

中华人民共和国国家标准

GB/T 22395—2022

代替 GB/T 22395—2008

锅炉钢结构设计规范

Specification for design of boiler steel structures

2022-07-11 发布

2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

5 材料、设计指标和结构(构件)变形的规定..... 3

6 锅炉钢结构的布置 8

7 作用及其效应组合..... 10

8 结构分析..... 19

9 梁的设计..... 19

10 柱的设计 36

11 支撑系统的设计 63

12 连接设计 67

13 锅炉钢结构连接节点抗震承载力验算和抗震构造措施 89

14 锅炉钢结构的防锈、防腐蚀处理..... 92

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替 GB/T 22395—2008《锅炉钢结构设计规范》，与 GB/T 22395—2008 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 更改了锅炉钢结构的主要受力结构的钢级(见 5.1, 2008 年版的 5.1)；
- b) 增加了 Q390 钢级和 Q420 钢级的相关数据(见表 1、表 3、表 4、表 5、表 30 和表 46)；
- c) 增加了锅炉钢结构钢材质量等级的选取原则(见 5.4)；
- d) 更改了钢材和焊缝的强度设计指标(见 5.9, 2008 年版的 5.9)；
- e) 更改了风压高度变化系数和阵风系数的取值(见 7.2.3 和 7.2.6, 2008 年版的 7.2.3 和 7.2.6)；
- f) 更改了地震影响系数曲线的阻尼调整和形状参数的公式(见 7.3.14, 2008 年版的 7.3.12)；
- g) 更改了锅炉钢结构在多遇地震下的阻尼比取值(见 7.3.15, 2008 年版的 7.3.13)；
- h) 更改了构件承载力抗震调整系数(见表 19, 2008 年版的表 24)；
- i) 更改了强支撑框架的判别公式(见 10.2.4, 2008 年版的 10.2.4)；
- j) 更改了高强度螺栓摩擦型连接摩擦面抗滑移系数的数值(见 12.3.1, 2008 年版的 12.3.1)；
- k) 更改了锚栓选用表中基础混凝土的强度等级(见表 40、表 41, 2008 年版的表 49、表 50)；
- l) 更改了承压型高强度螺栓开孔孔径的规定(见 12.4, 2008 年版的 12.4)；
- m) 增加了栓焊并用连接的承载力计算公式(见 12.5)；
- n) 更改了高强度螺栓撬力计算公式(见 12.7.7, 2008 年版的 12.7.5)；
- o) 增加了吊耳的计算公式(见 12.8)；
- p) 增加了构件和节点抗震承载力的验算内容(见 13.1)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：北京巴布科克·威尔科克斯有限公司、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、上海锅炉厂有限公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、武汉锅炉股份有限公司、杭州华电技术开发有限公司、华业钢构有限公司、哈尔滨工业大学、浙江大学、上海交通大学、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、华西能源工业股份有限公司、武汉武锅能源工程有限公司。

本文件主要起草人：李大生、孙洪鹏、轩辕诗威、苏刚、陈勇军、刘树新、曾婵娟、贾天新、王玉银、陈驹、姜静、代庆生、孙罡、陈健陵、屠茂斌、许创建、李立人、吴迁、洛海洋、熊卫兵、王达、黄馨。

本文件于 2008 年首次发布，本次为第一次修订。

锅炉钢结构设计规范

1 范围

本文件规定了支承式和悬吊式锅炉钢结构的设计原则和方法。
本文件适用于支承式和悬吊式锅炉钢结构的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 700 碳素结构钢
- 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 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 12470 埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50017—2017 钢结构设计标准
- GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50661 钢结构焊接规范
- JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程
- JGJ 99—2015 高层民用建筑钢结构技术规程
- NB/T 47043 锅炉钢结构制造技术规范
- NB/T 47055 锅炉涂装和包装通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

框架结构 frame structure

由柱和梁刚性连接组成的具有抗剪和抗弯能力的结构。

3.2

框架-支撑结构 **frame-bracing structure**

由框架和支撑共同组成抗侧力体系的结构。

3.3

支撑结构 **bracing structure**

在梁柱构件所在平面内,沿斜向设置支撑构件,以支撑轴向刚度抵抗侧向作用的结构。

3.4

主柱 **main column**

主要承受锅炉本体荷载、风荷载和地震作用的柱。

3.5

顶板 **main boiler support level**

锅炉钢结构顶部悬吊或支承锅炉本体荷重梁的总称。

3.6

顶板主梁 **main girder**

顶板中直接把锅炉本体荷载传给柱的梁。

3.7

顶板次梁 **secondary girder**

与顶板主梁相连,把荷载传给顶板主梁的梁。

3.8

叠梁 **horizontal split girder**

由上下两部分(或多部分)组成,用螺栓或焊接连接在一起共同工作的梁。

3.9

深梁 **deep beam**

高跨比大于 $1/6$ 的简支单跨梁。

3.10

锅炉导向装置 **boiler guide**

实现悬吊锅炉“膨胀中心”的限位结构。

4 一般要求

4.1 锅炉钢结构支承锅炉本体各部件,并维持它们之间的相对位置,承受风荷载、雪荷载和地震作用,承受电站设计单位提供并经同意作用在锅炉钢结构上的荷载。除特殊要求外,锅炉钢结构不直接承受动力荷载。

4.2 进行锅炉钢结构设计时,应合理选择结构方案、材料、连接方式和构造措施,满足结构构件在运输、安装和使用过程中的强度、稳定性和刚度要求。

4.3 锅炉钢结构采用以概率理论为基础的极限状态设计法,用分项系数设计表达式进行计算,按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

4.4 承载能力极限状态包括:构件或连接的强度破坏、脆性断裂,因过度变形而不适用于继续承载,结构或构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆;正常使用极限状态包括:影响结构、构件或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。

4.5 按承载能力极限状态设计锅炉钢结构时,应采用荷载(作用)效应的基本组合和偶然组合。按正常使用极限状态设计锅炉钢结构时,应采用荷载(作用)效应的标准组合。

4.6 抗震设防烈度为 6 度及以上地区的锅炉钢结构,应进行抗震设计。本文件适用于抗震设防烈度为

6 度~9 度地区锅炉钢结构的设计。抗震设防烈度大于 9 度时,应按专门规定执行。

4.7 露天布置和紧身封闭的锅炉钢结构应进行抗风验算。

4.8 构件应避免高温(150 ℃以上)作用,长期受到高温作用的构件,除选用合适的钢材外,应采取隔热或冷却措施。

4.9 锅炉钢结构的温度区段长度(伸缩缝的间距),露天布置时不超过 120 m,紧身封闭时不超过 150 m,可不计入温度应力和温度变形的影响。

4.10 设于寒冷地区的锅炉钢结构,在设计时应采取措施提高结构的抗脆断能力。

4.11 锅炉钢结构的节点无论采用何种连接形式,当节点视为刚性连接时,应符合受力过程中构件在节点处的交角不变的假定,同时连接应具有充分的强度承受交汇构件端部传递的所有最不利内力。当节点视为铰接时,应使连接具有充分的转动能力,但能有效的传递横向剪力与轴心力。

4.12 锅炉钢结构的结构安全等级为二级,重要性系数(γ_0)取 1.0。

4.13 锅炉钢结构设计时所需的自然环境条件有:

- a) 基本风压值;
- b) 地面粗糙度类别;
- c) 基本雪压值;
- d) 抗震设防烈度(设计基本地震加速度);
- e) 设计地震分组;
- f) 场地类别;
- g) 工作温度。

4.14 按本文件设计的锅炉钢结构应按 NB/T 47043 制造和检验。

5 材料、设计指标和结构(构件)变形的规定

5.1 锅炉钢结构应根据结构的重要性和工作环境等因素选用合适的钢材。锅炉钢结构的主要受力结构宜采用 Q235 钢、Q355 钢、Q390 钢和 Q420 钢,其质量应分别符合 GB/T 700 和 GB/T 1591 的规定。当有可靠依据时,可采用其他牌号的钢材。

5.2 主要受力构件的钢材应具有屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、冷弯试验和硫、磷含量的合格保证,对焊接结构应具有碳当量的合格保证。

5.3 抗震设防的锅炉钢结构的主要抗侧力构件所使用的钢材应符合下列规定:

- a) 钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不大于 0.85;
- b) 钢材有明显的屈服台阶,且伸长率不小于 20%;
- c) 钢材有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

5.4 锅炉钢结构的主要受力构件,钢材的质量等级应按表 1 采用。

表 1 钢材质量等级选用

钢级	工作温度(T) ^a ℃						
	$T>0$	$-20<T\leqslant 0$		$-40<T\leqslant -20$			
		无地震	有地震	无地震		有地震	
Q235	B	B	B	B	受拉构件或受拉板件： 板厚(直径) $<40\text{ mm}$ 时：C 板厚(直径) $\geqslant 40\text{ mm}$ 时：D	C	板厚(直径) $\geqslant 40\text{ mm}$ 时： D
Q355							
Q390 Q420			C				D
^a 工作温度按 GB 50019 规定的累年最低日平均温度采用。对于室内布置或紧身封闭的锅炉钢结构，如有采暖设备其工作温度可视为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上，否则可按 GB 50019 规定的累年最低日平均气温增加 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 采用。							

- 5.5 采用焊接连接的钢结构，当钢板厚度不小于 40 mm 且沿板厚方向有较高撕裂拉力作用，包括较高约束拉应力作用时，宜采用 Z15 级厚度方向性能钢板，其质量应符合 GB/T 5313 的规定。
- 5.6 顶板梁板厚大于 40 mm 时，原材料宜以正火状态供货。
- 5.7 地脚锚栓可选用 Q235 钢或 Q355 钢，其质量等级应符合表 1 的规定。
- 5.8 高强度螺栓连接副应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 或 GB/T 3632 的规定。其材料和螺栓力学性能按表 2 的规定。

表 2 高强度螺栓、螺母、垫圈的材料和螺栓力学性能

类别		性能等级	推荐材料	适用规格	力学性能 N/mm ²	
					屈服强度 (f _y)	抗拉强度 (f _u)
大六角头 高强度螺栓 连接副	螺栓	8.8S	45、35	≤M20	≥660	830~1 030
			20MnTiB、40Cr、ML20MnTiB	≤M24		
			35CrMo、35VB	≤M30		
	螺母	10.9S	20MnTiB、ML20MnTiB	≤M24	≥940	1 040~1 240
			35VB	≤M30		
			45、35、ML35	≤M30	—	—
		10H			—	—
	垫圈	35 HRC~45 HRC	45、35	≤M30	—	—
扭剪型 高强度螺栓 连接副	螺栓	10.9S	20MnTiB、ML20MnTiB	≤M24	≥940	1 040~1 240
			35VB、35CrMo	M27、M30		
	螺母	10H	45、35、ML35	≤M30	—	—
	垫圈	35 HRC~45 HRC	45、35	≤M30	—	—

5.9 热轧钢材的强度设计指标应按表 3 采用。

表 3 热轧钢材的强度设计指标

钢材牌号	钢材厚度(直径) (t) mm	强度设计值 N/mm ²			钢材强度 N/mm ²	
		抗拉、抗压和 抗弯(f)	抗剪 (f_v)	端面承压 (刨平顶紧)(f_{ce})	屈服强度 (f_y)	抗拉强度 (f_u)
Q235 (A B C D)	$t \leq 16$	215	125	320	235	370
	$16 < t \leq 40$	205	120		225	
	$40 < t \leq 100$	200	115		215	
Q355 (B C D)	$t \leq 16$	305	175	400	355	470
	$16 < t \leq 40$	295	170		345	
	$40 < t \leq 63$	290	165		335	
	$63 < t \leq 80$	280	160		325	
	$80 < t \leq 100$	270	155		315	
	$100 < t \leq 150$	240	140	380	295	450
	$150 < t \leq 200$	230	130		285	
Q390 (B C D)	$t \leq 16$	345	200	415	390	490
	$16 < t \leq 40$	330	190		380	
	$40 < t \leq 63$	310	180		360	
	$63 < t \leq 100$	295	170		340	
	$100 < t \leq 150$	260	150	400	320	470
Q420 (B C)	$t \leq 16$	375	215	440	420	520
	$16 < t \leq 40$	355	205		410	
	$40 < t \leq 63$	320	185		390	
	$63 < t \leq 100$	305	175		370	
	$100 < t \leq 150$	275	160	425	350	500
注：表中厚度系指计算点的钢材厚度，对轴心受力构件系指截面中较厚板件的厚度。						

5.10 手工焊接采用的焊条应符合 GB/T 5117 或 GB/T 5118 的规定。自动焊接或半自动焊接采用的焊丝和相应的焊剂应符合 GB/T 5293 和 GB/T 12470 的规定。

5.11 焊缝的强度设计指标应按表 4 采用，并符合以下要求。

- a) 自动焊和半自动焊所采用的焊丝和焊剂，其熔敷金属的力学性能不低于 GB/T 5293 和 GB/T 12470 的规定。
- b) 锅炉钢结构的焊缝质量等级符合 NB/T 47043 的规定。
- c) 对接焊缝抗弯受压区强度设计值取 f_c^w ，抗弯受拉区强度设计值取 f_t^w 。
- d) 施工条件较差的高空安装焊缝乘以折减系数 0.9；进行无垫板的单面施焊对接焊缝乘以折减系数 0.85；按轴心受力计算的单角钢单面连接时乘以系数 0.85。几种情况同时存在时折减系数连乘。

表 4 焊缝的强度设计指标

单位为牛每平方米

焊接方法和 焊条型号	构件钢材		对接焊缝强度设计值				角焊缝强度 设计值	对接焊缝 抗拉强度 (f_v^w)	角焊缝 抗拉、抗 压和抗 剪强度 (f_v^t)
	钢级	厚度(直径)(t) mm	抗压 (f_c^w)	焊缝质量为下列 等级时,抗拉(f_t^w)		抗剪 (f_v^w)	抗拉、抗压 和抗剪 (f_t^w)		
				一、二级	三级				
自动焊、半 自动焊和 E43 型焊条 的手工焊	Q235	$t \leq 16$	215	215	185	125	160	415	240
		$16 < t \leq 40$	205	205	175	120			
		$40 < t \leq 100$	200	200	170	115			
自动焊、半 自动焊和 E50 型焊条 的手工焊	Q355	$t \leq 16$	305	305	260	175	200	480	280
		$16 < t \leq 40$	295	295	250	170			
		$40 < t \leq 63$	290	290	245	165			
		$63 < t \leq 80$	280	280	240	160			
		$80 < t \leq 100$	270	270	230	155			
		$100 < t \leq 150$	240	240	205	140			
		$150 < t \leq 200$	230	230	195	130			
	Q390	$t \leq 16$	345	345	295	200			
		$16 < t \leq 40$	330	330	280	190			
		$40 < t \leq 63$	310	310	265	180			
		$63 < t \leq 100$	295	295	250	170			
		$100 < t \leq 150$	260	260	220	150			
自动焊、半 自动焊和 E55 型焊条 的手工焊	Q420	$t \leq 16$	375	375	320	215	220	540	315
		$16 < t \leq 40$	355	355	300	205			
		$40 < t \leq 63$	320	320	270	185			
		$63 < t \leq 100$	305	305	260	175			
		$100 < t \leq 150$	275	275	235	160			
注:表中厚度系指计算点的钢材厚度,对轴心受力构件系指截面中较厚板件的厚度。									

5.12 螺栓连接的强度设计值应按表 5 采用。

A 级、B 级螺栓孔的精度和孔壁表面粗糙度,C 级螺栓孔的允许偏差和孔壁表面粗糙度,均应符合 GB 50205 的规定。

表 5 螺栓连接的强度设计值

单位为牛每平方米

螺栓性能等级和 构件的钢级		普通螺栓						锚 栓	承压型连接高强度螺栓		
		C 级螺栓			A 级、B 级螺栓						
		抗拉 (f_t^b)	抗剪 (f_v^b)	承压 (f_c^b)	抗拉 (f_t^b)	抗剪 (f_v^b)	承压 (f_c^b)	抗拉 (f_t^b)	抗拉 (f_t^b)	抗剪 (f_v^b)	承压 (f_c^b)
普通螺栓	4.6 级 4.8 级	170	140	—	—	—	—	—	—	—	—
	5.6 级	—	—	—	210	190	—	—	—	—	—
	8.8 级	—	—	—	400	320	—	—	—	—	—
锚 栓	Q235	—	—	—	—	—	—	140	—	—	—
	Q355	—	—	—	—	—	—	180	—	—	—
承压型连接 高强度螺栓	8.8 级	—	—	—	—	—	—	—	400	250	—
	10.9 级	—	—	—	—	—	—	—	500	310	—
构 件	Q235	—	—	305	—	—	405	—	—	—	470
	Q355	—	—	385	—	—	510	—	—	—	590
	Q390	—	—	400	—	—	530	—	—	—	615
	Q420	—	—	425	—	—	560	—	—	—	655
注：A 级螺栓用于 $d\leqslant 24\text{ mm}$ 和 $L\leqslant 10d$ 或 $L\leqslant 150\text{ mm}$ (按较小值)的螺栓；B 级螺栓用于 $d>24\text{ mm}$ 或 $L>10d$ 或 $L>150\text{ mm}$ (按较小值)的螺栓。 d 为公称直径, L 为螺杆公称长度。											

5.13 钢材的物理性能指标应按表 6 采用。

表 6 钢材的物理性能指标

弹性模量(E) N/mm ²	剪切模量(G) N/mm ²	线膨胀系数(α) ℃ ⁻¹	质量密度(ρ) kg/m ³
206×10 ³	79×10 ³	12×10 ⁻⁶	7 850

5.14 对结构或构件的变形(位移或挠度)应规定相应的限值。当有实践经验或有特殊要求时,可根据不影响正常使用和观感的原则进行适当的调整。计算结构或构件的变形时,可不计入螺栓孔引起的截面削弱。

5.15 结构水平位移不宜超过表 7 所列允许值。

表 7 结构水平位移允许值

参与作用类别	顶点位移允许值	弹性层间位移允许值
永久荷载	$H/500$	$h/400$
风荷载	$H/500$	$h/400$
多遇地震作用	$H/400$	$h/300$
注： H ——自基础顶面至柱顶的总高度，单位为毫米（mm）； h ——层高，单位为毫米（mm）。		

5.16 在永久荷载和可变荷载作用下，梁的挠度值不宜超过表 8 所列允许值。

表 8 梁挠度允许值

项次	梁的类别	梁挠度允许值
1	顶板主梁	$l/850$
2	顶板次梁和支承空气预热器的梁	$l/750$
3	顶板其他梁及柱间梁	$l/500$
4	除项次 1、2、3 之外的承重梁	$l/350$
5	平台梁和梯梁	$l/250$
注： l ——梁的总跨度，单位为毫米（mm）。		

5.17 基础的沉降差不应大于相邻柱距的 1/1 000。

6 锅炉钢结构的布置

6.1 锅炉钢结构的分类

- 6.1.1 按结构抗侧力的特点，锅炉钢结构的结构体系可分为框架结构、框架-支撑结构和支撑结构。
- 6.1.2 按锅炉本体部件的固定方式，锅炉钢结构可分为支承式和悬吊式。

6.2 锅炉钢结构的布置原则

- 6.2.1 锅炉钢结构应根据锅炉的特点和外界条件，选择承载性能好又经济合理的结构体系。平面和立面布置宜规则、对称、并应具有良好的整体性，避免结构的刚度突变。
- 6.2.2 为保证结构的空间工作，提高结构的整体刚度，承担和传递水平力，避免压杆的侧向失稳，以及保证结构安装时的稳定，应根据结构的具体情况，设置可靠的支撑系统。
- 6.2.3 结构受力简单明确，应具有合理的竖向和水平荷载（作用）的传递途径。具有必要的承载能力，足够大的刚度，良好的变形能力和消耗地震能量的能力。不应因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失承载能力。
- 6.2.4 柱距的确定应兼顾场地、设备和锅炉钢结构本身的受力要求，选取合理的柱距。
- 6.2.5 柱宜布置在同一轴线，以便在此轴线上组成有一定刚度的垂直平面钢结构。
- 6.2.6 锅炉钢结构宜采用双排柱布置，合理确定内外柱的距离，同时协调前后部分的关系〔图 1a〕。采

用单排柱布置时[图 1b)],柱应沿两个主轴方向都能构成必要的结构,以保证柱在两个方向的稳定。

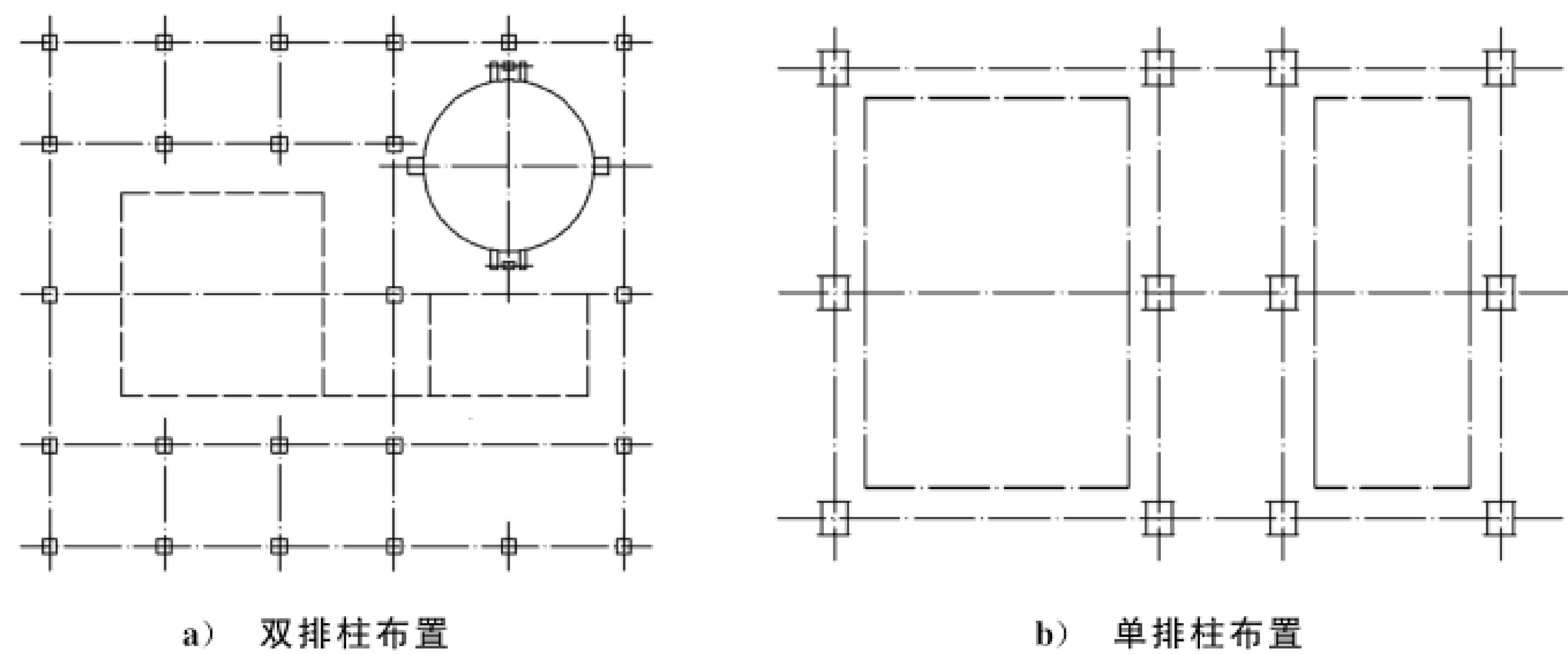


图 1 柱布置图

6.2.7 梁的布置应满足锅炉本体和附属设备的要求,同时考虑平台的支撑,同一层梁的标高宜一致,梁的布置不宜过密,且距离宜均匀。

6.2.8 顶板的主梁宜为横向布置,有时也采用纵向布置。纵向布置可把主梁做成一端或两端悬臂,以满足设备的支吊要求,并减小主梁跨内弯矩和挠度。

6.2.9 顶板的主梁、次梁和其他梁可布置在同一标高[图 2a)],有时也可布置在不同标高[图 2b)]。

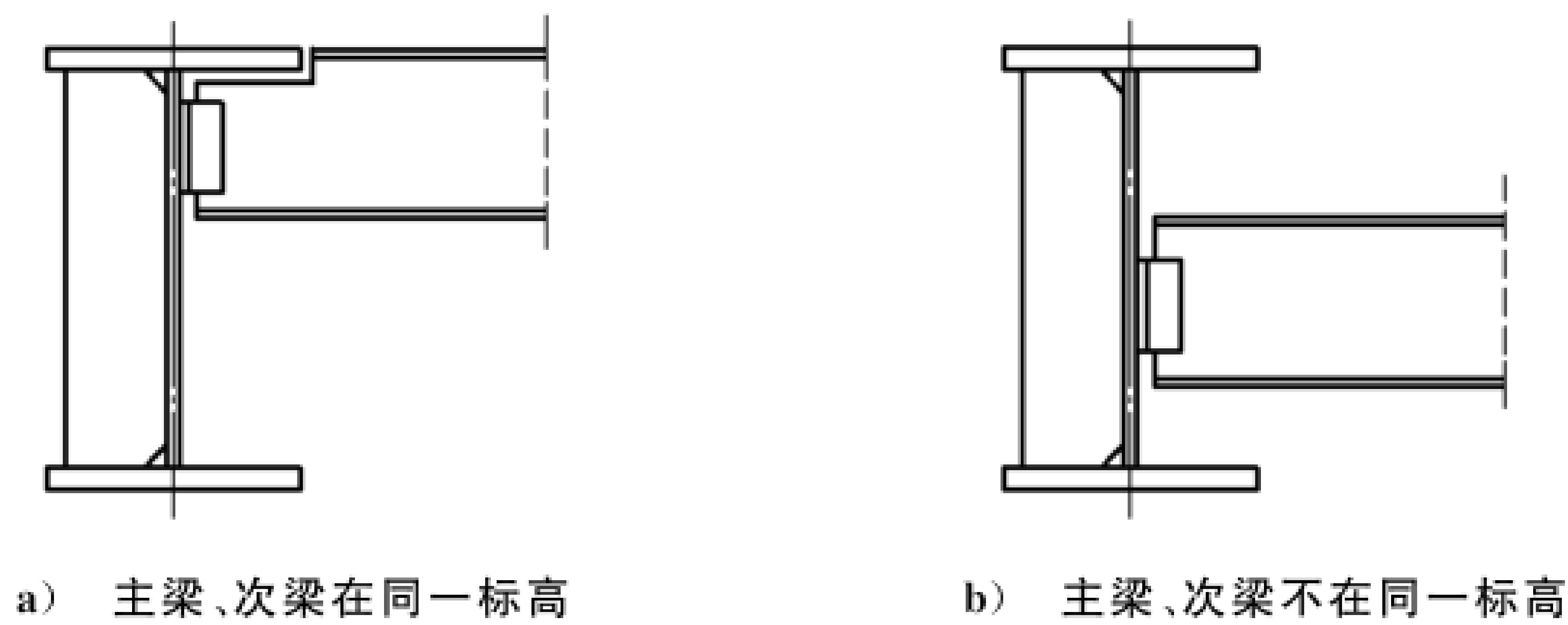


图 2 顶板的布置

6.2.10 锅炉钢结构的布置还应符合下列要求:

- a) 满足锅炉本体及附属设备的支吊、安装、运行和维护所需的空间和通道;
- b) 锅炉钢结构及其组成构件结构简单、制造方便;
- c) 避免构件运输超重、超限,易于安装就位。

并且宜使构件具有兼用性,充分利用构件的特性,使构件承担多项作用。

6.2.11 当锅炉钢结构和煤仓间支撑结构联合设计时,应符合下列原则:

- a) 联合结构为不规则结构,增加结构的整体刚度减小扭转效应;
- b) 煤仓间的风荷载和地震作用有效的传递到结构的抗侧力系统。

煤仓间的主结构层宜和锅炉钢结构一致。高地震烈度地区,不宜采用锅炉钢结构和煤仓间支撑结构联合设计。

7 作用及其效应组合

7.1 竖向荷载

7.1.1 永久荷载包括：

- a) 锅炉本体各部件和有关设备的结构自重,以及保温绝热材料、管内介质、积灰等重；
- b) 电站设计部门作用在锅炉钢结构上并经同意的永久荷载。

7.1.2 可变荷载包括作用在锅炉钢结构上的平台、运转层、炉顶上的活荷载以及风荷载和雪荷载等。

7.1.3 锅炉钢结构荷载的取值原则如下。

- a) 锅炉钢结构自重标准值:应按结构件的设计尺寸与材料单位体积的自重计算确定。
- b) 平台荷载取值原则如下。
 - 1) 作用在锅炉钢结构上的运转层平台的荷载应由电站设计部门提供。混凝土平台可取自重标准值 4 kN/m^2 ,活荷载标准值 8 kN/m^2 。对混凝土或钢格栅板运转层楼面,主梁活荷载可乘以 0.7 ;次梁不小于 $6\text{ m}\sim 9\text{ m}$ 时活荷载可乘以 0.8 ,不小于 $9\text{ m}\sim 12\text{ m}$ 时可乘以 0.7 ;柱及基础活荷载可乘以 0.7 。
 - 2) 检修和通行平台,主梁活荷载可乘以 0.7 。柱及基础活荷载可乘以 0.5 。
 - 3) 检修平台活荷载标准值 4 kN/m^2 ,通行平台活荷载标准值 2 kN/m^2 ,梯间平台活荷载标准值 3.5 kN/m^2 。
- c) 屋面荷载:锅炉屋盖宜采用轻型结构,自重标准值宜按 0.5 kN/m^2 计算,活荷载标准值应按 0.5 kN/m^2 计算。对支承轻屋面的构件或结构(檩条、屋架、框架等),当仅有一个可变荷载,且受荷水平投影面积超过 60 m^2 时,屋面均布活荷载标准值应取 0.3 kN/m^2 。雪荷载按当地气象资料采用。屋面活荷载不与雪荷载同时组合。
- d) 屋面板、檩条、悬挑雨篷施工或检修荷载标准值不应小于 1.0 kN ,并应作用在最不利位置处进行验算。

7.2 风荷载

7.2.1 垂直于锅炉钢结构表面上的风荷载标准值(ω_k),应按公式(1)和公式(2)计算：

- a) 当计算主要承重结构时：

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 ω_k ——风荷载标准值,单位为千牛每平方米(kN/m^2)；
 β_z ——高度 z 处的风振系数；
 μ_s ——风荷载体形系数；
 μ_z ——风压高度变化系数；
 ω_0 ——基本风压,单位为千牛每平方米(kN/m^2)。

- b) 当计算围护结构时：

$$\omega_k = \beta_{gz} \mu_{s1} \mu_z \omega_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：
 β_{gz} ——高度 z 处的阵风系数；
 μ_{s1} ——风荷载局部体形系数。

7.2.2 基本风压按当地空旷平坦地面上 10 m 高度处 10 min 平均的风速观测数据,经概率统计得出 50 年一遇最大值确定的风速(v_0),再考虑相应的空气密度。基本风压(ω_0)按公式(3)计算：

$$\omega_0=\frac{1}{2}\rho v_0^2$$

.....(3)

式中：

ω_0 ——基本风压,单位为千牛每平方米(kN/m²)；

ρ ——空气密度,单位为千克每立方米(kg/m³),标准空气密度 $\rho =1.25\text{ kg/m}^3$ ；

v_0 ——风速,单位为米每秒(m/s)。

锅炉钢结构的基本风压值可由用户提供,也可按 GB 50009 给出的该地区 50 年一遇的风压采用,但不应小于 0.3 kN/m²。

7.2.3 对于平坦或稍有起伏的地形,风压高度变化系数应根据地面粗糙度类别按表 9 确定。地面粗糙度可分为 A、B、C、D 四类：

- A 类——指近海海面和海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；
- B 类——指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇；
- C 类——指有密集建筑群的大城市市区；
- D 类——指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。

对建于山区的锅炉钢结构,风压高度变化系数除按平坦地面的粗糙度类别由表 9 确定外,还应计入地形条件的修正,修正系数应符合 GB 50009 的规定。

表 9 风压高度变化系数(μ_z)

离地面或海平面高度 m	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.09	1.00	0.65	0.51
10	1.28	1.00	0.65	0.51
15	1.42	1.13	0.65	0.51
20	1.52	1.23	0.74	0.51
30	1.67	1.39	0.88	0.51
40	1.79	1.52	1.00	0.60
50	1.89	1.62	1.10	0.69
60	1.97	1.71	1.20	0.77
70	2.05	1.79	1.28	0.84
80	2.12	1.87	1.36	0.91
90	2.18	1.93	1.43	0.98
100	2.23	2.00	1.50	1.04
150	2.46	2.25	1.79	1.33

7.2.4 锅炉钢结构风荷载体型系数和局部风压体型系数应符合 GB 50009 的规定。矩形平面的锅炉钢结构风荷载体型系数可按图 3 选用。

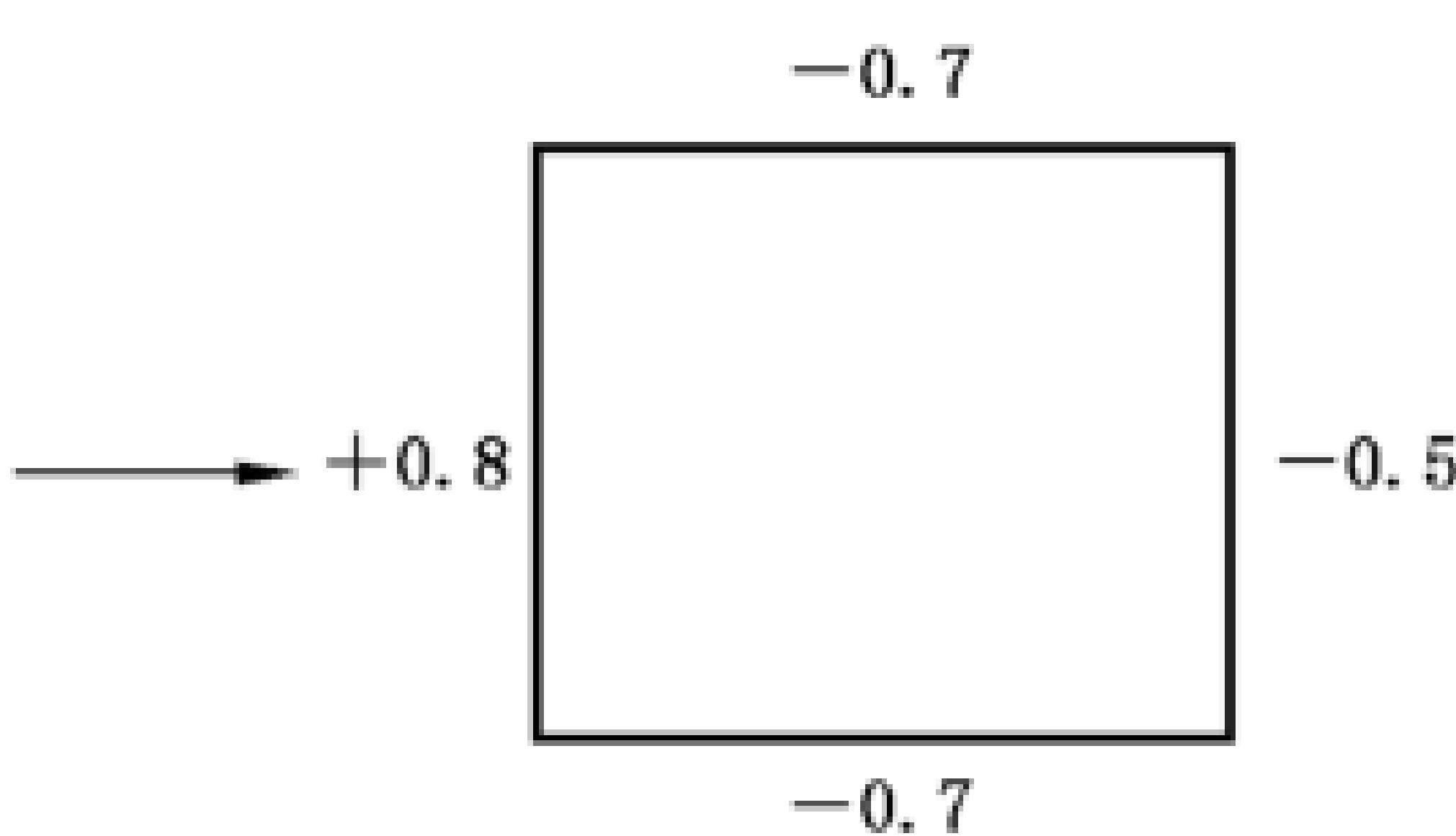


图 3 矩形平面锅炉钢结构的风荷载体型系数

7.2.5 一般情况下,锅炉钢结构风振系数(β_z)等于 1.0。当锅炉钢结构高度大于 100 m 或高宽比(H/B)不小于 5 时,应计算风压脉动对结构发生顺风向风振的影响,风振系数(β_z)按 GB 50009 的规定计算。

7.2.6 计算围护结构风荷载时的阵风系数应按表 10 确定。

表 10 阵风系数(β_{gz})

离地面高度 m	地面粗糙度类别			
	A	B	C	D
5	1.65	1.70	2.05	2.40
10	1.60	1.70	2.05	2.40
15	1.57	1.66	2.05	2.40
20	1.55	1.63	1.99	2.40
30	1.53	1.59	1.90	2.40
40	1.51	1.57	1.85	2.29
50	1.49	1.55	1.81	2.20
60	1.48	1.54	1.78	2.14
70	1.48	1.52	1.75	2.09
80	1.47	1.51	1.73	2.04
90	1.46	1.50	1.71	2.01
100	1.46	1.50	1.69	1.98
150	1.43	1.47	1.63	1.87

7.2.7 风荷载在锅炉钢结构上的分配,应按有无导向装置和是否紧身封闭,考虑不同的分配方式。

- a) 紧身封闭或露天布置无导向装置的锅炉:根据不同高度的风荷载标准值,按锅炉钢结构各节点所负担的受风面积将风荷载分配到锅炉钢结构的受载节点上。
- b) 露天布置有导向装置的锅炉:根据不同高度的风荷载标准值和导向装置所约束的炉膛受风面积,计算出各导向装置承受的风荷载并作用到锅炉钢结构的相应位置上。除锅炉本体外,作用在锅炉钢结构的其他设备(如各种管道等),应将其所受风荷载作用到相应的位置上。此时锅炉钢结构各节点所承受的风荷载应按适当的受风面积计算。

7.3 地震作用

7.3.1 经抗震设防的锅炉钢结构,当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时,主体结构不受损坏或不需修理可继续使用,当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时,可能损坏,但经一般修

理仍可继续使用,当遭受高于本地区抗震设防烈度的罕遇地震影响时,不致倒塌或发生危及生命的严重损坏。

7.3.2 抗震设防烈度应按国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定,宜采用中国地震动参数区划图确定的地震基本烈度。

7.3.3 单机容量为 300 MW 及以上或规划容量为 800 MW 及以上的电厂锅炉钢结构属乙类建筑,其他属丙类建筑。

7.3.4 抗震设防烈度为 6 度时,除不规则的及建于Ⅳ类场地较高的锅炉钢结构外,可不进行地震作用计算和截面抗震验算,但应符合有关的抗震措施要求。

抗震设防烈度 6 度不规则的及建于Ⅳ类场地较高的锅炉钢结构,7 度和 7 度以上的锅炉钢结构,应进行多遇地震作用下的内力和变形分析。

罕遇地震作用下的弹塑性变形分析应符合 GB 50011 的规定。

7.3.5 当锅炉钢结构属乙类建筑,抗震设防烈度为 6 度~8 度时,抗震措施应按高于本地区抗震设防烈度 1 度的要求。但当抗震设防烈为 9 度时,抗震措施应符合比 9 度更高的要求。

当锅炉钢结构属于丙类建筑时,其地震作用和抗震措施应符合本地区抗震设防烈度的要求。

7.3.6 当建筑场地为Ⅰ类时,属于乙类建筑的锅炉钢结构应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施;丙类建筑应按本地区抗震设防烈度降低 1 度的要求采取抗震构造措施,但 6 度时仍应按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

7.3.7 当建筑场地为Ⅲ、Ⅳ类时,对设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区,宜分别按抗震设防烈度为 8 度(0.20g)和 9 度(0.40g)采取抗震构造措施。

7.3.8 抗震设防烈度和设计基本地震加速度取值的对应关系,应符合表 11 的规定。设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 地区内的锅炉钢结构,分别对应的抗震设防烈度应为 7 度和 8 度。

表 11 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

抗震设防烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05g	0.10g(0.15g)	0.20g(0.30g)	0.40g
注: g 为重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s ²)。				

7.3.9 锅炉钢结构的抗震计算,宜采用振型分解反应谱法,也可采用底部剪力法。可采用时程分析法进行多遇地震下的补充计算。

7.3.10 按 9 度抗震设防且高度大于 100 m 的锅炉钢结构,或者按 8 度和 9 度抗震设防跨度大于 24 m 和长悬臂结构,应计算竖向地震作用。

7.3.11 计算地震作用时,重力荷载代表值应取永久荷载标准值和各可变荷载组合值之和。各可变荷载的组合值系数应按表 12 采用。

表 12 组合值系数

可变荷载种类	组合值系数
雪荷载	0.5
各层结构的活荷载	0.5
屋面活荷载	不计入

7.3.12 锅炉钢结构的地震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分組和结构自振周期以及阻尼比确定。其水平地震影响系数最大值应按表 13 采用,特征周期应根据场地类别和设计地震分組按表 14

采用。计算罕遇地震作用时,特征周期应增加 0.05 s。

表 13 水平地震影响系数最大值

地震影响	6 度	7 度	8 度	9 度
多遇地震	0.04	0.08(0.12)	0.16(0.24)	0.32
罕遇地震	0.28	0.50(0.72)	0.90(1.20)	1.40
注:括号中数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15 <i>g</i> 和 0.30 <i>g</i> 的地区。				

表 14 特征周期值

单位为秒

设计地震分组	场 地 类 别				
	I ₀	I ₁	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

7.3.13 锅炉钢结构的基本自振周期(*T*₁)宜根据结构数值分析结果确定,也可按公式(4)近似计算:

$$T_1 = C_1 H^x \dots\dots\dots (4)$$

式中:
*T*₁ ——锅炉钢结构的基本自振周期,单位为秒(s);
H ——锅炉钢结构的总高度,单位为米(m);
*C*₁、*x* ——结构系数,按表 15 确定。

表 15 结构系数

结构类型	<i>C</i> ₁	<i>x</i>
纯框架	0.072 4	0.8
偏心支撑框架	0.073 1	0.75
其他结构	0.048 8	0.75

7.3.14 锅炉钢结构的地震影响系数(*α*)曲线(图 4)的阻尼调整和形状参数应符合下列要求:

a) 曲线下降段的衰减指数(*γ*)应按公式(5)计算:

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \dots\dots\dots (5)$$

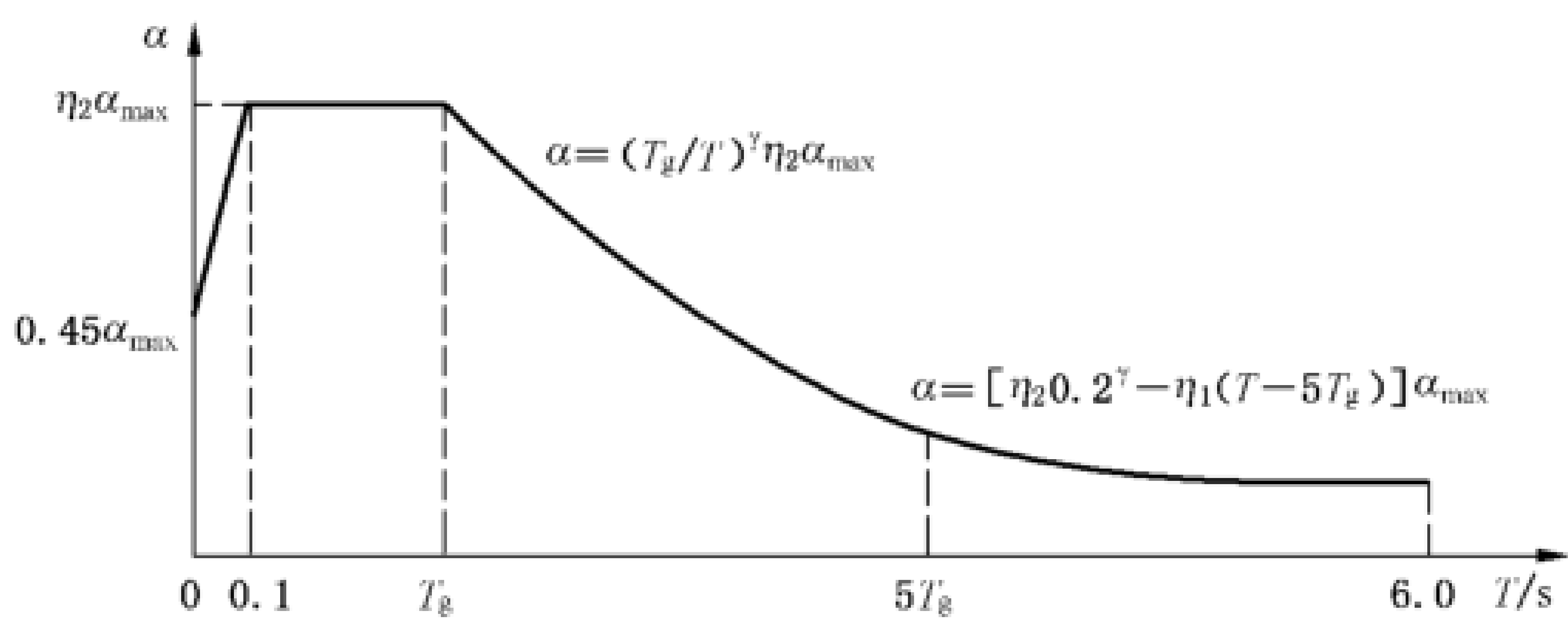
式中:
γ ——曲线下降段的衰减指数;
ζ ——结构阻尼比。

b) 直线下降段的下降斜率调整系数(*η*₁)应按公式(6)计算,当小于 0 时取 0:

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \dots\dots\dots (6)$$

c) 阻尼调整系数(*η*₂)应按公式(7)计算,当小于 0.55 时取 0.55:

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \dots\dots\dots (7)$$



- 标引序号说明：
- α ——地震影响系数；
 - α_{\max} ——地震影响系数最大值；
 - η_1 ——直线下降段的下降斜率调整系数，当小于 0 时取 0；
 - γ ——衰减指数；
 - T_g ——特征周期；
 - η_2 ——阻尼调整系数，当小于 0.55 时取 0.55；
 - T ——结构自振周期。

图 4 地震影响系数曲线

7.3.15 锅炉钢结构在多遇地震下的阻尼比，高度不大于 50 m 时，可取 0.04；高度大于 50 m 且小于 200 m 时，可取 0.03；在罕遇地震下的弹塑性分析，阻尼比可取 0.05。

7.3.16 采用底部剪力法时，锅炉钢结构的水平地震作用应按公式(8)～公式(10)计算：

- a) 结构总水平地震作用标准值(F_{Ek})按公式(8)计算：

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- F_{Ek} ——结构总水平地震作用标准值，单位为千牛(kN)；
- α_1 ——相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数，应按图 4 地震影响系数曲线确定；
- G_{eq} ——结构等效总重力荷载代表值，可取总重力荷载代表值的 85%(不含悬吊锅炉的炉体和锅筒重)，单位为千牛(kN)。

- b) 质点 i 的水平地震作用标准值(F_i)按公式(9)计算：

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{Ek} (1 - \delta_n) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- F_i ——质点 i 的水平地震作用标准值，单位为千牛(kN)；
- G_i ——集中于质点 i 的重力荷载代表值，单位为千牛(kN)，应按 7.3.11 确定；
- G_j ——集中于质点 j 的重力荷载代表值，单位为千牛(kN)，应按 7.3.11 确定；
- H_i ——质点 i 的计算高度，单位为米(m)；
- H_j ——质点 j 的计算高度，单位为米(m)；
- δ_n ——顶部附加地震作用系数，应按表 16 计算。

- c) 顶部附加水平地震作用标准值(ΔF_n)按公式(10)计算：

$$\Delta F_n = \delta_n F_{Ek} \dots\dots\dots (10)$$

表 16 顶部附加地震作用系数

T_g/s	$T_1>1.4T_g$	$T_1\leqslant 1.4T_g$
$T_g\leqslant 0.35$	$0.08T_1+0.07$	0
$0.35<T_g\leqslant 0.55$	$0.08T_1+0.01$	
$T_g>0.55$	$0.08T_1-0.02$	
注： T_1 ——结构基本自振周期，单位为秒(s)。		

7.3.17 悬吊式锅炉炉体通过导向装置*i*作用在锅炉钢结构上的水平地震作用标准值(F_i)按公式(11)计算：

$$F_i=\alpha_1G_i$$

.....(11)

式中：

- F_i ——导向装置*i*的水平地震作用标准值，单位为千牛(kN)；
- α_1 ——相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数，应按图 4 地震影响系数曲线确定；
- G_i ——悬吊式锅炉炉体集中于导向装置*i*的重力荷载代表值，单位为千牛(kN)。

7.3.18 悬吊锅筒的水平地震作用标准值计算方法与炉体相同。

7.3.19 建在 9 度地震区且高度大于 100 m 的锅炉钢结构，其竖向地震作用标准值(F_{Evk})应按公式(12)和公式(13)计算，各层的竖向地震作用效应可按各构件承受的重力荷载代表值的比例分配，并宜乘以增大系数 1.5。

$$F_{Evk}=\alpha_{v\max}G_{eq}$$

.....(12)

$$F_{vi}=\frac{G_iH_i}{\sum G_jH_j}F_{Evk}$$

.....(13)

式中：

- F_{Evk} ——结构竖向总地震作用标准值，单位为千牛(kN)；
- F_{vi} ——质点*i*的竖向地震作用标准值，单位为千牛(kN)；
- $\alpha_{v\max}$ ——竖向地震影响系数最大值，可取水平地震影响系数最大值的 65%；
- G_{eq} ——结构等效总重力荷载，单位为千牛(kN)，可取总重力荷载代表值的 75%；
- G_i ——集中于质点*i*的重力荷载代表值，单位为千牛(kN)，应按 7.3.11 确定；
- G_j ——集中于质点*j*的重力荷载代表值，单位为千牛(kN)，应按 7.3.11 确定；
- H_i ——质点*i*的计算高度，单位为米(m)；
- H_j ——质点*j*的计算高度，单位为米(m)。

7.3.20 长悬臂的锅炉钢结构竖向地震作用标准值，8 度和 9 度可分别取该结构、构件重力荷载代表值的 10%和 20%，设计基本地震加速度为 0.30*g* 时，可取该结构、构件重力荷载代表值的 15%。

7.4 其他荷载

7.4.1 锅炉导向装置传递到锅炉钢结构的风荷载和地震作用由刚性梁专业提供，膨胀力视为永久荷载，可按表 17 采用。

表 17 悬吊锅炉炉体膨胀力

炉宽	导向装置位置	膨胀力 kN
≤12 m	炉膛上部导向点	90
	炉膛中、下部各导向点	70
>12 m	炉膛上部导向点	160
	炉膛中、下部各导向点	90

7.4.2 为了防止负荷统计的偏差或可能增加新的荷载,计算时可在柱顶附加安全性荷载。

7.5 作用的效应组合及验算要求

7.5.1 锅炉钢结构设计应按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行作用(效应)组合,并取各自最不利的效应组合进行设计。

7.5.2 按承载能力极限状态设计或正常使用极限状态按标准组合设计时,对可变荷载应按规定的荷载组合采用荷载的组合值或标准值作为其荷载代表值。

7.5.3 对于承载能力极限状态,作用效应基本组合的设计值(S)应按公式(14)和公式(15)计算:

a) 无地震作用参与组合时:

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_w S_{wk} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{Ci} S_{Qik} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- S ——作用效应组合的设计值;
- γ_G ——永久荷载的分项系数,一般情况下应取 1.3;当永久荷载效应对结构有利时,应取 1.0;
- γ_w ——风荷载的分项系数,应取 1.5;
- γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数,应取 1.5;
- S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应;
- S_{wk} ——风荷载标准值的效应;
- S_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值的效应;
- ψ_{Ci} ——第 i 个可变荷载组合值系数,应取 0.7。

b) 有地震作用参与组合时:

$$S = \gamma_{EG} S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \phi_w \gamma_w S_{wk} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

- γ_{EG} ——重力荷载代表值的分项系数,一般情况下取 1.3;当重力荷载效应对构件承载力有利时,取 1.0;
- γ_{Eh} ——水平地震作用的分项系数,按表 18 采用;
- γ_{Ev} ——竖向地震作用的分项系数,按表 18 采用;
- S_{GE} ——重力荷载代表值的效应;
- S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应;
- S_{Evk} ——竖向地震作用标准值的效应;
- ϕ_w ——风荷载组合值系数,一般取 0;风荷载起控制作用高度大于 100 m 或高宽比(H/B)不小于 5 的锅炉钢结构,取 0.2。

表 18 地震作用分项系数

地震作用	γ_{Eh}	γ_{Ev}
仅计算水平地震作用	1.4	0
仅计算竖向地震作用	0	1.4
同时计算水平地震作用与竖向地震作用(水平地震为主)	1.4	0.5
同时计算水平地震作用与竖向地震作用(竖向地震为主)	0.5	1.4

7.5.4 对于承载能力极限状态,偶然组合的效应设计值(S)应按公式(16)规定计算:

$$S = S_{\text{Gk}} + S_{\text{Bk}} + \phi_{\text{fw}} S_{\text{Wk}} + \sum_{i=2}^n \phi_{\text{qi}} S_{\text{Qik}} \dots\dots\dots (16)$$

式中:
 S ——偶然组合的效应设计值;
 S_{Bk} ——偶然荷载标准值的效应;
 ϕ_{fw} ——风荷载的频遇值系数,可取 0.4;
 ϕ_{qi} ——第 i 个可变荷载的准永久值系数,可取 0.4。

7.5.5 对于正常使用极限状态,荷载的标准组合效应(S)应按公式(17)计算:

$$S = S_{\text{Gk}} + S_{\text{Q1k}} + \sum_{i=2}^n \phi_{\text{Ci}} S_{\text{Qik}} \dots\dots\dots (17)$$

式中:
 S ——荷载的标准组合效应;
 S_{Q1k} ——诸可变作用效应中起控制作用者。

7.5.6 对于承载能力极限状态,应采用作用效应的基本组合或偶然组合,应符合下列规定:

- a) 对于没有地震作用效应参与的效应组合中,结构构件的承载力作用效应组合的设计值($\gamma_0 S$)应按公式(18)计算:

$$\gamma_0 S \leqslant R \dots\dots\dots (18)$$

式中:
 γ_0 ——结构重要性系数;
 R ——结构构件抗力的设计值。

- b) 对于有地震作用效应参与的效应组合中,结构构件的承载力作用效应组合的设计值(S)应按公式(19)计算:

$$S \leqslant R/\gamma_{\text{RE}} \dots\dots\dots (19)$$

式中:
 γ_{RE} ——结构构件承载力抗震调整系数,按表 19 选用,当仅计算竖向地震作用时,各类构件承载力抗震调整系数取 1.0。

表 19 结构构件承载力抗震调整系数

构件名称	柱		支撑		梁	节点板件	节点螺栓	节点焊缝
	强度	稳定	强度	稳定				
γ_{RE}	0.75	0.80	0.75	0.80	0.75	0.75	0.75	0.75

7.5.7 对于正常使用极限状态,应采用作用的标准组合,作用效应组合的标准值(S)应按公式(20)计算:

$$S \leq C$$

.....(20)

式中：
C——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值。

8 结构分析

- 8.1 锅炉钢结构一般情况下可采用一阶弹性分析,必要时宜进行二阶弹性分析或采用直接分析法。
- 8.2 锅炉钢结构的结构分析宜按空间结构进行计算,将锅炉钢结构各相连部件视为一个相互影响的整体,通过有效的模拟建立起分析模型,模型应表达锅炉钢结构的实际情况,使计算结果与实际情况相符,同时又使计算简化。准确计算出构件的内力和变形,进行强度、刚度和稳定校核。
- 8.3 锅炉钢结构构件之间以及柱与基础的连接可设定为铰接或固接。支撑斜杆两端宜按铰接计算。
- 8.4 锅炉钢结构的风荷载和地震作用,宜在结构的两个主轴方向分别作用并进行验算。
- 8.5 计算模型应遵循荷载等效原理及荷载的局部性原理,合理简化结构。计算模型简化原则如下：
- a) 计算模型一般由柱、垂直支撑、水平支撑、梁及悬臂结构组成,基础通常视为刚性；
 - b) 悬臂结构可不作为模型的一部分,这时,应考虑悬臂结构在生根处的弯矩和剪力。
- 8.6 荷载及地震作用按以下进行处理。
- a) 永久荷载和可变荷载宜按实际情况输入。
 - b) 风荷载应按有无紧身封闭,采用不同方法处理。一般地,有封闭结构,宜由程序自动生成风荷载;无封闭结构,除考虑锅炉本体和有关设备风荷载外,还应计算结构自身的风荷载。
 - c) 人工处理的地震作用应按高度重新分配,悬吊锅炉炉体和锅筒地震作用不按高度重新分配。
- 8.7 支撑力验算:作为柱支撑点的水平桁架,应验算支撑力工况,支撑力应按 10.2.6 确定。
- 8.8 整体结构刚度:根据空间分析的结果调整垂直支撑和水平支撑的布置及杆件截面,使各层结构的刚度变化均匀,避免扭转和结构出现局部较大变形。
- 8.9 为了达到预定目标,计算过程中应对杆件的布置和截面进行调整,以达到优化的目的。

9 梁的设计

9.1 梁截面的确定

- 9.1.1 根据受载情况、连接方式、运输及安装等要求选择梁的截面形式。
- 9.1.2 梁的截面形式一般为工字形、箱形和型钢及其组合截面,承受扭转的梁宜选用箱形截面。
- 9.1.3 梁宜设计为等截面,也可采用变截面梁或叠梁。
- 9.1.4 梁应满足强度、刚度和稳定性的要求。

9.2 梁的计算

9.2.1 在主平面内受弯的实腹构件,其抗弯强度应按公式(21)计算:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f$$

.....(21)

式中：

M_x ——同一截面处绕 x 轴的弯矩,单位为牛毫米(N·mm)。

M_y ——同一截面处绕 y 轴的弯矩,单位为牛毫米(N·mm)。

W_{nx} ——对 x 轴的净截面模量,单位为三次方毫米(mm³)。

W_{ny} ——对 y 轴的净截面模量,单位为三次方毫米(mm³)。

γ_x ——对 x 轴的截面塑性发展系数。对工字形截面 $\gamma_x = 1.05$,对箱形截面 $\gamma_x = 1.05$,对其他截面应按 GB 50017—2017 表 8.1.1 采用。不考虑塑性发展时,应取 $\gamma_x = 1.0$ 。

γ_y ——对 y 轴的截面塑性发展系数,对工字形截面 $\gamma_y = 1.20$;对箱形截面 $\gamma_y = 1.05$ 。对其他截面应按 GB 50017—2017 表 8.1.1 采用。不考虑塑性发展时,应取 $\gamma_y = 1.0$ 。

f ——钢材的抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

9.2.2 在主平面内受弯的实腹构件,除考虑腹板屈曲后强度外,其抗剪强度(τ)应按公式(22)计算:

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v \quad \dots\dots\dots(22)$$

式中:

τ ——计算截面沿腹板平面作用的剪应力,单位为牛每平方米(N/mm^2);

V ——计算截面沿腹板平面作用的剪力,单位为牛(N);

S ——计算剪应力处以上(或以下)毛截面对中性轴的面积矩,单位为三次方毫米(mm^3);

I ——毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);

t_w ——腹板的厚度,单位为毫米(mm);

f_v ——钢材的抗剪强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

9.2.3 当梁的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,腹板计算高度上边缘的局部承压强度(σ_c)应按公式(23)计算:

$$\sigma_c = \frac{F}{t_w l_z} \leq f \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$l_z = a + 5h_y \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$l_z = 3.25 \sqrt[3]{\frac{I_f}{t_w}} \quad \dots\dots\dots(25)$$

式中:

σ_c ——局部承压强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

F ——集中荷载,单位为牛(N);

l_z ——集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度,单位为毫米(mm),按公式(24)或公式(25)计算;

a ——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度,单位为毫米(mm);

h_y ——自梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离,单位为毫米(mm);

I_f ——上翼缘绕翼缘中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);

f ——钢材的抗压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

在梁的支座处,若未设置支承加劲肋,则应按公式(23)计算腹板计算高度下边缘的局部压应力,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(24)计算。

9.2.4 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,其折算应力应按公式(26)计算:

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 f \quad \dots\dots\dots(26)$$

式中:

σ ——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力,单位为牛每平方米(N/mm^2);

