应按公式（50）计算折算应力：

$$\sigma_{zs} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1f_t^w \quad \dots\dots\dots (50)$$

式中：

f_t^w —— 对接焊缝的抗拉强度设计值；

σ —— 焊缝的计算正应力；

τ —— 焊缝的计算剪应力；

σ_{zs} —— 焊缝的折算应力。

- c) 当承受轴心力的板件用斜焊缝对接，焊缝与作用力的夹角 θ 符合 $\tan\theta$ 小于等于 1.5 时，其强度可不计算；

- d) 当对接焊缝和 T 形对接与角接组合焊缝无法采用引弧板和引出板施焊时，计算每条焊缝的长度时，应各减去 $2t$ （ t 为焊件的较小厚度）。

8.2.3 直角角焊缝（见图 6）应按公式（51）～公式（53）进行强度计算：

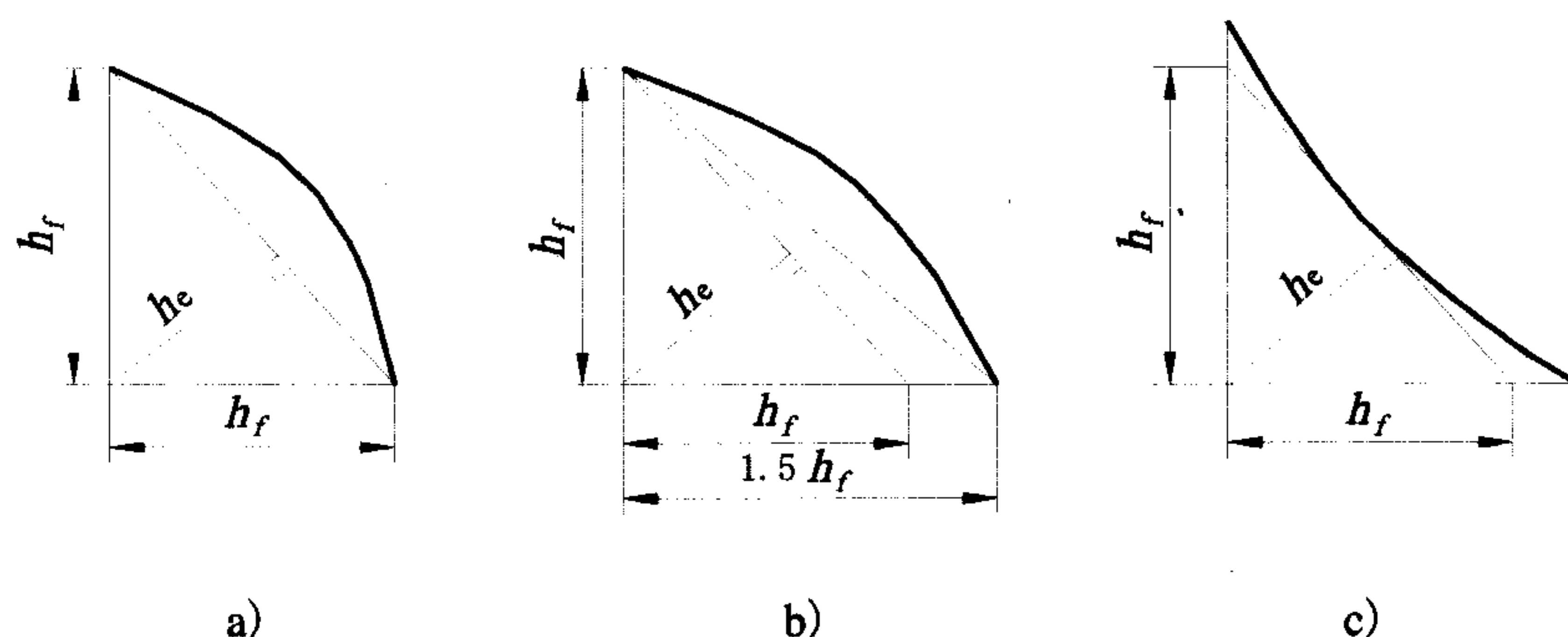


图 6 直角角焊缝截面

- a) 在通过焊缝形心的拉力、压力或剪力作用下的焊缝：

- 1) 正面角焊缝（作用力垂直于焊缝长度方向）：

$$\sigma_f = \frac{N}{h_e L_w} \leq \beta_f f_f^w \quad \dots\dots\dots (51)$$

- 2) 侧面角焊缝（作用力平行于焊缝长度方向）：

$$\tau_f = \frac{N}{h_e L_w} \leq f_f^w \quad \dots\dots\dots (52)$$

- b) 在各种力综合作用下， σ_f 和 τ_f 共同作用处，应按下式计算角焊缝折算应力：

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} \leq f_f^w \quad \dots\dots\dots (53)$$

上述式中:

- N —— 焊缝轴心拉力或轴心压力;
- L_w —— 角焊缝的计算长度, 对每条焊缝取其实长减去 $2h_f$;
- h_e —— 角焊缝的计算厚度, 对直角焊缝等于 $0.7h_f$, h_f 为焊脚尺寸;
- f_f^w —— 角焊缝的强度设计值;
- β_f —— 正面角焊缝的强度设计值增大系数: 对承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构, 取 $\beta_f = 1.22$; 对直接承受动力荷载的结构, 取 $\beta_f = 1.0$;
- τ_f —— 按焊缝有效截面 ($h_e L_w$) 计算, 平行于焊缝长度方向的剪应力;
- σ_f —— 按焊缝有效截面 ($h_e L_w$) 计算, 垂直于焊缝长度方向的应力。

8.3 螺栓 (普通螺栓等) 连接

8.3.1 普通螺栓连接应按本规范 8.3.1.1~8.3.1.3 条的规定计算。

8.3.1.1 在普通螺栓的受剪连接中, 每个普通螺栓的承载力设计值应取受剪和承压承载力设计值的较小者:

a) 受剪承载力设计值:

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad \dots\dots\dots (54)$$

b) 承压承载力设计值:

$$N_c^b = d \sum t \cdot f_c^b \quad \dots\dots\dots (55)$$

上述式中:

- N_v^b 、 N_c^b —— 每个普通螺栓的受剪承载力设计值、承压承载力设计值;
- d —— 螺栓杆直径 (螺栓杆的直径系列参见附录 C);
- n_v —— 受剪面数目;
- f_v^b 、 f_c^b —— 普通螺栓的抗剪和承压强度设计值;
- $\sum t$ —— 在不同受力方向中一个受力方向承压构件总厚度的较小值。

8.3.1.2 在普通螺栓杆轴方向受拉的连接中, 每个普通螺栓的承载力设计值, 应按公式 (56) 计算:

$$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

- N_t^b —— 每个普通螺栓的承载力设计值;
- d_e —— 普通螺栓在螺纹处的有效直径;
- f_t^b —— 普通螺栓的抗拉强度设计值。

8.3.1.3 同时承受剪力和杆轴方向拉力的普通螺栓, 应符合公式 (57)、公式 (58) 的要求:

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (57)$$

$$N_v \leq N_c^b \dots\dots\dots (58)$$

式中:

N_v 、 N_t —— 某个普通螺栓所承受的剪力和拉力;
 N_v^b 、 N_t^b 、 N_c^b —— 一个普通螺栓的受剪、受拉和承压承载力设计值。

8.3.2 高强度螺栓摩擦型连接应按下列规定计算:

a) 在抗剪连接中, 每个高强度螺栓的承载力设计值:

$$N_v^b = 0.9 n_f \mu P \dots\dots\dots (59)$$

式中:

N_v^b —— 在抗剪连接中, 每个高强度螺栓的承载力设计值;
 n_f —— 传力摩擦面数目;
 μ —— 摩擦面的抗滑移系数, 应按表 8 采用;
 P —— 一个高强度螺栓的预拉力, 应按表 9 采用。

表 8 摩擦面的抗滑移系数

在连接处构件接触面的处理方法	构 件 的 钢 号	
	Q235 钢	Q345 钢
喷砂 (丸)	0.45	0.50
喷砂 (丸) 后涂无机富锌漆	0.35	0.40
喷砂 (丸) 后生赤锈	0.45	0.50
钢丝刷清除浮锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	0.35

表 9 一个高强度螺栓的预拉力 P 单位: kN

螺栓的性能等级	不同公称直径螺栓的预拉力					
	M16	M20	M22	M24	M27	M30
8.8 级	80	125	150	175	230	280
10.9 级	100	155	190	225	290	355
注: 螺栓性能等级系表示螺栓公称抗拉强度和公称屈服强度与公称抗拉强度的比值, 例如 8.8 级的小数点前的数字 8 表示公称抗拉强度为 800 N/mm ² , 小数点后边的数字 8 为螺栓公称屈服强度与公称抗拉强度的比值的 10 倍。						

b) 在螺栓杆轴方向受拉的连接中, 每个摩擦型高强度螺栓的承载力设计值:

$$N_t^b = 0.8P \dots\dots\dots (60)$$

式中:

P —— 一个高强度螺栓的预拉力, 应按表 9 采用;
 N_t^b —— 在螺栓杆轴方向受拉的连接中, 每个摩擦型高强度螺栓的承载力设计值。

c) 当高强度螺栓摩擦型连接同时承受摩擦面间的剪力和螺栓杆轴方向的外拉力时, 其承载力应满足公式 (61) 要求:

$$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leq 1 \dots\dots\dots (61)$$

式中：

N_v 、 N_t —— 某个高强度螺栓所承受的剪力和拉力；

N_v^b 、 N_t^b —— 一个高强度螺栓的受剪、受拉承载力设计值。

8.3.3 在构件的节点处或拼接接头的一端，当螺栓沿轴向受力方向的连接长度 l_1 大于 $15d_0$ 时，应将螺栓的承载力设计值乘以折减系数 $\left(1.1 - \frac{l_1}{150d_0}\right)$ 。当 l_1 大于 $60d_0$ 时，折减系数为 0.7。 d_0 为孔径。

8.3.4 螺栓的间距，应符合表 10 的要求。

表 10 螺栓的最大、最小允许间距

间 距	位 置 和 方 向			最大允许间距（取两者的较小值）	最小允许间距
中心间距	外排（垂直内力方向或顺内力方向）			$8d_0$ 或 $12t$	$3d_0$
	中间排	垂直内力方向		$16d_0$ 或 $24t$	
		顺内力方向	构件受压力	$12d_0$ 或 $18t$	
			构件受拉力	$16d_0$ 或 $24t$	
	沿对角线方向			—	
中心至构件边缘的距离	顺 内 力 方 向			$4d$ 或 $8t$	$2d_0$
	垂直内力方向	剪切边或手工气割边			$1.5d_0$
		轧制边、自动气割或锯割边	高强度螺栓		
			其他螺栓		$1.2d_0$
		注 1: d_0 为螺栓孔的直径, t 为外层较薄板件的厚度。			
注 2: 钢板边缘与刚性构件（如角钢、槽钢等）相连的螺栓的最大间距, 可按中间排的数值采用。					

8.3.5 下列情况的连接中，螺栓数目应予增加：

- a) 一个构件借助填板或其他中间板件与另一构件连接的螺栓（摩擦型连接的高强度螺栓除外）数目，应按计算增加 10%；
- b) 当采用搭接或拼接板的单面连接传递轴心力，因偏心引起连接部位发生弯曲时，螺栓（摩擦型连接的高强度螺栓除外）数目，应按计算增加 10%；
- c) 在构件的端部连接中，当利用短角钢连接型钢（角钢或槽钢）的外伸肢以缩短连接长度时，在短角钢两肢中的一肢上所用的螺栓数目，应按计算增加 50%。

8.4 梁与柱的刚性连接

8.4.1 当工字形梁翼缘采用焊透的 T 形对接焊缝而腹板采用摩擦型连接高强度螺栓或焊缝与 H 形柱的翼缘相连，满足下列要求时，柱的腹板可不设置横向加劲肋：

- a) 在梁的受压翼缘处，柱腹板厚度 t_w 同时满足下列公式：

$$t_w \geq \frac{A_{fc} f_b}{b_e f_c} \dots\dots\dots (62)$$

$$t_w \geq \frac{h_c}{30} \sqrt{\frac{f_{yc}}{235}} \dots\dots\dots (63)$$

上述式中:

