



CECS 280 : 2010

---

中国工程建设协会标准

# 钢管结构技术规程

Technical specification for structures with  
steel hollow sections

中国计划出版社

中国工程建设协会标准

钢管结构技术规程

Technical specification for structures with  
steel hollow sections

**CECS 280 : 2010**

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

同 济 大 学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2010年12月1日

中国计划出版社

2010 北 京

中国工程建设协会标准  
钢管结构技术规程  
CECS 280 : 2010

☆

中冶建筑研究总院有限公司 主编  
同 济 大 学  
中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

---

850×1168 毫米 1/32 5 印张 128 千字

2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—5100 册

☆

统一书号:1580177·524

定价:40.00 元

# 中国工程建设标准化协会公告

第 64 号

## 关于发布《钢管结构技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会[2004]建标协字第 05 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2004 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,由中冶建筑研究总院有限公司、同济大学等单位编制的《钢管结构技术规程》,经本协会冶金分会组织审查,现批准发布,编号为 CECS 280 : 2010,自 2010 年 12 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会

二〇一〇年九月七日

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会[2004]建标协字第 05 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2004 年第一批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本规程。

钢管结构由于具有优越的截面特性和结构性能、外形简洁美观等优点,在我国的工程结构中广泛应用。为了对其材料、设计、施工等技术要求作出配套的规定,以促其进一步发展,本规程在总结国内外设计、施工、管理经验和科研成果的基础上,对钢管结构的材料、基本设计规定、结构及构件设计、节点强度计算、节点构造、疲劳计算和施工等作出了规定。

本规程主要内容包括总则、术语和符号、材料、基本设计规定、结构及构件设计、节点强度计算、节点构造、疲劳计算和施工等。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,现推荐给工程建设、设计、施工等使用单位及工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会冶金分会(北京市海淀区西土城路 33 号,邮编:100088)归口管理并负责解释。在使用过程中如发现需要修改或补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

**主 编 单 位:**中冶建筑研究总院有限公司  
同济大学

**参 编 单 位:**中国钢结构协会专家委员会  
哈尔滨工业大学

清华大学

东南大学

天津大学

上海冠达尔钢结构有限公司

浙江东南网架集团有限公司

江苏沪宁钢机股份有限公司

浙江精工钢结构有限公司

上海宝冶建设有限公司

中建钢构有限公司

浙江杭萧钢构股份有限公司

中国航空工业规划设计研究院

北京市建筑设计研究院

武汉钢铁集团汉口轧钢厂

广州珠江钢管有限公司

**参 加 单 位:**天津钢管集团股份有限公司

**主要起草人:**吴耀华 陈以一 (以下按姓氏笔画排列)

王恒华 王 伟 王利树 甘 明 石荣金

朱 丹 何文汇 肖 瑾 张耀春 张 琨

陈志华 陈友泉 武振宇 周观根 郭彦林

贺明玄 柴 昶 黄明鑫 童乐为 鲍广鉴

万国胜

**主要审查人:**沈祖炎 范 重 路克宽 范懋达 汪一竣

王立军 钱基宏 覃 阳 侯兆欣

# 目 次

1	总 则	( 1 )
2	术语和符号	( 2 )
2.1	术语	( 2 )
2.2	符号	( 3 )
3	材 料	( 8 )
3.1	钢材	( 8 )
3.2	连接材料	( 8 )
3.3	混凝土材料	( 9 )
4	基本设计规定	(11)
4.1	设计原则	(11)
4.2	设计指标	(12)
4.3	结构变形限值	(14)
4.4	构造要求	(14)
5	结构及构件设计	(17)
5.1	一般设计规定	(17)
5.2	构件及结构形式	(19)
5.3	钢管梁及钢管柱设计	(21)
5.4	等截面钢管格构柱设计	(22)
5.5	钢管格构柱缀件设计	(24)
6	节点强度计算	(26)
6.1	一般规定	(26)
6.2	直接焊接圆管节点计算	(26)
6.3	直接焊接矩形管节点计算	(39)
6.4	支管端部压扁的连接节点计算	(46)

6.5	节点板与圆管连接节点计算	(50)
6.6	钢管柱与 H 型钢梁节点计算	(53)
7	节点构造	(56)
7.1	直接焊接节点构造	(56)
7.2	端部压扁节点构造	(57)
7.3	加劲钢管节点构造	(58)
7.4	钢管柱与 H 型钢梁节点构造	(61)
7.5	杆件拼接构造	(63)
7.6	柱脚构造和支座构造	(63)
7.7	管桁架上弦与屋面构件的连接构造	(65)
8	疲劳计算	(67)
8.1	一般规定	(67)
8.2	疲劳计算	(67)
9	施    工	(71)
9.1	一般规定	(71)
9.2	放样和号料	(71)
9.3	加工	(72)
9.4	组装	(75)
9.5	焊接	(77)
9.6	加工验收	(78)
9.7	运输及安装	(79)
9.8	钢管节点区混凝土施工	(79)
附录 A	疲劳计算的构件和连接分类	(80)
	本规程用词说明	(86)
	引用标准名录	(87)
附:	条文说明	(89)



# Contents

1	General provisions .....	( 1 )
2	Terms and symbols .....	( 2 )
2.1	Terms .....	( 2 )
2.2	Symbols .....	( 3 )
3	Material .....	( 8 )
3.1	Structural steel .....	( 8 )
3.2	Connections and fasteners .....	( 8 )
3.3	Concrete .....	( 9 )
4	Basic design requirements .....	(11)
4.1	Design principles .....	(11)
4.2	Design strength .....	(12)
4.3	Requirements for deformation of structures .....	(14)
4.4	Requirements for detailing .....	(14)
5	Design of members and structure .....	(17)
5.1	General design requirements .....	(17)
5.2	Members and structural types .....	(19)
5.3	Beams and columns design .....	(21)
5.4	Design of laced or battened column with constant cross-section .....	(22)
5.5	Design of lacers or batteners .....	(24)
6	Joints strength calculation .....	(26)
6.1	General requirements .....	(26)
6.2	Welded joints for circular hollow sections .....	(26)
6.3	Welded joints for rectangular hollow sections .....	(39)

6.4	Branch end flattening connection .....	(46)
6.5	Gusset plate connection .....	(50)
6.6	Joints of CHS-column and H-beams .....	(53)
7	Joints detailing .....	(56)
7.1	Welded joints .....	(56)
7.2	Flattening joints .....	(57)
7.3	Reinforced joints .....	(58)
7.4	Joints of CHS-column and H-beams .....	(61)
7.5	Splice of members .....	(63)
7.6	Column base and supports .....	(63)
7.7	Connection of roof secondary structures with top chords ...	(65)
8	Fatigue calculation .....	(67)
8.1	General requirements .....	(67)
8.2	Fatigue calculation .....	(67)
9	Construction .....	(71)
9.1	General requirement .....	(71)
9.2	Lay-out .....	(71)
9.3	Fabrication .....	(72)
9.4	Packing together .....	(75)
9.5	Welding .....	(77)
9.6	Acceptance for fabrication .....	(78)
9.7	Transportation and erection .....	(79)
9.8	Concrete construction .....	(79)
Appendix A Classification of members and connection for fatigue calculation .....		(80)
Explanation of wording in this specification .....		(86)
List of quoted standards .....		(87)
Attached: Explanation of provisions .....		(89)

# 1 总 则

**1.0.1** 为了适应钢管结构迅速发展的需要,在钢管结构设计及施工中贯彻执行国家的技术经济政策,做到技术先进、安全适用、确保质量、经济合理,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工业与民用建筑和一般构筑物的钢管结构设计及施工。

**1.0.3** 在钢管结构设计文件中,应注明建筑结构的设计使用年限、钢材牌号(或钢号)、连接材料的型号和对钢材所要求的材料标准及其他的附加保证项目。此外,还应注明所要求的焊缝形式、焊缝质量等级、端面刨平顶紧部位及对施工的要求。

**1.0.4** 钢管结构按本规程设计和施工时,除应执行本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.1 钢管结构** structure with steel hollow section members

主要由钢管构件组成的结构,钢管包括圆钢管、矩形钢管和用钢板焊接成的钢管。

**2.1.2 主管或弦杆** chord member

钢管结构中,在节点处连续贯通的管件,如桁架中的弦杆。

**2.1.3 支管或腹杆** bracing member or web member

钢管结构中,在节点处断开并与主管相连的管件,如桁架中的腹杆。

**2.1.4 平面管节点** uni-planar joint

所有支管与主管在同一平面内相互连接的节点。

**2.1.5 空间管节点** multi-planar joint

在不同平面内的支管与主管相连接而形成的管节点。

**2.1.6 加强型管节点** reinforced joint

用局部增加壁厚、设置加劲肋或管内填充混凝土等方法加强的管节点。

**2.1.7 平面桁架** plane truss

由处于同一平面内的上弦杆、腹杆和下弦杆构成的桁架。

**2.1.8 立体桁架** spatial truss

由弦杆和腹杆构成的立体格构式桁架。

**2.1.9 平面内弯矩** in-plane bending moment

处于由弦杆与腹杆构成的平面内的弯矩。

### 2.1.10 平面外弯矩 out-of-plane bending moment

包含腹杆且与弦杆、腹杆构成平面正交的平面内的弯矩。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 作用和作用效应

$M_m$ ——轴心设计荷载作用下的跨中弯矩；

$M_d$ ——缀管两端的最大弯矩；

$M_i^{pj}$ 、 $M_o^{pj}$ ——支管在管节点处的平面内和平面外抗弯承载力设计值；

$M_{b1}$ 、 $M_{b2}$ ——同一框架平面内节点两侧梁端弯矩的设计值；

$N$ ——轴向设计荷载；

$N_k$ ——钢管柱轴心力标准值；

$N_{cr}$ ——考虑格构柱剪切变形效应的屈曲承载力；

$N_{cx}^{pj}$ 、 $N_{cx}^{pk}$ ——X形节点受拉和受压支管在管节点处的承载力设计值；

$N_{ck}^{pj}$ 、 $N_{ck}^{pk}$ ——K形节点受拉和受压支管在管节点处的承载力设计值；

$N_{cTT}^{pj}$ 、 $N_{cTT}^{pk}$ ——TT形节点受拉和受压支管在管节点处的承载力设计值；

$N_i$ ——支管所受的轴力；

$N_i^s$ ——支管在节点处的冲剪承载力设计值；

$N_{ok}^{pj}$ ——搭接管在管节点处的承载力设计值；

$N_{cYY}^{pj}$ ——DY形节点两受压支管在管节点处的承载力设计值；

$N_{pl}$ ——主管轴向承载力；

$N_{0,gap}$ ——间隙处主管轴力；

$N_{op}$ ——主管预加轴压力；

$T_r$ ——螺栓设计承载力；

- $V$ ——轴心受压格构柱的剪力；
- $V_{pl}$ ——主管剪切承载力；
- $\gamma_z$ ——分肢段在单位力作用下的剪切角变；
- $\sigma$ ——节点两侧主管轴心压应力的较小绝对值；
- $\sigma_l^N$ ——按主支管相贯线的焊缝有效截面计算时垂直于焊缝长度方向的应力；
- $\sigma_{fi}^M$ ——按相贯线焊缝有效截面冠点处截面模量计算的垂直于焊缝长度方向的应力；
- $\sigma_{fo}^M$ ——按相贯线焊缝有效截面鞍点处截面模量计算的垂直于焊缝长度方向的应力。

### 2.2.2 材料性能

- $f$ ——钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
- $f_y$ ——钢材的屈服强度；
- $f_u$ ——钢材的极限抗拉强度；
- $f_v$ ——主管钢材抗剪强度设计值；
- $f_t^w$ ——角焊缝的强度设计值；
- $f_p$ ——加强板的强度设计值；
- $f_c$ ——混凝土的抗压强度设计值；
- $\gamma_f$ ——外环加劲板的屈强比。

### 2.2.3 几何参数

- $A$ ——分肢截面积总和；
- $A_1$ ——钢管格构柱一个节间内两侧斜缀管面积之和；
- $A_{0e}$ ——小头的有效面积；
- $A_o$ ——搭接管的截面面积；
- $A_{ch}$ ——主管截面面积；
- $A_1$ 、 $A_2$ ——荷载作用处的承载面积和扩散承载面积；
- $I_{eff}$ ——等效惯性矩；
- $I_{fi}$ 、 $I_{fo}$ ——焊缝有效截面的平面内和平面外抗弯惯性矩；
- $O_v$ ——搭接率；

$W_{ch}$ ——主管截面模量；  
 $W_{fi}$ 、 $W_{fo}$ ——焊缝有效截面的平面内和平面外抗弯模量；  
 $V_p$ ——节点域的抗剪部分有效体积；  
 $b_1$ ——梭形柱跨中截面边长；  
 $b_0$ ——梭形柱端部截面边长；  
 $b_{bf}$ ——梁翼缘宽度；  
 $b_p$ 、 $l_p$ 、 $t_p$ ——加强板的宽度、最小长度和厚度；  
 $b_r$ ——外环加劲板折算宽度；  
 $c_1$ ——最远的分肢距弯曲主轴的距离；  
 $c_i$ ——第  $i$  个分肢距弯曲主轴的距离；  
 $d$ ——圆主管外径；  
 $d_0$ ——梭形柱端部截面外径；  
 $d_1$ ——梭形柱跨中截面外径；  
 $d_c$ 、 $t_c$ ——圆管柱外径和壁厚；  
 $e$ ——偏心距；  
 $g$ ——支管间的间隙；  
 $h$ ——连接平面内的矩形主管截面高度；  
 $h_{bw}$ ——梁腹板高度；  
 $h_c$ ——方矩形钢管或箱形截面中与所计算的梁轴线平行的板件的宽度；  
 $h_e$ ——焊缝计算厚度；  
 $h_f$ ——焊脚尺寸；  
 $h_r$ ——外环加劲板在圆管径向的最小净宽；  
 $i_1$ ——分肢线刚度；  
 $i_b$ ——横缀管的线刚度；  
 $l$ ——构件长度；  
 $l_c$ ——混凝土在主管中的长度；  
 $l_w$ ——焊缝的计算长度；  
 $p$ ——螺栓间距；

$t_w$ ——方矩形钢管中与所计算的梁轴线平行的板件的厚度；

$t_r$ ——外环加劲板厚度；

$\gamma$ ——梭形柱楔率或圆管半径与壁厚之比；

$\beta$ ——圆支管直径(或矩形管宽度)与圆主管直径(或矩形管宽度)之比值；

$\lambda_{\text{eff}}$ ——等效长细比；

$\lambda_m$ ——钢管格构柱的换算长细比；

$\lambda_0$ ——长细比；

$\lambda_1$ ——分肢长细比；

$\alpha$ ——梭形柱轴线与斜锥面之间的夹角；

$\theta$ ——空间管节点主支管轴线间小于直角的夹角；

$\theta_t, \theta_c$ ——受拉和受压支管轴线与主管轴线的夹角；

$\phi$ ——空间管节点支管的横向夹角；

$\delta$ ——局部变形的纵向量测值。

#### 2.2.4 计算系数及其他

$D$ ——疲劳损伤累积值；

$N_i$ ——各名义应力幅  $\Delta\sigma_i$  所对应的常幅疲劳寿命；

$m$ ——进行疲劳计算时的参数；

$n_i$ ——结构使用寿命期内,各名义应力幅水平  $\Delta\sigma_i$  的循环次数；

$\mu$ ——计算长度系数；

$\varphi$ ——轴心受压构件的稳定系数；

$\beta_i$ ——钢管格构柱分肢线刚度与缀管线刚度的比值；

$\chi$ ——剪力增大系数；

$\psi_n, \psi_a, \psi_d$ ——用于计算直接焊接圆管节点承载力的参数；

$\psi_o$ ——搭接影响函数；

$\eta$ ——应力放大系数；

$\Delta\sigma$ ——疲劳计算名义应力幅；



$\Delta\sigma_D$ —— 计算部位的常幅疲劳极限；

$\Delta\sigma_R$ —— 计算部位的常幅疲劳强度；

$\Delta\sigma_L$ —— 变幅疲劳应力幅截止限。

## 3 材 料

### 3.1 钢 材

3.1.1 钢管结构用钢管材料,其质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《优质碳素结构钢》GB/T 699、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 和《建筑结构用钢板》GB/T 19879 的规定。对相贯焊接的钢管结构,不宜采用屈强比  $f_y/f_u$  大于 0.8 的钢材,可采用牌号为 Q235、Q345 的钢材;当有可靠依据时,可采用其他牌号的钢材。

3.1.2 结构用钢管,应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、钢材厚度、成型方法和工作环境等因素合理选取钢材牌号、质量等级与性能指标,并在设计文件中注明。焊接钢管结构的钢材宜采用 B 级及 B 级以上等级的钢材。

3.1.3 结构用圆管和矩形管,可采用热轧、热扩无缝钢管,或采用辊压成型、冷弯成型、热完成成型的直缝焊接管,矩形管也可用钢板焊接成型。焊接可采用高频焊、自动焊或半自动焊以及手工焊,焊接材料应与母材匹配。

3.1.4 钢管结构的铸钢节点用铸钢材料及连接材料应符合现行协会标准《铸钢节点应用技术规程》CECS 235 的规定。

### 3.2 连 接 材 料

3.2.1 钢管结构的焊接材料应符合下列要求:

1 手工焊接采用的焊条,应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 或《低合金钢焊条》GB/T 5118 的规定。选择的焊条型号应与主体金属力学性能相匹配。对直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构,宜采用低氢型焊条。

2 自动或半自动焊接采用的焊丝及相应的焊剂应与主体金属力学性能相匹配。焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957 或《气体保护焊用钢丝》GB/T 14958 的规定。

3 二氧化碳气体保护焊接用的焊丝,应符合现行国家标准《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 的规定。

4 当两种不同级别的钢材相焊接时,宜采用与主体金属强度较低一种钢材相适应的焊条或焊丝。

**3.2.2 钢管结构的连接紧固件应符合下列要求:**

1 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 和《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

2 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》GB/T 3633 或《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230 与《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 1231 的规定。高强度螺栓的预拉力和摩擦面抗滑移系数应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 选用。

3 锚栓可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中规定的 Q235 钢或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q345 钢。

### 3.3 混凝土材料

**3.3.1 加强型钢管节点中的混凝土强度等级应依据结构计算或节点强度计算的要求由设计决定。混凝土的强度等级、力学性能指标和质量标准应分别符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土强度检验评定标准》GB 50107 及现行协会标准《自密实混凝土应用技术规程》CECS 203 的规定。混凝土的强度级别,对 Q235 钢管不宜小于 C30,对 Q345 钢管不宜小于 C40。**

**3.3.2** 钢管节点中的混凝土宜采用自密实混凝土或高强度无收缩砂浆。混凝土的配合比应根据混凝土的设计强度等级计算,并通过试验确定。混凝土的坍落度应根据混凝土浇注施工工艺和钢管尺寸等条件确定。

## 4 基本设计规定

### 4.1 设计原则

4.1.1 本规程除疲劳计算外,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以分项系数设计表达式进行计算。

4.1.2 设计钢管结构时,应根据结构破坏可能产生的后果,采用不同的安全等级。

一般工业与民用建筑钢管结构的安全等级应取为二级,特殊建筑钢管结构的安全等级应按具体情况另行确定。

4.1.3 钢管结构的承重构件应按承载力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

1 按承载力极限状态设计时,应考虑荷载效应的基本组合,必要时,尚应考虑荷载效应的偶然组合。

2 按正常使用极限状态设计时,应只考虑荷载效应的标准组合。

4.1.4 计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时,应采用荷载设计值;计算疲劳和正常使用极限状态的变形时,应采用荷载标准值。

4.1.5 对于直接承受动力荷载的结构,在计算强度和稳定性时,动力荷载设计值应乘动力系数。在计算疲劳和变形时,取动力荷载标准值,不乘动力系数。

计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳和变形时,吊车荷载应按作用在跨间内起重量最大的一台吊车确定。

4.1.6 设计钢管结构时,荷载的标准值、荷载分项系数、荷载组合系数、荷载折减系数、动力荷载的动力系数以及按结构安全等级确定的重要性系数等,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》

GB 50009的规定采用。在抗震设防区还应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

4.1.7 结构构件的强度应按净截面(开孔构件为有效截面扣除孔洞后的截面)计算,稳定性应视板件受力状况和宽厚比按有效截面或毛截面计算,为简化计算,构件的变形和各种稳定系数均可按毛截面计算。

## 4.2 设计指标

4.2.1 热成型钢管的钢材强度设计值应按表 4.2.1 采用。

表 4.2.1 热成型钢材的强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)

钢材		抗拉、抗压和抗弯	抗剪	端面承压(刨平顶紧)
牌号	厚度或直径(mm)	$f$	$f_v$	$f_{ce}$
Q235 钢	$\leq 16$	215	125	325
	$> 16 \sim 40$	205	120	
Q345 钢	$\leq 16$	310	180	400
	$> 16 \sim 35$	295	170	

4.2.2 冷成型或由冷弯型钢焊接组成的钢管的钢材强度设计值应按表 4.2.2 采用。

表 4.2.2 冷成型钢材的强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)

钢材牌号	抗拉、抗压和抗弯 $f$	抗剪 $f_v$	端面承压(刨平顶紧) $f_{ce}$
Q235 钢	205	120	310
Q345 钢	300	175	400

注:1 表中数值适用于板厚  $t \leq 6\text{mm}$ 。

2 考虑冷弯效应的钢材强度提高系数应按照现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的规定取值。

4.2.3 焊缝的强度设计值应按表 4.2.3 采用。

表 4.2.3 焊缝的强度设计值(N/mm<sup>2</sup>)

构件钢材及相应的 焊接方法和焊条		对接焊缝			角焊缝	
牌号	厚度或直径 (mm)	抗压 $f_c^w$	焊缝等级为下列等级时 抗拉 $f_t^w$		抗剪 $f_v^w$	抗拉、抗压 和抗剪 $f^w$
			一级、二级	三级		
Q235 钢 自动焊、半 自动焊和 E43 型焊条 的手工焊	冷成型, ≤6	205	205	175	120	140
	热成型, ≤16	215	215	185	125	160
	热成型, >16~40	205	205	175	120	
Q345 钢 自动焊、半 自动焊和 E50 型焊条 的手工焊	冷成型, ≤6	300	300	255	175	195
	热成型, ≤16	310	310	265	180	200
	热成型, >16~35	295	295	250	170	

注:1 焊缝质量等级的划分应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

2 当 Q235 钢与 Q345 钢对接焊接时,焊缝的强度设计值应按表中的 Q235 钢栏的数值采用。

4.2.4 钢材的物理性能指标应按表 4.2.4 采用。

表 4.2.4 钢材的物理性能

弹性模量 $E$ (N/mm <sup>2</sup> )	剪变模量 $G$ (N/mm <sup>2</sup> )	线膨胀系数 $\alpha$ (以每℃计)	质量密度 $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
$206 \times 10^3$	$79 \times 10^3$	$12 \times 10^{-6}$	7850

4.2.5 混凝土的强度设计值、强度标准值和弹性模量应按表 4.2.5 采用。

表 4.2.5 混凝土强度指标和弹性模量(N/mm<sup>2</sup>)

混凝土强度等级		C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
设计值	轴心抗压 $f_c$	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9
	轴心抗拉 $f_t$	1.43	1.57	1.71	1.8	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

续表 4.2.5

混凝土强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	
标准值	轴心抗压 $f_{ck}$	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
	轴心抗拉 $f_{tk}$	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11
弹性模量 $E_c (\times 10^4)$	3.0	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80	

### 4.3 结构变形限值

4.3.1 受弯钢管结构或构件的最大挠度计算及其容许值,应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

4.3.2 钢管框架结构的房屋,在风荷载作用下的层间相对位移与层高之比不宜大于 1/400。当采用有较高变形限制的装修材料或非结构构件时,层间相对位移与层高之比宜适当减小;当无隔墙时,可适当增大。

4.3.3 钢管结构的房屋,在地震作用下的层间相对位移与层高之比,在多遇地震作用下(按弹性计算)不宜大于 1/300;在罕遇地震作用下(按弹塑性计算)不宜大于 1/50。当采用有较高变形限制的装修材料或非结构构件时,在多遇地震作用下的层间相对位移与层高之比宜适当减小。

### 4.4 构造要求

4.4.1 相贯焊接节点的钢管结构,其成品钢管的性能应满足设计要求。受力钢管的壁厚不得小于 2mm;壁厚大于 25mm 时,对承受支管较大拉应力的主管部位,应有防止层状撕裂的措施。

4.4.2 钢管构件的板件径厚比、宽厚比应符合下列要求:

1 圆钢管径厚比(钢管外径与厚度之比),当作为桁架构件和其他两端铰接的轴心受力构件时,径壁比不应超过  $100(235/f_y)$ ;当作为受弯构件和压弯构件时,如按弹性设计,径厚比不应超过  $100(235/f_y)$ ,如考虑塑性发展,不宜超过  $90(235/f_y)$ ;如对结构



采用塑性设计,以及对抗震设计中需发展塑性铰的构件,受弯构件的径厚比不应超过  $40(235/f_y)$ ,压弯构件的径厚比不应超过  $60(235/f_y)$ 。

2 矩形钢管和箱形截面板件宽厚比,当作为桁架构件和其他两端铰接的轴心受力构件时,矩形钢管的最大外缘尺寸与壁厚之比不应超过  $40\sqrt{235/f_y}$ ;当作为受弯构件和压弯构件、或考虑塑性发展时,宽厚比限值应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定;有抗震设防要求的结构构件,宽厚比应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

4.4.3 钢管构件在承受较大横向荷载的部位应采取适当的加强措施,防止产生过大的局部变形。构件的主要受力部位应避免开孔,如必须开孔时,应采取适当的补强措施。

4.4.4 构件的长细比应符合下列规定:

1 受压构件的长细比不宜超过表 4.4.4-1 的容许值。

表 4.4.4-1 受压构件的容许长细比

构件名称	容许长细比
各类柱、桁架和天窗架构件	150
柱的缀条、吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	
支撑(吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑除外)	200
用以减少受压构件长细比的杆件	

注:1 桁架(包括立体桁架)的受压腹杆,当其内力等于或小于承载力能力的 50% 时,容许长细比值可取为 200。

2 当长细比超过 180 时,应验算在自重下的挠度。杆件的侧向变形超过其长度的 1/1000 时,在计算中应考虑此弯曲的影响。

3 梭形柱按等效长细比或换算长细比取值。

4 跨度大于或等于 60m 的桁架,其受压弦杆和端压杆的容许长细比值宜取 100,其他受压腹杆可取 150(承受静力荷载或间接承受动力荷载)或 120(直接承受动力荷载)。

2 受拉构件的长细比不宜超过表 4.4.4-2 的容许值。

表 4.4.4-2 受拉构件的容许长细比

构件名称	承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		直接承受动力荷载的结构
	无吊车结构和有轻、中级工作制吊车的厂房	有重级工作制吊车的厂房	
桁架的杆件	350	250	250
吊车梁或吊车桁架以下的柱间支撑	300	200	—
支撑(注 2 项和紧张的圆钢除外)	350	300	—