σ_c ——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的局部压应力,单位为牛每平方米(N/mm^2),

τ ——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的剪应力,单位为牛每平方米(N/mm^2),

f ——钢材的抗压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

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,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

σ 和 σ_c 以拉应力为正值,压应力为负值。 τ 和 σ_c 应按公式(22)和公式(23)计算,正应力(σ)应按公式(27)计算:

$$\sigma=(M/I_n)y_1$$

.....(27)

式中:

- σ ——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力,单位为牛每平方米(N/mm²);
- M ——截面弯矩,单位为牛毫米(N·mm);
- I_n ——梁净截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
- y_1 ——所计算点至梁中性轴的距离,单位为毫米(mm)。

- 9.2.5 梁受弯并同时轴心受压(拉)时,应按 10.3 压(拉)弯柱进行计算。
- 9.2.6 梁的挠度不宜超过表 8 所规定的容许值。
- 9.2.7 变截面单跨简支梁可按表 20 计算挠度。

表 20 变截面梁挠度计算公式

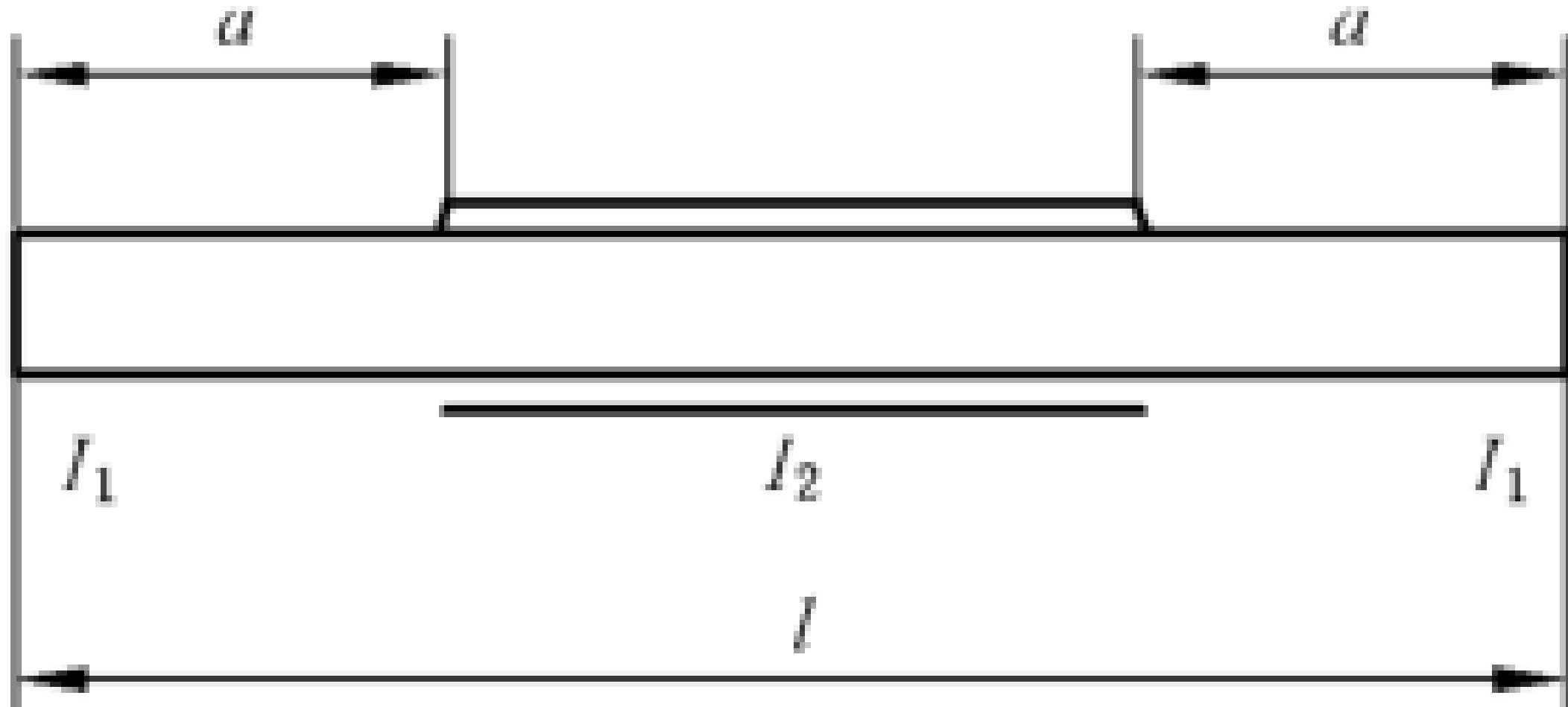
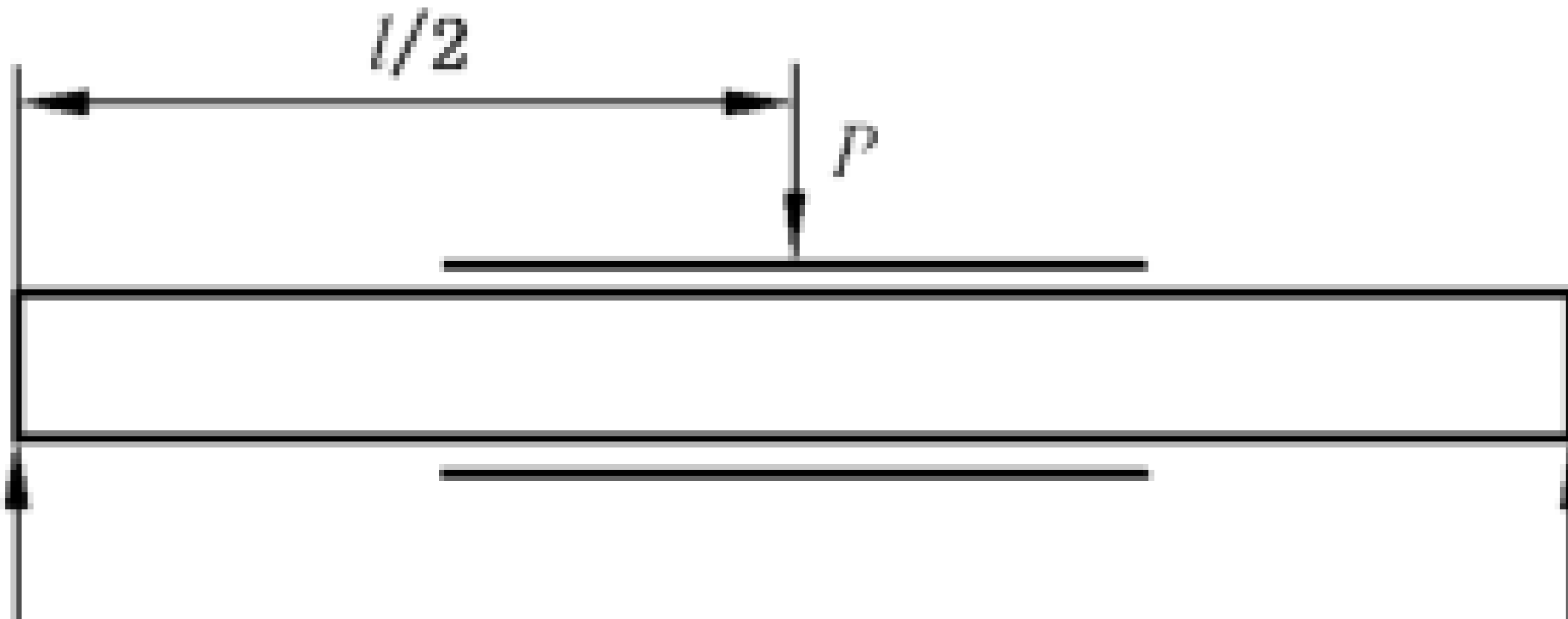
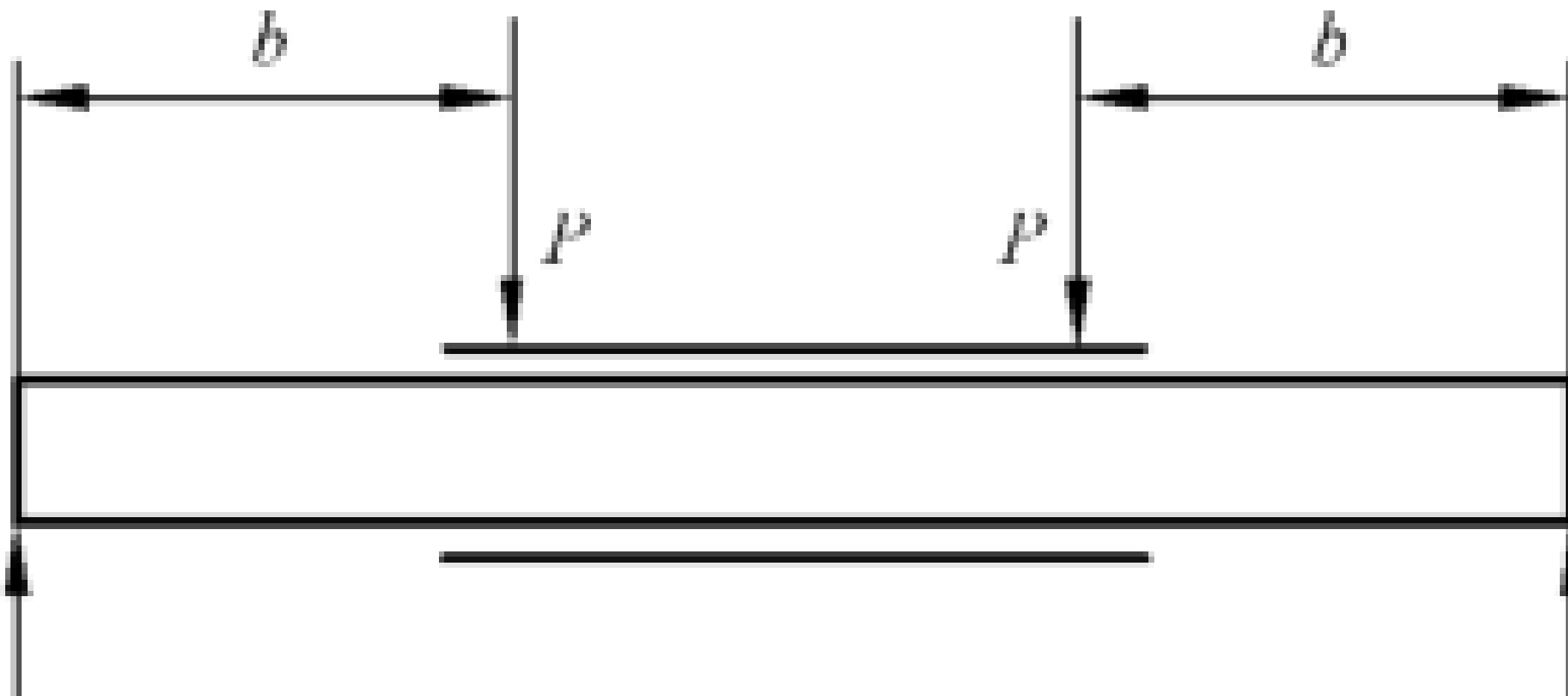
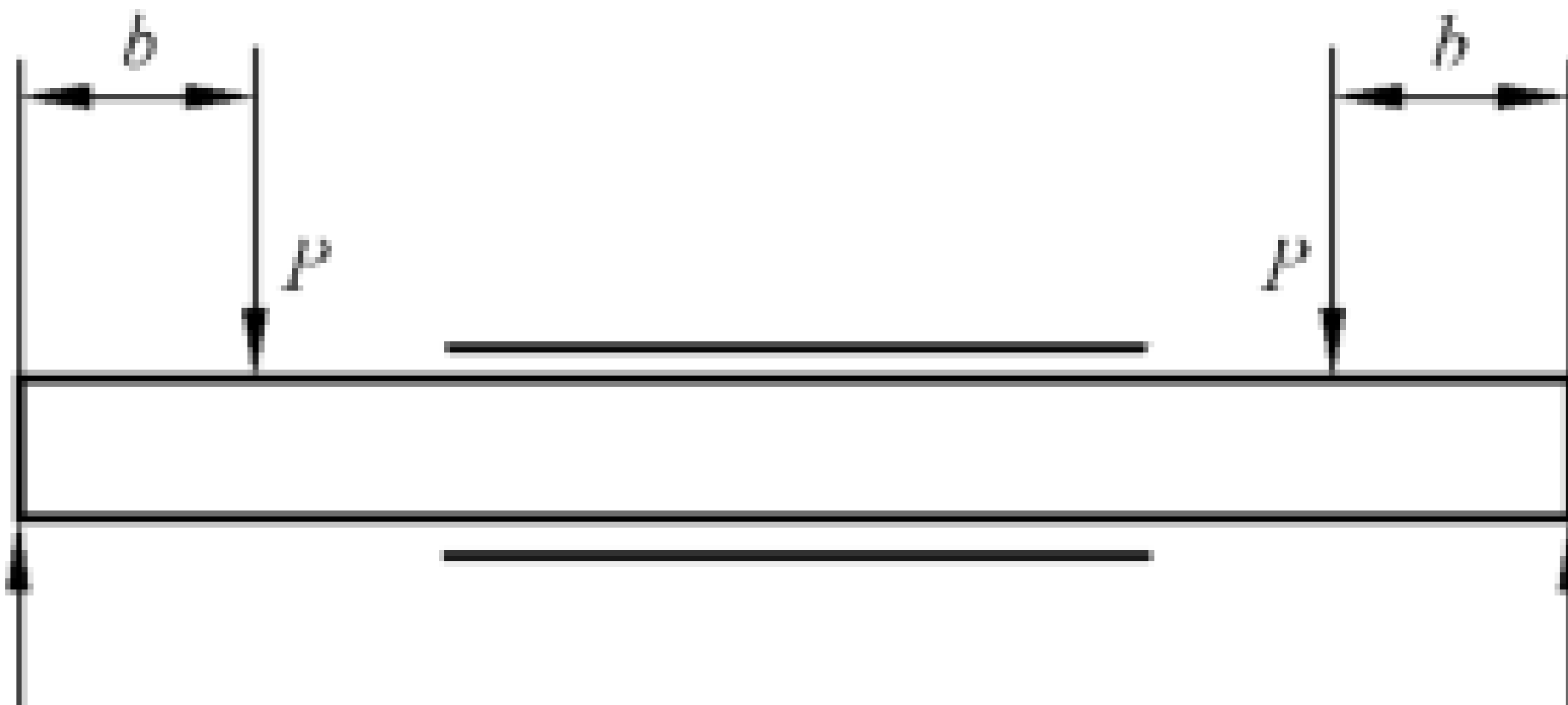
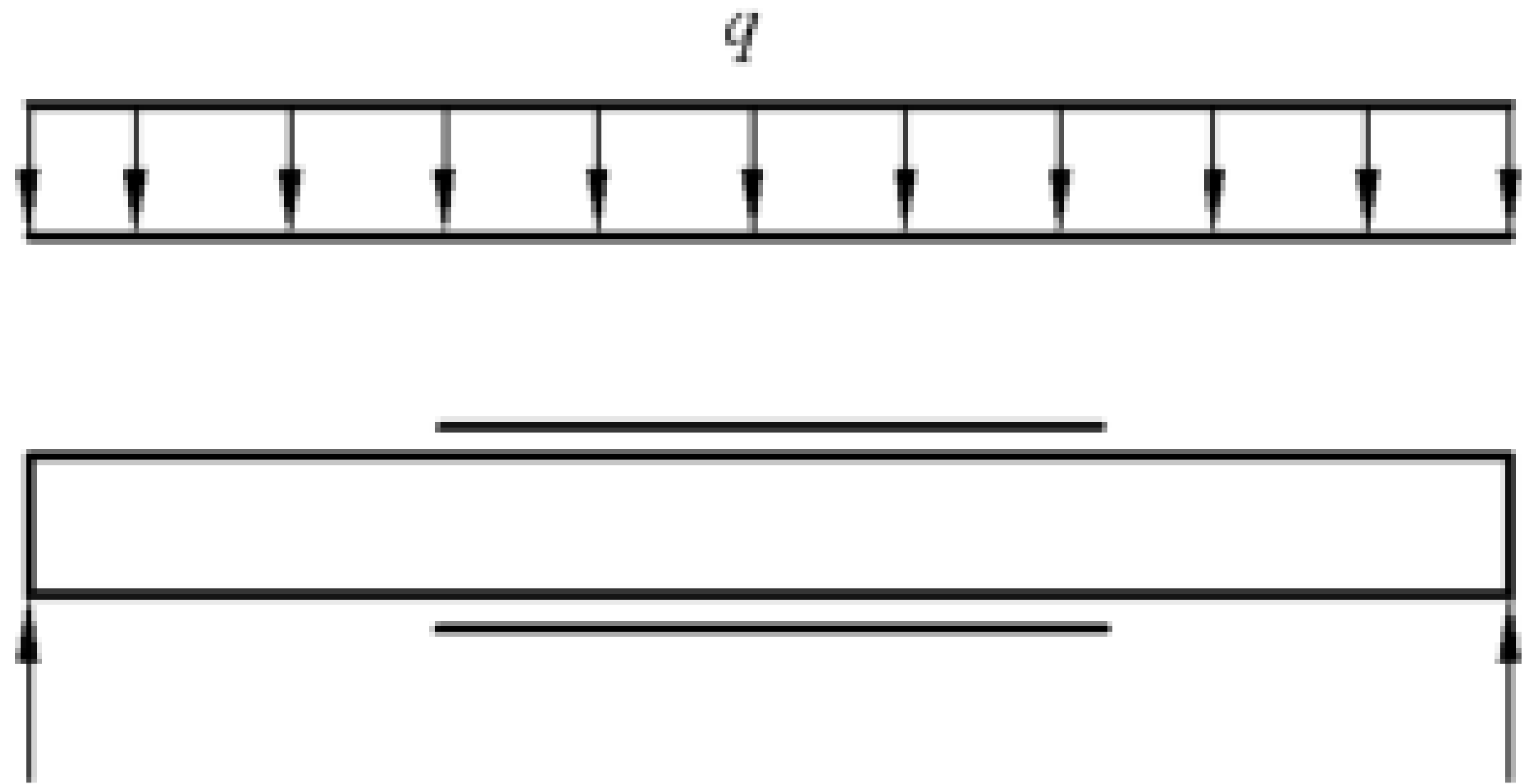
	跨中挠度(v_{\max})
	$\frac{Pl^3}{48EI_2}\left[1+\frac{8a^3}{l^3}(k-1)\right]$
	$\frac{P}{24EI_2}\left[8a^3(k-1)+b(3l^2-4b^2)\right]$
	$\frac{Pb}{24EI_2}\left[4(3a^2-b^2)k+3(l^2-4a^2)\right]$

表 20 变截面梁挠度计算公式（续）

	$\frac{q}{384EI_2} [5l^4 + 16a^3(4l - 3a)(k - 1)]$
<p>注：k —— 梁的惯性矩之比，$k = I_2/I_1$； a —— 窄截面长度，单位为毫米（mm）； I_1 —— 窄截面惯性矩，单位为四次方毫米（mm⁴）； I_2 —— 宽截面惯性矩，单位为四次方毫米（mm⁴）； l —— 梁长度，单位为毫米（mm）； P —— 集中力，单位为牛（N）； E —— 弹性模量，单位为牛每平方米（N/mm²）； b —— 集中荷载到梁端距离，单位为毫米（mm）； q —— 均布力，单位为牛每毫米（N/mm）。</p>	

9.2.8 当铺板密铺在梁的受压翼缘上并与其牢固相连，能阻止梁受压翼缘的侧向位移时，可不计算梁的整体稳定性。

9.2.9 除 9.2.8 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(28)计算：

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x f} \leq 1$$

.....(28)

式中：

- M_x —— 绕强轴作用的最大弯矩，单位为牛毫米（N·mm）；
- W_x —— 按受压最大纤维确定的梁毛截面模量，单位为三次方毫米（mm³）；
- φ_b —— 梁的整体稳定系数；
- f —— 钢材的抗压强度设计值，单位为牛每平方米（N/mm²）。

9.2.10 梁的整体稳定系数按以下规定计算：

a) 等截面焊接工字形（轧制 H 型钢）（图 5）简支梁的整体稳定系数（ φ_b ）应按公式(29)计算：

$$\varphi_b = \beta_b \frac{4\,320}{\lambda_y^2} \cdot \frac{Ah}{W_x} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_y t_1}{4.4h} \right)^2} + \eta_b \right] \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

.....(29)

式中：

- φ_b —— 梁的整体稳定系数。
- β_b —— 梁整体稳定的等效弯矩系数，按表 21 采用。
- λ_y —— 梁在侧向支承点间对截面弱轴 y—y 的长细比。
- A —— 梁的毛截面面积，单位为平方毫米（mm²）。
- h —— 梁截面的全高，单位为毫米（mm）。
- W_x —— 按受压最大纤维确定的梁毛截面模量，单位为三次方毫米（mm³）。
- t_1 —— 梁截面的受压翼缘厚度，单位为毫米（mm）。
- f_y —— 钢材屈服强度，单位为牛每平方米（N/mm²）。

η_b ——截面不对称影响系数。

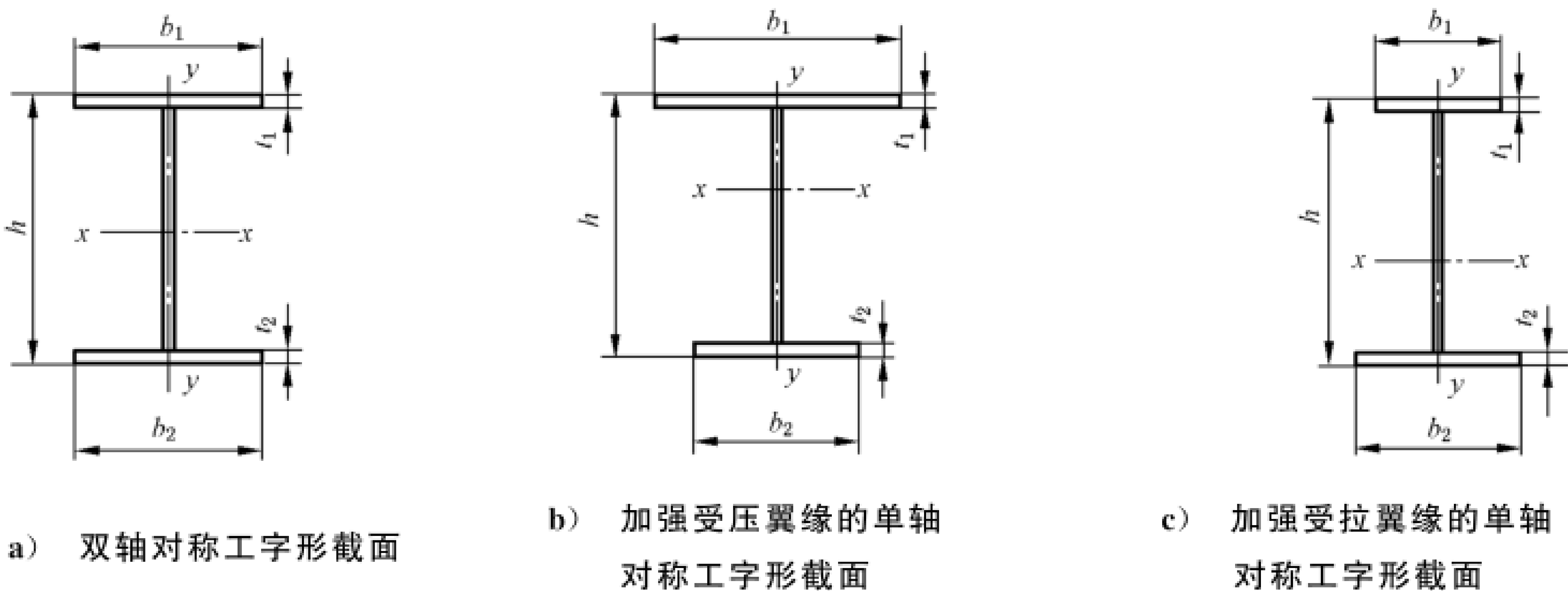
——对双轴对称工字形截面[图 5a)], $\eta_b=0$;

——对单轴对称工字形截面[图 5 b)、c)]:

- 加强受压翼缘, $\eta_b=0.8(2\alpha_b-1)$;
- 加强受拉翼缘, $\eta_b=2\alpha_b-1, \alpha_b=I_1/(I_1+I_2)$ 。

I_1 ——受压翼缘对(y)轴的惯性矩, 单位为四次方毫米(mm⁴)。

I_2 ——受拉翼缘对(y)轴的惯性矩, 单位为四次方毫米(mm⁴)。



标引序号说明:

b_1 ——上翼缘宽度;

t_1 ——上翼缘厚度;

h ——梁高;

b_2 ——下翼缘宽度;

t_2 ——下翼缘厚度。

图 5 焊接工字形(轧制 H 形钢)截面

当按公式(29)算得的 φ_b 值大于 0.60 时,应用公式(30)计算的 φ'_b 代替 φ_b 值:

$$\varphi'_b=1.07-\frac{0.282}{\varphi_b}\leqslant 1.0 \quad \cdots\cdots\cdots(30)$$

表 21 等截面工字形截面(轧制 H 形钢)简支梁的系数(β_b)

项次	侧向支承	荷 载		$\xi=(l_1t_1)/(b_1h)$		适用 范围
				$\xi\leqslant 2.0$	$\xi>2.0$	
1	跨中无侧向支承	均布荷载作用在	上翼缘	$0.69+0.13\xi$	0.95	图 5 中 a)、 b)的截面
2			下翼缘	$1.73-0.20\xi$	1.33	
3		集中荷载作用在	上翼缘	$0.73+0.18\xi$	1.09	
4			下翼缘	$2.23-0.28\xi$	1.67	
5	跨度中点有一个 侧向支承点	均布荷载作用在	上翼缘	1.15		图 5 中的 所有截面
6			下翼缘	1.40		
7		集中荷载作用在截面高度上任意位置			1.75	

表 21 等截面工字形截面(轧制 H 型钢)简支梁的系数(β_b) (续)

项次	侧向支承	荷 载		$\xi=(l_1 t_1)/(b_1 h)$		适用 范围
				$\xi\leqslant 2.0$	$\xi>2.0$	
8	跨中有不少于 两个等距离侧 向支承点	任意荷载作用在	上翼缘	1.20		图 5 中的 所有截面
9			下翼缘	1.40		
10	梁端有弯矩,但跨中无荷载作用			$1.75-1.05\left(\frac{M_2}{M_1}\right)+0.3\left(\frac{M_2}{M_1}\right)^2$, 但 $\leqslant 2.3$		
表中项次 3、4 和 7 集中荷载指一个或少数几个集中荷载位于跨中央附近的情况,对其他情况的集中荷载,应按表中项次 1、2、5、6 内的数值采用。						
表中项次 8、9 的 β_b ,当集中荷载作用在侧向支承点处时,取 $\beta_b=1.20$ 。						
荷载作用在上翼缘系指荷载作用点在翼缘表面,方向指向截面形心;荷载作用在下翼缘指荷载作用点在翼缘表面,方向背向截面形心。						
对 $\alpha_b>0.8$ 的加强受压翼缘工字形截面,下列情况的 β_b 值应乘以相应的系数。项次 1:当 $\xi\leqslant 0.1$ 时,乘以 0.95;项次 3:当 $\xi\leqslant 0.5$ 时,乘以 0.90;当 $0.5<\xi\leqslant 1.0$ 时,乘以 0.95。						
注: l_1 ——梁受压翼缘侧向支承点之间的距离,单位为毫米(mm)。						
M_1 、 M_2 ——梁的端弯矩,单位为牛毫米(N·mm),使梁产生同向曲率时 M_1 和 M_2 取同号,产生反向曲率时取异号, $ M_1 \geqslant M_2 $ 。						

b) 轧制普通工字钢简支梁整体稳定系数(φ_b)应按表 22 采用,当所得的 φ_b 值大于 0.60 时,应按公式(30)算得相应的 φ'_b代替 φ_b 值。

表 22 轧制普通工字钢简支梁的 φ_b

项次	荷载情况			工字钢 型号	自由长度(l_1) m								
					2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	跨中无侧 向支承点 的梁	集中荷载 作用于	上翼缘	10~20	2.00	1.30	0.99	0.80	0.68	0.58	0.53	0.48	0.43
22~32				2.40	1.48	1.09	0.86	0.72	0.62	0.54	0.49	0.45	
36~63				2.80	1.60	1.07	0.83	0.68	0.56	0.50	0.45	0.40	
下翼缘			10~20	3.10	1.95	1.34	1.01	0.82	0.69	0.63	0.57	0.52	
			22~40	5.50	2.80	1.84	1.37	1.07	0.86	0.73	0.64	0.56	
			45~63	7.30	3.60	2.30	1.62	1.20	0.96	0.80	0.69	0.60	
均布荷载 作用于		上翼缘	10~20	1.70	1.12	0.84	0.68	0.57	0.50	0.45	0.41	0.37	
			22~40	2.10	1.30	0.93	0.73	0.60	0.51	0.45	0.40	0.36	
			45~63	2.60	1.45	0.97	0.73	0.59	0.50	0.44	0.38	0.35	
下翼缘		10~20	2.50	1.55	1.08	0.83	0.68	0.56	0.52	0.47	0.42		
		22~40	4.00	2.20	1.45	1.10	0.85	0.70	0.60	0.52	0.46		
		45~63	5.60	2.80	1.80	1.25	0.95	0.78	0.65	0.55	0.49		

表 22 轧制普通工字钢简支梁的 φ_b (续)

项次	荷载情况	工字钢 型号	自由长度(l_1) m								
			2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	跨中有侧向支承点的梁 (不论荷载作用点在截面 高度上的位置)	10~20	2.20	1.39	1.01	0.79	0.66	0.57	0.52	0.47	0.42
		22~40	3.00	1.80	1.21	0.96	0.76	0.65	0.56	0.49	0.43
		45~63	4.00	2.20	1.38	1.01	0.80	0.66	0.56	0.49	0.43
<p>表中项次 1、2 和 5 集中荷载指一个或少数几个集中荷载位于跨中央附近的情况,对其他情况的集中荷载,应按表中项次 3、4 内的数值采用。</p> <p>荷载作用在上翼缘系指荷载作用点在翼缘表面,方向指向截面形心;荷载作用在下翼缘指荷载作用点在翼缘表面,方向背向截面形心。</p> <p>表中的 φ_b 适用于 Q235 钢,对其他钢号,表中的数值应乘以 $235/f$。</p>											

c) 轧制槽钢简支梁、双轴对称工字形等截面悬臂梁和均匀弯曲的受弯构件(当 $\lambda_y \leq 120 \sqrt{235/f_y}$) 的整体稳定系数,应按 GB 50017—2017 的规定计算。

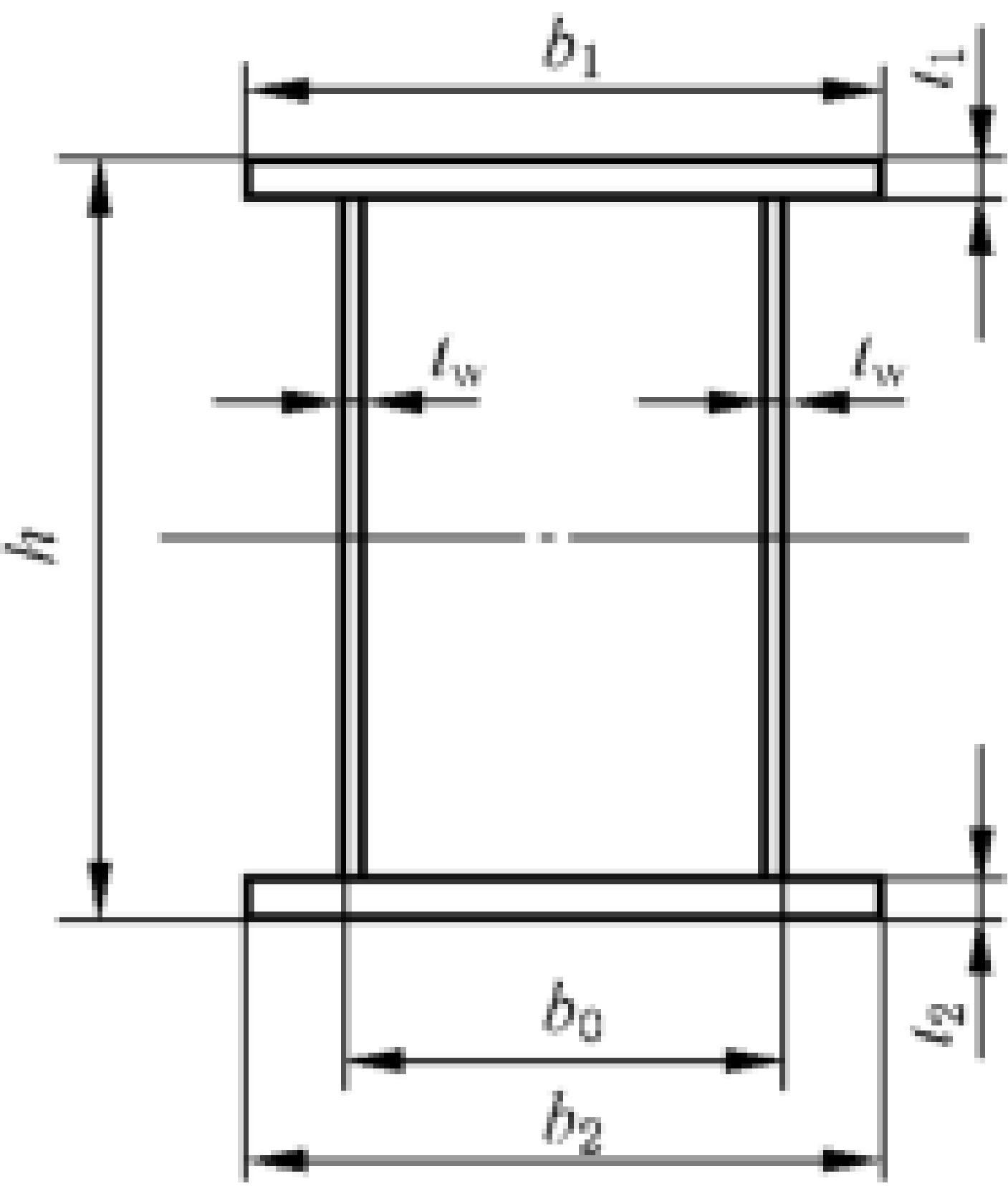
9.2.11 除 9.2.9 所指情况外,在两个主平面受弯的工字形截面构件,其整体稳定性应按公式(31)计算:

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x f} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y f} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

- M_x ——同一截面处绕 x 轴的弯矩,单位为牛毫米(N·mm)。
- M_y ——同一截面处绕 y 轴的弯矩,单位为牛毫米(N·mm)。
- W_x ——按受压最大纤维确定的对 x 轴毛截面模量,单位为三次方毫米(mm³)。
- W_y ——按受压最大纤维确定的对 y 轴毛截面模量,单位为三次方毫米(mm³)。
- φ_b ——绕强轴弯曲所确定的梁整体稳定系数,按 9.2.10 规定计算。
- γ_y ——对 y 轴的截面塑性发展系数。对工字形截面 $\gamma_y = 1.20$,对箱形截面 $\gamma_y = 1.05$,对其他截面应按 GB 50017—2017 表 8.1.1 采用。不考虑塑性发展时,应取 $\gamma_y = 1.0$ 。
- f ——钢材的抗弯强度设计值(N/mm²)。

9.2.12 不符合 9.2.8 情况的箱形截面简支梁,若其截面尺寸(图 6)满足 $h/b_0 \leq 6, l_1/b_0 \leq 95(235/f_y)$ 时,可不计算整体稳定性, l_1 为受压翼缘侧向支承点间的距离(梁的支座处视为有侧向支承)。



标引序号说明：

b_1 ——上翼缘宽度；

t_1 ——上翼缘厚度；

t_w ——腹板厚度；

h ——梁高；

b_0 ——双腹板间距离；

b_2 ——下翼缘宽度；

t_2 ——下翼缘厚度。

图 6 箱形截面

9.2.13 梁的支座处,应采取构造措施以防梁端截面的扭转。当简支梁仅腹板与相邻构件相连,整体稳定性计算时侧向支撑点距离应取实际距离的 1.2 倍。

9.2.14 用作减少梁受压翼缘自由长度的侧向支撑,其支撑力(F)可按公式(32)计算：

$$F=0.02A_{\text{f}}\sigma \dots\dots\dots (32)$$

式中：

F —— 支撑力,单位为牛(N)；

A_{f} —— 梁的受压翼缘截面面积,单位为平方毫米(mm^2)；

σ —— 受压翼缘的正应力,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

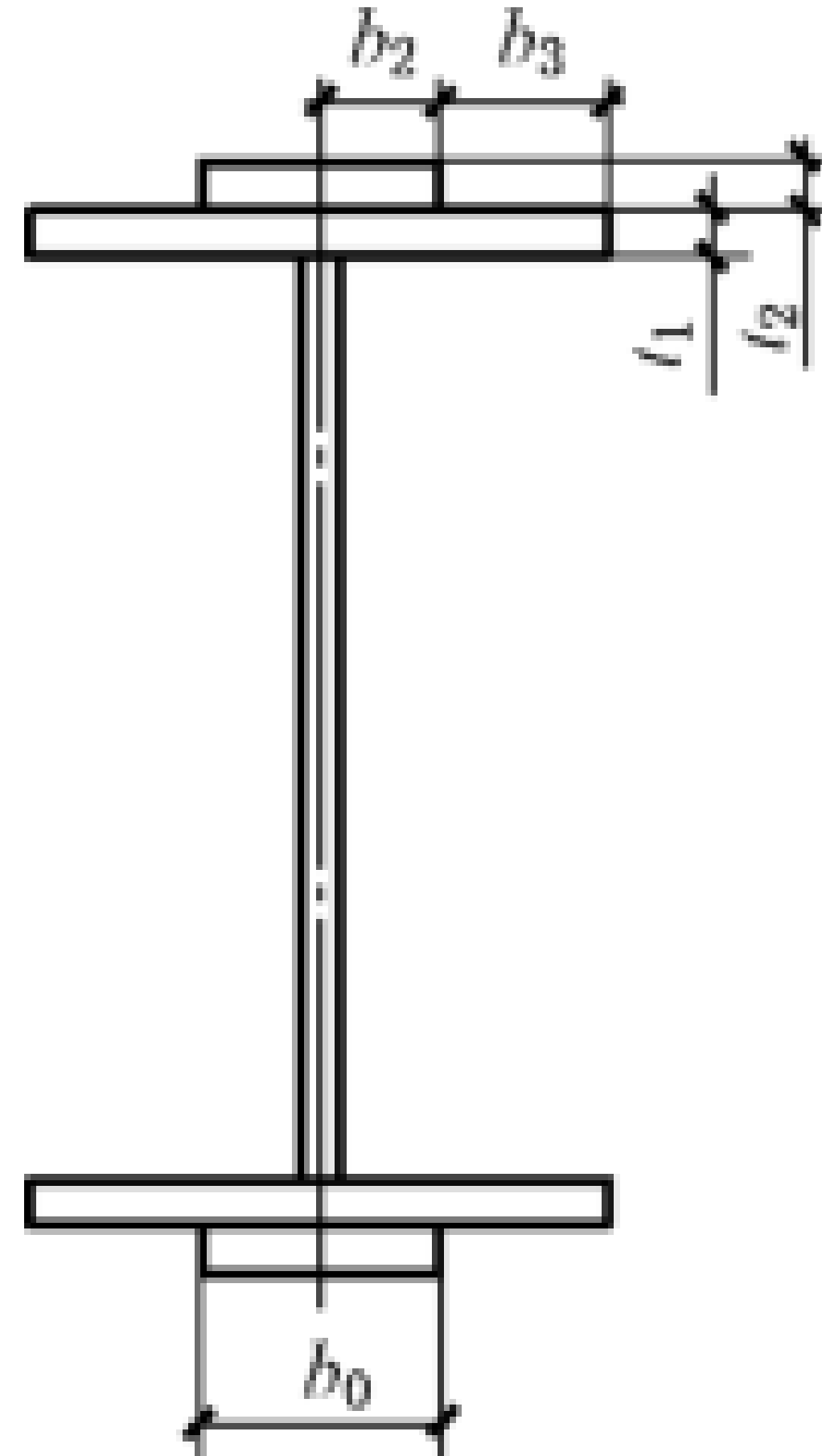
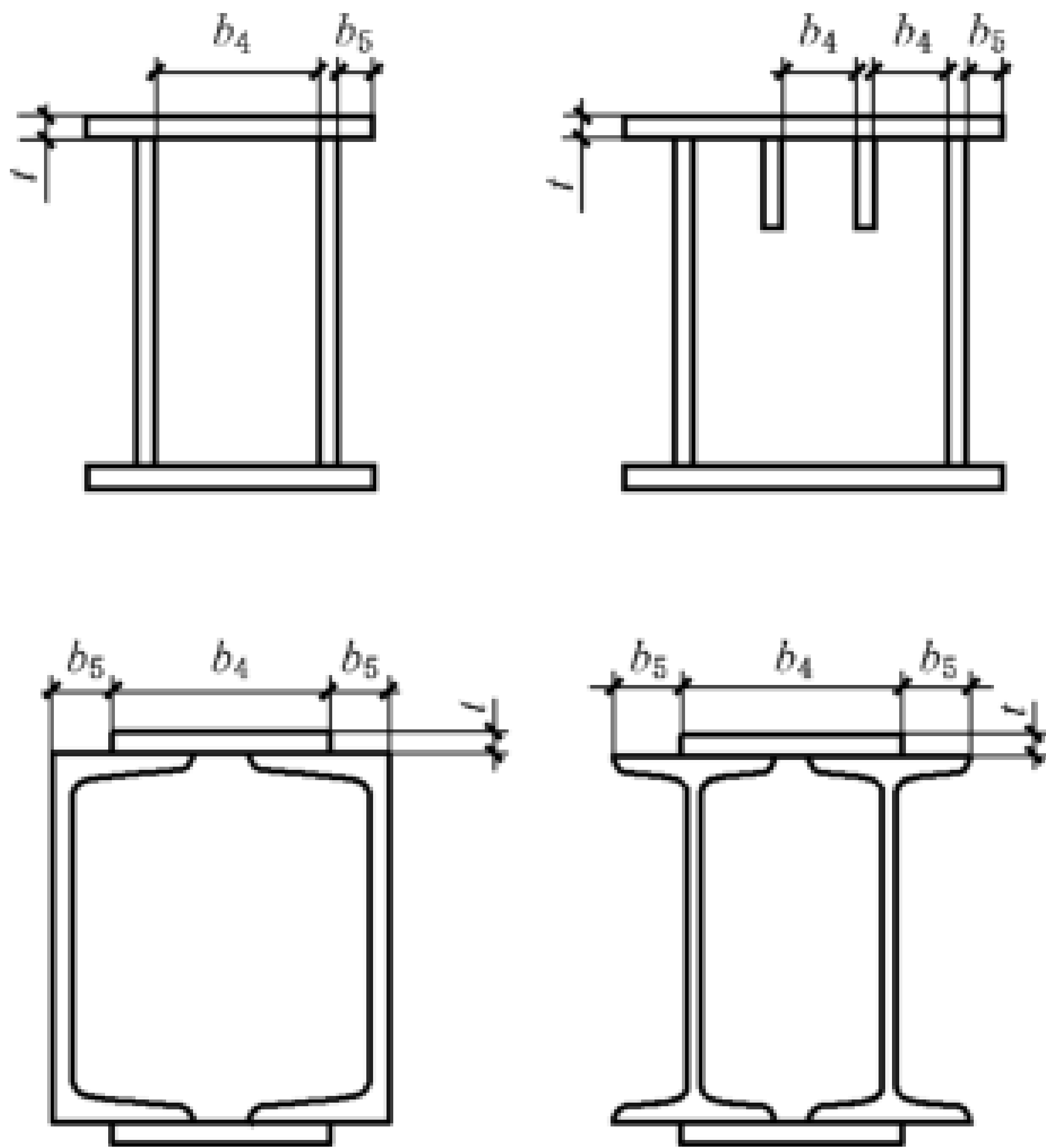
9.2.15 梁受弯扭时的强度和整体稳定计算按 GB 50017—2017 的规定执行。

9.2.16 受压翼缘的宽厚比应符合表 23 规定。

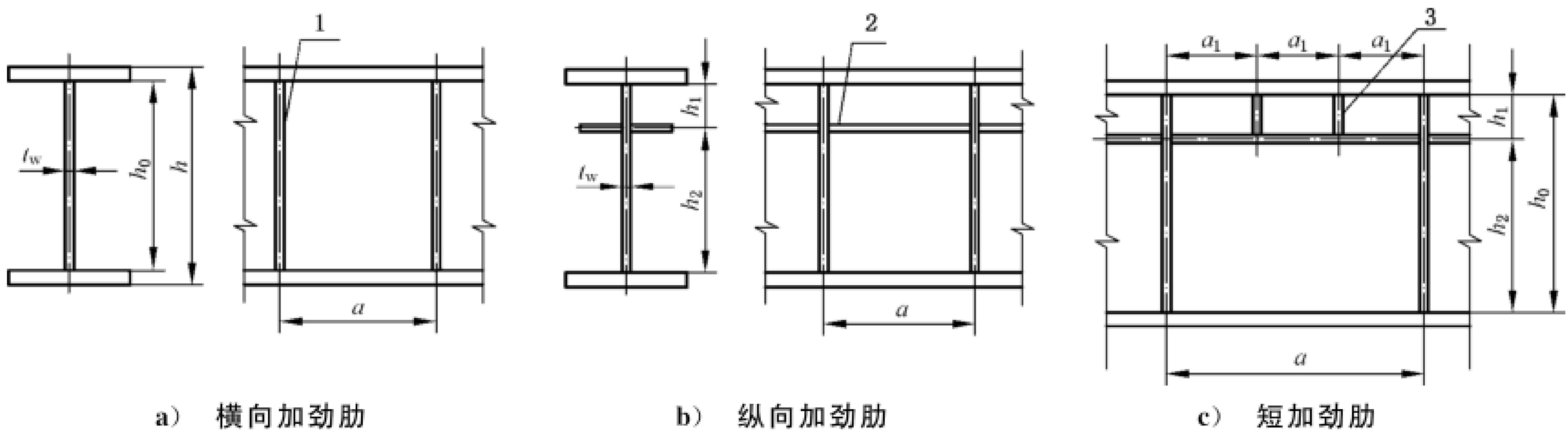
表 23 翼缘宽厚比的规定

项次	截面形式	规定值	
1		考虑截面塑性发展	$\frac{b_1}{t} \leqslant 13 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
		不考虑截面塑性发展	$\frac{b_1}{t} \leqslant 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

表 23 翼缘宽厚比的规定（续）

项次	截面形式	规定值	
2		考虑截面塑性发展	$\frac{b_2}{(t_1 + t_2)} + \frac{b_3}{t_1} \leq 13 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ $\frac{b_0}{t_2} \leq 37 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
		不考虑截面塑性发展	$\frac{b_2}{(t_1 + t_2)} + \frac{b_3}{t_1} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ $\frac{b_0}{t_2} \leq 42 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
3		考虑截面塑性发展	$\frac{b_5}{t} \leq 13 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ $\frac{b_4}{t} \leq 37 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
		不考虑截面塑性发展	$\frac{b_5}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ $\frac{b_4}{t} \leq 42 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
<p>注：b₁——翼缘外伸宽度，单位为毫米(mm)； t ——翼缘厚度，单位为毫米(mm)； f_y——钢材的屈服强度，单位为牛每平方米(N/mm²)； b₂——翼缘贴板半宽度，单位为毫米(mm)； b₃——贴板距翼缘端部距离，单位为毫米(mm)； t₁——贴板梁翼缘厚度，单位为毫米(mm)； t₂——贴板厚度，单位为毫米(mm)； b₀——贴板宽度，单位为毫米(mm)； b₄——双腹板梁腹板间距离或盖板宽度，单位为毫米(mm)； b₅——双腹板梁腹板到梁端或贴板到型钢外缘的距离，单位为毫米(mm)。</p>			

9.2.17 锅炉钢结构的组合梁可考虑腹板屈曲后强度，此时应按 GB 50017—2017 中 6.4 的规定执行。不考虑腹板屈曲后强度时，应按表 24 的规定配置腹板加劲肋（图 7）。梁腹板高/腹板厚度（h₀/t_w）不宜超过 250。



标引序号说明：

1 —— 横向加劲肋；

2 —— 纵向加劲肋；

3 —— 短加劲肋；

t_w —— 腹板厚度；

h_0 —— 腹板高；

h —— 梁高；

a —— 横向加劲肋间距离；

h_1 —— 纵向加劲肋至上翼缘距离；

h_2 —— 纵向加劲肋至下翼缘距离；

a_1 —— 短加劲肋间距离。

图 7 腹板加劲肋的布置

表 24 梁加劲肋的设置

项次	h_0/t_w	配置加劲肋的规定	加劲肋间距范围
1	$\leq 80\sqrt{\frac{235}{f_y}}$	对有局部压应力的梁,宜按构造配置横向加劲肋。 当局部压应力较小时,可不配置加劲肋	—
2	$> 80\sqrt{\frac{235}{f_y}}$	应配置横向加劲肋	$0.5h_0 \leq a \leq 2h_0$ 对无局部压应力的梁 当 $h_0/t_w \leq 100$ 时, $0.5h_0 \leq a \leq 2.5h_0$

表 24 梁加劲肋的设置（续）

项次	h_0/t_w	配置加劲肋的规定	加劲肋间距范围
3	$> 170\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ <p>（受压翼缘扭转受到约束时）</p> $> 150\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ <p>（受压翼缘扭转未受到约束时）</p>	应配置横向加劲肋和受压区的纵向加劲肋。 局部压应力很大的梁，必要时宜在受压区配置短加劲肋	$0.5h_0 \leq a \leq 2h_0$ $h_c/2.5 \leq h_1 \leq h_c/2$ $a_1 \geq 0.75h_1$
<p>无局部压应力的梁，指无移动的设备集中荷载或集中荷载处已设置支承加劲肋，或当梁受均布载作用，且腹板上边缘产生的局部压应力较小时，以上情况均可视为梁的局部压应力 $\sigma_c=0$。</p> <p>注：t_w——腹板的厚度，单位为毫米（mm）； a——横向加劲肋距离，单位为毫米（mm）； a_1——短加劲肋的距离，单位为毫米（mm）； h_0——腹板的计算高度，单位为毫米（mm）（对单轴对称梁，项次 3 中的 h_0 应取为腹板受压区高度 h_c 的 2 倍）； h_1——纵向加劲肋至腹板计算高度受压边缘的距离，单位为毫米（mm）； h_2——纵向加劲肋到腹板计算高度受拉边缘的距离，单位为毫米（mm）；$h_2=h_0-h_1$； h_c——腹板受压区高度，单位为毫米（mm）。</p>			

- 9.2.18 仅配置横向加劲肋的腹板[图 7a)]，其各区格的局部稳定应按 GB 50017—2017 中 6.3.3 的规定计算。
- 9.2.19 同时配置横向加劲肋和纵向加劲肋的腹板[图 7b)]，其局部稳定应按 GB 50017—2017 中 6.3.4 的规定计算。
- 9.2.20 在受压翼缘与纵向加劲肋之间设有短加劲肋的区格[图 7c)]，其局部稳定应按 GB 50017—2017 中 6.3.5 的规定计算。
- 9.2.21 加劲肋截面应按表 25 确定。

表 25 加劲肋的截面尺寸

项目	加劲肋形式			截面尺寸
1	横向加劲肋	无纵向加劲肋	在腹板两侧成对配置时	外伸宽度 $b_s \geq h_0/30 + 40 \text{ mm}$ 承压时厚度 $t_s \geq b_s/15$ ，不受力时厚度 $t_s \geq b_s/19$
			在腹板一侧配置时	外伸宽度 $b_s \geq h_0/25 + 48 \text{ mm}$ 承压时厚度 $t_s \geq b_s/15$ ，不受力时厚度 $t_s \geq b_s/19$
		有纵向加劲肋	在腹板两侧成对配置时	外伸宽度 $b_s \geq h_0/30 + 40 \text{ mm}$ 承压时厚度 $t_s \geq b_s/15$ ，不受力时厚度 $t_s \geq b_s/19$ 惯性矩 $I_z \geq 3h_0t_w^3$
			在腹板一侧配置时	外伸宽度 $b_s \geq h_0/25 + 48 \text{ mm}$ 承压时厚度 $t_s \geq b_s/15$ ，不受力时厚度 $t_s \geq b_s/19$ 惯性矩 $I_z \geq 3h_0t_w^3$

表 25 加劲肋的截面尺寸（续）

项目	加劲肋形式	截面尺寸
2	纵向加劲肋	当 $a/h_0 \leq 0.85$ 时, $I_y \geq 1.5h_0t_w^3$ 当 $a/h_0 > 0.85$ 时, $I_y \geq (2.5 - 0.45a/h_0)(a/h_0)^2h_0t_w^3$
3	短加劲肋	外伸宽度 $b_{ss} = 0.7b_s \sim b_s$ 厚度 $t_{ss} \geq b_{ss}/15$
注: I_x —— 横向加劲肋截面对腹板厚度中心线的惯性矩。当加劲肋为一侧配置时, 则为对与加劲肋相连的于腹板边缘为轴线的惯性矩, 单位为四次方毫米(mm^4); I_y —— 纵向加劲肋截面对腹板厚度中心线的惯性矩, 单位为四次方毫米(mm^4); b_{ss} —— 短加劲肋外伸宽度, 单位为毫米(mm)。		

9.2.22 梁的支座处和上翼缘有较大集中荷载处宜设支承加劲肋, 支承加劲肋不应单侧布置。

9.2.23 支承加劲肋应按承受梁支座反力或固定集中荷载的轴心受压构件, 其在腹板平面外的稳定性按公式(33)计算。

$$\frac{N}{\varphi Af} \leq 1$$

.....(33)

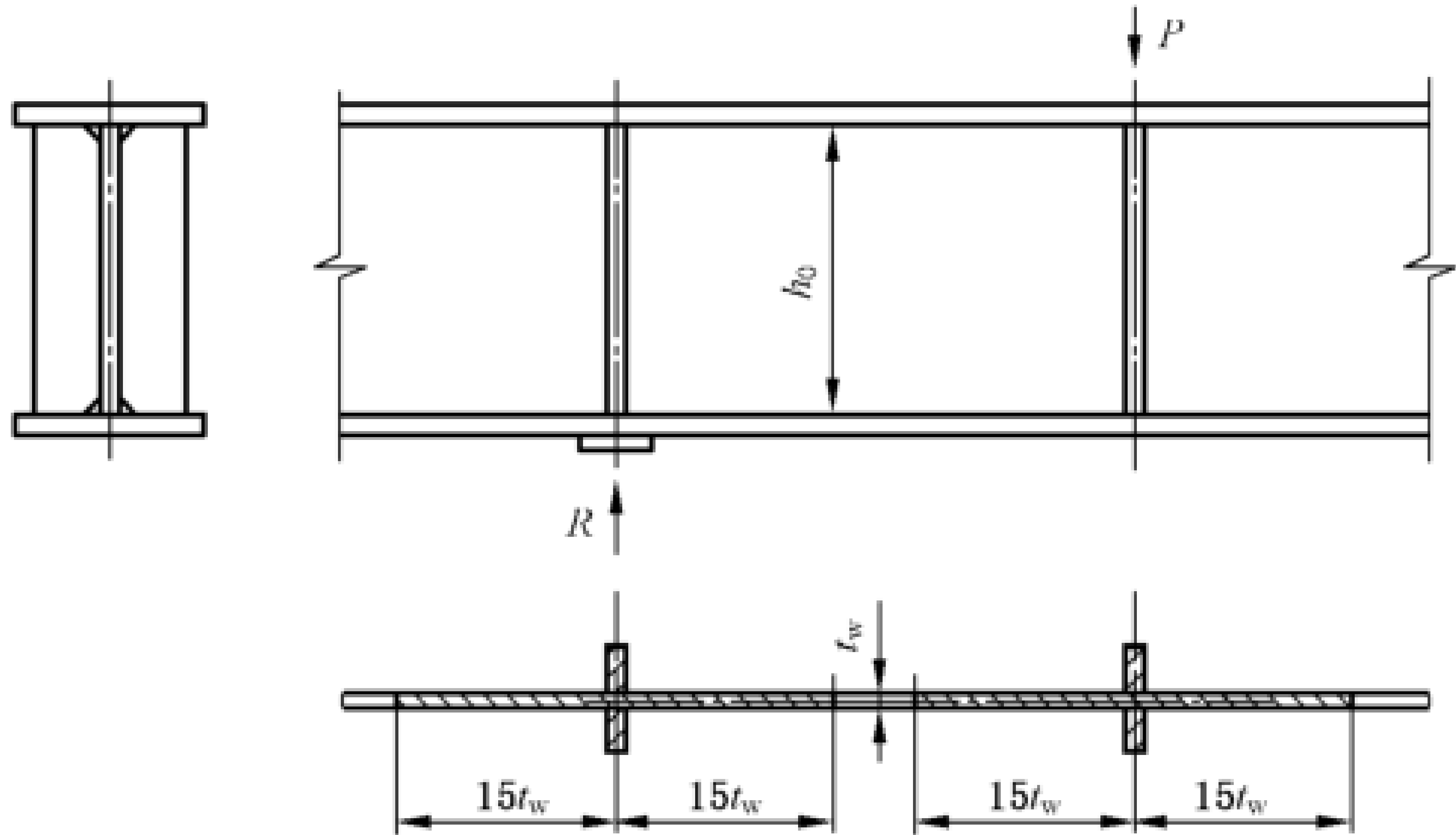
式中:

N —— 集中荷载或支座反力, 单位为牛(N);

A —— 验算处的截面面积, 单位为平方毫米(mm^2), 包括加劲肋和加劲肋每侧 $15t_w \sqrt{235/f_y}$ 范围内的腹板面积(见图 8);

φ —— 轴心受压杆件的稳定系数, 计算长度为 h_0 ;

f —— 钢材的抗弯强度设计值, 单位为牛每平方米(N/mm^2)。



标引序号说明:

P —— 集中荷载;

h_0 —— 腹板高;

R —— 支座反力;

t_w —— 腹板厚度。

图 8 支承加劲肋

9.2.24 支承加劲肋端部为刨平顶紧时, 应按其所承受的支座反力或固定集中荷载计算其端面承压应力; 当端面为焊接时, 应按传力情况计算焊缝应力。

9.2.25 支承加劲肋与腹板连接焊缝, 假定应力沿焊缝全长均匀分布计算焊缝尺寸和高度。

9.2.26 当梁的支座处采用双支承加劲肋时, 其间距宜取 150 mm~200 mm。

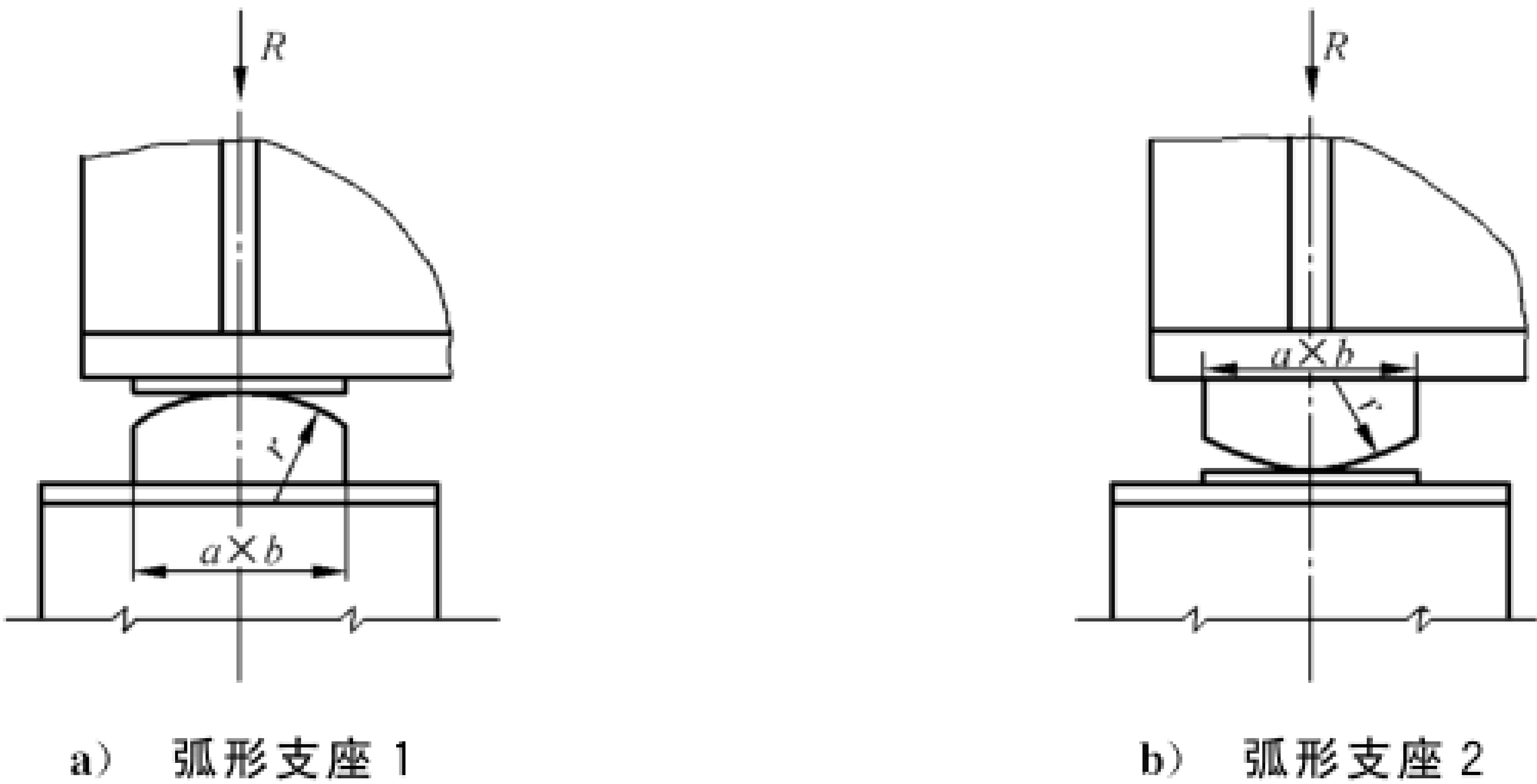
9.2.27 弧形支座(图 9)面积(A)和反力(R)应分别按公式(34)和公式(35)计算：