A_{fc} —— 梁受压翼缘的截面积;

b_e —— 在垂直于柱翼缘的集中压力作用下, 柱腹板计算高度边缘处压应力的假定分布长度, 参照公式 (18) 计算;

h_c —— 柱腹板的宽度;

t_w —— 柱腹板厚度;

f_c —— 柱钢材抗拉、抗压强度设计值;

f_b —— 梁钢材抗拉、抗压强度设计值;

f_{yc} —— 柱钢材屈服强度, N/mm^2 。

b) 在梁的受拉翼缘处, 柱翼缘板的厚度 t_c 应满足下式:

$$t_c \geq 0.4 \sqrt{A_{ft} f_b / f_c} \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中:

t_c —— 柱翼缘板的厚度;

A_{ft} —— 梁受拉翼缘的截面积;

f_b —— 梁钢材抗拉、抗压强度设计值;

f_c —— 柱钢材抗拉、抗压强度设计值。

8.4.2 由柱翼缘与横向加劲肋包围的柱腹板节点域应按下列规定计算:

a) 抗剪强度:

$$\frac{M_{b1} + M_{b2}}{V_p} \leq \frac{4}{3} f_v \quad \dots\dots\dots (65)$$

式中:

V_p —— 节点域腹板的体积。柱为 H 形或工字形截面时, $V_p = h_b h_c t_w$; 柱为箱形截面时, $V_p = 1.8 h_b h_c t_w$ 。其中 h_b 表示梁腹板高度, h_c 表示柱腹板的宽度, t_w 表示柱腹板的厚度;

M_{b1} 、 M_{b2} —— 分别为节点两侧梁端弯矩设计值;

f_v —— 柱钢材抗剪强度设计值。

当柱腹板节点域不满足公式 (65) 的要求时, 对 H 形或工字形组合柱宜将腹板在节点域加厚。腹板加厚的范围应伸出梁上、下翼缘外不小于 150 mm 处。对轧制 H 型钢或工字钢柱, 亦可贴焊补强板加强。补强板上下边可不伸过柱腹板的横向加劲肋或伸过加劲肋之外各 150 mm。补强板与加劲肋连接的角焊缝应能传递补强板所分担的剪力, 焊缝的计算厚度不宜小于 5 mm。当补强板伸过加劲肋时, 加劲肋仅与补强板焊接, 此焊缝应能将加劲肋传来的剪力全部传给补强板, 补强板的厚度及其连接强度, 应按所承受的力进行设计。补强板的侧边应用角焊缝与柱翼缘相连, 其板面尚应采用塞焊与柱腹板连成整体, 塞焊点之间的距离不应大于较薄焊件厚度的 $21\sqrt{235/f_y}$ 倍, f_y (N/mm^2) 为较薄焊件钢材的屈服强度。对轻型结构亦可采用斜向加劲肋加强。

b) 柱腹板的厚度 t_w 应满足:

$$t_w \geq \frac{h_c + h_b}{90} \dots\dots\dots (66)$$

式中:

- h_b —— 梁腹板高度;
 h_c —— 柱腹板的宽度;
 t_w —— 柱腹板的厚度。

8.4.3 梁柱连接节点处柱腹板横向加劲肋应满足下列要求:

- 横向加劲肋应能传递梁翼缘传来的集中力,其厚度不应小于梁翼缘厚度;其宽度应符合传力、构造和板件宽厚比限值的要求;
- 横向加劲肋的中心线应与梁翼缘的中心线对准,并用焊透的 T 形对接焊缝与柱翼缘连接。当梁与 H 形或工字形截面柱的腹板垂直相连形成刚接时,横向加劲肋与柱腹板的连接也宜采用焊透对接焊缝;
- 箱形柱中的横向加劲肋与柱翼缘的连接,宜采用焊透的 T 形对接焊缝,对无法进行电弧焊的焊缝,可采用熔化嘴电渣焊;
- 当采用斜向加劲肋来提高节点域的抗剪承载力时,斜向加劲肋及其连接应能传递柱腹板所能承担剪力之外的剪力。

8.5 连接节点处板件的计算

8.5.1 连接节点处板件在拉、剪作用下的强度应按公式 (67)、公式 (68) 计算:

$$\frac{N}{\sum(\eta_i A_i)} \leq f \dots\dots\dots (67)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cos^2 \alpha_i}} \dots\dots\dots (68)$$

式中:

- N —— 作用于板件的拉力;
 A_i —— 第 i 段破坏面的截面积, $A_i = t l_i$; 当为螺栓连接时, 应取净截面面积;
 f —— 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;
 t —— 板件厚度;
 l_i —— 第 i 破坏段的长度, 应取板件中最危险的破坏线的长度 (见图 7);
 η_i —— 第 i 段的拉剪折算系数;
 α_i —— 第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角。

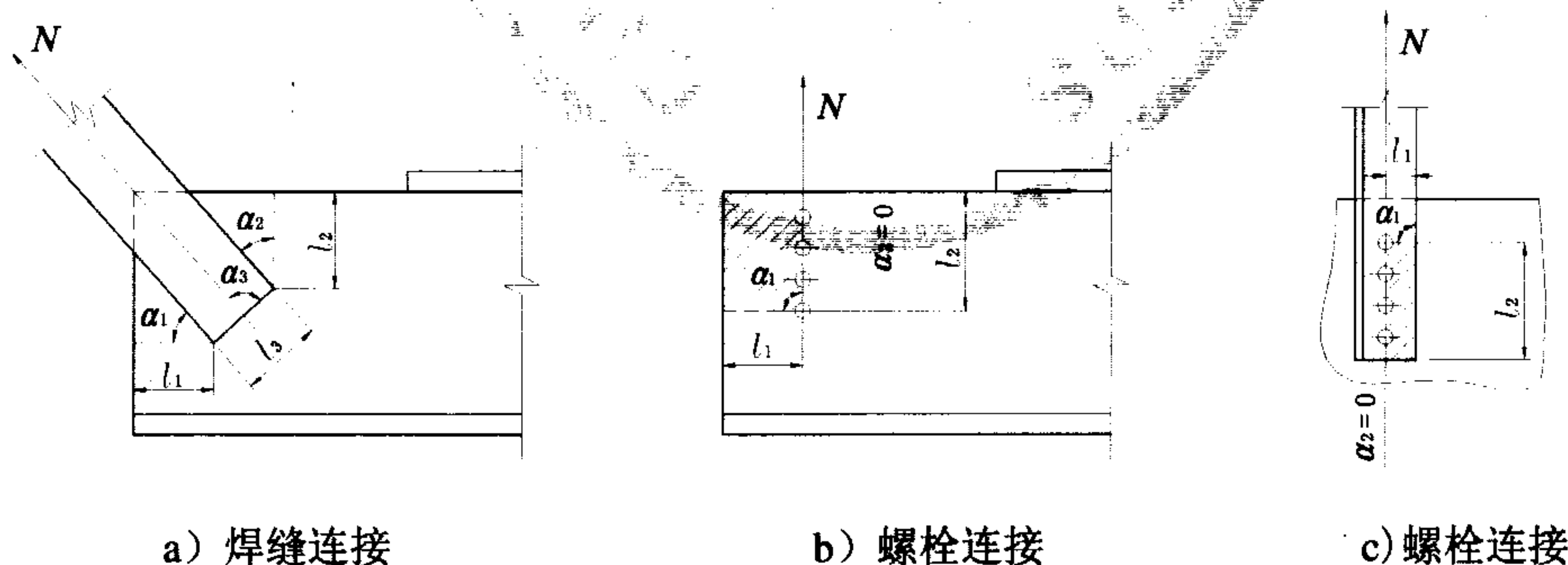


图 7 板件的拉、剪撕裂

8.5.2 桁架节点板（杆件为轧制 T 形和双板焊接 T 形截面者除外）的强度除可按公式（67）计算外，也可用有效宽度法按公式（69）计算：

$$\frac{N}{b_e t} \leq f \quad \dots\dots\dots (69)$$

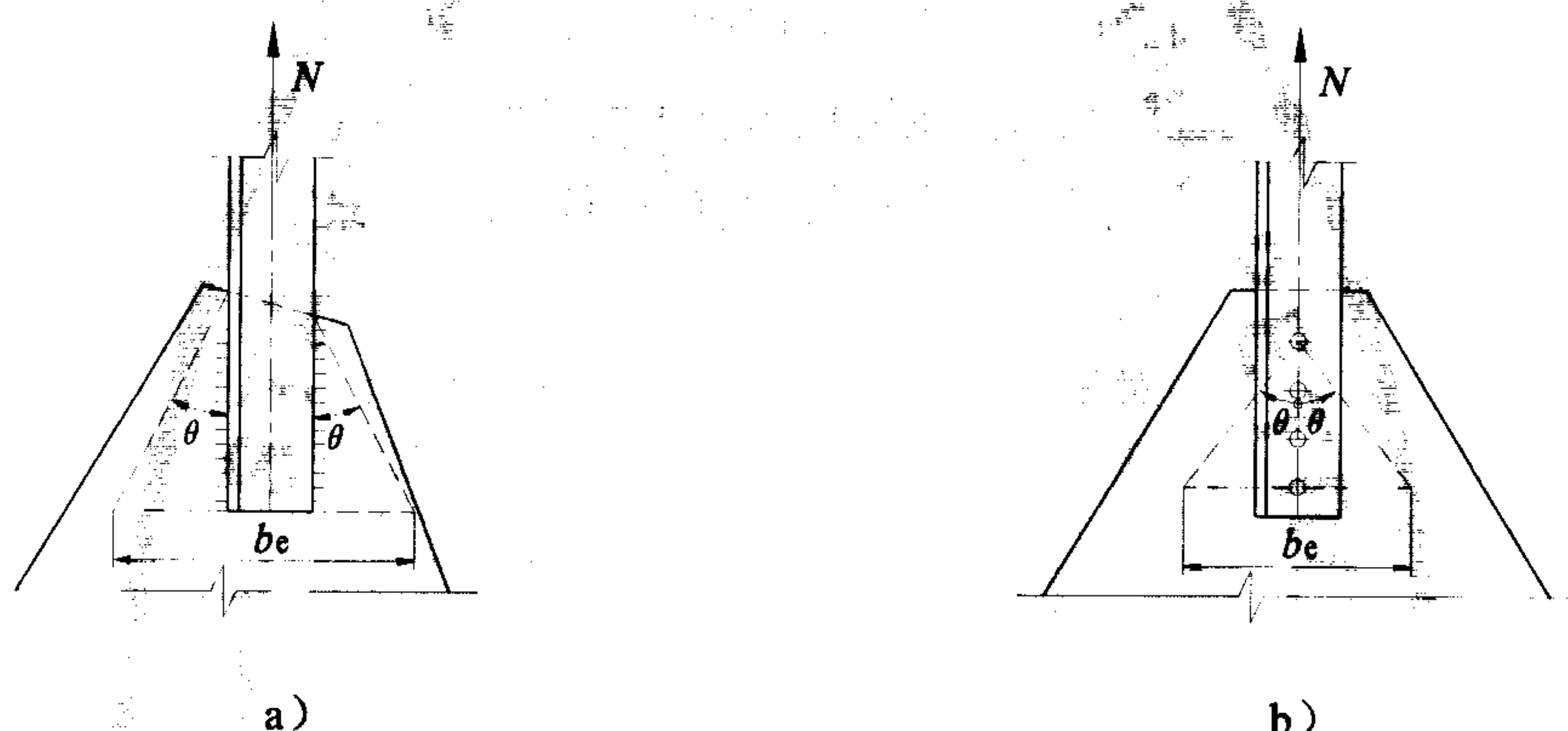
式中：

N —— 作用于板件的拉力；

f —— 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

t —— 板件厚度；

b_e —— 板件的有效宽度，见图 8 a)；当用螺栓连接时，见图 8 b)，应减去孔径。



注：图中 θ 为应力扩散角，可取 30° 。

图 8 板件的有效宽度

8.5.3 桁架节点板在斜腹杆压力作用下的稳定性可用下列方法进行计算：

- 对有竖腹杆相连的节点板，当 $c/t \leq 15\sqrt{235/f_y}$ 时（ c 为受压腹杆连接肢端面中点沿腹杆轴线方向至弦杆的净距离），可不计算稳定。否则，应按 GB 50017—2003 附录 F 进行稳定计算。在任何情况下， c/t 不得大于 $22\sqrt{235/f_y}$ ， f_y （N/mm²）为节点板钢材的屈服强度；
- 对无竖腹杆相连的节点板，当 $c/t \leq 10\sqrt{235/f_y}$ 时（ c 为受压腹杆连接肢端面中点沿腹杆轴线方向至弦杆的净距离），节点板的稳定承载力可取为 $0.8b_e t f$ 。当 $c/t > 10\sqrt{235/f_y}$ 时，应按 GB 50017—2003 附录 F 进行稳定计算。在任何情况下， c/t 不得大于 $17.5\sqrt{235/f_y}$ ， f_y （N/mm²）为节点板钢材的屈服强度。