- 注:1 承受静力荷载的结构中,可仅计算受拉构件在竖向平面内的长细比。  
 2 中、重级工作制吊车桁架下弦杆的长细比不宜超过 200。  
 3 受拉构件在永久荷载与风荷载组合作用下受压时,其长细比不宜超过 250;在吊车荷载和永久荷载组合作用下受压时,长细比不宜超过 200。  
 4 跨度大于或等于 60m 的桁架,其受拉弦杆和腹杆的容许长细比不宜超过 300(承受静力荷载或间接承受动力荷载)或 250(直接承受动力荷载)。

4.4.5 钢管的环焊缝、纵焊缝和节点焊缝,宜避免焊缝交叉焊接,焊缝的间距宜符合图 4.4.5 的要求。

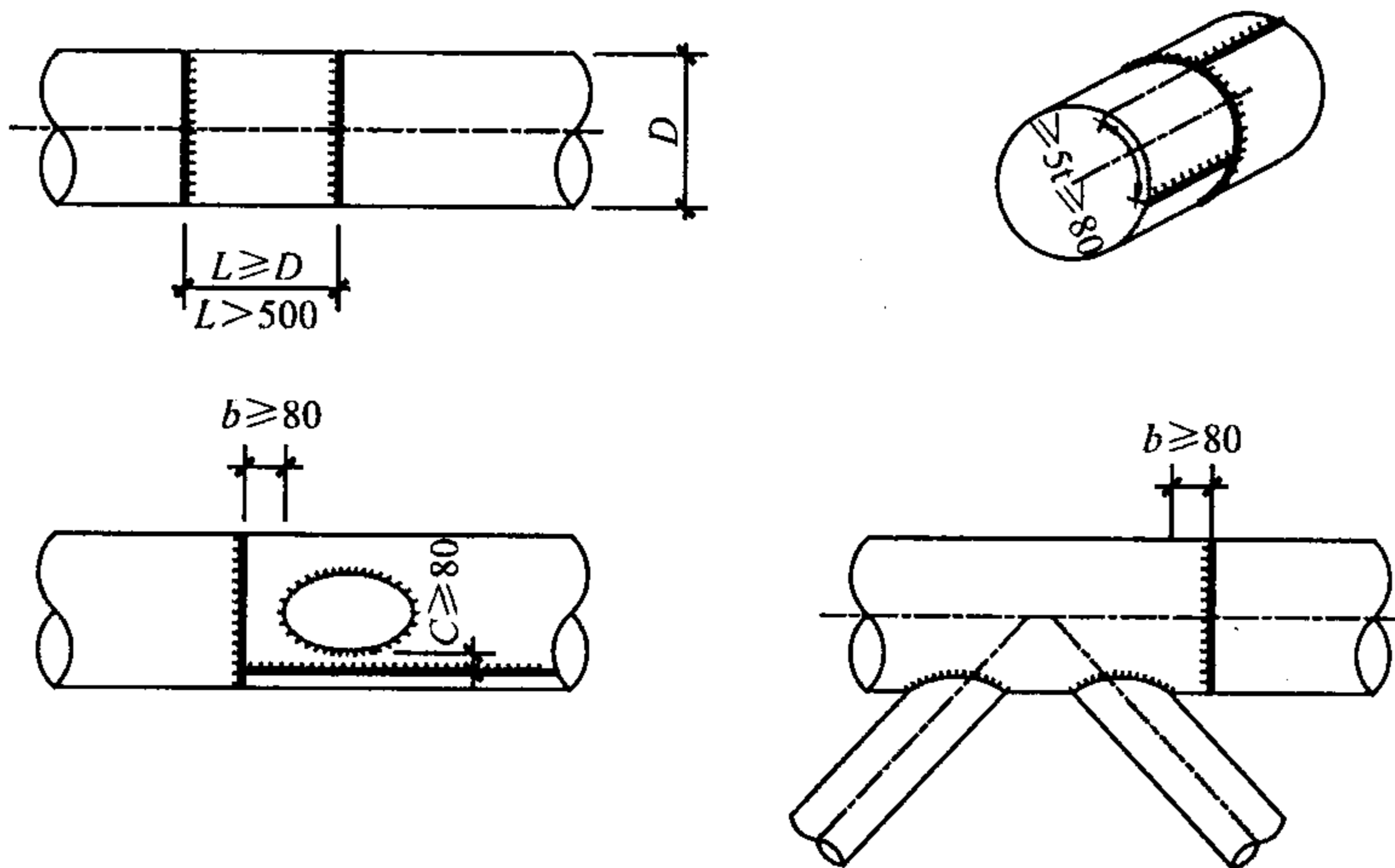


图 4.4.5 钢管连接焊缝间距的要求(mm)

## 5 结构及构件设计

### 5.1 一般设计规定

5.1.1 钢管结构的常用形式可包括钢管梁、钢管柱、钢管桁架和钢管刚架等。钢管构件有单管构件和格构式构件,其中单管构件可包括等截面单管、梭形单管、锥形单管等。

5.1.2 钢管结构应进行强度、刚度及稳定性验算;构件应满足强度、刚度(长细比控制要求)及稳定性要求;桁架和刚架结构应满足结构变形限值的要求。

5.1.3 钢管结构宜采用弹性分析方法计算结构内力,采用构件计算长度系数法直接验算构件的稳定性;对于偏心节点的钢管结构,构件承载力校核应考虑偏心产生的弯矩影响,并按偏心受力构件计算其稳定性(符合本规程第 5.1.5 条的受拉主管除外)。

5.1.4 在满足下列条件的情况下,分析桁架杆件内力时可将节点视为铰接:

- 1 符合各类节点相应的几何参数的适用范围;
- 2 杆件的节间长度或杆件长度与截面高度(或直径)之比不小于 12(主管)和 24(支管)。

否则,宜按刚接节点模型计算桁架内力。

5.1.5 钢管相贯焊接节点,当支管与主管连接节点的偏心不超过式(5.1.5)的限制时,在计算节点和受拉主管承载力时,可忽略因偏心引起的弯矩的影响,但受压主管必须考虑此偏心弯矩  $M = \Delta N \times e$  ( $\Delta N$  为节点两侧主管轴力之差)的影响。

$$-0.55 \leq e/h \quad (e/d) \leq 0.25 \quad (5.1.5)$$

式中: $e$ ——偏心距,符号如图 5.1.5 所示;

$d$ ——圆主管外径;

$h$ ——连接平面内的矩形主管截面高度。

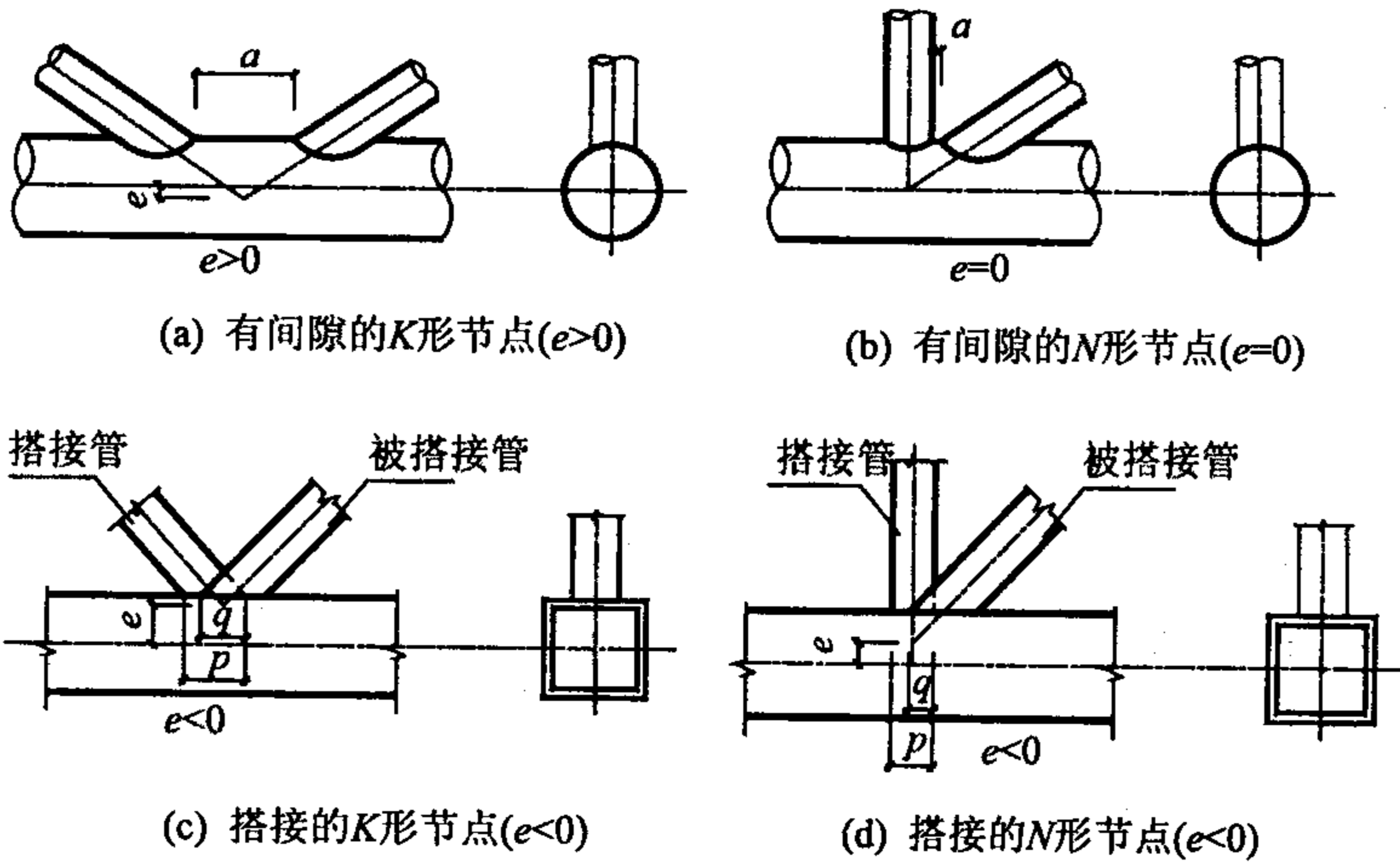


图 5.1.5 K形和N形管节点的偏心和间隙

5.1.6 主管上因节间荷载产生的弯矩应在设计主管和节点时加以考虑。此时可将主管按连续杆件单元模型进行计算(图 5.1.6-1)。

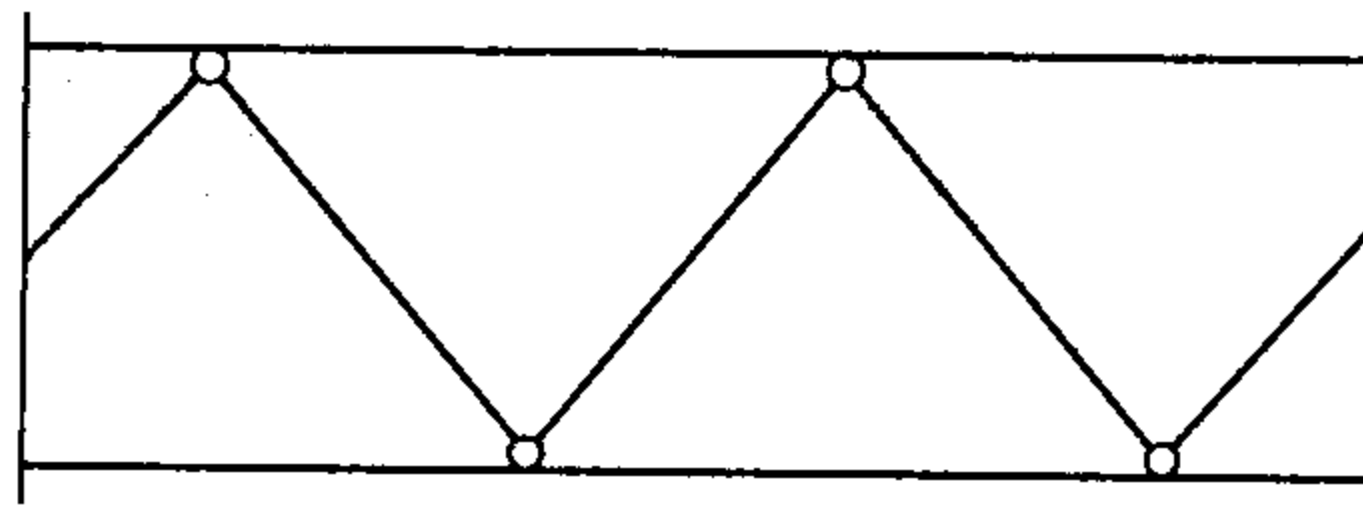


图 5.1.6-1 无偏心的腹杆端铰接桁架内力计算模型

当节点偏心超过本规程第 5.1.5 条规定时,应考虑偏心弯矩对节点强度和杆件承载力的影响,可按图 5.1.6-2 和图 5.1.6-3 所示模型进行计算。对分配有弯矩的每一个支管应按照节点在支管轴力和弯矩共同作用下的相关公式验算节点的强度,同时对分配有弯矩的主管和支管按偏心受力构件进行验算。

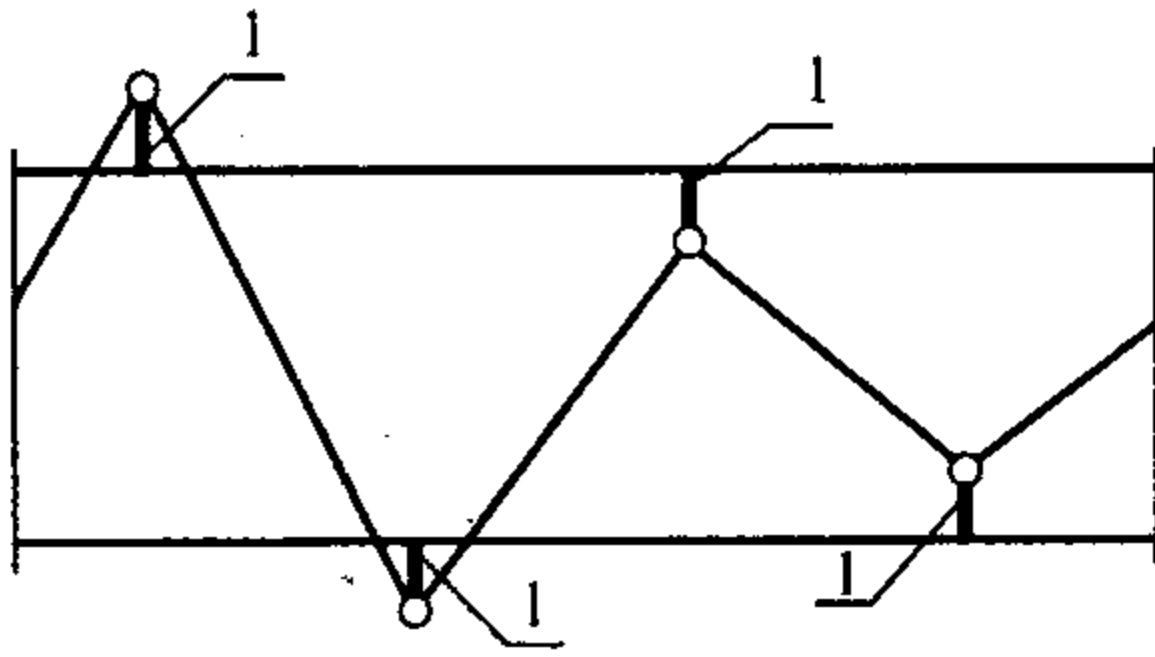


图 5.1.6-2 节点偏心的腹杆端  
铰接桁架内力计算模型

1—刚性杆件

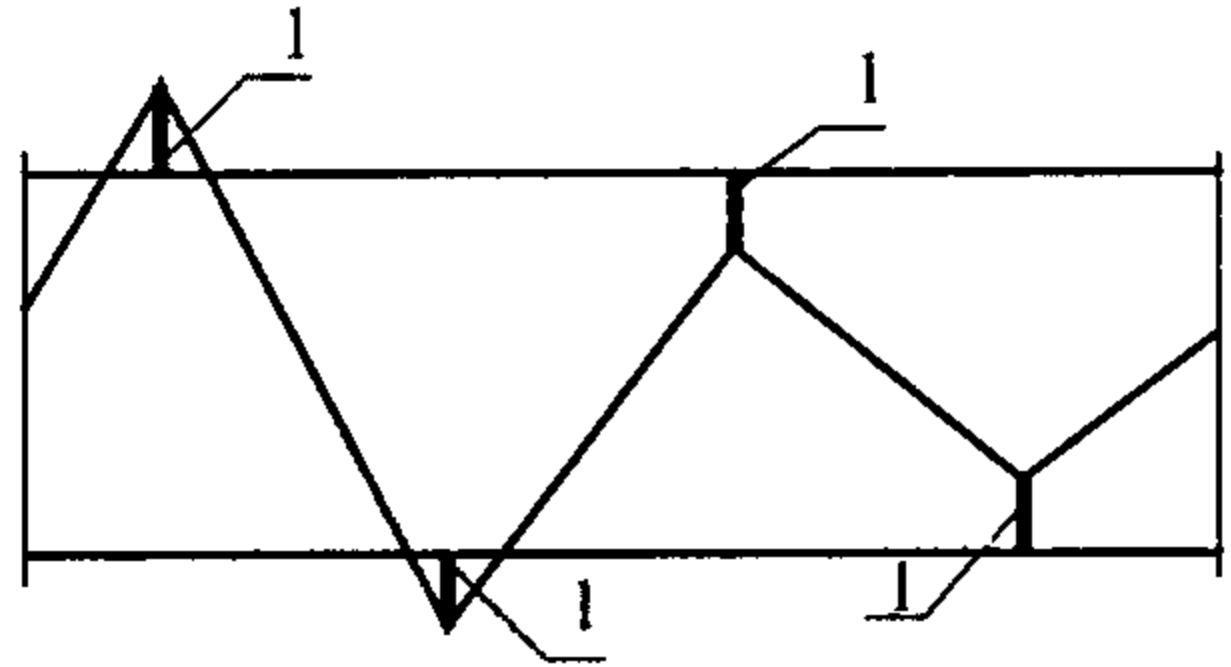


图 5.1.6-3 节点偏心的腹杆端刚  
接桁架内力计算模型

1—刚性杆件

5.1.7 采用相贯焊接连接的钢管桁架,其构件计算长度系数可按表 5.1.7 取值。

表 5.1.7 钢管桁架构件计算长度系数

桁架类别	弯曲方向	弦杆	腹杆	
			支座斜杆和支座竖杆	其他腹杆
平面桁架	平面内	$0.9l$	$l$	$0.8l$
	平面外	$l_1$	$l$	$l$
立体桁架		$0.9l$	$l$	$0.8l$

注:1  $l_1$  为平面外无支撑长度; $l$  是杆件的节间长度;

2 对端部缩头或压扁的圆管腹杆,其计算长度取  $1.0l$ 。

5.1.8 轴心受压钢管构件的稳定系数  $\varphi$  值,应依据构件截面的分类按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 取值,对壁厚小于或等于 6mm 的冷成型薄壁钢管应按现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 取值。

## 5.2 构件及结构形式

5.2.1 钢管桁架结构由弦杆和腹杆组成,弦杆可采用圆管、矩形管或 H 型钢,腹杆可采用圆管或矩形管。钢管桁架可选用平面桁架和立体桁架;桁架按弦杆轴线的形状可分为直线桁架和曲线

桁架。

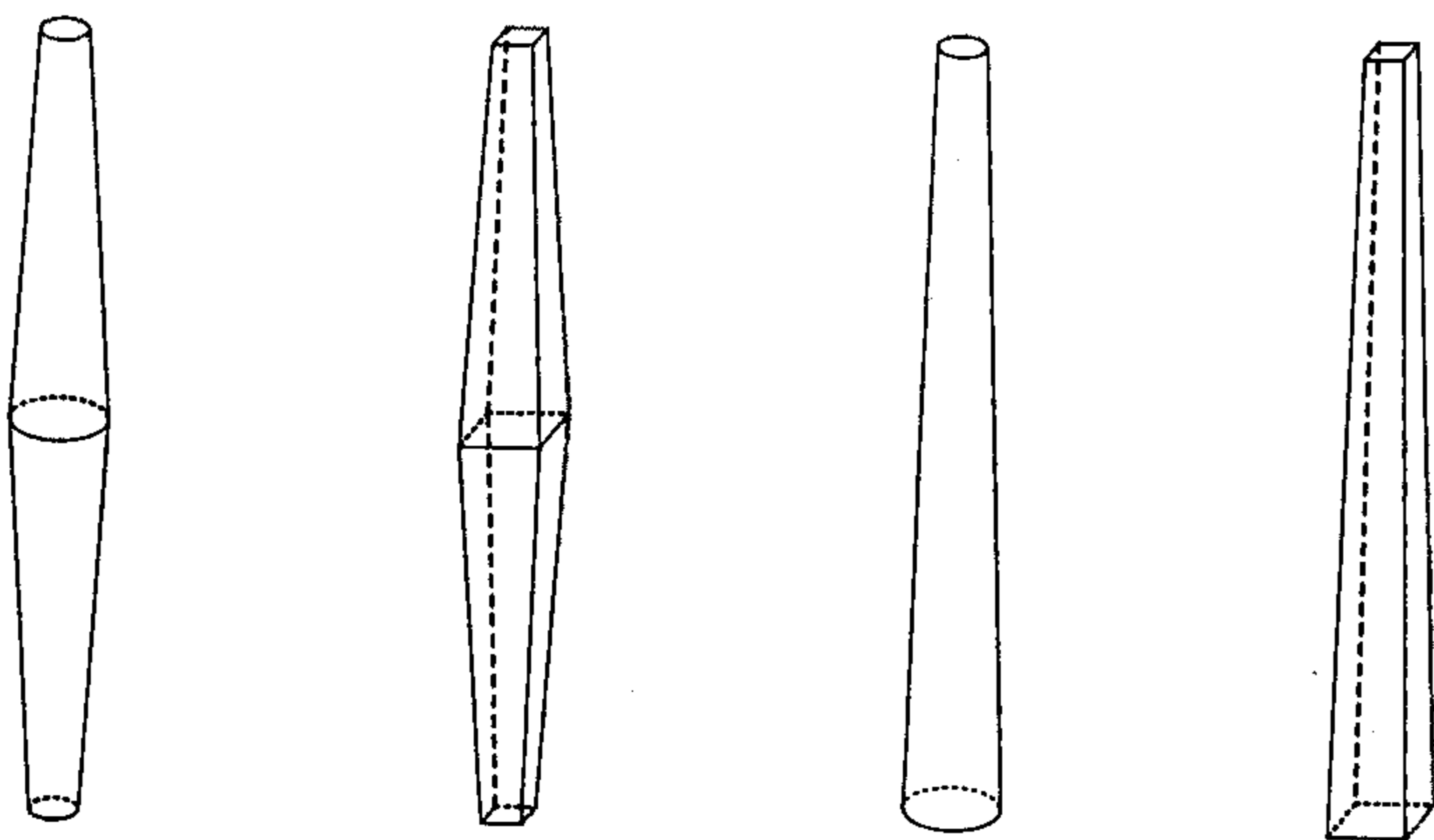
1 平面桁架按腹杆形式可选用单斜式、人字式、芬克式和空腹式。人字式桁架和单斜式桁架的斜腹杆与主管的夹角宜取 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，钢管桁架的高跨比应根据建筑净高要求、荷载、材料及运输条件等因素决定，一般可取 $1/15\sim 1/10$ 。

2 立体桁架可选用三角形截面(正放和倒放)、四边形截面和梯形截面等。

3 桁架结构应设置支撑系统，以保证桁架的稳定性。

5.2.2 钢管刚架可采用平面刚架和立体格构式刚架。平面刚架可采用单管构件和平面格构式构件，立体刚架可采用立体格构式构件，其常见形式有两铰刚架和三铰刚架。立体格构式刚架，根据刚架梁的形状要求可采用曲线(拱式)梁刚架与直线梁刚架。柱脚连接可选择刚接和铰接两种，刚架柱脚铰接时，宜把各分肢在柱脚处收于一点；刚架柱脚刚接时，其单个分肢可与基础刚接或铰接。

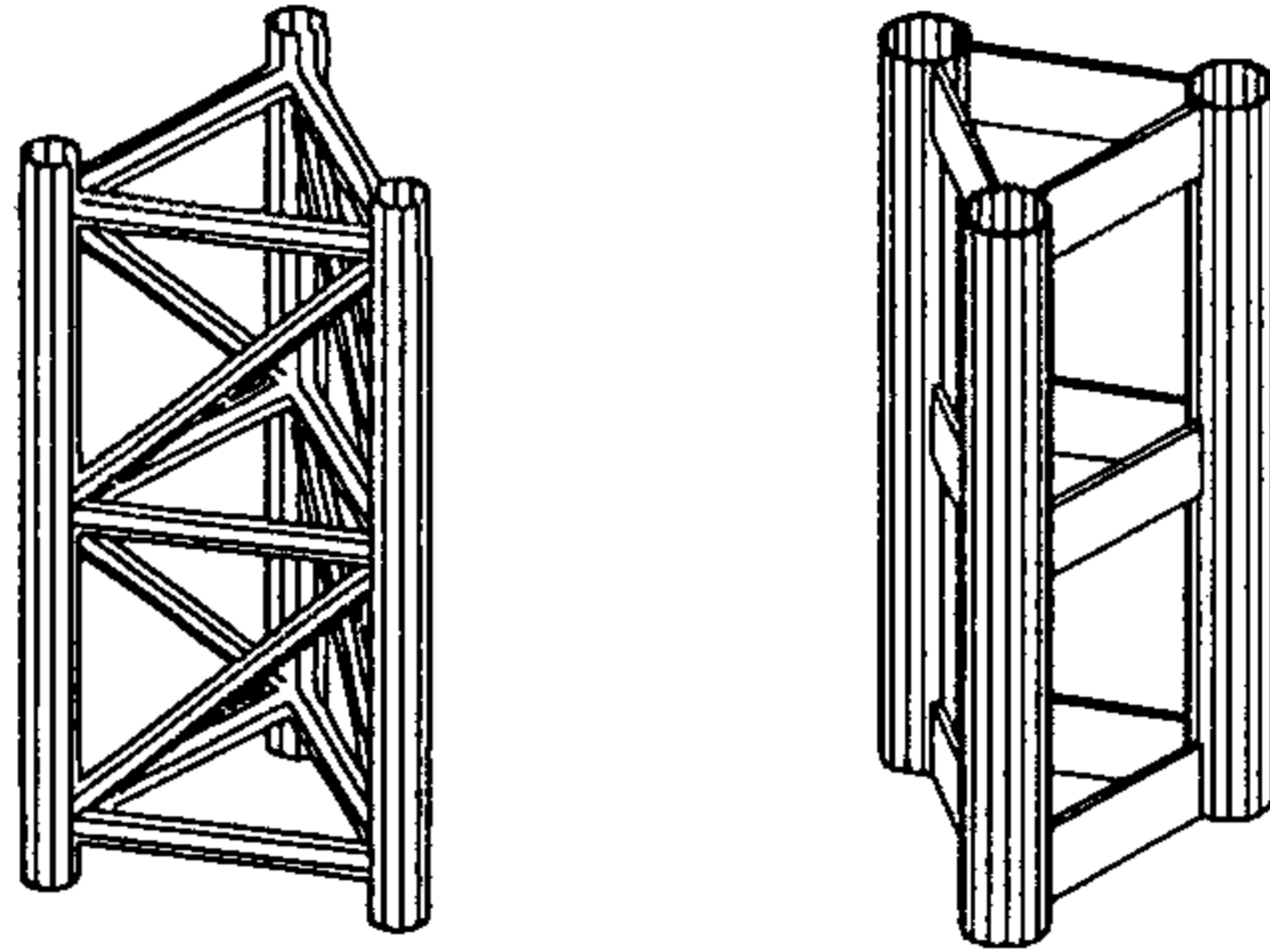
5.2.3 单管梭形柱及单管锥形柱的截面形式可选用圆钢管、方钢管和矩形钢管(图 5.2.3)。梭形柱用于柱两端铰接的轴心受压构件，锥形柱用于柱脚刚接的悬臂柱。