$A=ab\geqslant R/f_{ce}$ (34)

$R\leqslant 80rbf^2/E$ (35)

式中：

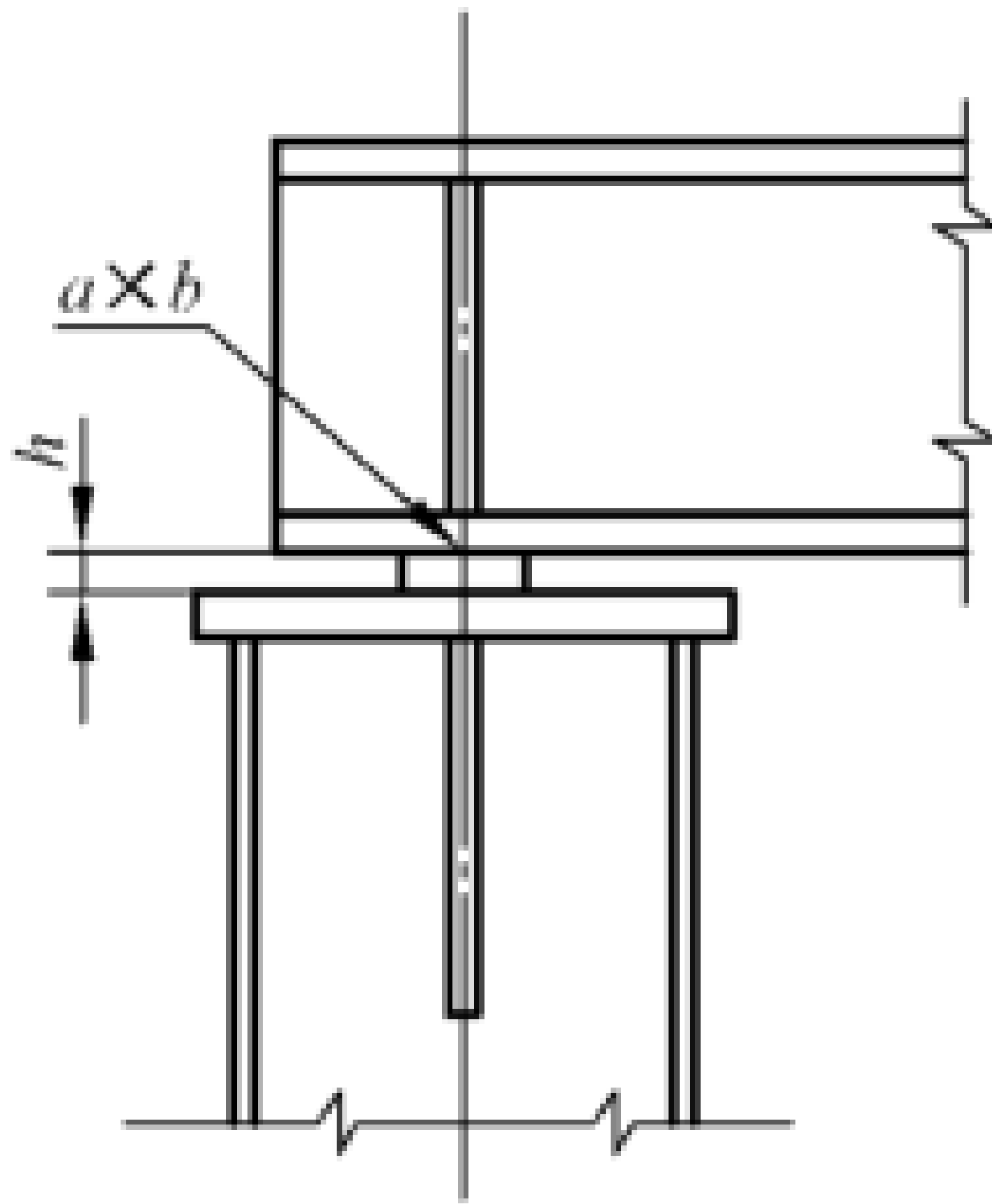
- A ——弧形支座面积,单位为平方毫米(mm^2)；
- a ——弧形支座宽度,单位为毫米(mm)；
- b ——弧形支座长度,单位为毫米(mm)；
- R ——梁支座反力,单位为牛(N)；
- f_{ce} ——柱顶板端面承压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2),若支承在混凝土柱上,则为混凝土局部承压强度设计值；
- r ——弧形支座表面曲率半径,单位为毫米(mm)；
- f ——支座材料的抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)；
- E ——钢材的弹性模量, $206\times 10^3\text{ N}/\text{mm}^2$ 。



- 标引序号说明：
- R ——支座反力；
 - r ——支座表面曲率半径；
 - a ——支座宽度；
 - b ——支座长度。

图 9 弧形支座

9.2.28 条形支座(图 10)应按使用材料端面承压强度计算,厚度(h)可按构造选取。



- 标引序号说明：
- h ——支座厚度；
 - a ——支座宽度；
 - b ——支座长度。

图 10 条形支座

9.2.29 梁翼缘板与腹板(双层焊接翼缘板)的连接角焊缝焊脚尺寸(h_f)应按公式(36)计算:

$$h_f \geq \frac{VS_f}{1.4f_f^w I_x} \dots\dots\dots (36)$$

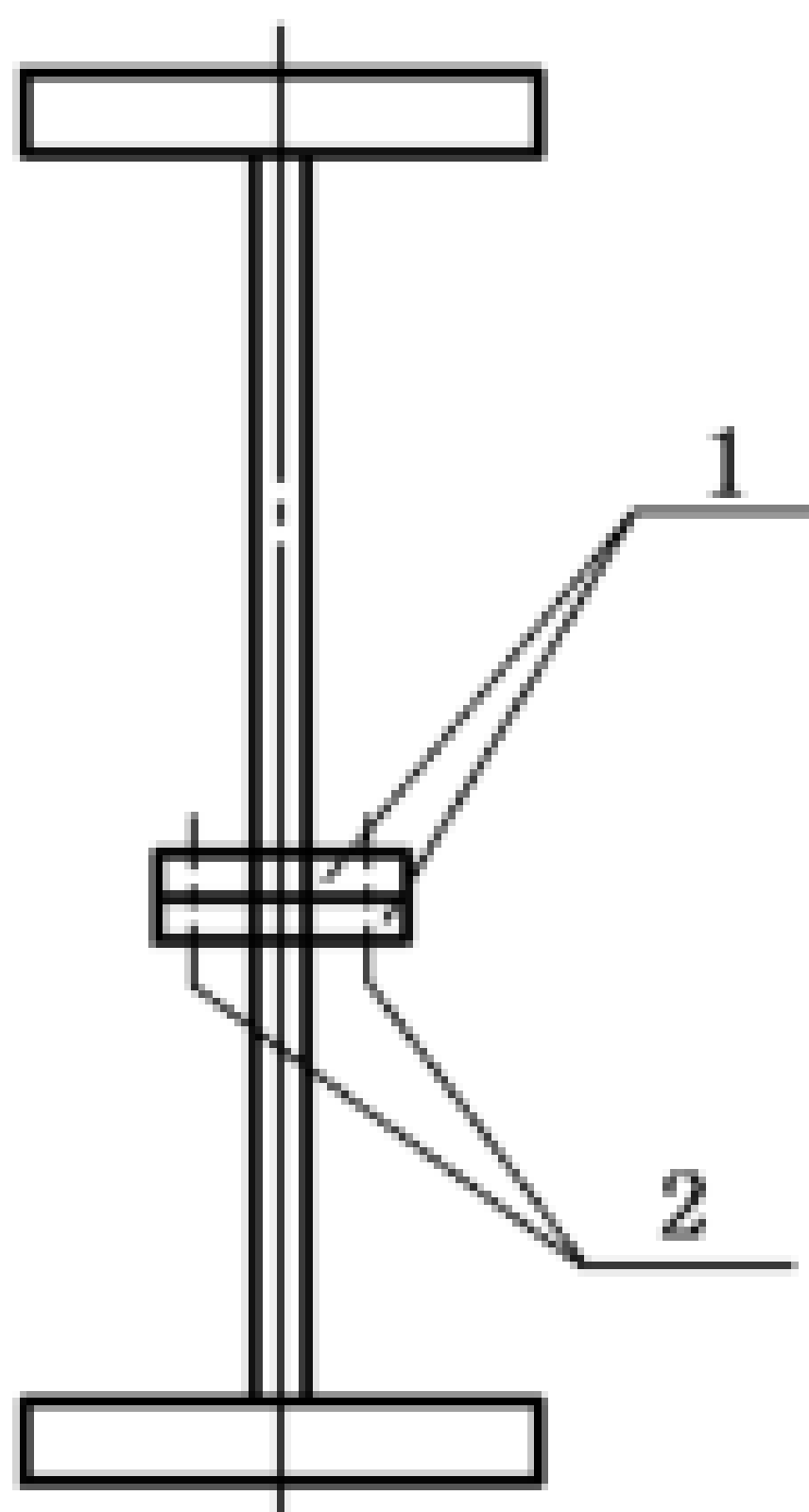
式中:
 h_f ——角焊缝焊脚尺寸,单位为毫米(mm);
 V ——计算截面沿腹板平面作用的剪力,单位为牛(N);
 S_f ——所计算翼缘毛截面对梁中性轴的面积矩,单位为三次方毫米(mm³);
 f_f^w ——角焊缝强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);
 I_x ——梁的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴)。

9.2.30 当梁上翼缘承受集中荷载,且荷载作用处附近又未设置加劲肋时,翼缘板与腹板的连接角焊缝焊脚尺寸(h_f)应按公式(37)计算:

$$h_f \geq \frac{1}{1.4f_f^w} \sqrt{\left(\frac{VS_f}{I_x}\right)^2 + \left(\frac{F}{\beta_f l_z}\right)^2} \dots\dots\dots (37)$$

式中:
 h_f ——角焊缝焊脚尺寸,单位为毫米(mm);
 f_f^w ——角焊缝强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);
 V ——计算截面沿腹板平面作用的剪力,单位为牛(N);
 S_f ——所计算翼缘毛截面对梁中性轴的面积矩,单位为三次方毫米(mm³);
 I_x ——梁的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
 F ——集中荷载,单位为牛(N);
 β_f ——正面角焊缝强度设计值增大系数,取 1.22;
 l_z ——集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度,单位为毫米(mm)。

9.2.31 当腹板与翼缘的连接采用焊透的 T 形焊缝时,其强度可不计算。
9.2.32 当梁的高度较大时,考虑到制造、运输和安装的需要,可设计成叠梁(图 11)。



标引序号说明:
1——叠合面连接板;
2——连接螺栓。

图 11 叠梁示意图

9.2.33 叠梁的强度、刚度和稳定性可按本章简支梁有关规定进行计算。
9.2.34 深梁的应力分布和挠度与简支梁理论计算结果有差异,在使用简支梁理论计算深梁时,应留有适当的安全裕度。
9.2.35 荷载作用点或次梁连接接头宜布置在上层梁。当荷载作用点或次梁连接接头布置在下层梁

时,叠合面高强度螺栓的布置应考虑撬力的影响,应按同时承受拉力和剪力验算其承载力。

荷载作用在上层梁时,叠合面螺栓应按不同的区段分别布置(图 12),区段 i 螺栓承受的剪力(H_i)应按公式(38)计算:

$$H_i = \frac{V_i S}{I} l_i$$

.....(38)

式中:

- H_i ——区段 i 螺栓承受的剪力,单位为牛(N);
- V_i ——区段 i 腹板最大剪力,单位为牛(N);
- S ——叠合面以下(上)毛截面对中性轴的面积矩(不考虑叠合面连接板),单位为三次方毫米(mm^3);
- I ——梁的主截面惯性矩(不考虑叠合面连接板),单位为四次方毫米(mm^4);
- l_i ——区段 i 的长度,单位为毫米(mm)。

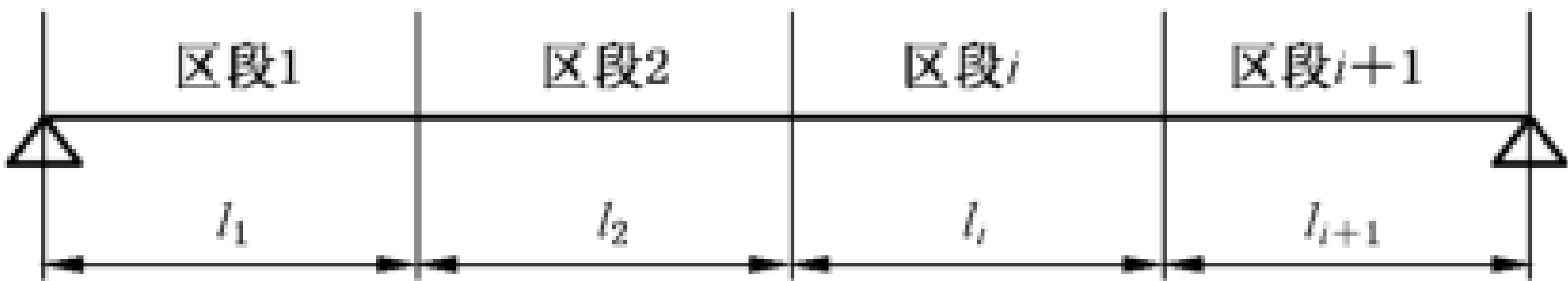


图 12 叠梁分段简图

9.2.36 叠合面连接板的设计除满足连接螺栓的布置要求外,还应考虑上下层梁在制造和安装时的刚度要求,其强度应按公式(39)计算:

$$\frac{H_i}{A_n} \leq f$$

.....(39)

式中:

- A_n ——叠合面连接板的净面积;
- f ——支座材料的抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

9.2.37 叠梁横向加劲肋和次梁连接肋板与叠合面连接板间宜顶紧不焊。在叠合面安装完毕后,再用连接板将上下梁的横向加劲肋连接起来。

9.3 梁的构造要求

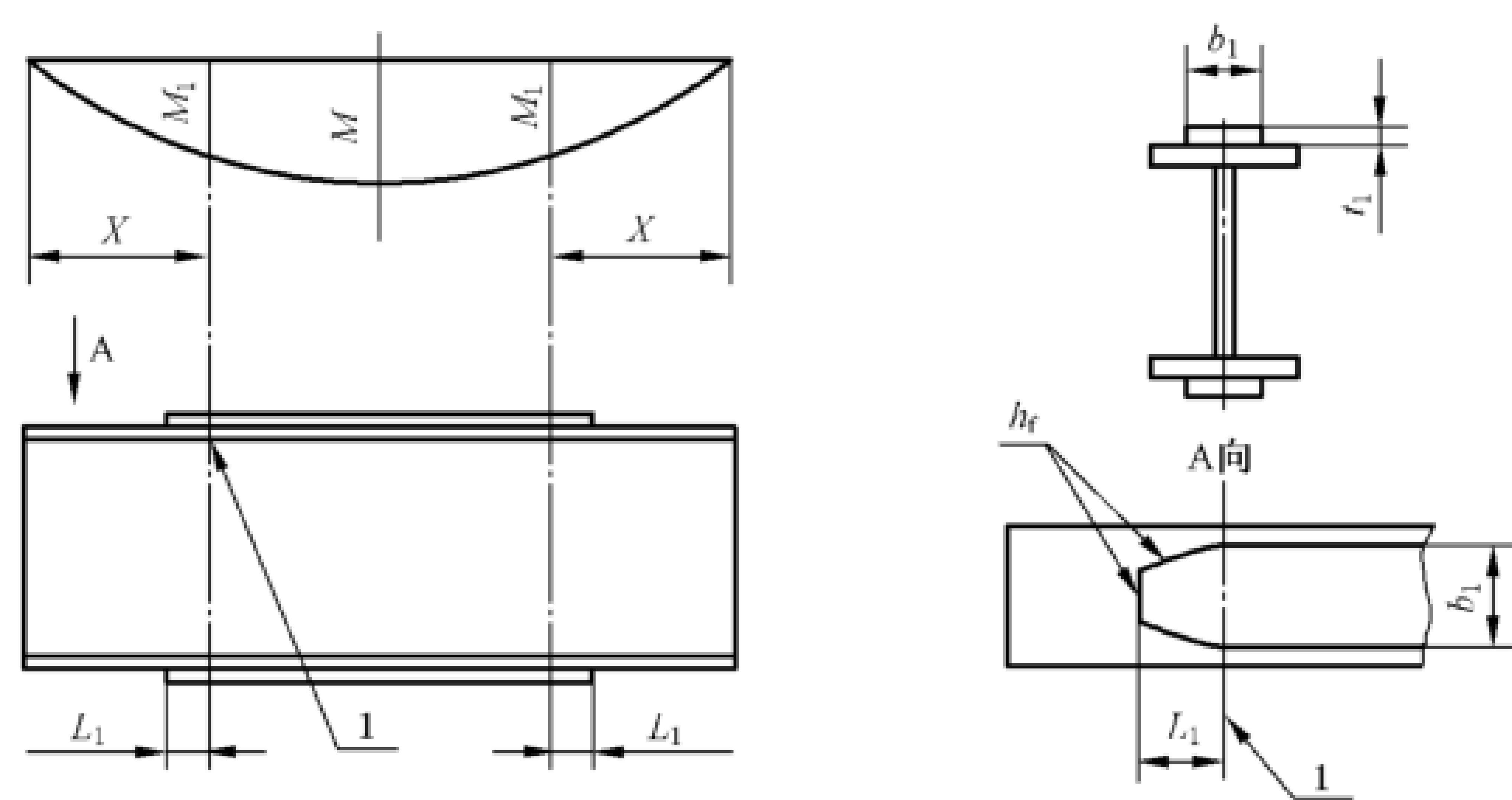
9.3.1 梁的横向加劲肋应与上翼缘焊接,不宜与下翼缘焊接,支座处支承加劲肋下端应铣平与下翼缘顶紧并焊接,有较大集中荷载处的支承加劲肋上端应铣平与上翼缘顶紧并焊接。

9.3.2 焊接梁的横向加劲肋与翼缘板腹板相接处应切角,当作为焊接工艺孔时,切角宜采用半径(R) 30 mm 的 1/4 圆弧。

9.3.3 焊接梁的翼缘当采用两层钢板时,外层钢板与内层钢板厚度之比宜取为 0.5~1.0。

9.3.4 不沿梁通长设置的外层钢板,其理论截断点处的外伸长度(L_1)(图 13)应符合下列要求:

- a) 端面有正面角焊缝:当 $h_f \geq 0.75t_1$ 时, $L_1 \geq b_1$; 当 $h_f < 0.75t_1$ 时, $L_1 \geq 1.5b_1$ 。
- b) 端部无正面角焊缝: $L_1 \geq 2.0b_1$ 。

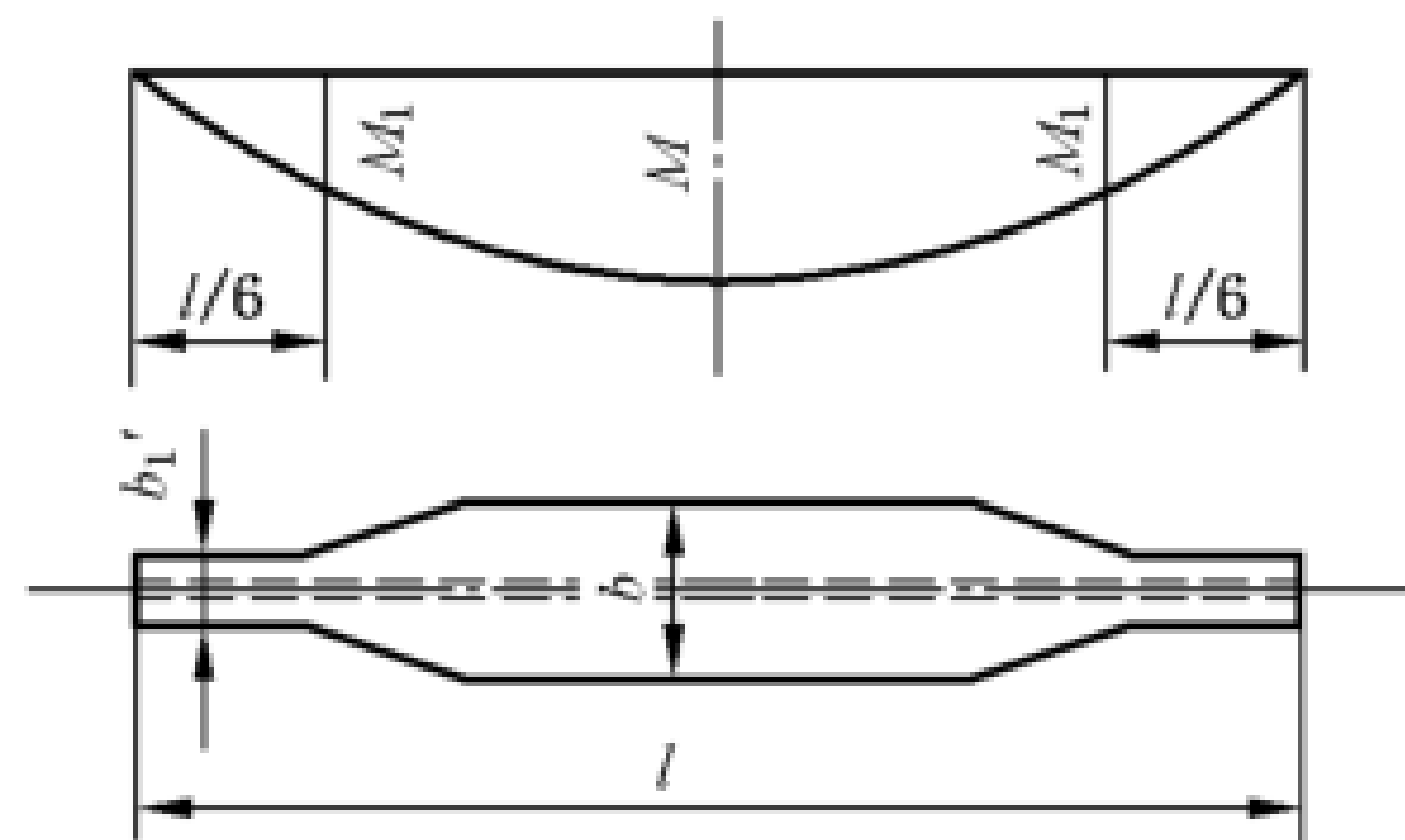


标引序号说明：

- 1 ——理论切断点；
- M_1 ——理论切断点处弯矩；
- M ——跨中弯矩；
- X ——理论切断点到梁端距离；
- L_1 ——理论切断点到外层钢板端部距离；
- t_1 ——外层钢板厚度；
- b_1 ——外层钢板宽度。

图 13 外层翼缘的切断点

9.3.5 变截面梁承受均布荷载时(图 14),其截面改变点宜设在离两端支座约 1/6 处,其他形式的荷载,其截面改变点可根据梁的弯矩和剪力确定。

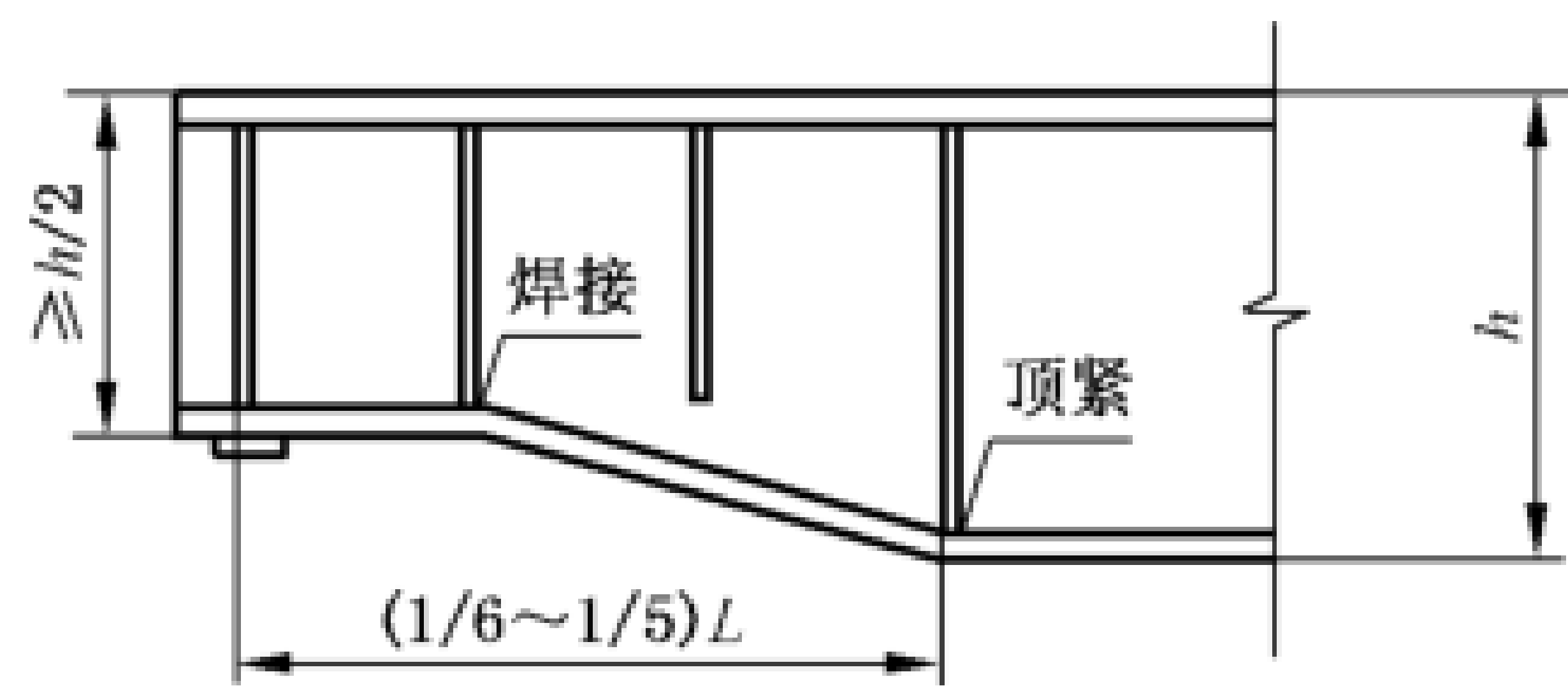


标引序号说明：

- M_1 ——截面改变点处弯矩；
- M ——跨中弯矩；
- l ——梁长；
- b_1 ——窄截面宽度；
- b ——中间截面宽度。

图 14 受均布荷载的变截面梁

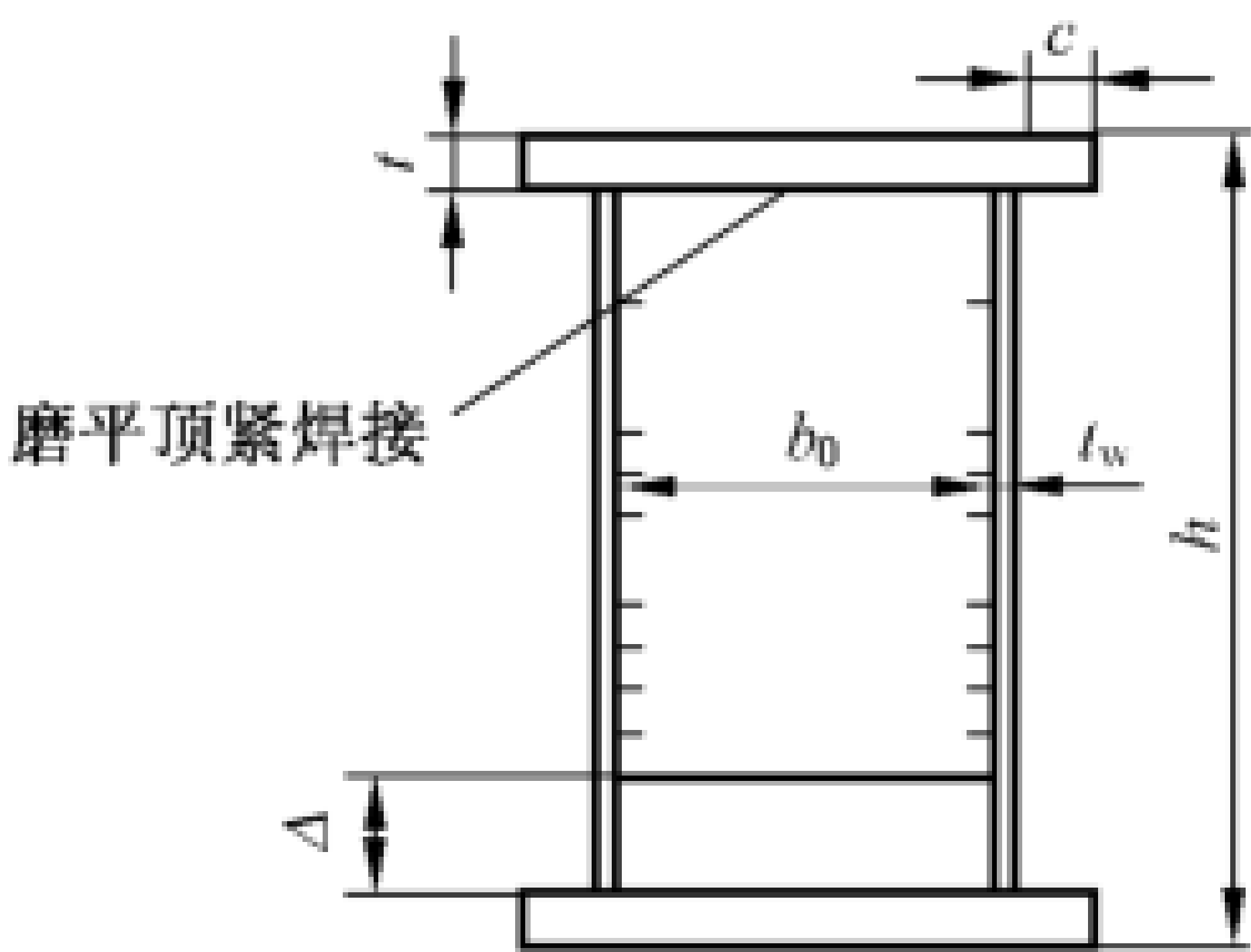
9.3.6 为降低梁的高度,简支梁可在靠近支座处改变梁的高度,但不宜小于跨中梁高的 1/2(图 15)。同时,梁端部高度应符合抗剪强度的要求。



标引序号说明：
 h —— 梁高；
 L —— 梁长。

图 15 支座变截面梁

9.3.7 双腹板梁，梁高(h)与两腹板距离(b_0)之比不宜大于 6(图 16)，并应兼顾翼缘的局部稳定和制作的需要；当 $h \geq 1\,300\text{ mm}$ ，宜取 $b_0 \geq 450\text{ mm}$ ， $c \geq 25\text{ mm}$ ， $\Delta \approx 50\text{ mm}$ 。

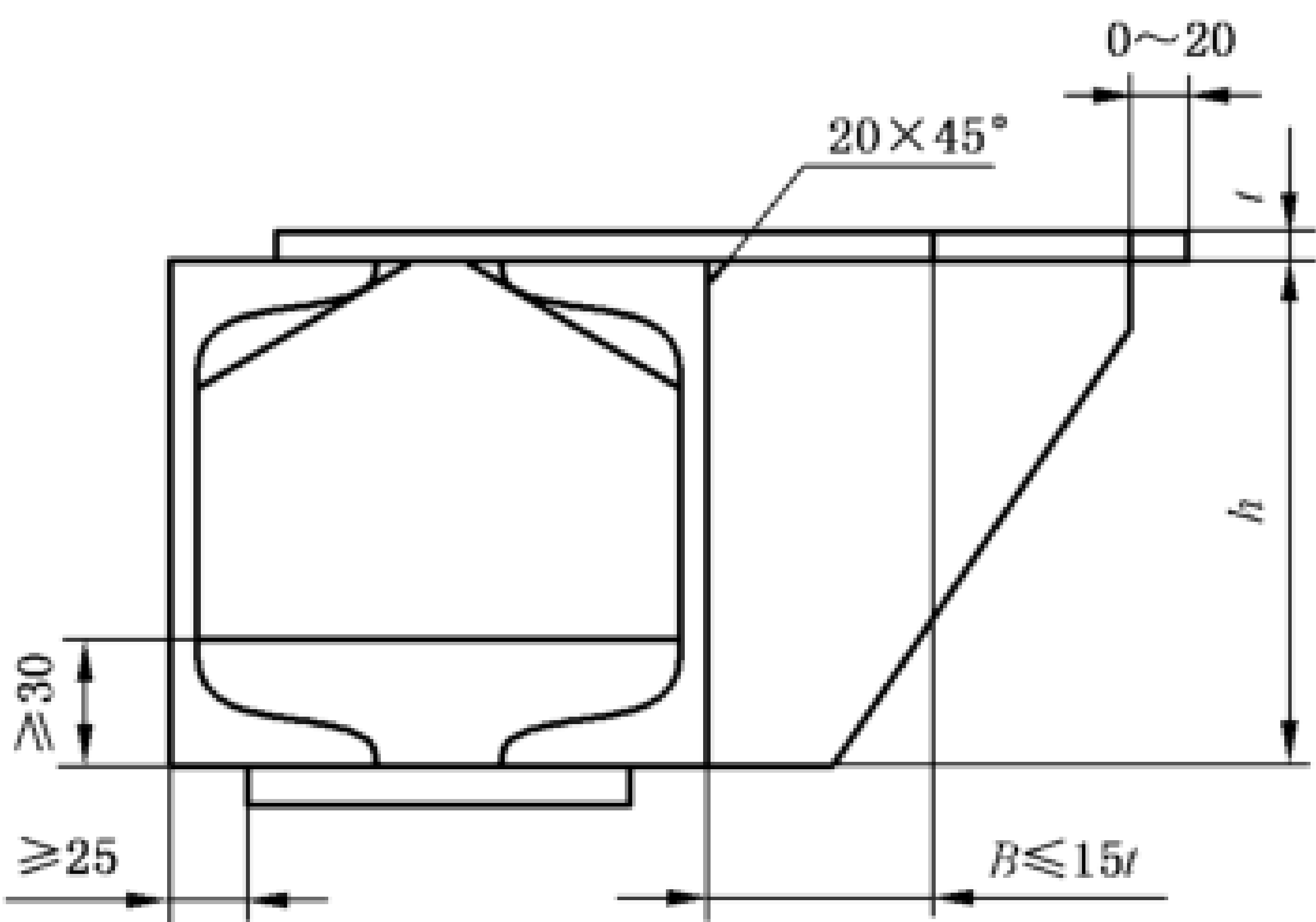


标引序号说明：
 t —— 梁翼缘厚度；
 c —— 梁翼缘外伸宽度；
 b_0 —— 梁腹板间距；
 t_w —— 梁腹板厚度；
 h —— 梁高；
 Δ —— 肋板距下翼缘距离。

图 16 双腹板梁断面尺寸

- 9.3.8 双腹板梁，腹板间应设置横隔板，其间距宜为 1.5 m~2 m；横隔板应与上翼缘顶紧、焊接，与下翼缘不宜焊接，但在支座处应与下翼缘磨平顶紧、焊接。
- 9.3.9 双腹板梁翼缘上开孔直径不应大于翼板宽度的 1/3，开孔削弱部分应按等截面补强，吊点处应设置短横隔板，并与上翼缘顶紧或焊接，短横隔板高度和厚度按剪切和弯曲计算确定，且厚度不应小于 6 mm。
- 9.3.10 型钢组合梁的肋板厚度宜取 6 mm~12 mm，构造要求除应符合图 17 外，还应满足以下要求：
- a) 盖板(翼板)外伸有效计算宽度按 15 倍盖板厚度；
 - b) 肋板间距不大于盖板外伸宽度的 2 倍，且不大于 1 m；
 - c) 有加劲肋的梁应在其对应位置设置部分横隔板，其间距不大于型钢高度的 6 倍。

单位为毫米



标引序号说明：
t —— 盖板厚度；
h —— 梁高；
B —— 计算外伸宽度。

图 17 型钢组合梁的构造要求

9.3.11 梁的腹板开孔应符合 GB 50017—2017 的规定。

10 柱的设计

10.1 一般规定

- 10.1.1 柱由柱头、柱身和柱脚组成,根据受力情况可分为轴心受压(拉)柱和压(拉)弯柱。
- 10.1.2 柱的截面宜采用双轴对称截面,一般宜采用实腹式柱。
- 10.1.3 本章只适用于实腹式柱,格构式柱应符合 GB 50017—2017 的规定。

10.2 柱的长细比

10.2.1 柱的截面为实腹式双轴对称时,其两对称轴的长细比(λ)应按公式(40)计算：

$$\lambda = \mu l / i \dots\dots\dots (40)$$

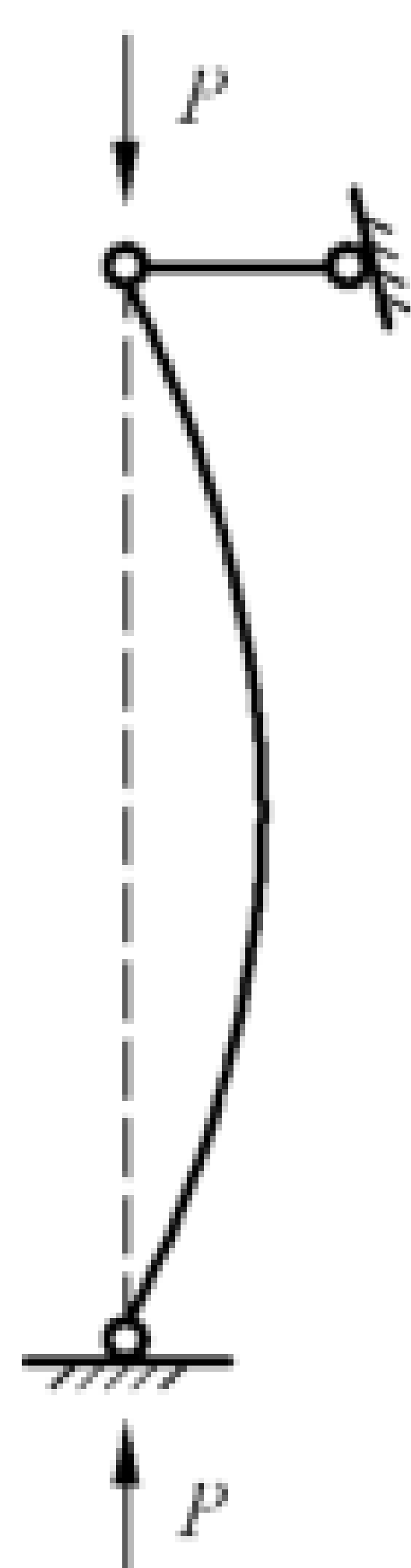
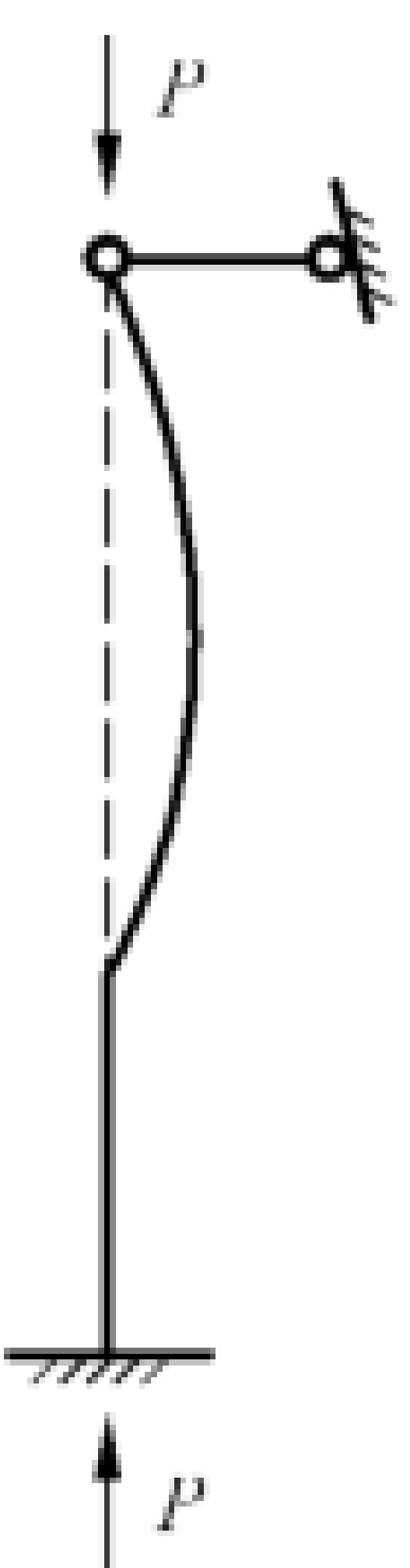
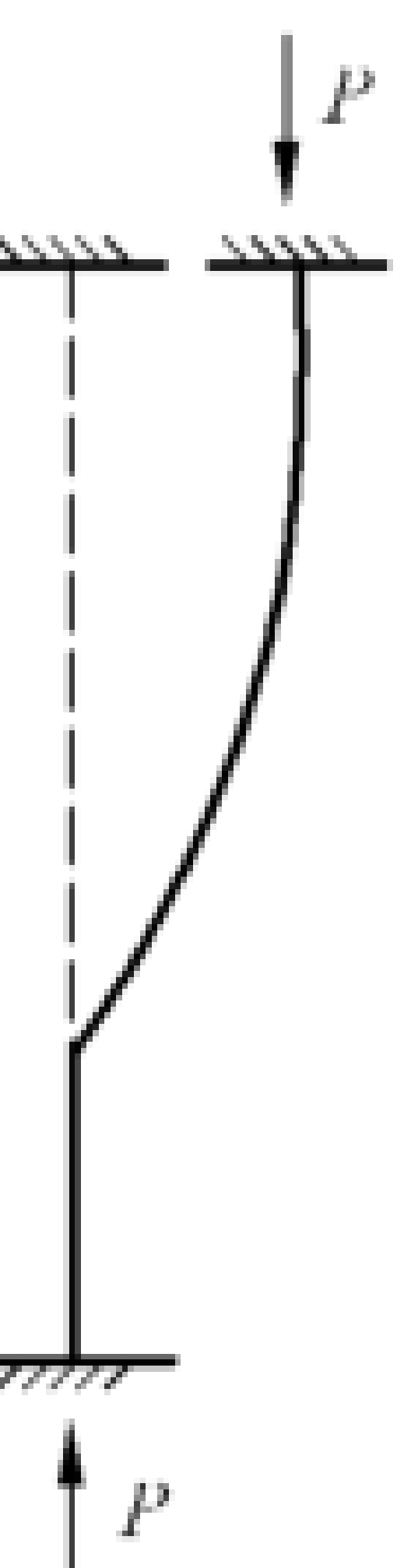
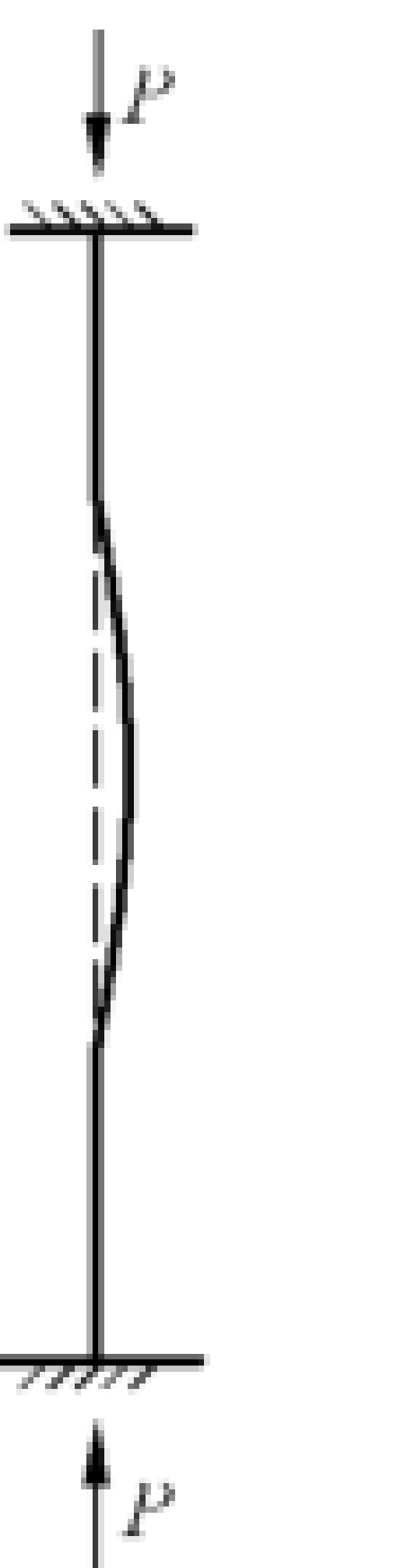

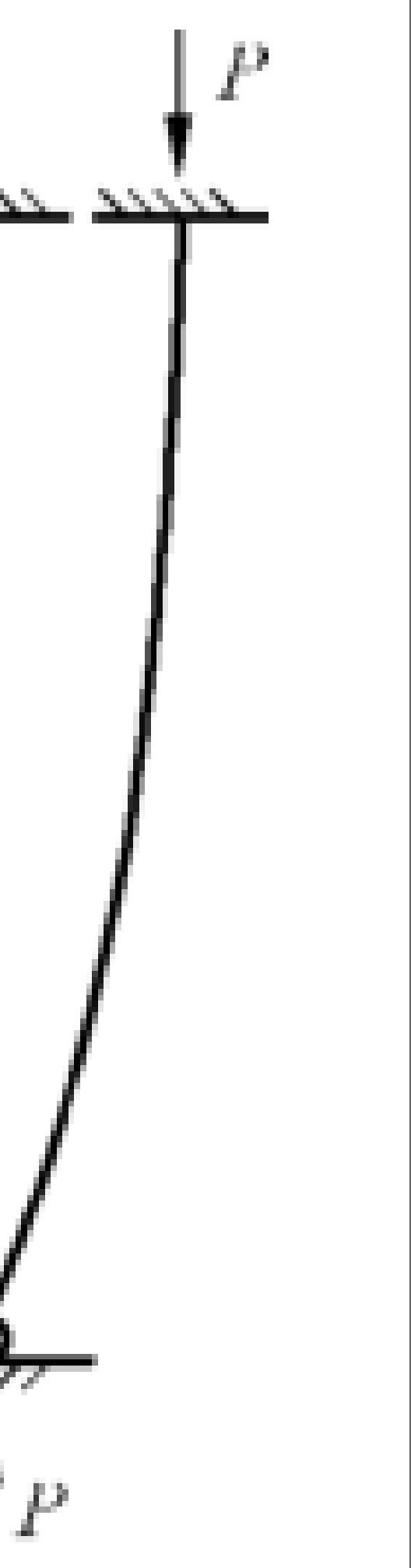
式中：
 λ —— 柱的长细比；
 μ —— 柱的计算长度系数；
 l —— 柱的实际长度,框架柱为相邻两节点间的距离,单位为毫米(mm)；
 i —— 柱截面的回转半径,单位为毫米(mm),按公式(41)计算。

$$i = \sqrt{I / A} \dots\dots\dots (41)$$

式中：
 I —— 柱的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴)；
 A —— 柱的毛截面面积,单位为平方毫米(mm²)。

- 10.2.2 柱的截面为单轴对称时,长细比应按 GB 50017—2017 的规定计算。
- 10.2.3 等截面单柱的计算长度系数(μ)见表 26,当端部连接为近似条件时,宜采用设计推荐值。

表 26 各种连接情况的计算长度系数(μ)

柱端连接情况和失稳形式						
理论值	1.0	0.7	1.0	0.5	2.0	2.0
设计推荐值	1.0	0.8	1.2	0.65	2.1	2.0
注：P——轴向力。						

10.2.4 锅炉钢结构分为无支撑的纯框架和有支撑框架。当采用一阶弹性分析方法计算内力时,框架柱的计算长度系数(μ)应按下列规定确定:

- a) 无支撑纯框架:框架柱的计算长度系数(μ)按表 27 有侧移框架柱的计算长度系数确定;
- b) 有支撑框架:当支撑系统满足公式(42)要求时为强支撑框架,框架柱的计算长度系数(μ)按表 28无侧移框架柱的计算长度系数确定。

$$S_b \geq 4.4 \left[\left(1 + \frac{100}{f_y} \right) \sum N_{bi} - \sum N_{oi} \right] \dots\dots\dots (42)$$

式中:

- S_b ——支撑系统的层侧移刚度,单位为牛(N);
- $\sum N_{bi}$ ——第 i 层层间所有框架柱用无侧移框架柱计算长度系数算得的轴压杆稳定承载力之和,单位为牛(N);
- $\sum N_{oi}$ ——第 i 层层间所有框架柱用有侧移框架柱计算长度系数算得的轴压杆稳定承载力之和,单位为牛(N)。

表 27 有侧移框架柱的计算长度系数(μ)

K_2	K_1												
	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	≥ 10
0	∞	6.02	4.46	3.42	3.01	2.78	2.64	2.33	2.17	2.11	2.08	2.07	2.03
0.05	6.02	4.16	3.47	2.86	2.58	2.42	2.31	2.07	1.94	1.90	1.87	1.86	1.83
0.1	4.46	3.47	3.01	2.56	2.33	2.20	2.11	1.90	1.79	1.75	1.73	1.72	1.70
0.2	3.42	2.86	2.56	2.23	2.05	1.94	1.87	1.70	1.60	1.57	1.55	1.54	1.52

表 27 有侧移框架柱的计算长度系数(μ) (续)

K ₂	K ₁												
	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	≥10
0.3	3.01	2.58	2.33	2.05	1.90	1.80	1.74	1.58	1.49	1.46	1.45	1.44	1.42
0.4	2.78	2.42	2.20	1.94	1.80	1.71	1.65	1.50	1.42	1.39	1.37	1.37	1.35
0.5	2.64	2.31	2.11	1.87	1.74	1.65	1.59	1.45	1.37	1.34	1.32	1.32	1.30
1	2.33	2.07	1.90	1.70	1.58	1.50	1.45	1.32	1.24	1.21	1.20	1.19	1.17
2	2.17	1.94	1.79	1.60	1.49	1.42	1.37	1.24	1.16	1.14	1.12	1.12	1.10
3	2.11	1.90	1.75	1.57	1.46	1.39	1.34	1.21	1.14	1.11	1.10	1.09	1.07
4	2.08	0.87	1.73	1.55	1.45	1.37	1.32	1.20	1.12	1.10	1.08	1.08	1.06
5	2.07	1.86	1.72	1.54	1.44	1.37	1.32	1.19	1.12	1.09	1.08	1.07	1.05
≥10	2.03	1.83	1.70	1.52	1.42	1.35	1.30	1.17	1.10	1.07	1.06	1.05	1.03

计算长度系数(μ)按公式(43)计算：

$$\left[36K_1K_2 - \left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2\right] \sin \frac{\pi}{\mu} + 6(K_1 + K_2) \frac{\pi}{\mu} \cdot \cos \frac{\pi}{\mu} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots(43)$$

式中：

μ ——计算长度系数；

K₁ ——相交于柱上端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值；

K₂ ——相交于柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。

当横梁远端为铰接时，应将横梁线刚度乘以 0.5，当横梁远端为嵌固时，则应乘以 2/3。

当横梁与柱铰接时，取横梁线刚度为零。

对底层框架柱，当柱与基础铰接时，取 K₂ = 0(对平板支座可取 K₂ = 0.1)；当柱与基础刚接时，取 K₂ = 10。

当与柱刚性连接的横梁所受轴心压力 N_b 较大时，横梁线刚度应乘以折减系数 α_N：

横梁远端与柱刚接时，α_N = 1 - N_b / (4N_{Ek})；

横梁远端铰接时，α_N = 1 - N_b / N_{Ek}；

横梁远端嵌固时，α_N = 1 - N_b / (2N_{Ek})。

表 28 无侧移框架柱的计算长度系数(μ)

K ₂	K ₁												
	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	≥10
0	1.000	0.990	0.981	0.964	0.949	0.935	0.922	0.875	0.820	0.791	0.773	0.760	0.732
0.05	0.990	0.981	0.971	0.955	0.940	0.926	0.914	0.867	0.814	0.784	0.766	0.754	0.726
0.1	0.981	0.971	0.962	0.946	0.931	0.918	0.906	0.860	0.807	0.778	0.760	0.748	0.721
0.2	0.964	0.955	0.946	0.930	0.916	0.903	0.891	0.846	0.795	0.767	0.749	0.737	0.711
0.3	0.949	0.940	0.931	0.916	0.902	0.889	0.878	0.834	0.784	0.756	0.739	0.728	0.701
0.4	0.935	0.926	0.918	0.903	0.889	0.877	0.866	0.823	0.774	0.747	0.730	0.719	0.693

表 28 无侧移框架柱的计算长度系数(μ) (续)

K ₂	K ₁												
	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	≥10
0.5	0.922	0.914	0.906	0.891	0.878	0.866	0.855	0.813	0.765	0.738	0.721	0.710	0.685
1	0.875	0.867	0.860	0.846	0.834	0.823	0.813	0.774	0.729	0.704	0.688	0.677	0.654
2	0.820	0.814	0.807	0.795	0.784	0.774	0.765	0.729	0.686	0.663	0.648	0.638	0.615
3	0.791	0.784	0.778	0.767	0.756	0.747	0.738	0.704	0.663	0.640	0.625	0.616	0.593
4	0.773	0.766	0.760	0.749	0.739	0.730	0.721	0.688	0.648	0.625	0.611	0.601	0.580
5	0.760	0.754	0.748	0.737	0.728	0.719	0.710	0.677	0.638	0.616	0.601	0.592	0.570
≥10	0.732	0.726	0.721	0.711	0.701	0.693	0.685	0.654	0.615	0.593	0.580	0.570	0.549

计算长度系数(μ)按公式(44)计算：

$$\left[\left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2 + 2(K_1 + K_2) - 4K_1K_2\right] \frac{\pi}{\mu} \cdot \sin \frac{\pi}{\mu} - 2\left[(K_1 + K_2) \left(\frac{\pi}{\mu}\right)^2 + 4K_1K_2\right] \cos \frac{\pi}{\mu} + 8K_1K_2 = 0 \cdots\cdots(44)$$

式中：

μ —— 计算长度系数；

K₁ —— 相交于柱上端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值；

K₂ —— 相交于柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。

当梁远端为铰接时，应将横梁线刚度乘以 1.5；当横梁远端为嵌固时，则将横梁线刚度乘以 2.0。

当横梁与柱铰接时，取横梁线刚度为零。

对底层框架柱，当柱与基础铰接时，取 K₂ = 0 (对平板支座可取 K₂ = 0.1)；当柱与基础刚接时，取 K₂ = 10。

当与柱刚性连接的横梁所受轴心压力 N_b 较大时，横梁线刚度应乘以折减系数 α_N：

横梁远端与柱刚接和横梁远端为铰接时，α_N = 1 - N_b / N_{Ec}；

横梁远端嵌固时，α_N = 1 - N_b / (2N_{Ec})。

式中：

$$N_{Ec} = \pi^2 EI_b / l^2；$$

I_b —— 为横梁截面惯性矩；

l —— 为横梁长度。

10.2.5 锅炉钢结构柱的长细比不宜大于 120。

10.2.6 柱在无垂直支撑平面的计算长度：为减小柱在无垂直支撑平面的计算长度，通常设置水平支撑，在水平支撑计算时，考虑柱的支撑力，其值可取此标高以上柱承受的全部永久荷载的 2%，当需支撑的柱子多于 1 根时，每根柱的支撑力可取此标高以上此柱承受的全部永久荷载的 1%，作用方向为无垂直支撑平面，此时两层水平支撑间柱的计算长度系数应根据柱两端边界条件选取。

10.3 柱的计算

10.3.1 轴心受压(拉)柱应按表 29 计算，轴心受压构件的截面分类[板厚(t)小于 40 mm]见表 30，轴心受压构件的截面分类[板厚(t)不小于 40 mm]见表 31，a 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)见表 32，b 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)见表 33，c 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)见表 34，d 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)见表 35。

表 29 轴心受压(拉)柱的计算公式

项次	计算内容	计算公式		说 明
1	强度 (连接处组成截面的 各板件都有连接件 直接传力)	轴心 受拉	$\frac{N}{A} \leqslant f$ $\frac{N}{A_n} \leqslant 0.7 f_u$	高强度螺栓摩擦型连接处除外
2			$\frac{N}{A} \leqslant f$ $\left(1 - 0.5 \frac{n_1}{n}\right) \frac{N}{A_n} \leqslant 0.7 f_u$	高强度螺栓摩擦型连接处
3			$\frac{N}{A_n} \leqslant f$	构件沿全长都有排列较密螺栓
4		轴心 受压	$\frac{N}{A} \leqslant f$	孔洞有螺栓填充者
5			$\frac{N}{A} \leqslant f$ $\frac{N}{A_n} \leqslant 0.7 f_u$	有虚孔处
6	轴心受压柱稳定性 ^a (除考虑屈曲后强度的 实腹式构件外)	$\frac{N}{\varphi A f} \leqslant 1$		
7	轴心受压柱剪力 ^a	$V = \frac{A f}{85} \sqrt{f_y / 235}$		剪力 V 值沿柱全长不变
<p>注：n ——在节点或拼接处，柱一端连接的高强度螺栓数目；</p> <p>n₁ ——所计算截面(最外列螺栓处)上高强度螺栓数目；</p> <p>A_n ——柱的净截面面积，单位为平方毫米(mm²)；</p> <p>A ——柱的毛截面面积，单位为平方毫米(mm²)；</p> <p>f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值，单位为牛每平方毫米(N/mm²)；</p> <p>N ——轴心压(拉)力，单位为牛(N)；</p> <p>φ ——轴心受压柱的稳定系数(取截面两主轴稳定系数中的较小者)，根据构件的长细比、钢材的屈服强度和表 30、表 31 的截面分类按表 32～表 35 采用；</p> <p>f_y ——钢材的屈服强度，单位为牛每平方毫米(N/mm²)；</p> <p>f_u ——钢材的抗拉强度设计值，单位为牛每平方毫米(N/mm²)。</p>				
<p>^a 轴心受压(拉)构件，当其组成板件在节点或拼接处并非全部直接传力时，应对危险截面的面积乘以有效截面系数(η)，η 值应按 GB 50017—2017 规定采用。</p>				

表 30 轴心受压构件的截面分类(板厚 $t < 40\text{ mm}$)