8.5.4 当用本规范 8.5.1~8.5.3 条方法计算桁架节点板时，尚应满足下列要求：

- 节点板边缘与腹杆轴线之间的夹角不应小于 15° ；
- 斜腹杆与弦杆的夹角应在 $35^\circ \sim 60^\circ$ 之间；
- 节点板的自由边长度 l_f 与厚度 t 之比不得大于 $60\sqrt{235/f_y}$ ，否则应沿自由边设加劲肋予以加强， f_y （N/mm²）为节点板钢材的屈服强度。

8.6 锚栓（地脚螺栓）连接

8.6.1 当压弯柱、拉弯柱的柱脚为固接时，受拉区的锚栓总有效面积，应按公式（70）~公式（72）的规定计算：

$$A_e \geq \frac{M - \eta N Y}{f_t^a X} \quad \dots\dots\dots (70)$$

$$Y = \frac{L}{2} - \frac{L(NL + 6M)}{36M} \dots\dots\dots (71)$$

$$X = \frac{L}{2} - S + Y \dots\dots\dots (72)$$

上述式中:

- L —— 柱脚底板的长度, 见图 9;
- M —— 柱脚底面在柱截面形心轴处所受的弯矩设计值;
- N —— 柱脚底面在柱截面形心轴处所受的轴心力设计值;
- S —— 锚栓孔中心到柱脚底板边缘的距离, 见图 9;
- X —— 由锚栓轴线到柱底面受压区压力合力线的距离, 见图 9;
- Y —— 由柱截面形心轴到柱脚底面受压区压力合力线的距离, 见图 9;
- A_e —— 受拉区锚栓的总有效面积 (单个锚栓的有效面积参见附录 C);
- f_t^a —— 锚栓的抗拉强度设计值;
- η —— 柱轴心力折减系数, 对压弯柱取 0.8, 对拉弯柱取 (-1.0)。

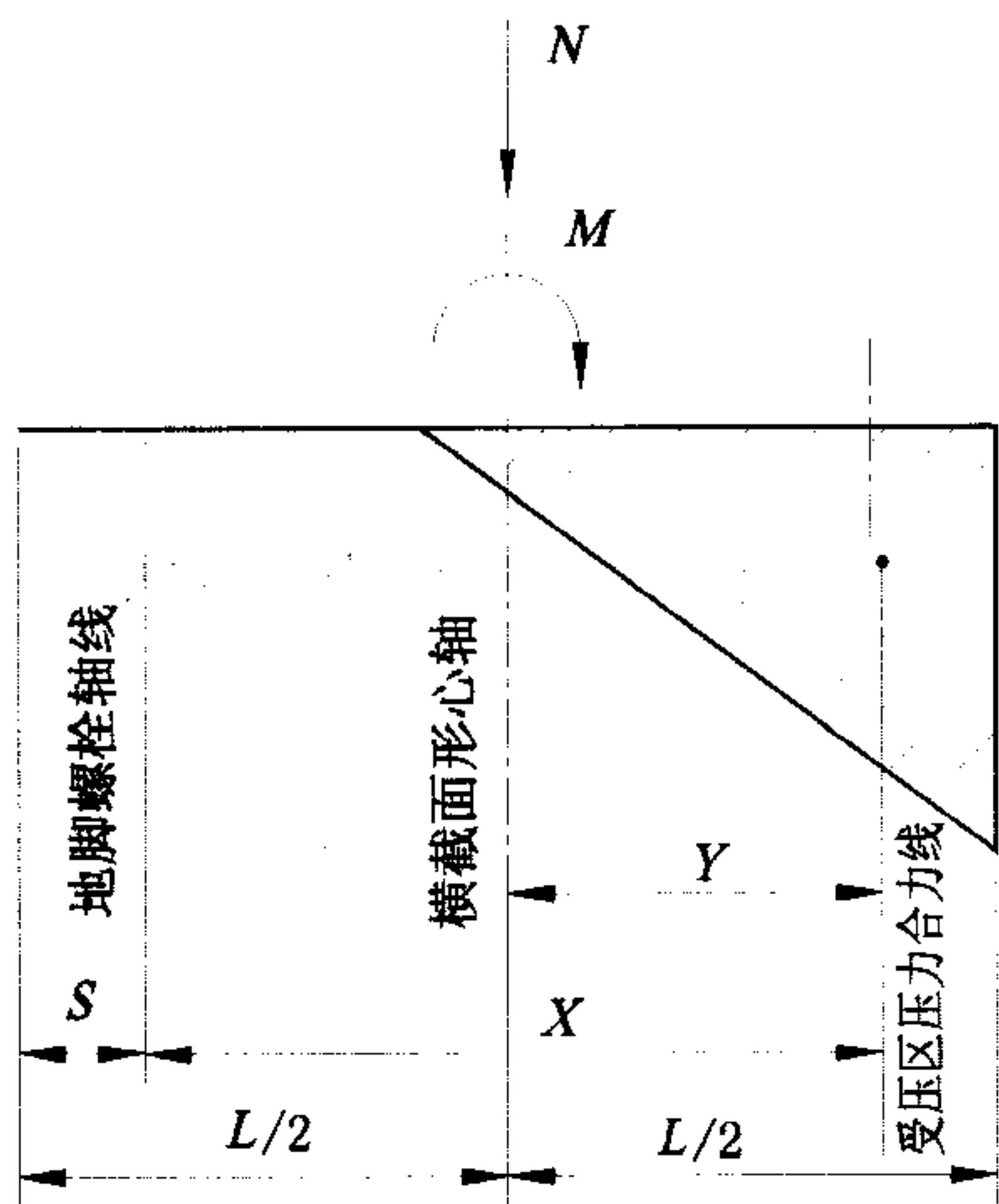


图 9 偏心受压柱锚栓计算简图

8.6.2 当为轴心受拉柱的柱脚时, 受拉区锚栓的总有效面积, 应按公式 (73) 计算:

$$A_e \geq \frac{N_t}{f_t^a} \dots\dots\dots (73)$$

式中:

- A_e —— 锚栓总有效面积 (单个锚栓的有效面积参见附录 C);
- N_t —— 柱脚底面在柱截面形心轴处所受的轴心拉力;
- f_t^a —— 锚栓的抗拉强度设计值。

8.6.3 当为轴心受压柱的柱脚时, 锚栓的规格及数目, 应满足构造要求。

9 构造要求

9.1 一般构造

9.1.1 钢结构的构造应便于制作、运输、安装、维护并使结构受力简单明确, 减少应力集中, 避免材

料三向受拉。

9.1.2 实腹式型钢梁、柱，当其腹板高度 h_0 与厚度 t_w 之比大于 80 时，应在腹板两侧对称布置侧向加劲肋。当梁的翼缘上受有集中荷载时，宜在其受力处的腹板上对称设置加劲肋。加劲肋的厚度不应小于 6mm。

9.1.3 承重的型钢梁应在支座连接处的腹板上设置侧向加劲肋；当为工字形（含 H 型钢）梁、柱连接时，应对称设置侧向加劲肋，其净间距应为型钢腹板的高度（见图 10）。