(a) 圆钢管梭形柱 (b) 方钢管梭形柱 (c) 圆钢管锥形柱 (d) 方钢管锥形柱

图 5.2.3 单管梭形柱与锥形柱

5.2.4 钢管格构柱可选用双肢、三肢及多肢等,横向缀件形式可选用缀管和缀板(图 5.2.4)。



(a) 缀管格构柱

(b) 缀板竖放格构柱

图 5.2.4 钢管格构柱

### 5.3 钢管梁及钢管柱设计

5.3.1 等截面钢管梁及钢管柱的设计按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 或《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定执行。对于圆钢管受弯或受拉弯、压弯的构件,计算弯矩应取构件的最大弯矩或几个平面内的最大合成弯矩。

5.3.2 二端铰接的圆(方)钢管梭形柱轴心受压时的整体稳定承载力按公式(5.3.2-1)计算,公式中的稳定系数  $\varphi$  应按等效长细比  $\lambda_{eff}$  和截面类别按本规程第 5.1.8 条的规定计算。

$$\frac{N}{\varphi A_0} \leq f \quad (5.3.2-1)$$

$$\lambda_{eff} = \frac{\mu l}{\sqrt{I_{eff}/A_0}} \quad (5.3.2-2)$$

$$\gamma = (d_1 - d_0)/d_0 \text{ 或 } \gamma = (b_1 - b_0)/b_0 \quad (5.3.2-3)$$

$$\mu = \frac{1}{2} [1 + (1 + 0.853\gamma)^{-1}] \quad (5.3.2-4)$$

式中:  $A_0$ ——梭形柱端部截面面积;

$I_{\text{eff}}$ ——等效惯性矩,  $I_{\text{eff}} = \sqrt{I_0 I_1}$ ;

$l$ ——构件长度;

$\gamma$ ——梭形柱楔率, 其值在 0~1.5 之间;

$\mu$ ——计算长度系数;

$d_1$  (或  $b_1$ )——柱中间截面外径 (或边长);

$d_0$  (或  $b_0$ )——端部截面外径 (或边长);

$I_0, I_1$ ——柱端部截面、中间截面的惯性矩。

## 5.4 等截面钢管格构柱设计

5.4.1 等截面钢管格构柱采用相贯式连接缀管时, 整体稳定应按公式(5.4.1-1)计算:

$$\frac{N}{\varphi A} \leq f \quad (5.4.1-1)$$

式中:  $A$ ——分肢截面积总和;

$\varphi$ ——轴心受压构件的稳定系数, 应根据等截面格构柱的换算长细比  $\lambda_m$ , 按照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 或《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 确定。

1 对于仅设置水平横向缀管的钢管格构柱, 换算长细比  $\lambda_m$  应按照下列规定确定:

双肢和四肢等截面钢管格构柱的换算长细比  $\lambda_m$  按式(5.4.1-2)计算:

$$\lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{12} \lambda_1^2 (1 + 2\beta_1) \quad (5.4.1-2)$$

三肢等截面钢管格构柱的换算长细比  $\lambda_m$  按式(5.4.1-3)计算:

$$\lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{48} \lambda_1^2 (5 + 8\beta_1) \quad (5.4.1-3)$$

$$\beta_1 = i_1 / i_b$$



式中： $\lambda_0$ ——钢管格构柱长细比；

$\lambda_1$ ——分肢长细比，其计算长度取相邻缀杆间中到中的距离；

$i_1$ ——分肢线刚度；

$i_b$ ——横缀管的线刚度；

$\beta_1$ ——分肢线刚度与缀管线刚度的比值。

2 对有单斜缀管的两肢和四肢钢管格构柱，当斜缀管与柱轴线夹角  $\alpha$  在  $40^\circ \sim 70^\circ$  时，换算长细比应按公式(5.4.1-4)计算。

$$\lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{27A}{A_1} \quad (5.4.1-4)$$

式中： $A$ ——分肢钢管面积之和；

$A_1$ ——一个节间内两侧斜缀管面积之和。

对有单斜缀管的肢管为等边三角形布置的三肢钢管格构柱，当斜缀管与柱轴线夹角在  $40^\circ \sim 70^\circ$  时，换算长细比可按公式(5.4.1-5)计算。

$$\lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{56A}{A_1} \quad (5.4.1-5)$$

3 钢管格构柱的稳定系数，应按国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 中 b 类截面柱子曲线或现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 取值。

5.4.2 等截面钢管格构柱分肢稳定性应按轴心受压构件或偏心压弯构件计算。

1 当满足以下条件时，可不验算分肢稳定性。

- 1) 格构柱既设置横缀管也设置斜缀管，且分肢长细比  $\lambda_1$  不大于格构柱不同方向整体换算长细比最大值  $\lambda_m$  的 0.7 倍；
- 2) 缀件是竖放缀板或仅有横缀管时， $\lambda_1$  不大于 40，且不大于  $\lambda_m$  的 0.5 倍(当  $\lambda_m < 50$  时，取  $\lambda_m = 50$ )。

2 当分肢长细比不满足上述规定时，应验算柱中部及端部分

肢段的稳定性。柱中部弯矩按公式(5.4.2-1)计算。

$$M_m = \frac{N\delta_0}{1 - N/N_{cr}} \quad (5.4.2-1)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_m} \quad (5.4.2-2)$$

式中： $N$ ——柱轴力设计值；

$\delta_0$ ——柱中部挠曲幅值， $\delta_0 = l/500$ ；

$N_{cr}$ ——考虑格构柱剪切变形效应的屈曲承载力，按公式(5.4.2-2)计算。

1) 当缀件是斜缀管时，柱中部分肢的轴力应按公式(5.4.2-3)计算，分肢稳定性按轴心受压构件验算。

$$N_1 = \frac{N}{n} + \frac{M_m c_1}{\sum_{i=1}^n c_i^2} \quad (5.4.2-3)$$

式中： $c_1$ ——最远的分肢距弯曲主轴的距离；

$c_i$ ——第  $i$  个分肢距弯曲主轴的距离；

$n$ ——分肢数。

2) 当缀件仅是横缀板(竖放)或仅是横缀管时，除应按公式(5.4.2-3)验算跨中分肢的稳定性外，还必须验算柱端部分肢的稳定性。在柱端部截面，分肢除承受轴力外，还承受由剪力引起的弯矩，分肢稳定性应按压弯构件验算。其端部单个分肢承受的轴力和弯矩应按公式(5.4.2-4)计算。

$$N_1 = \frac{N}{n}, \quad M_1 = \frac{\chi V l_1}{2n} \quad (5.4.2-4)$$

式中： $V$ ——剪力，按公式(5.5.1)取值；

$\chi$ ——考虑分肢分担剪力的不均匀性的增大系数，对两肢和四肢格构柱， $\chi = 1.0$ ；对其他分肢格构柱， $\chi = 2.0$ 。

## 5.5 钢管格构柱缀件设计

5.5.1 验算轴心受压格构柱缀件的强度时，其所受的剪力和缀件

端部的最大弯矩应分别按公式(5.5.1-1)和(5.5.1-2)计算。

$$V = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}} \quad (5.5.1-1)$$

$$M_d = \frac{Vl_1}{2n} \quad (5.5.1-2)$$

**5.5.2** 四肢及四肢以上的钢管格构柱,应在柱中部水平面内设置水平加强缀管,使横隔处形成若干个稳定的三角形区域。

## 6 节点强度计算

### 6.1 一般规定

6.1.1 本章规定不适用于直接承受冲击荷载的节点。承受高周疲劳荷载的节点除按本章规定计算外尚应符合本规程第9章的有关规定。

6.1.2 铸钢节点、螺栓球节点、焊接球节点、钢管法兰式节点应分别按国家现行的标准进行计算。

6.1.3 直接焊接钢管结构中,支管和主管的内力设计值不应超过杆件承载力设计值。支管的内力设计值不应超过节点承载力设计值。连接焊缝的承载力应等于或大于节点承载力。

### 6.2 直接焊接圆管节点计算

6.2.1 本节规定适用于节点处直接焊接且主管与支管均为圆管的桁架结构、塔架结构等类似结构。

6.2.2 本节各项计算公式,其适用范围应符合表6.2.2的要求。

表 6.2.2 主管和支管均为圆管的节点几何参数的适用范围

$\beta = d_i/d$	$\gamma = d/(2t)$	$d_i/t_i$	$\tau = t_i/t$	$\theta$	$\phi$
$0.2 \leq \beta \leq 1.0$	$\leq 50$	$\leq 60$	$0.2 \leq \tau \leq 1.0$	$\geq 30^\circ$	$60^\circ \leq \phi \leq 120^\circ$

注:1  $d, d_i$  分别为主管直径;  $t, t_i$  分别为主管壁厚。

2  $\theta$  为主支管轴线间小于直角的夹角。

3  $\phi$  为空间管节点支管的横向夹角,即支管轴线在主管横截面所在平面投影的夹角。

6.2.3 承受轴力作用的节点承载力应按下列规定计算:

1 平面 X 形节点(图 6.2.3-1)应符合下列规定。

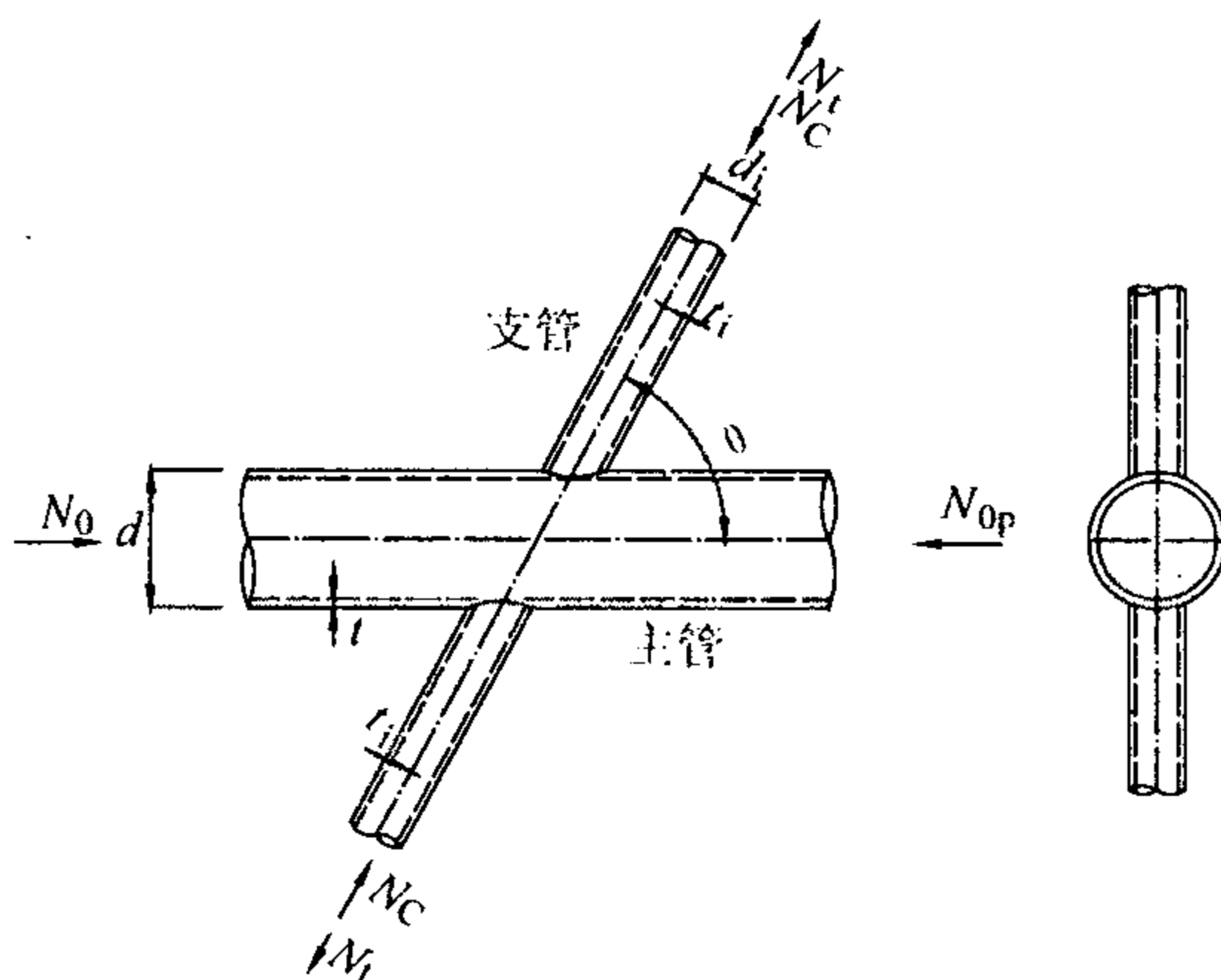


图 6.2.3-1 X 形节点

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cx}^{pj}$  应按下式计算:

$$N_{cx}^{pj} = \frac{5.45}{(1-0.81\beta)\sin\theta} \psi_n t^2 f \quad (6.2.3-1)$$

式中:  $\psi_n$ ——参数,  $\psi_n = 1 - 0.3 \frac{\sigma}{f_y} - 0.3 \left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2$ , 当节点两侧或者

一侧主管受拉时, 取  $\psi_n = 1$ ;

$f$ ——主管钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值;

$f_y$ ——主管钢材的屈服强度;

$\sigma$ ——节点两侧主管轴心压应力的较小绝对值。

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{tx}^{pj}$  应按下式计算:

$$N_{tx}^{pj} = 0.78 \left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} N_{cx}^{pj} \quad (6.2.3-2)$$

2 平面 T 形(或 Y 形)节点(图 6.2.3-2 和图 6.2.3-3)应符合下列规定。

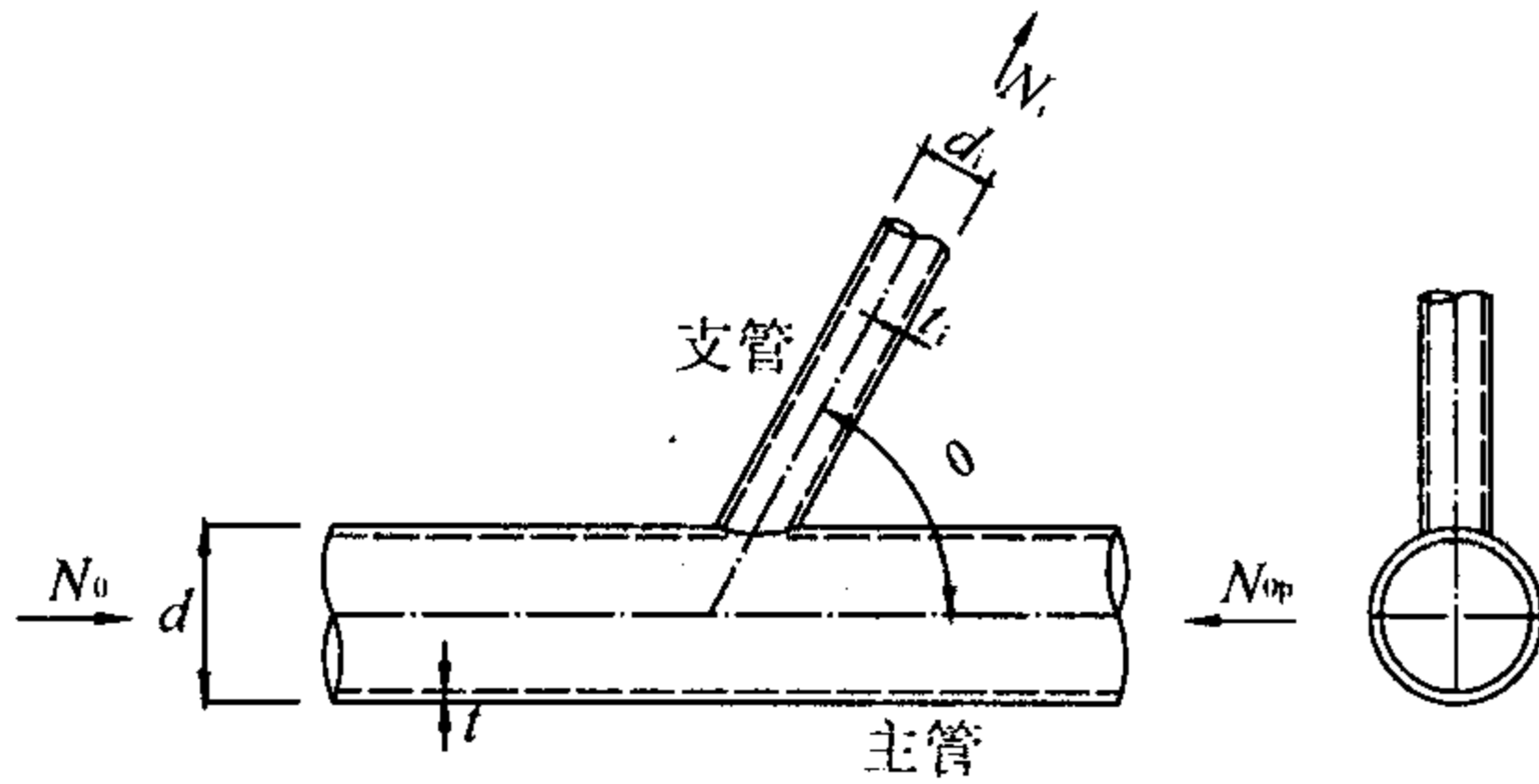


图 6.2.3-2 T形(或Y形)受拉节点

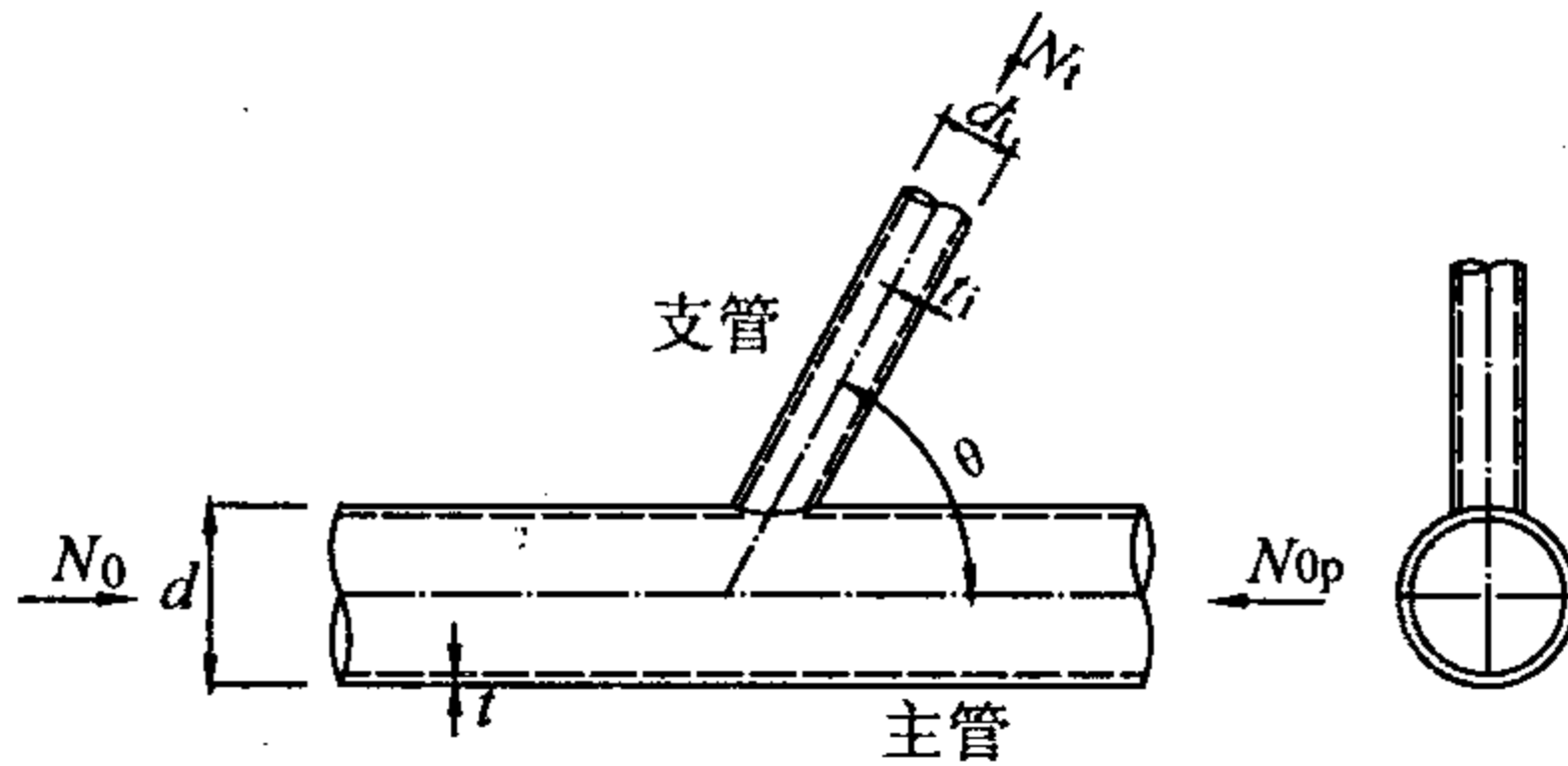


图 6.2.3-3 T形(或Y形)受压节点

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cT}^{pj}$  应按下式计算:

$$N_{cT}^{pj} = \frac{11.51}{\sin\theta} \left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \psi_n \psi_d t^2 f \quad (6.2.3-3)$$

上式中的参数  $\psi_d$  应按下式计算:

当  $\beta \leq 0.7$  时;

$$\psi_d = 0.069 + 0.93\beta \quad (6.2.3-4)$$

当  $\beta > 0.7$  时:

$$\psi_d = 2\beta - 0.68 \quad (6.2.3-5)$$

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{tT}^{pj}$  应按下式计算:

当  $\beta \leq 0.6$  时:

$$N_{tT}^{pj} = 1.4 N_{cT}^{pj} \quad (6.2.3-6)$$

当  $\beta > 0.6$  时:

$$N_{\text{IT}}^{\text{pj}} = (2 - \beta) N_{\text{ET}}^{\text{pj}} \quad (6.2.3-7)$$

3 平面 K 形间隙节点(图 6.2.3-4)应符合下列规定。

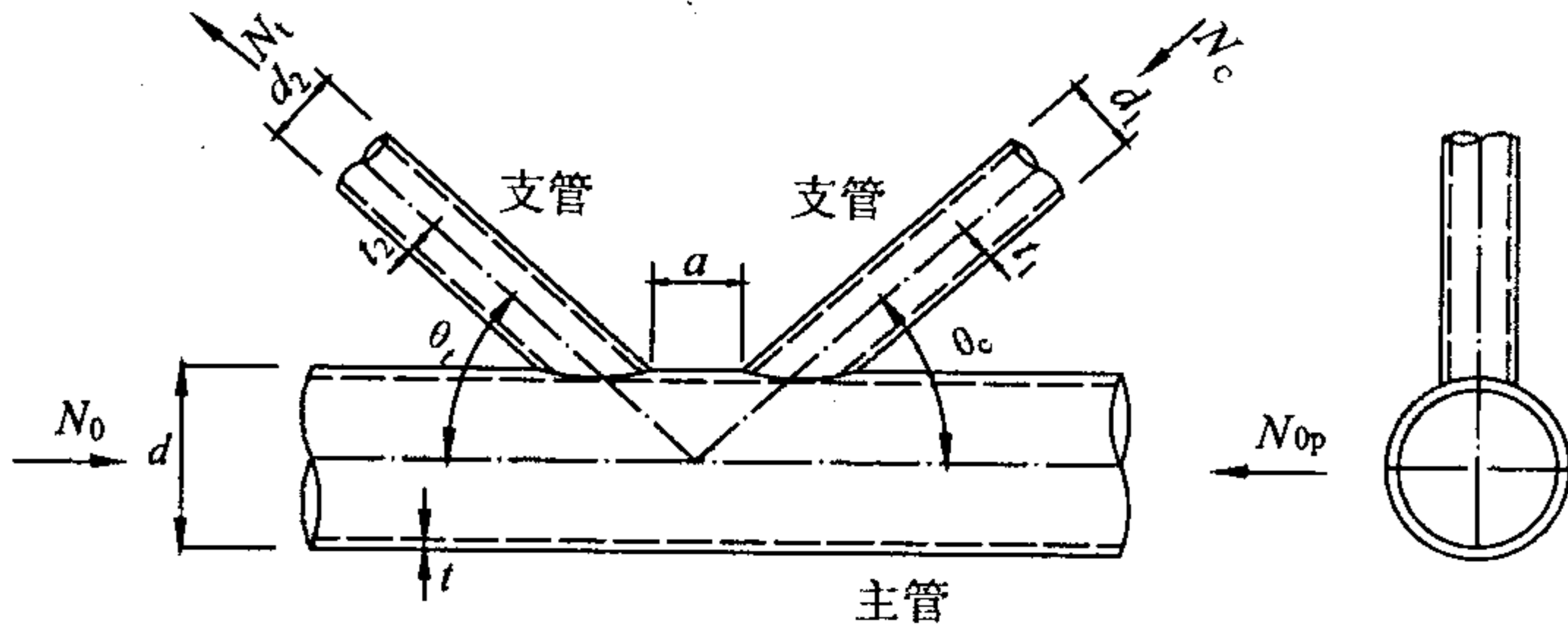


图 6.2.3-4 平面 K 形间隙节点

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{\text{ck}}^{\text{pj}}$  应按下式计算:

$$N_{\text{ck}}^{\text{pj}} = \frac{11.51}{\sin\theta_c} \left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \psi_n \psi_a \psi_s t^2 f \quad (6.2.3-8)$$

$$\psi_a = 1 + \left[ \frac{2.19}{1 + 7.5 \frac{a}{d}} \right] \left[ 1 - \frac{20.1}{6.6 + \frac{d}{t}} \right] (1 - 0.77\beta) \quad (6.2.3-9)$$

式中:  $\theta_c$ ——受压支管轴线与主管轴线的夹角;

$\psi_a$ ——参数;

$a$ ——两支管之间的间隙。

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{\text{tk}}^{\text{pj}}$  应按下式计算:

$$N_{\text{tk}}^{\text{pj}} = \frac{\sin\theta_c}{\sin\theta_i} N_{\text{ck}}^{\text{pj}} \quad (6.2.3-10)$$