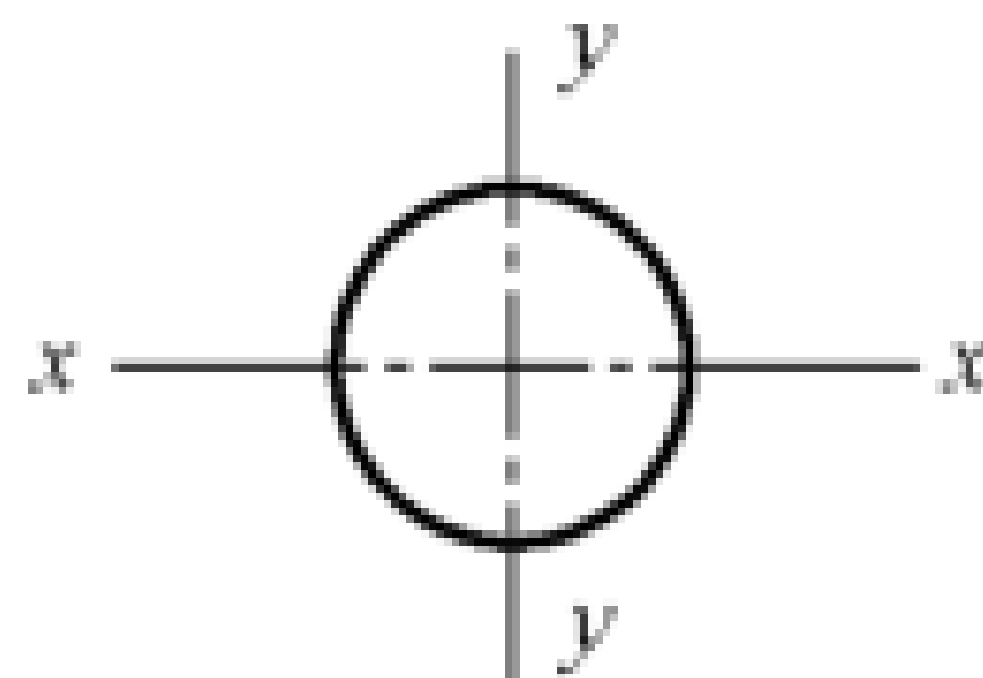
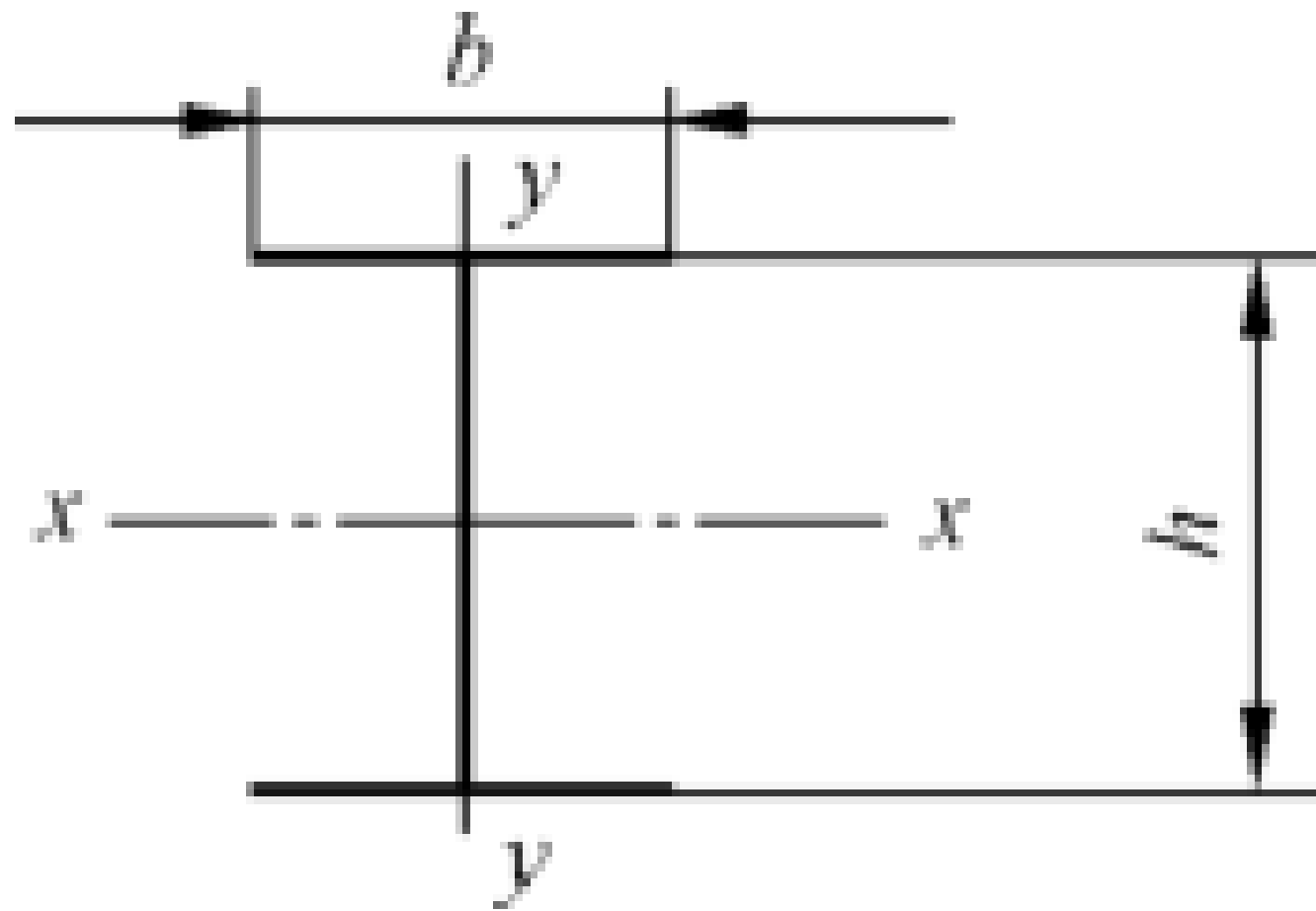
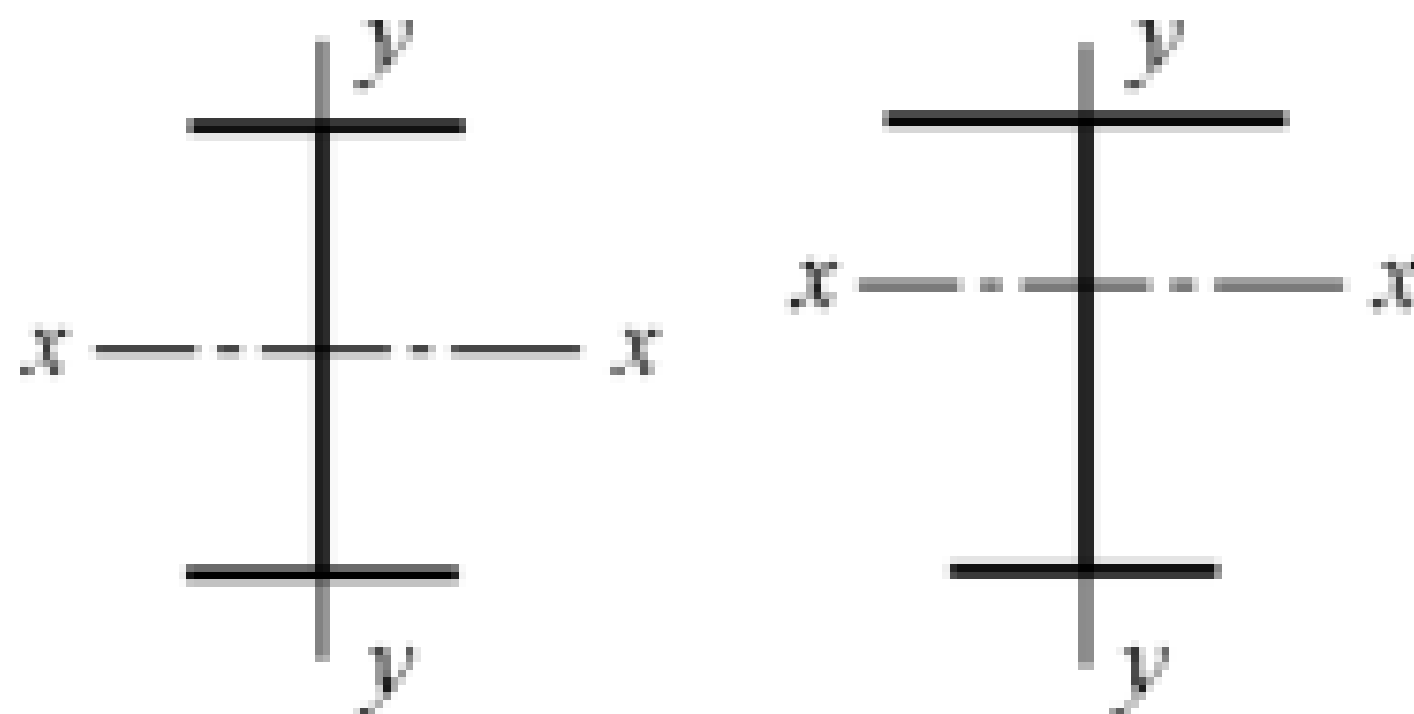
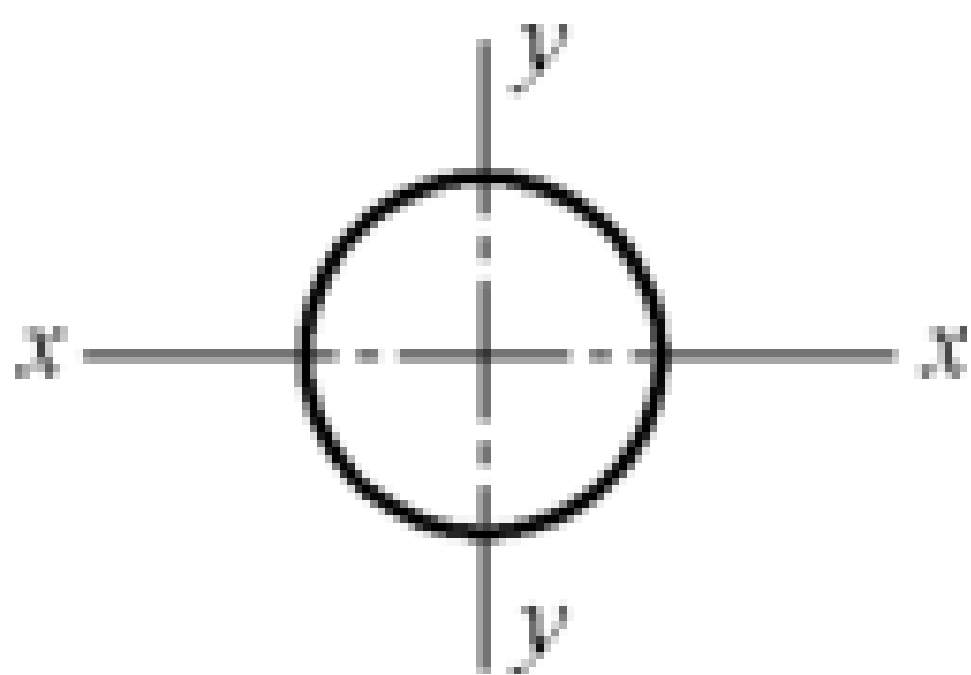
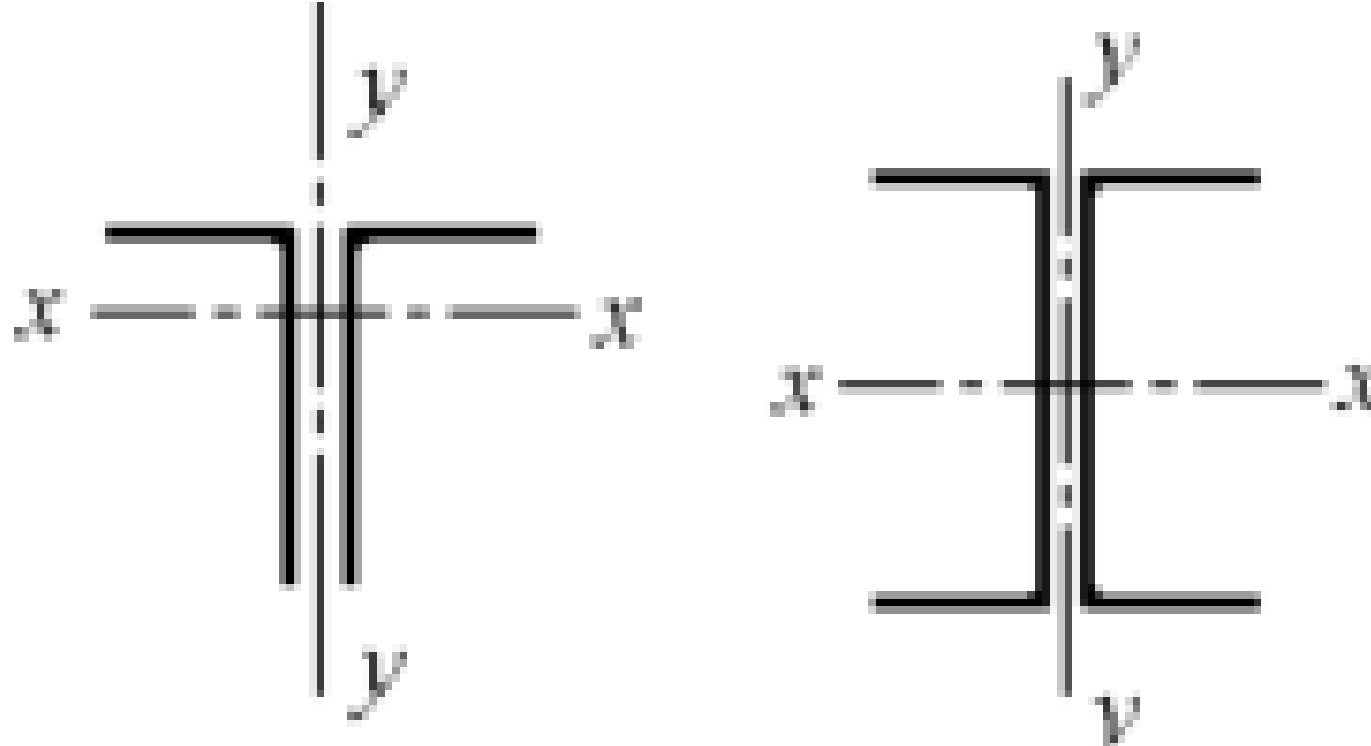
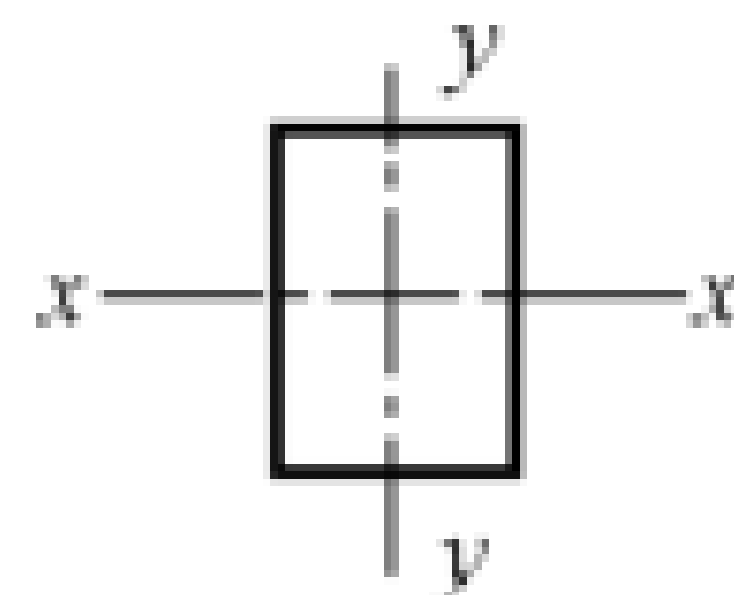
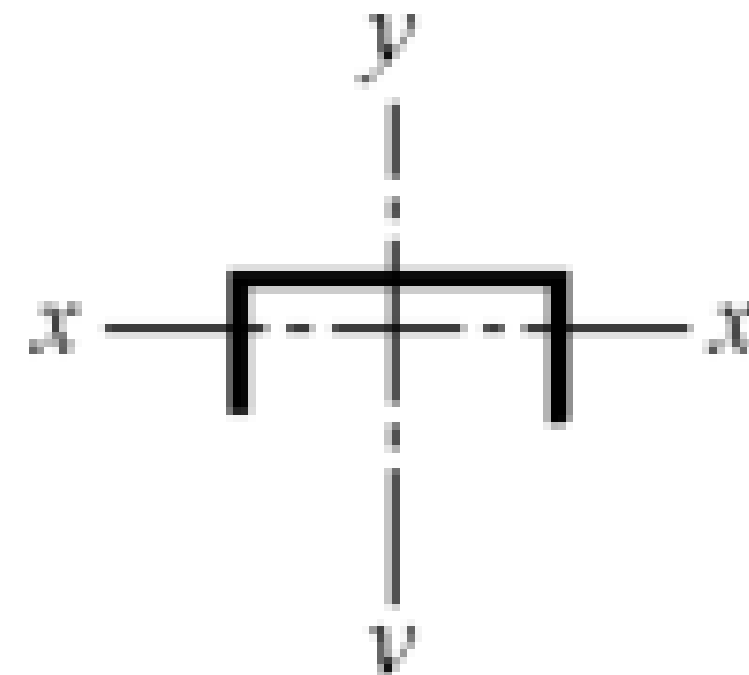
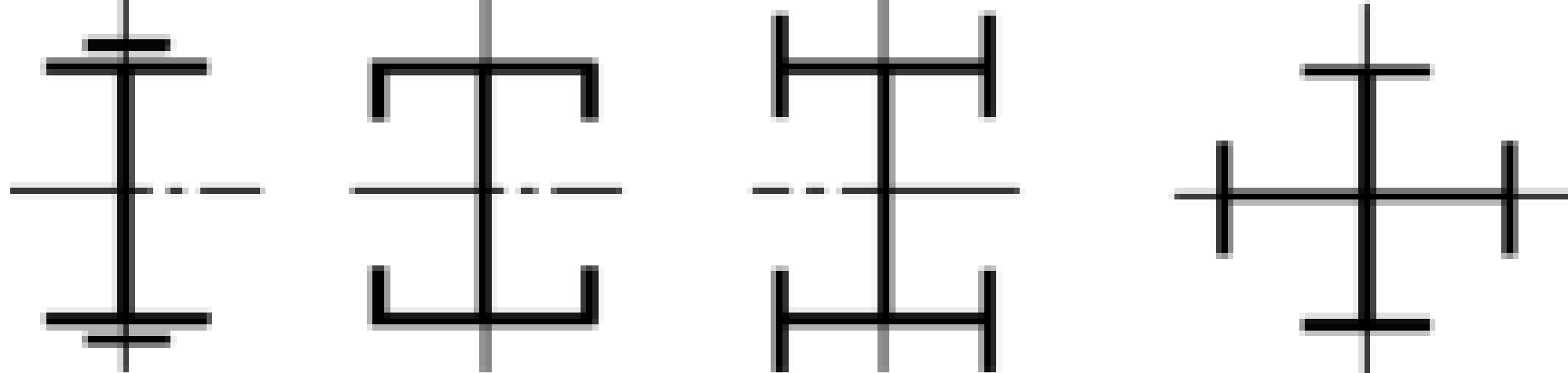
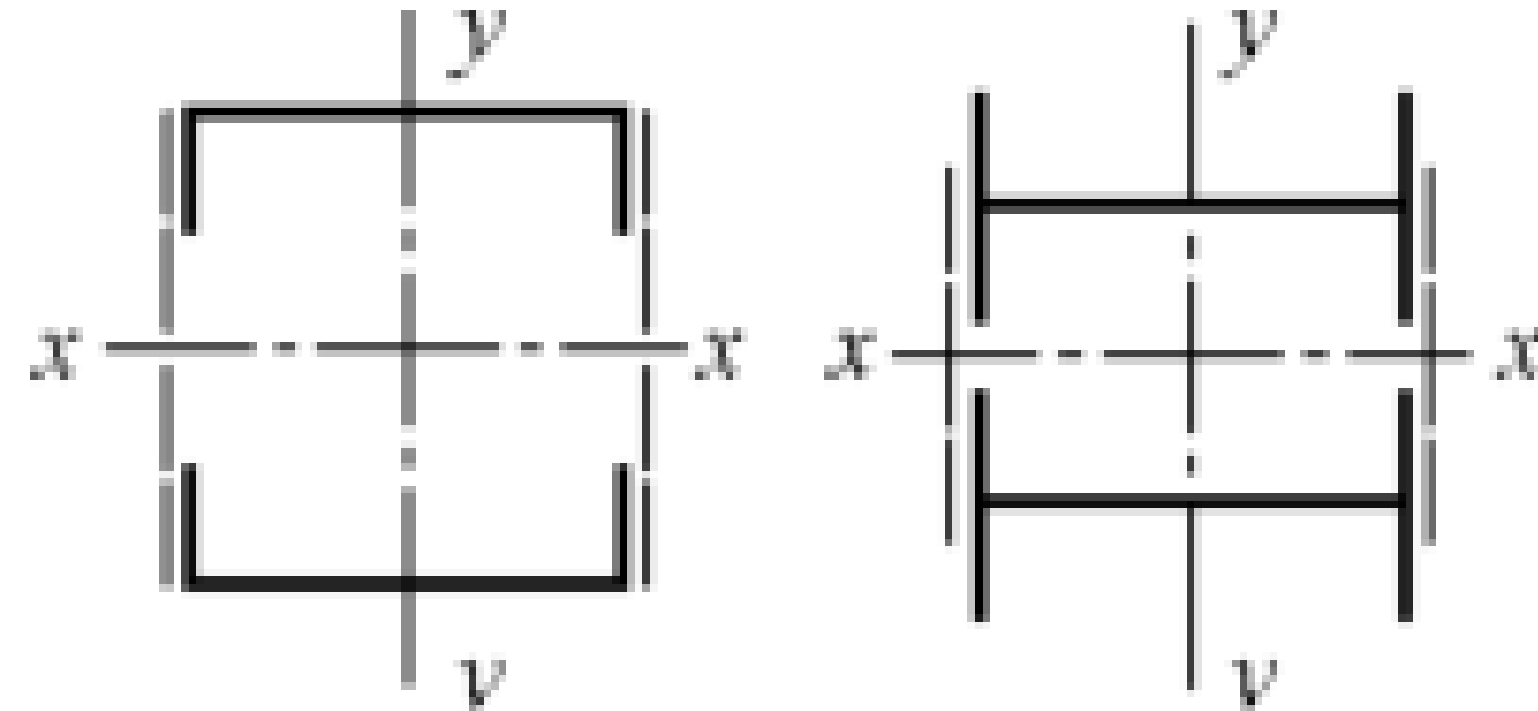
截面形式		对 x 轴	对 y 轴	
轧制 		a 类	a 类	
轧制 	$b/h \leq 0.8$		a 类	b 类
	$b/h > 0.8$	Q355 Q390 Q420	a 类	b 类
		Q235	b 类	c 类
焊接 翼缘为焰切边 	焊接 		b 类	b 类
轧制 				
轧制或焊接 板件宽厚比 > 20 	轧制或焊接 			
焊接 				
格构式 				

表 30 轴心受压构件的截面分类(板厚 $t < 40\text{ mm}$) (续)

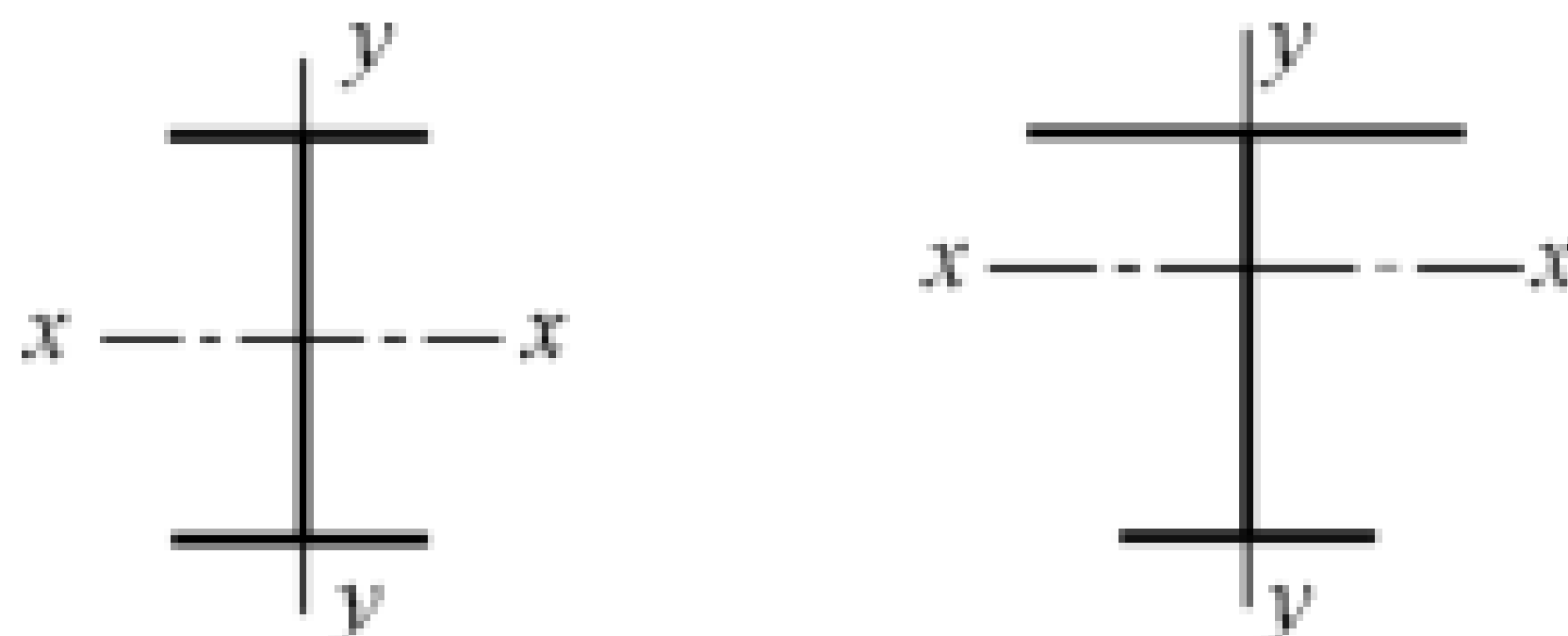
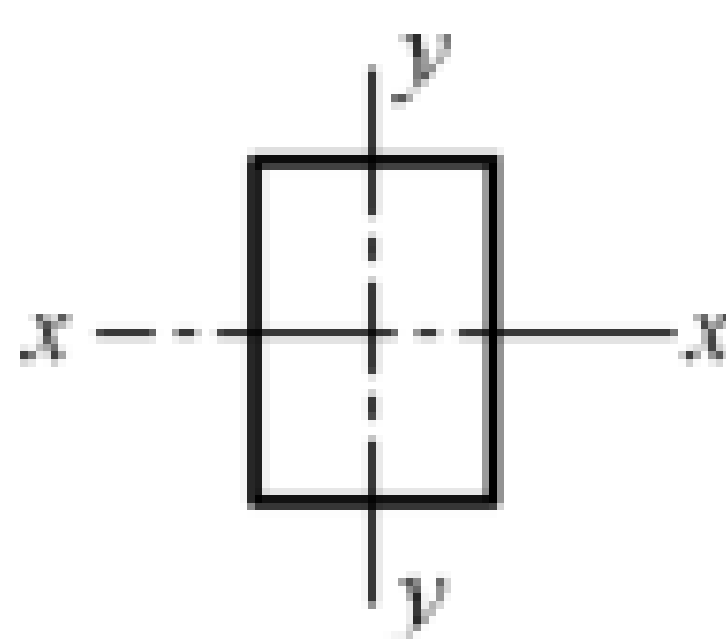
截面形式	对 x 轴	对 y 轴
<div>焊接</div> <div>翼缘为轧制或剪切边</div> <div></div>	b 类	c 类
<div>轧制或焊接</div> <div>板件宽厚比 ≤ 20</div> <div></div>	c 类	c 类

表 31 轴心受压构件的截面分类(板厚 $t \geq 40\text{ mm}$)

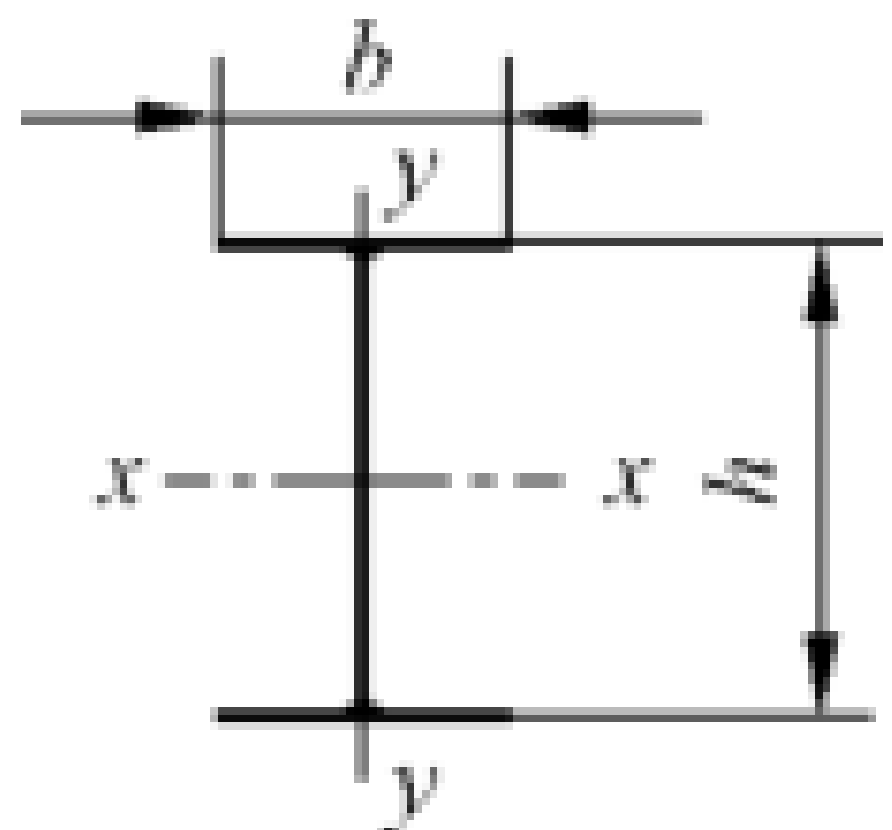
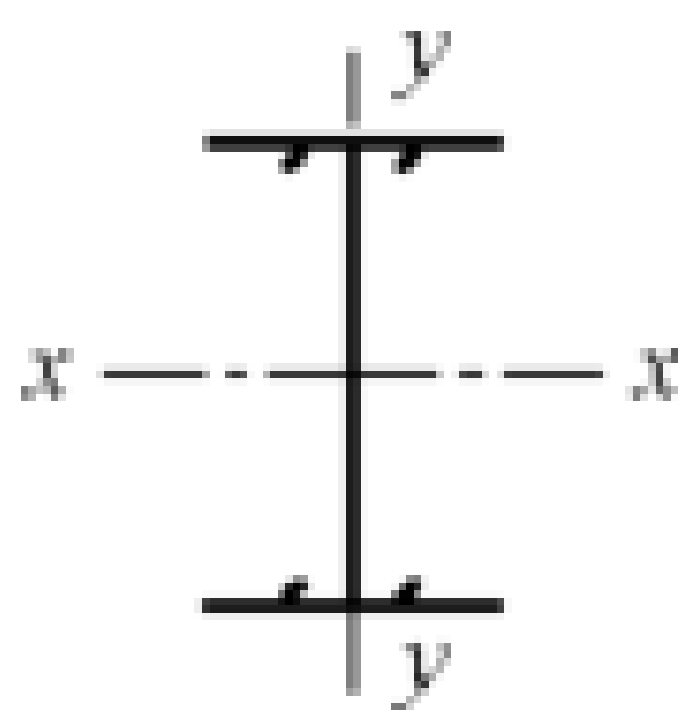
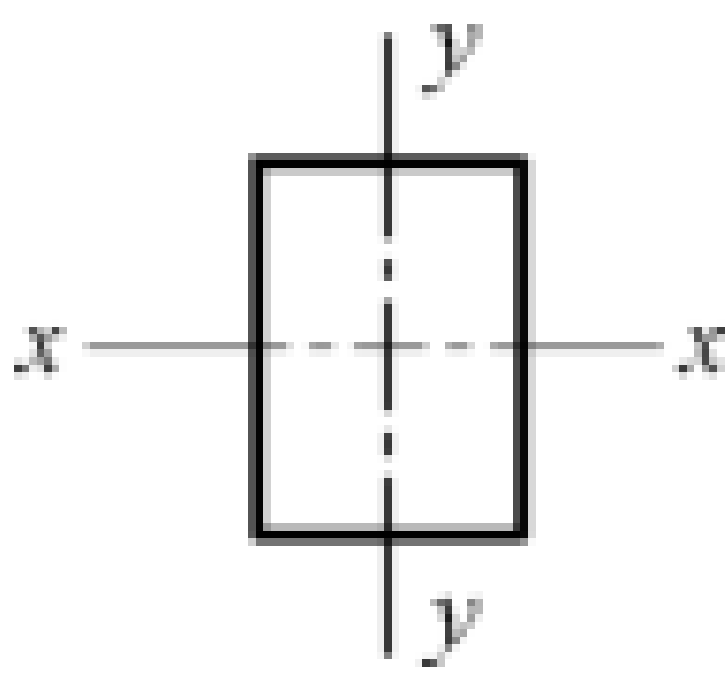
截面形式		对 x 轴	对 y 轴
<div>轧制工字形或 H 形</div> <div></div>	$t < 80\text{ mm}$	b 类	c 类
	$t \geq 80\text{ mm}$	c 类	d 类
<div>焊接工字形</div> <div></div>	翼缘为焰切边	b 类	b 类
	翼缘为轧制或剪切边	c 类	d 类
<div>焊接箱形</div> <div></div>	板件宽厚比 > 20	b 类	b 类
	板件宽厚比 ≤ 20	c 类	c 类

表 32 a 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)

$\lambda \sqrt{f_y/235}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996
10	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983
20	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.964
30	0.963	0.961	0.959	0.957	0.954	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944
40	0.941	0.939	0.937	0.934	0.932	0.929	0.927	0.924	0.921	0.918
50	0.916	0.913	0.910	0.907	0.903	0.900	0.897	0.893	0.890	0.886
60	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867	0.862	0.858	0.854	0.849	0.844
70	0.839	0.834	0.829	0.824	0.818	0.813	0.807	0.801	0.795	0.789
80	0.783	0.776	0.770	0.763	0.756	0.749	0.742	0.735	0.728	0.721
90	0.713	0.706	0.698	0.691	0.683	0.676	0.668	0.660	0.653	0.645
100	0.637	0.630	0.622	0.614	0.607	0.599	0.592	0.584	0.577	0.569
110	0.562	0.555	0.548	0.541	0.534	0.527	0.520	0.513	0.507	0.500
120	0.494	0.487	0.481	0.475	0.469	0.463	0.457	0.451	0.445	0.439
130	0.434	0.428	0.423	0.417	0.412	0.407	0.402	0.397	0.392	0.387
140	0.382	0.378	0.373	0.368	0.364	0.360	0.355	0.351	0.347	0.343
150	0.339	0.335	0.331	0.327	0.323	0.319	0.316	0.312	0.308	0.305
160	0.302	0.298	0.295	0.292	0.288	0.285	0.282	0.279	0.276	0.273
170	0.270	0.267	0.264	0.261	0.259	0.256	0.253	0.250	0.248	0.245
180	0.243	0.240	0.238	0.235	0.233	0.231	0.228	0.226	0.224	0.222
190	0.219	0.217	0.215	0.213	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
200	0.199	0.197	0.196	0.194	0.192	0.190	0.188	0.187	0.185	0.183
210	0.182	0.180	0.178	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.168
220	0.166	0.165	0.163	0.162	0.161	0.159	0.158	0.157	0.155	0.154
230	0.153	0.151	0.150	0.149	0.148	0.147	0.145	0.144	0.143	0.142
240	0.141	0.140	0.139	0.137	0.136	0.135	0.134	0.133	0.132	0.131
250	0.130	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 33 b 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)

$\lambda \sqrt{f_y/235}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.886	0.882	0.878	0.874	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.837	0.833	0.828	0.823	0.818	0.812
60	0.807	0.802	0.796	0.791	0.785	0.780	0.774	0.768	0.762	0.757
70	0.751	0.745	0.738	0.732	0.726	0.720	0.713	0.707	0.701	0.694
80	0.687	0.681	0.674	0.668	0.661	0.654	0.648	0.641	0.634	0.628
90	0.621	0.614	0.607	0.601	0.594	0.587	0.581	0.574	0.568	0.561
100	0.555	0.548	0.542	0.535	0.529	0.523	0.517	0.511	0.504	0.498
110	0.492	0.487	0.481	0.475	0.469	0.464	0.458	0.453	0.447	0.442
120	0.436	0.431	0.426	0.421	0.416	0.411	0.406	0.401	0.396	0.392
130	0.387	0.383	0.378	0.374	0.369	0.365	0.361	0.357	0.352	0.348
140	0.345	0.340	0.337	0.333	0.329	0.325	0.322	0.318	0.314	0.311
150	0.308	0.304	0.301	0.297	0.294	0.291	0.288	0.285	0.282	0.279
160	0.276	0.273	0.270	0.267	0.264	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251
170	0.248	0.246	0.243	0.241	0.238	0.236	0.234	0.231	0.229	0.227
180	0.225	0.222	0.220	0.218	0.216	0.214	0.212	0.210	0.208	0.206
190	0.204	0.202	0.200	0.198	0.196	0.195	0.193	0.191	0.189	0.188
200	0.186	0.184	0.183	0.181	0.179	0.178	0.176	0.175	0.173	0.172
210	0.170	0.169	0.167	0.166	0.164	0.163	0.162	0.160	0.159	0.158
220	0.156	0.155	0.154	0.152	0.151	0.150	0.149	0.147	0.146	0.145
230	0.144	0.143	0.142	0.141	0.139	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134
240	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124
250	0.123	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 34 c 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)

$\lambda \sqrt{f_y/235}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993
10	0.992	0.990	0.988	0.986	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973	0.97
20	0.966	0.959	0.953	0.947	0.940	0.934	0.928	0.921	0.915	0.909
30	0.902	0.896	0.890	0.883	0.877	0.871	0.865	0.858	0.852	0.845
40	0.839	0.833	0.826	0.820	0.813	0.807	0.800	0.794	0.787	0.781
50	0.774	0.768	0.761	0.755	0.748	0.742	0.735	0.728	0.722	0.715
60	0.709	0.702	0.695	0.689	0.682	0.675	0.669	0.662	0.656	0.649
70	0.642	0.636	0.629	0.623	0.616	0.610	0.603	0.597	0.591	0.584
80	0.578	0.572	0.565	0.559	0.553	0.547	0.541	0.535	0.529	0.523
90	0.517	0.511	0.505	0.499	0.494	0.488	0.483	0.477	0.471	0.467
100	0.462	0.458	0.453	0.449	0.445	0.440	0.436	0.432	0.427	0.423
110	0.419	0.415	0.411	0.407	0.402	0.398	0.394	0.390	0.386	0.383
120	0.379	0.375	0.371	0.367	0.363	0.360	0.356	0.352	0.349	0.345
130	0.342	0.338	0.335	0.332	0.328	0.325	0.322	0.318	0.315	0.312
140	0.309	0.306	0.303	0.300	0.297	0.294	0.291	0.288	0.285	0.282
150	0.279	0.277	0.274	0.271	0.269	0.266	0.263	0.261	0.258	0.256
160	0.253	0.251	0.248	0.246	0.244	0.241	0.239	0.237	0.235	0.232
170	0.230	0.228	0.226	0.224	0.222	0.220	0.218	0.216	0.214	0.212
180	0.210	0.208	0.206	0.205	0.203	0.201	0.199	0.197	0.195	0.194
190	0.192	0.190	0.189	0.187	0.185	0.184	0.182	0.181	0.179	0.178
200	0.176	0.175	0.173	0.172	0.170	0.169	0.167	0.166	0.165	0.163
210	0.162	0.161	0.159	0.158	0.157	0.155	0.154	0.153	0.152	0.151
220	0.149	0.148	0.147	0.146	0.145	0.144	0.142	0.141	0.140	0.139
230	0.138	0.137	0.136	0.135	0.134	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129
240	0.128	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.123	0.122	0.121	0.120
250	0.119	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 35 d 类截面轴心受压构件的稳定系数(φ)

$\lambda \sqrt{f_y/235}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.987
10	0.984	0.981	0.978	0.974	0.969	0.965	0.960	0.955	0.949	0.944
20	0.937	0.927	0.918	0.909	0.900	0.891	0.883	0.874	0.865	0.857
30	0.848	0.840	0.831	0.823	0.815	0.807	0.798	0.790	0.782	0.774
40	0.766	0.758	0.751	0.743	0.735	0.727	0.720	0.712	0.705	0.697
50	0.690	0.682	0.675	0.668	0.660	0.653	0.646	0.639	0.632	0.625
60	0.618	0.611	0.605	0.598	0.591	0.585	0.578	0.571	0.565	0.559
70	0.552	0.546	0.540	0.534	0.528	0.521	0.516	0.510	0.504	0.498
80	0.492	0.487	0.481	0.476	0.470	0.465	0.459	0.454	0.449	0.444
90	0.439	0.434	0.429	0.424	0.419	0.414	0.409	0.405	0.401	0.397
100	0.393	0.390	0.386	0.383	0.380	0.376	0.373	0.369	0.366	0.363
110	0.359	0.356	0.353	0.350	0.346	0.343	0.340	0.337	0.334	0.331
120	0.328	0.325	0.322	0.319	0.316	0.313	0.310	0.307	0.304	0.301
130	0.298	0.296	0.293	0.290	0.288	0.285	0.282	0.280	0.277	0.275
140	0.272	0.270	0.267	0.265	0.262	0.260	0.257	0.255	0.253	0.250
150	0.248	0.246	0.244	0.242	0.239	0.237	0.235	0.233	0.231	0.229
160	0.227	0.225	0.223	0.221	0.219	0.217	0.215	0.213	0.212	0.210
170	0.208	0.206	0.204	0.202	0.201	0.199	0.197	0.196	0.194	0.192
180	0.191	0.189	0.187	0.186	0.184	0.183	0.181	0.180	0.178	0.177
190	0.176	0.174	0.173	0.171	0.170	0.168	0.167	0.166	0.164	0.163
200	0.162	—	—	—	—	—	—	—	—	—

10.3.2 实腹轴心受压构件的板件宽厚比按公式(45)~公式(47)计算：

a) 工字形截面腹板

$$h_0/t_w \leqslant (25 + 0.5\lambda) \sqrt{\frac{235}{f_y}} \dots\dots\dots (45)$$

式中：

- h_0 ——腹板计算高度,单位为毫米(mm)；
- t_w ——腹板计算厚度,单位为毫米(mm)；
- λ ——构件的较大长细比,当 $\lambda < 30$ 时,取为 30；当 $\lambda > 100$ 时,取为 100；
- f_y ——材料屈服强度,单位为牛每平方米(N/mm²)。

b) 工字形截面翼缘

$$b_1/t_f \leqslant (10 + 0.1\lambda) \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

b_1 ——翼缘板自由外伸宽度,单位为毫米(mm);

t_f ——翼缘板厚度,单位为毫米(mm)。

c) 箱形截面壁板

$$b_0/t \leqslant 40 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中:

b_0 ——壁板的净宽度,单位为毫米(mm);

t ——壁板的厚度,单位为毫米(mm)。

10.3.3 当轴心受压构件的压力小于稳定承载力(φfA)时,可将其板件宽厚比限值由 10.3.2 相关公式算得后乘以放大系数($\alpha = \sqrt{\varphi fA/N}$)。

10.3.4 轴心受压构件的板件宽厚比超过 10.3.2 规定的限值时,可采用纵向加劲肋加强,加劲肋宜在板件两侧成对配置,其一侧外伸宽度不应小于板件厚度(t)的 10 倍,厚度不应小于 $0.75t$ 。

10.3.5 板件宽厚比不满足 10.3.2 的规定,当采用屈曲后强度时,轴心受压柱的强度和稳定应按 GB 50017—2017 中 7.3.3 的规定计算。

10.3.6 弯矩作用在两个主平面内的实腹式压(拉)弯柱(圆管截面除外),其强度应按公式(48)计算:

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leqslant f \quad \dots\dots\dots (48)$$

式中:

N ——所计算构件的轴心压力,单位为牛(N)。

A_n ——净截面面积,单位为平方毫米(mm^2)。

M_x ——对 x 轴的弯矩,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

γ_x ——对 x 轴的截面塑性发展系数。对工字形截面 $\gamma_x = 1.05$,对箱形截面 $\gamma_x = 1.05$,对其他截面应按 GB 50017—2017 表 8.1.1 采用。不考虑塑性发展时,应取 $\gamma_x = 1.0$ 。

W_{nx} ——对 x 轴的净截面模量,单位为三次方毫米(mm^3)。

M_y ——对 y 轴的弯矩,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$)。

γ_y ——对 y 轴的截面塑性发展系数,对工字形截面 $\gamma_y = 1.20$,对箱形截面 $\gamma_y = 1.05$,对其他截面应按 GB 50017—2017 表 8.1.1 采用。不考虑塑性发展时,应取 $\gamma_y = 1.0$ 。

W_{ny} ——对 y 轴的净截面模量,单位为三次方毫米(mm^3)。

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

10.3.7 弯矩作用在对称轴平面内(绕 x 轴)的实腹式压弯柱(圆管截面除外),弯矩作用平面内稳定性应按公式(49)计算;对于 GB 50017—2017 表 8.1.1 第 3、4 项中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(49)计算外,还应按公式(50)计算;弯矩作用平面外稳定性应按公式(51)计算:

弯矩作用平面内:

$$\frac{N}{\varphi_x A f} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8N/N'_{EX}) f} \leqslant 1 \quad \dots\dots\dots (49)$$

$$\left| \frac{N}{A f} - \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{2x} (1 - 1.25N/N'_{EX}) f} \right| \leqslant 1 \quad \dots\dots\dots (50)$$

弯矩作用平面外：

$$\frac{N}{\varphi_y A f} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_b W_{1x} f} \leqslant 1 \quad \dots\dots\dots (51)$$

式中：

N ——所计算构件的轴心压力，单位为牛（N）。

φ_x ——弯矩作用平面内的轴心受压构件稳定系数。

β_{mx} ——等效弯矩系数，应按下列规定采用：

a) 无侧移框架柱和两端支承的构件

1) 无横向荷载作用时，等效弯矩系数(β_{mx})可按公式(52)计算，其中 $|M_1| \geqslant |M_2|$ 。

$$\beta_{mx} = 0.6 + 0.4 M_2 / M_1 \quad \dots\dots\dots (52)$$

式中：

M_2 ——端弯矩，单位为牛毫米(N·mm)，构件无反弯点时取同号；构件有反弯点时取异号；

M_1 ——端弯矩，单位为牛毫米(N·mm)，构件无反弯点时取同号；构件有反弯点时取异号， $|M_1| \geqslant |M_2|$ 。

2) 无端弯矩但有横向荷载作用时，等效弯矩系数(β_{mx})可按公式(53)和公式(54)计算：

跨中单个集中荷载

$$\beta_{mx} = 1 - 0.36 N / N_{cr} \quad \dots\dots\dots (53)$$

全跨均布荷载

$$\beta_{mx} = 1 - 0.18 N / N_{cr} \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中：

N_{cr} ——弹性临界力，单位为牛(N)，按公式(55)计算。

$$N_{cr} = \pi^2 EI / (\mu l)^2 \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中：

E ——弹性模量，单位为牛每平方米(N/mm²)；

μ ——构件的计算长度系数；

l ——构件的计算长度，单位为毫米(mm)。

3) 端弯矩和横向荷载同时作用时，公式(49)中的 $\beta_{mx} M_x$ 应按公式(56)计算：

$$\beta_{mx} M_x = \beta_{m qx} M_{qx} + \beta_{m 1 x} M_1 \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中：

M_x ——所计算构件段范围内的最大弯矩设计值，单位为牛毫米(N·mm)；

$\beta_{m qx}$ ——取按公式(53)或公式(54)计算的等效弯矩系数；

M_{qx} ——横向荷载产生的弯矩最大值；

$\beta_{m 1 x}$ ——取按公式(52)计算的等效弯矩系数；

M_1 ——端弯矩，单位为牛毫米(N·mm)，构件无反弯点时取同号；构件有反弯点时取异号， $|M_1| \geqslant |M_2|$ 。

b) 有侧移框架柱和悬臂构件

1) 有横向荷载的柱脚铰接的单层框架柱和多层框架的底层柱： $\beta_{mx} = 1.0$ ；

2) 除本款1)规定之外的框架柱，等效弯矩系数(β_{mx})可按公式(57)计算：

$$\beta_{mx} = 1 - 0.36 N / N_{cr} \quad \dots\dots\dots (57)$$

3) 自由端作用有弯矩的悬臂柱,等效弯矩系数(β_{mx})可按公式(58)计算:

$$\beta_{mx} = 1 - 0.36(1 - m)N/N_{cr} \dots\dots\dots (58)$$

式中:

β_{mx} ——等效弯矩系数;

m ——自由端弯矩与固定端弯矩之比,当弯矩图无反弯点时取正号,有反弯点时取负号;

N ——所计算构件的轴心压力,单位为牛(N);

N_{cr} ——弹性临界力,单位为牛(N)。

M_x ——所计算构件段范围内的最大弯矩设计值,单位为牛毫米(N·mm)。

W_{1x} ——在弯矩作用平面内对受压最大纤维的毛截面模量,单位为三次方毫米(mm³)。

N'_{Ex} ——参数,单位为牛(N), $N'_{Ex} = \pi EA / (1.1\lambda_x^2)$ 。

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²)。

A ——柱的毛截面面积,单位为平方毫米(mm²)。

W_{2x} ——无翼缘端的毛截面模量,单位为三次方毫米(mm³)。

φ_y ——弯矩作用平面外的轴心受压构件稳定系数。对于单轴对称截面,应取 GB 50017—2017 公式(7.2.2-4)的长细比(λ_{yz})对应的稳定系数。

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

β_{tx} ——等效弯矩系数,应按 GB 50017—2017 中 8.2.1 的规定确定。

φ_b ——均匀弯曲的受弯构件整体稳定系数,应按 9.2.10 的规定计算,对闭口截面 $\varphi_b=1.0$ 。

10.3.8 弯矩作用在两个主平面内的双轴对称实腹式工字形和箱形截面的压弯构件,其稳定性应按公式(59)和公式(60)计算:

$$\frac{N}{\varphi_x A f} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x (1 - 0.8N/N'_{Ex}) f} + \eta \frac{\beta_{tx} M_y}{\varphi_{by} W_y f} \leq 1 \dots\dots\dots (59)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A f} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\varphi_{bx} W_x f} + \frac{\beta_{my} M_y}{\gamma_y W_y (1 - 0.8N/N'_{Ey}) f} \leq 1 \dots\dots\dots (60)$$

式中:

N ——所计算构件的轴心压力,单位为牛(N);

A ——柱的毛截面面积,单位为平方毫米(mm²);

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);

φ_x ——对强轴 $x-x$ 的轴心受压构件稳定系数;

φ_y ——对弱轴 $y-y$ 的轴心受压构件稳定系数;

φ_{bx} ——均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数,应按 9.2.10 的规定取值;对闭口截面 $\varphi_{bx}=1.0$;

φ_{by} ——均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数,应按 9.2.10 的规定取值,其中工字形截面的非悬臂构件的 φ_{by} 可取 1.0;对闭口截面 $\varphi_{by}=1.0$;

M_x ——所计算构件段范围内对强轴的最大弯矩设计值,单位为牛毫米(N·mm);

M_y ——所计算构件段范围内对弱轴的最大弯矩设计值,单位为牛毫米(N·mm);

N'_{Ex} ——参数,单位为牛(N), $N'_{Ex} = \pi EA / (1.1\lambda_x^2)$;

N'_{Ey} ——参数,单位为牛(N), $N'_{Ey} = \pi^2 EA / (1.1\lambda_y^2)$;

W_x ——对强轴的毛截面模量,单位为三次方毫米(mm³);

W_y ——对弱轴的毛截面模量,单位为三次方毫米(mm³);

β_{tx} —— x 向平面外等效弯矩系数,应按 10.3.7 弯矩作用平面外稳定计算的规定采用;

β_{ty} —— y 向平面外等效弯矩系数,应按 10.3.7 弯矩作用平面外稳定计算的规定采用;

β_{mx} —— x 向平面内等效弯矩系数,应按 10.3.7 弯矩作用平面内稳定计算的规定采用;

β_{my} —— y 向平面内等效弯矩系数,应按 10.3.7 弯矩作用平面内稳定计算的规定采用。

10.3.9 为保证压弯构件的局部稳定,工字形和箱形压弯构件板件的宽厚比应满足表 36 的规定。其中参数(α_0)应按式(61)计算:

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \dots\dots\dots (61)$$

式中:

- σ_{\max} ——腹板计算高度边缘的最大压应力,单位为牛每平方米(N/mm²),计算时不考虑柱的稳定系数;
- σ_{\min} ——腹板计算高度另一边缘相应的应力,单位为牛每平方米(N/mm²),压应力取正值、拉应力取负值。

表 36 压弯构件板件宽厚比限值

截面类型	项目	限值	
工字形截面	b_1/t_f	考虑截面塑性发展	$13 \sqrt{235/f_y}$
		不考虑截面塑性发展	$15 \sqrt{235/f_y}$
	h_0/t_w	考虑截面塑性发展	$(40+18\alpha_0^{1.5}) \sqrt{235/f_y}$
		不考虑截面塑性发展	$(45+25\alpha_0^{1.66}) \sqrt{235/f_y}$
箱形截面	b_0/t	考虑截面塑性发展	$40 \sqrt{235/f_y}$
		不考虑截面塑性发展	$45 \sqrt{235/f_y}$
<p>注：b_1——工字形截面翼缘外伸宽度，单位为毫米(mm)； t_f——工字形截面翼缘厚度，单位为毫米(mm)； f_y——钢材的屈服强度，单位为牛每平方米(N/mm²)； h_0——工字形截面腹板计算高度，单位为毫米(mm)； t_w——工字形截面腹板厚度，单位为毫米(mm)； b_0——箱形截面腹板内宽度，单位为毫米(mm)； t——箱形截面腹板厚度，单位为毫米(mm)。</p>			

10.3.10 压弯构件的板件采用纵向加劲肋加强以满足宽厚比限值时,加劲肋宜在板件两侧成对配置,其一侧外伸宽度不应小于板件厚度(t)的 10 倍,厚度不宜小于 0.75 t 。

10.3.11 工字形和箱形截面压弯构件的腹板宽厚比超过表 36 中不考虑截面塑性发展板件宽厚比的规定时,其强度和稳定应按 GB 50017—2017 中 8.4.2 的规定计算。

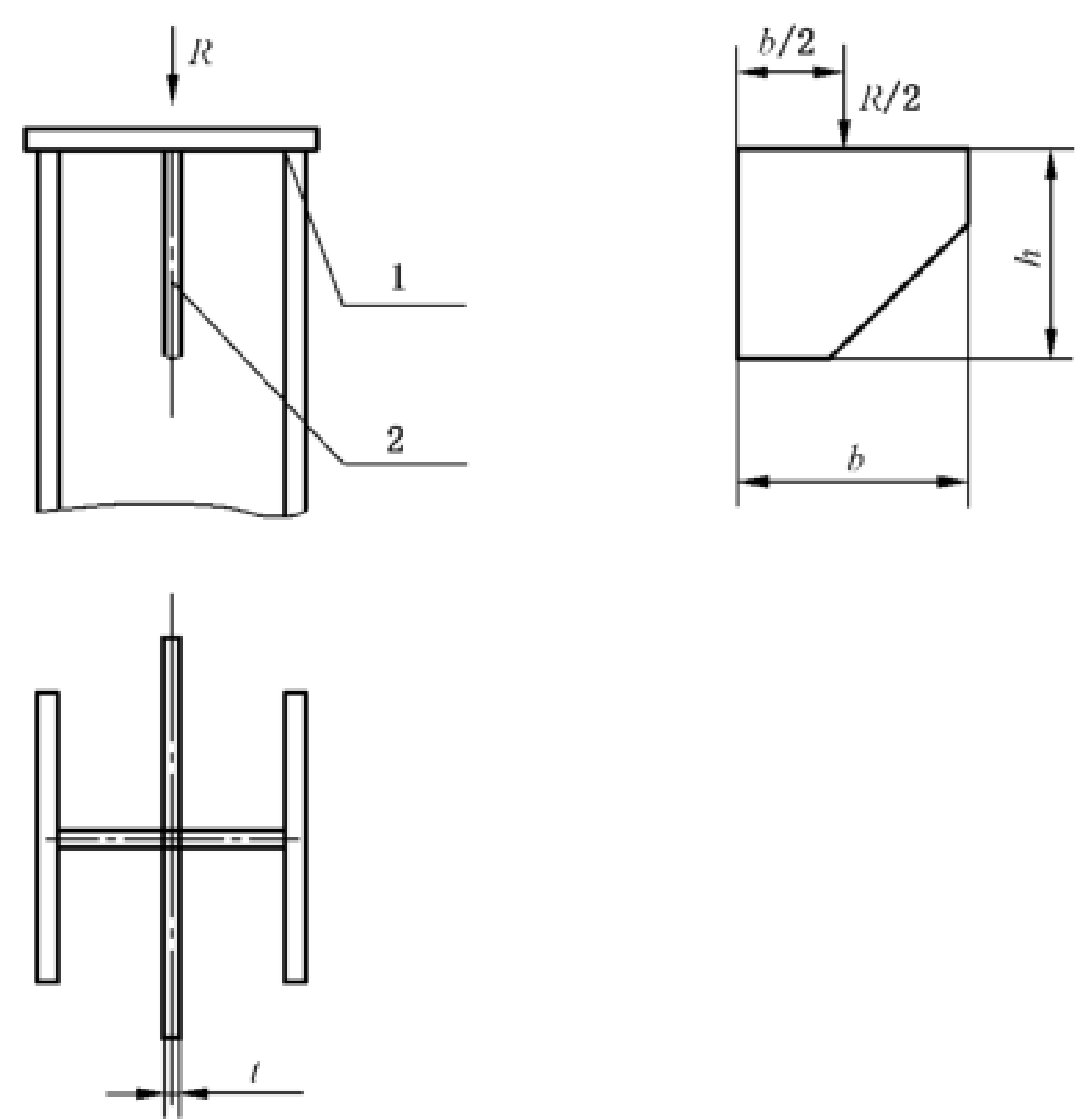
10.3.12 实腹式工字形截面柱的翼缘与腹板(型钢组合柱的盖板与型钢)的连接宜采用连续角焊缝,其焊脚尺寸应按公式(62)计算:

$$h_f = \frac{VS}{1.4If_f^w} \dots\dots\dots (62)$$

式中:

- V ——剪力,单位为牛(N),对轴心受压柱应按表 29 中项次 7 计算;对压弯柱应取实际剪力与按表 29 中项次 7 计算较大者;
- S ——柱翼缘(盖板)毛截面对中性轴的面积矩,单位为三次方毫米(mm³);
- I ——柱的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);
- f_f^w ——角焊缝抗拉、抗压和抗剪强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²)。

10.3.13 顶板主梁与柱连接按铰接设计时,柱头只承受梁的支座反力,没有弯矩作用,柱头由柱顶盖板和柱顶加劲肋组成(图 18)。



标引序号说明:
1 —— 柱顶盖板;
2 —— 加劲肋;
 R —— 反力;
 b —— 肋板宽度;
 h —— 肋板高度;
 t —— 肋板厚度。

图 18 柱头

10.3.14 柱顶加劲肋的设计:

a) 柱顶加劲肋高度(h)应按公式(63)和公式(64)计算并取二者中之较大值:

$$h = \sqrt{\frac{6M_{\max}}{tf}} \dots\dots\dots (63)$$

$$h = \frac{1.5V_{\max}}{tf_v} \dots\dots\dots (64)$$

式中:
 M_{\max} —— 柱顶加劲肋与腹板连接处的最大弯矩,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$),按图 18 所示 $M_{\max} = Rb/4$;
 V_{\max} —— 柱顶加劲肋的最大剪力,单位为牛(N),按图 18 所示 $V_{\max} = R/2$;
 R —— 支座反力,单位为牛(N);
 b —— 加劲肋宽度,单位(mm);
 t —— 加劲肋厚度 (mm);
 f —— 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

b) 柱顶加劲肋的宽度(b)与其厚度(t)之比不应大于 $15\sqrt{235/f_y}$ 。
c) 为支承柱顶较大荷载,柱头可设置多块柱顶加劲肋,柱顶加劲肋和腹板均视为柱顶盖板的支承点,柱顶加劲肋应根据实际情况按简支梁或悬臂梁计算。

10.3.15 柱顶加劲肋与柱连接焊缝的焊脚尺寸(h_f)按公式(65)计算:

$$h_f = \sqrt{\frac{1}{1.5} \left(\frac{6M_{\max}}{2 \times 0.7l_w^2 f_f^w} \right)^2 + \left(\frac{V_{\max}}{2 \times 0.7l_w f_f^w} \right)^2} \dots\dots\dots (65)$$