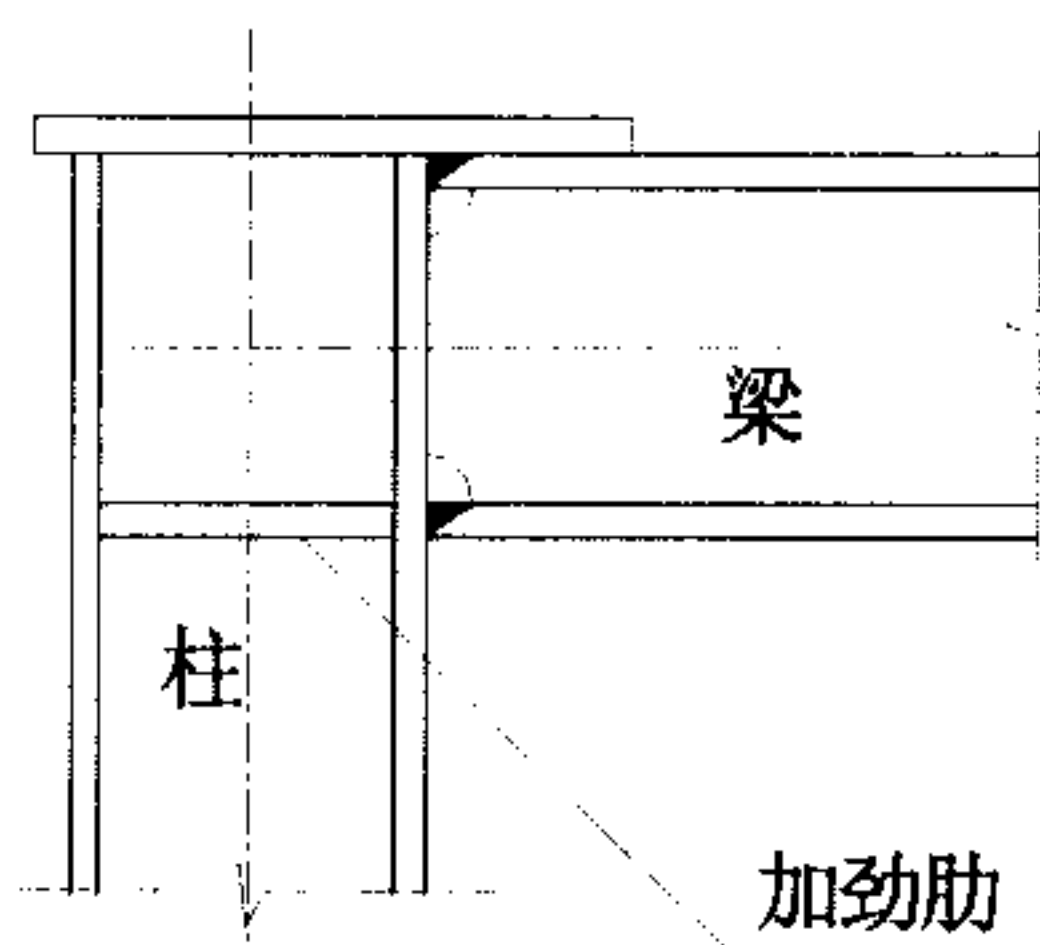


图 10 梁、柱加劲肋

9.1.4 炉底柱及自支承烟囱的底座板厚度不应小于 14 mm，当为高台底座（见图 11）柱脚时，其高台底座的盖板厚度不应小于 16 mm。

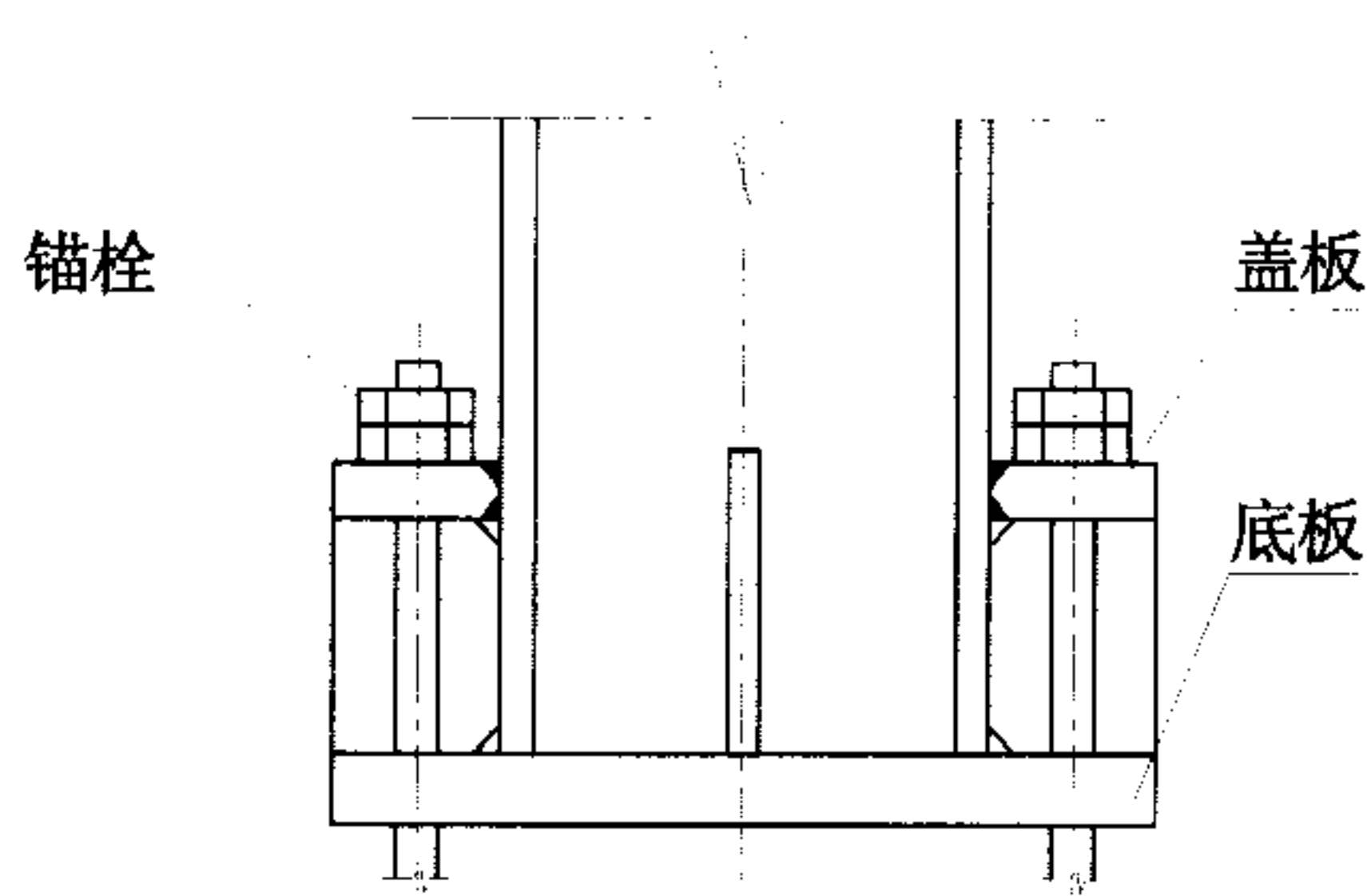


图 11 高台底座柱脚

9.1.5 当钢结构需要进行抗震设计时，其构造尚应符合 GB 50011 的规定。

9.2 焊缝连接

9.2.1 在钢结构设计文件中，应注明焊缝形式和焊缝的质量等级。

9.2.2 焊缝金属应与主体金属相适应。当不同强度的钢材连接时，可采用与低强度钢材相适应的焊接材料。

9.2.3 在设计中不得任意加大焊缝，避免焊缝立体交叉和在一处集中大量焊缝，同时焊缝的布置应尽可能对称于构件形心轴。焊件厚度大于 20 mm 的角接接头焊缝，应采用收缩时不易引起层状撕裂的构造。钢板的拼接当采用对接焊缝时，纵横两方向的对接焊缝，可采用十字形交叉或 T 形交叉；当为 T 形交叉时，交叉点的间距不得小于 200 mm。

9.2.4 对接焊缝的坡口形式，宜根据板厚和施工条件按 GB 985 或 GB 986 的要求选用。

9.2.5 在对接焊缝的拼接处：当焊件的宽度不同或厚度在一侧相差 4 mm 以上时，应分别在宽度方向或厚度方向从一侧或两侧做成坡度不大于 1:2.5 的斜角（见图 12）；当厚度不同时，焊缝坡口形式应根据较薄焊件厚度按本规范 9.2.4 条的要求取用。

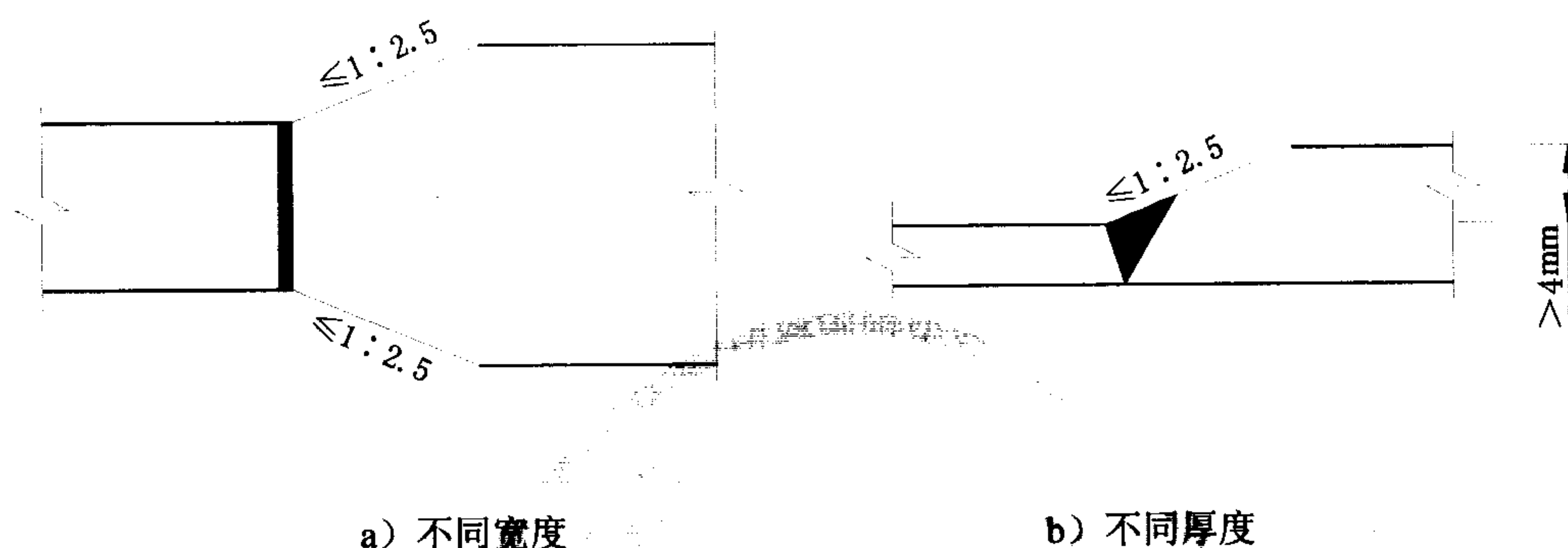


图 12 不同宽度或厚度钢板的拼接

9.2.6 当采用部分焊透的对接焊缝时，应在设计图中注明坡口的形式和尺寸，其计算厚度 h_e (mm) 不得小于 $1.5\sqrt{t}$ ， t (mm) 为较厚焊件的厚度。

在直接承受动力荷载的结构中，垂直于受力方向的焊缝不宜采用部分焊透的对接焊缝。

9.2.7 角焊缝两焊脚边的夹角 α 宜为 90° (直角角焊缝)。夹角 $\alpha > 135^\circ$ 时或 $\alpha < 60^\circ$ 的斜角角焊缝，不宜用作受力焊缝 (钢管结构除外)。

9.2.8 角焊缝的尺寸应符合下列要求：

- a) 角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm) 不得小于 $1.5\sqrt{t}$ ， t (mm) 为较厚焊件的厚度 (当采用低氢型碱性焊条施焊时，可采用较薄焊件的厚度)。但对埋弧自动焊，最小焊脚尺寸可减小 1mm；对 T 形连接的单面角焊缝，应增加 1mm。当焊件厚度等于或小于 4mm 时，则最小焊脚尺寸应与焊件厚度相同；
- b) 角焊缝的焊脚尺寸不宜大于较薄焊件厚度的 1.2 倍 (钢管结构除外)，但板件 (厚度为 t) 边缘的角焊缝最大焊脚尺寸 h_f 尚应符合下列要求：
 - 1) 当 $t \leq 6\text{mm}$ 时， $h_f \leq t$ ；
 - 2) 当 $t > 6\text{mm}$ 时， $h_f \leq t - (1 \sim 2)\text{mm}$ ；
 圆孔或槽孔内的角焊缝焊脚尺寸尚不宜大于圆孔直径或槽孔短径的 $1/3$ ；
- c) 角焊缝的两焊脚尺寸一般为相等。当焊件的厚度相差较大且等焊脚尺寸不能符合本条 a)、b) 两项要求时，可采用不等焊脚尺寸，与较薄焊件接触的焊脚边应符合本条 b) 项的要求；与较厚焊件接触的焊脚边应符合本条 a) 项的要求。
- d) 侧面角焊缝的计算长度不得小于 $8h_f$ 和 40mm (h_f 为角焊缝的焊脚高度，见图 6)；
- e) 侧面角焊缝的计算长度不宜大于 $60h_f$ (h_f 为角焊缝的焊脚高度，见图 6)，当大于上述数值时，其超过部分在计算中不予考虑。若内力沿侧面角焊缝全长分布时，其计算长度不受此限。

9.2.9 在直接承受动力荷载的结构中，角焊缝表面应做成直线形或凹形。正面角焊缝焊脚尺寸的比例宜为 $1:1.5$ (长边顺内力方向)；侧面角焊缝焊脚尺寸的比例可为 $1:1$ 。

9.2.10 在次要构件或次要焊缝连接中，可采用断续角焊缝。断续角焊缝焊段的长度不得小于 $10h_f$ 或 50mm，其净距不应大于 (对受压构件) $15t$ 或 $30t$ (对受拉构件)， t 为较薄焊件的厚度。

9.2.11 当板件的端部仅有两侧面角焊缝连接时，每条侧面角焊缝长度不宜小于两侧面角焊缝之间的距离；同时两侧面角焊缝之间的距离不宜大于 $16t$ （当 $t > 12\text{ mm}$ 时）或 190 mm （当 $t \leq 12\text{ mm}$ 时）， t 为较薄焊件的厚度。