式中:  $\theta_i$ ——受拉支管轴线与主管轴线的夹角。

4 平面 K 形搭接节点(图 6.2.3-5)应符合下列规定。

1) 搭接影响函数  $\psi_0$  应按下列公式计算,但其值不应大于 1.20。

当被搭接支管受压时:

$$\psi_0 = 1.10\beta^{0.13} \gamma^{0.09} \tau^{0.50} O_v^{0.06} \quad (6.2.3-11)$$

当被搭接支管受拉且内隐蔽部分焊接时：

$$\psi_0 = 0.57\beta^{0.18} \gamma^{0.30} \tau^{0.71} O_v^{-0.25} \quad (6.2.3-12)$$

当被搭接支管受拉且内隐蔽部分不焊接时：

$$\psi_0 = 0.68\beta^{0.03} \gamma^{0.19} \tau^{0.61} O_v^{-0.09} \quad (6.2.3-13)$$

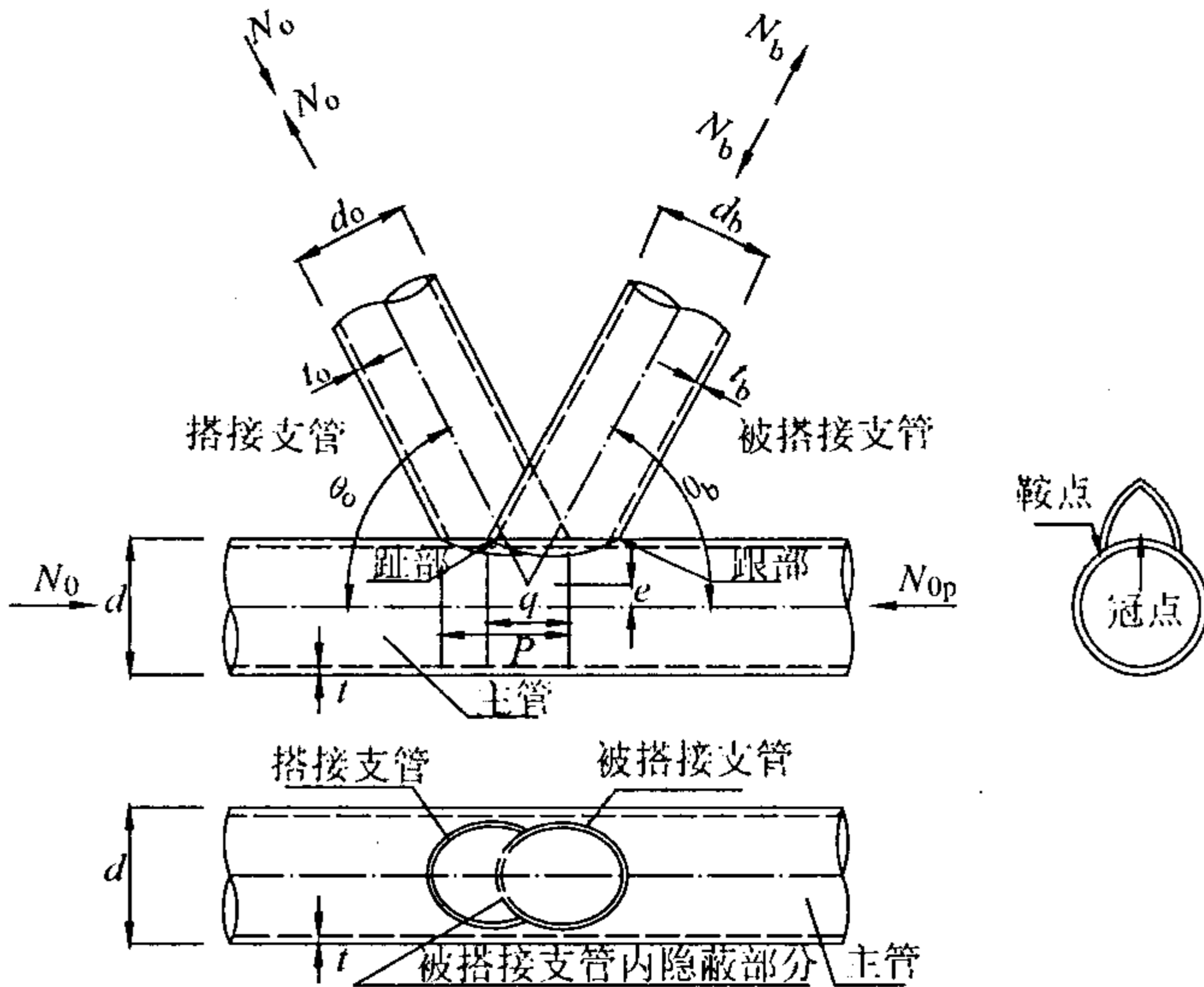


图 6.2.3-5 平面 K 形搭接节点

2) 被搭接支管在管节点处的承载力设计值  $N_{bk}^{pj}$  应按下式计算：

$$N_{bk}^{pj} = \frac{11.51}{\sin\theta_b} \left(\frac{d}{t}\right)^{0.2} \psi_n \psi_d \psi_0 \psi_a t^2 f \quad (6.2.3-14)$$

式中： $\psi_0$ ——参数，按式(6.2.3-7)计算，取  $a=0$ ，计算  $\beta$  时采用被搭接管直径；

$O_v$ ——搭接率(见图 6.2.3-5)， $O_v = (q/p) \times 100\%$ ，且满足  $25\% \leq O_v \leq 100\%$ ，计算  $\tau$  时支管壁厚取被搭接管壁厚。

3) 搭接管在管节点处的承载力设计值  $N_{ok}^{pj}$  应按下式计算：

$$N_{ok}^{pj} = \frac{\sin\theta_b}{\sin\theta_0} N_{bk}^{pj} \quad (6.2.3-15)$$



5 平面 DY 型节点(图 6.2.3-6)应符合下列规定:

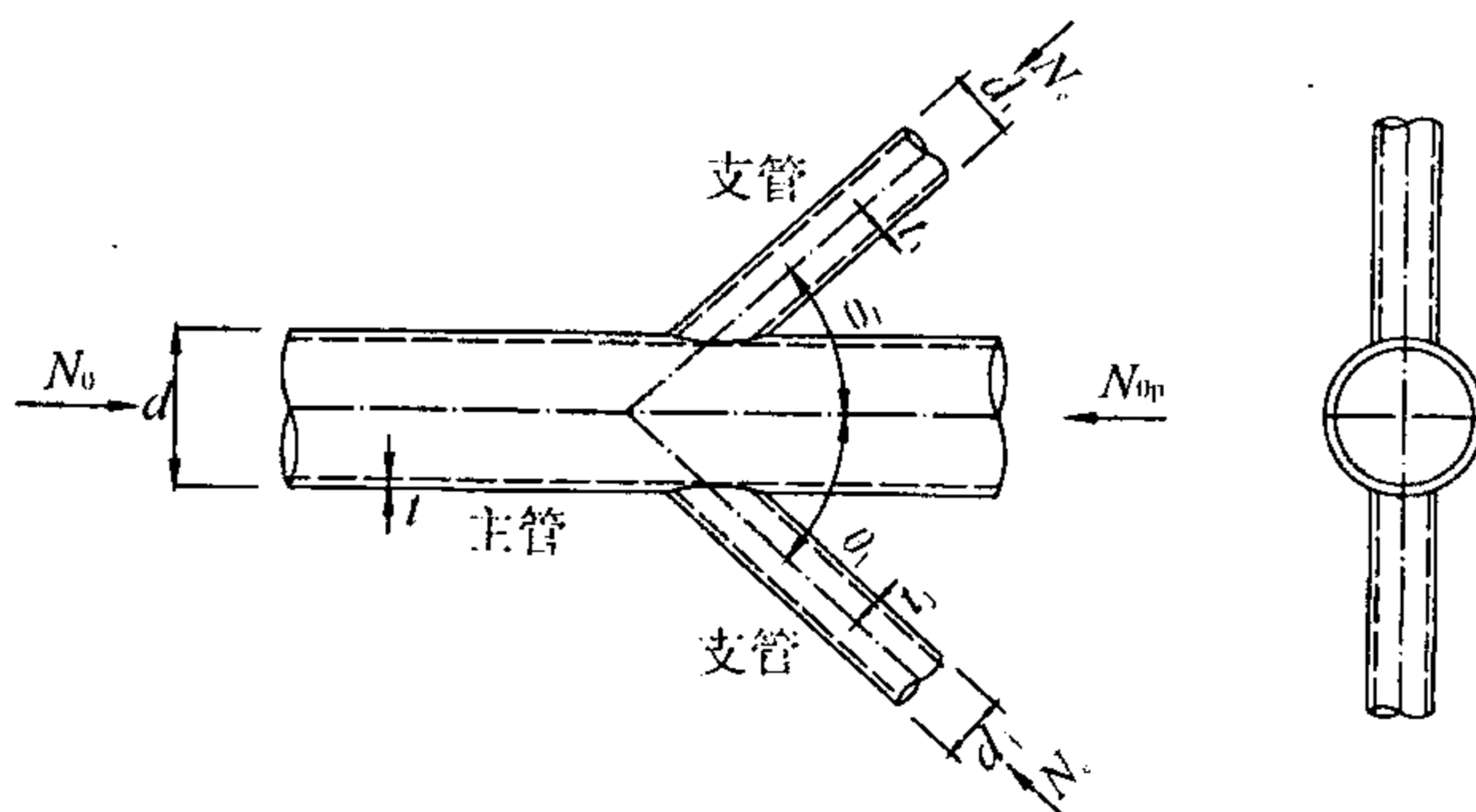


图 6.2.3-6 平面 DY 型节点

两受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cYY}^{pl}$  应按下式计算:

$$N_{cYY}^{pl} = N_{cx}^{pl} \quad (6.2.3-16)$$

式中:  $N_{cx}^{pl}$ ——平面 X 形节点中受压支管极限承载力设计值。

6 平面 DK 型节点应符合下列规定。

1) 荷载正对称节点(图 6.2.3-7), 应符合下列规定。

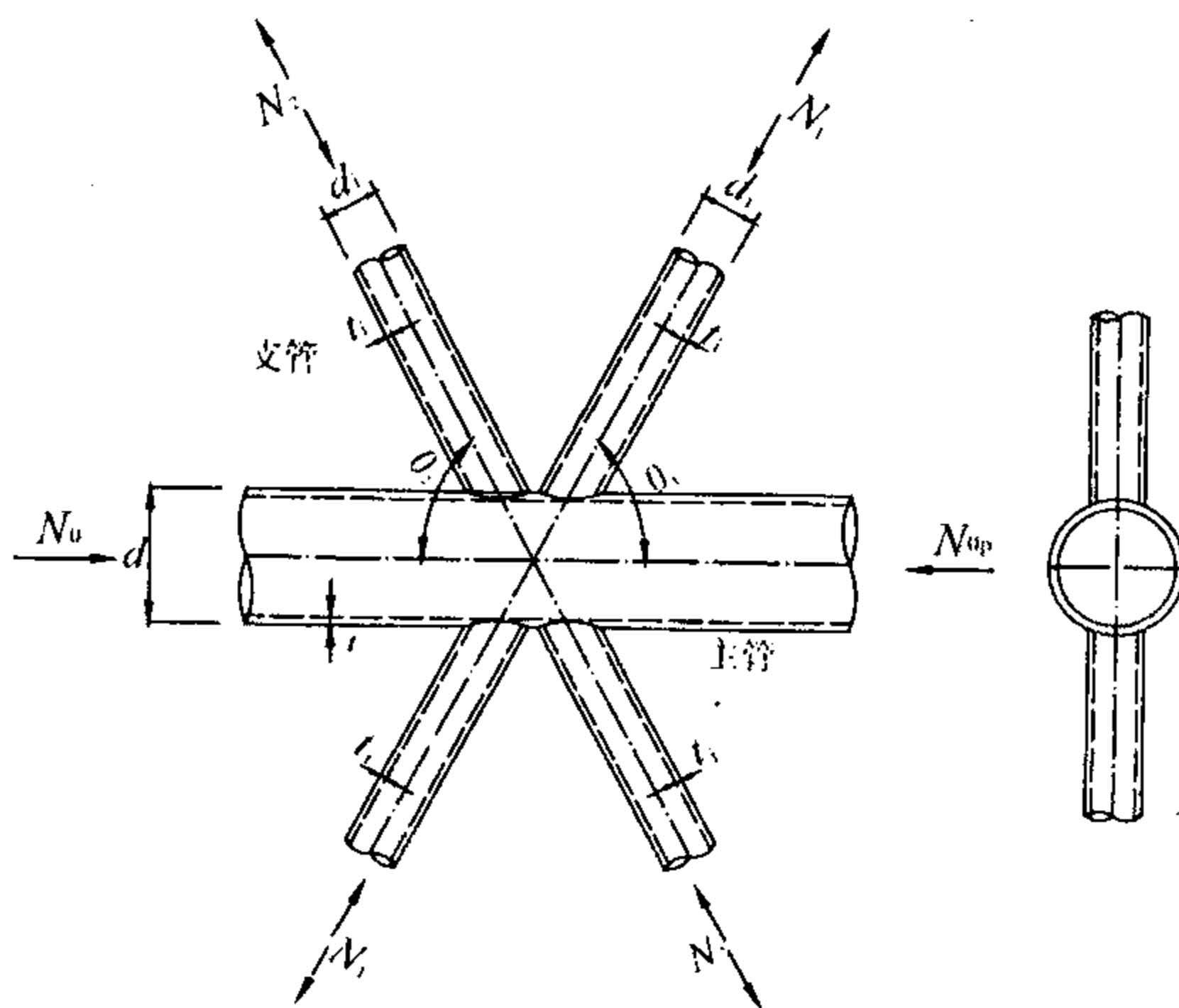


图 6.2.3-7 荷载正对称平面 DK 型节点

四支管同时受压时,支管在管节点处的承载力应按下式计算:

$$N_1 \sin\theta_1 + N_2 \sin\theta_2 \leq N_{cx_i}^{pi} \sin\theta_i \quad (6.2.3-17)$$

四支管同时受拉时,支管在管节点处的承载力应按下式计算:

$$N_1 \sin\theta_1 + N_2 \sin\theta_2 \leq N_{tx_i}^{pi} \sin\theta_i \quad (6.2.3-18)$$

式中:  $N_{cx_i}^{pi} \sin\theta_i$ —— $N_{cx1}^{pi} \sin\theta_1$  和  $N_{cx2}^{pi} \sin\theta_2$  中的较大值,  $N_{cx1}^{pi}$ 、 $N_{cx2}^{pi}$  为平面 X 形节点中受压支管承载力设计值;  
 $N_{tx_i}^{pi} \sin\theta_i$ —— $N_{tx1}^{pi} \sin\theta_1$  和  $N_{tx2}^{pi} \sin\theta_2$  中的较大值,  $N_{tx1}^{pi}$ 、 $N_{tx2}^{pi}$  为平面 X 形节点中受拉支管承载力设计值。

2) 荷载反对称节点(图 6.2.3-8)应按下式计算,

$$N_1 \leq N_{ck}^{pi} \quad (6.2.3-19)$$

$$N_2 \leq N_{tk}^{pi} \quad (6.2.3-20)$$

式中:  $N_{ck}^{pi}$ ——K 形节点中受压支管承载力设计值;

$N_{tk}^{pi}$ ——K 形节点中受拉支管承载力设计值。

对于间隙节点,还需补充验算截面 1-1 的塑性剪切承载力:

$$\left( \frac{\sum N_i \sin\theta_i}{V_{pl}} \right)^2 + \left( \frac{N_{0,gap}}{N_{pl}} \right)^2 \leq 1 \quad (6.2.3-21)$$

$$V_{pl} = \frac{2}{\pi} A f_v \quad (6.2.3-22)$$

$$N_{pl} = \pi(d-t)tf \quad (6.2.3-23)$$

$$N_{0,gap} = N_1 \cos\theta_1 - N_2 \cos\theta_2 + N_{op} \quad (6.2.3-24)$$

式中:  $V_{pl}$ ——主管剪切承载力;

$A$ ——主管截面面积;

$f_v$ ——主管钢材抗剪强度设计值;

$N_{pl}$ ——主管轴向承载力;

$N_{0,gap}$ ——间隙处主管轴力;

$N_{op}$ ——主管预加轴压力。当节点两侧或者一侧主管受拉时,取为 0。

7 平面 KT 型(图 6.2.3-9)应符合下列规定。

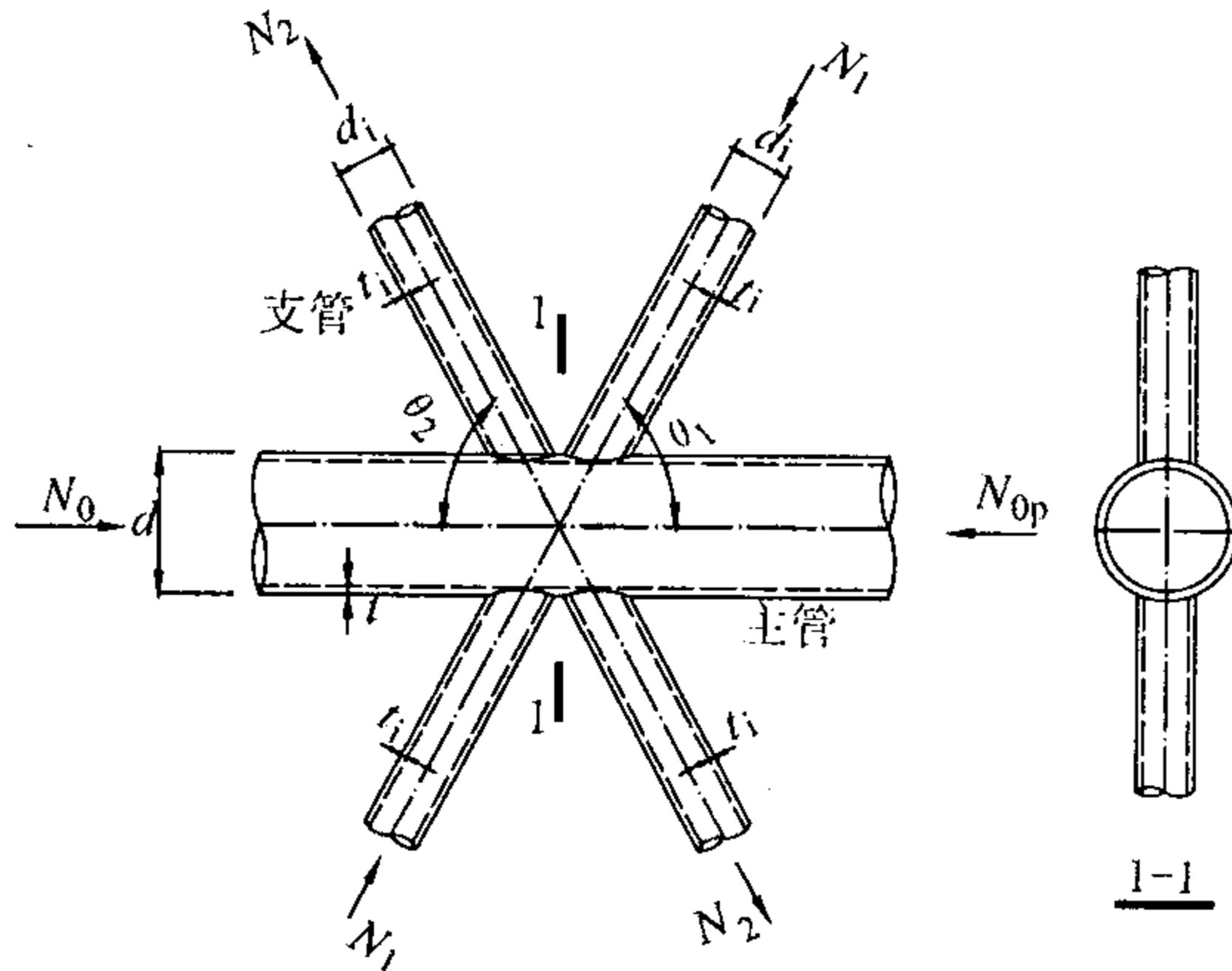


图 6.2.3-8 荷载反对称平面 DK 型节点

对有间隙的 KT 型节点,若竖杆不受力,可按没有竖杆的 K 形节点计算,其间隙值  $a$  取为两斜杆的趾间距;当竖杆受力时,应按下式计算:

$$N_1 \sin\theta_1 + N_3 \sin\theta_3 \leq N_{1cK}^{pj} \sin\theta_1 \quad (N_1 \text{ 为压力}) \quad (6.2.3-25)$$

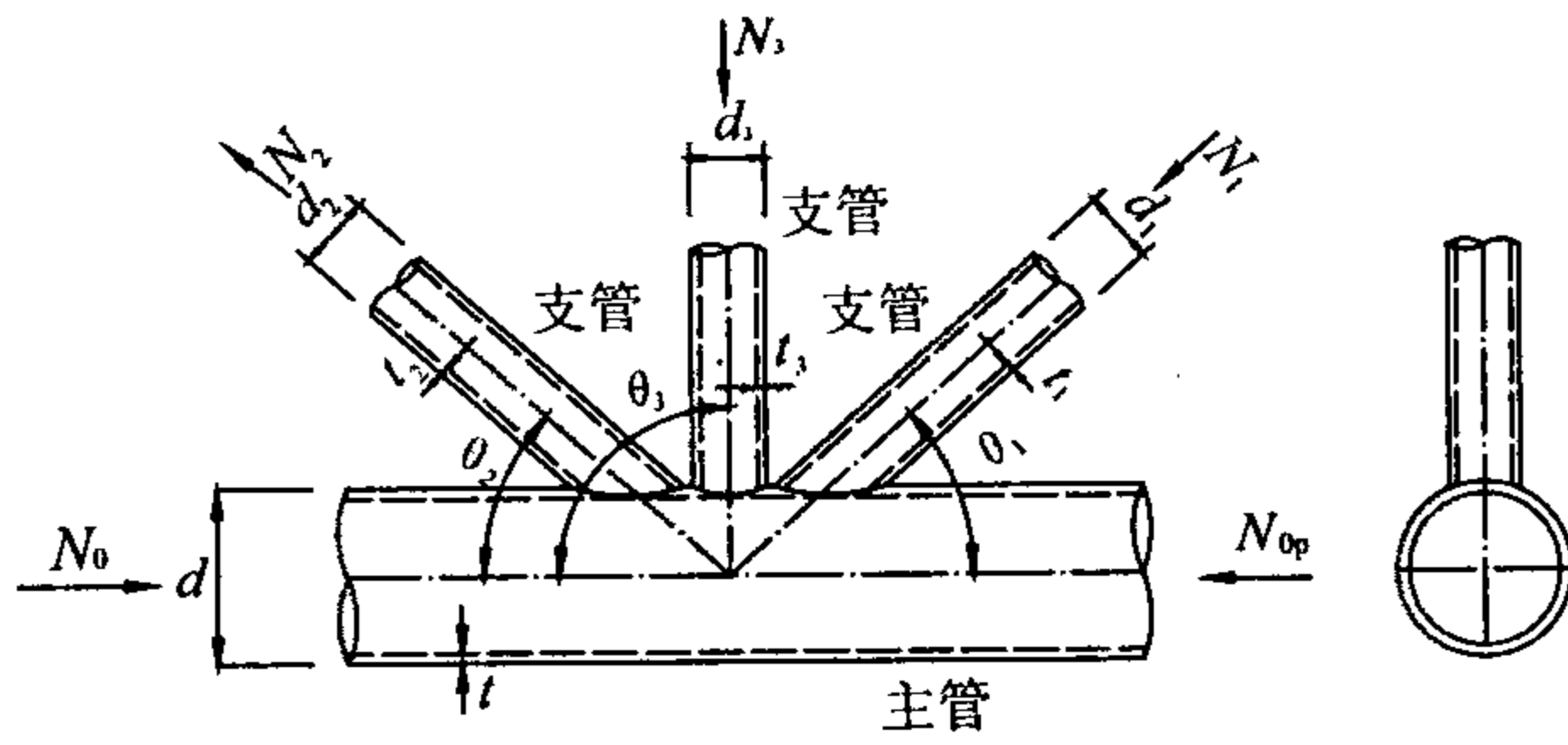
$$N_2 \sin\theta_2 \leq N_{1cK}^{pj} \sin\theta_1 \quad (N_2 \text{ 为拉力}) \quad (6.2.3-26)$$

当  $N_3$  为拉力时,尚应满足:

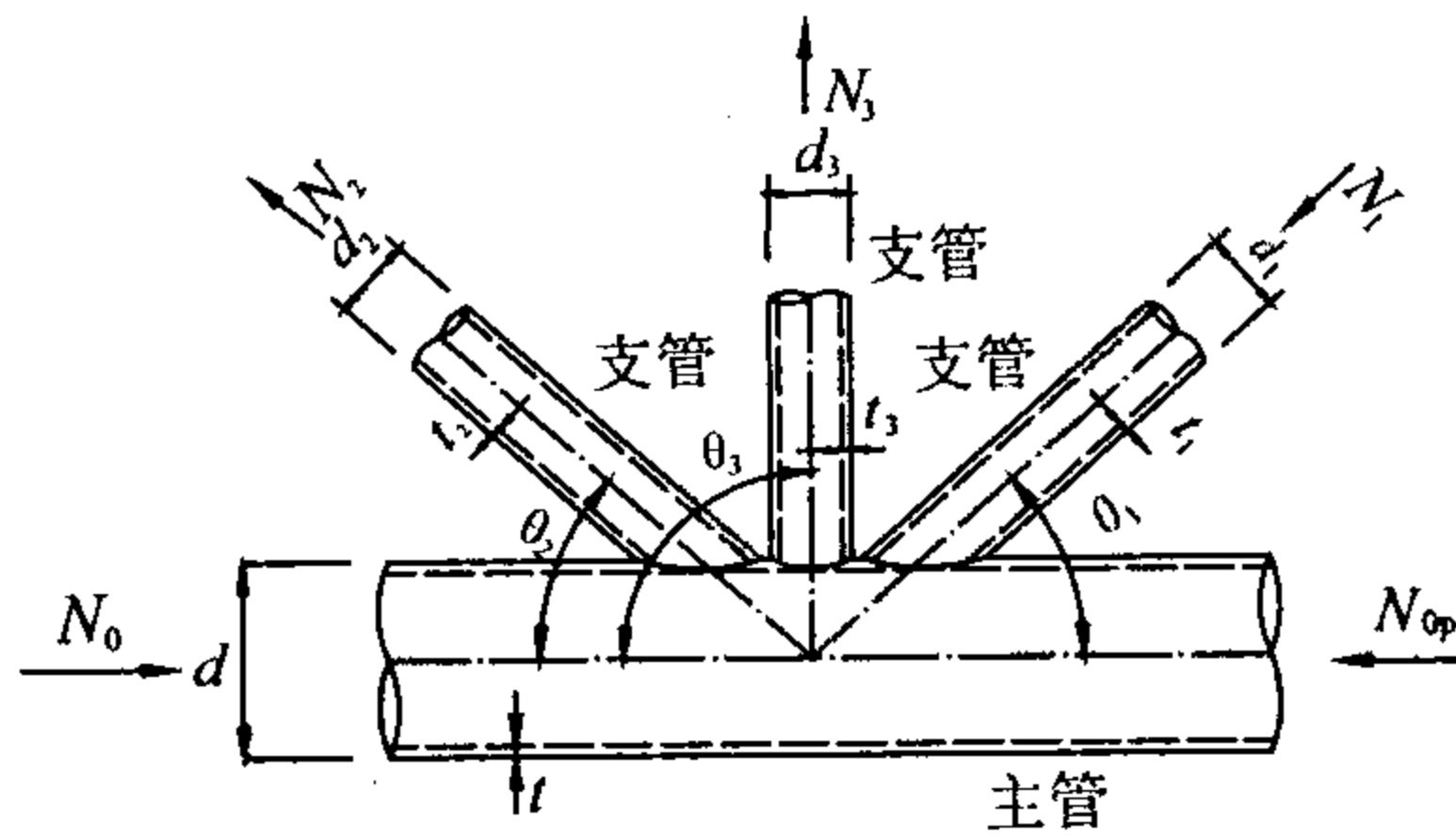
$$N_1 \leq N_{1cK}^{pj} \quad (6.2.3-27)$$