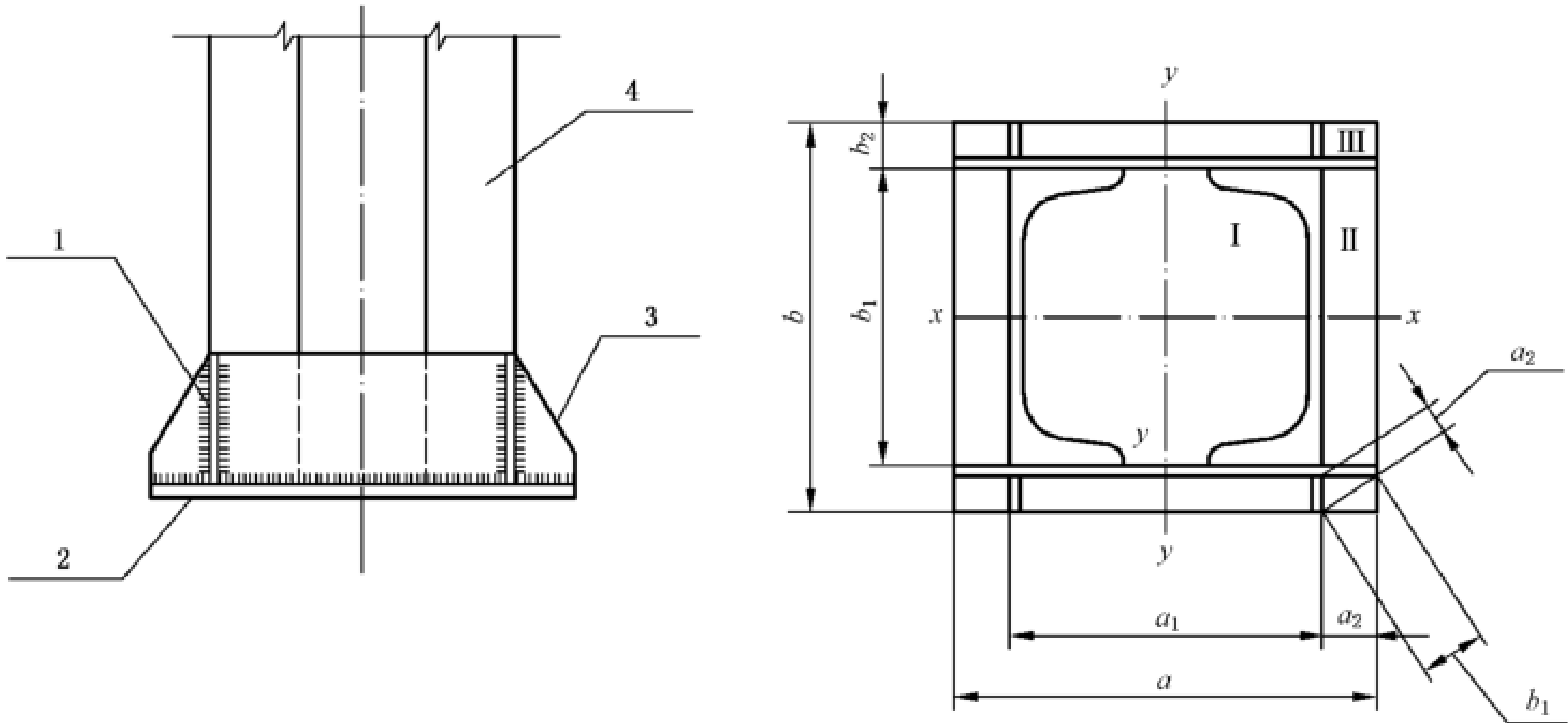
式中：

- h_f ——焊脚尺寸,单位为毫米(mm)；
- M_{\max} ——柱顶加劲肋与腹板连接处的最大弯矩,单位为牛毫米(N·mm),按图 18 所示 $M_{\max} = Rb/4$ ；
- V_{\max} ——柱顶加劲肋的最大剪力,单位为牛(N),按图 18 所示 $V_{\max} = R/2$ ；
- l_w ——加劲肋焊缝的计算长度,单位为毫米(mm)；
- f_f^w ——角焊缝抗拉、抗压和抗剪强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²)。

10.3.16 柱顶盖板按构造选取时,厚度不宜小于 20 mm。有多块柱顶加劲肋支承的柱顶盖板,其支反力应由各柱顶加劲肋承受。柱顶盖板与柱身的连接角焊缝可按构造选取。

10.3.17 柱脚与基础的连接方式有固接和铰接两种。

10.3.18 固接柱脚由底板、靴板和肋板组成(图 19)。



标引序号说明：

- 1 ——肋板；
- 2 ——底板；
- 3 ——靴板；
- 4 ——柱身；
- b ——柱底板宽度；
- b_1 ——自由边长度；
- b_2 ——悬臂长度；
- a_1 ——较短边长度；
- a_2 ——悬臂长度；
- a ——柱底板长度。

图 19 固接柱脚

a) 底板面积：

当轴心受压时,应按公式(66)计算柱底板面积(A_n)；当轴心受压和弯矩同时作用时,假定柱底板与基础接触面的压应力成直线分布,忽略柱脚固定钢筋或锚固螺栓预拉力的影响,作用在底板单位面积上的最大平均压力(q_{\max})可按公式(67)计算：

$$q = \frac{N}{A_n} \leqslant f_c \dots\dots\dots (66)$$

$$q_{\max} = \frac{N}{ab} + \frac{6M_x}{ab^2} + \frac{6M_y}{a^2b} \leq f_c \dots\dots\dots (67)$$

式中：
 A_n ——底板净面积，单位为平方毫米(mm²)；
 N ——轴心压力，单位为牛(N)；
 q ——作用在底板单位面积上的平均压力，单位为牛每平方米(N/mm²)；
 q_{\max} ——作用在底板单位面积上的最大压力，单位为牛每平方米(N/mm²)；
 a ——柱底板长度，单位为毫米(mm)；
 b ——柱底板宽度，单位为毫米(mm)；
 M_x ——绕 x 轴的弯矩，单位为牛毫米(N·mm)；
 M_y ——绕 y 轴的弯矩，单位为牛毫米(N·mm)；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值，单位为牛每平方米(N/mm²)，按表 37 采用。

表 37 混凝土轴心抗压强度设计值 f_c

单位为牛每平方米

混凝土强度等级	C20	C25	C30	C35	C40	C45
抗压强度设计值	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1

b) 底板厚度(t)应按公式(68)计算：

$$t = \sqrt{\frac{6M}{f}} \dots\dots\dots (68)$$

式中：
 t ——底板厚度，单位为毫米(mm)；
 M ——弯矩，单位为牛毫米(N·mm)，取按下列规定计算的最大值；
 f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值，单位为牛每平方米(N/mm²)。

1) 四边支承板(图 19 中 I 区)弯矩(M)应按公式(69)计算：

$$M = \alpha q a_1^2 \dots\dots\dots (69)$$

式中：
 M ——弯矩，单位为牛毫米(N·mm)；
 q ——作用在底板单位面积上的平均压力，单位为牛每平方米(N/mm²)；
 α ——四边支承底板弯矩系数，由 b_1/a_1 按表 38 选取；
 a_1 ——较短边长度，单位为毫米(mm)。

表 38 四边支承底板弯矩系数(α)

b_1/a_1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
α	0.048	0.055	0.063	0.069	0.075	0.081	0.086
b_1/a_1	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	≥5.0
α	0.091	0.095	0.099	0.102	0.119	0.124	0.125

当 $b_1/a_1 > 2$ 时，弯矩(M)可简化为单跨简支梁按公式(70)计算：

$$M = \frac{1}{8} q a_1^2 \dots\dots\dots (70)$$

2) 三边支承板弯矩(M)(图 19 中 II 区)应按公式(71)计算：

$$M = \beta q b_1^2$$

.....(71)

式中：
 q ——作用在底板单位面积上的平均压力,单位为牛每平方米(N/mm²)；
 a_1 ——较短边长度,单位为毫米(mm)；
 β ——系数,由 a_2/b_1 按表 39 选取；
 b_1 ——自由边长度,单位为毫米(mm)。

表 39 三边或二边支承底板弯矩系数(β)

a_2/b_1	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.70	0.75	0.80
β	0.027	0.036	0.044	0.052	0.060	0.068	0.075	0.081	0.087	0.092	0.097
a_2/b_1	0.85	0.9	0.95	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.75	2.0
β	0.102	0.105	0.109	0.112	0.117	0.121	0.124	0.126	0.128	0.130	0.132

当 $a_2/b_1 < 0.3$ 时,可按悬臂长度为 a_2 的悬臂梁计算。

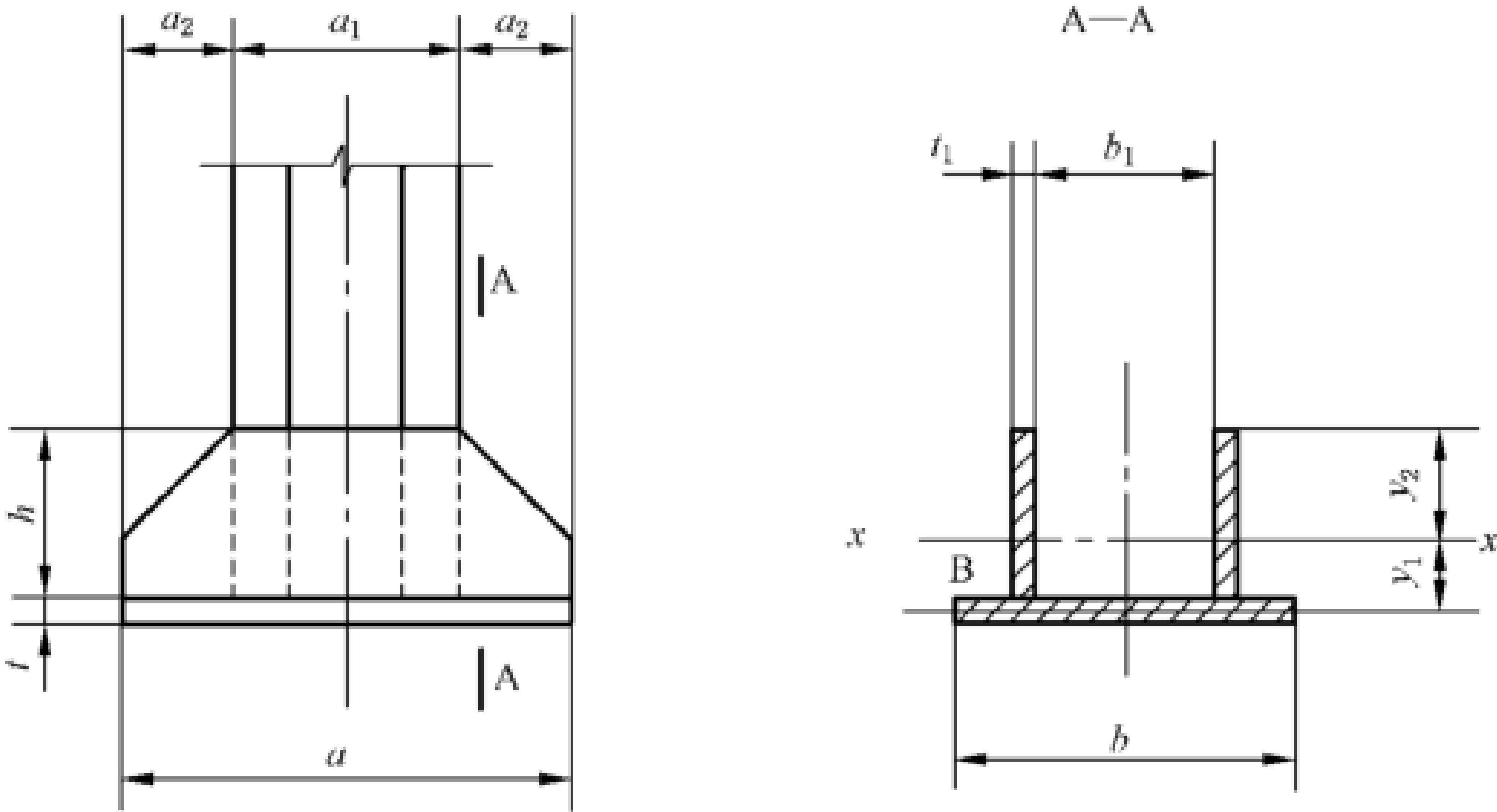
- 3) 两边支承板(图 19 中Ⅲ区)的计算公式与三边支承板相同,但 a_2 为角顶到对角线的垂直距离, b_1 为支承边间的对角线距。
- 4) 悬臂板的弯矩(M)应按公式(72)计算：

$$M = \frac{1}{2} q c^2$$

.....(72)

式中：
 c ——悬臂长度,单位为毫米(mm)。

c) 靴板计算：柱脚靴板的强度可按靴板和底板的组合截面(图 20)按下列规定计算：



标引序号说明：
B ——应力计算点；
 a_2 ——悬臂长度；
 a_1 ——柱子宽度；
 h ——垂直焊缝高度；
 t ——柱底板厚度；
 a ——柱底板长度；
 t_1 ——靴板厚度；
 b ——柱底板宽度。

图 20 靴板计算

- 1) 截面 A—A 处的内力按公式(73)和公式(74)计算:

弯矩(M):

$$M = 0.5a_2^2 bq \dots\dots\dots (73)$$

剪力(V):

$$V = a_2 bq \dots\dots\dots (74)$$

式中:

M ——靴板的最大弯矩,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$);

V ——靴板的最大剪力,单位为牛(N);

a_2 ——悬臂长度,单位为毫米(mm);

b ——短边尺寸,单位为毫米(mm);

q ——作用在底板单位面积上的平均压力,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

- 2) 强度按公式(75)~公式(78)计算:

抗弯强度:

$$\sigma = \frac{My_2}{I_x} \leq f \dots\dots\dots (75)$$

B 点抗弯强度:

$$\sigma_1 = \frac{M(y_1 - t/2)}{I_x} \leq f \dots\dots\dots (76)$$

B 点抗剪强度:

$$\tau = \frac{VB}{2I_x t_1} \leq f_v \dots\dots\dots (77)$$

B 点折算应力:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2} \leq 1.1f \dots\dots\dots (78)$$

式中:

σ ——抗弯强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

M ——靴板的最大弯矩,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$);

y_2 ——X 轴到靴板上边缘的距离,单位为毫米(mm)。

I_x ——靴板和底板组合截面对 X 轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2);

σ_1 ——B 点抗弯强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

y_1 ——X 轴到底板中心线的距离,单位为毫米(mm);

t ——底板厚度,单位为毫米(mm);

τ ——B 点抗剪强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

V ——靴板的最大剪力,单位为牛(N);

B ——底板对 X 轴的面积矩,单位为三次方毫米(mm^3);

- 3) 靴板的悬臂长度(a_2)与其厚度(t_1)之比不应大于 $15\sqrt{235/f_y}$,靴板的自由边长度(l_f)与厚度(t_1)之比不应大于 $60\sqrt{235/f_y}$ 。

- d) 柱脚连接焊缝的计算。

- 1) 靴板与柱身连接的垂直焊缝高度(h)应按公式(79)计算。

$$h = \frac{V_1}{1.4h_f f_v} + 10 \dots\dots\dots (79)$$

式中:

h ——垂直焊缝高度,单位为毫米(mm);

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸,单位为毫米(mm);

V_1 ——两边垂直焊缝所承受的较大剪力,单位为牛(N),按公式(80)计算:

$$V_1 = \frac{N}{2} + \frac{M_x}{b_1} + \frac{M_y}{a_1} \quad \dots\dots\dots(80)$$

2) 靴板和柱端与底板的连接焊缝:当柱端不采用铰平端传力时,其连接焊缝应按全部基础反力进行计算。

3) 当柱端采用铰平端传力时,靴板与柱身连接的垂直焊缝,靴板和柱端与底板的连接焊缝应按最大压力的15%计算。

e) 锅炉钢结构固接柱脚与基础的连接,一般情况下由电站设计单位从基础伸出的钢筋与柱脚焊接固定。当采用锚栓连接时,固接柱脚锚栓受力计算应按下列规定进行:

1) 柱底板一边缘的应力(q_{\max})按公式(81)计算:

$$q_{\max} = \frac{N}{ab} + \frac{6M}{a^2b} \quad \dots\dots\dots(81)$$

式中:

q_{\max} ——柱底板最大应力,单位为牛每平方米(N/mm²);

N ——轴力,单位为牛(N);

a ——柱底板长度,单位为毫米(mm);

b ——柱底板宽度,单位为毫米(mm);

M ——弯矩,单位为牛毫米(N·mm)。

2) 柱底板另一边缘的应力(q_{\min})按公式(82)计算:

$$q_{\min} = \frac{N}{ab} - \frac{6M}{a^2b} \quad \dots\dots\dots(82)$$

3) 如果 $q_{\min} < 0$,说明柱底板与基础之间产生拉应力,此时假定拉应力的合力由锚栓承受(图21)。锚栓拉力(T)按公式(83)计算:

$$T = \frac{M - Ne}{x} \quad \dots\dots\dots(83)$$

式中:

T ——锚栓拉力,单位为牛(N);

M ——弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

N ——轴力,单位为牛(N);

e ——偏心距1, $e = \frac{a}{2} - \frac{c}{3}$,单位为毫米(mm);

c ——偏心距, $c = \frac{q_{\max}}{q_{\max} + |q_{\min}|} a$;

x ——偏心距2, $x = d - \frac{c}{3}$,单位为毫米(mm)。

根据锚栓所承受拉力(T),确定锚栓的直径和数量。锚栓的长度可按表40和表41采用。

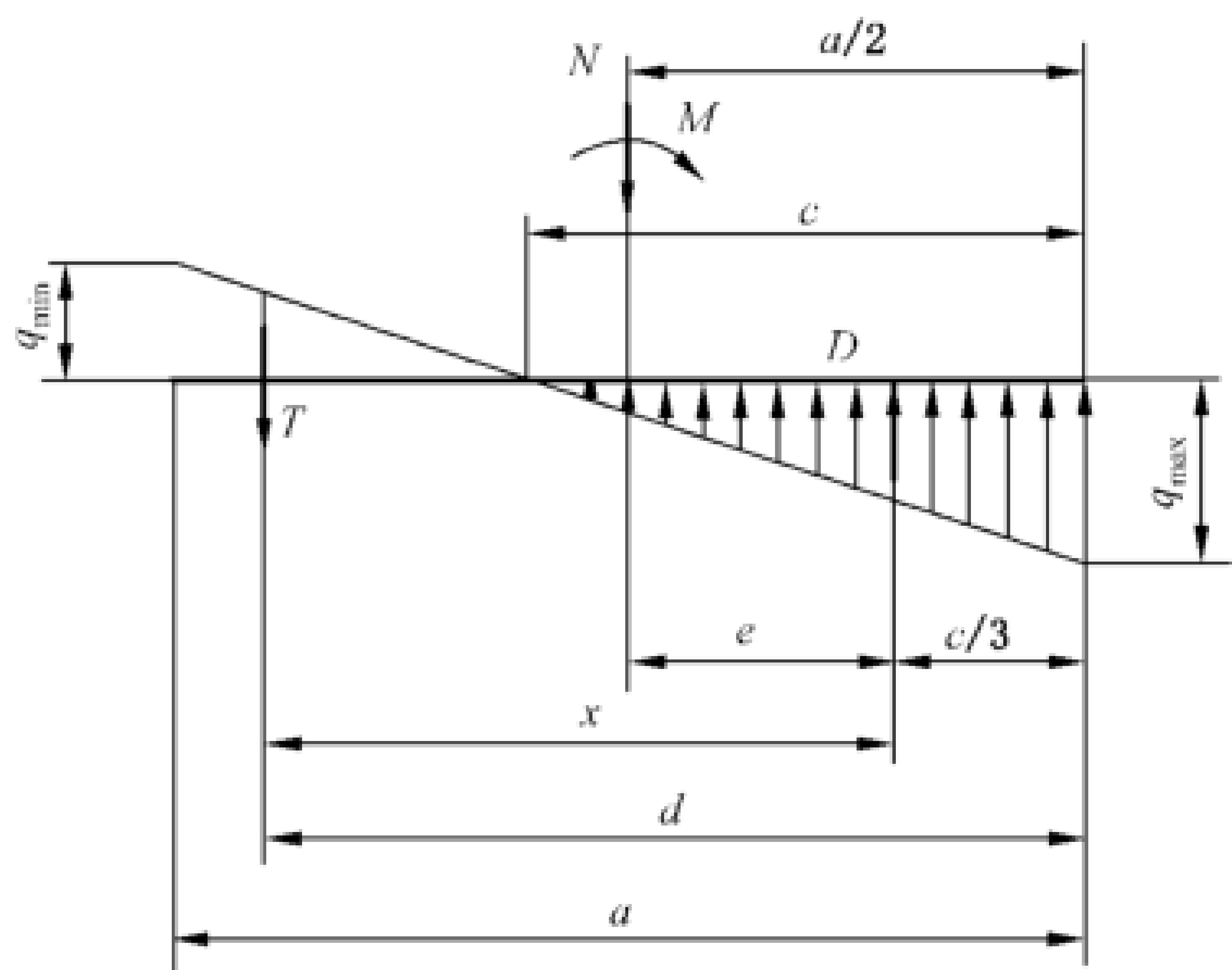
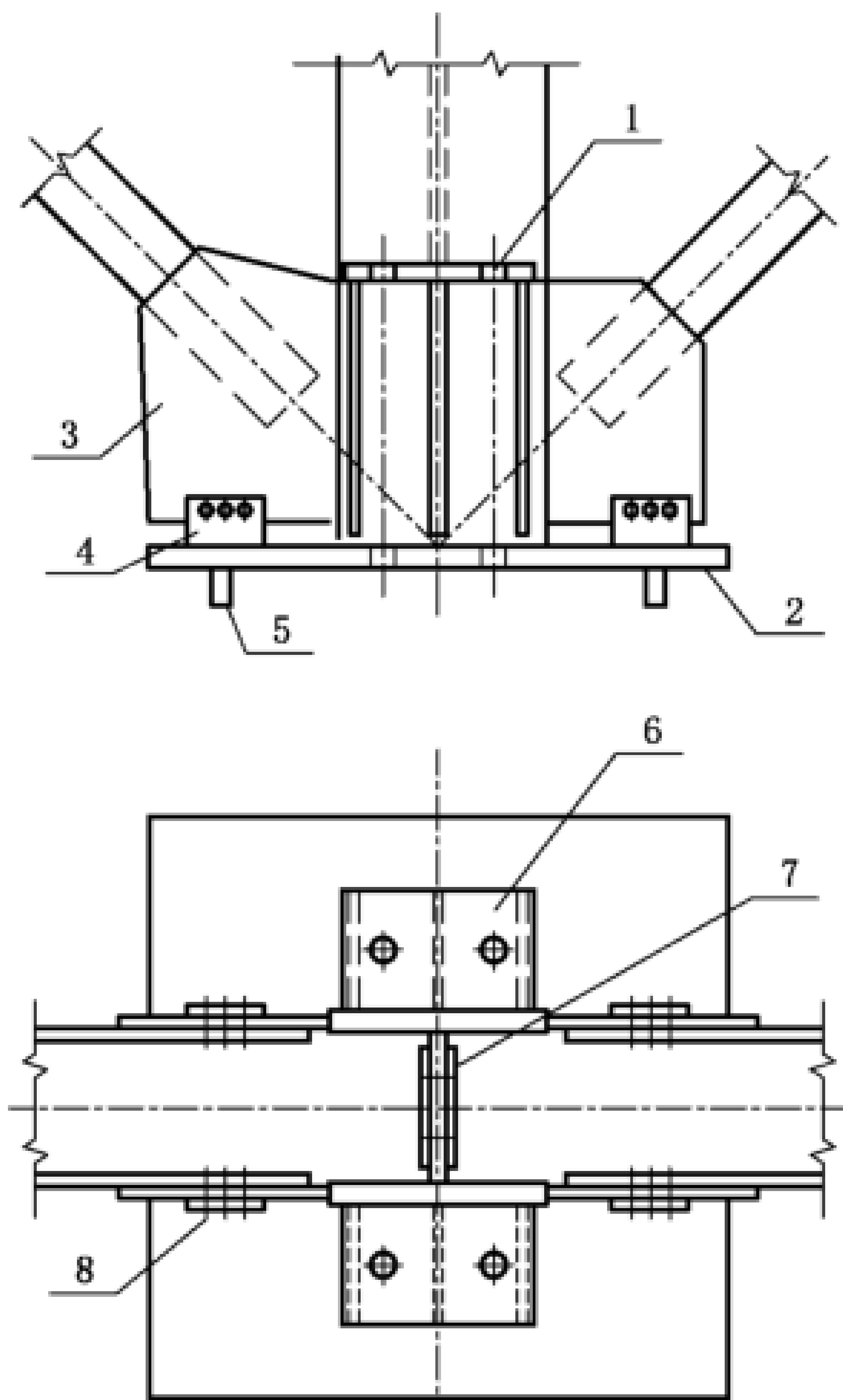


图 21 固接柱脚的应力分布

10.3.19 铰接柱脚由柱底板、连接板、定位板、剪力板、抗剪键、锚栓和锚栓支承托座(包括支承加劲肋、支承托座顶板、垫板)等组成(图 22)。铰接柱脚不承受弯矩作用。



- 标引序号说明：
- 1——锚固螺栓；
 - 2——底板；
 - 3——连接板；
 - 4——剪力板；
 - 5——抗剪键；
 - 6——锚固支承托座；
 - 7——定位板；
 - 8——剪切螺栓。

图 22 铰接柱脚

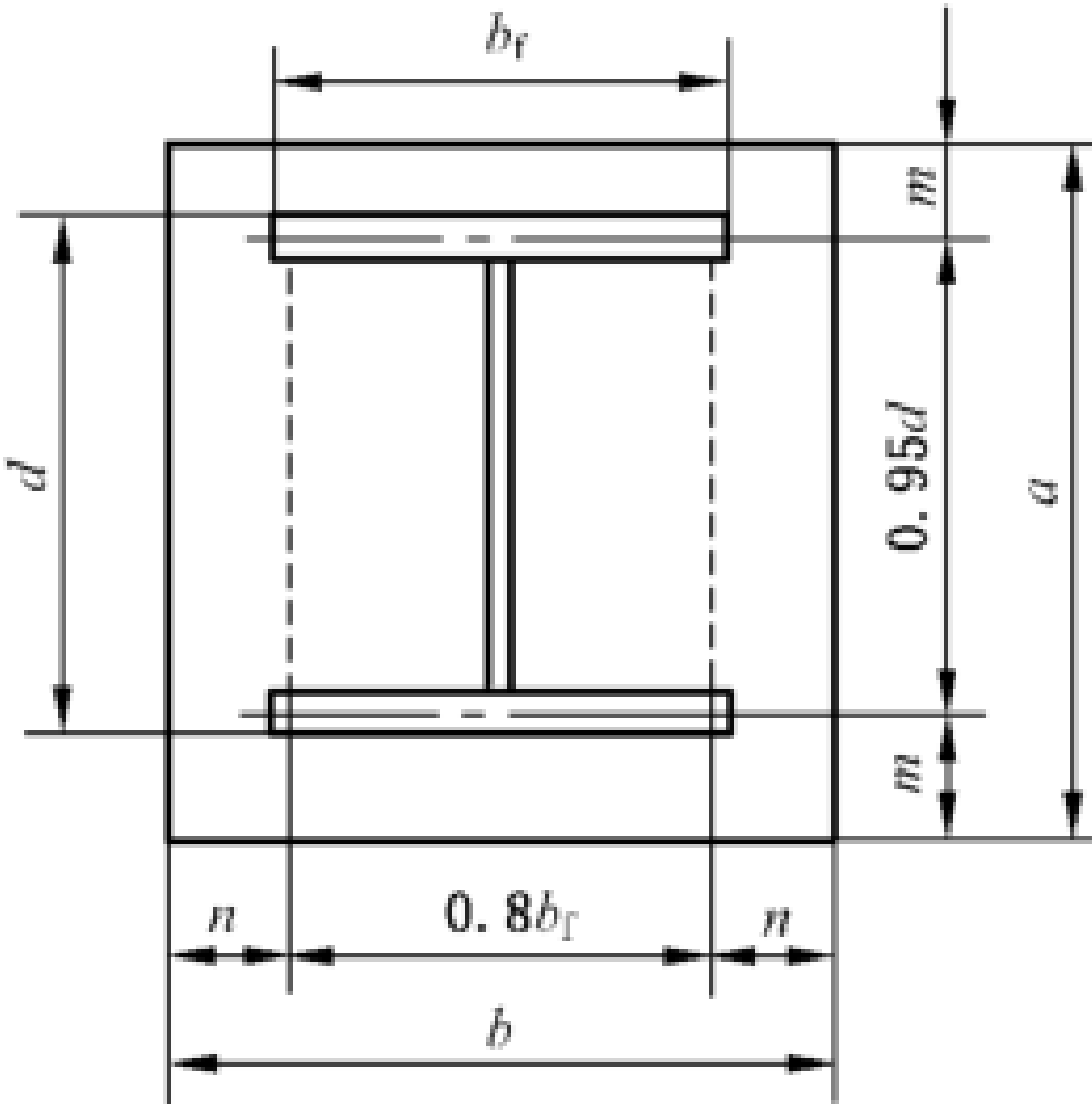
a) 铰接柱脚的底板尺寸应按公式(84)计算：

$$q = \frac{N}{ab} \leq f_c \dots\dots\dots (84)$$

式中：

- q ——均布荷载,单位为牛每平方米(N/mm^2)；
- N ——轴心压力,单位为牛(N)；
- a ——底板长度,单位为毫米(mm)；
- b ——底板宽度,单位为毫米(mm)；
- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

b) 柱底板厚度(t)应取按公式(85)和公式(86)计算所得较大值者(图 23)。



标引序号说明：

- b_f ——翼缘宽度；
- d ——柱子高度；
- n ——计算宽度；
- b ——柱底板宽度；
- m ——计算高度；
- a ——柱底板长度。

图 23 柱底板厚度计算

$t = m \sqrt{3q/f}$ (85)

$t = n \sqrt{3q/f}$ (86)

式中：

- $m = (a - 0.95d)/2$,单位为毫米(mm), d 为柱的高度；
- $n = (b - 0.8b_f)/2$,单位为毫米(mm), b_f 为柱翼缘的宽度；
- q ——均布荷载,单位为牛每平方米(N/mm^2)；
- f ——底板材料抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

- c) 抗剪键的设置:柱底板所受水平力,不宜由柱脚锚栓承受,宜由底板与基础混凝土间的摩擦力承受,摩擦系数可取 0.4。当水平力超过摩擦力时,可在底板下部焊接抗剪键。抗剪键可按均布受载的悬臂构件计算其厚度和根部焊缝。
- d) 锚栓按以下规定选用。
 - 1) 当基础无上拔力时,按构造选取锚栓,锚栓的直径不宜小于 30 mm。
 - 2) 当基础有上拔力时,锚栓的直径和数量应根据柱脚作用于基础的上拔力确定。
 - 3) 柱脚锚栓的内力通过其和混凝土之间的粘结力传递。锚栓的长度可按表 40 和表 41 采用,表中锚固长度(L)为锚栓埋置于基础的长度,当基础混凝土强度等级高于 C40 时,按 C40 取值。当埋置深度受到限制时,则锚栓可通过锚板或锚梁来传递锚栓的全部拉力,此时锚栓与混凝土之间的粘结力可不予考虑。

表 40 Q235 钢锚栓选用表

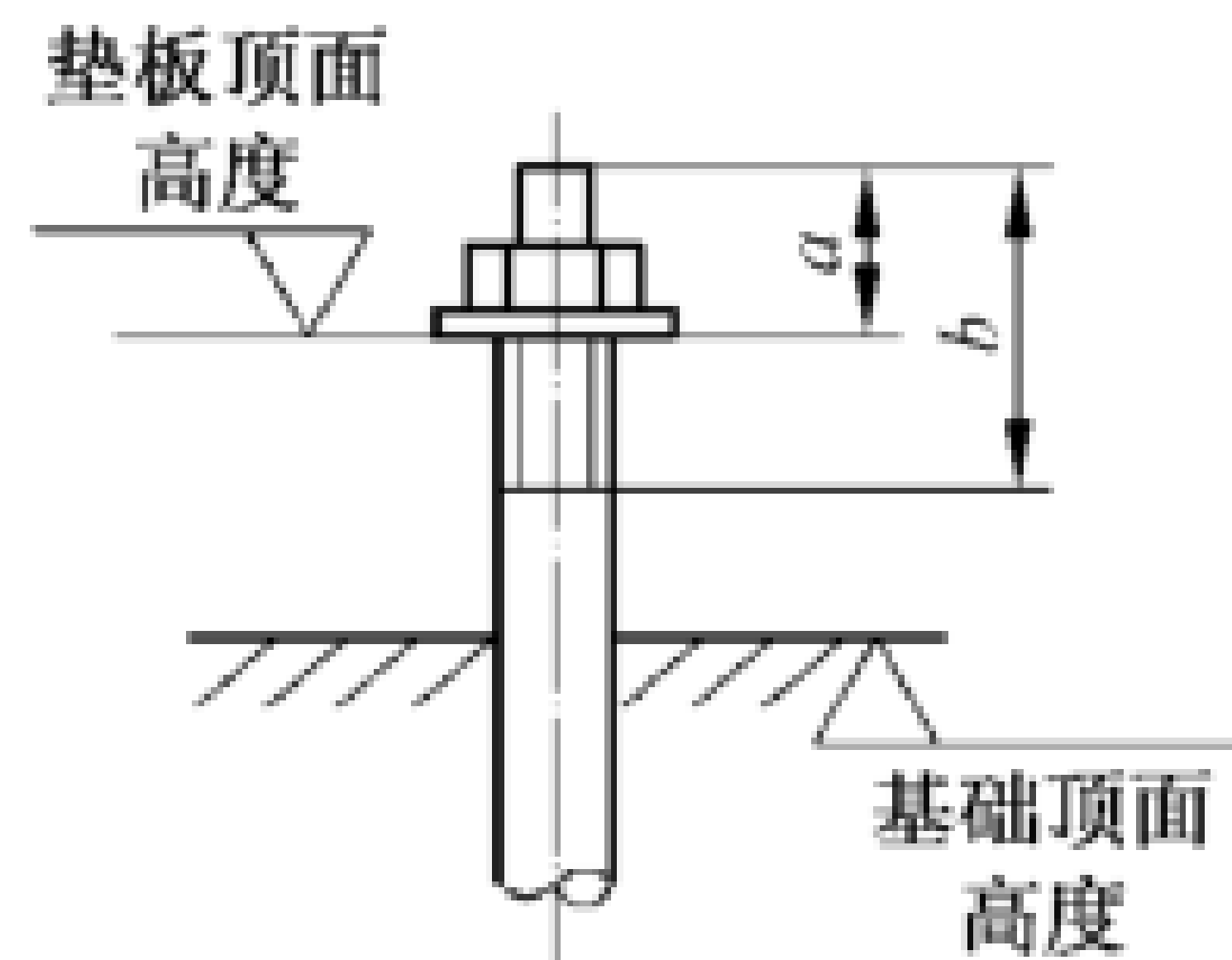
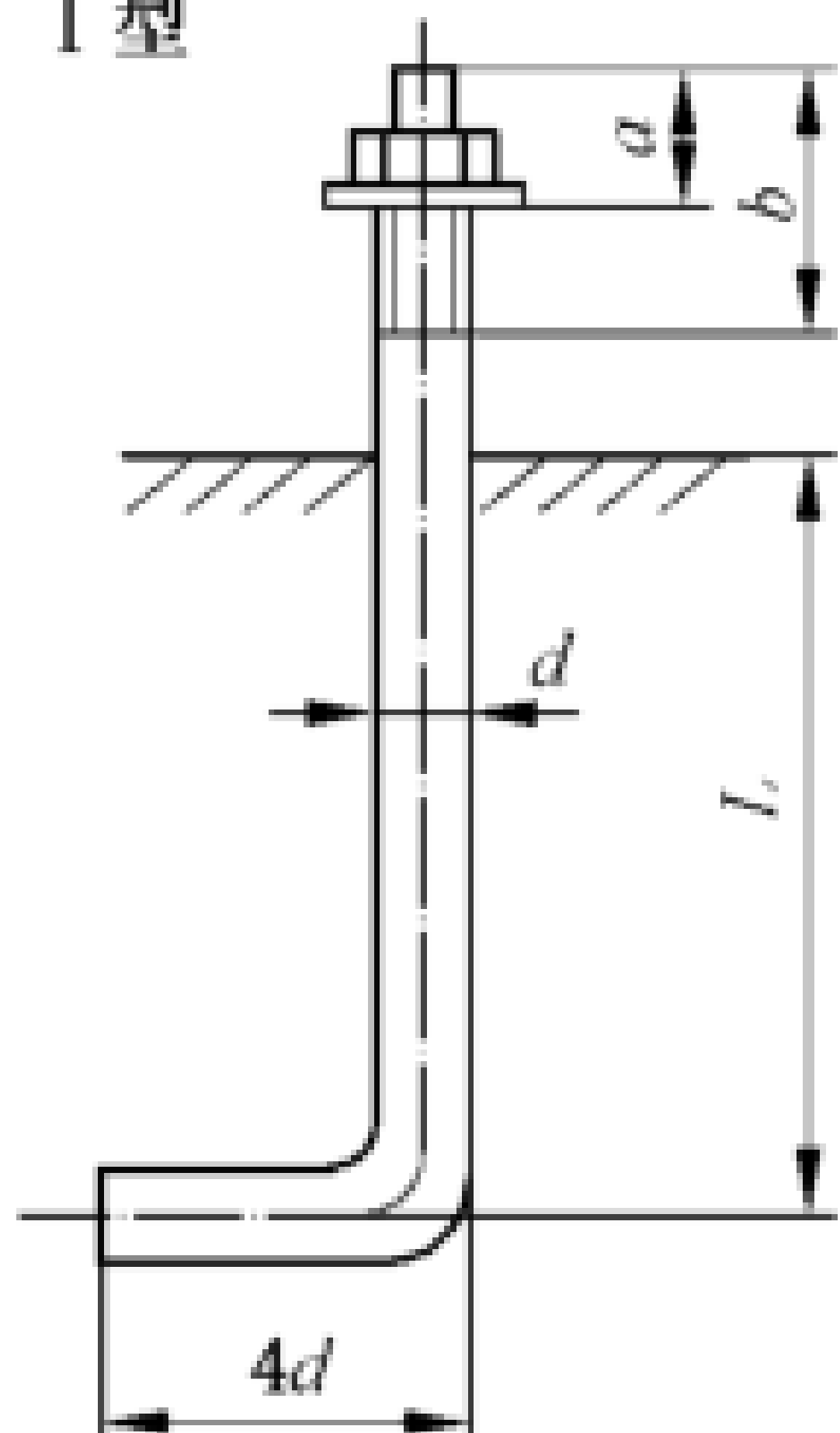
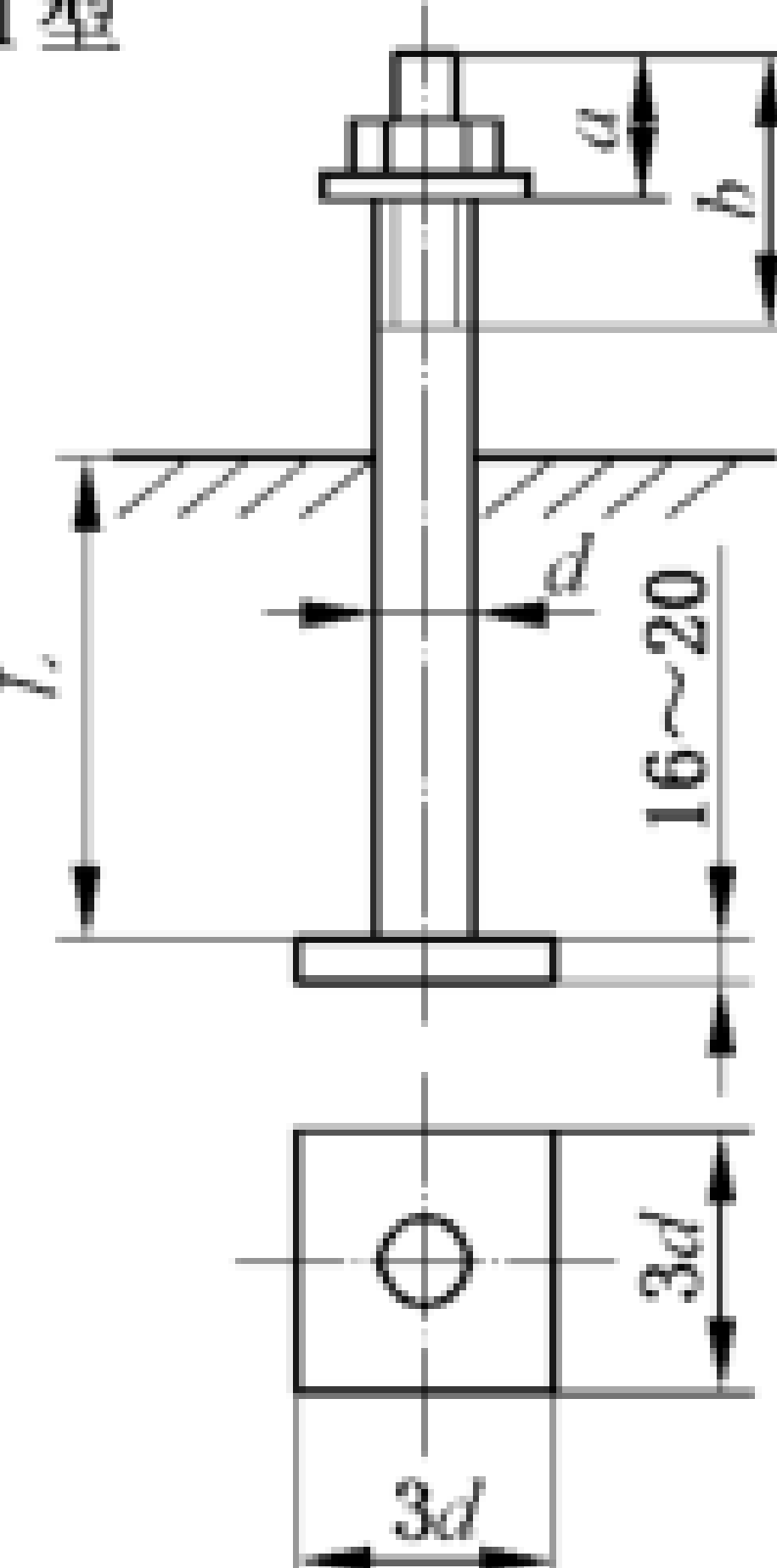
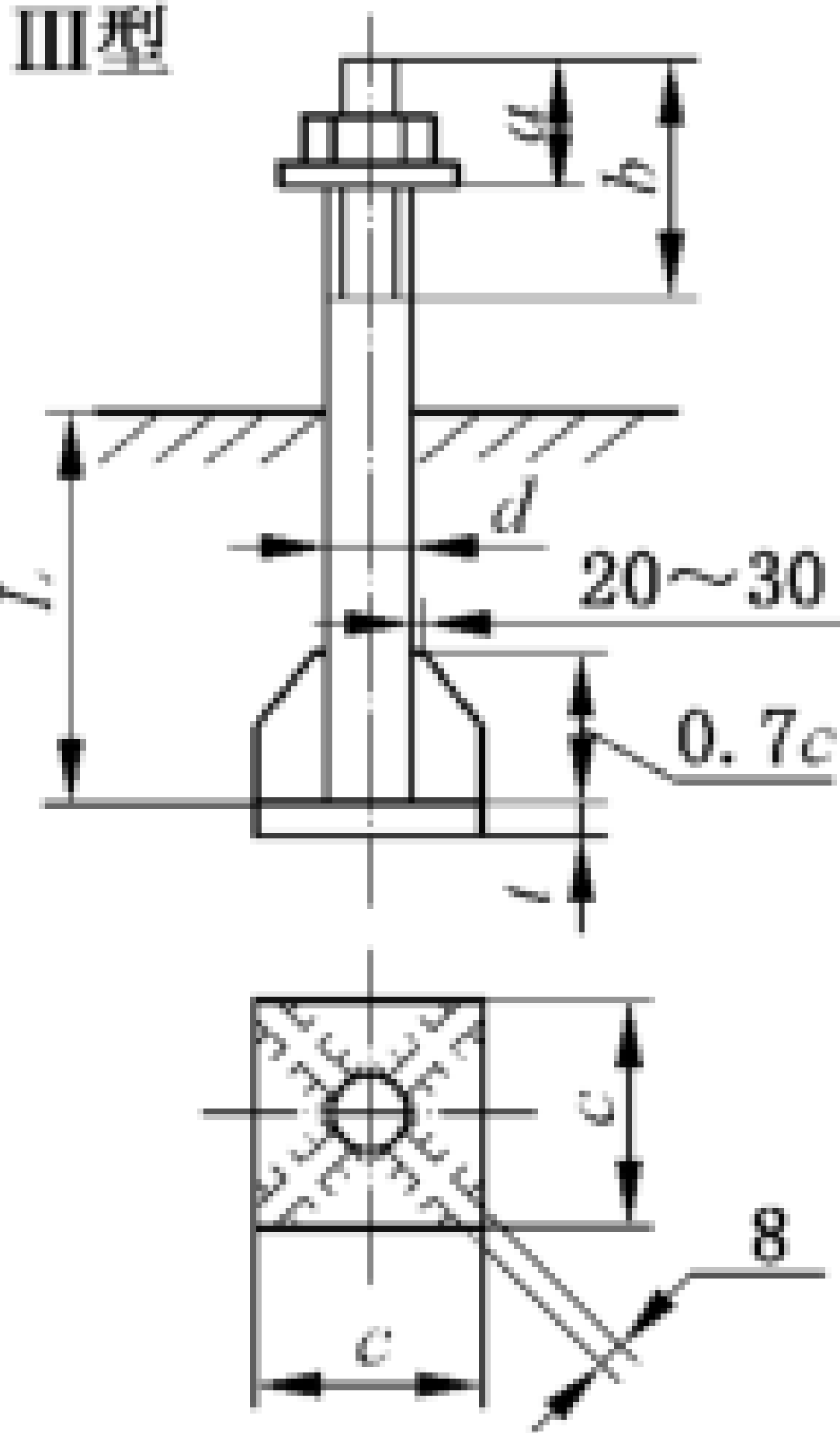
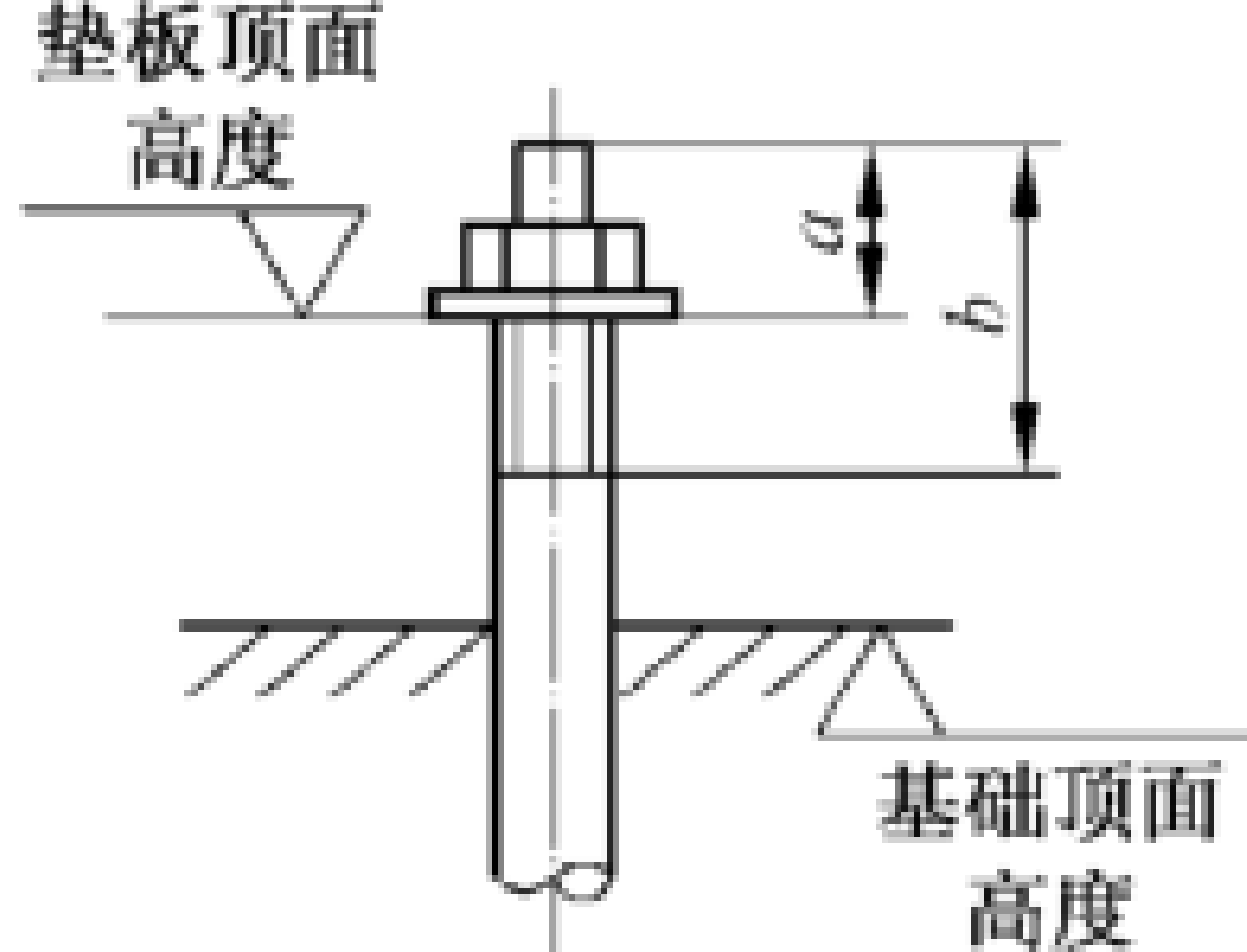
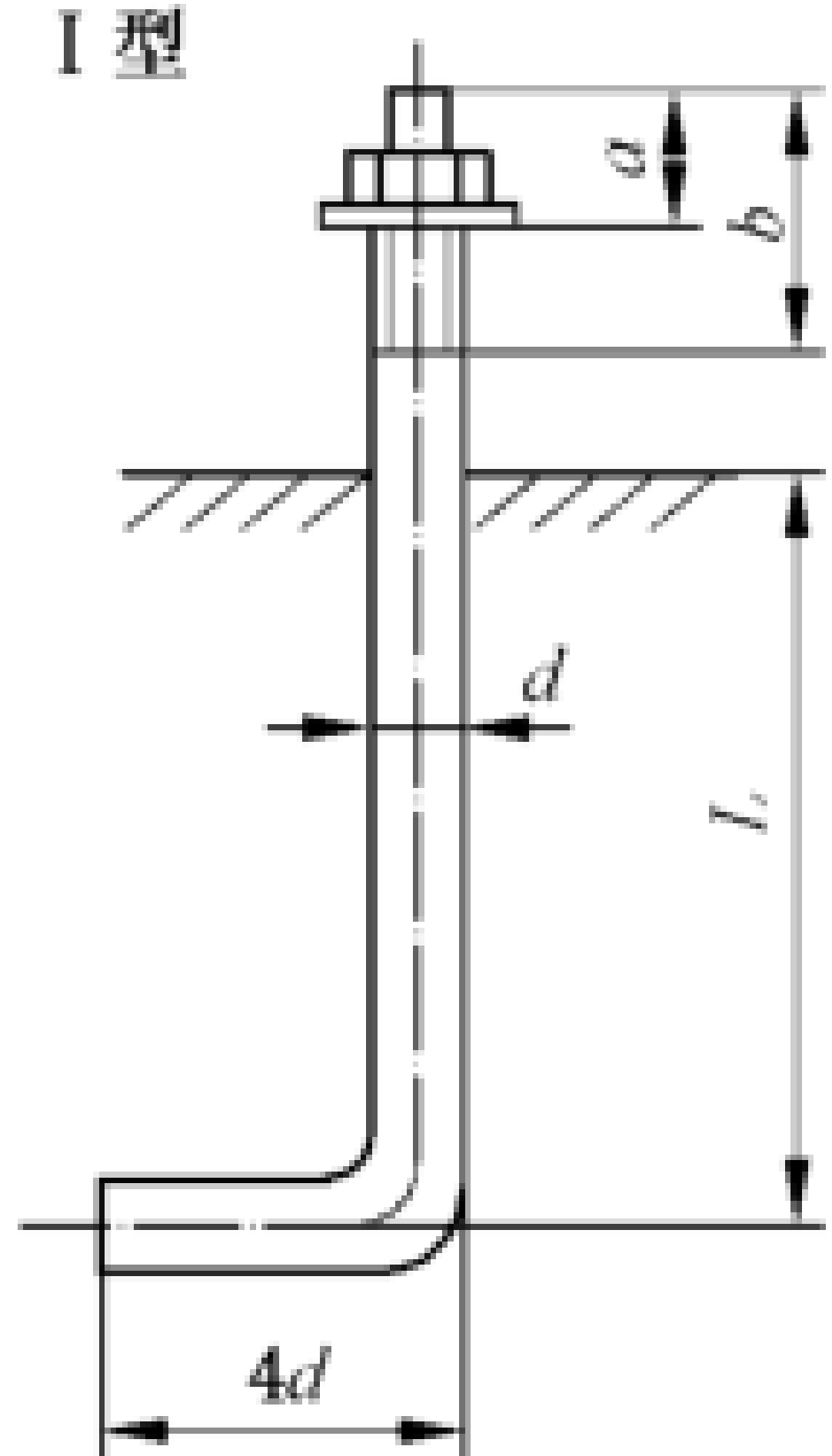
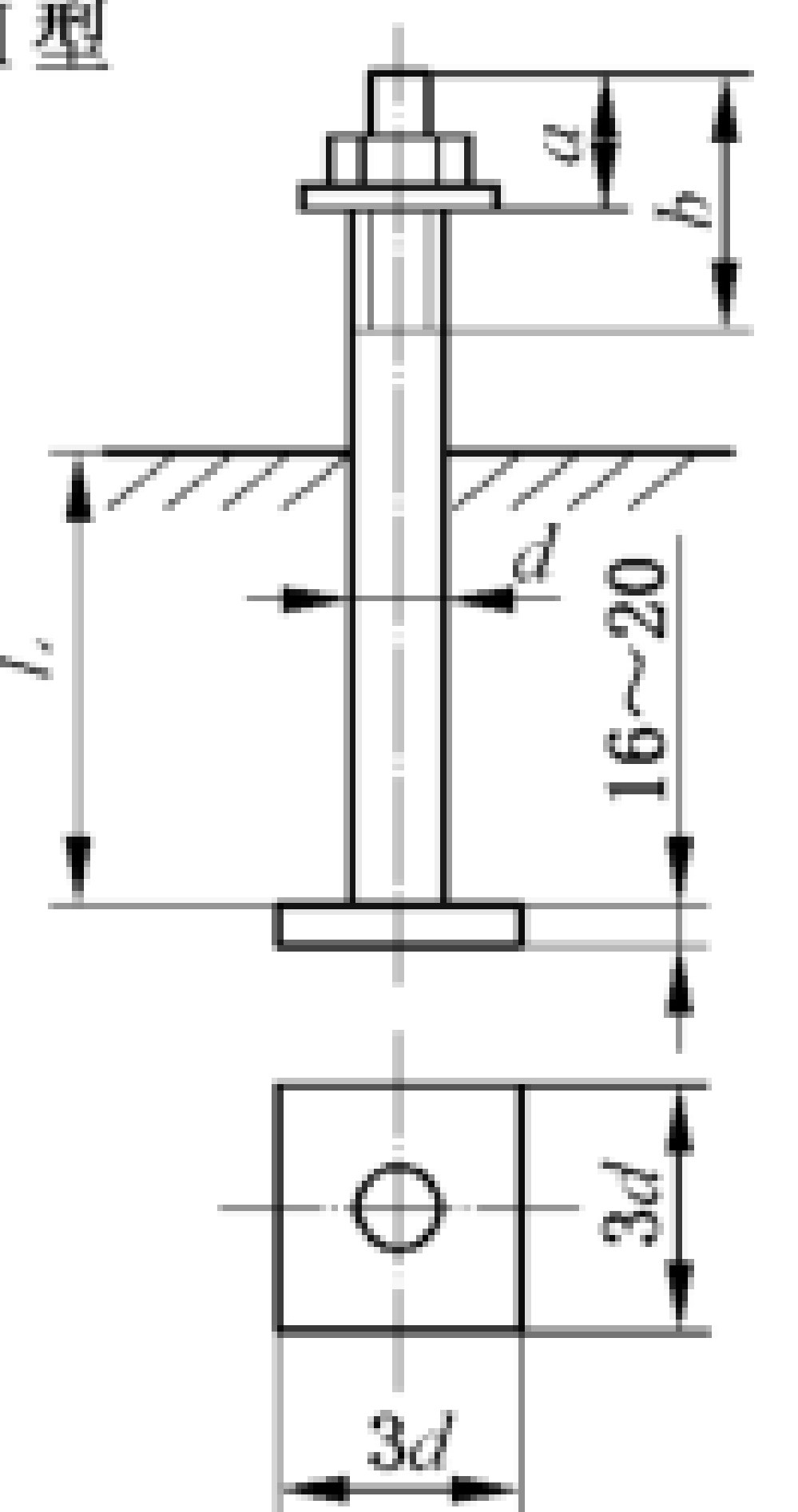
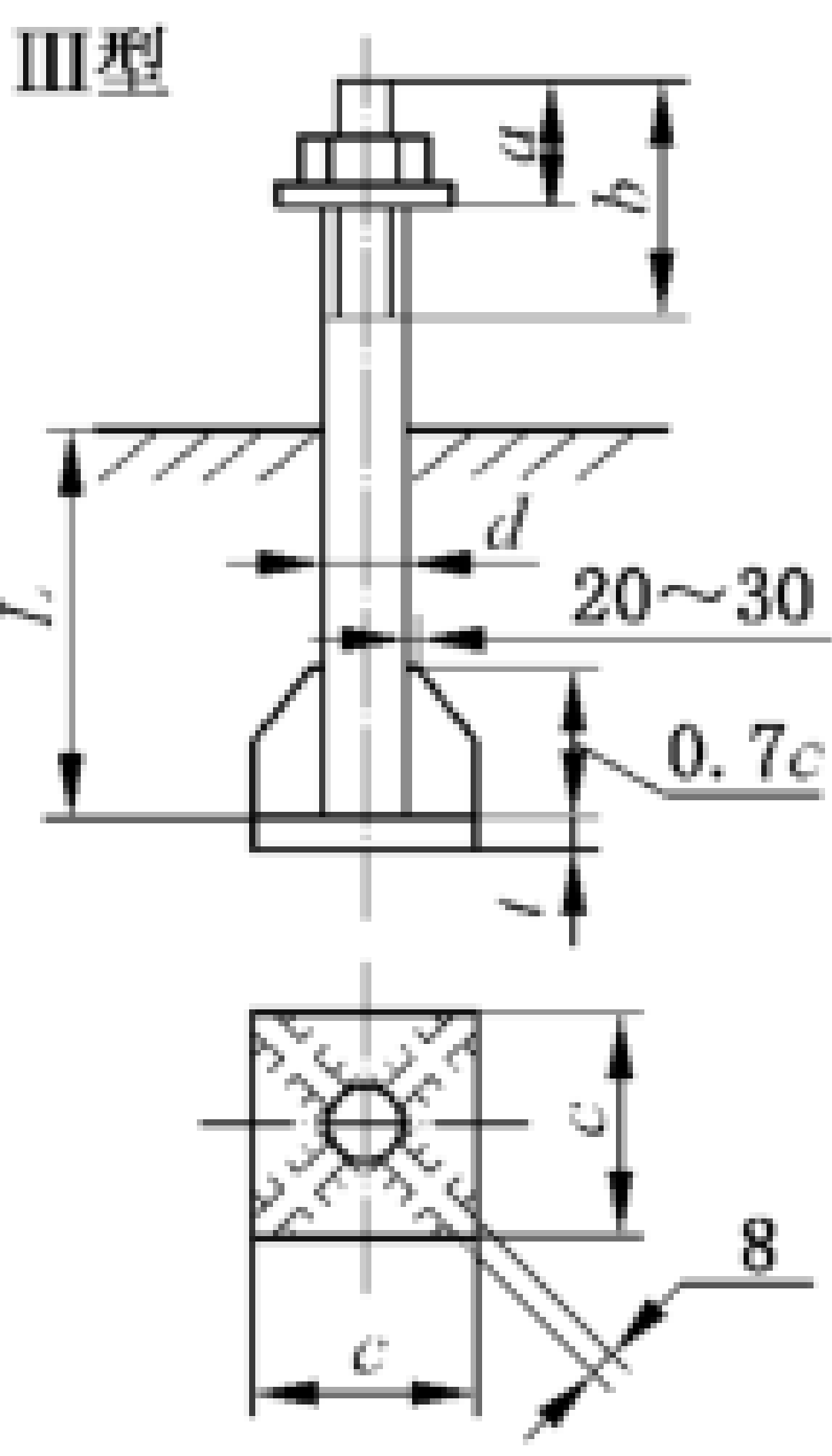
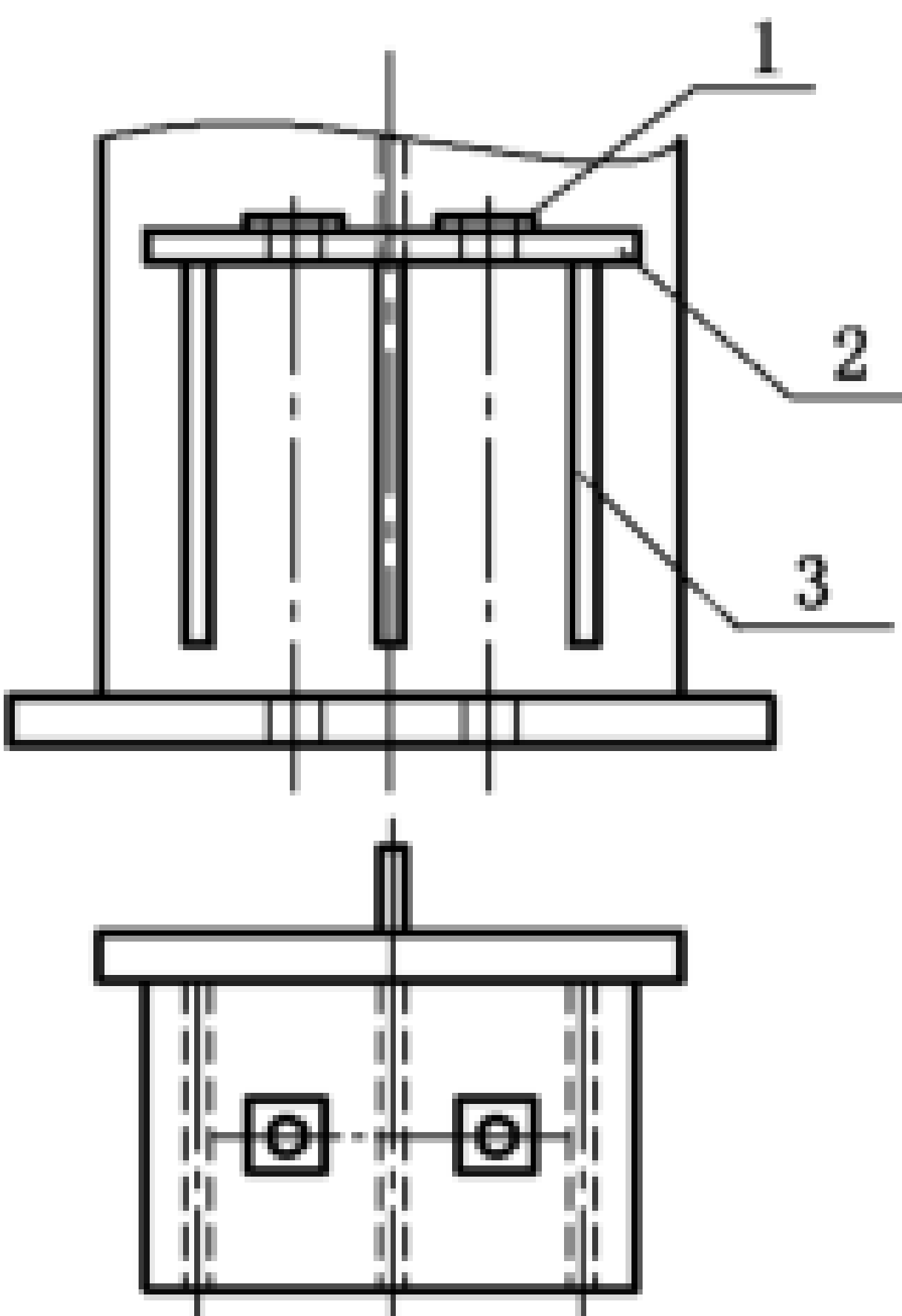
锚栓 直径 mm	锚栓 截面 有效 面积 cm ²	每个 锚栓 的受 拉承 载力 设计值 kN												
			单螺母		双螺母		锚固长度(L)/mm						锚板尺寸	
							I 型		II 型		III 型			
			a mm	b mm	a mm	b mm	基础混凝土强度等级						c mm	t mm
							C30	C40	C30	C40	C30	C40		
30	5.606	78.5	55	85	80	110	480	360	—	—	—	—	—	—
33	6.936	97.1	55	90	85	120	520	390	—	—	—	—	—	—
36	8.167	114.3	60	95	90	125	570	430	—	—	—	—	—	—
39	9.758	136.3	65	100	95	130	620	470	—	—	—	—	—	—
42	11.21	156.9	70	105	100	135	—	—	660	560	400	340	140	20
45	13.06	182.8	75	110	105	140	—	—	710	600	430	360	140	20
48	14.73	206.2	80	120	110	150	—	—	760	640	460	390	200	20
52	17.58	246.1	85	125	120	160	—	—	820	690	500	420	200	20
56	20.30	284.2	90	130	130	170	—	—	880	740	530	450	200	20
60	23.62	330.7	95	135	140	180	—	—	950	800	570	480	240	25
64	26.76	374.6	100	145	150	195	—	—	1 010	850	610	510	240	25
68	30.55	427.7	105	150	160	205	—	—	1 070	900	650	540	280	30
72	34.60	484.4	110	155	170	215	—	—	1 130	950	680	570	280	30
76	38.89	544.5	115	160	180	225	—	—	1 200	1 010	720	610	320	30
80	43.44	608.3	120	165	190	235	—	—	1 260	1 060	760	640	350	40
85	49.48	692.7	130	180	200	250	—	—	1 340	1 130	810	680	350	40
90	55.91	782.7	140	190	210	260	—	—	1 420	1 190	860	720	400	40
95	62.73	878.2	150	200	220	270	—	—	1 490	1 260	900	760	450	45
100	69.95	979.3	160	210	230	280	—	—	1 570	1 320	950	800	500	45