9.2.12 杆件与节点板的连接焊缝（见图 13）宜采用两面侧焊，也可采用三面围焊，对角钢杆件可采用 L 形围焊，所有围焊的转角处必须连续施焊。

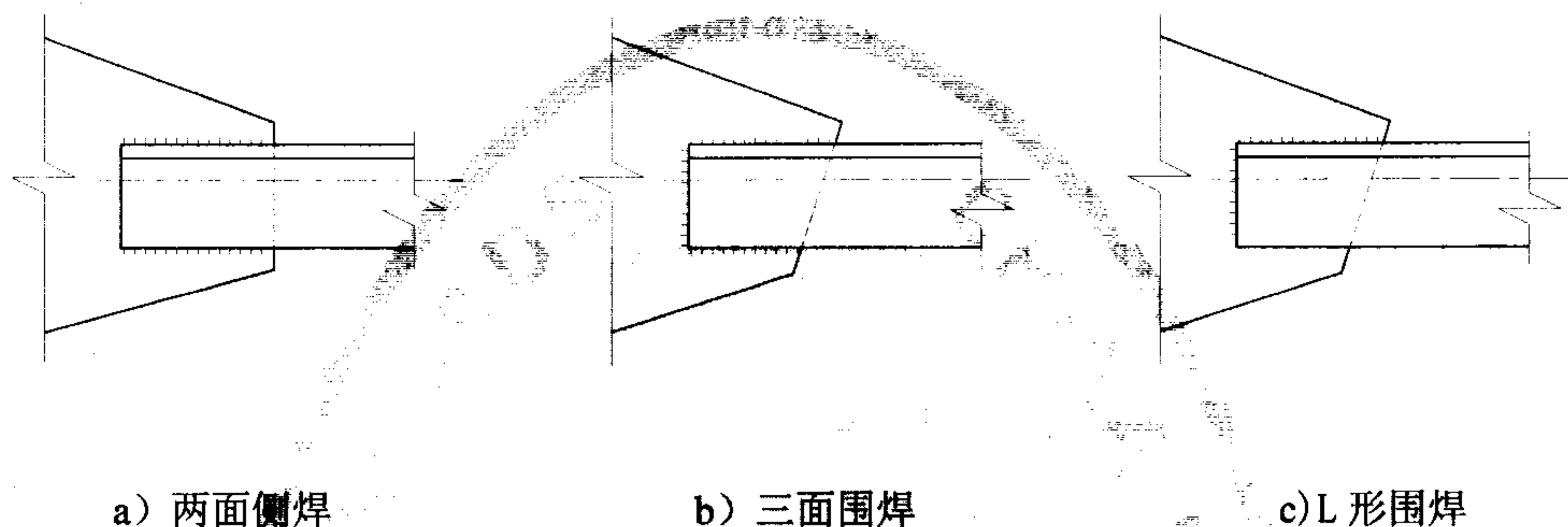


图 13 杆件与节点板的焊缝连接

9.2.13 当角焊缝的端部在构件转角处做长度为 $2h_f$ （ h_f 为角焊缝的焊脚高度，见图 6）的绕角焊时，转角处必须连续施焊。

9.2.14 角焊缝在搭接连接中，搭接长度不得小于较薄焊件厚度的 5 倍，并不得小于 25 mm 。

9.3 螺栓连接和锚栓

9.3.1 C 级螺栓的孔径应比螺栓公称直径大 $1\text{ mm} \sim 4\text{ mm}$ 。

9.3.2 A 级、B 级螺栓的孔径，应比螺栓公称直径大 $0.5\text{ mm} \sim 1.0\text{ mm}$ 。

9.3.3 高强度螺栓孔应采用钻成孔。摩擦型连接的高强度螺栓的孔径比螺栓公称直径大 $1.5\text{ mm} \sim 2.0\text{ mm}$ 。

9.3.4 当型钢构件拼接采用高强度螺栓连接时，其拼接件宜采用钢板。

9.3.5 在高强度螺栓连接范围内，构件接触面的处理方法应在施工图中注明。

9.3.6 C 级螺栓宜用于沿其杆轴方向受拉的连接，在下列情况下可用于受剪连接：

- a) 承受静力荷载或间接承受动力荷载结构中的次要连接；
- b) 承受静力荷载的可拆卸结构的连接；
- c) 临时固定构件用的安装连接。

9.3.7 每一杆件的节点上以及拼接接头的一端，永久性的螺栓数目不宜少于两个。

9.3.8 沿杆轴方向受拉的螺栓连接中的端板（法兰板），应适当增强其刚度（如加设加劲肋），以减少撬力对螺栓抗拉承载力的不利影响。

9.3.9 在焊接构件中，安装螺栓的公称直径不宜小于 M16。

9.3.10 对直接承受动力荷载的普通螺栓受拉连接应采用双螺母或其他能防止螺帽松动的有效措施。

9.3.11 锚栓不应小于 M20，当采用高台底座时，锚栓不应小于 M24。每根立柱锚栓的数目不应少于两个；对于压弯柱、拉弯柱的柱脚，每根立柱锚栓的数目不应少于四个，且布置在受拉区的锚栓数目不得少于两个。

9.3.12 锚栓应采用双螺母固定。

9.3.13 锚栓的腐蚀裕度应为 3mm。

9.3.14 锚栓的孔径，应比锚栓的公称直径大 4mm~6mm。

9.4 圆筒炉

9.4.1 圆筒炉的炉底柱，当采用工字钢时，不应小于 I20a；当采用双槽钢组合截面时，不应小于 [16a。

9.4.2 圆筒炉对流室的表面钢板厚度，应符合下列规定：

- a) 当采用加劲肋加固表面钢板时，不应小于 5mm；
- b) 当采用交叉斜撑加固时，不应小于 6mm。

9.4.3 对流室侧面钢架横梁的间距，应为 2.5m~5m。

9.4.4 辐射炉管支承在筒体上部时，应在筒体顶部环梁和吊管梁之间设置竖向连接板，其间距宜为 0.6m~1.3m。

9.4.5 需进行抗震设防的圆筒炉应符合下列要求：

- a) 对流室高度不宜大于辐射室高度；
- b) 对流室结构构件，应对称布置。当对流室高度大于 4m 时，宜在对流室框架的侧向，对称设置斜撑（见图 2）；
- c) 对流室顶设有直筒式烟囱时，对流室顶面应设置平行于顶面的斜撑；
- d) 当对流室顶面支承烟囱的底座梁采用型钢支承时，其型钢不宜小于 I20a 或 [22a，且梁端与柱连接时宜采用刚性连接；
- e) 炉底柱等于或少于 8 根时，柱脚应设置高台底座，柱脚与基础应为固接；
- f) 对流室立柱的长细比，在设防烈度为 6~8 度时不应大于 $120\sqrt{235/f_y}$ ，9 度时不应大于 $100\sqrt{235/f_y}$ ， f_y (N/mm²) 为柱钢材的屈服强度。

9.5 箱式炉

9.5.1 表面钢板厚度不应小于 5mm，当在钢板外表面设置加劲肋时，加劲肋的厚度不应小于 6mm。

9.5.2 炉架侧墙顶部和底部横梁及炉架柱变截面部位的横梁，均不宜小于 I20a。

9.5.3 炉框架梁或柱接长时，接头应避开最大应力区。

9.5.4 炉顶设有风机时，其支座梁不宜小于 I32a，当设置支座板时，支座板厚度不应小于 14mm。

9.5.5 需进行抗震设防的箱式炉应符合下列要求：

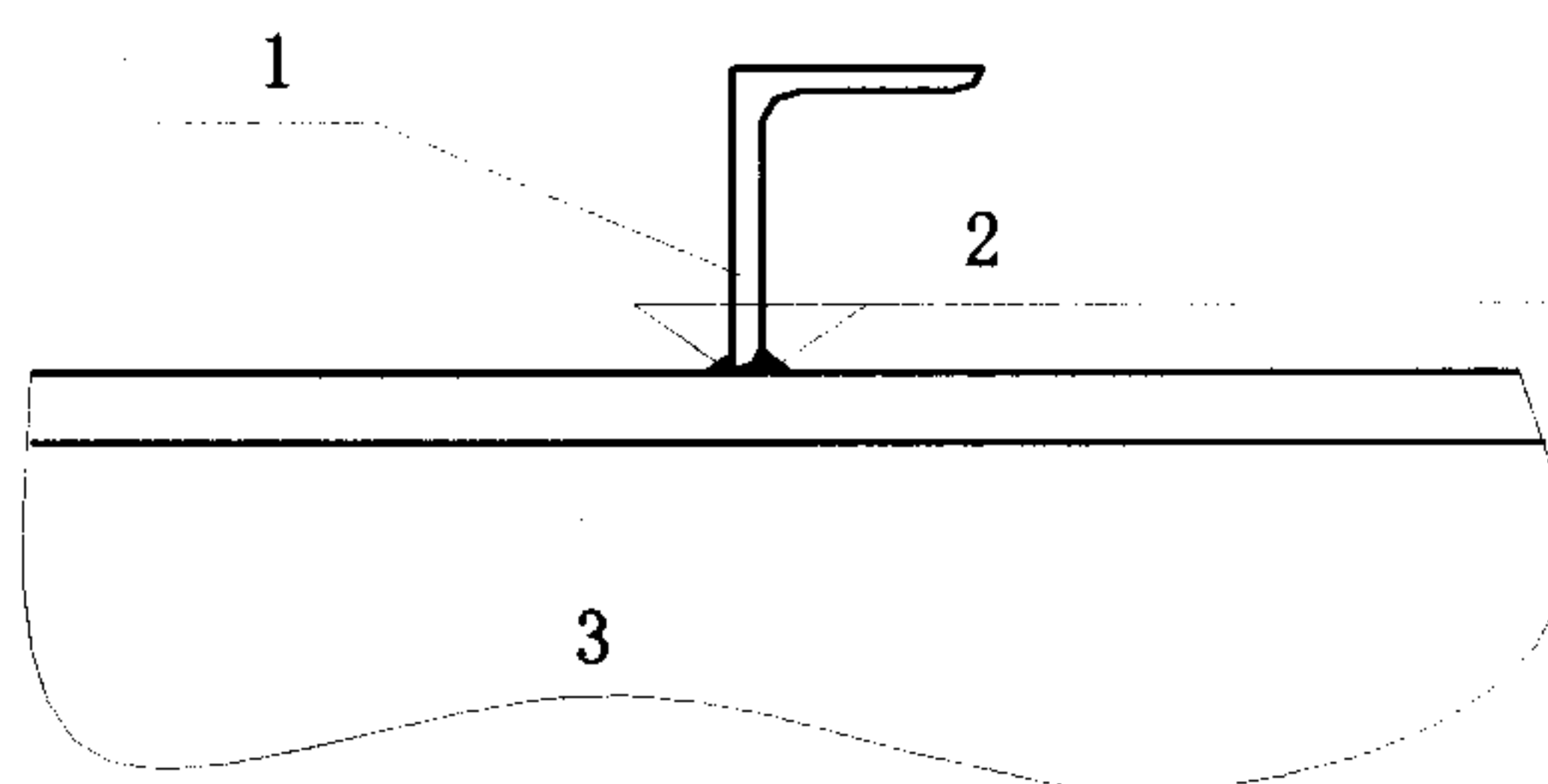
- a) 炉顶平面应设置构造斜撑；
- b) 炉框架立柱的长细比，在设防烈度为 6~8 度时不应大于 $120\sqrt{235/f_y}$ ，9 度时不应大于 $100\sqrt{235/f_y}$ ， f_y (N/mm²) 为柱钢材的屈服强度。

9.6 烟囱和烟风道

9.6.1 烟囱的壁板厚度不应小于 6mm；烟风道的壁板厚度不宜小于 5mm。

9.6.2 烟囱和烟风道上的加劲肋间距不应大于 1.5m，加劲肋厚度不应小于 5mm 或 L50×5，加劲肋与烟囱或烟风道壁板的焊接，宜采用断续角焊缝（图 14）。矩形烟风道的截面积大于 4.5m² 时，尚应增设纵向加劲肋和围框，纵向加劲肋和围框宜采用工字钢或槽钢截面。工字钢或槽钢不应小于 I10 或 [10。

9.6.3 炉顶烟囱底座螺栓，当采用法兰形式连接时，连接螺栓不应小于 M16，螺栓间距不应大于 250mm，见图 15 a)；当采用高台底座形式连接时，连接螺栓不应小于 M24，螺栓数目不应少于 8 个，见图 15 b)。螺栓均应采用双螺母，螺栓头宜点焊在底座梁上。