式中:  $N_{1cK}^{pj}$ ——KT 型节点受压斜支管承载力设计值,由式(6.2.3-6)或(6.2.3-8)计算,公式中用

$$\frac{d_1 + d_2 + d_3}{3d} \text{ 代替 } \frac{d_1}{d}。$$



(a)  $N_1$ 、 $N_3$ 均受压



(b)  $N_2$ 、 $N_3$ 受拉

图 6.2.3-9 平面 KT 型节点

8 空间 TT 型节点(图 6.2.3-10)应符合下列规定。

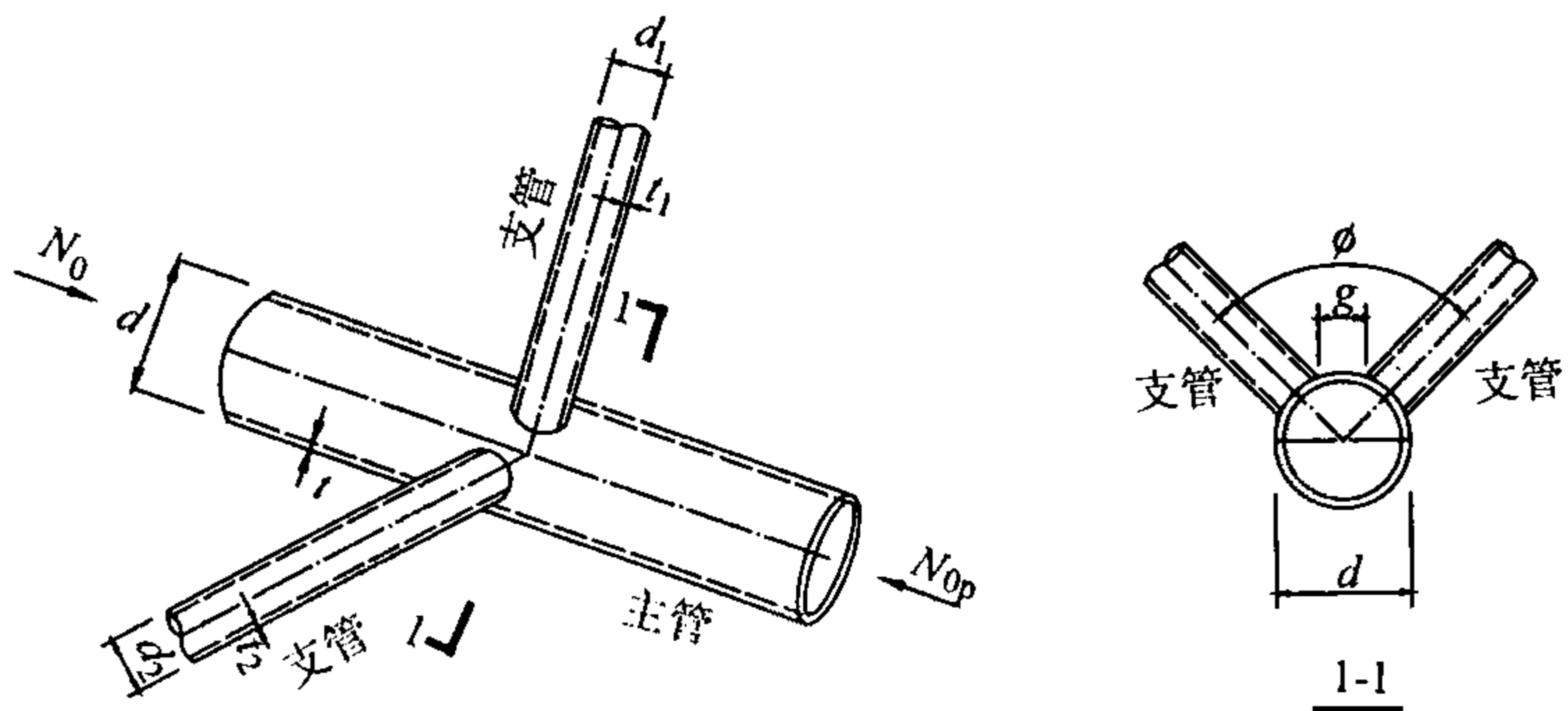


图 6.2.3-10 空间 TT 型节点

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cTT}^{pi}$  应按下式计算:

$$N_{cTT}^{pi} = \psi_g N_{cT}^{pi} \quad (6.2.3-28)$$

$$\psi_g = 1.28 - 0.64 \frac{g}{d} \leq 1.1 \quad (6.2.3-29)$$

式中:  $g$ ——两支管的横向间隙。

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{tT}^{pi}$  应按下式计算:

$$N_{tT}^{pi} = N_{cT}^{pi} \quad (6.2.3-30)$$

9 空间 KK 型节点(图 6.2.3-11)应符合下列规定。

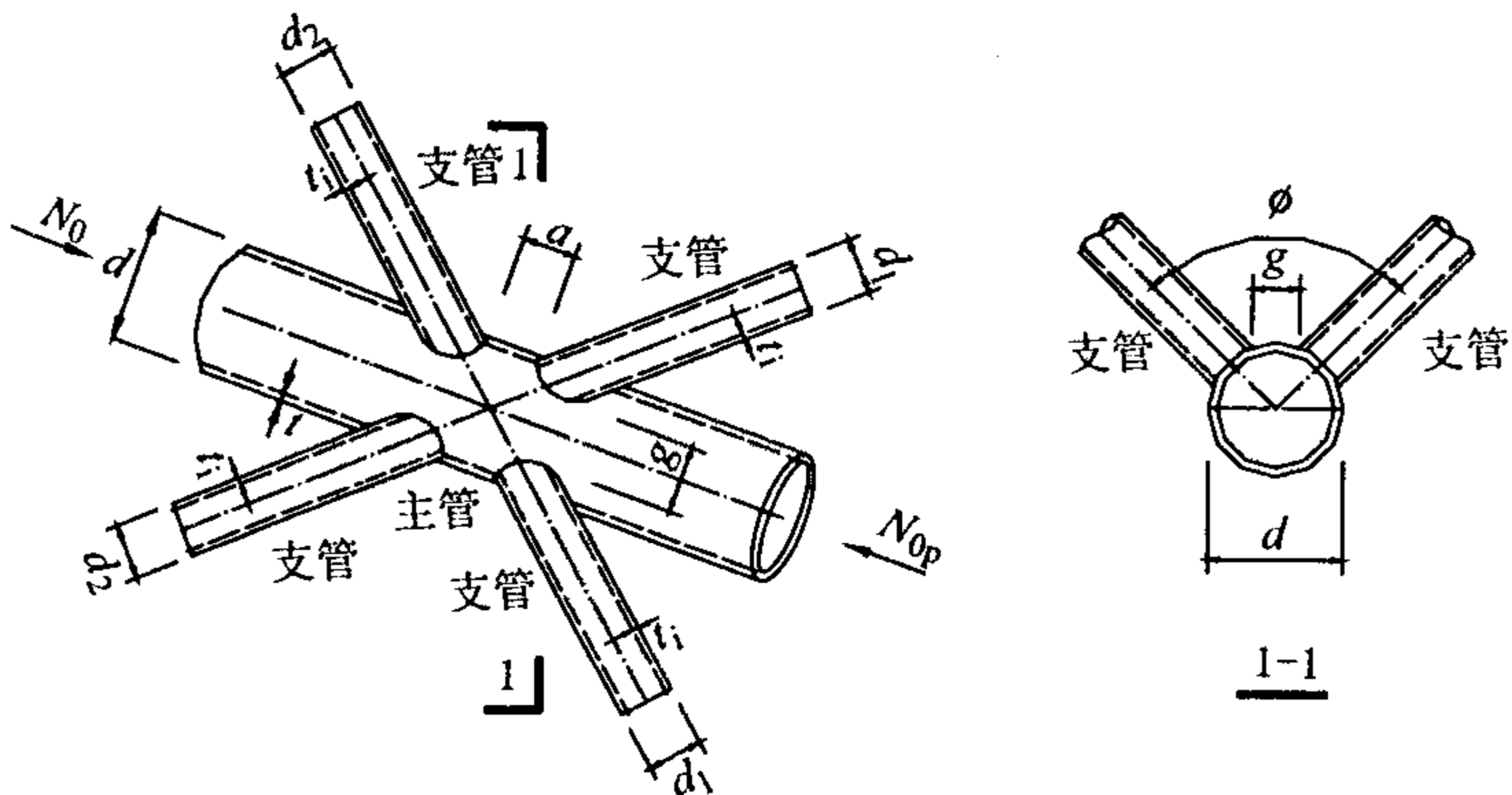


图 6.2.3-11 空间 KK 型节点

受压或受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cKK}^{pi}$  或  $N_{tKK}^{pi}$  应分别按平面 K 形节点相应支管承载力设计值  $N_{cK}^{pi}$  或  $N_{tK}^{pi}$  的 0.9 倍计算。

10 对于 T、Y、X 形和有间隙的 K、N 形、平面 KT 型节点, 支管在节点处的冲剪承载力设计值  $N_{si}^s$  应按下式进行补充验算:

$$N_{si}^{pi} = \pi \frac{1 + \sin\theta_i}{2\sin^2\theta_i} t d_i f_v \quad (6.2.3-31)$$

6.2.4 平面 T、Y、X 形承受弯矩作用的节点承载力应按下列规定计算:

1 平面内弯矩作用下应符合下列规定:

支管在管节点处的平面内抗弯承载力设计值  $M_i^{pj}$  应按下式计算：

$$M_i^{pj} = Q_i Q_f \frac{d_i t^2 f}{\sin \theta_i} \quad (6.2.4-1)$$

$$Q_i = 6.09 \beta \gamma^{0.42} \quad (6.2.4-2)$$

当节点两侧或一侧主管受拉时,  $Q_f = 1$ ; 当节点两侧主管受压时,  $Q_f$  按照下式计算：

$$Q_f = 1 - 0.3 n_p - 0.3 n_p^2 \quad (6.2.4-3)$$

$$n_p = \frac{N_{op}}{A f_y} + \frac{M_{op}}{W f_y} \quad (6.2.4-4)$$

式中： $Q_i$ 、 $Q_f$ ——参数；

$N_{op}$ ——节点两侧主管轴向压力的较小绝对值；

$M_{op}$ ——节点与  $N_{op}$  对应一侧的主管平面内弯矩绝对值；

$A$ ——与  $N_{op}$  对应一侧的主管截面积；

$W$ ——与  $N_{op}$  对应一侧的主管截面模量。

当  $d_i \leq d - 2t$  时, 平面内弯矩不应大于下式规定的抗冲剪承载力设计值：

$$M_{si}^{pj} = \left( \frac{1 + 3 \sin \theta_i}{4 \sin^2 \theta_i} \right) d_i^2 t f_v \quad (6.2.4-5)$$

## 2 平面外弯矩作用下应符合下列规定：

支管在管节点处的平面外抗弯承载力设计值  $M_o^{pj}$  应按下式计算：

$$M_o^{pj} = Q_o Q_f \frac{d_i t^2 f}{\sin \theta} \quad (6.2.4-6)$$

对 T、Y 形节点：

$$Q_o = 0.61(1.6 + 7\beta) \frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)} \quad (6.2.4-7)$$

对 X 形节点：

$$Q_o = 0.61(1.6 + 7\beta) \left[ \frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)} \right]^{0.5} \quad (6.2.4-8)$$

当  $d_i \leq d - 2t$  时, 平面外弯矩不应大于下式规定的抗冲剪承载力设计值:

$$M_{so}^{pj} = \left( \frac{3 + \sin\theta}{4 \sin^2\theta} \right) d_i^2 t f_v \quad (6.2.4-9)$$

3 弯矩与轴力共同作用下应符合下列规定:

管节点在平面内、外弯矩和轴力组合作用下的承载力应满足下列要求:

$$\frac{N}{N_i^{pj}} + \frac{M_i}{M_i^{pj}} + \frac{M_o}{M_o^{pj}} \leq 1 \quad (6.2.4-10)$$

式中:  $N$ ——支管在管节点处的轴向力设计值;

$N_i^{pj}$ ——支管在管节点处的承载力设计值, 按式(6.2.3-1)~(6.2.3-5)计算;

$M_i$ ——支管在管节点处的平面内弯矩设计值;

$M_o$ ——支管在管节点处的平面外弯矩设计值。

**6.2.5** 主管呈弯曲状的平面或空间圆管焊接节点, 当主管曲率半径  $R \geq 5m$  且主管曲率半径  $R$  与主管直径  $d$  之比  $R/d \geq 12$  时, 可采用本规程第 6.2.3 条和第 6.2.4 条所规定的计算公式进行承载力计算。

**6.2.6** 非搭接管焊缝强度应按下列规定计算:

1 轴力作用下应符合下列规定:

非搭接支管与主管的连接焊缝可视为全周角焊缝进行计算。角焊缝的计算厚度沿支管周长是变化的, 平均计算厚度可取  $0.7h_f$ , 焊缝承载力设计值  $N_f$  可按下式计算:

$$N_f = 0.7h_f l_w f_f^w \quad (6.2.6-1)$$

当  $d_i/d \leq 0.65$  时:

$$l_w = (3.25d_i - 0.025d) \left( \frac{0.534}{\sin\theta_i} + 0.466 \right) \quad (6.2.6-2)$$

当  $0.65 < d_i/d \leq 1$  时:

$$l_w = (3.81d_i - 0.389d) \left( \frac{0.534}{\sin\theta_i} + 0.466 \right) \quad (6.2.6-3)$$

式中： $h_f$ ——焊脚尺寸；

$f_f^w$ ——角焊缝的强度设计值；

$l_w$ ——焊缝的计算长度，可按以上公式计算。

## 2 平面内弯矩作用下应符合下列规定：

支管与主管的连接焊缝可视为全周角焊缝进行计算。角焊缝的计算厚度沿支管周长是变化的，平均计算厚度可取  $0.7h_f$ ，焊缝承载力设计值  $M_{fi}$  可按下式计算：

$$M_{fi} = W_{fi} f_f^w \quad (6.2.6-4)$$

$$W_{fi} = \frac{I_{fi}}{x_c + d/(2\sin\theta_i)} \quad (6.2.6-5)$$

$$x_c = (-0.34\sin\theta_i + 0.34)(2.188\beta^2 + 0.059\beta + 0.188)d_i \quad (6.2.6-6)$$

$$I_{fi} = \left( \frac{0.826}{\sin^2\theta} + 0.113 \right) (1.04 + 0.124\beta - 0.322\beta^2) \cdot \frac{\pi}{64} \cdot \frac{(d+1.4h_f)^4 - d^4}{\cos\varphi_{fi}} \quad (6.2.6-7)$$

$$\varphi_{fi} = \arcsin(d_i/d) = \arcsin\beta \quad (6.2.6-8)$$

式中： $W_{fi}$ ——焊缝有效截面的平面内抗弯模量；

$x_c$ ——参数；

$I_{fi}$ ——焊缝有效截面的平面内抗弯惯性矩。

## 3 平面外弯矩作用下应符合下列规定：

支管与主管的连接焊缝可视为全周角焊缝进行计算。角焊缝的计算厚度沿支管周长是变化的，平均计算厚度可取  $0.7h_f$ ，焊缝承载力设计值  $M_{fo}$  可按下式计算：

$$M_{fo} = W_{fo} f_f^w \quad (6.2.6-9)$$

$$W_{fo} = \frac{I_{fo}}{d/(2\cos\phi_{fo})} \quad (6.2.6-10)$$

$$\phi_{fo} = \arcsin(d_i/d) = \arcsin\beta \quad (6.2.6-11)$$

$$I_{fo} = (0.26\sin\theta + 0.74)(1.04 - 0.06\beta) \cdot \frac{\pi}{64} \cdot \frac{(d+1.4h_f)^4 - d^4}{\cos^3\phi_{fo}} \quad (6.2.6-12)$$



式中： $W_{f_0}$ ——焊缝有效截面的平面外抗弯模量；

$I_{f_0}$ ——焊缝有效截面的平面外抗弯惯性矩。

### 6.3 直接焊接矩形管节点计算

6.3.1 本节规定适用于直接焊接且主管为矩形管，支管为矩形管或圆管的钢管节点。

6.3.2 直接焊接矩形管节点承载力计算公式，其适用范围应符合表 6.3.2 的要求。

表 6.3.2 主管为矩形管、支管为矩形管或圆管的节点几何参数适用范围

节点形式		节点几何参数, $i=1$ 或 $2$ , 表示支管; $j$ -表示被搭接支管					
		$\frac{b_i}{b}, \frac{h_i}{b}$ 或 $\frac{d_i}{b}$	$\frac{b_i}{t_i}, \frac{h_i}{t_i}$ 或 $\frac{d_i}{t_i}$		$\frac{h_i}{b_i}$	$\frac{b}{t}, \frac{h}{t}$	$a$ 或 $O_v$ $\frac{b_i}{b_j}, \frac{t_i}{t_j}$
			受压	受拉			
支管为矩形管	T、Y 与 X	$\geq 0.25$					
	K 与 N 间隙节点	$\geq 0.1 + \frac{0.01b}{t}$ $\beta \geq 0.35$	$\leq 35$ (Q235) $\leq 30$ (Q345)		$\leq 35$	$0.5(1-\beta) \leq \frac{a}{b}$ $\leq 1.5(1-\beta)$ $a \geq t_1 + t_2$	
	K 与 N 搭接节点	$\geq 0.25$	$\leq 33 \sqrt{\frac{235}{f_{yi}}}$	$\leq 35$	$0.5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2$	$25\% \leq O_v \leq 100\%$ $\frac{t_i}{t_j} \leq 1.0$ $0.75 \leq \frac{b_i}{b_j} \leq 1.0$	
支管为圆管		$0.4 \leq \frac{d_i}{b} \leq 0.8$	$\leq 44 \sqrt{\frac{235}{f_{yi}}}$	$\leq 50$	—	取 $b_i = d_i$ 仍能满足上述相应条件	

注:1 当  $a$  比  $b$  的值大于  $1.5(1-\beta)$  时, 则按 T 形或 Y 形节点计算。

2  $b_i, h_i, t_i$  分别为第  $i$  个矩形支管的截面宽度、高度和壁厚;

$d_i, t_i$  分别为第  $i$  个圆支管的外径和壁厚;

$b, h, t$  为矩形主管的截面宽度、高度和壁厚;

$a$  为支管间的间隙;

$O_v$  为搭接率(见本规程图 5.1.5),  $O_v = q/p * 100\%$ , 且满足  $25\% \leq O_v \leq 100\%$ ;

$f_{yi}$  为第  $i$  个支管钢材的屈服强度；

$\beta$  为参数：对 T、Y、X 形节点， $\beta = \frac{b_1}{b}$  或  $\frac{d_1}{b}$ ；对 K、N 形节点

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b} \text{ 或 } \beta = \frac{d_1 + d_2}{2b}。$$

### 6.3.3 直接焊接矩形管节点支管和主管的节点承载力应按下列规定计算：

1 支管为矩形管的平面 T、Y 和 X 形节点应符合下列规定：

1) 当  $\beta \leq 0.85$  时(主管表面塑性破坏)，支管在节点处的承载力  $N_i^{pj}$  应按下列式计算：

$$N_i^{pj} = 1.8 \left( \frac{h_i}{bc \sin \theta_i} + 2 \right) \frac{t^2 f}{c \sin \theta_i} \psi_n \quad (6.3.3-1)$$

式中： $c$ ——参数， $c = (1 - \beta)^{0.5}$ ；

$\psi_n$ ——参数，主管受压时： $\psi_n = 1.0 - \frac{0.25}{\beta} \cdot \frac{\sigma}{f}$ ；受拉时：

$$\psi_n = 1.0；$$

$\sigma$ ——节点两侧主管轴心压应力的较大绝对值。

2) 当  $\beta = 1.0$  时(主管侧壁破坏)，支管在节点处的承载力  $N_i^{pj}$  应按下列式计算：

$$N_i^{pj} = \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_i} + 10t \right) \frac{t f_k}{\sin \theta_i} \psi_n \quad (6.3.3-2)$$

对于 X 形节点，当  $\theta_i < 90^\circ$  且  $h \geq h_i / \cos \theta_i$  时，尚应按下列式验算：

$$N_i^{pj} = \frac{2ht f_v}{\sin \theta_i} \quad (6.3.3-3)$$

式中： $f_v$ ——主管钢材抗剪强度设计值；

$f_k$ ——主管钢材强度设计值；当支管受拉时， $f_k = f$ ；当支管受压时，对 T、Y 形节点， $f_k = 0.85 \varphi f$ ；对 X 形节点， $f_k = (0.65 \sin \theta_i) \varphi f$ ， $\varphi$  为按长细比  $\lambda = 1.73$

$\left( \frac{h}{t} - 2 \right) \sqrt{1 / \sin \theta_i}$  确定的轴心受压构件的稳定系数。

3) 当  $0.85 < \beta < 1.0$  时, 支管在节点处的承载力  $N_i^{pj}$  应按本规程公式(6.3.3-1)、(6.3.3-2)或(6.3.3-3)所计算的值, 根据  $\beta$  进行线性插值。此外, 还不应超过下列二式的计算值:

$$N_i^{pj} = 2.0(h_i - 2t_i + b_e)t_i f_i \quad (6.3.3-4)$$

$$b_e = \frac{10}{b/t} \cdot \frac{f_y t}{f_{yi} t_i} \cdot b_i \leq b_i$$

当  $0.85 \leq \beta \leq 1 - \frac{2t}{b}$  时:

$$N_i^{pj} = 2.0 \left( \frac{h_i}{\sin\theta_i} + b_{ep} \right) \frac{t f_v}{\sin\theta_i} \quad (6.3.3-5)$$

$$b_{ep} = \frac{10}{b/t} \cdot b_i \leq b_i$$

式中:  $f_i$ ——支管钢材抗拉(抗压和抗弯)强度设计值。

2 支管为矩形管的有间隙的平面 K 形和 N 形节点应符合下列规定:

1) 节点处任一支管的承载力设计值应取下列各式的较小值:

$$\text{弦杆表面塑性破坏: } N_i^{pj} = \frac{8}{\sin\theta_i} \beta \left( \frac{b}{2t} \right)^{0.5} t^2 f \psi_n \quad (6.3.3-6)$$

$$\text{弦杆剪切破坏: } N_i^{pj} = \frac{A_v f_v}{\sin\theta_i} \quad (6.3.3-7)$$

$$\text{支管破坏: } N_i^{pj} = 2.0 \left( h_i - 2t_i + \frac{b_i + b_e}{2} \right) t_i f_i \quad (6.3.3-8)$$

当  $\beta \leq 1 - 2t/b$  时(冲剪破坏), 尚不应小于:

$$N_i^{pj} = 2.0 \left( \frac{h_i}{\sin\theta_i} + \frac{b_i + b_{ep}}{2} \right) \frac{t f_v}{\sin\theta_i} \quad (6.3.3-9)$$

$$A_v = (2h + \alpha b)t \quad (6.3.3-10)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{3t^2}{3t^2 + 4a^2}} \quad (6.3.3-11)$$

式中： $A_v$ ——主管的受剪面积；

$\alpha$ ——参数，当支管为圆管时取  $\alpha=0$ 。

2) 节点间隙处的主管轴心受力承载力设计值为：

$$N^{pj} = (A - \alpha_v A_v) f \quad (6.3.3-12)$$

$$\alpha_v = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V}{V_p}\right)^2} \quad (6.3.3-13)$$

$$V_p = A_v f_v \quad (6.3.3-14)$$

式中： $\alpha_v$ ——剪力对主管轴心承载力的影响系数；

$V$ ——节点间隙处弦杆所受的剪力，可按任一支管的竖向分力计算；

$A$ ——主管的横截面积。

3 支管为矩形管搭接的平面 K 形和 N 形节点应符合下列规定：

搭接支管的承载力设计值应根据不同的搭接率  $O_v$  按下列公式计算(下标  $j$  表示被搭接支管)：

1) 当  $25\% \leq O_v < 50\%$  时：

$$N_i = 2.0 \left[ (h_i - 2t_i) \frac{O_v}{0.5} + \left( \frac{b_e + b_{ej}}{2} \right) \right] t_i f_i \quad (6.3.3-11)$$

$$b_{ej} = \frac{10}{b_j/t_j} \cdot \frac{f_{yj} t_j}{f_{yi} t_i} \cdot b_i \leq b_i$$

2) 当  $50\% \leq O_v < 80\%$  时：

$$N_i = 2.0 \left( h_i - 2t_i + \frac{b_e + b_{ej}}{2} \right) t_i f_i \quad (6.3.3-12)$$

3) 当  $80\% \leq O_v < 100\%$  时：

$$N_i = 2.0 \left( h_i - 2t_i + \frac{b_j + b_{ej}}{2} \right) t_i f_i \quad (6.3.3-13)$$

被搭接支管的承载力应满足下式要求：

$$\frac{N_j}{A_j f_{yj}} \leq \frac{N_i}{A_i f_{yi}} \quad (6.3.3-14)$$

4 支管为矩形管的平面 KT 型节点应符合下列规定:

按公式(6.2.3-20)或(6.2.3-21)计算,但按本节有关 K、N 形节点公式计算支管承载力设计值。计算时,应将  $(b_1 + b_2)/(2b)$  以  $(b_1 + b_2 + b_3)/(3b)$  代替,  $(b_1 + b_2 + h_1 + h_2)/(4b)$  以  $(b_1 + b_2 + b_3 + h_1 + h_2 + h_3)/(6b)$  代替。

5 支管为圆管的各种形式平面节点应符合下列规定:

支管为圆管的 T、Y、X、K 及 N 形节点的承载力,可用上述相应的支管为矩形管的节点的承载力公式计算,这时需用  $d_i$  代替  $b_i$  和  $h_i$ ,并将计算结果乘以  $\pi/4$ 。

6 空间管节点(两支管的横向夹角  $60^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ )应符合下列规定:

支管为矩形管或圆管的空间 T、Y、X、K 及 N 形节点的承载力,可用上述相应的平面节点承载力公式计算,并将计算结果乘以 0.8 的系数。此外,对于空间有间隙 K 形节点,尚应满足下式:

$$\left(\frac{N}{Af}\right)^2 + 2\left(\frac{V}{Af_v}\right)^2 \leq 1.0 \quad (6.3.3-15)$$