表 41 Q355 钢锚栓选用表

锚栓 直径 mm	锚栓 截面 有效 面积 cm ²	每个 锚栓 的受 拉承 载力 设计值 kN														
			单螺母		双螺母		锚固长度(L)/mm						锚板尺寸			
							Ⅰ 型		Ⅱ 型		Ⅲ 型					
			a mm	b mm	a mm	b mm	基础混凝土强度等级						c mm	t mm		
							C30	C40	C30	C40	C30	C40				
30	5.606	100.9	55	85	80	110	600	460	—	—	—	—	—	—		
33	6.936	124.8	55	90	85	120	660	510	—	—	—	—	—	—		
36	8.167	147.0	60	95	90	125	720	550	—	—	—	—	—	—		
39	9.758	175.6	65	100	95	130	780	600	—	—	—	—	—	—		
42	11.21	201.8	70	105	100	135	—	—	840	710	510	430	140	20		
45	13.06	235.1	75	110	105	140	—	—	900	760	540	460	140	20		
48	14.73	265.1	80	120	110	150	—	—	960	810	580	490	200	20		
52	17.58	316.4	85	125	120	160	—	—	1 040	880	630	530	200	20		
56	20.30	365.4	90	130	130	170	—	—	1 120	940	680	570	200	20		
60	23.62	425.2	95	135	140	180	—	—	1 200	1 010	720	610	240	25		
64	26.76	481.7	100	145	150	195	—	—	1 280	1 080	770	650	240	25		
68	30.55	549.9	105	150	160	205	—	—	1 360	1 140	820	690	280	30		
72	34.60	622.8	110	155	170	215	—	—	1 440	1 210	870	730	280	30		
76	38.89	700.0	115	160	180	225	—	—	1 520	1 280	920	770	320	30		
80	43.44	781.9	120	165	190	235	—	—	1 600	1 340	960	810	350	40		
85	49.48	890.6	130	180	200	250	—	—	1 700	1 430	1 020	860	350	40		
90	55.91	1 006	140	190	210	260	—	—	1 800	1 510	1 080	910	400	40		
95	62.73	1 129	150	200	220	270	—	—	1 900	1 600	1 140	960	450	45		
100	69.95	1 259	160	210	230	280	—	—	2 000	1 680	1 200	1 010	500	45		

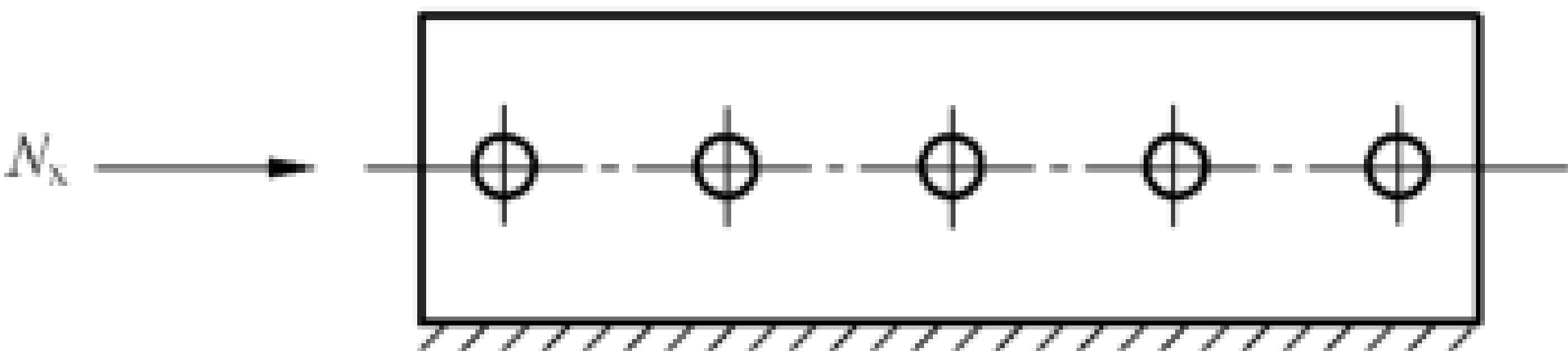
- e) 当柱有上拔力时应设置锚栓支承托座,锚栓支承托座包括支承加劲肋、支承托座顶板和垫板(见图 24)。锚栓支承托座按以下规定选取。



- 标引序号说明:
- 1 —— 垫板;
 - 2 —— 支承托座底板;
 - 3 —— 支承加劲肋。

图 24 锚栓支承托座

- 1) 支承托座顶板按锚栓所受轴力和支承加劲肋的数量、位置简化为简支梁或连续梁计算并选取托座顶板的厚度。托座顶板的厚度不宜小于 20 mm;
 - 2) 支承加劲肋根据托座顶板计算时所承受的支反力,按悬臂构件计算,选取肋板的高度和厚度,并决定焊缝高度,支承加劲肋高度不宜小于 300 mm,厚度不宜小于 10 mm;
 - 3) 垫板的厚度应按构造要求选用,不宜小于 10 mm,垫板的孔径较锚栓直径大 2 mm。
- f) 定位板一般放在柱腹板处,有时也放在翼缘外侧,按柱脚布置时的构造决定,螺栓数量和厚度按构造选取。一般放在腹板处的定位板厚度取 20 mm,使用 3 个螺栓。放在翼缘外侧的定位板厚度取 20 mm,每处使用 2 个螺栓。
- g) 抗剪螺栓和剪力板的确定:
- 1) 抗剪螺栓的数量按承受水平方向的剪力(N_x)确定;
 - 2) 剪力板的厚度及其与底板连接焊缝按图 25 所示计算简图进行计算。



- 标引序号说明:
- N_x ——水平剪力。

图 25 剪力板的计算简图

- 10.3.20 柱接头有焊接和高强度螺栓连接两种形式。
- 10.3.21 柱焊接接头翼缘和腹板采用全熔透焊缝,为保证焊接质量,坡口处应加衬垫。常用的型式见图 26。

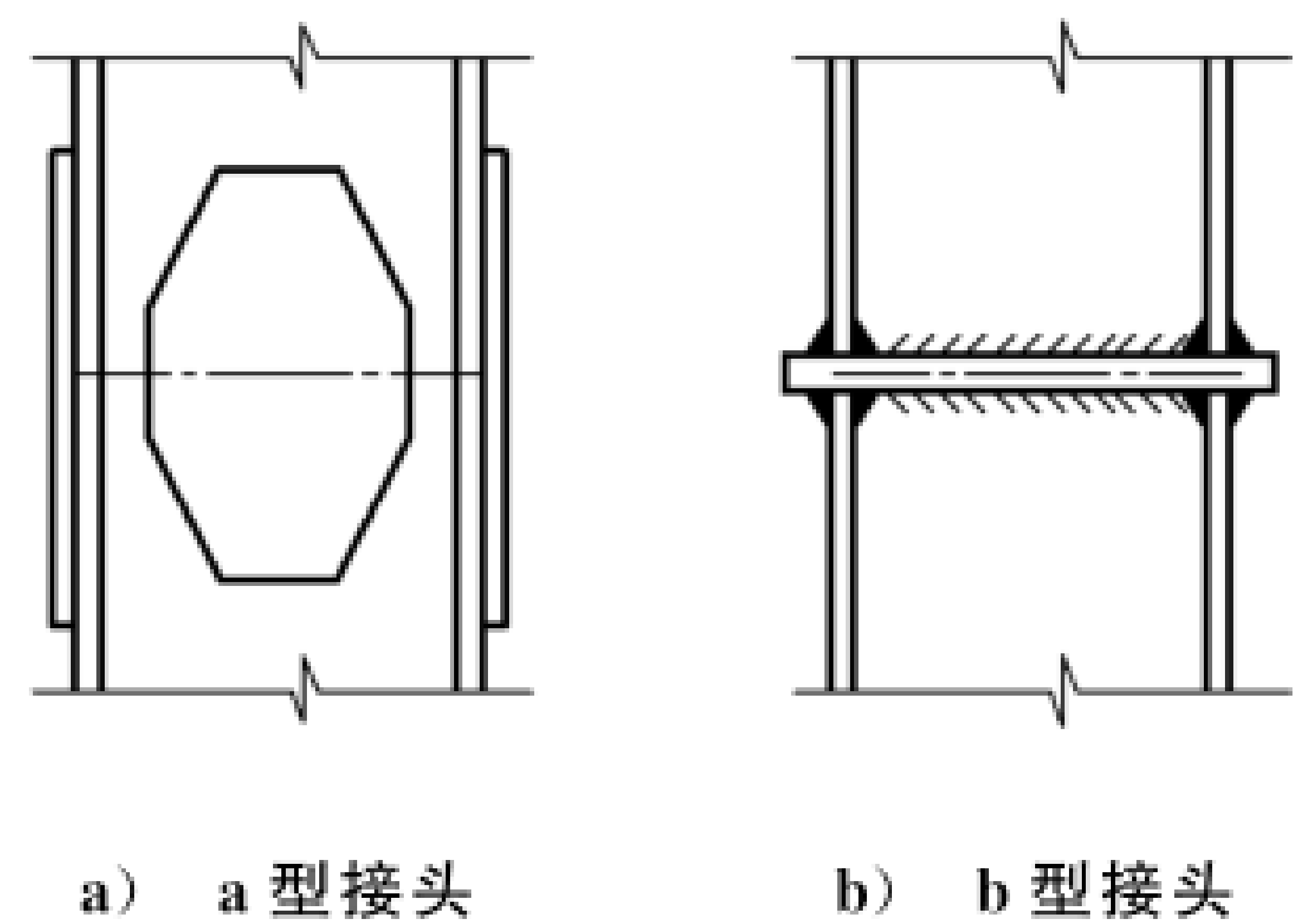


图 26 柱焊接接头

- a 型接头应开坡口焊接并设置加强板连接,加强板按构造选取。
- b 型接头采用端板焊接连接,适用于传递轴向力及弯矩较小的柱和截面外形尺寸变化的柱的连接,连接焊缝应对所承受的弯矩、剪力和轴力进行验算,端板的厚度不宜小于 20 mm。
- 10.3.22 对于同时承受较大弯矩、剪力和轴力的柱接头宜采用等强连接。
- 10.3.23 除等强连接外,高强度螺栓连接的轴心受压柱或压弯柱的柱接头(图 27),当采用端部承压的连接时,柱端应铣平。接触面的面积不应小于 70%柱截面的总面积,接头的连接板和高强度螺栓数量按 30%柱的总承载能力配置,当有上拔力和剪力作用时,接头应考虑上拔力和剪力的作用。

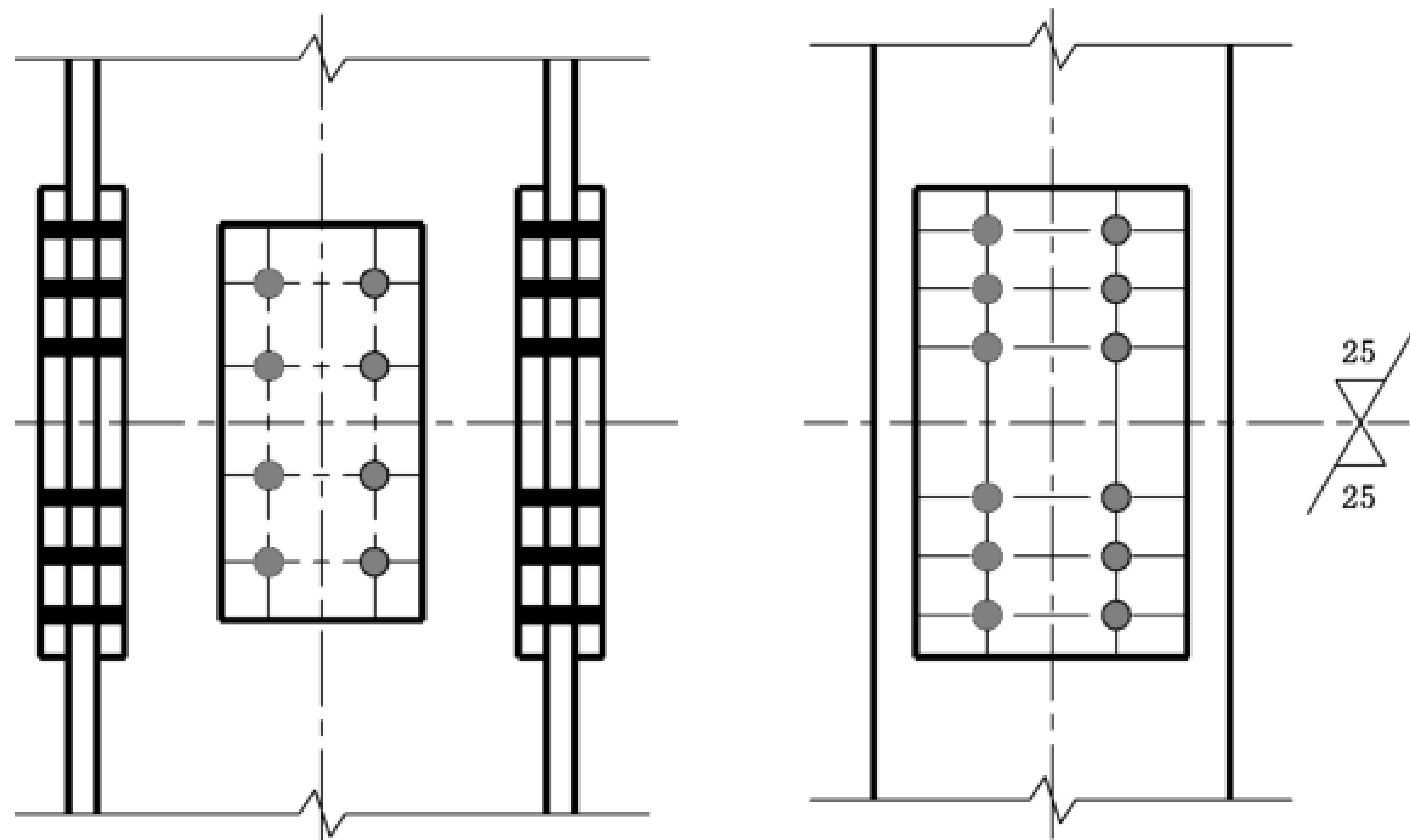


图 27 高强度螺栓柱接头

10.4 柱的构造及其他要求

- 10.4.1 在受有较大水平力处以及运输单元的端部应设置横隔板。
- 10.4.2 柱接头应靠近支撑点,宜设在主支撑平面或主梁以上 1.1 m~1.3 m。柱接头远离支撑点的距离不应超过计算长度的 20%,以避免截面转动对柱的承载力产生较大影响。
- 10.4.3 柱的接头处(包括与柱顶盖板和柱底板接触处)均宜端铣。端部铣平的允许偏差:铣平面的平面度 0.3 mm,铣平面对轴线的垂直度 1/1 500。要求顶紧的接头处,相接触的两个平面应保证有 70%的紧贴。用 0.3 mm 的塞尺检查,插入深度的面积之和不应大于总面积的 30%,边缘最大间隙不应大于 0.8 mm。否则应对接头进行修磨或填入非楔形低碳钢填片。
- 10.4.4 采用轧制钢板的柱底板,应对底板的平面度提出要求,以达到满意的接触面。当采用非轧制钢板做柱底板时,应铣平所有支承面。与基础接触的柱底板下表面无需铣平。
- 10.4.5 锚固螺栓在柱底板和支承托座顶板上的开孔,其孔径可取锚栓直径的 1.5 倍。

10.4.6 柱底板面积较大时,为保证底板下二次灌浆能紧密充满,可在底板上开设直径 80 mm 的排气孔,孔要靠近底板的中心,当需要开多个排气孔时,孔间的距离可采用 600 mm~800 mm。

11 支撑系统的设计

11.1 垂直支撑

11.1.1 垂直支撑布置时不应妨碍锅炉的运行和检修。

11.1.2 垂直支撑宜布置在承载较大的框架平面内。

11.1.3 垂直支撑应沿锅炉钢结构高度方向均匀、连续布置,使水平荷载以明确且最短的途径传到基础。

11.1.4 垂直支撑杆件布置应合理,宜避免梁和垂直支撑的内力过大,避免柱承受过大的上拔力。

11.1.5 垂直支撑斜杆宜采用双轴对称截面。

11.1.6 锅炉钢结构垂直支撑可采用中心支撑结构,主要形式有十字交叉斜杆、单斜杆、人字形斜杆或 V 形斜杆(图 28)。

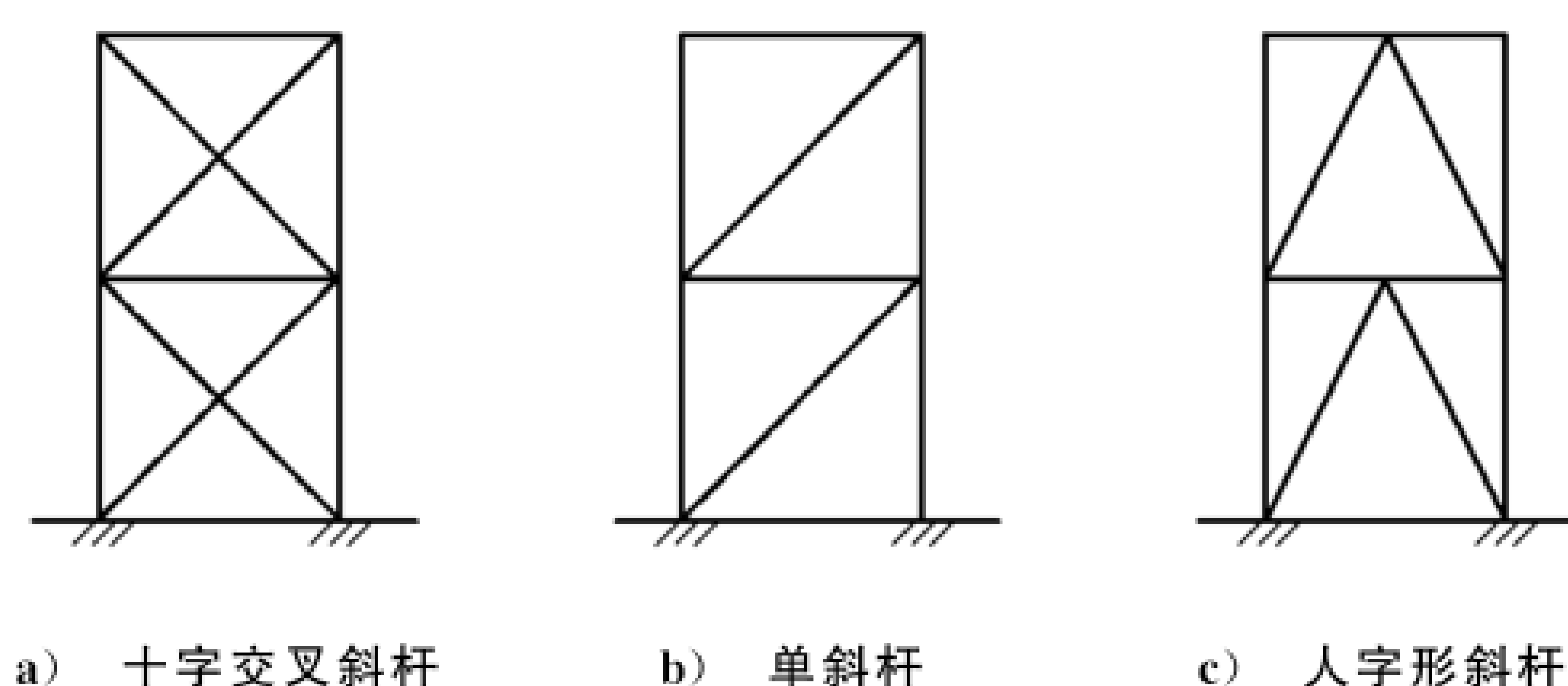


图 28 中心支撑

11.1.7 垂直支撑的工作点宜选取在梁高的中心线和柱中心线相交处;若柱两边梁高不等,工作点宜选取在具有较大荷载梁高的中心线和柱中心线相交处;若柱两边梁的荷载基本相等,则工作点宜选取在小梁高的中心线和柱中心线相交处。

11.1.8 锅炉钢结构的中心支撑,当按只能受拉的杆件设计时,其长细比不宜大于 200,当按既能受拉又能受压的杆件设计时,其长细比不宜大于 150。

11.1.9 采用人字形或 V 形斜杆时,与其相交的横梁应具有足够的侧向刚度,或在交汇处布置侧向支撑构件。

11.2 水平支撑

11.2.1 水平支撑宜布置在承载较大的平面内。

11.2.2 水平支撑之间的间距宜 12 m 左右,其标高应与锅炉运行检修平台、设备的布置等一并考虑,并与锅炉导向装置相协调。

11.2.3 水平支撑在计算时应考虑被支撑柱的支撑力作用,支撑力可按 10.2.6 取值。

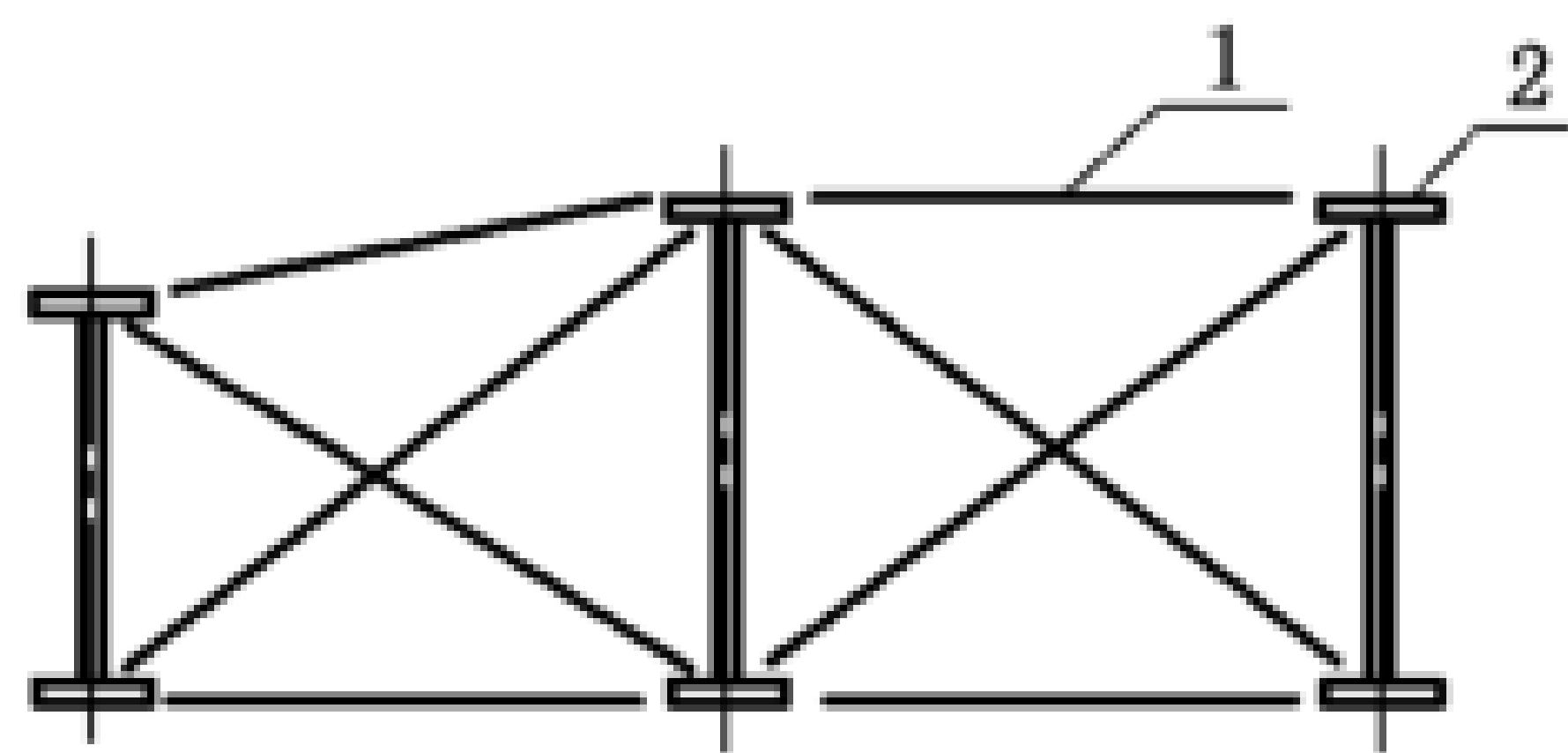
11.2.4 水平支撑当按只能受拉的杆件设计时,其长细比不宜大于 300,当按既能受拉又能受压的杆件设计时,其长细比不宜大于 200。

11.3 顶板的支撑系统

11.3.1 顶板的支撑系统由端部支撑、侧向支撑和顶部水平支撑组成。

11.3.2 顶板支撑系统的作用和要求如下。

- a) 端部支撑是为防止主梁端部截面扭转而设置的构造措施(图 29)。设计时可按梁支反力的 2% 为水平荷载计算端部支撑。

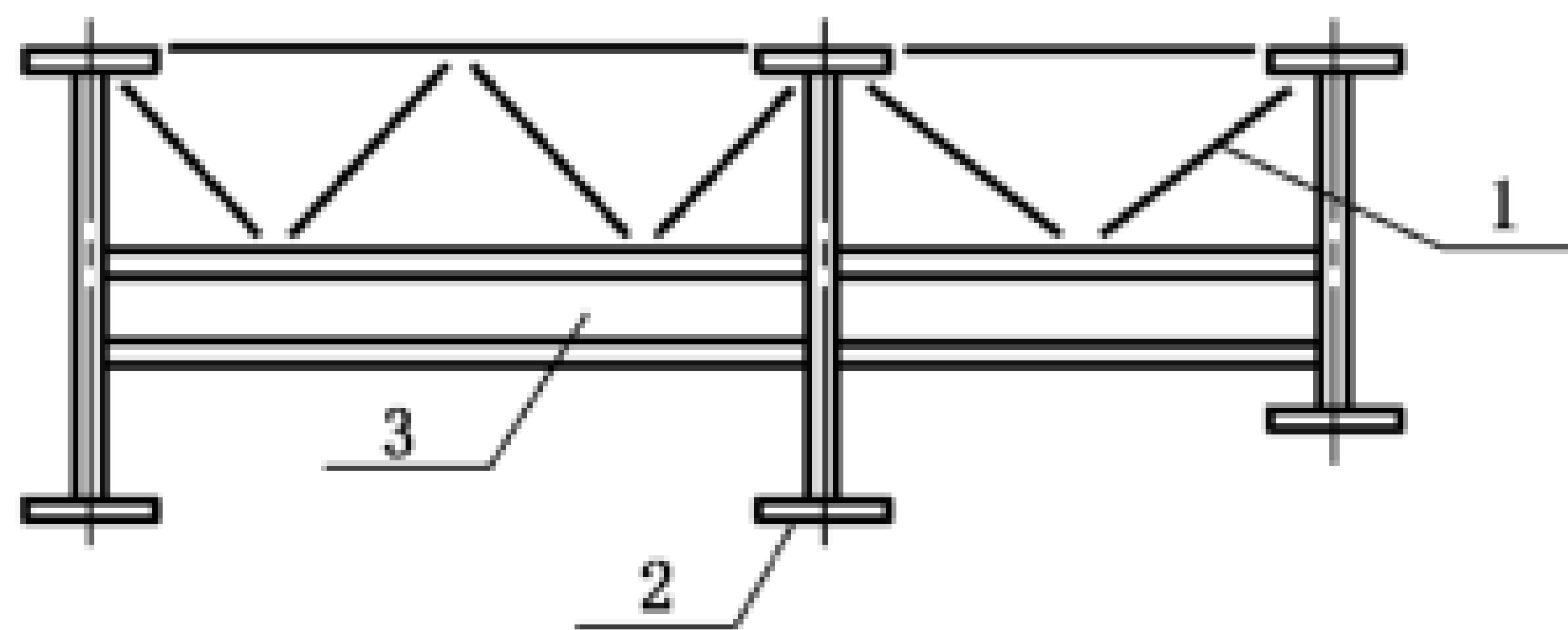


标引序号说明:

- 1——支撑;
2——主梁。

图 29 端部支撑

- b) 侧向支撑:当主梁受压翼缘的自由长度不能满足整体稳定要求时,为保证主梁整体稳定而设置的侧向支撑点,支撑的腹杆宜与主梁受压翼缘连接(图 30)。其支撑力可按公式(32)计算。

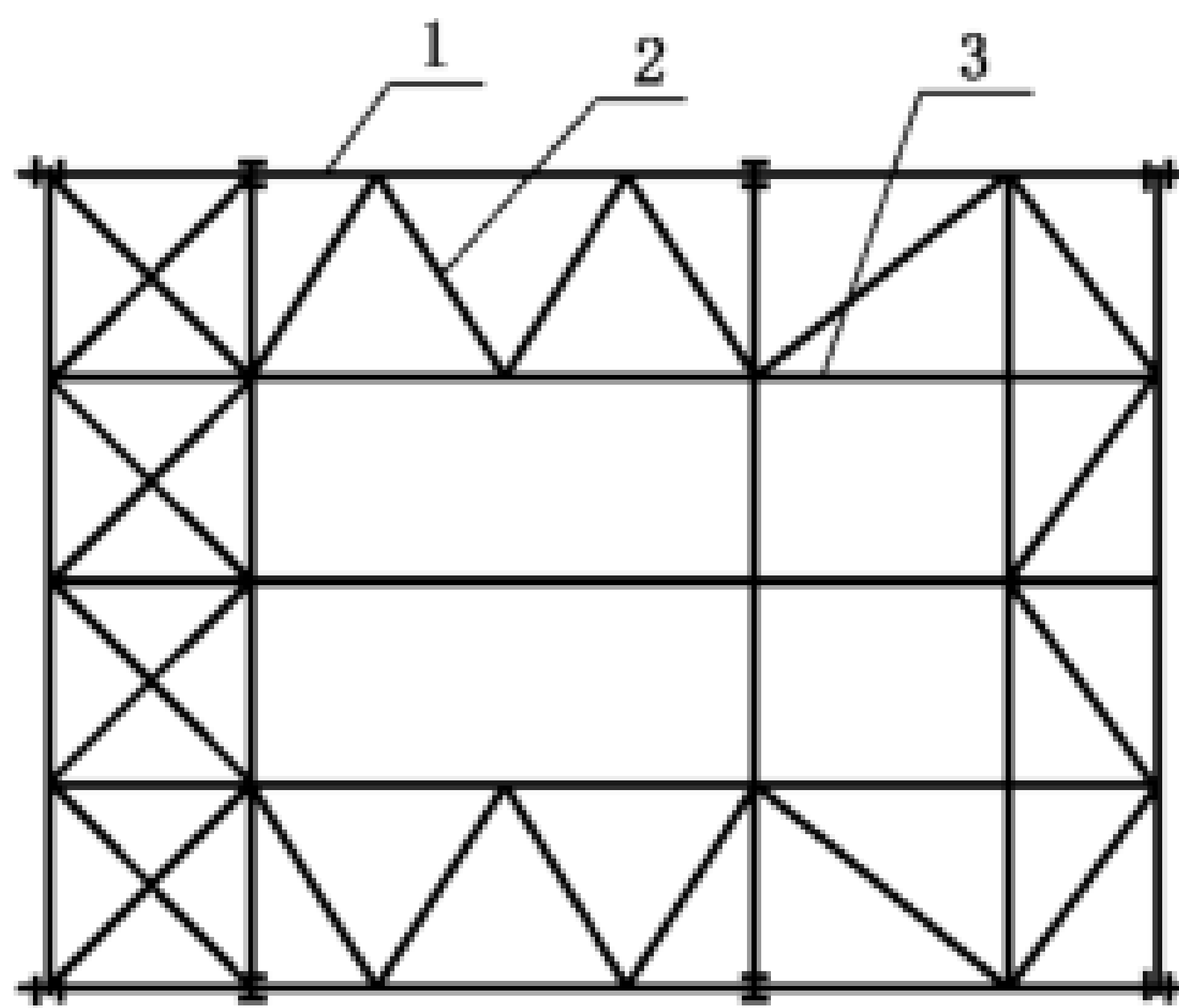


标引序号说明:

- 1——支撑;
2——主梁;
3——次梁。

图 30 侧向支撑

- c) 顶部水平支撑应具有足够的整体刚度并有效地传递水平力。顶部水平支撑的设置标高应接近锅炉受压部件的吊点主平面,当顶部水平支撑与主梁受压翼缘相连接时,也可作为主梁的侧向支撑点(图 31)。



标引序号说明:

- 1——主梁;
2——支撑;
3——次梁。

图 31 顶部水平支撑

11.4 桁架

11.4.1 桁架杆件计算应按如下规定进行。

- a) 无节间荷载作用的桁架杆件按轴心受力构件计算。
b) 有节间荷载作用的杆件应按拉弯或压弯构件计算。当荷载作用于节间时,应考虑局部弯矩。

可先把节间荷载分配在相邻的两个节点上,按节点荷载求出各杆件的轴心力,然后计算节间荷载引起的局部弯矩。连续的弦杆受节间荷载作用时,腹杆仍按轴心受力考虑。弦杆按弹性支撑上的连续梁计算。

11.4.2 分析桁架内力时,可视节点为铰接。对用节点板连接的桁架,当杆件为 H 形、箱形刚度较大的截面,且在桁架平面内的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。

11.4.3 桁架杆件的计算长度应按如下规定采用:

- a) 确定桁架弦杆和单系腹杆(用节点板与弦杆连接)的长细比时,其计算长度(l_0)应按表 42 采用。

表 42 桁架弦杆和单系腹杆的计算长度(l_0)

项 次	弯曲方向	弦 杆	腹 杆	
			支座斜杆和支座竖杆	其他腹杆
1	在桁架平面内	l	l	$0.8l$
2	在桁架平面外	l_1	l	l

注 1: l 为构件的几何长度(节点中心间距离); l_1 为桁架弦杆侧向支撑点之间的距离。

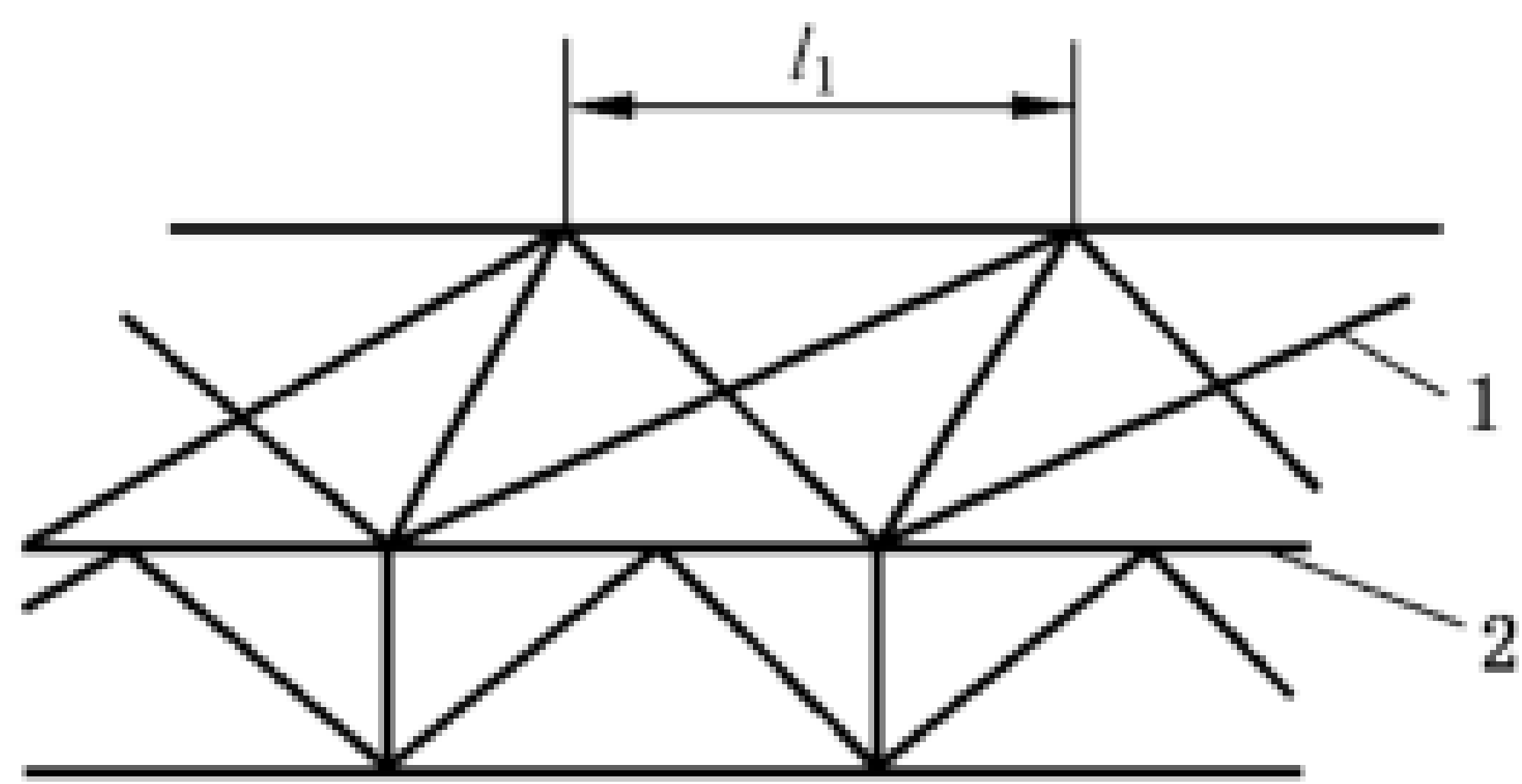
注 2: 无节点板的腹杆计算长度在任意平面内均取其几何长度(钢管结构除外)。

- b) 当桁架弦杆侧向支撑点之间的距离为节点长度的 2 倍(图 32)且两节间的弦杆轴心压力不同时,则该弦杆在桁架平面外的计算长度(l_0)应按公式(87)计算(但不应小于 $0.5l_1$):

$$l_0 = l_1 \left(0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1} \right) \dots\dots\dots (87)$$

式中:

- l_0 ——弦杆在桁架平面外的计算长度,单位为毫米(mm);
- l_1 ——桁架弦杆侧向支撑点之间的距离,单位为毫米(mm);
- N_1 ——较大的压力,单位为牛(N),计算时取正值;
- N_2 ——较小的压力或拉力,单位为牛(N),计算时压力取正值,拉力取负值。



标引序号说明:

- 1 ——支撑;
- 2 ——桁架;
- l_1 ——桁架弦杆侧向支撑点之间的距离。

图 32 弦杆轴心压力在侧向支撑点间有变化的桁架简图

- c) 桁架再分式腹杆体系的受压主斜杆及 K 形腹杆体系的竖杆等杆件,在桁架平面外的计算长度也应按公式(87)确定(受拉主斜杆仍取 l_1);在桁架平面内的计算长度则取节点中心间距离。
- d) 确定桁架交叉腹杆的长细比时,在桁架平面内的计算长度应取节点中心到交叉点间的距离,在桁架平面外的计算长度,当两交叉杆长度相等时,应按下列规定按公式(88)~公式(91)采用:
 - 1) 压杆:

相交另一杆受压,两杆截面相同并在交叉点均不中断:

$$l_0 = l \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{N_0}{N} \right)} \dots\dots\dots (88)$$

相交另一杆受压,此另一杆在交叉点中断但以节点板搭接:

$$l_0 = l \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{12} \frac{N_0}{N}} \dots\dots\dots (89)$$

相交另一杆受拉,两杆截面相同并在交叉点均不中断:

$$l_0 = \max \left(l \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{3}{4} \frac{N_0}{N} \right)}, 0.5l \right) \dots\dots\dots (90)$$

相交另一杆受拉,此拉杆在交叉点中断但以节点板搭接:

$$l_0 = \max \left(l \sqrt{\left(1 - \frac{3}{4} \frac{N_0}{N} \right)}, 0.5l \right) \dots\dots\dots (91)$$

当此拉杆连续而压杆在交叉点中断但以节点板搭接,若 $N_0 \geq N$ 或拉杆在桁架平面外的抗弯刚度 $EI_y \geq \frac{3N_0 l^2}{4\pi^2} \left(\frac{N}{N_0} - 1 \right)$ 时,取 $l_0 = 0.5l$ 。

式中:

- l ——节点中心间距离(交叉点不作为节点考虑),单位为毫米(mm);
- N ——所计算杆的内力,为绝对值,单位为牛(N);
- N_0 ——相交另一杆的内力,为绝对值,单位为牛(N)。当两杆均受压时,取 $N_0 \leq N$,两杆截面应相同。

- 2) 拉杆应取 $l_0 = l$ 。
- 3) 当确定交叉腹杆中单角钢杆件斜平面内的长细比时,计算长度应取节点中心至交叉点的距离。
- 4) 当交叉腹杆为单边连接的单角钢时,应按 GB 50017—2017 中 7.6.2 的规定确定杆件等效长细比。

11.4.4 桁架杆件的长细比不宜超过下列数值:压杆 200;拉杆 300。

11.4.5 用填板连接而成的双角钢和双槽钢截面构件,可按实腹式构件计算,填板间距离不宜超过下列规定:受压构件 $40i$;受拉部件 $80i$ 。 i 为截面的回转半径(图 33),应按下列规定取用:

- a) 双角钢和双槽钢截面[图 33a)、图 33b)],取一个角钢或一个槽钢对与填板平行的形心轴的回转半径;
- b) 十字形截面[图 33c)],取一个角钢的最小回转半径;
- c) 受压构件的两个侧向支撑点之间的填板数不应少于 2 个。

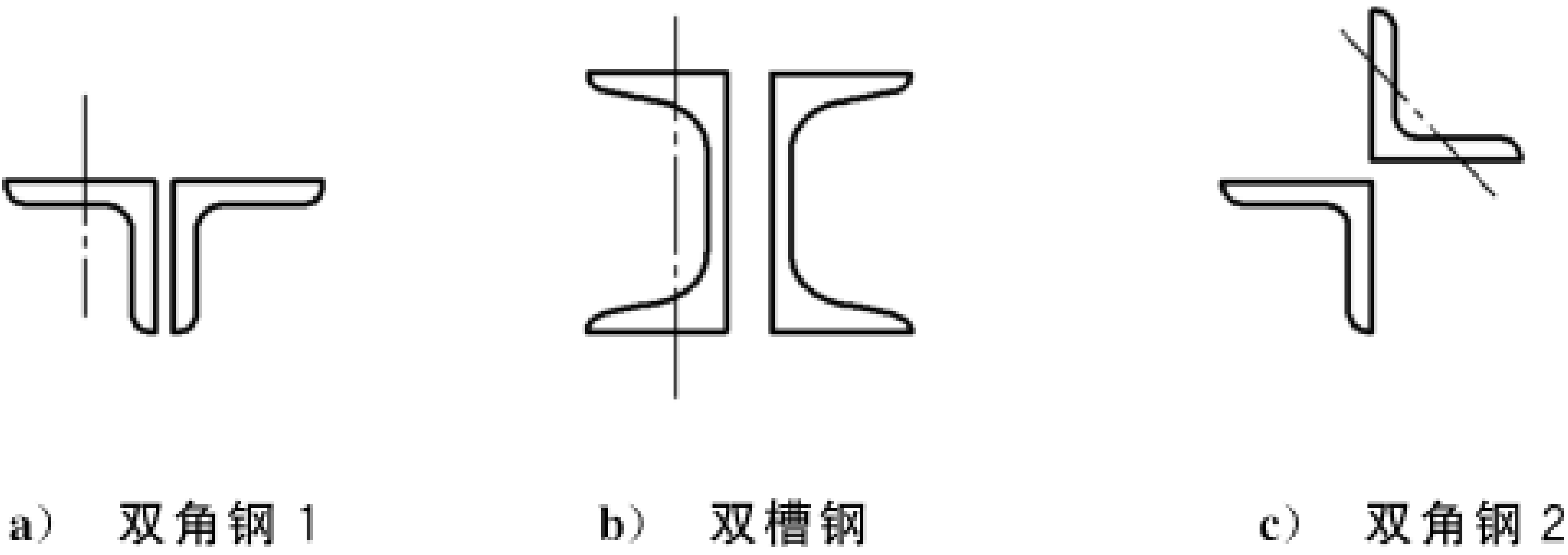


图 33 计算截面回转半径时的轴线示意图

11.4.6 桁架的支撑宽度宜取 $l/10 \sim l/12$ (l 为跨度)。斜腹杆与弦杆的夹角应在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间。节点板边缘与腹杆轴线之间的夹角应不小于 15° 。

11.4.7 焊接桁架应以杆件重心线为轴线,螺栓连接的桁架采用靠近杆件重心线的螺栓准线为轴线,在节点处各轴线应交于一点。

- 11.4.8 节点板的厚度应根据所连杆件内力大小计算确定,但不应小于 6 mm。
- 11.4.9 桁架杆件在用节点板连接时,弦杆与腹杆、腹杆与腹杆之间的间隙不应小于 20 mm,相邻角焊缝焊趾间净距不应小于 5 mm。
- 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 5 mm。

12 连接设计

12.1 焊接连接计算

12.1.1 全焊透对接焊缝或对接与角接组合焊缝的强度计算:

- a) 在对接和 T 形连接中,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(92)计算:

$$\sigma = \frac{N}{l_w t} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w \dots\dots\dots (92)$$

式中:

σ ——正应力,单位为牛每平方米(N/mm²);

N ——轴心拉力或压力,单位为牛(N);

l_w ——焊缝长度,单位为毫米(mm);

t ——在对接接头中为连接件的较小厚度,在 T 形接头中为腹板的厚度,单位为毫米(mm);

f_c^w ——对接焊缝的抗压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²);

f_t^w ——对接焊缝的抗拉强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm²)。

- b) 在对接和 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。但在同时受有较大正应力和剪应力处,折算应力应按公式(93)计算:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1 f_t^w \dots\dots\dots (93)$$

式中:

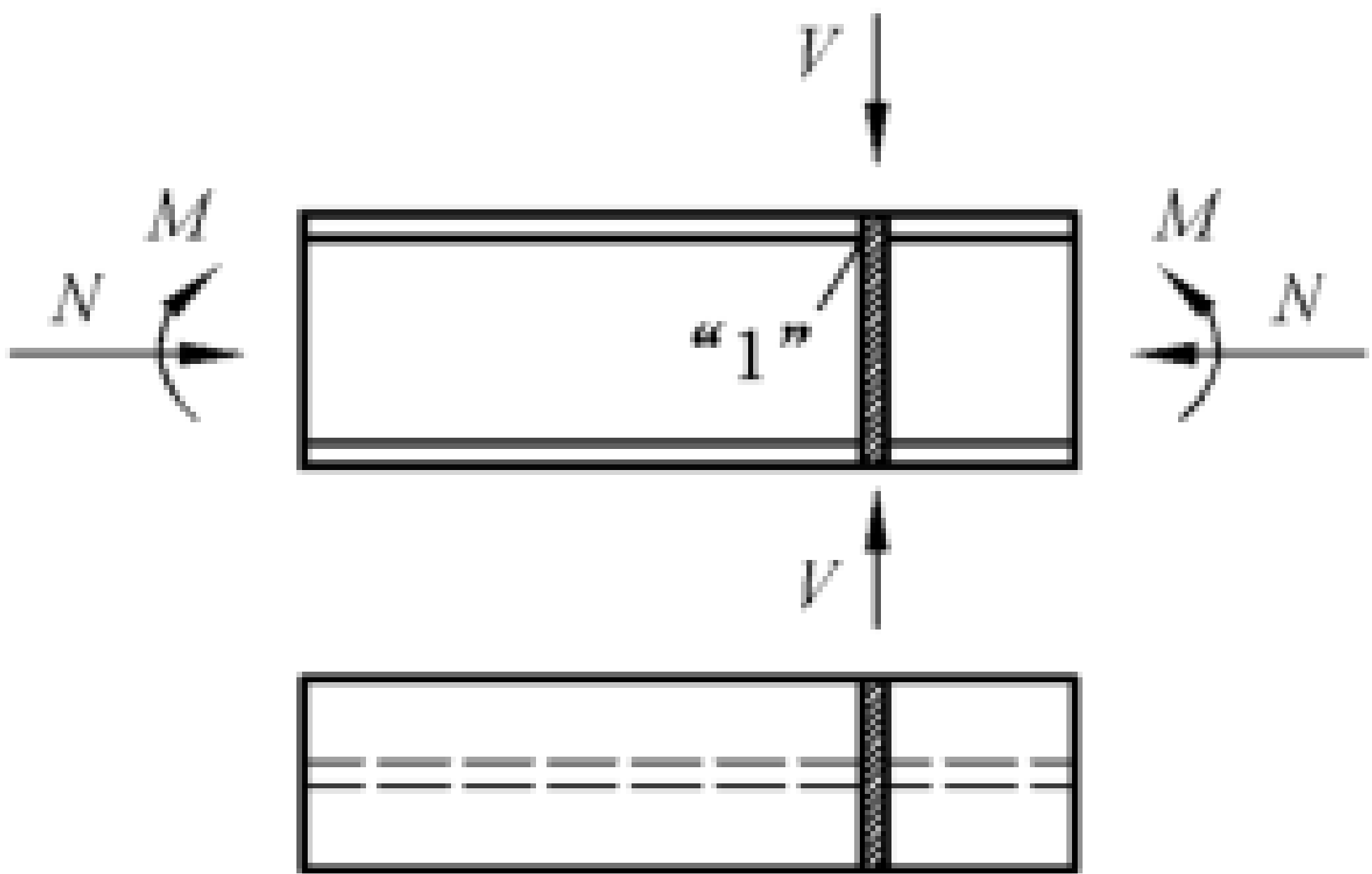
τ ——剪应力,单位为牛每平方米(N/mm²)。

12.1.2 在对接焊接连接中,各类情况的对接焊缝强度计算公式应按表 43 采用。

表 43 对接焊缝连接的强度计算公式

项次	连接形式及受力情况	计算内容	计算公式	备注
1		拉应力 或 压应力	$\sigma = \frac{N}{l_w t} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w$	
2		正应力 剪应力	$\sigma = \frac{6M}{l_w^2 t} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w$ $\tau = \frac{1.5V}{l_w t} \leq f_v^w$	

表 43 对接焊缝连接的强度计算公式（续）

项次	连接形式及受力情况	计算内容	计算公式	备注
3		正应力 剪应力 折算应力	$\sigma = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_w} \leq f_t^w \text{ 或 } f_c^w$ $\tau = \frac{VS_w}{I_w t} \leq f_v^w$ $\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} =$ $\sqrt{\left(\frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_{w1}}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{VS_{w1}}{I_w t}\right)^2} \leq 1.1f_t^w$	在正应力和剪应力都较大的地方需要计算折算应力,如图中的1点处。
<p>注: N ——作用于连接处的轴心力,单位为牛(N);</p> <p>M ——作用于连接处的弯矩,单位为牛毫米(N·mm);</p> <p>V ——作用于连接处的剪力,单位为牛(N);</p> <p>l_w ——焊缝的计算长度,单位为毫米(mm);</p> <p>t ——连接件的较小厚度,单位为毫米(mm);</p> <p>A_w ——焊缝截面的面积,单位为平方毫米(mm²);</p> <p>W_w ——焊缝的截面模量,单位为三次方毫米(mm³);</p> <p>S_w ——所求剪应力处以上的焊缝截面对中性轴的面积矩,单位为三次方毫米(mm³);</p> <p>I_w ——焊缝截面的惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);</p> <p>W_{w1} ——1点处焊缝截面模量,单位为三次方毫米(mm³);</p> <p>S_{w1} ——1点处焊缝截面的面积矩,单位为三次方毫米(mm³)。</p>				

12.1.3 直角角焊缝(图 34)的强度计算:

- a) 在通过焊缝形心的拉力、压力或剪力作用下,按公式(94)和公式(95)计算:
正面角焊缝(作用力垂直于焊缝长度方向):

$$\sigma_f = \frac{N}{h_e l_w} \leq \beta_f f_f^w \dots\dots\dots (94)$$

侧面角焊缝(作用力平行于焊缝长度方向):

$$\tau_f = \frac{N}{h_e l_w} \leq f_f^w \dots\dots\dots (95)$$

- b) 在各种力综合作用下, σ_f 和 τ_f 共同作用处,按公式(96)计算:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} \leq f_f^w \dots\dots\dots (96)$$

式中:

- 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,单位为牛每平方毫米(N/mm²);
- τ_f ——按焊缝有效截面计算,沿焊缝长度方向的剪应力,单位为牛每平方毫米(N/mm²);
- h_e ——直角角焊缝的计算厚度,单位为毫米(mm);当两焊件间隙 $b \leq 1.5$ mm 时, $h_e = 0.7h_f$;
1.5 mm < $b \leq 5$ mm 时, $h_e = 0.7(h_f - b)$, h_f 为焊脚尺寸,单位为毫米(mm);
- l_w ——角焊缝的计算长度,单位为毫米(mm),对每条焊缝取其实际长度减去 $2h_f$;
- f_f^w ——角焊缝的强度设计值,单位为牛每平方毫米(N/mm²);
- β_f ——正面角焊缝的强度设计值增大系数,对承受静力荷载和间接承受动力荷载的结构, $\beta_f = 1.22$ 。