- 1——加劲肋；
2——断续焊接；
3——壁板。

图 14 加劲肋与壁板焊接示意

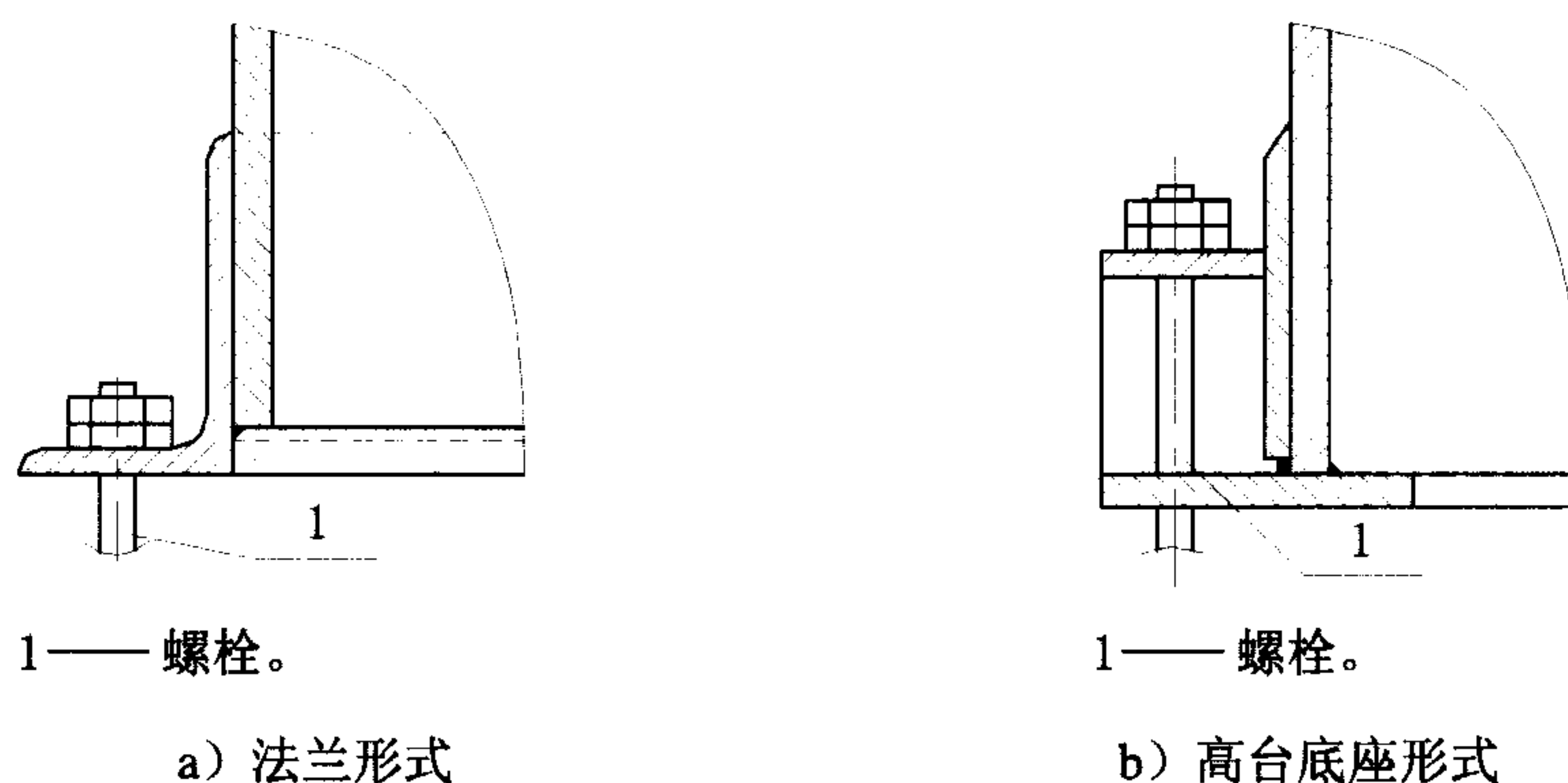


图 15 烟囱底座连接形式

9.6.4 自支承式烟囱应在最低部位设置排水口。

9.6.5 烟道的承插式膨胀节，宜设在支座处，如需要悬出支座外，其最大悬伸长度不应大于 1.7m。

9.6.6 烟囱和烟风道的开孔或接管不宜设在壁板的焊缝连接处。

9.7 桁架

9.7.1 焊接桁架应以杆件形心线为轴线，螺栓连接的桁架可采用靠近杆件形心线的螺栓准线为轴线，在节点处各轴线相交于一点（钢管结构除外）。

当桁架弦杆的截面变化时，如轴线变动不超过较大弦杆截面高度的 5%，可不考虑其影响。

9.7.2 分析桁架杆件内力时，可将节点视为铰接。对用节点板连接的桁架，当杆件为 H 形、箱形等刚度较大的截面，且在桁架平面内的杆件截面高度与其几何长度（节点中心间的距离）之比大于 1/10（对弦杆）或大于 1/15（对腹杆）时，应考虑节点刚性所引起的次弯矩。

9.7.3 当焊接桁架的杆件用节点板连接时，弦杆与腹杆、腹杆与腹杆之间的间隙不应小于 20mm，相邻角焊缝焊趾间净距不应小于 5mm。

当桁架杆件不用节点板连接时，相邻腹杆连接角焊缝焊趾间净距不应小于 5mm（钢管结构除外）。

9.7.4 节点板的厚度一般根据所连接杆件内力的大小确定，但不得小于 6mm。节点板的平面尺寸应考虑制作和装配的误差。

9.8 提高寒冷地区结构抗脆断能力的措施

9.8.1 结构形式和加工工艺的选择应尽量减少结构的应力集中。在冬季计算温度等于或低于 -30°C 的地区，焊接构件宜采用较薄的组成板件。

9.8.2 在冬季计算温度等于或低于 -20°C 的地区，焊接结构的构造宜符合下列要求：

- a) 在桁架节点板上，腹杆与弦杆相邻焊缝焊趾间净距不宜小于 $2.5t$ （ t 为节点板厚度）；
- b) 凡平接或T形对接的节点板，在对接焊缝处，节点板两侧宜做成半径 r 不小于60 mm的圆弧并予打磨，使之平缓过渡；
- c) 对接焊缝的质量等级不得低于二级。

9.8.3 在冬季计算温度等于或低于 -20°C 的地区，结构设计和施工宜满足下列要求：

- a) 安装连接宜采用螺栓连接；
- b) 受拉构件的钢材边缘宜为轧制边或自动气割边。对厚度大于10 mm的钢材采用手工气割或剪切边时，应沿全长刨边；
- c) 应采用钻成孔或先冲后扩钻孔。

9.9 制作、运输和安装

9.9.1 结构运送单元的划分，除应考虑结构受力条件外，尚应注意经济合理，便于运输、堆放和易于拼接。

9.9.2 结构的安装连接应采用传力可靠、制作方便、连接简单、便于调整的构造形式。

9.9.3 安装连接采用焊接时，应考虑定位措施，将构件临时固定。

9.10 防护和隔热

9.10.1 钢结构除必须采取防锈措施（除锈后涂以油漆或金属镀层等）外，尚应在构造上尽量避免出现难于检查、清刷和油漆之处以及能积留湿气和大量灰尘的死角或凹槽。闭口截面构件应沿全长和端部焊接封闭。

钢结构的除锈等级应和所用的涂料（涂层）相匹配，除锈等级应不低于GB/T 8923中所规定的St2级。

钢结构防腐蚀采用的涂料以及防腐蚀对钢结构的构造要求等，应符合GB 50046和SH 3022的规定。在设计文件中应注明所要求的钢材除锈等级和所要用的涂料（或镀层）及涂（镀）层厚度。

9.10.2 当柱脚底面在地面以上时，柱脚底面应高出地面不小于100 mm。

9.10.3 加热炉钢结构的防火应符合SH/T 3036的要求。

附录 A
(资料性附录)
寒冷地区冬季计算温度

A.1 寒冷地区冬季计算温度见表 A.1。

表 A.1 寒冷地区冬季计算温度

序号	地 名	冬季计算温度 ℃
1	承 德	—19.8
2	张家口	—22.9
3	大 同	—24.0
4	海拉尔	—42.5
5	锡林浩特	—32.5
6	二连浩特	—34.5
7	通 辽	—26.7
8	赤 峰	—24.7
9	呼和浩特	—25.1
10	开 原	—29.0
11	阜 新	—23.2
12	抚 顺	—28.7
13	沈 阳	—24.9
14	朝 阳	—22.3
15	本 溪	—24.9
16	锦 州	—19.9
17	鞍 山	—25.2
18	营 口	—21.5
19	丹 东	—20.7
20	通 榆	—29.8
21	吉 林	—33.8
22	长 春	—29.8
23	四 平	—27.7
24	延 吉	—25.7
25	通 化	—29.7
26	爱 辉	—36.1
27	伊 春	—37.0
28	齐齐哈尔	—32.0
29	鹤 岗	—30.0

表 A.1（续） 寒冷地区冬季计算温度

序号	地 名	冬季计算温度 ℃
30	佳木斯	－33.7
31	安 达	－33.7
32	哈尔滨	－33.0
33	鸡 西	－29.5
34	牡丹江	－31.0
35	绥芬河	－31.0
36	索 县	－28.4
37	那 曲	－33.2
38	榆 林	－25.7
39	延 安	－18.0
40	敦 煌	－22.7
41	酒 泉	－23.3
42	山 丹	－28.0
43	兰 州	－15.8
44	西 宁	－20.3
45	格尔木	－23.0
46	都 兰	－20.3
47	共 和	－19.6
48	玛 多	－37.8
49	玉 树	－18.7
50	石嘴山	－21.5
51	银 川	－23.4
52	吴 忠	－18.3
53	盐 池	－23.6
54	中 卫	－22.9
55	固 原	－22.0
56	阿勒泰	－39.1
57	克拉玛依	－32.8
58	伊 宁	－34.0
59	乌鲁木齐	－33.3
60	吐鲁番	－23.7
61	哈 密	－26.4
62	喀 什	－18.2
63	和 田	－18.1
注：表中“冬季计算温度”内容摘自《采暖通风与空气调节设计规范》GBJ 19—87（2001 年修订版）附录二中的“冬季最低日平均温度”。		

附 录 B
(规范性附录)
风荷载计算

B.1 风荷载标准值，应按下式计算：

$$W_k = \beta_z \mu_s \mu_z W_0 \dots\dots\dots (B.1)$$

$$\beta_z = 1 + (\xi v \phi_z) / \mu_z \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

- W_k —— 风荷载标准值， kN / m^2 ；
- W_0 —— 基本风压值， kN / m^2 ，取值不得小于 $0.35 \text{kN} / \text{m}^2$ ；
- ξ —— 脉动增大系数，按表 B.2 查取；
- v —— 脉动影响系数，按表 B.3 查取；
- β_z —— Z 高度处的风振系数；
- ϕ_z —— 振型系数，按表 B.4 查取；
- μ_s —— 风荷载体型系数，按下列规定采用：
 - a) 圆筒炉筒体取 1.0；
 - b) 平台、梯子、栏杆取 0.4；
 - c) 圆型烟囱和圆型烟、风道取为 0.7；
 - d) 箱式炉和圆筒炉的对流室以及矩形烟、风道取 1.3；
- μ_z —— 风压高度变化系数，按表 B.5 查取。

B.2 各种加热炉的基本自振周期，可按公式 (B.3)、(B.4)、(B.5) 计算：

纯辐射圆筒炉：

$$T_1 = 0.026\ 8 + 0.044\ 44 \frac{H_a}{\sqrt{D_2}} \dots\dots\dots (B.3)$$

总高度等于小于 35m 的辐射对流型圆筒炉：

$$T_1 = 0.250\ 5 + 0.976 \times 10^{-3} \left(\frac{H_1^2}{D_2} + \frac{h_4^2}{D_3} \right) \dots\dots\dots (B.4)$$

总高度等于小于 40m 的箱式炉：

$$T_1 = 0.274\ 9 + 0.029\ 24 \frac{H_L}{\sqrt[3]{B}} \dots\dots\dots (B.5)$$

上述式中：

- B —— 炉框架外柱轴线间距离，m；
- D_2 —— 辐射室筒体外径，m；
- D_3 —— 烟囱外径，m；
- H_a —— 纯辐射圆筒炉的炉底柱、筒体和筒体上部锥段高度之和，m；

- H_L —— 箱式炉的炉框架计算高度（当辐射段边框架未到达对流室时，应取自对流室的形心至框架柱柱脚板下表面之间的距离），m；
- H_1 —— 炉底柱、辐射室筒体和对流室高度之和，m；
- T_1 —— 基本自振周期，s；
- h_4 —— 对流室顶部烟囱高度，m。

B.3 自支承烟囱的基本自振周期，可按公式（B.6）、（B.7）计算：
直筒式烟囱：

$$T_1 = 1.79 H_e \sqrt{\frac{m_e H_e}{EI}} \dots\dots\dots (B.6)$$

锥体式烟囱（见图 B.1）：

$$T_1 = \lambda H_e \sqrt{\frac{A \rho}{EI_1}} \dots\dots\dots (B.7)$$

上述式中：

- A —— 烟囱底部横截面积， m^2 ；
- E —— 钢材的弹性模量，kPa；
- I —— 烟囱计算截面惯性矩， m^4 ；
- H_e —— 烟囱计算高度，m；
- I_1 —— 烟囱底部惯性矩， m^4 ；
- m_e —— 烟囱总质量，t；
- ρ —— 烟囱壁折算密度（当烟囱有衬里时，应包括衬里密度）， t/m^3 ；
- λ —— 系数，与 H_0/H_{1e} 有关，按表 B.1 选用。