式中:  $N$ 、 $V$ ——分别为节点间隙处弦杆的轴力和剪力。

6.3.4 在节点处,支管沿周边与主管相焊,支管与主管的连接焊缝可视为全周角焊缝进行计算,焊缝承载力设计值  $N_f$  可按下式计算:

$$N_f = h_e l_w f_f^w \quad (6.3.4-1)$$

对于有间隙的 K 形和 N 形节点:

$$\text{当 } \theta_i \geq 60^\circ \text{ 时: } l_w = \frac{2h_i}{\sin\theta_i} + b_i \quad (6.3.4-2)$$

$$\text{当 } \theta_i \leq 50^\circ \text{ 时: } l_w = \frac{2h_i}{\sin\theta_i} + 2b_i \quad (6.3.4-3)$$

当  $50^\circ < \theta_i < 60^\circ$  时:  $l_w$  按插值法确定。

$$\text{对于 T、Y 和 X 形节点: } l_w = \frac{2h_i}{\sin\theta_i} \quad (6.3.4-4)$$

式中:  $h_e$ ——焊缝的计算厚度,当支管轴心受力时,平均计算厚度

可取  $0.7h_i$ ;

$l_w$ ——焊缝的计算长度。

当支管为圆管,主管为矩形管时,焊缝计算长度取为支管与主管的相交线长度减去  $d_i$ 。圆支管与矩形主管相接时,相交线为椭圆,椭圆的长半轴为  $a_0 = 0.5d_i / \sin\theta_i$ ,短半轴为  $b_0 = 0.5d_i$ ,椭圆周长  $S$  可按式(6.3.4-5)计算。

$$S = \pi(a_0 + b_0) \quad (6.3.4-5)$$

**6.3.5 当桁架中节点承载力不足时,可采用板加强方式增加节点承载力。**

**1 弦杆表面塑性破坏起控制作用时,可采用翼缘板加强的方法(如图 6.3.5-1 所示),板的宽度  $b_p$  宜与弦杆表面的宽度相等。**

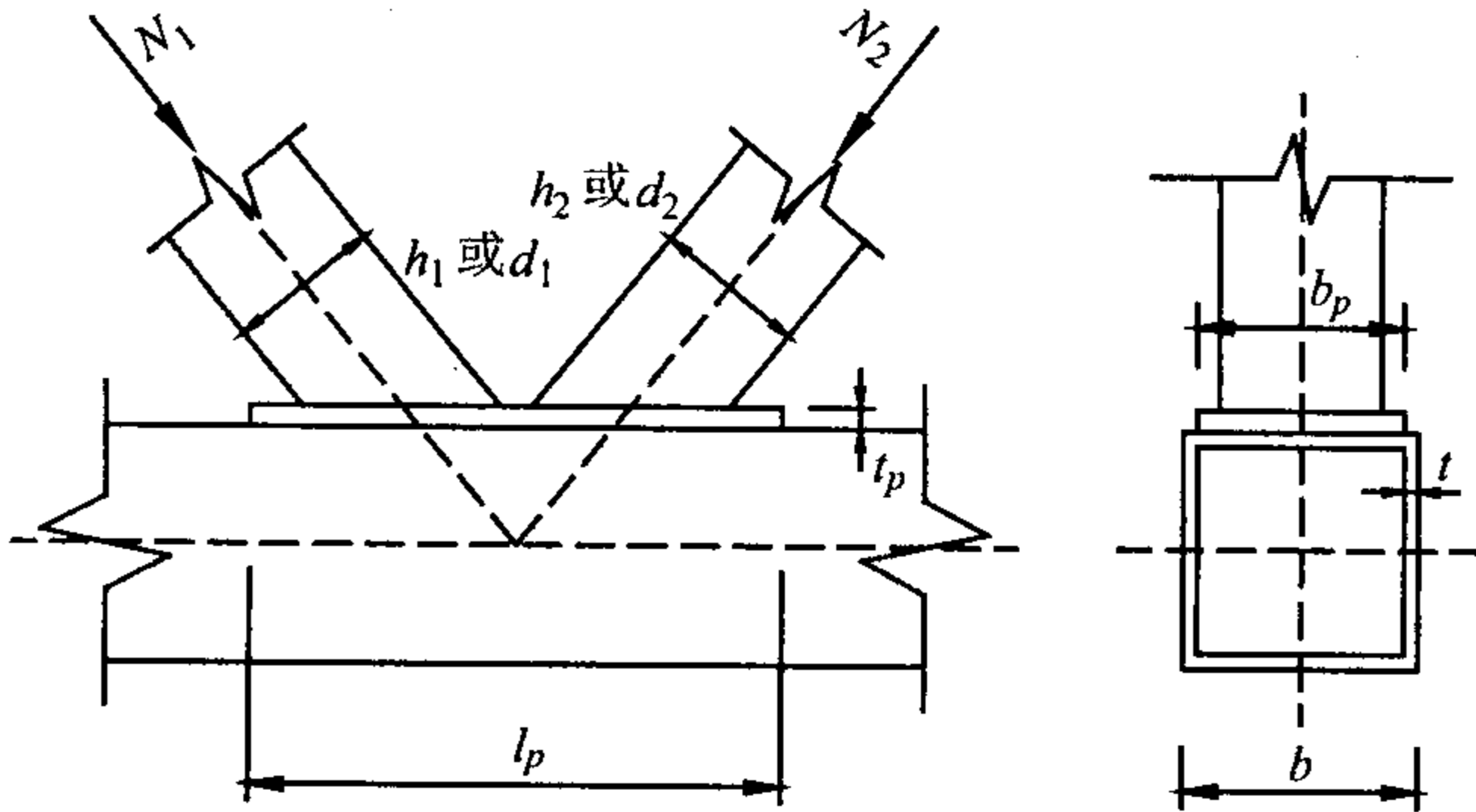


图 6.3.5-1 用翼缘板加强节点

1) 加强板最小长度  $l_p$  的计算公式为:

$$\text{对 T、Y 和 X 形节点, } l_p \geq \frac{h_1}{\sin\theta_1} + \sqrt{b_p(b_p - b_1)} \quad (6.3.5-1)$$

$$\text{对 K 形间隙节点, } l_p \geq 1.5 \left( \frac{h_1}{\sin\theta_1} + a + \frac{h_2}{\sin\theta_2} \right) \quad (6.3.5-2)$$

2) 对受拉的 T、Y 和 X 形节点,节点承载力按下式计算:

$$N_i^{pj} = 1.8 \left( \frac{h_i}{b_p c_p \sin\theta_i} + 2 \right) \frac{t_p^2 f_p}{c_p \sin\theta_i} \quad (6.3.5-3)$$

$$c_p = (1 - \beta_p)^{0.5} \quad (6.3.5-4)$$

$$\beta_p = b_i / b_p \quad (6.3.5-5)$$

式中： $t_p$ ——加强板厚度；

$f_p$ ——加强板设计强度。

3) 对受压的 T、Y 和 X 形节点，当  $\beta_p \leq 0.8$  时，加强板的设计应满足下列要求： $l_p \geq 2b / \sin\theta_i$  且  $t_p \geq 4t_1 - t$ 。

对 K 形间隙节点，可采用本规程第 6.3.3 条中相应的公式计算承载力，这时用  $t_p$  代替  $t$ ，用加强板设计强度  $f_p$  代替主管设计强度  $f$ 。

2 节点弦杆侧壁承载力不足时，可按图 6.3.5-2 所示在弦杆两侧布置加强板提高节点承载力。

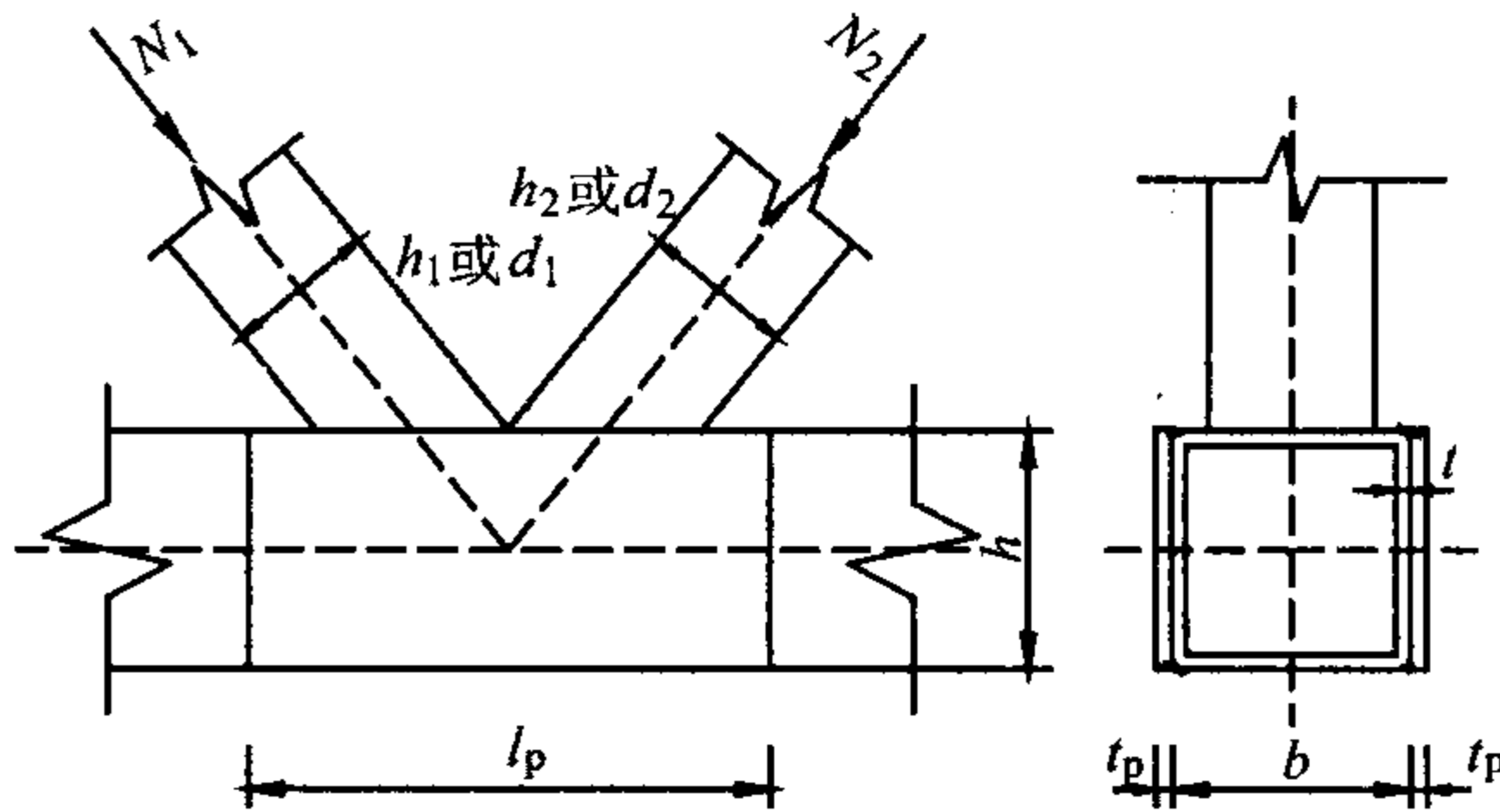


图 6.3.5-2 用侧板加强节点

对 T 和 Y 形节点，加强板最小长度按下式计算：

$$l_p \geq \frac{1.5h_1}{\sin\theta_1} \quad (6.3.5-6)$$

对于 K 形间隙方管节点，加强板最小长度  $l_p$  按公式(6.3.5-2)计算。

对于侧板加强的 T、Y、X 和 K 形间隙方管节点，可用本规程第 6.3.3 条中相应的计算主管侧壁承载力的公式计算，此时用  $t+t_p$  代替侧壁厚  $t$ ， $A_v$  取为  $2h(t+t_p)$ 。

6.3.6 用混凝土填充主管加强节点时，主管截面及混凝土填充长

度应满足式(6.3.6-1)和式(6.3.6-2)的构造要求,此时支管受压的 T、Y、X 形节点和 K、N 形节点的设计承载力可按现行协会标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159 的相应公式进行计算。

$$\frac{h}{b} \leq 1.4 \quad (6.3.6-1)$$

$$l_c \geq l_0 + 2h \quad (6.3.6-2)$$

式中:  $l_c$ ——混凝土在主管中的填充长度;

$l_0$ ——主管在节点两端最外侧的支管与主管连接点之间的长度(图 6.3.6)。

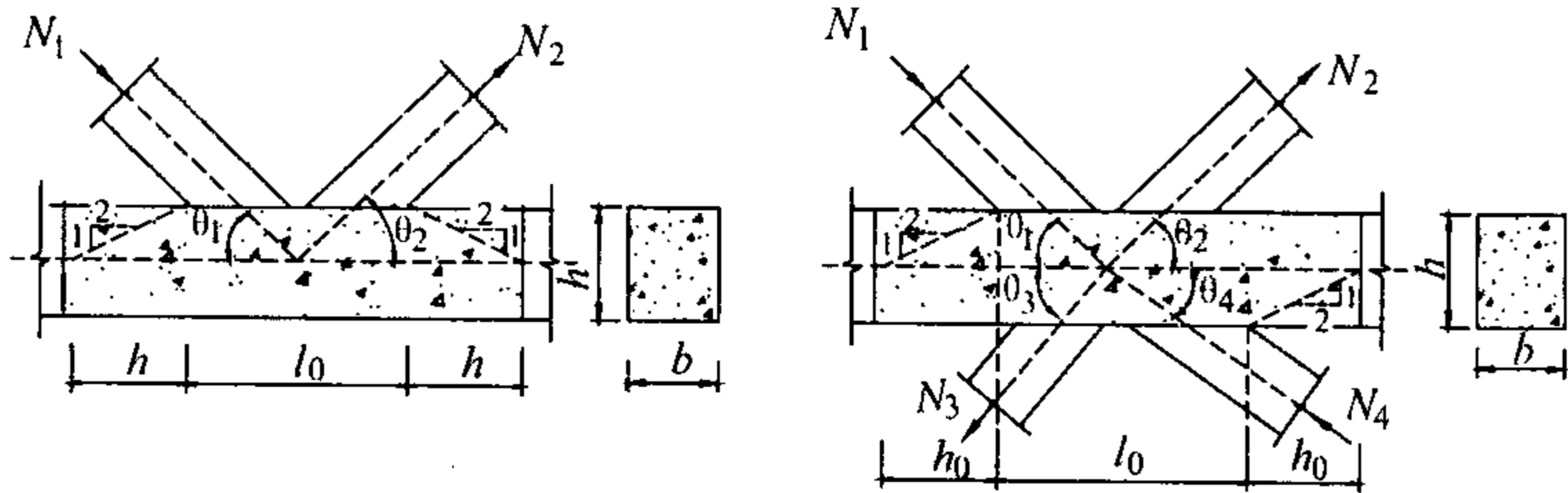


图 6.3.6 填充混凝土的矩形钢管

## 6.4 支管端部压扁的连接节点计算

6.4.1 常用的支管(圆管)端部压扁形式(图 6.4.1)可分为楔形压扁、部分压扁和全压扁三种,适用于小形或非主要承重结构中节点的连接。

6.4.2 对主管为圆管的连接节点,应按下列规定计算节点承载力设计值:

1 支管端部为楔形压扁的 N 形节点(图 6.4.2-1)应符合下列规定:

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cN}^{pl}$  应按下式计算:

$$N_{cN}^{pl} = \left( 16.8 + 64.96\beta^2 - \frac{137.6}{\gamma} \right) \left( \frac{t_1}{d_1} \right) \gamma \psi_n t^2 f \quad (6.4.2-1)$$



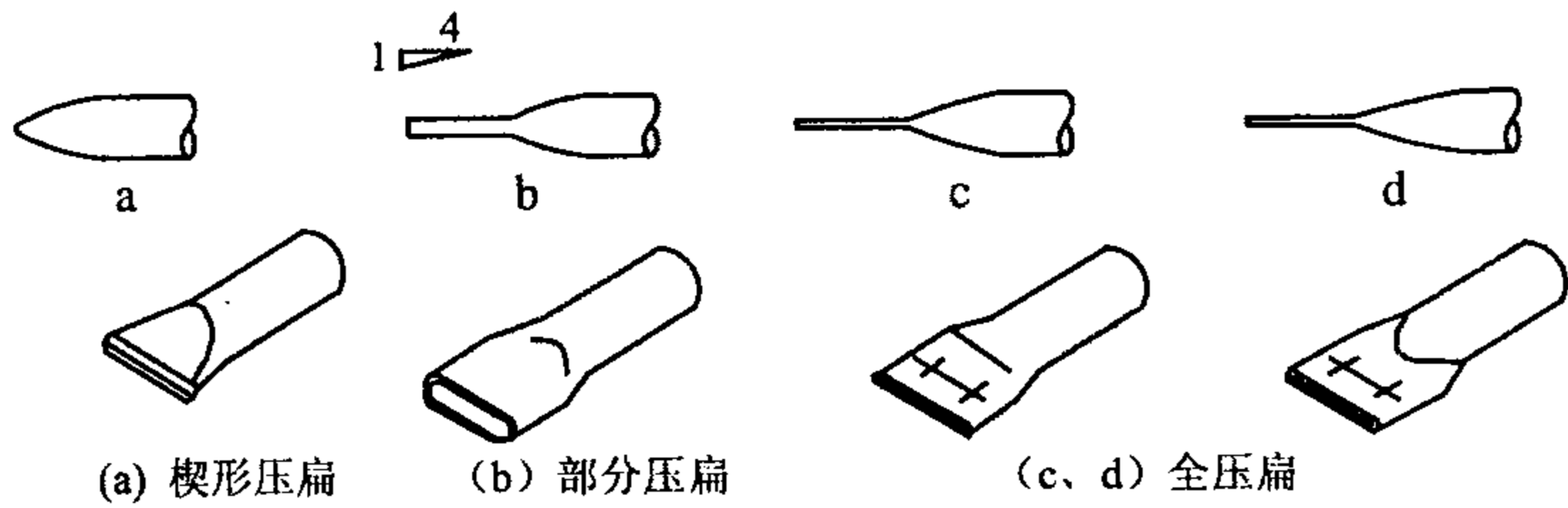


图 6.4.1 支管端部压扁形式

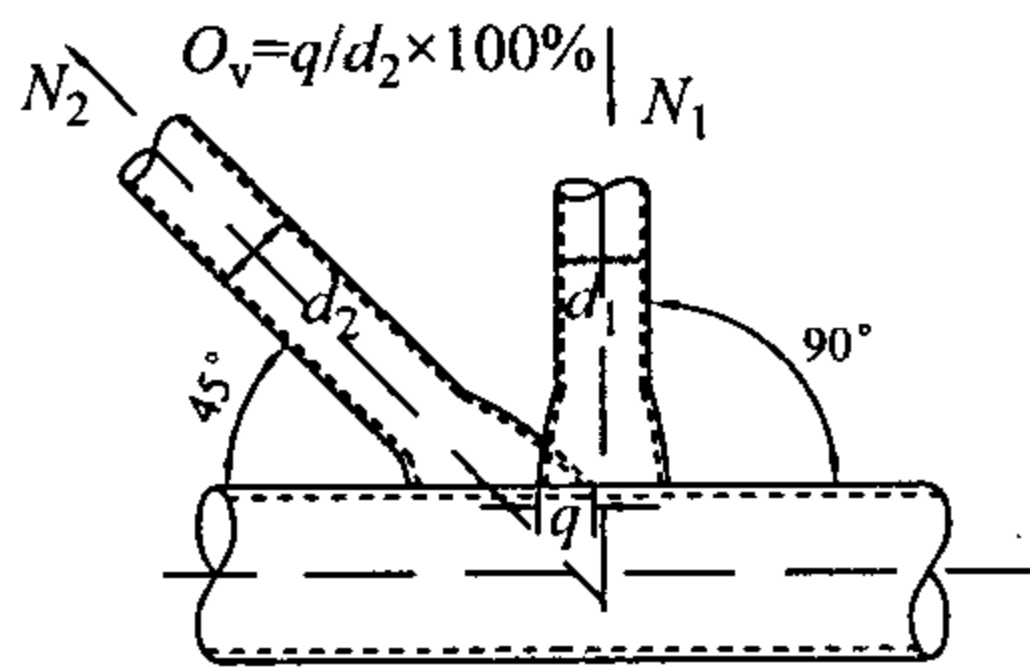


图 6.4.2-1 支管端部为楔形压扁的 N 形节点

$$\psi_n = 1 - 0.2 \frac{\sigma}{f_y} \quad (6.4.2-2)$$

式中： $\psi_n$ ——参数，按照式(6.4.2-2)计算，当节点两侧或一侧主管受拉时取  $\psi_n = 1$ ；

$f$ ——主管钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

$f_y$ ——主管钢材的屈服强度；

$\sigma$ ——节点两侧主管轴心压应力的较小绝对值， $\sigma$  应不大于  $0.8f_y$ ；

$d_1$ ——受压支管外径；

$d_2$ ——受拉支管外径；

$t_1$ ——受压支管壁厚。

式(6.4.2-1)的适用范围见表 6.4.2。

表 6.4.2 N 形节点支管几何参数的适用范围(主管为圆管)

$114\text{mm} \leq d \leq 168\text{mm}$	$42\text{mm} \leq d_1 \leq 90\text{mm}$	$\theta_1 = 90^\circ, \theta_2 = 45^\circ$ $t_1 = t_2, d_1 = d_2$
$3\text{mm} \leq t \leq 8\text{mm}$	$3\text{mm} \leq t_1 \leq 4.5\text{mm}$	$O_v \leq 75\%, O_v = q/d_2 \times 100\%$
$7.0 \leq \gamma \leq 28.5$	$0.35 \leq \beta \leq 0.80$	$f_y \leq 345\text{N/mm}^2$

注:1  $\theta_1, \theta_2$  分别为支管 1、2 与主管的夹角;

2  $O_v$  为搭接率(图 6.4.2-1)。

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{cN}^{pi}$  应按下式计算:

$$N_{cN}^{pi} = \sqrt{2} N_{cN}^{pi} \quad (6.4.2-3)$$

2 支管端部为部分压扁的 T 形、X 形和 K 形间隙节点(图 6.4.2-2)应符合下列规定

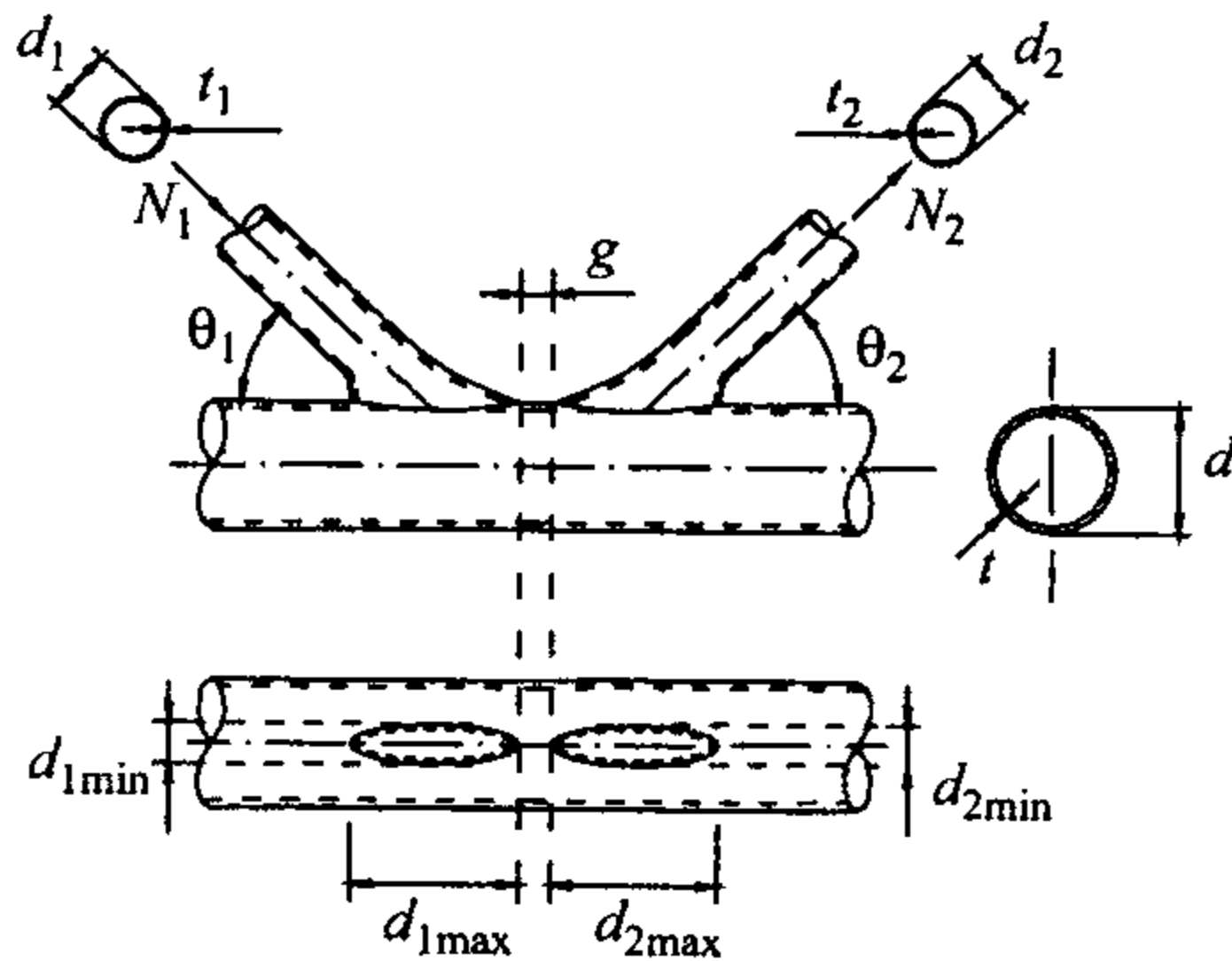


图 6.4.2-2 支管端部部分压扁的节点

此类节点在管节点处的承载力设计值可通过对相应端部未压扁的直接焊接节点承载力设计值公式,但进行如下参数替代得到:

对受压的 T 形、X 形节点: 用  $d_{1min}$  代替  $d_1$ ;

对 K 形间隙节点: 用  $(d_1 + d_{1min})/2$  代替  $d_1$ 。

6.4.3 对主管为方管的连接节点,应按下列规定计算节点承载力设计值:

1 支管端部为楔形压扁的 N 形节点应符合下列规定:

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{en}^{pj}$  应按下式计算:

$$N_{en}^{pj} = \left[ 0.403 + 4.88\beta^3 - 17.32 \frac{\beta^2}{\gamma} \right] \psi_n t b f \quad (6.4.3-1)$$

式中  $\psi_n$ ——参数,取值与公式(6.4.2)中的  $\psi_n$  相同;

$b$ ——主管宽度;

$t$ ——主管壁厚。

式(6.4.3-1)的适用范围见表 6.4.3-1。

表 6.4.3-1 N形节点几何参数的适用范围(主管为方管)

$102\text{mm} \leq b \leq 152\text{mm}$	$42\text{mm} \leq d_1 \leq 73\text{mm}$	$\theta_1 = 90^\circ, \theta_2 = 45^\circ$ $t_1 = t_2, d_1 = d_2$
$5\text{mm} \leq t \leq 8\text{mm}$	$3\text{mm} \leq t_1 \leq 6\text{mm}$	$O_v \leq 75\%$
$6.5 \leq \gamma \leq 16$	$0.32 \leq \beta \leq 0.72$	$f_y \leq 345\text{N/mm}^2$