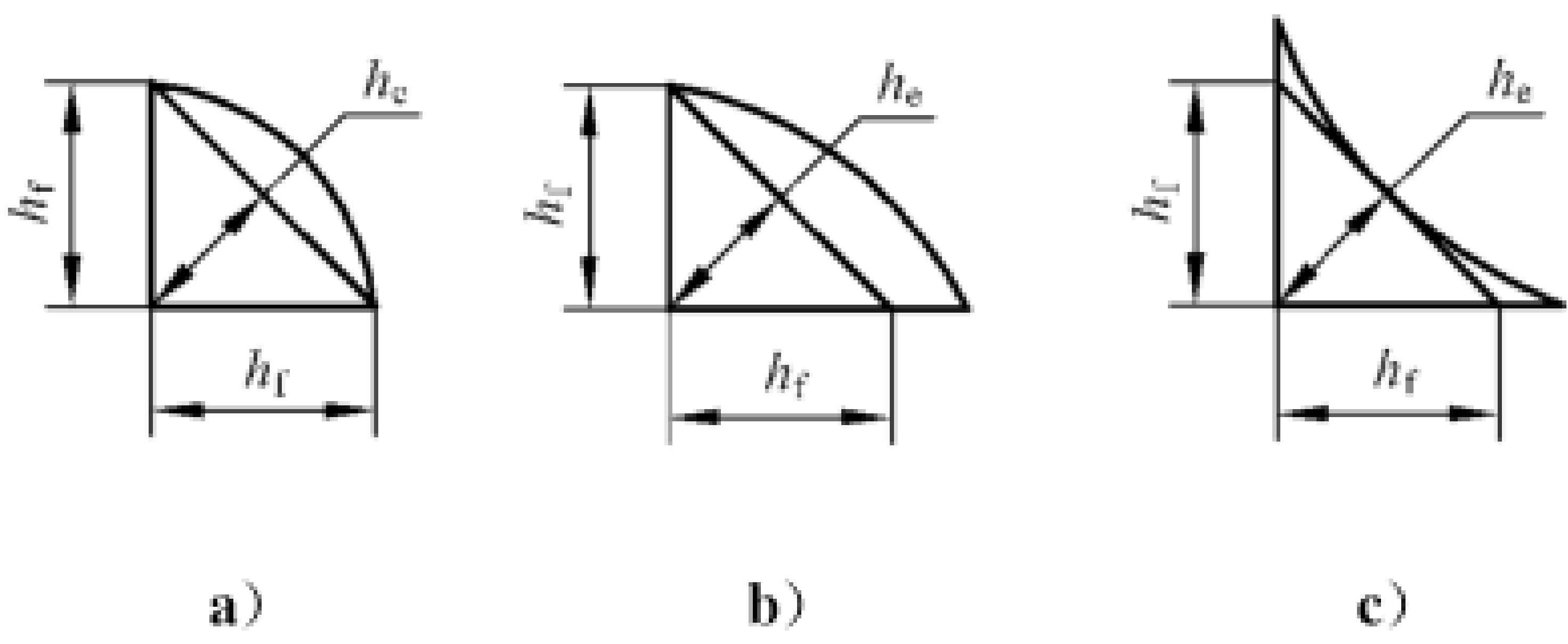


图 34 直角角焊缝截面

12.1.4 在直角角焊缝连接中,各类情况的直角角焊缝强度计算公式应按表 44 采用。

表 44 直角角焊缝连接的强度计算公式

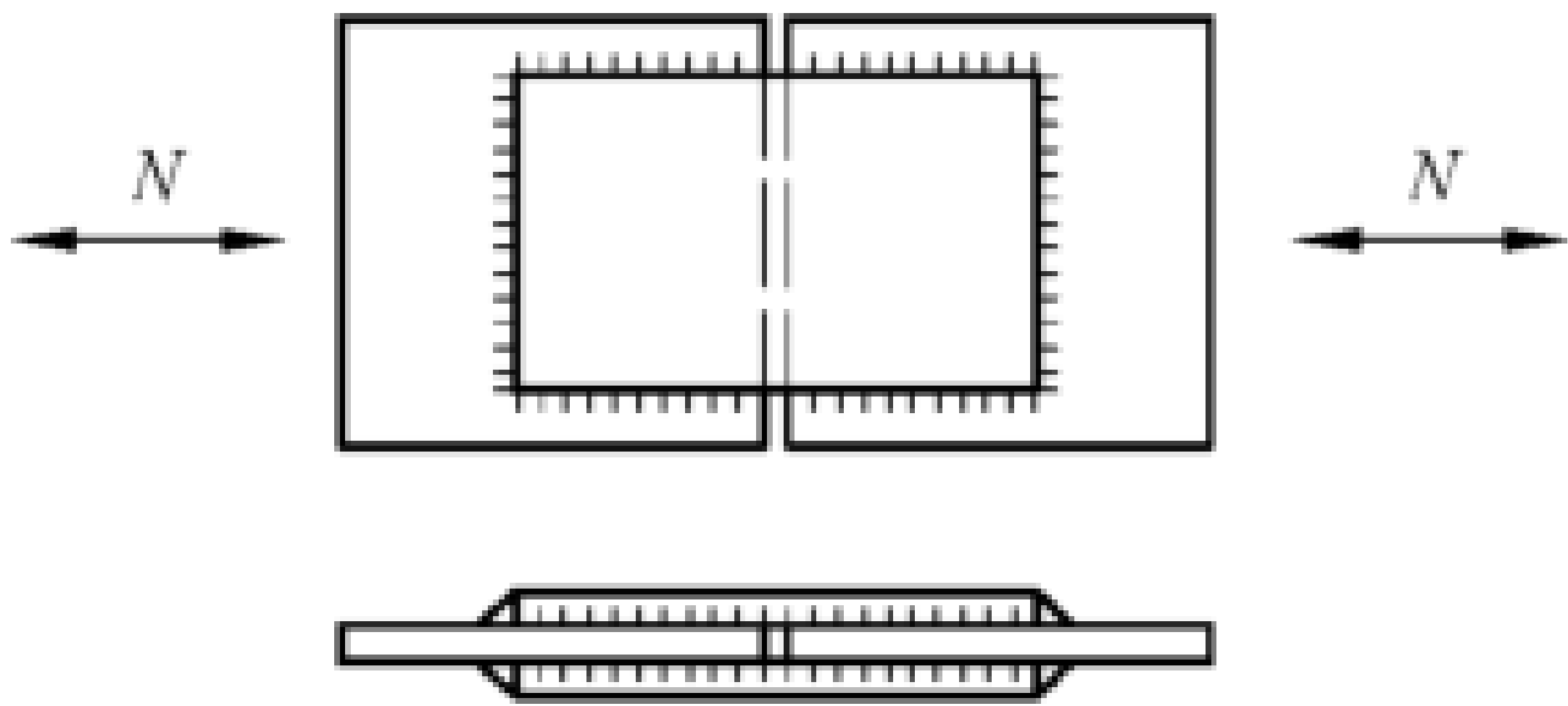
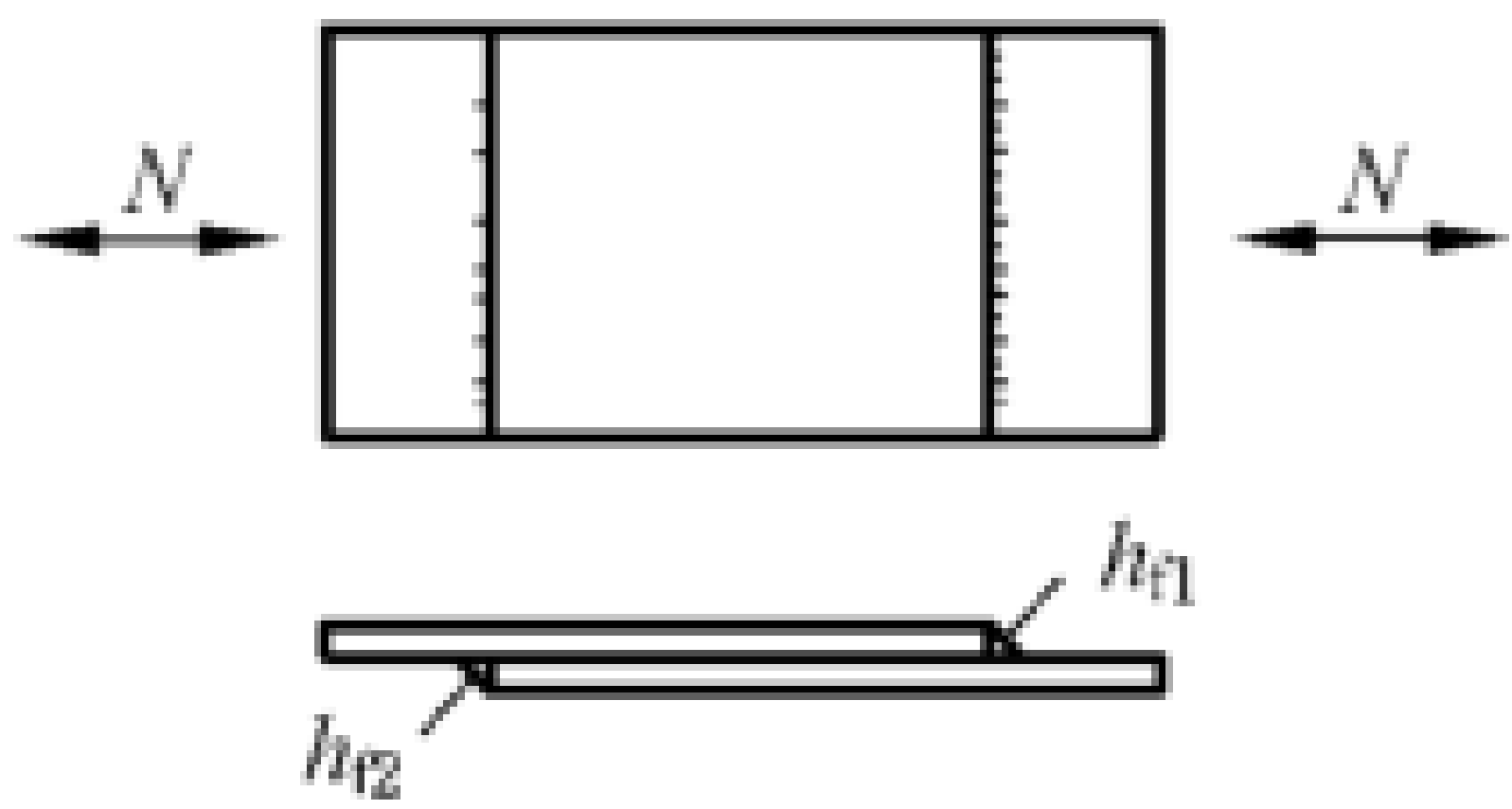
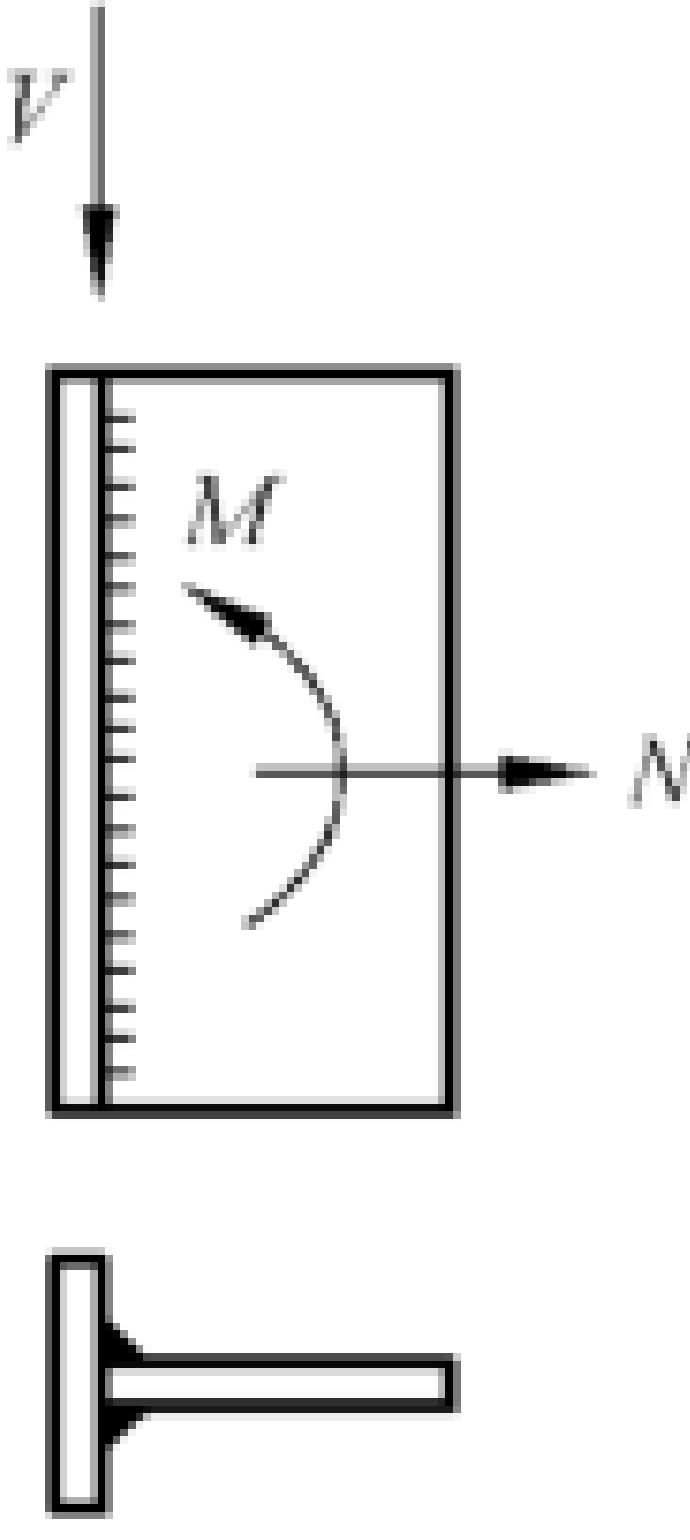
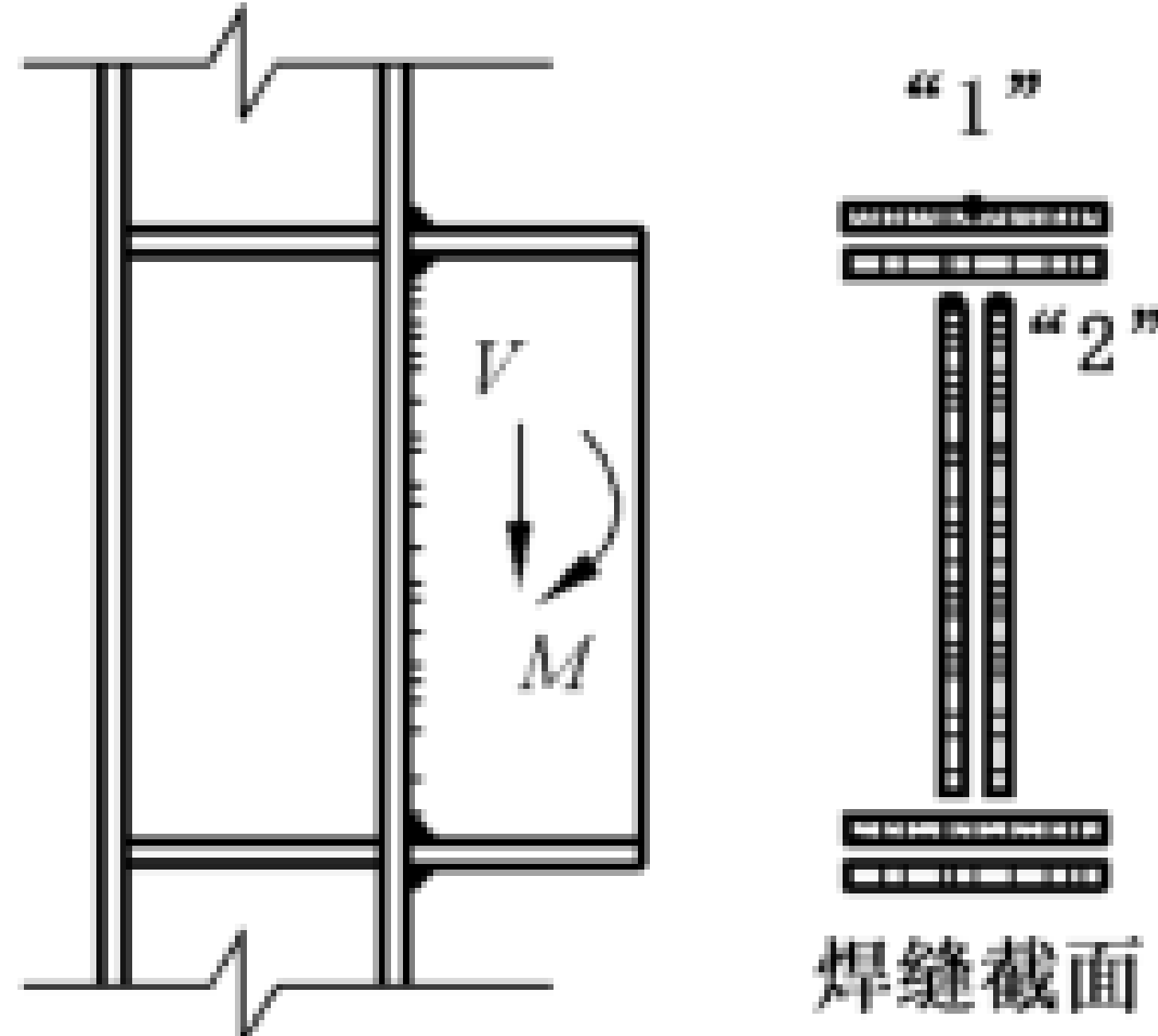
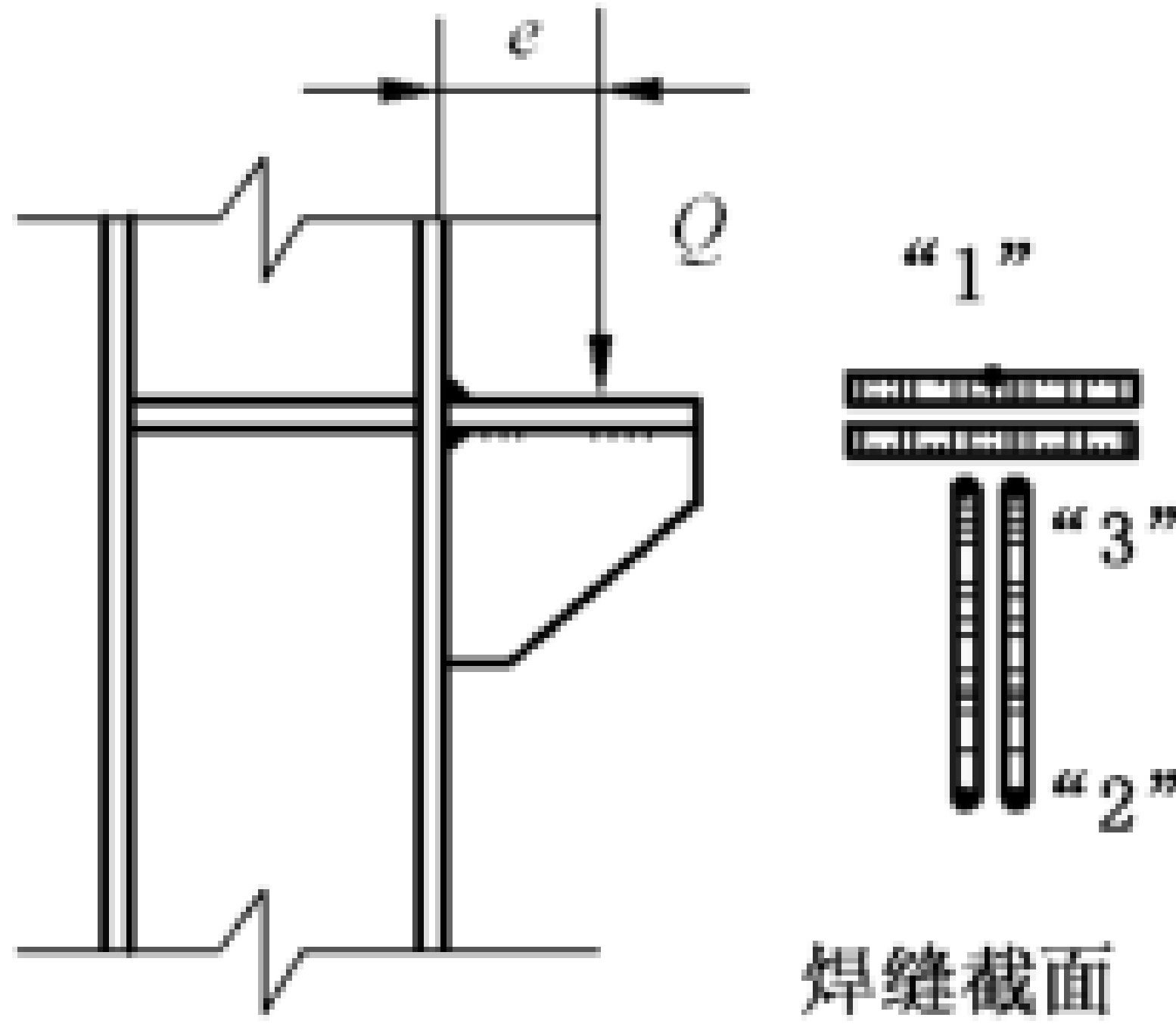
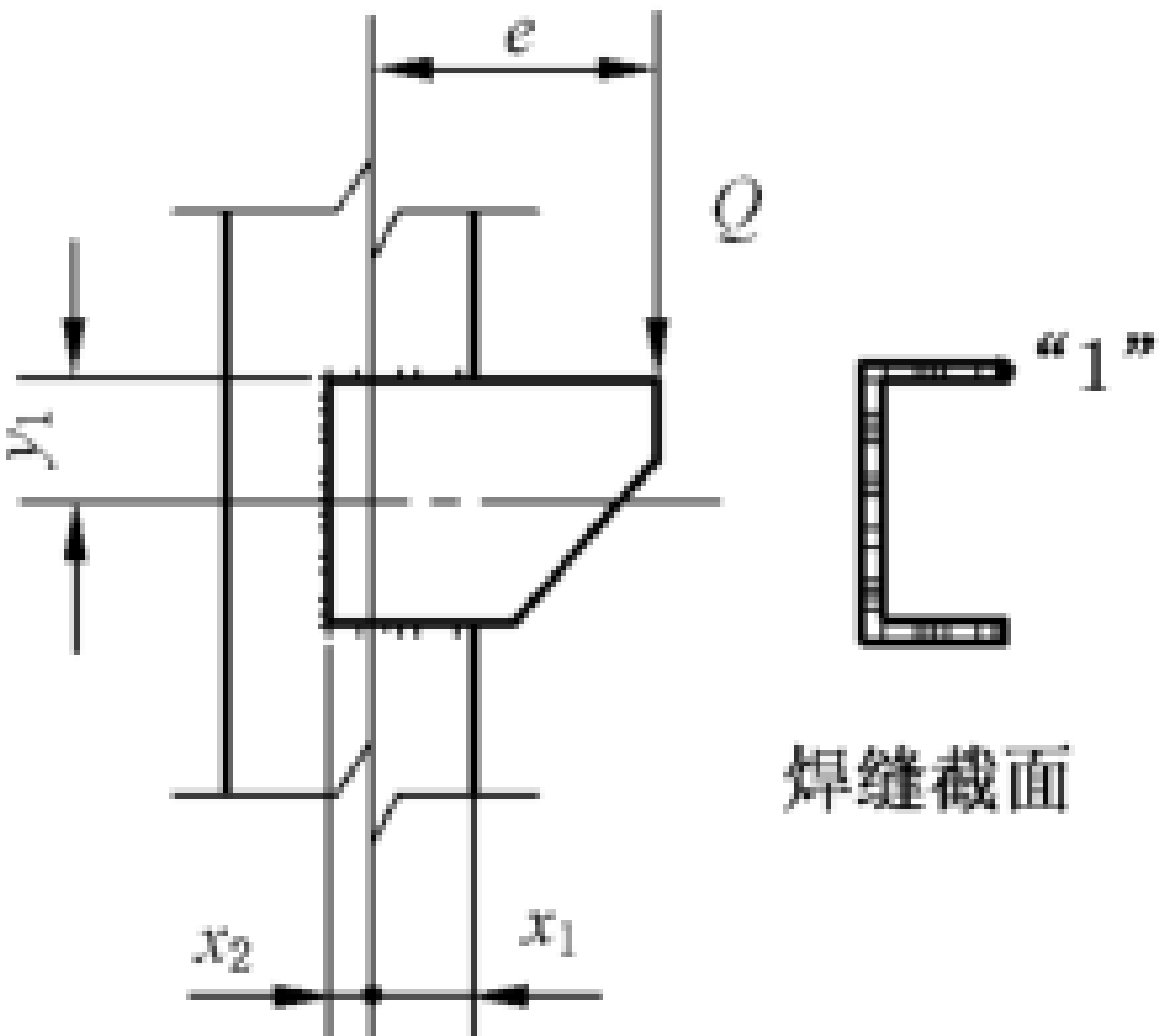
项次	连接形式及受力情况	计算公式
1		$\frac{N}{0.7h_f\sum l_w} \leq f_f^w$
2		$\frac{N}{0.7(h_{f1} + h_{f2})l_w} \leq \beta_t f_f^w$
3		$\left[\frac{1}{\beta_f^2} \left(\frac{N}{2 \times 0.7h_f l_w} + \frac{6M}{2 \times 0.7h_f l_w^2} \right)^2 + \left(\frac{V}{2 \times 0.7h_f l_w} \right)^2 \right]^{0.5} \leq f_f^w$
4		$\begin{aligned} \text{焊缝“1”点处: } \frac{M}{W_{w1}} &\leq \beta_t f_f^w \\ \text{焊缝“2”点处: } \sqrt{\frac{1}{\beta_f^2} \left(\frac{M}{W_{w2}} \right)^2 + \left(\frac{V}{A'_w} \right)^2} &\leq f_f^w \end{aligned}$

表 44 直角角焊缝连接的强度计算公式（续）

项次	连接形式及受力情况	计算公式
5		<div>焊缝“1”点处：$\frac{Qe}{W_{w1}} \leq \beta_f f_f^w$</div> <div>焊缝“2”点处：$\sqrt{\frac{1}{\beta_f^2} \left(\frac{Qe}{W_{w2}} \right)^2 + \left(\frac{Q}{A'_w} \right)^2} \leq f_f^w$</div> <div>焊缝“3”点处：$\sqrt{\frac{1}{\beta_f^2} \left(\frac{Qe}{W_{w3}} \right)^2 + \left(\frac{Q}{A'_w} \right)^2} \leq f_f^w$</div>
6		<div>焊缝“1”点处：$\sqrt{\frac{1}{\beta_f^2} \left(\frac{Q}{A_w} + \frac{Qex_1}{I_{wp}} \right)^2 + \left(\frac{Qey_1}{I_{wp}} \right)^2} \leq f_f^w$</div>
<p>注：$h_f(h_{f1}, h_{f2})$——角焊缝的较小焊角尺寸(图 34)(mm)； $\sum l_w$——连接一边的焊缝计算长度(mm)； W_{w1}——焊缝有效截面对 1 点的抵抗矩(mm³)； W_{w2}——焊缝有效截面对 2 点的抵抗矩(mm³)； W_{w3}——焊缝有效截面对 3 点的抵抗矩(mm³)； A'_w——腹板连接焊缝(竖直焊缝)的有效截面面积(mm²)； A_w——焊缝有效截面面积(mm²)； I_{wp}——焊缝有效截面对其形心 O 的惯性矩(mm⁴)，其值为 $I_{wp} = I_{wpX} + I_{wpY}$； I_{wpX}——焊缝有效截面对其形心轴 X 的惯性矩(mm⁴)； I_{wpY}——焊缝有效截面对其形心轴 Y 的惯性矩(mm⁴)； β_f——正面角焊缝的设计强度增大系数，对承受静力荷载和间接承受动力荷载的结构 $\beta_f = 1.22$。</p>		

12.1.5 斜角角焊缝和部分焊透的对接焊缝和 T 形对接与角接组合焊缝的强度，应符合 GB 50017—2017 中的相关规定。

12.2 焊接连接的要求

12.2.1 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。

12.2.2 焊缝的质量等级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确定，锅炉钢结构的焊缝质量等级应按 NB/T 47043 的规定执行。

12.2.3 在设计中不应任意加大焊缝，避免焊缝立体交叉和在一处集中大量焊缝，同时焊缝的布置宜对称于构件形心轴。

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，交叉点的距离不应小于 200 mm。

12.2.4 焊接结构是否需要采用焊前预热或焊后热处理等特殊措施，应根据钢材性质、焊件厚度、焊接

工艺、施焊时的气温以及结构的性能要求等综合因素来确定。

12.2.5 对接焊缝的坡口形式,宜根据板厚和施工条件按 GB 50661 的规定选用。

12.2.6 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(图 35)。

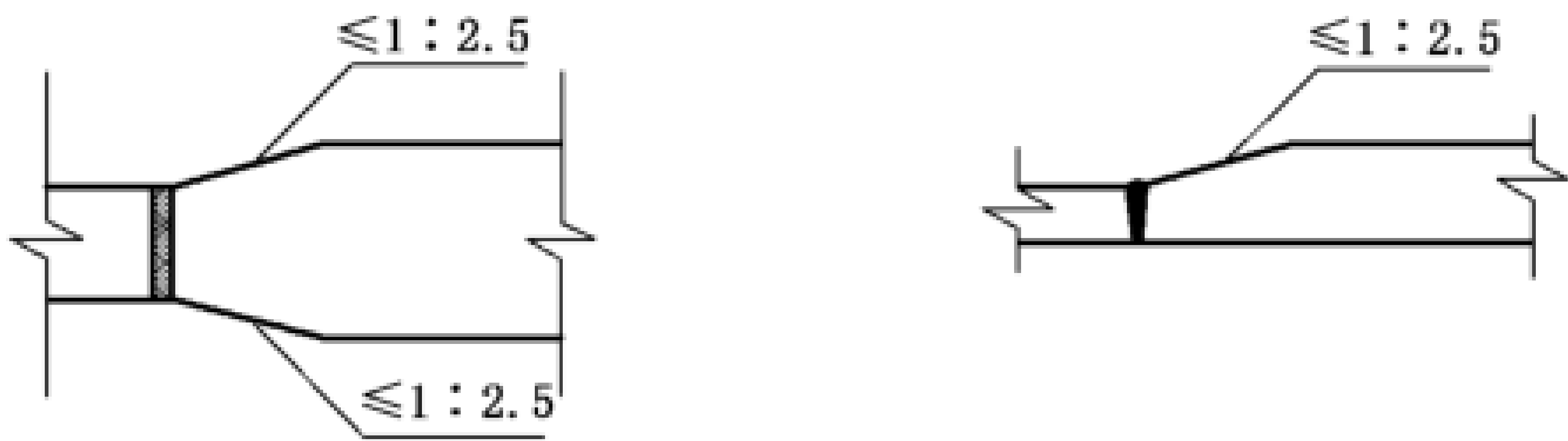


图 35 不同宽度或厚度钢板拼接示例

12.2.7 对接与角接组合焊缝和 T 形接头的全焊透坡口焊缝应采用角焊缝加强,加强焊脚尺寸不应大于坡口焊接件厚度的 1/2,但最大值不应超过 10 mm。

12.2.8 角焊缝的尺寸应符合下列要求:

- a) 角焊缝的最小计算长度应为其焊脚尺寸(h_f)的 8 倍,且不应小于 40 mm,焊缝计算长度应为扣除引弧、收弧长度后的焊缝长度;
- b) 角焊缝最小焊脚尺寸应符合表 45 的规定;
- c) 搭接焊缝沿板件(厚度为 t)边缘的角焊缝最大焊脚尺寸,当板厚(t)不大于 6 mm 时,应为母材厚度;当板厚(t)大于 6 mm 时,应为母材厚度减去 1 mm~2 mm。

表 45 角焊缝最小焊脚尺寸

单位为毫米

母材厚度(t)	角焊缝最小焊脚尺寸(h_f)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 12$	5
$12 < t \leq 20$	6
$t > 20$	8

采用不预热的非低氢焊接方法进行焊接时, t 等于焊接接头中较厚件厚度,宜采用单道焊缝;采用预热的非低氢焊接方法或低氢焊接方法进行焊接时, t 等于焊接接头中较薄件厚度。
焊缝尺寸不要求超过焊接接头中较薄件厚度的情况除外。

12.2.9 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应小于 $10h_f$ 或 50 mm,其净距不应大于 $15t$ (对受压构件)或 $30t$ (对受拉构件), t 为较薄焊件的厚度。

12.2.10 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 $t > 12$ mm)或 200 mm(当 $t \leq 12$ mm), t 为较薄焊件的厚度。

12.2.11 在搭接连接中,搭接长度不应小于焊件较小厚度的 5 倍,并不应小于 25 mm。

12.2.12 角焊缝的搭接焊接连接中,焊缝计算长度(l_w)不宜超过 $60h_f$,当焊缝计算长度(l_w)超过 $60h_f$ 时(不应超过 $180h_f$),焊缝的承载力设计值应乘以折减系数 α_f , $\alpha_f = 1.5 - l_w / (120h_f)$ 且不小于 0.5。

12.2.13 杆件与节点板的连接焊缝(图 36),宜采用两面侧焊,也可用三面围焊,对角钢杆件允许采用 L 形围焊,所有围焊的转角处应连续施焊。

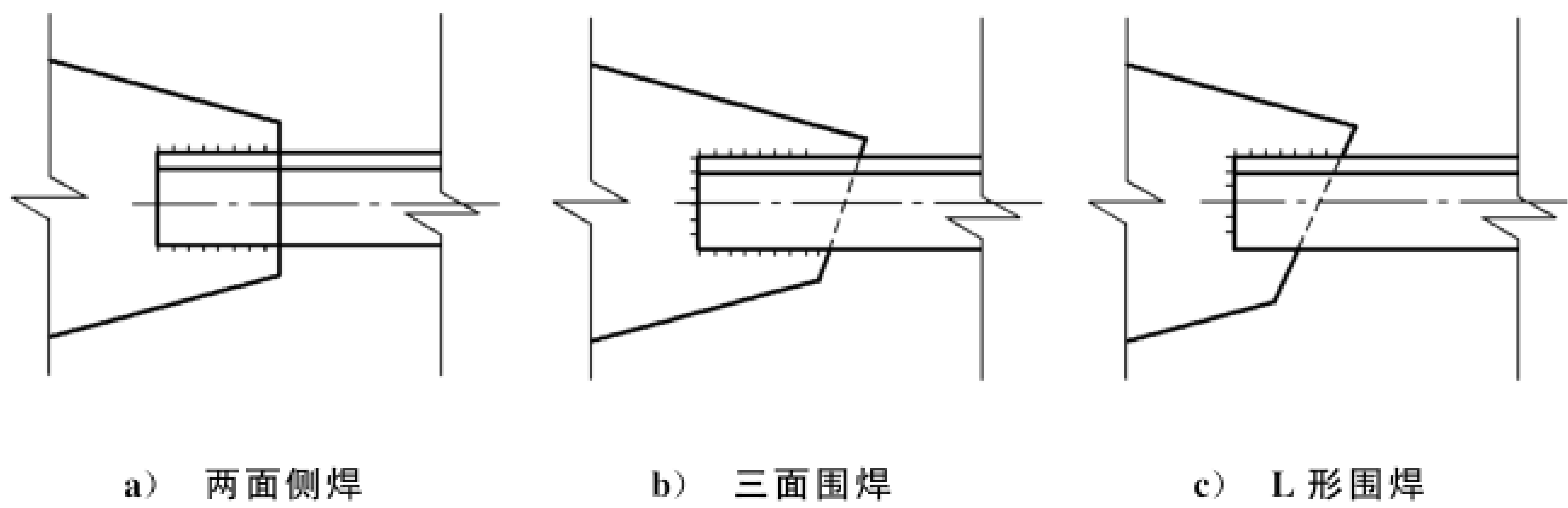


图 36 杆件与节点板的焊缝连接

12.2.14 当角焊缝的端部在构件转角处作长度为 $2h_f$ 的绕角焊时,转角处应连续施焊。

12.2.15 塞焊和槽焊焊缝的尺寸、间距和焊缝高度应符合 GB 50661 的规定。

12.2.16 焊接结构应考虑焊接所需的操作空间。

12.3 高强度螺栓连接计算

12.3.1 高强度螺栓摩擦型连接,每个高强度螺栓的抗剪承载力设计值(N_v^b)应按公式(97)计算:

$$N_v^b = 0.9k n_f \mu P \dots\dots\dots (97)$$

式中:

- N_v^b ——每个高强度螺栓的抗剪承载力设计值,单位为牛(N);
- k ——孔型系数,标准孔取 1.0;大圆孔取 0.85;内力与槽孔方向垂直时取 0.7;内力与槽孔方向平行时取 0.6;
- n_f ——传力摩擦面数目;
- μ ——摩擦面的抗滑移系数,应按表 46 采用,涂层连接面的抗滑移系数应符合 JGJ 82 的规定;
- P ——每个高强度螺栓的预拉力,单位为牛(N),应按表 47 采用。

表 46 摩擦面的抗滑移系数(μ)

在连接处构件接触面的处理方法	构件的钢级			
	Q235	Q355	Q390	Q420
喷硬质石英砂或铸钢棱角砂	0.45	0.45	0.45	0.45
抛丸(喷砂)	0.40	0.40	0.40	0.40
钢丝刷清除锈或未经处理的干净轧制表面	0.30	0.35	0.35	0.35
当连接构件采用不同钢级, μ 值应按相应的较低值取用。 钢丝刷锈方向应与受力方向垂直。				

表 47 每个高强度螺栓的预拉力(P)

单位为千牛

螺栓性能等级	螺栓公称直径 mm				
	M20	M22	M24	M27	M30
8.8S	125	150	175	230	280
10.9S	155	190	225	290	355

12.3.2 高强度螺栓摩擦型连接,在螺栓杆轴方向受拉时,每个高强度螺栓的抗拉承载力设计值(N_t^b)应按公式(98)计算:

$$N_t^b = 0.8P \dots\dots\dots (98)$$

12.3.3 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,其承载力应按公式(99)计算:

$$\frac{N_v}{N_v^b} + \frac{N_t}{N_t^b} \leqslant 1 \dots\dots\dots (99)$$

式中:
 N_v ——每个高强度螺栓所承受的剪力,单位为牛(N);
 N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N);
 N_t ——每个高强度螺栓所承受的拉力,单位为牛(N);
 N_t^b ——每个高强度螺栓的受拉承载力设计值,单位为牛(N)。

12.3.4 在 高强度螺栓摩擦型连接中,每个 10.9S 级高强度螺栓(一个摩擦面、标准孔)的受剪承载力可按表 48 选用。

表 48 摩擦型连接每个 10.9S 级高强度螺栓(一个摩擦面、标准孔)的受剪承载力

单位为千牛

序号	螺栓公称直径 mm	预拉力(P)	摩擦面抗滑移系数(μ)				
			0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
1	M20	155	34.87	41.85	48.82	55.80	62.77
2	M22	190	42.75	51.30	59.85	68.40	76.95
3	M24	225	50.62	60.75	70.87	81.00	91.12
4	M27	290	65.25	78.30	91.35	104.40	117.45
5	M30	355	79.87	95.85	111.82	127.80	143.77
当高强度螺栓连接采用不同孔型时,其抗剪承载力设计值应按表中数值乘以相应的孔型系数。 当高强度螺栓连接同时承受剪切和螺栓杆轴方向的外拉力时,其抗剪承载力设计值应按表中数值乘以 $(P - 1.25N_1)/P$ 予以降低。							

12.3.5 高强度螺栓承压型连接应用于承受静力荷载和间接承受动力荷载的结构。承压型连接的高强度螺栓预拉力(P)应与摩擦型连接高强度螺栓相同,不要求连接部位摩擦面的抗滑移系数值,连接处构件接触面应清除油污及浮锈等,保持接触面清洁或按要求涂装。

12.3.6 在杆轴方向受拉的连接中,每个承压型连接高强度螺栓的承载力设计值(N_t^b)应按公式(100)计算:

$$N_t^b = A_e^b f_t^b \dots\dots\dots (100)$$

式中:
 A_e^b ——螺栓螺纹处的有效截面面积,单位为平方毫米(mm^2),可按表 49 选取;
 f_t^b ——螺栓的抗拉强度设计值,单位为牛每平方毫米(N/mm^2)。

表 49 螺栓螺纹处的有效截面面积

单位为平方毫米

螺栓规格	M20	M22	M24	M27	M30
A_e^b	245	303	353	459	561

12.3.7 在受剪承压型连接中,每个承压型连接高强度螺栓的受剪承载力设计值(N_v^b)应按公式(101)和公式(102)计算,并取受剪和承压承载力设计值中的较小者。

受剪承载力设计值:

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad \dots\dots\dots (101)$$

承压承载力设计值:

$$N_c^b = d(\sum t) f_c^b \quad \dots\dots\dots (102)$$

式中:

- n_v ——受剪面数目;
- d ——螺栓公称直径,单位为毫米(mm),在公式(102)中,当剪切面在螺纹处时,应按螺纹有效截面面积(A_e^b)计算受剪承载力设计值;
- $\sum t$ ——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,单位为毫米(mm);
- f_v^b ——螺栓抗剪强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2);
- f_c^b ——螺栓承压强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2)。

12.3.8 同时承受剪力和杆轴方向拉力的承压型连接的高强度螺栓,应按公式(103)和公式(104)计算。

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (103)$$

$$N_v \leq \frac{N_c^b}{1.2} \quad \dots\dots\dots (104)$$

式中:

- N_v ——每个高强度螺栓所承受的剪力,单位为牛(N);
- N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N);
- N_t ——每个高强度螺栓所承受的拉力,单位为牛(N);
- N_t^b ——每个高强度螺栓的受拉承载力设计值,单位为牛(N);
- N_c^b ——每个高强度螺栓的承压承载力设计值,单位为牛(N)。

12.3.9 在构件的节点处或拼接接头一端,当高强度螺栓沿受力方向的连接长度(l_1)大于 $15d_0$ 时,高强度螺栓的承载力设计值应乘以折减系数 $1.1 - l_1/(150d_0)$ 。当 l_1 大于 $60d_0$ 时,折减系数为 0.7, d_0 为相应的标准孔孔径, l_1 为两端栓孔间距离。

12.3.10 在下列情况的连接中,高强度螺栓的数量或承载力应符合以下规定:

- a) 一个构件借助垫板或其他中间板件与另一构件连接,承压型高强度螺栓数量按计算增加 10%;
- b) 摩擦型高强度螺栓连接,垫板的数量为两块或以上时,其承载力减少 15%;
- c) 当采用搭接或用拼接板的单面连接传递轴力时,承压型高强度螺栓数量按计算增加 10%;
- d) 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,所用的高强度螺栓数量,按计算增加 50%;
- e) 当环境温度为 $100\text{ }^\circ\text{C} \sim 150\text{ }^\circ\text{C}$ 时,摩擦型高强度螺栓连接的设计承载力降低 10%。

12.4 高强度螺栓连接的构造及其他要求

- 12.4.1 每一杆件在节点上以及拼接接头的一端,其连接的高强度螺栓数量不应少于 2 个。
- 12.4.2 梁端高强度螺栓连接角钢或端板高度,不宜小于梁高的 60%。
- 12.4.3 高强度螺栓标准孔和大圆孔应采用钻孔,槽孔可采用铣孔方法。承压型连接的高强度螺栓应采用标准孔,摩擦型连接的高强度螺栓可采用标准孔、大圆孔和槽孔,其孔型尺寸按表 50 选取。

表 50 高强度螺栓连接的孔型尺寸

单位为毫米

螺栓公称直径			M20	M22	M24	M27	M30
孔型	标准孔	直径	22	24	26	30	33
	大圆孔	直径	24	28	30	35	38
	槽孔	短向	22	24	26	30	33
		长向	37	40	45	50	55

12.4.4 高强度螺栓的孔距和边距应符合表 51 的规定。

表 51 高强度螺栓的孔距和边距允许值

单位为毫米

名称	位置和方向			最大值(取两者较小值)	最小值
中心间距	外排(垂直或顺内力方向)			$8d_0$ 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			$4d_0$ 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			$1.5d_0$
注： d_0 为高强度螺栓的孔径； t 为外层较薄板件的厚度。					
钢板边缘与刚性构件(如角钢、槽钢等)相连的高强度螺栓的最大间距，可按中间排数值采用。					

12.4.5 按标准孔型设计的高强度螺栓孔当需要扩孔时，扩钻后的孔径不应超过 1.2 倍螺栓直径，且扩孔数量不应超过该节点螺栓数量的 25%。当扩孔直径超过 1.2 倍螺栓直径或扩孔数量超过该节点螺栓数量的 25% 时，应按大圆孔或槽孔进行核算。

12.4.6 当高强度螺栓孔位需补焊重钻时，补焊重钻的数量不应超过该节点螺栓数量的 20%。

12.4.7 在同一连接接头中，高强度螺栓连接不应与普通螺栓连接并用，承压型高强度螺栓连接不应与焊接连接并用。

12.4.8 高强度螺栓连接设计应满足专用施工机具的操作空间要求。

12.4.9 在摩擦型高强度螺栓连接范围内，构件接触面应进行摩擦面处理并达到设计要求。摩擦面处理后生成赤锈的表面，其摩擦面抗滑移系数会有所提高，在安装前应除去浮锈。

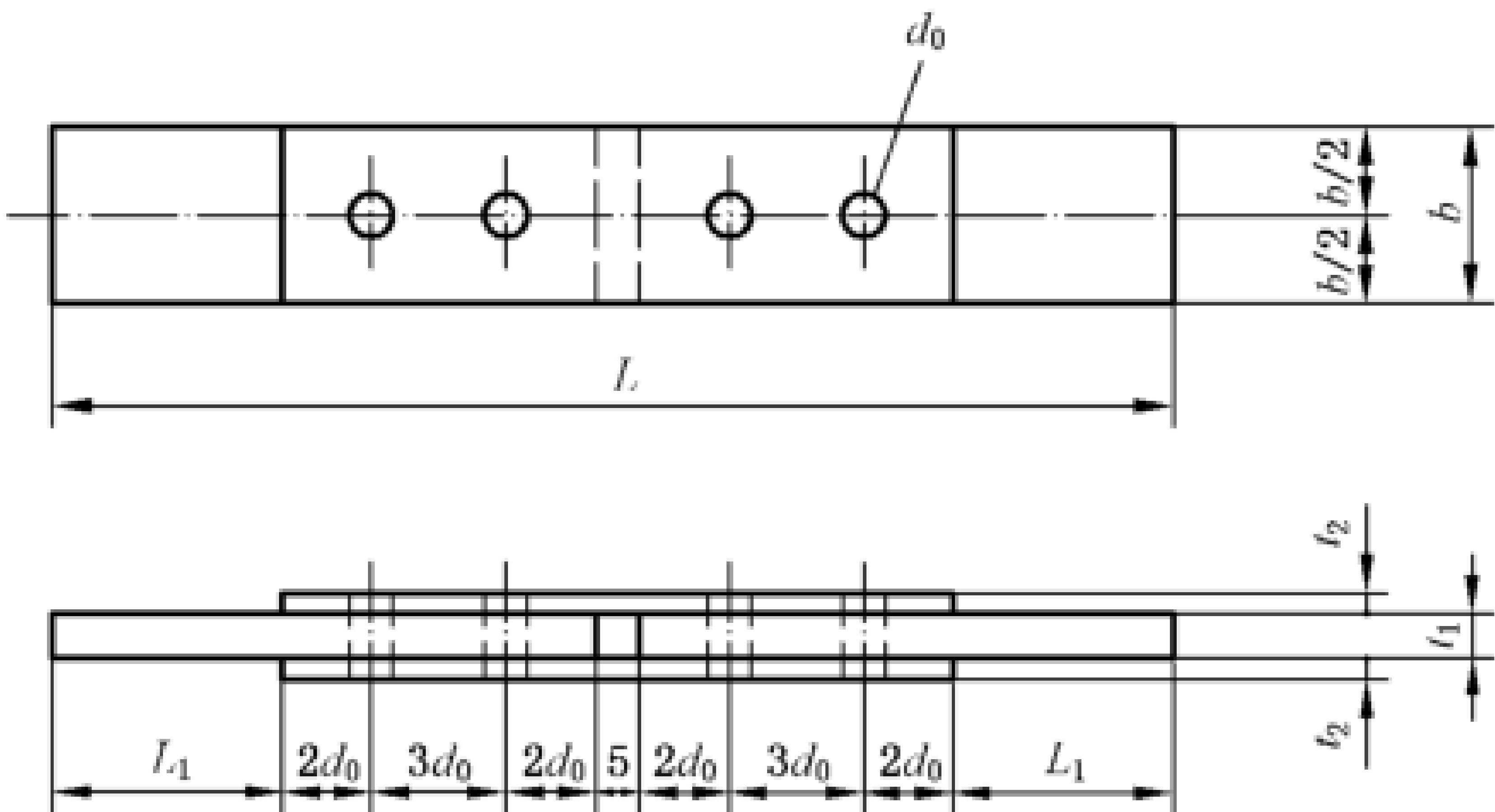
12.4.10 对于加固改造以及现场处理，摩擦面可采用手工砂轮打磨的方法，此时砂轮打磨的方向应与受力方向垂直，打磨的范围不应小于 4 倍螺栓直径。手工砂轮打磨处理的摩擦面抗滑移系数离散相对较大，需要试验确定。

12.4.11 摩擦面的抗滑移系数应按以下规定进行检验。

- a) 抗滑移系数检验应以钢结构制造批为单位，由制造厂和安装单位分别进行，每批三组。以单项工程每 2 000 t 为一制造批，不足 2 000 t 者视作一批，单项工程的构件摩擦面选用两种及两种以上表面处理工艺时，则每种表面处理工艺均检验。
- b) 抗滑移系数检验用的试件由制造厂加工，试件与所代表的构件应为同一材质、同一摩擦面处理工艺、同批制作、使用同一性能等级、同一直径的高强度螺栓连接副，并在相同条件下同时

发运。

- c) 抗滑移系数试件宜采用图 37 所示型式(试件钢板厚度 $2t_2 \geq t_1$)，试件的连接计算符合本文件规定。
- d) 抗滑移系数检验的最小值不小于设计规定值。当不符合上述规定时，构件摩擦面重新处理。处理后的构件摩擦面按本条规定重新检验。



标引序号说明：
 d_0 ——孔径；
 L ——试板长度；
 b ——试板宽度；
 L_1 ——试板端部长度；
 t_1 ——试板厚度；
 t_2 ——连接板厚度。

图 37 抗滑移系数试件

12.4.12 高强度螺栓长度在终拧后宜外露 2~3 个螺距，其长度(l)应按公式(105)计算：

$$l = l' + \Delta l \quad \cdots \cdots \cdots (105)$$

式中：

- l ——高强度螺栓长度，单位为毫米(mm)；
- l' ——连接板层总厚度，单位为毫米(mm)；
- Δl ——附加长度，单位为毫米(mm)，按公式(106)计算：

$$\Delta l = m + ns + 3p \quad \cdots \cdots \cdots (106)$$

式中：

- m ——高强度螺母公称厚度，单位为毫米(mm)；
- n ——垫圈个数，扭剪型高强度螺栓为 1；大六角头高强度螺栓为 2；
- s ——高强度垫圈公称厚度，单位为毫米(mm)；
- p ——螺纹的螺距，单位为毫米(mm)。

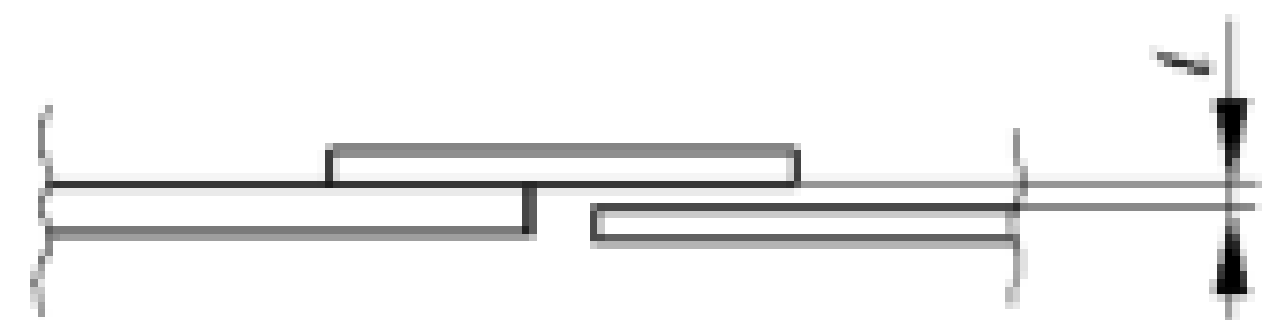
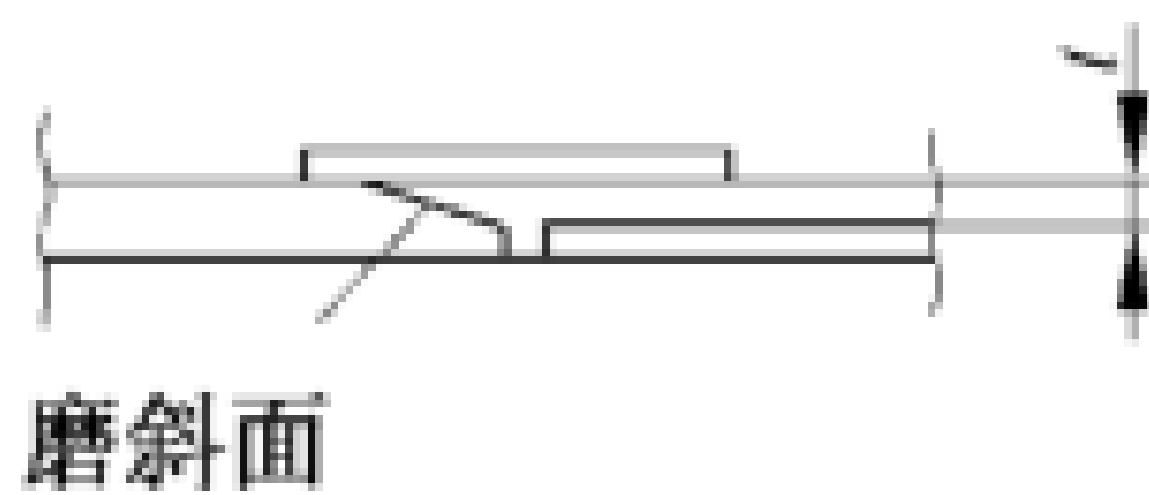
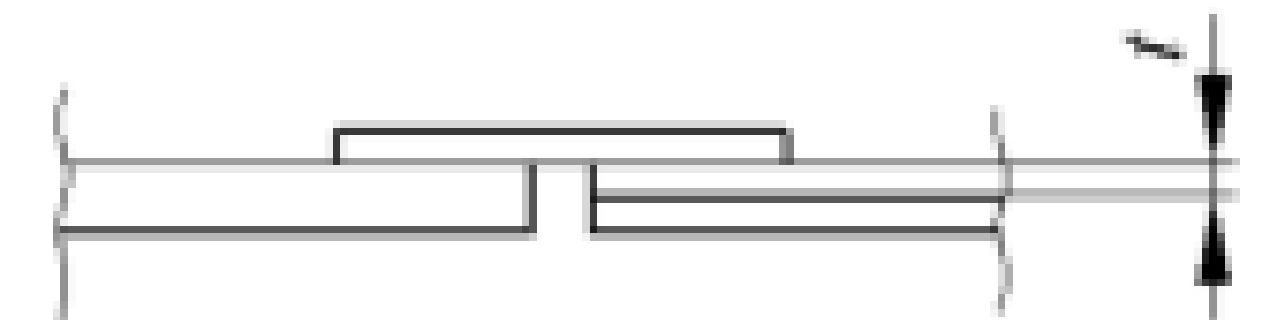
当高强度螺栓公称直径确定之后， Δl 也可由表 52 查得。

表 52 高强度螺栓附加长度表

单位为毫米					
螺栓公称直径	M20	M22	M24	M27	M30
大六角高强度螺栓	35.5	39.5	43.0	46.0	50.5
扭剪型高强度螺栓	31.5	34.5	38.0	41.0	45.5

12.4.13 对因板厚公差、制造偏差或安装偏差等产生的接触面间隙，应按表 53 规定进行处理。

表 53 接触面间隙处理

项目	示意图	处理方法
1		$t=1.0\text{ mm}$ 时不予处理
2		$t=1.0\text{ mm}\sim 3.0\text{ mm}$ 时将厚板一侧磨成 1 : 10 的缓坡,使间隙小于 1.0 mm
3		$t>3.0\text{ mm}$ 时加垫板,垫板厚度不小于 3 mm,最多不超过三层,垫板材质和摩擦面处理方法应与构件相同

12.4.14 高强度螺栓连接副的施工应分为初拧和终拧。对于大型节点应分为初拧、复拧和终拧。初拧扭矩和复拧扭矩为终拧扭矩的 50% 左右。高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧宜在一天内完成。

12.4.15 大六角高强度螺栓的施工终拧扭矩(T_c)可按公式(107)计算:

$$T_c = kP_c d \dots\dots\dots (107)$$

式中:

- T_c —— 施工扭矩,单位为牛米(N·m);
- k —— 高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值,可取 $k=0.13$;
- P_c —— 高强度螺栓施工预拉力,单位为千牛(kN),见表 54;
- d —— 高强度螺栓公称直径,单位为毫米(mm)。

表 54 大六角头高强螺栓施工预拉力

单位为千牛

螺栓性能等级	螺栓公称直径				
	M20	M22	M24	M27	M30
8.8S	140	165	195	255	310
10.9S	170	210	250	320	390

12.4.16 高强度螺栓施工的初拧扭矩和复拧扭矩值为 $0.065 \times p_c \times d$,10.9S 级高强度螺栓的施工初拧(复拧)扭矩可按表 55 选用。

表 55 10.9S 级高强度螺栓初拧(复拧)扭矩值

单位为牛米

螺栓公称直径	M20	M22	M24	M27	M30
初拧扭矩	220	300	390	560	760

12.5 栓焊连接

12.5.1 锅炉钢结构在同一接头同一受力部件上,在改建、加固或有特殊需要时允许采用侧面角焊缝和高强度螺栓摩擦型连接的栓焊并用连接,并考虑其共同工作,栓焊并用连接应符合下列规定。

- a) 栓焊并用连接的构造规定如下:
 - 1) 平行于受力方向的侧焊缝端部起弧点距板边不应小于焊高 h_f ,且与最外端的螺栓距离不

- 小于 $1.5d_0$ ；同时侧焊缝末端连续绕角不小于 $2h_f$ 长度；
- 2) 栓焊并用连接的连接板边缘与焊件边缘距离不小于 30 mm。
- b) 栓、焊各自受剪承载力设计值相差不超过 3 倍。
- c) 栓焊并用连接的受剪承载力按公式(108)和公式(109)计算：
- 1) 高强度螺栓与侧焊缝并用连接

$$N_{wb} = N_{fs} + 0.75N_{bv} \dots\dots\dots (108)$$

式中：

N_{wb} ——连接接头的栓焊并用连接受剪承载力设计值，单位为牛(N)；

N_{fs} ——连接接头中侧焊缝受剪承载力设计值，单位为牛(N)；

N_{bv} ——连接接头中摩擦型高强度螺栓连接受剪承载力设计值，单位为牛(N)。

- 2) 高强度螺栓与侧焊缝及端焊缝并用连接

$$N_{wb} = 0.85N_{fs} + N_{fe} + 0.25N_{bv} \dots\dots\dots (109)$$

式中：

N_{fe} ——连接接头中端焊缝受剪承载力设计值，单位为牛(N)。

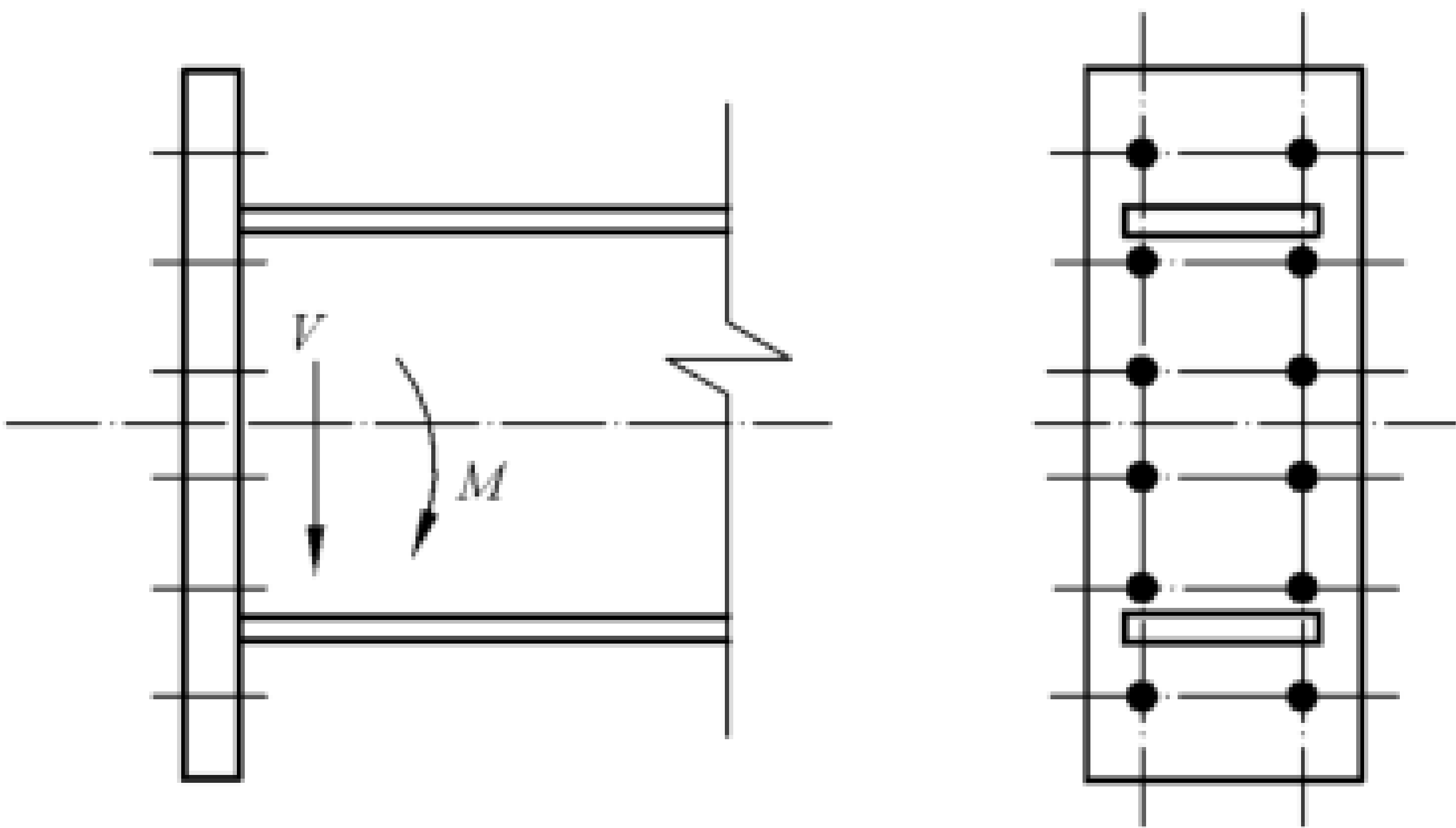
- d) 在既有摩擦型高强度螺栓连接接头上新角焊缝加固补强时，摩擦型高强度螺栓连接和角焊缝连接应分别承担加固焊接前的荷载和新增加的荷载。
- e) 当加固前进行结构卸载或加固前荷载小于摩擦型高强度螺栓连接承载力设计值 25% 时，可按本条 c) 进行连接设计。
- f) 栓焊并用连接的施工顺序采用先栓后焊时，应在焊接 24 h 后对离焊缝 100 mm 范围内的高强度螺栓补拧，补拧扭矩为施工终拧扭矩值。若为改造工程，在既有摩擦型连接的高强度螺栓不能进行补拧时，高强度螺栓的承载力应降低 10%。
- g) 摩擦型高强度螺栓连接不宜与垂直受力方向的角焊缝(端焊缝)单独并用连接。