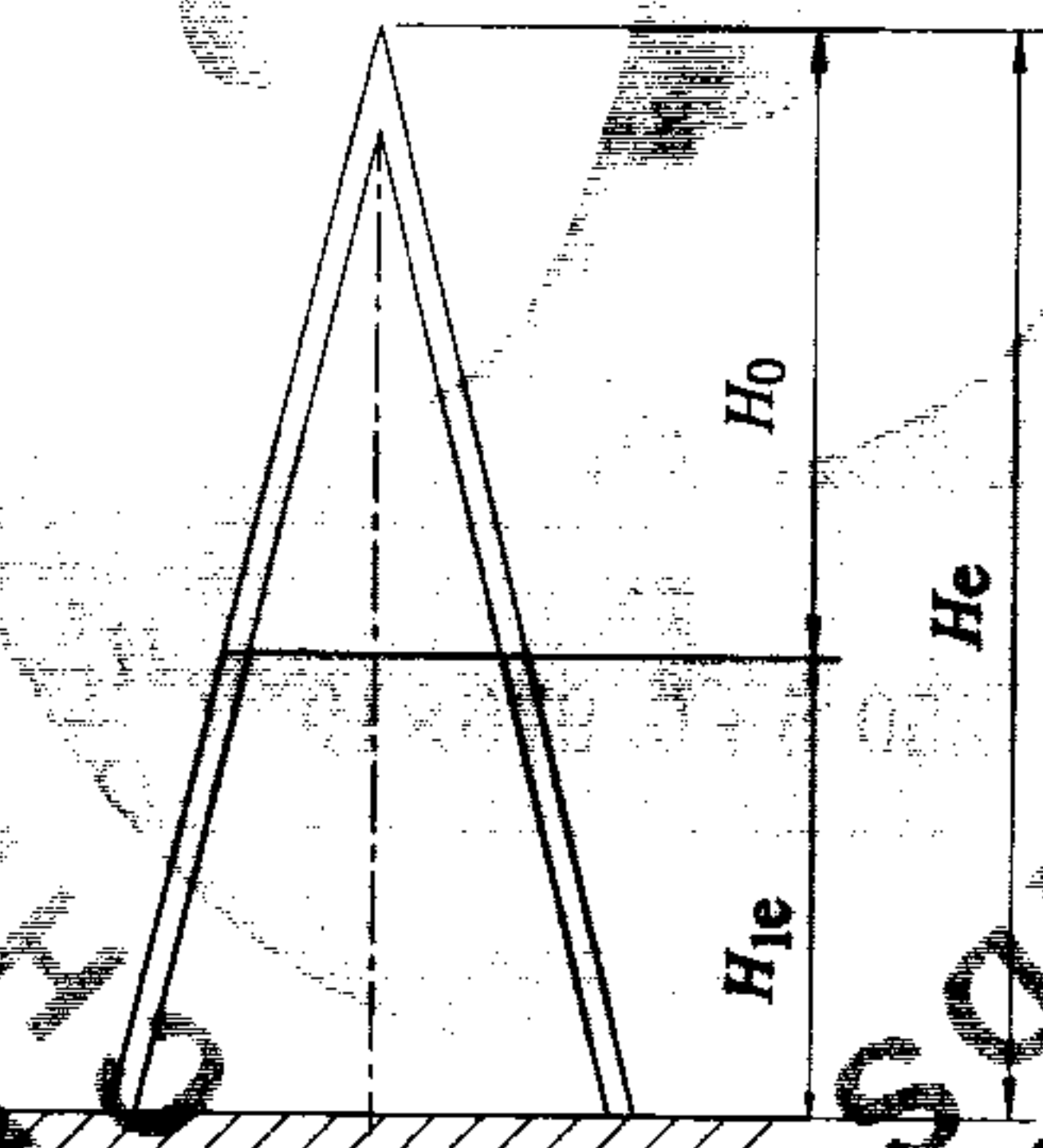


图 B.1 锥体式烟囱

表 B.1 λ 值

H_0/H_{1e}	0.4	0.6	0.8	1.0
λ	1.29	1.5	1.7	1.79
注：中间值按插入法计算。				

表 B.2 脉动增大系数ξ

$W_0T_1^2, \text{kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2 \text{ }^a$	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.20	0.40	0.60
ξ	1.47	1.57	1.69	1.77	1.83	1.88	2.04	2.24	2.36
$W_0T_1^2, \text{kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2 \text{ }^a$	0.80	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	20.00	30.00
ξ	2.46	2.53	2.80	3.09	3.28	3.42	3.54	3.91	4.14
^a 计算 $W_0T_1^2$ 时, 对地面粗糙度 B 类地区可直接代入基本风压, 而对 A 类、C 类和 D 类地区应按当地的基本风压分别乘以 1.38、0.62 和 0.32 后代入。									

表 B.3 脉动影响系数ν

总高度 m		10	20	40	60	80	100	150
地面粗糙度 类 别	A	0.78	0.83	0.87	0.89	0.89	0.89	0.87
	B	0.72	0.79	0.85	0.88	0.89	0.90	0.89
	C	0.64	0.73	0.82	0.87	0.90	0.91	0.93
	D	0.53	0.65	0.77	0.84	0.89	0.92	0.97
注 1: A 类指近海海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区。 注 2: B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区。 注 3: C 类指有密集建筑群的城市市区。 注 4: D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。								

表 B.4 振型系数φ_Z

相对高度 Z/H	B_H/B_0				
	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
0.1	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.2	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
0.3	0.14	0.12	0.11	0.09	0.07
0.4	0.23	0.21	0.19	0.16	0.13
0.5	0.34	0.32	0.29	0.26	0.21
0.6	0.46	0.44	0.41	0.37	0.31
0.7	0.59	0.57	0.55	0.51	0.45
0.8	0.79	0.71	0.69	0.66	0.61
0.9	0.86	0.86	0.85	0.83	0.80
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
注 1: Z 指计算高度。 注 2: H 指炉体总高度 (包括烟囱)。 注 3: B_H 指计算高度处的迎风宽度。 注 4: B_0 指炉底迎风宽度。					

表 B.5 风压高度变化系数 μ_z

离地面或海面高度 m	地面粗糙类别			
	A	B	C	D
5	1.17	1.00	0.74	0.62
10	1.38	1.00	0.74	0.62
15	1.52	1.14	0.74	0.62
20	1.63	1.25	0.84	0.62
30	1.80	1.42	1.00	0.62
40	1.92	1.56	1.13	0.73
50	2.03	1.67	1.25	0.84
60	2.12	1.77	1.35	0.93
70	2.20	1.86	1.45	1.02
80	2.27	1.95	1.54	1.11
90	2.34	2.02	1.62	1.19
100	2.40	2.09	1.70	1.27
150	2.64	2.38	2.03	1.61
<div>注 1: A 类指近海海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠地区。</div> <div>注 2: B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇和城市郊区。</div> <div>注 3: C 类指有密集建筑群的城市市区。</div> <div>注 4: D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。</div>				

附录 C
(资料性附录)
螺栓和锚栓的有效面积

C.1 螺栓和锚栓的有效面积见表 C.1

表 C.1 螺栓和锚栓的有效面积

螺栓直径, mm	螺距, mm	螺栓有效面积, cm ²
12	1.75	0.84
(14)	2.0	1.15
16	2.0	1.57
(18)	2.5	1.92
20	2.5	2.45
(22)	2.5	3.03
24	3.0	3.53
(27)	3.0	4.59
30	3.5	5.61
(33)	3.5	6.94
36	4.0	8.17
(39)	4.0	9.76
42	4.5	11.20
(45)	4.5	13.10
48	5.0	14.70
(52)	5.0	17.60
56	5.5	20.30
(60)	5.5	23.60
64	6.0	26.80
(72)	6.0	34.60
76	6.0	38.90
(80)	6.0	43.40
90	6.0	55.91
注: 括号中数字为第二系列, 必要时也可以采用, 但应优先采用不带括号的第一系列。		

附 录 D
(资料性附录)
烟囱共振时最大位移

D.1 烟囱共振时最大位移按公式 (D.1) 计算。

$$X_{1\max}(Z) = \frac{v_{\text{cr1}}^2 D \phi_1(Z)}{8000 \zeta_1 m \omega_1^2} \dots\dots\dots (\text{D.1})$$

式中:

- D —— 结构截面的直径, m, 当结构沿高度方向截面缩小时 (倾斜度不大于 0.02), 可近似取 2/3 结构高度处的直径;
- $X_{1\max}(Z)$ —— 烟囱 Z 高度处第 1 振型共振时的最大位移, m;
- m —— 烟囱等效质量, t;
- v_{cr1} —— 第 1 振型对应的临界风速, m/s, 按本规范公式 (5) 计算;
- $\phi_1(Z)$ —— 第 1 振型对应的振型系数, 由计算确定或参考附录 B;
- ζ_1 —— 结构阻尼比, 对钢烟囱取 0.01;
- ω_1 —— 第 1 振型对应的圆频率。

注: 本附录内容摘自《高耸结构设计手册》(中国建筑工业出版社 王肇民主编)。

用词说明

对本规范条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

(一) 表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用词为“必须”(must)；

(二) 表示要准确地符合规范而应严格遵守时，用词为：

正面词采用“应”(shall)；

反面词采用“不应”或“不得”(shall not)。

(三) 表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用词为：

正面词采用“宜”(should)；

反面词采用“不宜”(should not)。

(四) 表示在规范的界限内所允许的行动步骤时，用词为：

正面词采用“可”(may)；

反面词采用“不必”(need not)。

中华人民共和国石油化工行业标准

石油化工管式炉钢结构设计规范

SH/T 3070—2005

条 文 说 明

2006 北 京

目 次

3	设计原则	49
4	设计基本规定	49
4.1	材料	49
4.2	设计指标	49
4.3	结构或构件变形的规定	49
4.4	一般设计规定	50
5	荷载和作用	50
5.2	风荷载	50
5.4	雪荷载	50
5.5	炉顶风机当量荷载	51
5.6	地震作用	51
7	构件强度和稳定性计算	51
7.3	轴心受力构件	51
7.4	拉弯构件和压弯构件	51
7.5	薄壁筒体	51
7.6	构件的计算长度	51
8	连接计算	51
8.2	焊缝连接	51
8.3	螺栓（普通螺栓等）连接	51
8.4	梁与柱的刚性连接	51
8.5	连接节点处板件的计算	51
8.6	锚栓（地脚螺栓）连接	51
9	构造要求	52
9.1	一般构造	52
9.2	焊缝连接	52
9.3	螺栓连接和锚栓	52
9.4	圆筒炉	52
9.5	箱式炉	52
9.6	烟囱和烟风道	53
9.7	桁架	53
9.8	提高寒冷地区结构抗脆断能力的措施	53
9.9	制作、运输和安装	53
9.10	防护和隔热	53

石油化工管式炉钢结构设计规范

3 设计原则

3.1 根据国家标准 GB 50068—2001《建筑结构可靠度设计统一标准》的规定,并为使本规范与国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》及其他设计规范配套使用,本规范由原 SH/T 3070—1995《石油化工管式炉钢结构设计规范》采用的容许应力设计法修改为采用以概率论为基础的极限状态设计法。

3.2 承载能力极限状态可理解为结构或构件发挥允许的最大承载功能的状态。结构或构件由于塑性变形而使其几何形状发生显著改变,虽未达到最大承载能力,但已彻底不能使用,也属于达到这种极限状态。

正常使用极限状态可理解为结构或构件达到使用功能上允许的某个限值的状态。例如,圆筒炉对流室底部大梁必须控制挠度,若挠度过大,会直接影响管板变形,导致炉管弯曲。

3.3 根据国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定,一般工业和民用建筑钢结构的安全等级应为二级,石油化工管式炉钢结构也属于一般工业建筑钢结构,对以后的超大型管式炉等特殊情况单独另行确定。

3.4~3.6 摘自国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》。

3.7 由于管式炉炉膛内有火焰加热、炉管内多为易燃易爆危险工艺介质、管式炉的钢结构施工多为高空现场作业、钢结构的连接难以检查等特点,故本标准规定在进行构件强度、稳定验算时,不予考虑构件截面部分发展塑性变形。

4 设计基本规定

4.1 材料

4.1.2 为了防止钢结构的脆性破坏,规定了 Q235 沸腾钢的使用限制。

4.1.4 在钢结构制造中,由于钢材质量和焊接构造等原因,厚板容易出现层状撕裂,这对沿厚度方向受拉的接头来说是很不利的。为此,需要采用厚度方向性能钢板。我国建筑抗震设计规范和建筑钢结构焊接技术规程中均规定厚度大于 40 mm 时采用厚度方向性能钢板。