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{en}^{pj}$  应按下式计算:

$$N_{en}^{pj} = \sqrt{2} N_{en}^{pj} \quad (6.4.3-2)$$

2 支管端部为楔形压扁的 K 形节点(图 6.4.3)应符合下列规定:

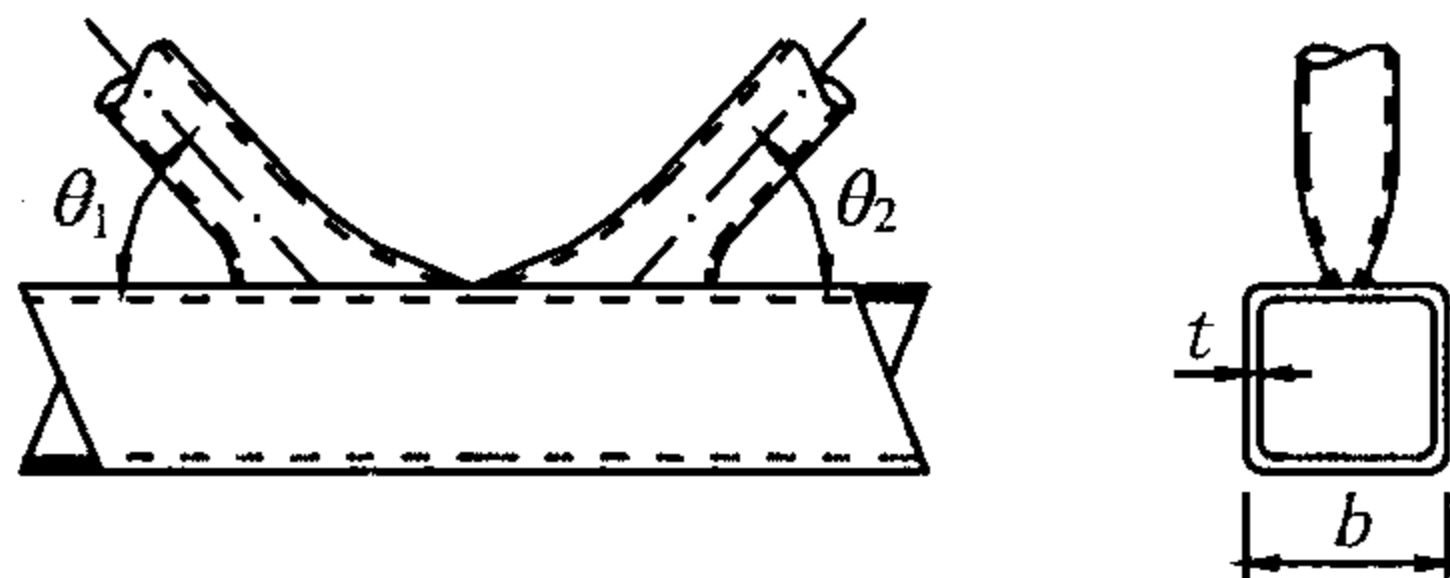


图 6.4.3 主管为方管的 K 形节点

两支管之间既无搭接也无间隙时,支管承载力设计值  $N_{Rl}$  应按下式计算:

$$N_{Rl} = 0.4 N_{y1} (1 + 0.042\gamma) (1 + 1.71\beta) \quad (6.4.3-3)$$

$$N_{y1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \left[ \frac{\pi}{2} + \frac{b_{1a} + 2h_{1a}}{b_s - b_{1a}} + \frac{1.74}{t} \sqrt{\frac{f_{y1}}{f_y} b_a t_{1a}} \right] \psi_n t^2 f \quad (6.4.3-4)$$

$$h_{1a} = \frac{\pi(d_1 - t_1) + t_1}{\sqrt{3}} \quad (6.4.3-5)$$

当主管受拉时,取  $\psi_n = 1.0$ ; 当主管受压时,  $\psi_n$  应按下式计算:

$$\psi_n = 1 - \frac{0.25}{\beta} \cdot \frac{\sigma}{f_y} \quad (6.4.3-6)$$

式中:  $\sigma$ ——节点两侧主管轴心压应力的较大绝对值;

$\theta_1$ ——支管与主管的夹角;

$b_a$ ——主管壁厚中线之间的宽度,  $b_a = b - t$ ;

$b_{1a}$ ——压扁支管的宽度, 取  $b_{1a} = 2t_1$ , 若采用角焊缝, 取  $b_{1a} = 2(t_1 + h_f)$  ( $h_f$  为焊脚尺寸)。

式(6.4.3-3)的适用范围见表 6.4.3-2。

表 6.4.3-2 K 形节点几何参数的适用范围(主管为方管)

$102.0\text{mm} \leq b \leq 152.0\text{mm}$	$42.0\text{mm} \leq d_1 \leq 102.0\text{mm}$	$\theta_1 = \theta_2 = 60^\circ$ $t_1 = t_2, d_1 = d_2$
$4.0\text{mm} \leq t \leq 13.0\text{mm}$	$3.0\text{mm} \leq t_1 \leq 6.0\text{mm}$	$O_v = 0$
$6 \leq \gamma \leq 16$	$0.32 \leq \beta \leq 0.88$	$f_y \leq 345\text{N/mm}^2$

## 6.5 节点板与圆管连接节点计算

6.5.1 管结构采用节点板连接节点时,节点板可沿圆管纵向(图 6.5.1-1)或横向(图 6.5.1-2)布置, T 形(在杆件一边连接)与 X 形(在杆件两边连接)均可使用。节点板可按照国家现行的相应设计规范进行计算。

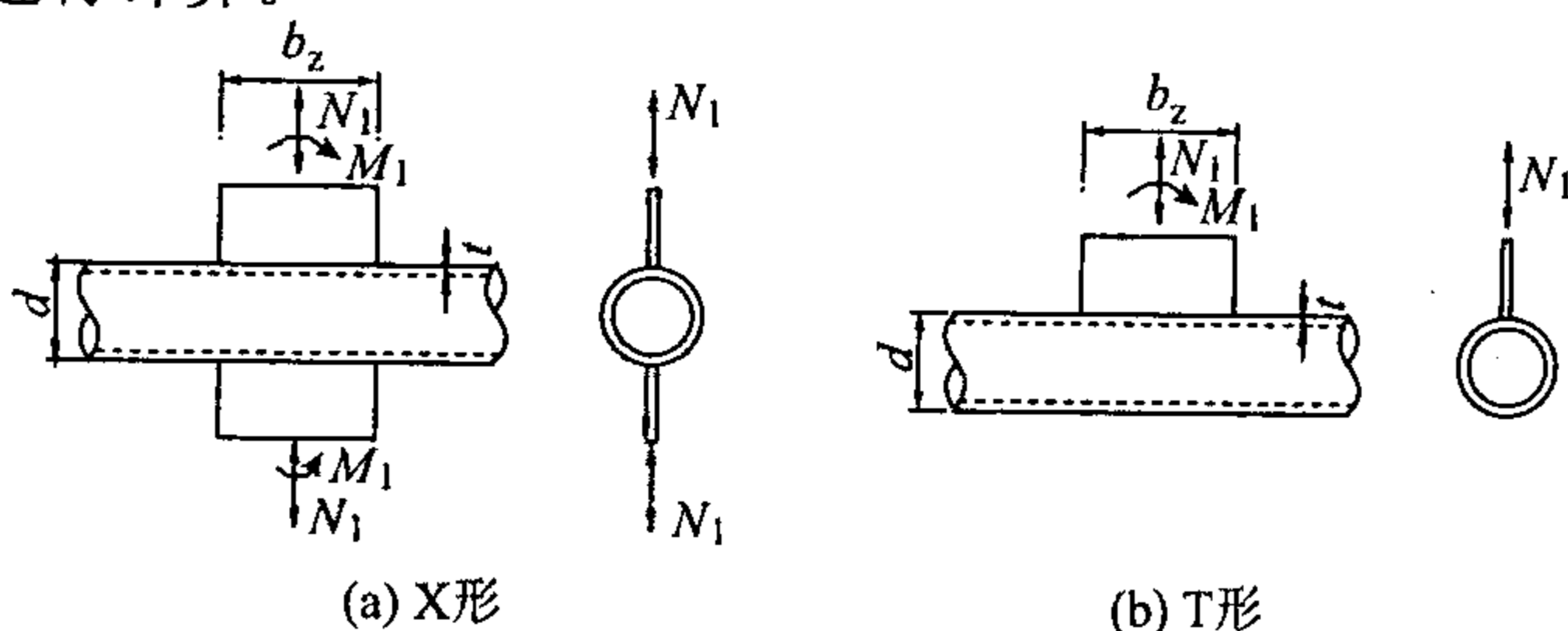
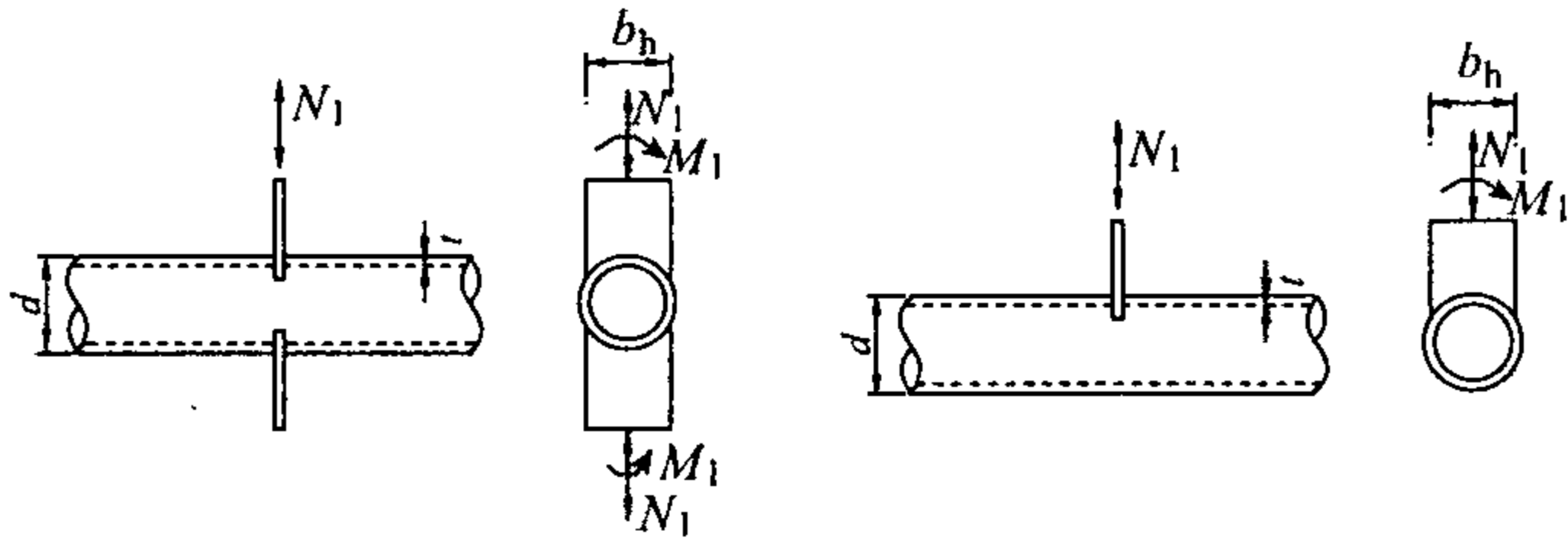


图 6.5.1-1 纵向板—圆管连接节点



(a) X形

(b) T形

图 6.5.1-2 横向板—圆管连接节点

6.5.2 纵向板与圆管连接节点的设计承载力按下列规定计算：

1 X形节点(图 6.5.1-1a)应符合下列规定：

1) 当纵向板受压时,节点轴向承载力设计值应按下列式计算：

$$N_{cXP}^{pj} = 7.3[\gamma^{-0.1} + 0.55\beta_1\gamma^{-0.3}]t^2f \quad (6.5.2-1)$$

式中： $\beta_1$ ——连接板宽度与主管直径的比值， $\beta_1 = b_z/d$ ；

$\gamma$ ——主管半径与壁厚之比， $\gamma = d/2t$

$b_z$ ——纵向板平行钢管轴线方向的宽度；

$d$ ——钢管直径；

$t$ ——钢管壁厚；

$f$ ——圆管钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

2) 当纵向板受拉时,节点轴向承载力设计值应按下列式计算：

$$N_{cXP}^{pj} = 0.77\gamma^{0.2}N_{cXP}^{pj} \quad (6.5.2-2)$$

3) 节点抗弯承载力设计值应按下列式计算：

$$M_{XP}^{pj} = 6.8b_z\left(\gamma^{-0.1} + 0.55\frac{\beta_1}{2}\gamma^{-0.3}\right)t^2f \quad (6.5.2-3)$$

2 T形节点(图 6.5.1-1b)应符合下列规定

1) 当纵向板受压时,节点轴向承载力设计值应按下列式计算：

$$N_{cTP}^{pj} = 1.7(\gamma^{0.2} + 1.5\beta_1\gamma^{-0.1})t^2f \quad (6.5.2-4)$$

2) 当纵向板受拉时,节点轴向承载力设计值应按下列式计算：

$$N_{cTP}^{pj} = 0.23\gamma^{0.6} N_{cTP}^{pj} \quad (6.5.2-5)$$

3) 节点抗弯承载力设计值应按下式计算:

$$M_{TP}^{pj} = 2.49b_z \left( \gamma^{0.2} + 1.5 \frac{\beta_1}{2} \gamma^{-0.1} \right) t^2 f \quad (6.5.2-6)$$

6.5.3 横向板与圆管连接节点的设计承载力按下列规定计算:

1 X形节点(图 6.5.1-2a)应符合下列规定:

1) 当横向板受压时,节点轴向承载力设计值应按下式计算:

$$N_{cXP}^{pj} = 4.5 \left( \frac{\gamma^{-0.1}}{1-0.81\beta_2} \right) t^2 f \quad (6.5.3-1)$$

式中:  $\beta_2$ ——横向板宽度与主管直径的比,  $\beta_2 = b_h/d$ ;

$b_h$ ——横向板垂直钢管轴线方向的宽度。

2) 当横向板受拉时,节点轴向承载力设计值应按下式计算:

$$N_{tXP}^{pj} = 1.5\gamma^{0.2} N_{cXP}^{pj} \quad (6.5.3-2)$$

3) 节点抗弯承载力设计值应按下式计算:

$$M_{XP}^{pj} = 0.5b_h \left( \frac{5}{1-0.81\beta_2} \right) t^2 f \quad (6.5.3-3)$$

2 T形节点(图 6.5.1-2b)应符合下列规定:

1) 当横向板受压时的节点轴向承载力设计值应按下式计算:

$$N_{cTP}^{pj} = 1.37(1+4.9\beta_2^2)\gamma^{0.2} t^2 f \quad (6.5.3-4)$$

2) 当横向板受拉时,节点轴向承载力设计值应按下式计算:

$$N_{tTP}^{pj} = 0.38\gamma^{0.6} N_{cTP}^{pj} \quad (6.5.3-5)$$

3) 节点抗弯承载力设计值应按下式计算:

$$M_{TP}^{pj} = 0.5b_h \left( \frac{5}{1-0.81\beta_2} \right) t^2 f \quad (6.5.3-6)$$

6.5.4 节点板连接节点还应按下式进行冲剪验算:

$$\left( \frac{N_1}{A_1} + \frac{M_1}{W_1} \right) t_1 \leq 1.16tf \quad (6.5.4-1)$$

式中： $N_1$ ——板的轴向力；

$A_1$ ——板的横截面积；

$M_1$ ——板管相交处的弯矩；

$W_1$ ——板与管相交截面的弹性截面模量；

$t_1$ ——板的厚度。

## 6.6 钢管柱与 H 型钢梁节点计算

6.6.1 柱梁节点处柱宜采用内隔板加劲、外环板加劲或贯通式隔板加劲，也可采用非加劲的直接焊接构造。

6.6.2 梁柱节点处柱的横向加劲肋或贯通隔板之间的柱节点域应符合下列规定：

$$\frac{M_{b1} + M_{b2}}{V_p} \leq \frac{4}{3} f_v \quad (6.6.2-1)$$

多高层框架柱采用矩形钢管或箱形截面时，尚应满足

$$t_w \geq \frac{h_c + h_{bw}}{90} \quad (6.6.2-2)$$

当柱为矩形钢管、箱形截面时：

$$V_p = 1.8 h_{bw} h_c t_w \quad (6.6.2-3)$$

当柱为圆钢管时：

$$V_p = \frac{\pi}{2} h_{bw} d_c t_c \quad (6.6.2-4)$$

式中： $M_{b1}$ 、 $M_{b2}$ ——同一框架平面内节点两侧梁端弯矩的设计值；

$V_p$ ——节点域的抗剪部分有效体积，应按式(6.6.2-2)

或式(6.6.2-3)计算；

$h_{bw}$ ——梁腹板高度；

$h_c$ ——矩形钢管或箱形截面中与所计算的梁轴线平行的板件的宽度；

$t_w$ ——矩形钢管或箱形截面中与所计算的梁轴线平行的板件的厚度；

$d_c$ ——圆钢管外径；

$t_c$ ——圆钢管壁厚。

6.6.3 外环加劲板式的梁柱节点,梁一个翼缘传递的轴力不应大于按以下规定计算的抗拉或抗压承载力设计值  $N_f$ :

1 采用圆管柱(图 6.6.3-1),当  $15 \leq d_c / t_c \leq 55$  时,应按以下公式计算:

$$N_f = 1.30 \left( 3.28 \frac{b_r}{d_c} + 1.43 \right) t_c \sqrt{t_r(t_c + h_r)} f \quad (6.6.3-1)$$

$$b_r = \sqrt{2} \left( \frac{d_c}{2} + h_r \right) \quad (6.6.3-2)$$

式中:  $b_r$ ——外环加劲板折算宽度(图 6.6.3-1a、6.6.3-1b),当  $b_r \geq d_c$  时,取  $b_r = d_c$ ;当采用图 6.6.3-1c 构造时,  $b_r = b_{bf}$ ,  $b_{bf}$  为梁翼缘宽度;

$d_c$ 、 $t_c$ ——圆管柱外径和壁厚;

$t_r$ ——外环加劲板厚度;

$h_r$ ——外环加劲板在圆管径向的最小净宽;

$f$ ——钢管材料强度设计值。

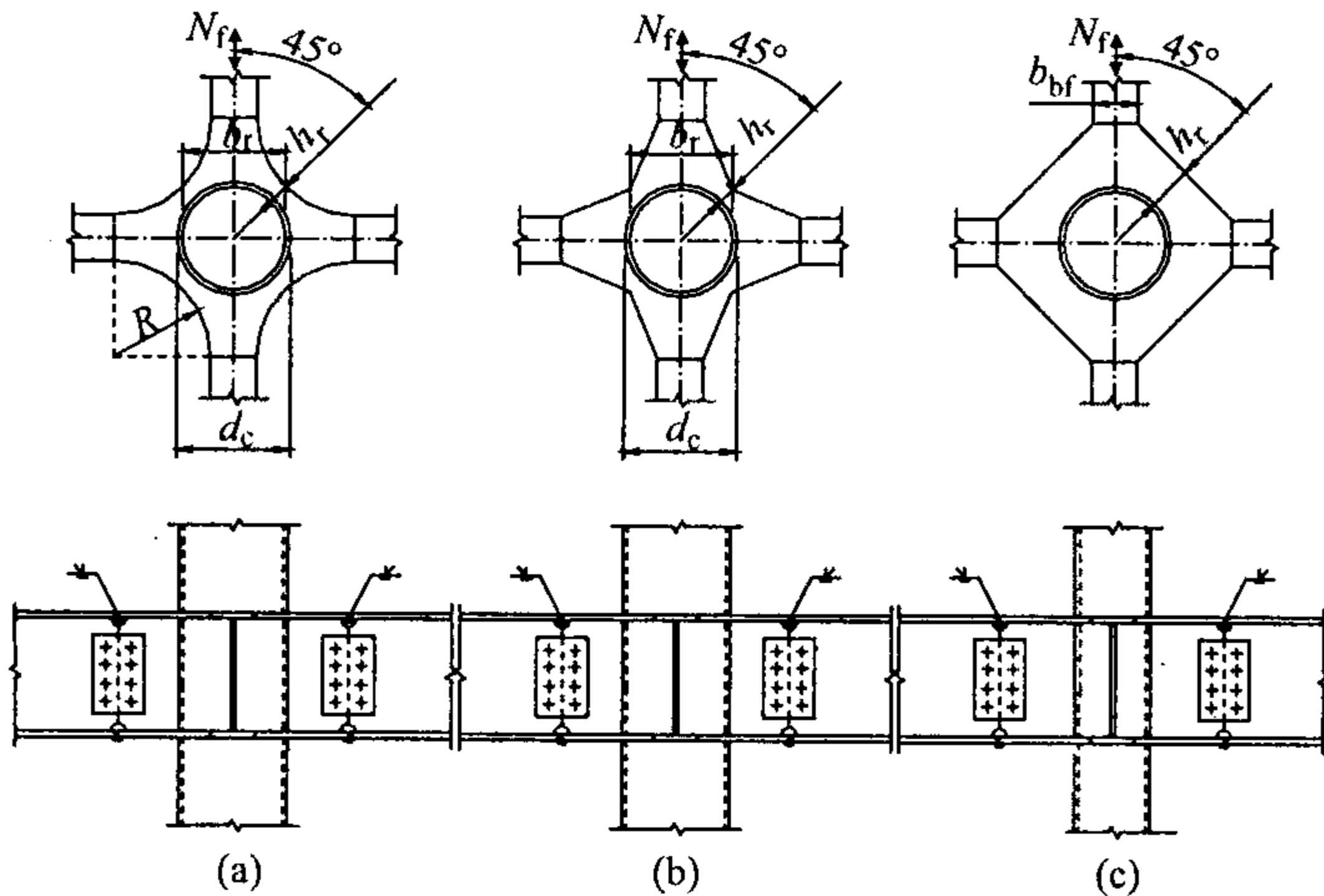


图 6.6.3-1 外环加劲板式梁—圆管柱连接节点



2 采用方管柱(图 6.6.3-2),当  $17 \leq b_c / t_c \leq 67$ ,  
 $h_r / b_c \leq 0.4, 0.75 \leq t_r / t_c \leq 2.0, \theta \leq 30^\circ$ ,且  $(\frac{b_c}{2} + h_r) \leq 15t_r$

$\sqrt{\frac{235}{f_{yr}}}$ 时,应按以下公式计算:

$$N_f = 1.92 \left( \frac{t_c}{b_c} \cdot \frac{t_r}{t_c + h_r} \right)^{2/3} \cdot (t_c + h_r) \cdot b_c \cdot \frac{f}{\gamma_f} \quad (6.6.3-2)$$

式中: $b_c, t_c$ ——方管柱的宽度和壁厚;

$h_r, t_r$ ——外环加劲板与柱边缘的最小距离和板厚;

$f, \gamma_f$ ——外环加劲板的强度设计值和屈强比,对 Q235 钢可  
 取  $\gamma_f = 0.6$ ,对 Q345 钢可取  $\gamma_f = 0.7$ 。

$f_{yr}$ ——外环加劲板的钢材屈服点。

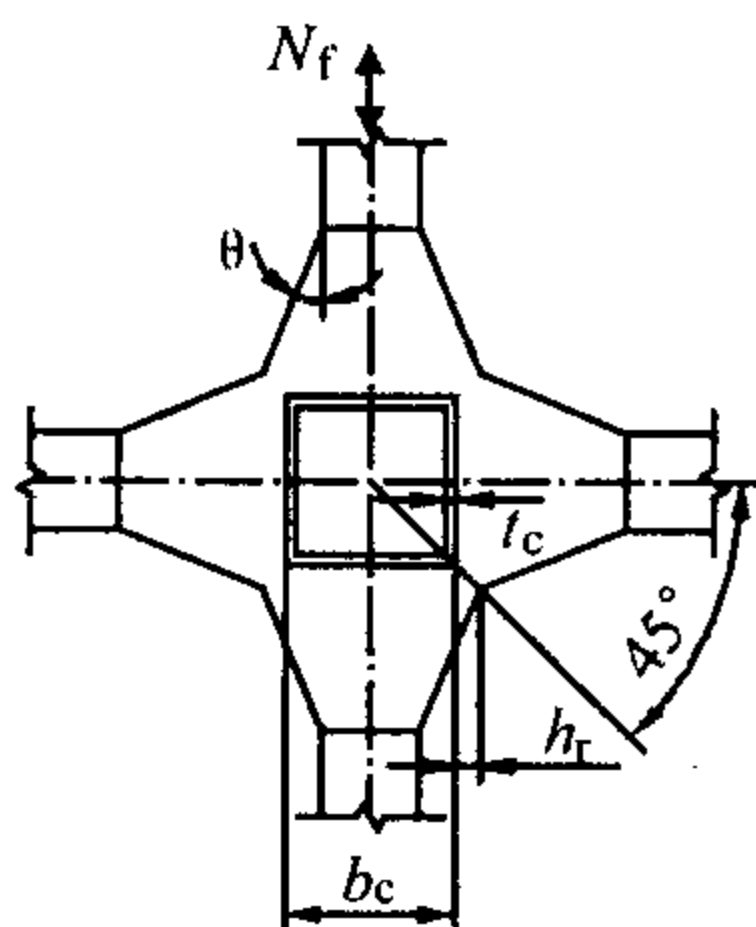


图 6.6.3-2 外环加劲板式梁一方管柱连接节点

## 7 节点构造

### 7.1 直接焊接节点构造

7.1.1 钢管节点的构造应符合下列要求：

1 主管的外部尺寸不应小于支管的外部尺寸，主管的壁厚不应小于支管壁厚，在支管与主管连接处不得将支管插入主管内。

2 主管与支管或两支管轴线之间的夹角不宜小于  $30^\circ$ 。

3 支管与主管的连接节点处，除搭接型节点外，应尽可能避免偏心。

4 支管与主管的连接焊缝，应沿全周连续焊接并平滑过渡，可用角焊缝或部分采用对接焊缝、部分采用角焊缝。支管管壁与主管管壁之间的夹角大于或等于  $120^\circ$  的区域宜用对接焊缝或带剖口的角焊缝。角焊缝的焊脚尺寸  $h_f$  不宜大于支管壁厚的 2 倍。相贯焊缝的构造要求应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规范》JGJ 81 的有关规定。

5 圆管支管与圆管主管相贯焊缝上坡口部位焊缝根部  $2\text{mm}\sim 3\text{mm}$  范围内的焊缝检测可不作全熔透要求。

6 支管端部宜使用自动切割，支管壁厚小于  $6\text{mm}$  时可不切割口。

7.1.2 钢管桁架节点处多个支管搭接时，可采用如下构造：

1 多根钢管搭接时，按如下顺序考虑：直径较大支管作为被搭接管；管壁较厚支管作为被搭接管；承受轴心压力的支管作为被搭接管。

2 管壁较薄支管作为被搭接管时，对搭接区的管壁抗弯承载力应进行计算；不能满足强度要求时，搭接部位应考虑加劲措施。

3 对不需进行疲劳验算的节点以及抗震设防烈度不大于 7

度地区的节点,允许被搭接管的隐藏部位不作焊接。

4 被搭接管隐藏部位必须焊接时,允许在搭接管上设焊接手孔,在隐藏部位施焊结束后封闭,或将搭接管在节点近旁处断开,隐藏部位施焊后再接上其余管段。

7.1.3 在有间隙的 K 形或 N 形节点中(本规程图 5.1.5a、5.1.5b),支管间隙  $a$  应不小于两支管壁厚之和。

7.1.4 在搭接的 K 形或 N 形节点中(本规程图 5.1.5c、5.1.5d),其搭接率  $O_v = q/p \times 100\%$  应满足  $25\% \leq O_v \leq 100\%$ ,且应确保在搭接部分的支管之间的连接焊缝能可靠地传递内力。