12.5.2 锅炉钢结构在同一接头中，允许按不同受力部位分别采用焊缝和摩擦型高强度螺栓所组成的栓焊混用连接并考虑其共同工作，栓焊混用连接应符合下列规定：

- a) 栓焊混用的连接接头施工顺序宜在 高强度螺栓初拧后进行焊接，然后再进行高强度螺栓终拧；
- b) 当采用先终拧高强度螺栓再进行焊接的施工工序时，高强度螺栓的承载力应降低 10%。

12.6 高强度螺栓典型连接计算

12.6.1 同时承受弯矩和剪力的端板连接接头(图 38)，其摩擦型连接的高强度螺栓可按 12.6.2 和 12.6.3 的方法计算。



标引序号说明：

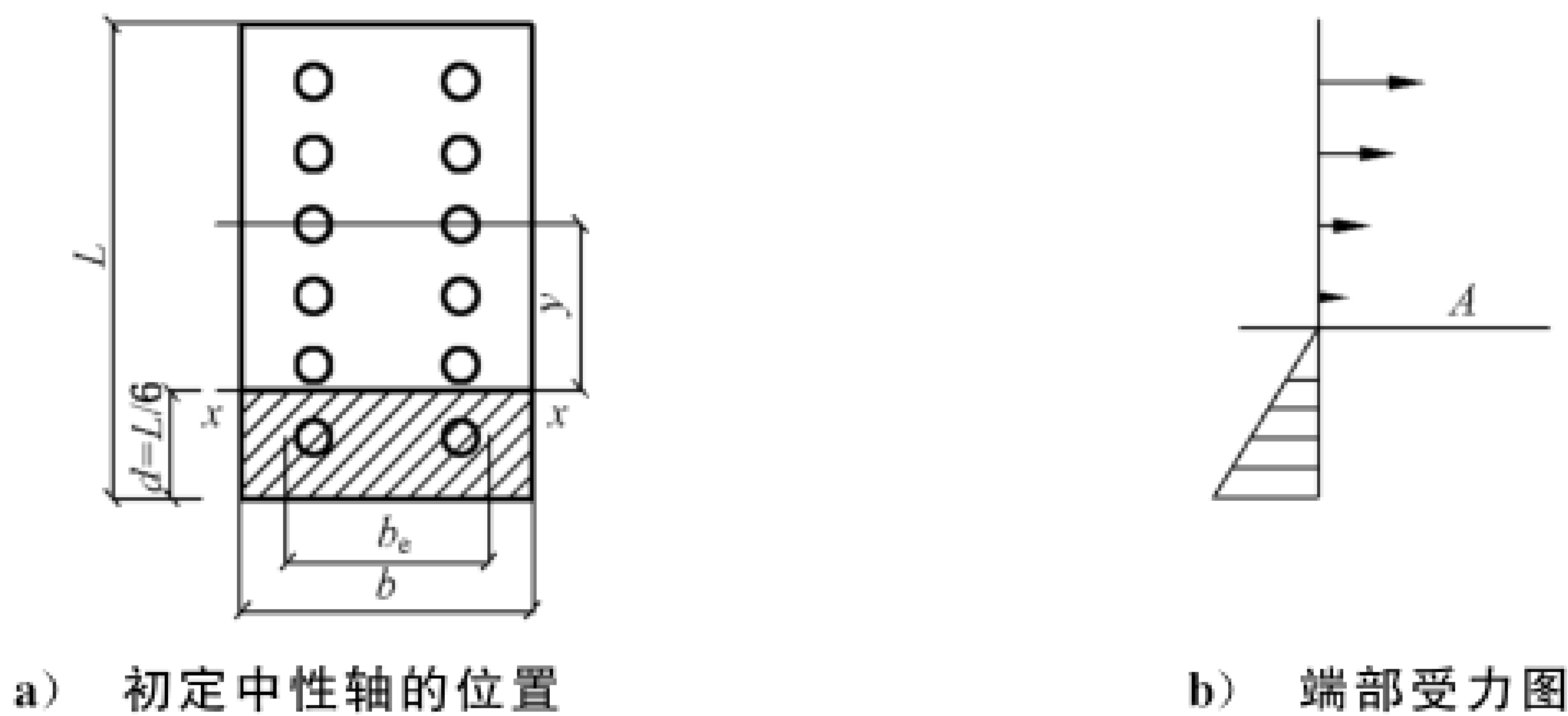
V —— 剪力；

M —— 弯矩。

图 38 端板连接接头

12.6.2 弯矩作用下,端板连接接头高强度螺栓所受拉力可按下列 a)或 b)的方法计算:

a) 设定中性轴不在螺栓孔群重心(图 39)。



标引序号说明:
A —— 中性轴;
L —— 端板长度;
d —— 端板受压区的长度;
 b_e —— 端板受压区的有效宽度;
b —— 端板受压区的宽度;
y —— 从中性轴 $x-x$ 到中性轴以上螺栓群重心的距离。

图 39 端板连接受弯计算一

- 1) 确定中性轴的位置:
初步假定中性轴 $x-x$ 的位置在端板长度 $1/6$ 的位置,应按公式(110)反复调整试算,最后得到一个合理的 d 值,确定中性轴的位置。

$$(\sum A_b) y = b_e d (d/2) \quad \dots\dots\dots (110)$$

式中:
 $\sum A_b$ —— 中性轴以上所有螺栓面积总和,单位为平方毫米(mm^2);
y —— 从中性轴 $x-x$ 到中性轴以上螺栓群重心的距离,单位为毫米(mm);
d —— 端板受压区的长度,单位为毫米(mm);
 b_e —— 端板受压区的有效宽度,单位为毫米(mm)。

- 2) 端板受压区的有效宽度 b_e 按公式(111)计算:
- $$b_e = 8t \leqslant b \quad \dots\dots\dots (111)$$

式中:
t —— 端板受压区的厚度,单位为毫米(mm);
b —— 端板受压区的宽度,单位为毫米(mm)。

- 3) 弯矩作用下,受拉高强度螺栓承受拉力(N_{ti})按公式(112)计算:

$$N_{ti} = \left(\frac{MY_i}{I_{bx} + I_{px}} \right) A_b \leqslant 0.8P \quad \dots\dots\dots (112)$$

式中:
 N_{ti} —— 受拉高强度螺栓承受拉力,单位为牛(N);
M —— 弯矩,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$);
 Y_i —— 螺栓群中性轴至第 i 个螺栓的距离,单位为毫米(mm);
 A_b —— 螺栓的截面积,单位为平方毫米(mm^2);
 I_{bx} —— 中性轴以上的螺栓群对中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);
 I_{px} —— 受压区块对中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);

P ——每个高强度螺栓的预拉力,单位为牛(N),应按表 47 采用。

4) 中性轴以上的螺栓群对中性轴的惯性矩(I_{br})按公式(113)计算:

$$I_{br} = m A_b \sum Y_i^2 \dots\dots\dots (113)$$

式中:

I_{bx} ——中性轴以上的螺栓群对中性轴的惯性矩,单位为四次方毫米(mm^4);

m ——螺栓列数;

A_b ——螺栓的截面积,单位为平方毫米(mm^2);

Y_i ——每列第 i 个螺栓至螺栓群中性轴的距离,单位为毫米(mm)。

b) 设定中性轴在螺栓群重心(图 40)。

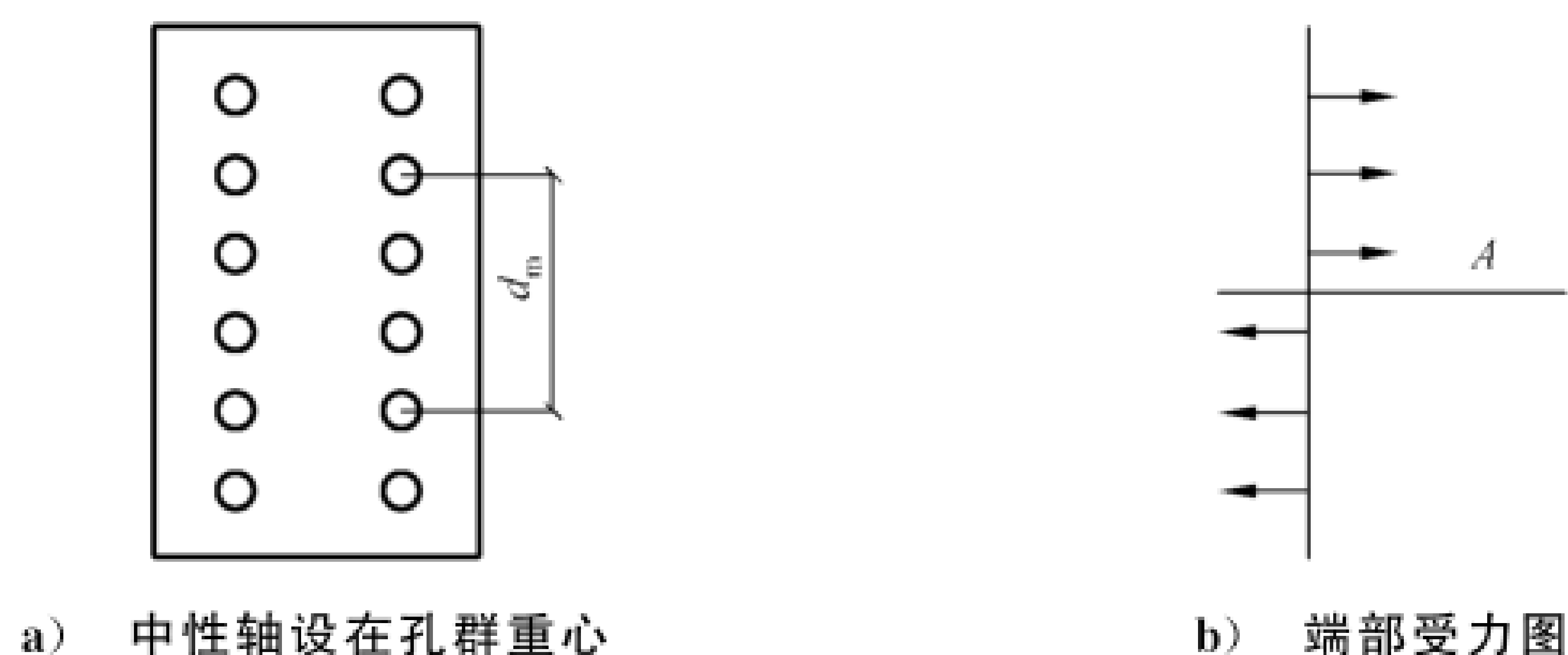


图 40 端板连接受弯计算二

此种方法较为保守,每个螺栓承受拉力(N_{ti})按公式(114)计算:

$$N_{ti} = \frac{M}{n'd_m} \leq 0.8P \dots\dots\dots (114)$$

式中:

N_{ti} ——每个螺栓承受拉力,单位为牛(N);

n' ——中性轴以上螺栓数；

d_m ——受拉螺栓群重心至受压螺栓群重心的距离(mm);

P ——每个高强度螺栓的预拉力,单位为牛(N),应按表 47 采用。

12.6.3 端板连接接头的高强度螺栓受剪承载力($\sum N_{vi}$)按公式(115)计算:

$$\frac{\sum N_{vi}}{nN_v^b} + \frac{\sum N_{ti}}{nN_t^b} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (115)$$

式中:

n ——接头螺栓总数;

N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N);

N_b^1 ——每个高强度螺栓的受拉承载力设计值,单位为牛(N);

$\sum N_{vi}$ ——受拉区各螺栓所承受剪力之和,单位为牛(N),即: $\sum N_{vi} = N_{v1} + N_{v2} + N_{v3} + \dots$;

$\sum N_{ti}$ ——受拉区各螺栓所承受拉力之和,单位为牛(N),即: $\sum N_{ti} = N_{t1} + N_{t2} + N_{t3} + \dots$ 。

12.6.4 承受轴向力、弯矩、剪力共同作用的拼接接头(图 41)中,高强度螺栓承受的剪力(N_1)可按公式(116)计算:

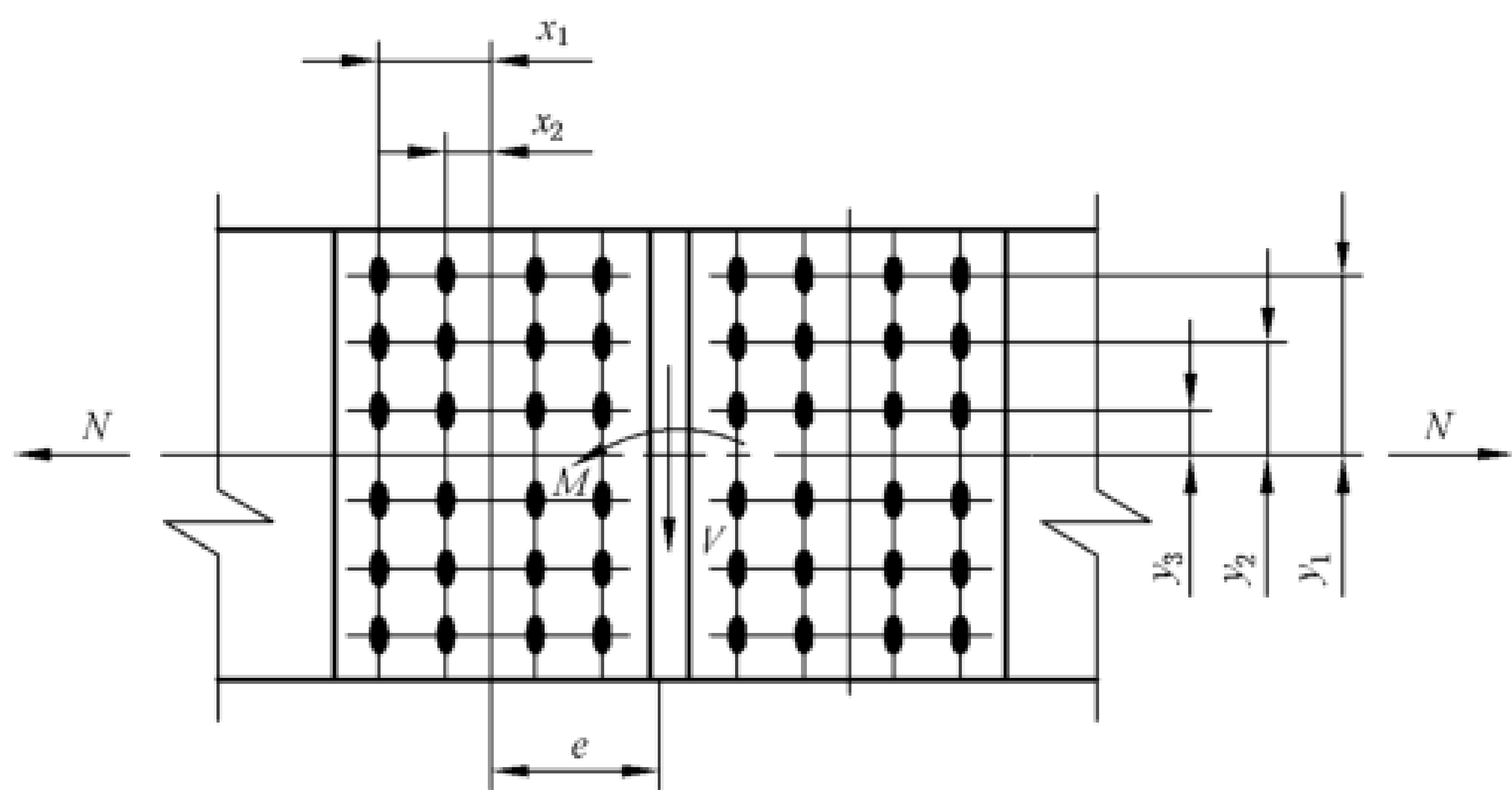


图 41 板的拼接接头

$$N_1 = \sqrt{\left[\frac{N}{n} + \frac{(M + Ve)y_1}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \right]^2 + \left[\frac{V}{n} + \frac{(M + Ve)x_1}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \right]^2} \leq N_v^b \dots\dots\dots (116)$$

式中：

- N_1 ——受力最大处(对角)的一个高强度螺栓承受的剪力,单位为牛(N)；
- M ——拼接接头处所承受的弯矩,单位为牛毫米(N·mm)；
- N ——拼接接头处所承受轴向力,单位为牛(N)；
- V ——拼接接头处所承受剪力,单位为牛(N)；
- n ——拼接接头一侧高强度螺栓数；
- x_i ——拼接接头一侧螺栓群中心至第 i 个螺栓的水平距离,单位为毫米(mm)；
- y_i ——拼接接头一侧螺栓群中心至第 i 个螺栓的垂直距离,单位为毫米(mm)；
- x_1 ——螺栓群中心至最远端一排螺栓的水平距离,单位为毫米(mm)；
- y_1 ——螺栓群中心至最远端一排螺栓的垂直距离,单位为毫米(mm)；
- e ——螺栓群中心至拼接中心的水平距离,单位为毫米(mm)；
- N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N)。

当 $y_1/x_1 > 3$ 时,公式(116)可简化为公式(117)：

$$N_1 = \sqrt{\left(\frac{N}{n} + \frac{My_1}{\sum y_i^2} \right)^2 + \left(\frac{V}{n} \right)^2} \leq N_v^b \dots\dots\dots (117)$$

12.6.5 工字形截面梁的全截面拼接接头(图 42)可按弯矩由翼缘和腹板共同承担的方法计算,也可按弯矩由翼缘承担,剪力由腹板承担的简化方法计算。

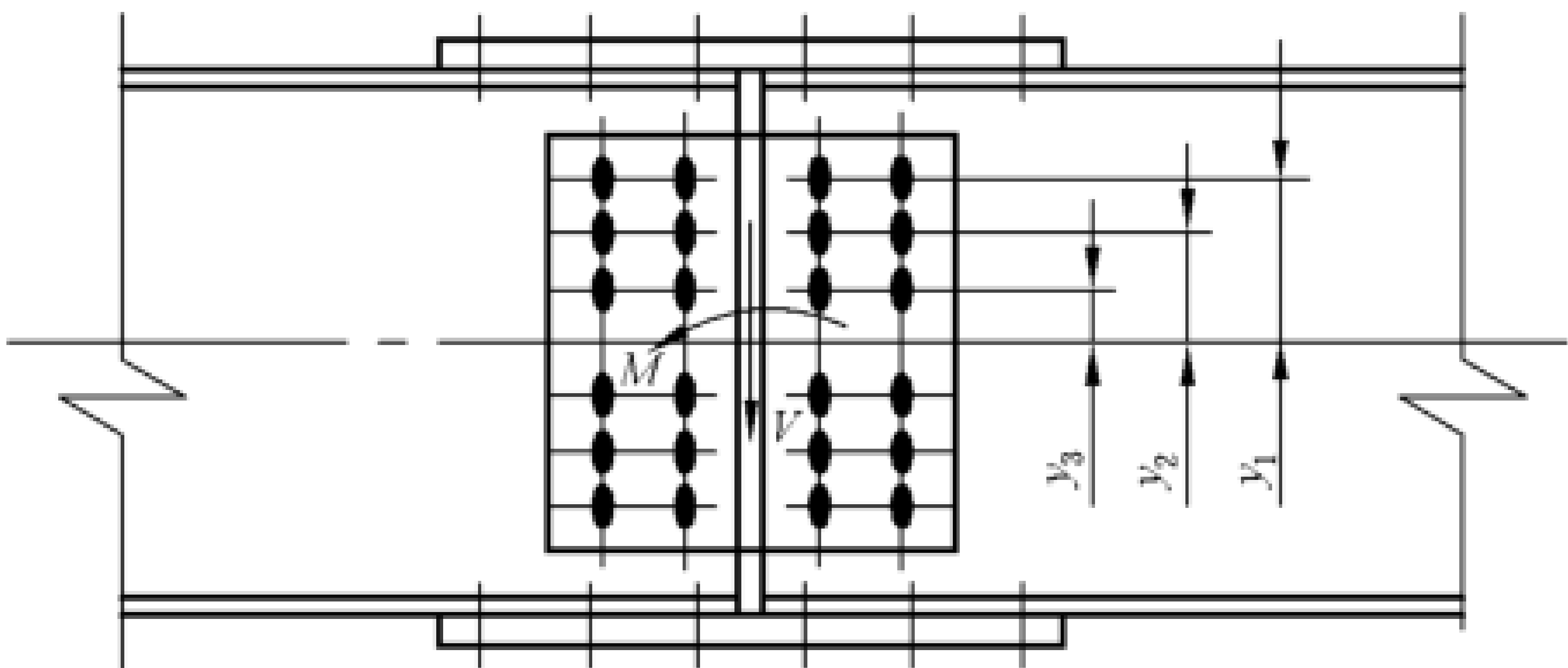


图 42 工字形截面梁的拼接

按弯矩由翼缘和腹板共同承担计算时,翼缘上的高强度螺栓承受的剪力(N_{lf})可按公式(118)计算:

$$N_{lf} = \frac{M_1}{nh} < N_v^b \quad \dots\dots\dots (118)$$

式中:

N_{lf} ——翼缘拼接处每个高强度螺栓承受的剪力,单位为牛(N);

M_1 ——为翼缘分担的弯矩,单位为牛毫米(N·mm),按公式(119)计算;

n ——翼缘拼接接头一侧的高强度螺栓数量;

h ——梁高,单位为毫米(mm);

N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N)。

$$M_1 = (1 - 0.4I_2/I)M \quad \dots\dots\dots (119)$$

式中:

M_1 ——为翼缘分担的弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

M ——拼接处的弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

I_2 ——腹板对梁中性轴的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);

I ——梁的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴)。

腹板上的高强度螺栓按公式(116)或公式(117)计算,但取 $N=0, M=M_2$;腹板分担的弯矩(M_2)按公式(120)计算:

$$M_2 = (0.4I_2/I)M \quad \dots\dots\dots (120)$$

式中:

M_2 ——为腹板分担的弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

M ——拼接处的弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

I_2 ——腹板对梁中性轴的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴);

I ——梁的毛截面惯性矩,单位为四次方毫米(mm⁴)。

按弯矩由翼缘承担,剪力由腹板承担的简化方法计算时,翼缘上的高强度螺栓承受的剪力(N_{lf})按公式(121)计算:

$$N_{lf} = \frac{M}{nh} \leq N_v^b \quad \dots\dots\dots (121)$$

式中:

N_{lf} ——翼缘拼接处每个高强度螺栓承受的剪力,单位为牛(N);

M ——拼接处的弯矩,单位为牛毫米(N·mm);

n ——翼缘拼接接头一侧的高强度螺栓数量;

h ——梁高,单位为毫米(mm);

N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N)。

此时,腹板上的高强度螺栓承受的剪力则按公式(122)计算:

$$N_{lw} = \frac{V}{n'} \leq N_v^b \quad \dots\dots\dots (122)$$

式中:

N_{lw} ——腹板拼接处每个高强度螺栓承受的剪力,单位为牛(N);

V ——拼接接头处所承受剪力,单位为牛(N);

n' ——腹板拼接接头一侧的高强度螺栓数量;

N_v^b ——每个高强度螺栓的受剪承载力设计值,单位为牛(N)。

12.7 连接节点处连接件的计算

12.7.1 节点板的强度应按公式(123)~公式(125)计算：

$$\frac{N}{\sum \eta_i A_i} \leqslant f \quad \cdots \cdots \cdots (123)$$

$$A_i = t l_i \quad \cdots \cdots \cdots (124)$$

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cos^2 \alpha_i}} \quad \cdots \cdots \cdots (125)$$

式中：

N ——作用于节点板的拉力，单位为牛(N)；

A_i ——第 i 段破坏面的截面积，单位为平方毫米(mm²)，当为螺栓连接时，应取净截面面积；

t ——节点板厚度，单位为毫米(mm)；

l_i ——第 i 破坏段的长度，单位为毫米(mm)，应取节点板中最危险的破坏线长度(图 43)；

η_i ——第 i 段的拉剪折算系数；

f ——材料抗弯强度设计值，单位为牛每平方毫米(N/mm²)；

α_i ——第 i 段破坏线与拉力轴线的夹角。

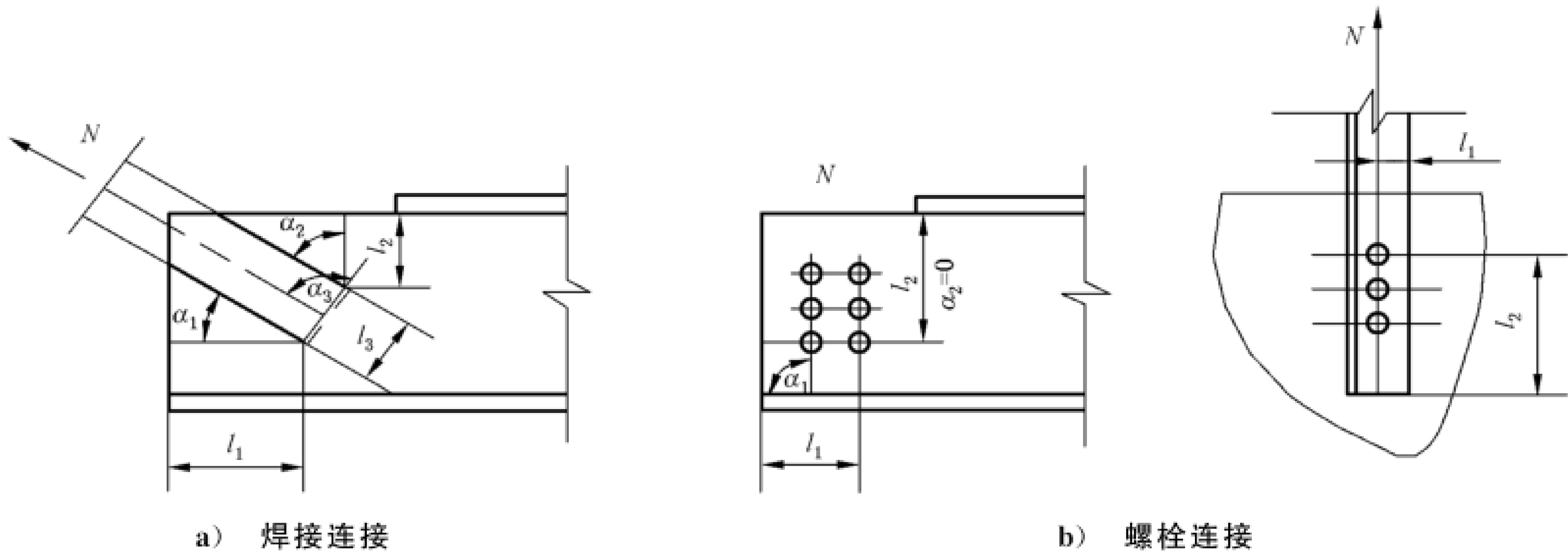


图 43 板件的拉、剪撕裂

12.7.2 节点板(杆件为 T 形截面者除外)的强度也可用有效宽度法按公式(126)计算：

$$\sigma = \frac{N}{b_e t} \leqslant f \quad \cdots \cdots \cdots (126)$$

式中：

σ ——正应力，单位为牛每平方毫米(N/mm²)；

N ——作用于节点板的拉力，单位为牛(N)；

t ——节点板厚度，单位为毫米(mm)；

f ——材料抗弯强度设计值，单位为牛每平方毫米(N/mm²)；

b_e ——板件的有效宽度(图 44)，单位为毫米(mm)。当用螺栓连接时，应减去孔径，图中 θ 为应力扩散角，可取 30°。

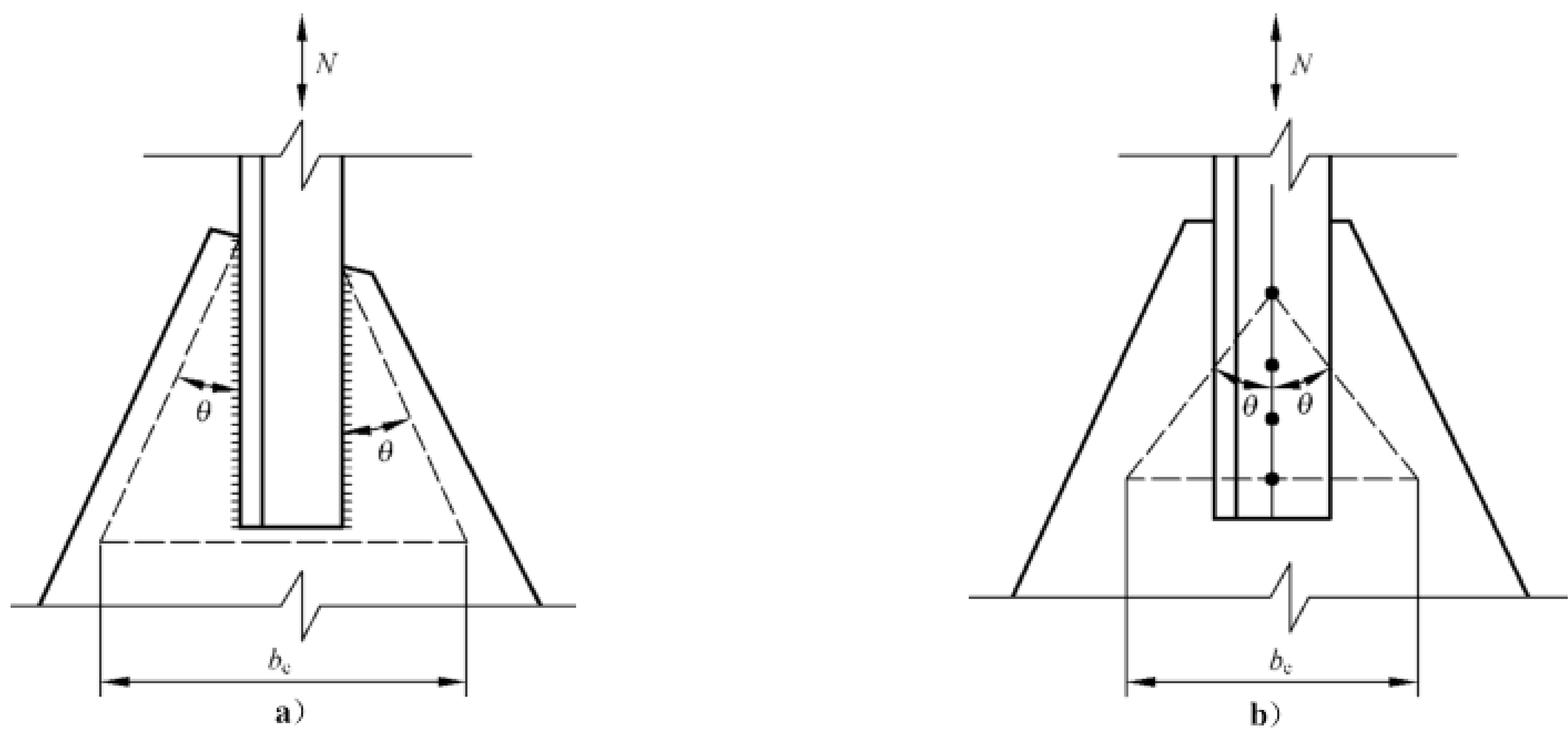


图 44 板件的有效宽度

12.7.3 节点板在压力作用下的稳定计算可按下述方法进行(图 45)。

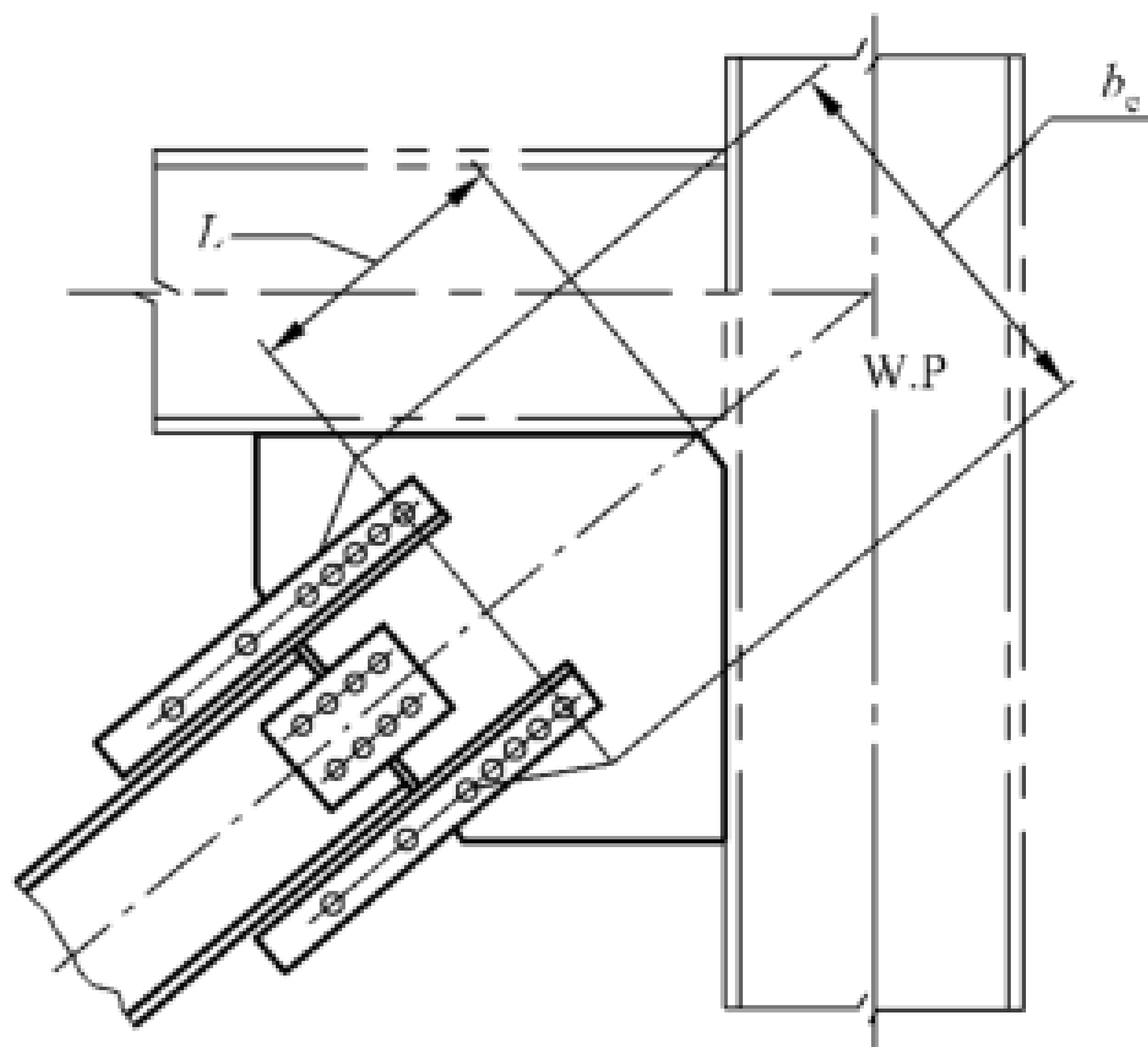
- a) 计算节点板的有效宽度(b_e),单位为毫米(mm)。
- b) 所考虑节点受压板件的截面积(A): $A = t b_e$,单位为平方毫米(mm^2)。
- c) 所考虑节点受压板件的实际长度(L),单位为毫米(mm)。
- d) 节点受压板件的计算长度系数(μ)按如下规定选取:
 - 1) 当节点板为两边支撑时, $\mu = 0.5$;
 - 2) 当节点板为单边支撑时, $\mu = 1.2$ 。
- e) 计算受压板件的长细比(λ): $\lambda = \mu L / i, i = t / \sqrt{12}$ 。
- f) 根据所计算出来的受压板件的长细比(λ),按轴心受压构件 b 类截面,查取稳定系数(φ)。
- g) 节点板的稳定性按公式(127)计算:

$$\frac{N}{\varphi A f} \leqslant 1$$

.....(127)

式中:

- N ——作用于节点板的压力,单位为牛(N);
- A ——所考虑节点受压板件的截面积,单位为平方毫米(mm^2);
- f ——材料抗弯强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2);
- φ ——轴心受压构件的稳定系数。



标引序号说明:
W.P——工作点。

图 45 节点板稳定计算简图

12.7.4 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。

- a) 对有竖腹杆的节点板,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,应进行稳定计算。在任何情况下, c/t 不应大于 $22\sqrt{235/f_y}$ 。
- b) 对无竖腹杆的节点板,当 $c/t \leq 10\sqrt{235/f_y}$ 时,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,应进行稳定计算,但在任何情况下, c/t 不应大于 $17.5\sqrt{235/f_y}$ 。

12.7.5 节点板的自由边长度(l_f)与厚度(t)之比不应大于 $60\sqrt{235/f_y}$,否则应沿自由边设加劲肋予以加强。

12.7.6 垂直于杆件轴向设置的连接板(或梁的翼缘)采用焊接方式与工字形、H 形或其他截面的未设水平加劲肋的杆件翼缘相连,形成 T 形接合时,其母材和焊缝都应根据有效宽度进行强度计算,应符合 GB 50017—2017 中 12.2.5 的规定。

12.7.7 当采用高强度螺栓连接,受有螺栓杆轴方向拉力时(图 46),连接角钢(T 形钢或端板)所需厚度和撬力应按下列规定计算:

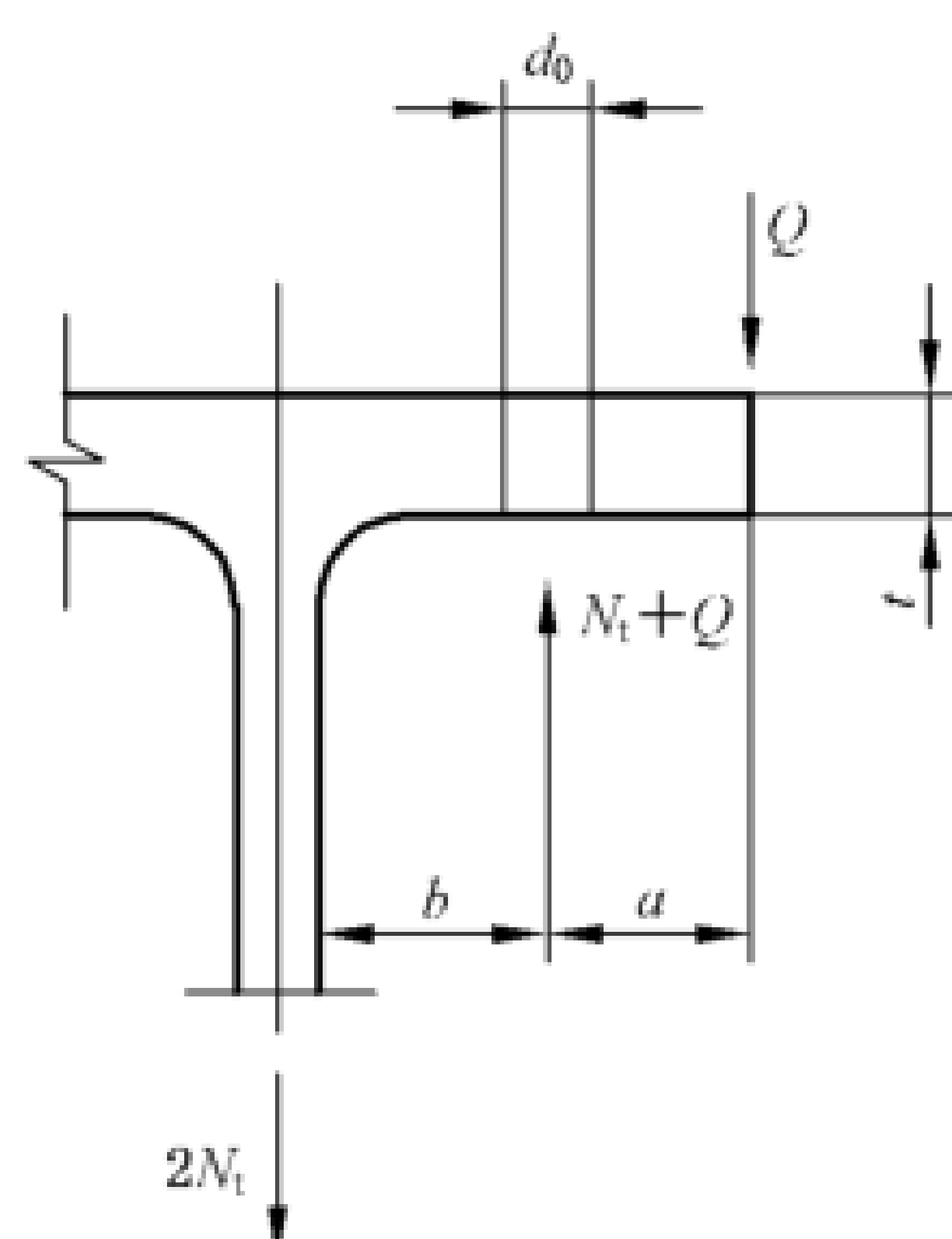


图 46 受螺栓杆轴方向拉力时节点连接件的受力

- a) 当考虑撬力的影响时,连接角钢(T 形钢或端板)所需最小厚度(t_r)按公式(128)计算:

$$t_r = \sqrt{\frac{4N_t b}{lf(1 + \delta\alpha')}} \quad \dots\dots\dots (128)$$

式中:

t_r ——考虑撬力影响时所需最小厚度,单位为毫米(mm);

N_t ——每个螺栓的外施拉力(不包括预紧力和撬力),单位为牛(N);

f ——连接角钢(T 形钢或端板)的强度设计值,单位为牛每平方米(N/mm^2);

b ——螺栓中心线至另一角钢肢(T 形钢腹板或端板连接件)表面的距离,单位为毫米(mm);

l ——沿角钢(T 形钢或端板)长度方向,一个螺栓所分担的长度,单位为毫米(mm);

δ ——螺栓排列线处角钢肢(T 形钢翼缘或端板)截面系数, $\delta = 1 - d_0/l$;

d_0 ——螺栓孔径,单位为毫米(mm);

α' ——系数,当 $\beta \geq 1$ 时, $\alpha' = 1$;当 $\beta < 1$ 时, $\alpha' = \frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right)$,且 $\alpha' \leq 1$;

β ——系数, $\beta = \frac{1}{\rho} \left(\frac{N_t^b}{N_t} - 1 \right)$;

N_t^b ——每个螺栓抗拉承载力设计值,单位为牛(N);

式中：

- a ——顺受力方向，吊孔边到吊耳边缘最小距离，单位为毫米(mm)；
- b_e ——计算宽度，单位为毫米(mm)；
- t ——吊耳厚度，单位为毫米(mm)；
- b ——吊耳两侧边缘与吊孔边缘净距，单位为毫米(mm)。

12.8.2 吊耳抗拉、抗剪强度应按公式(133)~公式(137)计算：

a) 吊耳孔净截面处的抗拉强度

$$\sigma = \frac{N}{2tb_1} \leqslant f \quad \cdots \cdots (133)$$

$$b_1 = \min\left(2t + 16, b - \frac{d_0}{3}\right) \quad \cdots \cdots (134)$$

b) 吊耳端部截面的抗拉强度

$$\sigma = \frac{N}{2t\left(a - \frac{2d_0}{3}\right)} \leqslant f \quad \cdots \cdots (135)$$

c) 吊耳的抗剪强度

$$\tau = \frac{N}{2tZ} \leqslant f_v \quad \cdots \cdots (136)$$

$$Z = \sqrt{(a + d_0/2)^2 - (d_0/2)^2} \quad \cdots \cdots (137)$$

式中：

- σ ——正应力，单位为牛每平方米(N/mm²)；
- τ ——剪应力，单位为牛每平方米(N/mm²)；
- t ——吊耳厚度，单位为毫米(mm)；
- N ——吊耳受轴向拉力设计值，单位为牛(N)；
- b_1 ——计算宽度，单位为毫米(mm)；
- f ——抗拉、抗压、抗弯强度设计值，单位为牛每平方米(N/mm²)；
- f_v ——抗剪强度设计值，单位为牛每平方米(N/mm²)；
- a ——顺受力方向，吊孔边到吊耳边缘最小距离，单位为毫米(mm)；
- d_0 ——吊孔直径，单位为毫米(mm)；
- Z ——吊耳端部抗剪截面宽度，单位为毫米(mm)。

12.9 梁与柱的刚性连接

12.9.1 当梁柱采用刚性连接，对应于梁翼缘的柱腹板部位设置横向加劲肋时，节点域抗剪强度应按公式(138)计算：

$$\frac{M_{b1}M_{b2}}{V_p} \leqslant \frac{4}{3}f_v \quad \cdots \cdots (138)$$

式中：

- M_{b1} 、 M_{b2} ——分别为节点两侧梁端弯矩设计值，单位为牛毫米(N·mm)；
- f_v ——抗剪强度设计值，单位为牛每平方米(N/mm²)；
- V_p ——节点域的体积，单位为三次方毫米(mm³)，按公式(139)~公式(141)计算；

工字形截面柱(绕强轴)：

$$V_p = h_b h_c t_w \quad \cdots \cdots (139)$$

工字形截面柱(绕弱轴)：

$$V_p = 2h_b b t_f \dots\dots\dots (140)$$

箱形截面柱：

$$V_p = 1.8h_b h_c t_w \dots\dots\dots (141)$$

式中：

- b ——柱翼缘宽度,单位为毫米(mm)；
- t_f ——柱翼缘厚度,单位为毫米(mm)；
- t_w ——柱腹板节点域的厚度,单位为毫米(mm)；
- h_b ——梁腹板高度,单位为毫米(mm)；
- h_c ——柱腹板的宽度,单位为毫米(mm)。

12.9.2 当节点域厚度不满足公式(138)的要求时,对工形截面柱节点域可采用下列补强措施。

- a) 加厚节点域的柱腹板。腹板加厚的范围应伸出梁的上下翼缘外不小于 150 mm。
- b) 节点域处焊贴补强板加强。补强板与柱加劲肋和翼缘可采用角焊缝连接,与柱腹板采用塞焊连成整体,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。
- c) 设置节点域斜向加劲肋加强。

12.9.3 梁柱刚性节点中,当工字形梁翼缘采用焊透的 T 形对接焊缝与工字形柱的翼缘焊接,同时对应的柱腹板未设置水平加劲肋时,柱翼缘和腹板厚度应符合下列规定：

- a) 在梁的受压翼缘处,柱腹板厚度(t_w)同时按公式(142)和公式(143)计算：

$$t_w \geq \frac{A_{fb} f_b}{b_e f_c} \dots\dots\dots (142)$$

$$t_w \geq \frac{h_c}{30} \sqrt{f_{yc}/235} \dots\dots\dots (143)$$

- b) 在梁的受拉翼缘处,柱翼缘板的厚度(t_c)按公式(144)计算：

$$t_c \geq 0.4 \sqrt{A_{ft} f_b / f_c} \dots\dots\dots (144)$$

式中：

- A_{fb} ——梁受压翼缘的截面积,单位为平方毫米(mm^2)；
- t_w ——柱腹板节点域的厚度,单位为毫米(mm)；
- h_c ——柱腹板的宽度,单位为毫米(mm)；
- f_{yc} ——柱钢材屈服强度设计值,单位为牛每平方毫米(N/mm^2)；
- f_b ——梁的钢材强度设计值,单位为牛每平方毫米(N/mm^2)；
- f_c ——柱的钢材强度设计值,单位为牛每平方毫米(N/mm^2)；
- 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,单位为毫米(mm),按公式(145)计算；

$$b_e = t_f + 5h_y \dots\dots\dots (145)$$

式中：

- h_y ——自柱表面至腹板计算高度上边缘的距离,对轧制型钢截面取柱翼缘边缘至内弧起点间的距离,对焊接截面取柱翼缘厚度,单位为毫米(mm)；
- t_f ——梁受压翼缘厚度,单位为毫米(mm)；
- A_{ft} ——梁受拉翼缘的截面积,单位为平方毫米(mm^2)。

12.9.4 梁柱刚性连接节点处柱腹板横向加劲肋满足下列要求：

- a) 横向加劲肋应能传递梁翼缘传来的集中力,其厚度应为梁翼缘厚度的 50%~100%,其宽度应符合传力、构造和板件宽厚比限值的要求；
- b) 横向加劲肋应在梁翼缘的对应位置设置,并以焊透的 T 形对接焊缝与柱翼缘连接,当梁与工形截面柱弱轴方向连接,横向加劲肋与柱腹板的连接宜采用焊透对接焊缝；

- c) 箱形柱中横向隔板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且柱壁板的厚度不小于 16 mm 时,可采用熔化嘴电渣焊;
- d) 当采用斜向加劲来提高节点域的抗剪承载力时,斜向加劲及其连接应能传递柱腹板所能承担剪力之外的剪力。

13 锅炉钢结构连接节点抗震承载力验算和抗震构造措施

13.1 连接节点抗震承载力验算

13.1.1 锅炉钢结构柱梁刚接节点处的抗震承载力验算,应符合下列规定:

- a) 节点左右梁端(等截面梁)和上下柱端的全塑性承载力按公式(146)计算。

$$\Sigma W_{pc}(f_{yc} - N/A_c) \geq \eta \Sigma W_{pb} f_{yb} \quad \dots\dots\dots (146)$$

式中:

W_{pc} ——交于该节点柱的塑性截面模量,单位为三次方毫米(mm^3);

W_{pb} ——交于该节点的梁的塑性截面模量,单位为三次方毫米(mm^3);

f_{yc} ——柱的钢材屈服强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

f_{yb} ——梁的钢材屈服强度,单位为牛每平方米(N/mm^2);

N ——地震组合的柱轴力,单位为牛(N);

A_c ——柱截面面积,单位为平方毫米(mm^2);

η ——强柱系数,6度Ⅳ类场地可取 1.0;7度时可取 1.05;8度时可取 1.1;9度时可取 1.15。

注:当柱所在层的受剪承载力比相邻上一层的受剪承载力高出 25%;或轴压比不超过 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);或与支撑斜杆相连的节点,可不按该式验算。

- b) 节点域的屈服承载力应按公式(147)计算:

$$\phi(M_{pb1} + M_{pb2})/V_p \leq (4/3)f_{yv} \quad \dots\dots\dots (147)$$

式中:

M_{pb1} ——节点域一侧梁的全塑性受弯承载力,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$);

M_{pb2} ——节点域另一侧梁的全塑性受弯承载力,单位为牛毫米($\text{N} \cdot \text{mm}$);

V_p ——节点域的体积,单位为立方毫米(mm^3);

f_{yv} ——钢材的屈服抗剪强度(N/mm^2),取钢材屈服强度的 58%倍;

ϕ ——折减系数,6度Ⅳ类场地和 7 度可取 0.6;8 度和 9 度时可取 0.7。

- c) 工字形截面柱和箱形截面柱在节点域的腹板厚度(t_w)应按公式(148)计算:

$$t_w \geq (h_b + h_c)/90 \quad \dots\dots\dots (148)$$

式中:

t_w ——节点域的腹板厚度,单位为毫米(mm);

h_b ——梁腹板的高度,单位为毫米(mm);

h_c ——柱腹板的宽度,单位为毫米(mm)。

13.1.2 锅炉钢结构构件连接的极限承载力计算,应符合下列规定:

- a) 梁与柱刚性连接的极限承载力,应按公式(149)和公式(150)计算:

$$M_u^i \geq \eta_j M_p \quad \dots\dots\dots (149)$$

$$V_u^i \geq 1.2(2M_p/l_n) + V_{Gb} \quad \dots\dots\dots (150)$$

- b) 支撑的连接和拼接节点的极限承载力,应按公式(151)计算:

$$N_{ubr}^i \geq \eta_j A_{br} f_y \quad \dots\dots\dots (151)$$

- c) 梁的拼接节点的极限承载力,应按公式(152)计算:

$$M_{ubsp}^i \geq \eta_j M_p \quad \dots\dots\dots (152)$$

- d) 柱的拼接节点的极限承载力,应按公式(153)计算:

$$M_{ucsp}^j \geq \eta_j M_{pc}$$

.....(153)

- 式中：
- M_u^j ——梁与柱刚性连接的极限受弯承载力,单位为牛毫米(N·mm)；
 - η_j ——连接系数,可按表 56 采用；
 - M_p ——梁的塑性受弯承载力,单位为牛毫米(N·mm)；
 - V_u^j ——连接的极限受剪承载力,单位为牛(N)；
 - l_n ——梁的净跨,单位为毫米(mm)；
 - V_{Gb} ——梁在重力荷载代表值(9 度时尚应包括竖向地震作用标准值)作用下,按简支梁分析的梁端截面剪力设计值,单位为牛(N)；
 - N_{ubr}^j ——支撑连接拼接的极限受压(拉)承载力,单位为牛(N)；
 - A_{br} ——支撑杆件的截面面积,单位为平方毫米(mm²)；
 - f_y ——钢材屈服强度,单位为牛每平方毫米(N/mm²)；
 - M_{ubsp}^j ——梁拼接的极限受弯承载力,单位为牛毫米(N·mm)；
 - M_{ucsp}^j ——柱拼接的极限受弯承载力,单位为牛毫米(N·mm)；
 - M_{pc} ——考虑轴力影响时柱的塑性受弯承载力,单位为牛毫米(N·mm)。

表 56 抗震设计的连接系数

母材牌号	梁柱连接		支撑连接、构件拼接	
	焊接	螺栓连接	焊接	螺栓连接
Q235	1.40	1.45	1.25	1.30
Q355	1.30	1.35	1.20	1.25

13.1.3 焊缝的极限承载力应按公式(154)和公式(155)计算：

对接焊缝受拉承载力(N_u)：

$$N_u = A_f^w f_u$$

.....(154)

角焊缝受剪承载力(V_u)：

$$V_u = 0.58 A_f^w f_u$$

.....(155)

式中：

- A_f^w ——焊缝的有效受力面积,单位为平方毫米(mm²)；
- f_u ——构件母材的抗拉强度,单位为牛每平方毫米(N/mm²)。

高强度螺栓连接的极限受剪承载力,应按公式(156)和公式(157)计算,并取较小者：

$$N_{vu}^b = 0.58 n_f A_e^b f_u^b$$

.....(156)

$$N_{vu}^b = d \sum t N_{cu}^b$$

.....(157)

式中：

- N_{vu}^b ——为一个高强度螺栓的极限受剪承载力,单位为牛(N)；
- N_{cu}^b ——为一个高强度螺栓对应的板件极限承压力,单位为牛(N)；
- n_f ——螺栓连接的剪切面数量；
- A_e^b ——螺栓螺纹处的有效截面面积,单位为平方毫米(mm²)；
- f_u^b ——螺栓钢材的抗拉强度最小值,单位为牛每平方毫米(N/mm²)；
- d ——螺栓杆直径,单位为毫米(mm)；
- $\sum t$ ——同一受力方向的钢板厚度之和单位为毫米(mm)；
- f_{cu}^b ——螺栓连接板的极限承压强度,单位为牛每平方毫米(N/mm²),取 1.5 f_u 。

13.2 抗震构造措施

13.2.1 锅炉钢结构的主柱长细比,不宜大于表 57 的限值。

表 57 锅炉钢结构的主柱长细比限值

地震烈度	6 度、7 度	8 度	9 度
总高度不超过 100 m	120	100	80
总高度超过 100 m	100	80	60

13.2.2 锅炉钢结构的柱、梁板件宽厚比,不宜大于表 58 的限值。

表 58 锅炉钢结构的柱、梁板件宽厚比限值

板件名称		6 度、7 度	8 度	9 度
柱	工字形截面翼缘外伸部分	14	13	12
	箱形截面壁板	42	40	38
	工字形截面腹板	54	50	45
梁	工字形截面和箱形截面翼缘外伸部分	13	12	11
	箱形截面翼缘在两腹板间的部分	40	38	36
	工字形截面和箱形截面的腹板	$85-120N_b/(Af)$ ≤ 75	$80-110N_b/(Af)$ ≤ 70	$72-100N_b/(Af)$ ≤ 65
表列数值适用于 Q235 钢,采用其他牌号钢材应乘以 $\sqrt{235/f_y}$ 。 注: N_b ——梁的轴向力,单位为牛(N); A ——梁的截面面积,单位为平方毫米(mm ²); f ——钢材的抗拉强度设计值,单位为牛每平方毫米(N/mm ²)。				

13.2.3 锅炉钢结构中心支撑杆件的长细比,不宜大于表 59 的限值。

表 59 锅炉钢结构支撑杆件长细比限值

类型	6 度、7 度	8 度	9 度
按压杆设计	120	120	120
按拉杆设计	150	150	150

13.2.4 锅炉钢结构中心支撑杆件的板件宽厚比,不宜大于表 60 的限值。

表 60 锅炉钢结构支撑杆件的板件宽厚比限值

板件名称	6 度、7 度	8 度	9 度
翼缘外伸部分	13	12	11
工字形截面腹板	42	35	30
箱形截面腹板	32	28	25
表列数值适用于 Q235 钢,采用其他牌号钢材应乘以 $\sqrt{235/f_y}$ 。			

13.2.5 抗震设防的锅炉钢结构,中心支撑框架不宜采用 K 形支撑。屈曲约束支撑,不应采用 K 形或 X 形支撑。

13.2.6 设于高地震烈度区的锅炉钢结构宜采用偏心支撑或屈曲约束支撑,偏心支撑的设计应符合 GB 50011 的规定,屈曲约束支撑的设计可按 JGJ 99—2015 附录 E 的规定执行。

13.2.7 设于高地震烈度区的锅炉钢结构,宜具有多道抗震防线。

13.2.8 顶板大板梁采用铰接形式置于柱顶时,宜采用螺栓或其他方式定位。

13.2.9 梁采用悬臂梁段与柱刚性连接时,悬臂梁段与柱应预先采用全焊接连接,梁的现场拼接点宜放在距 $1/10$ 跨长或 2 倍梁高范围之外。

13.2.10 梁与柱为刚接时,柱在梁翼缘对应位置应设置横向加劲肋,当单边刚接时,加劲肋的厚度可取 0.5 倍的梁翼缘厚度,当双边刚接时,加劲肋的厚度不宜小于两侧较厚梁翼缘厚度。

13.2.11 梁与柱为刚性连接时,柱在梁翼缘上下各 500 mm 的范围内,柱翼缘与柱腹板间或箱形柱壁板间的连接焊缝应采用全熔透焊缝。

13.2.12 当柱接头采用全熔透焊缝连接时,柱接头上下各 100 mm 的范围内,工形柱翼缘与腹板间或箱形柱壁板间的连接焊缝,应采用全熔透焊缝。

13.2.13 若垂直支撑与柱、梁采用节点板连接,应使节点板在连接杆件每侧有不小于 30° 夹角,支撑端部至节点板嵌固点在沿支撑杆件方向的距离(即由节点板与柱、梁焊缝的起点垂直于支撑杆件轴线的直线至支撑端部的距离),不应小于节点板厚度的 2 倍。

14 锅炉钢结构的防锈、防腐蚀处理

14.1 锅炉钢结构的涂装应符合 NB/T 47055 的规定。对环境条件差、防护要求高及用户有特殊要求的锅炉钢结构应专门进行涂装设计。

14.2 锅炉钢结构设计时不考虑因锈蚀而加大钢材截面。

14.3 应根据不同的环境、涂料的性质和防护时间,合理地选用涂层厚度。

14.4 按涂料层次结构可分为底漆、中间漆及面漆三个层次。底漆和中间漆宜在工厂涂覆,面漆宜在现场涂覆。

14.5 使用期间不能重新油漆的结构部位应采取特殊的防锈措施。