4.2 设计指标

本条考虑了温度作用对设计指标的修正,是根据国家标准 GB 50051—2002《烟囱设计规范》制定的。

4.3 结构或构件变形的规定

4.3.1 受弯构件的允许挠度值,是根据各类构件的功能制定的,例如圆筒炉对流室底大梁的允许挠度为 $L/450$,是根据常用圆筒炉对流室的平均跨度定出的,当对流炉管长度为 4.5 m 时,则对流室底大梁的支承跨度约为 4.5 m,此时梁最大允许挠度为 10 mm,若该梁变形过大则直接影响到管板变形导致对流炉管弯曲。

4.3.3 该条规定是根据 SH/T 3036—2003《一般炼油装置用火焰加热炉》制定的。

4.4 一般设计规定

4.4.1 各类受压构件的长细比,是根据其所处位置的重要度制订的,例如圆筒炉的炉底柱允许长细比为120,严于其他构件,这是因为圆筒炉炉底柱承托圆筒炉的全部质量,因而必须有足够的储备刚度,使其不致与筒体的刚度差过大,而产生局部变形,从而影响正常使用。

4.4.2 双角钢或双槽钢构件的填板间距规定的目的是:对于受压构件是为了保证一个角钢或一个槽钢的稳定;对于受拉构件是为了保证两个角钢和两个槽钢共同工作并受力均匀。由于此种构件两分肢的距离很小,填板的刚度很大,根据我国多年的使用经验,满足本条要求的构件可按实腹式构件进行计算,不必对虚轴采用换算长细比。

4.4.3 对格构式受压构件的分肢长细比 λ_1 的要求,主要是为了不使分肢先于构件整体失去承载能力。

4.4.4 本条内容是工程实践经验的总结,条文所遵循的原则为:

- a) 筒体直径小于4m的圆筒炉,多系较矮小的炉子,这类炉子一般是质量较小,筒体壁板厚度一般采用6mm,有一定的刚度,可以承受上部传来的荷载,所以可不加筒体柱;
- b) 筒体直径等于大于4m的圆筒炉,在筒体上焊接立柱,是考虑上部传来的全部荷载由立柱承受。为了与炉底柱的数目对应,筒体立柱因此设计成偶数。筒体立柱间距布置在1.6m~2.7m(外壁弧长)的范围,是考虑若立柱间距过大,筒体壁板容易变形;
- c) 筒体上的中间环梁,控制在2.0m~3.0m的范围,是为了控制筒体立柱在平面外的长细比不大于150,同时也是保证筒体环柱组整体稳定的需要;
- f) 对流室的梁、柱和其他受力杆件设计为水平力和垂直力有明确分工的支承形式。当选用持力斜撑时,斜撑设计成对称布置,其水平夹角宜控制在 $35^\circ \sim 55^\circ$ 的范围之内,是因为斜撑布置角度超出此范围,将起不到持力作用。

4.4.5 本条内容是工程实践经验的总结,条文所遵循的原则为:

- b) 在侧向柱列的高端相邻两柱之间和炉顶烟囱下的两柱之间,设置斜撑是保证炉框架整体稳定性的需要,同时也是为了加强炉框架柱的侧向刚度;
- d) 炉体侧向柱列的连系梁,其上下间距控制在3m~6m的范围,这是考虑框架柱的侧向长细比不应大于120,也是考虑加强炉壁板的刚度(当连系梁与壁板连接时),连系梁的上下间距大,则被包围的炉壁板面积也大,壁板刚度则相应减少,从而容易造成壁板变形;
- e) 穿过炉膛的梁、柱,采取降温隔热措施是考虑梁、柱的温度差不应过大,若梁、柱间的温度差大,其温度效应也相应加大,这样会直接降低梁、柱的使用强度。

4.4.6 烟囱和烟风道的钢结构,其中部分条文所遵循的原则为:

- c) 规定烟囱开孔处的截面补强,其目的是为了保证烟囱开孔削弱后的截面强度能满足设计要求;
- e) 自支承烟囱底座采用有高台底座的形式,是为了增加烟囱锚栓的耗能能力。

4.4.7 烟风道的允许挠度值,是为了控制烟风道的保温层不致因烟风道挠度过大而脱落。

5 荷载和作用

5.2 风荷载

5.2.3 本条是根据 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》、GB 50051—2002《烟囱设计规范》和 GBJ 135—90《高耸结构设计规范》制定的。

5.4 雪荷载

5.4.2 炉体外表面温度,一般为 $60^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$,不易积雪,故不考虑炉体雪荷载,而只计算炉顶棚和操作棚上的雪荷载。

5.5 炉顶风机当量荷载

炉顶风机的当量荷载,是参照 SYJ 1031—83《炼油厂冷却器换热器构架设计技术规定》制定的。

5.6 地震作用

本条是根据 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》和 GB 50051—2002《烟囱设计规范》制定的。

7 构件强度和稳定性计算

7.3 轴心受力构件

本条是依据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定制定的,但其中格构式构件的缀板计算为:假定格构式构件为一单跨多层刚架,缀板中点和缀板之间各肢杆的中点为反弯点,从构件中取出脱离体,进行计算。

7.4 拉弯构件和压弯构件

本条是依据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定制定的,由于加热炉钢结构设计可不考虑塑性变形,故计算公式中舍去了截面塑性发展系数 γ_x 。

7.5 薄壁筒体

本条是依据 GB 50051—2002《烟囱设计规范》的规定制定的。

7.6 构件的计算长度

7.6.2 本条是考虑连接节点处的节点板刚性大小确定的。

8 连接计算

8.2 焊缝连接

8.2.1 本条是为适应实际需要而新增的条款。焊缝的质量等级是依据国家标准 GB 50205—2002《钢结构工程施工质量验收规范》制定的,该条文的制定可以避免一些设计人员对该规范理解不深,在施工图设计中对焊缝质量提出不合理的要求,给施工造成困难。

8.3 螺栓(普通螺栓等)连接

8.3.2 摩擦型高强度螺栓与普通螺栓的重要区别,就是完全不靠螺栓杆的抗剪和承压传力,而是靠钢板之间接触面的摩擦传力。

8.3.4 螺栓间距除满足传力条件外,还满足了施工要求,例如便于转动螺栓板手,所以在条文表 10 中规定了螺栓最大和最小允许间距。当螺栓间距过大时,被连接件之间易发生张口或鼓曲现象,再者螺栓间距过大,被连接件的接触面就不够紧密,潮气就容易浸入缝隙而产生腐蚀。

8.4 梁与柱的刚性连接

本条是按照 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定增加的。

8.5 连接节点处板件的计算

本条是按照 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定增加的。

8.6 锚栓(地脚螺栓)连接

8.6.1 柱脚的锚栓,承受柱脚传来的拉力,但不承受剪力,这是由于其螺栓与螺栓孔的间隙过大(螺

栓孔比螺栓公称直径一般大 4 mm~6 mm), 当考虑剪力时, 则在柱脚底板下设置抗剪板, 将此抗剪板埋入基础内。在公式 (70) 中, 当为压弯柱时, 柱轴心力折减系数 η 取 0.8, 是考虑对柱截面形心轴处轴心力的折减, 其原因是综合考虑该轴心力中虚荷载部分的折减, 例如炉衬干、湿容重的折减等。

9 构造要求

9.1 一般构造

9.1.4 炉底柱及自支承烟囱的底板, 起到传递承载力的作用, 而且与基础面的接触面(当底脚板下无垫块时)还能起到部分抗剪作用, 在施工中当基础上表面与底板下表面不平整有空隙时, 在施加垫块的情况下, 还要承担部分承载力弯矩, 因而柱脚板的厚度不能太薄, 当带有高台底座, 其高台底座的盖板还承担施工中锚栓的拧紧力, 如盖板太薄, 在上紧锚栓时会出现瘪凹现象, 从而影响盖板强度。

9.2 焊缝连接

9.2.1 根据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》中 1.0.5 条的强制性规定, 本标准明确规定设计文件中应注明焊缝型式和焊缝的质量等级。

9.2.8 摘自国家标准 GB 50017—2003《钢结构设计规范》。本条规定了角焊缝最小焊脚尺寸、最大焊脚尺寸、不等焊脚边角焊缝焊脚尺寸、侧面角焊缝最小计算长度、侧面角焊缝最大计算长度的确定原则。

9.3 螺栓连接和锚栓

9.3.2 A 级螺栓是用于 $d \leq 24 \text{ mm}$ 和 $l \leq 10d$ 或 $l \leq 150 \text{ mm}$ (按较小值) 的螺栓; B 级螺栓是用于 $d > 24 \text{ mm}$ 或 $l > 10d$ 或 $l > 150 \text{ mm}$ (按较小值) 的螺栓。其中 d 为公称直径, l 为螺杆公称长度。

9.3.11 对于轴心受拉柱的柱脚, 锚栓承受拉力, 沿立柱柱脚两侧布置, 并通过立柱形心的轴线, 以使柱脚端能绕此轴转动而形成铰链, 当柱脚端产生转动时, 锚栓也可能受扭, 所以锚栓规格不能太小, 如锚栓规格小, 也会减少螺栓杆与混凝土基础的粘结面积, 因此而减少抗拔能力。

偏心受压、受拉柱的柱脚, 在弯矩作用下, 在柱脚板的范围内产生的拉力, 由锚栓承受, 为了保证柱脚与基础能形成刚性连接, 锚栓必须能阻止柱脚端的转动, 因而在一个柱脚上的锚栓数目不能少于四个, 且布置在拉力区的锚栓数目不得少于两个。

9.4 圆筒炉

9.4.1 圆筒炉的炉底柱, 承托炉体全部质量, 因此除应有可靠的强度外, 尚应有足够的刚度储备, 炉底柱的整体刚度值与筒体(包括筒体立柱)的刚度值应接近或相等, 以保证传力基本均匀。再者如炉底柱刚度弱, 当与筒体整体安装运输时, 也容易造成炉底柱弯曲。

9.4.3 控制圆筒炉对流室表面钢板横梁上、下间距, 是为了加强表面钢板的刚度, 也是为了控制对流室框架柱在平面外的长细比不大于 120 的要求。

9.4.5 本条是根据加热炉抗震设防的需要, 按照 SH 3048—1999《石油化工钢制设备抗震设计规范》的规定制定的。

9.5 箱式炉

9.5.1 炉表面钢板除起到密封作用外, 还起到承托炉衬的作用, 当为轻质耐热混凝土炉衬或为耐火纤维毡炉衬时, 其保温钉需焊接在表面钢板上, 若表面钢板太薄, 焊接保温钉时容易烧穿表面钢板, 也容易令其变形, 所以规定, 炉表面钢板厚度不应小于 5 mm, 同时炉表面钢板过薄时, 不易进行密封焊

接, 容易烧弧坑。

9.5.4 炉顶风机底座梁、板或平面承托框架, 除承受风机重力外, 尚承受电机转动振动, 如梁和框架的接头不牢, 在动力作用下会产生疲劳破坏, 所以其底座梁、框架和底板必须有足够的刚度, 其接头必须牢靠。

9.5.5 本条是根据加热炉抗震设防的需要, 按照 SH 3048—1999《石油化工钢制设备抗震设计规范》的规定制定的。

9.6 烟囱和烟风道

9.6.2 大空间矩形烟风道的加劲肋或围框, 起到加固烟风道的作用, 是烟风道的主要组成部件, 限制加劲肋的最小规格是保证烟风道整体稳定的需要。

9.6.3 管式炉的炉顶烟囱, 是管式炉钢结构的重要组成部分, 其底座连接应有足够的强度和刚度, 连接必须牢靠、无松动, 才能起到传力作用, 因此要求底座的连接螺栓直径不应过小, 其间距不应过大, 否则不但影响到传力, 而且螺栓间距过大会造成烟气外漏、或空气内漏, 这在操作上都是不允许的。

9.6.5 烟道伸缩式膨胀节, 一般均应设在支座上, 以避免因膨胀节破坏、脱开烟道而发生事故。

9.7~9.10 此四条是依据 GB 50017—2003《钢结构设计规范》的规定而增加的。