## 7.2 端部压扁节点构造

7.2.1 楔形压扁端部宜符合图 7.2.1 所示的构造要求。

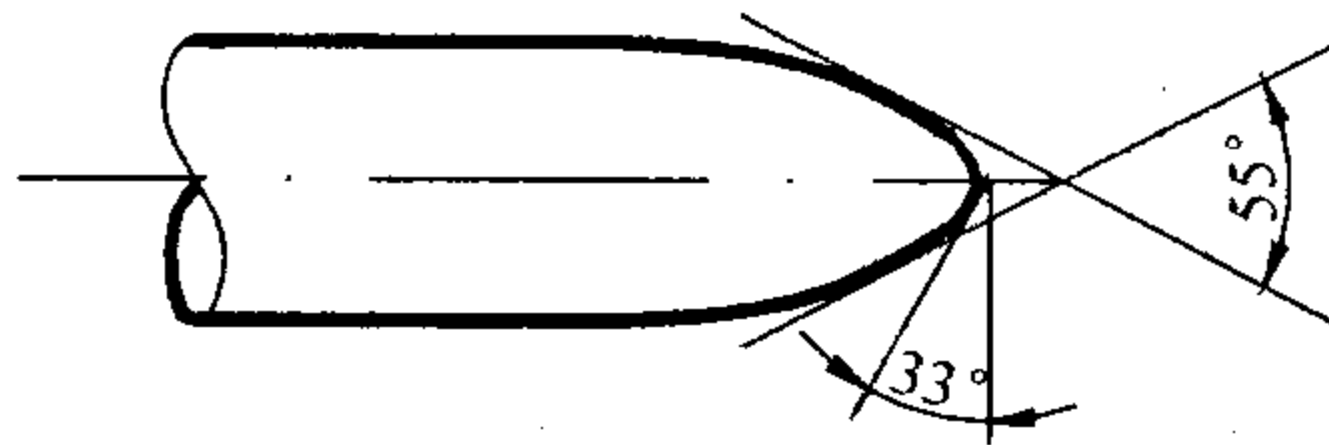


图 7.2.1 楔形压扁端部几何参数

7.2.2 部分压扁的支管,其端部与主管表面的间隙不应大于 3mm(图 7.2.2)。

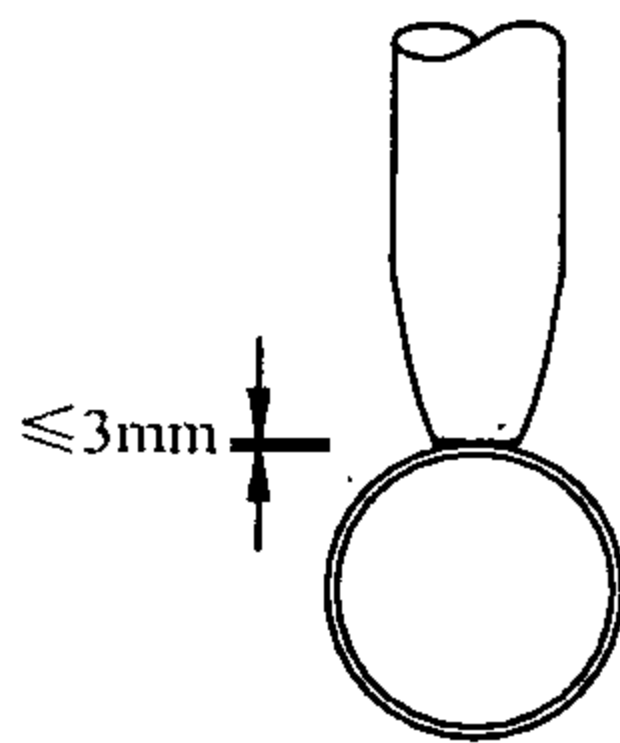


图 7.2.2 支管端部与主管表面的间隙

7.2.3 全压扁和部分压扁的圆管,过渡段  $l$ (图 7.2.3)的长度应尽量短,但其表面斜率不应大于 1:4。

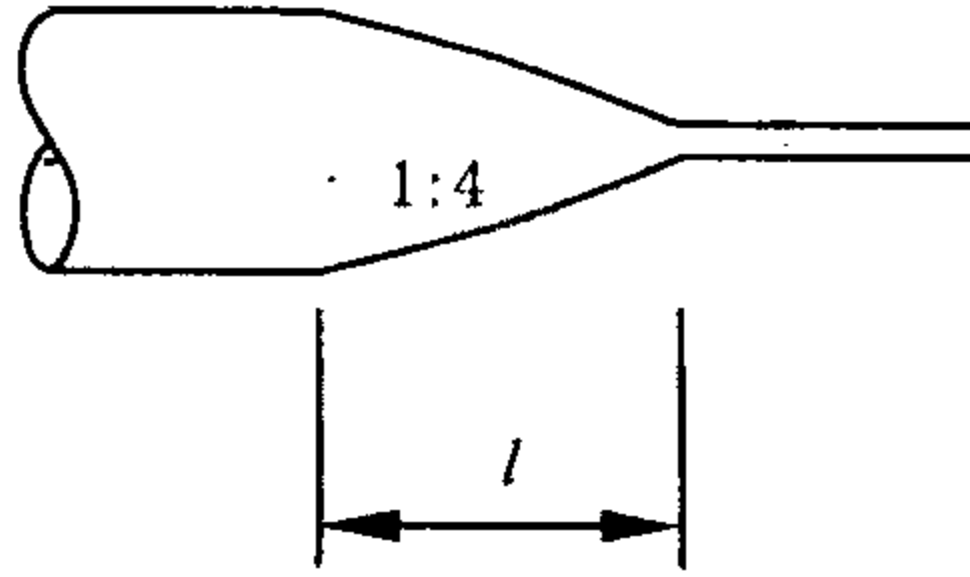
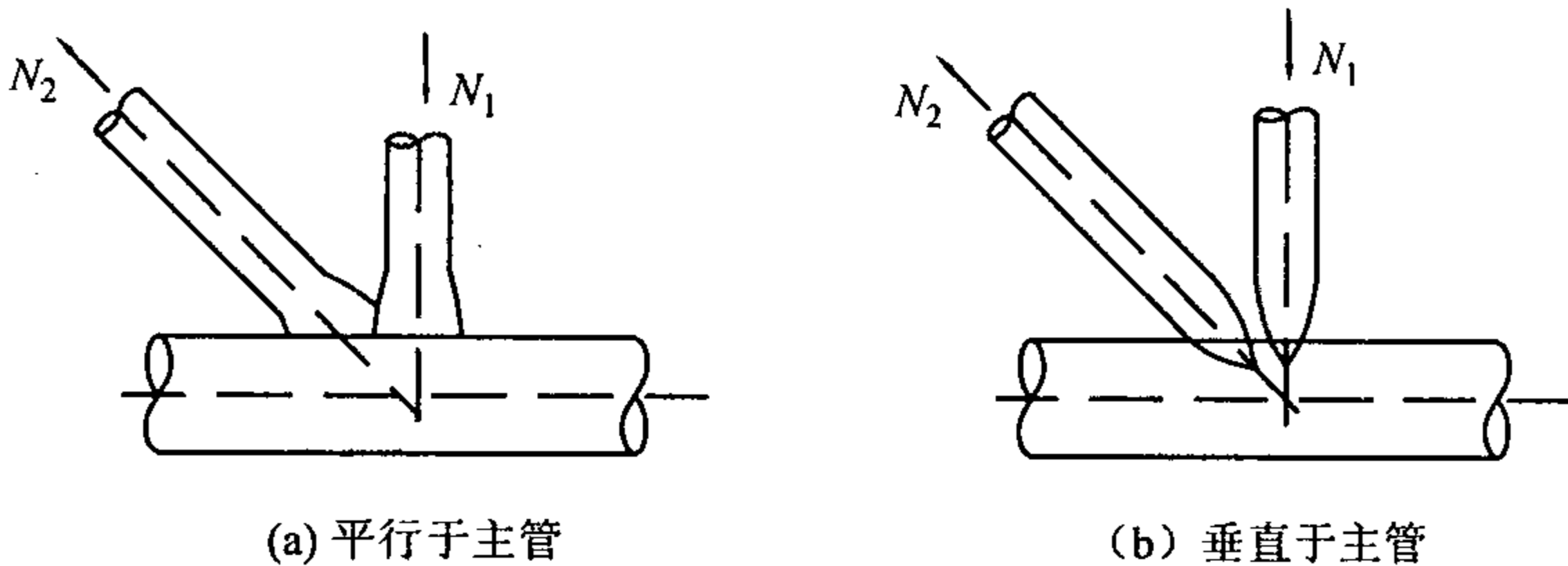


图 7.2.3 全压扁或部分压扁的过渡段

7.2.4 支管外径与壁厚之比不宜大于 25。

7.2.5 当主管为圆管时,支管端部楔形压扁的方向可分为平行于主管和垂直于主管(图 7.2.5),宜优先选用平行于主管方向布置。



(a) 平行于主管

(b) 垂直于主管

图 7.2.5 楔形压扁方向

### 7.3 加劲钢管节点构造

7.3.1 钢管桁架主管与圆管支管的节点采用非加劲直接焊接方式不能满足承载要求时,可按下列规定在主管管内设置加劲板。

1 支管以承受轴力为主时,可在主管内设一道或两道加劲板;节点按刚接要求设计时,应设两道内加劲板。

2 设置一道内加劲板时,加劲板位置宜在支管与主管相贯面的鞍点处;设置两道内加劲板时,内加劲板宜设置在距相贯面冠点

0.1 $d_1$  附近(图 7.3.1), $d_1$  为支管外径。

3 采用内加劲板时,加劲板厚度不得小于支管的壁厚,也不应小于主管壁厚的 2/3 和主管内径的 1/40。内加劲板开孔时,加劲环板宽度与板厚的比值不宜大于  $15\sqrt{235/f_y}$ , $f_y$  为加劲板的屈服点。

4 内加劲板宜采用部分熔透焊缝。

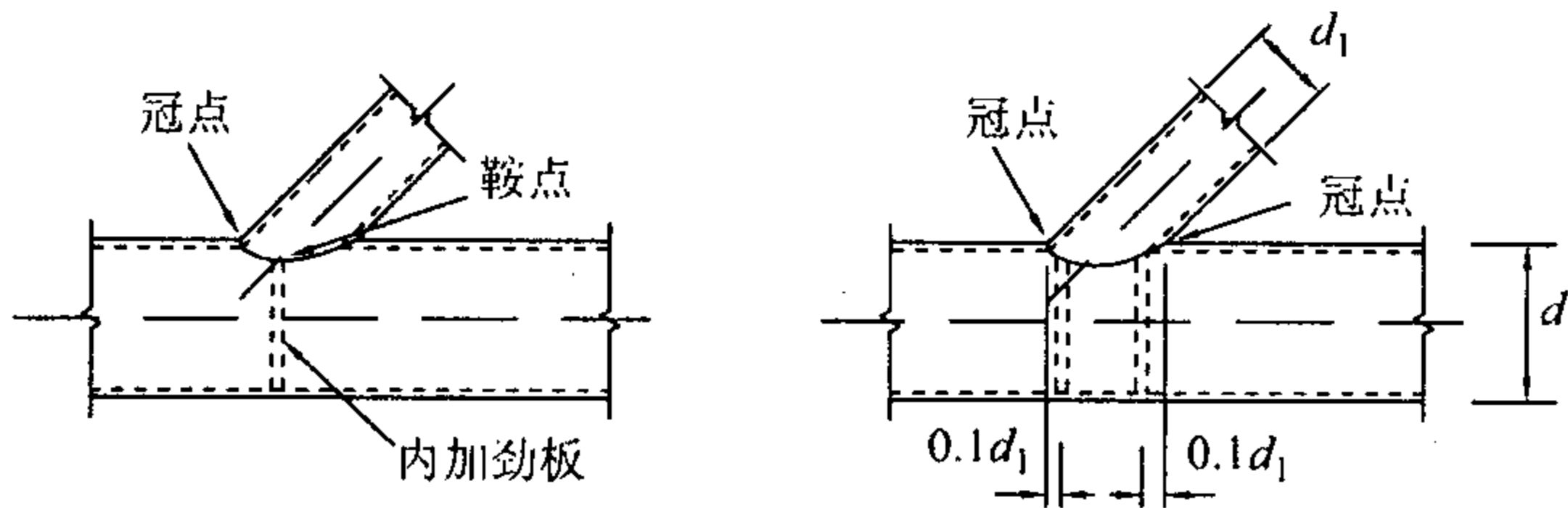


图 7.3.1 支管为圆管时内加劲板的位置

7.3.2 支管为方管或矩形管时,内加劲板宜设置在支管翼板(垂直主管轴线的板件)的下方(图 7.3.2)。加劲板的构造要求可按本规程第 7.3.1 条执行。

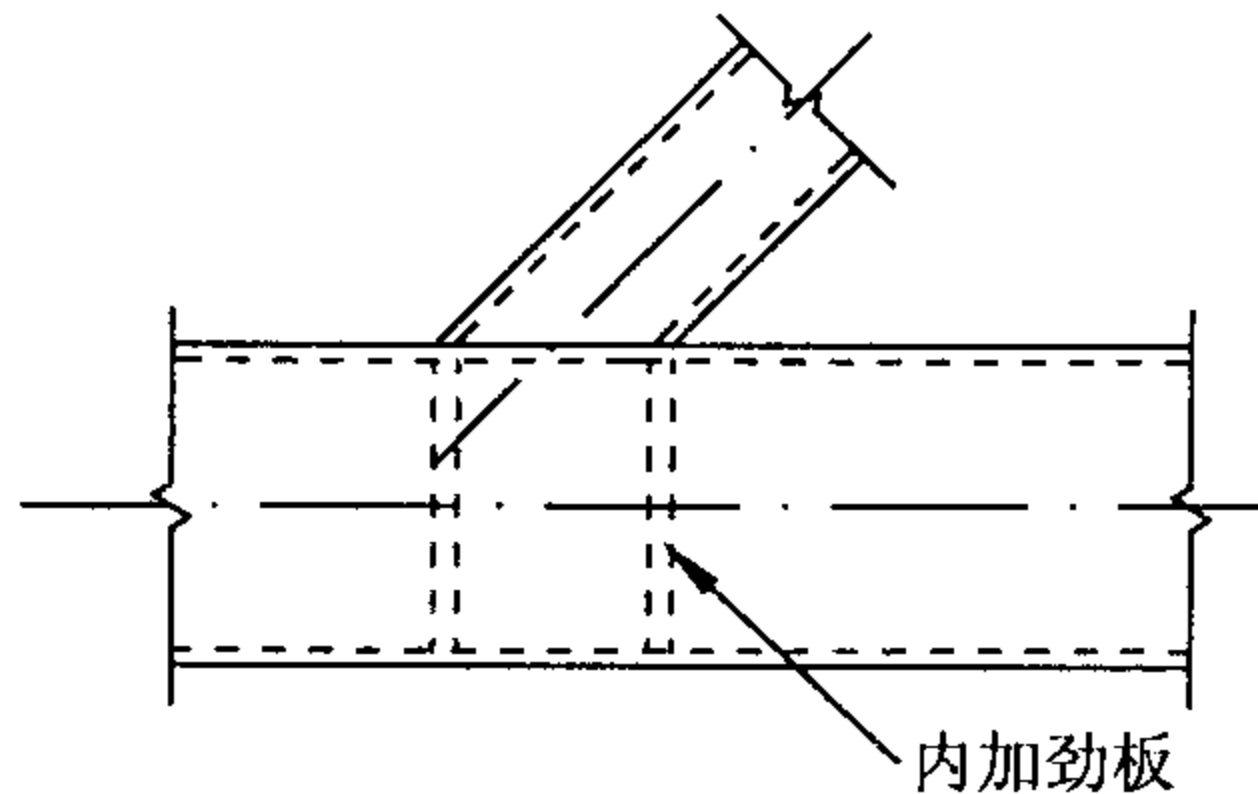


图 7.3.2 支管为方管或矩形管时内加劲板的位置

7.3.3 当主管直径较小,内加劲板的焊接必须断开主管钢管时,主管的拼接焊缝宜设置在距支管相贯焊缝最外侧冠点 200mm 以外处(图 7.3.3)。

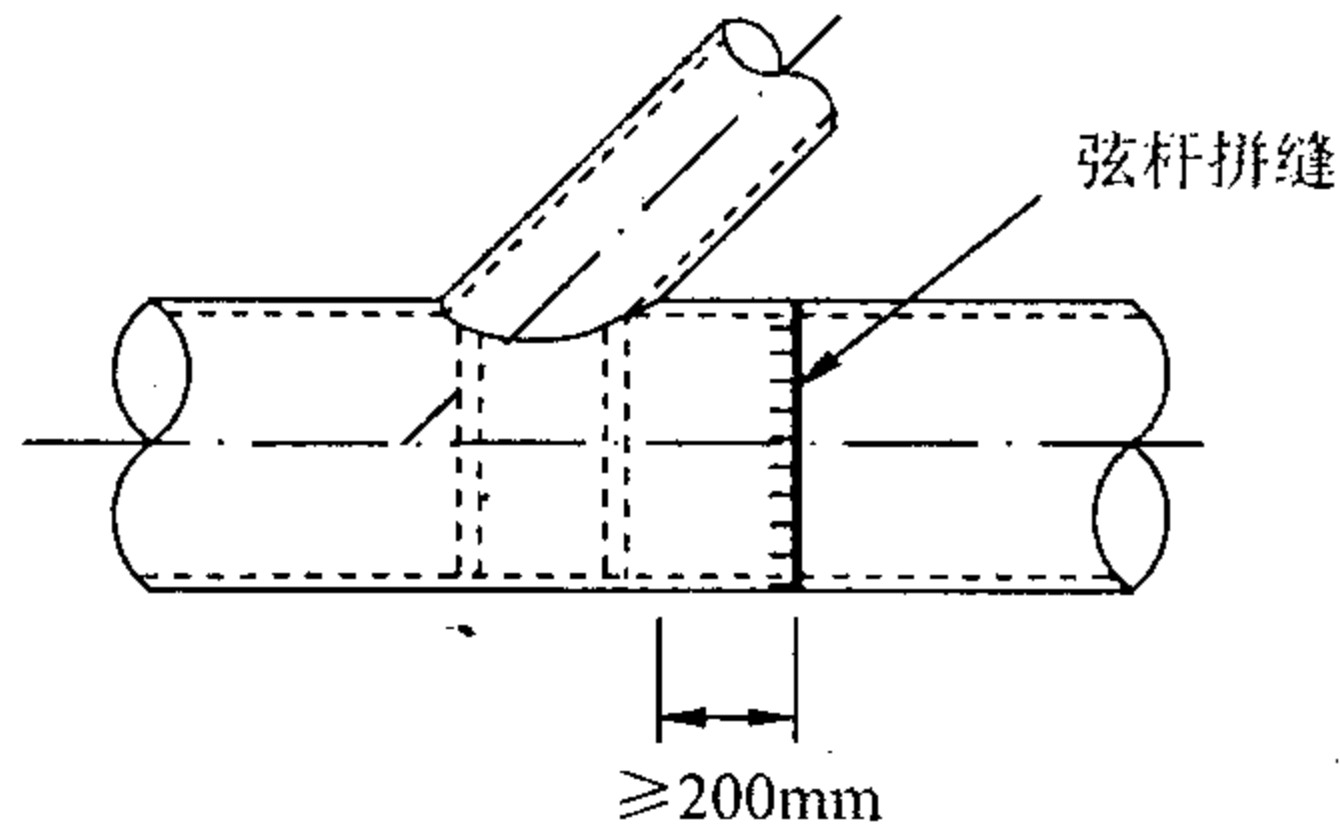


图 7.3.3 有内加劲板节点的主管拼缝位置

7.3.4 支管与主管的直径比小于 0.7 时,节点可采用主管表面覆板的加劲方式,覆板宽度宜包覆主管半圆;长度方向两侧均应超过支管最外侧焊缝 50mm 以上,但不宜超过支管直径的  $\frac{2}{3}$ ;覆板厚度不宜小于 4mm;覆板厚度和主管厚度叠加后可作为支管受压时节点塑性破坏和冲剪破坏计算的总厚度;但支管受拉时计算节点塑性破坏和冲剪破坏仅取覆板厚度,覆板与主管间除四周围焊外尚有塞焊缝保证两者共同作用者除外(图 7.3.4)。

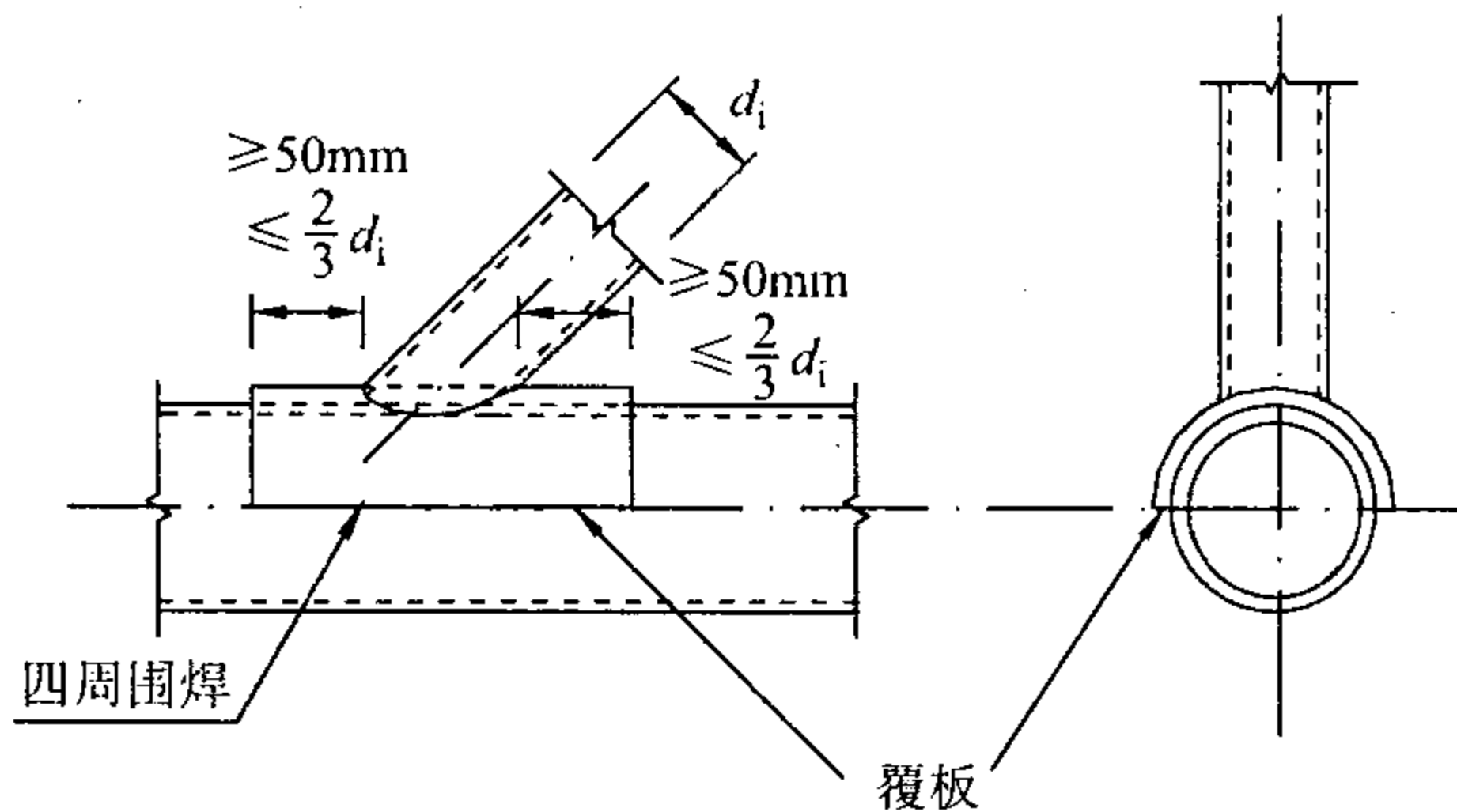


图 7.3.4 覆板加劲

7.3.5 当用加强板提高节点承载力时(本规程图 6.3.5-1、图 6.3.5-2、图 7.3.4),加强板与主管应采用四周围焊,焊缝应具有足够的承载力,使其不先于节点破坏。对 K、N 形节点焊缝有效高度应不小于腹杆壁厚。焊接前宜在加强板上先钻一个排气小孔,

孔的位置宜设在支管交接面内。

## 7.4 钢管柱与 H 型钢梁节点构造

7.4.1 框架结构中钢管柱与 H 型钢梁的刚性连接节点,当需设置柱身加劲横膈时,可采用内隔板式、外环式和隔板贯通式(图 7.4.1)。

1 内隔板式节点(图 7.4.1a):对抗震设防的结构,隔板厚度不应小于梁翼缘板厚度;对非抗震设防的结构,隔板厚度不得小于梁翼缘板的  $1/2$ 。抗震设防结构的内隔板与柱的连接应采用全熔透焊缝。对冷成型钢管柱设置内隔板时,可在节点区中部设柱子水平拼缝;对抗震设防结构该拼缝应全熔透焊接;对非抗震设防结构,或对地震作用组合的计算不起控制作用的结构,若柱子设计轴力均为压力,该拼缝允许采用非全熔透焊缝,但按角焊缝计算的焊缝截面设计承载力应大于设计内力且不小于柱子截面承载力的  $1/2$ 。

2 外环加劲板式节点(图 7.4.1b):环板厚度不应小于梁翼缘板的厚度。抗震设防结构的外环板与柱宜采用全熔透焊缝;非抗震设防结构的外环板与柱的连接可采用与环板截面等强的双面角焊缝;外环板与梁翼缘板的连接应采用全熔透焊缝。

3 隔板贯通式节点(图 7.4.1c):隔板钢材强度应取钢管柱和梁翼缘板中屈服强度较高者,厚度应满足以下条件:大于梁翼缘厚度  $2\text{mm}$  以上;也不小于  $\sqrt{3}t_{bf}b_{bf}f_{yb}/h_c f_y$ ,其中  $t_{bf}$ ,  $b_{bf}$ ,  $h_c$  分别为梁翼缘板厚度、宽度和沿梁长度方向的柱子截面高度,  $f_{yb}$ ,  $f_y$  分别为梁翼缘板和隔板的屈服强度;且不宜小于柱子钢管壁厚。节点处钢管柱受有较大拉应力时,隔板应有必要的 Z 向性能要求。

隔板挑出柱侧的长度,当柱子壁厚小于  $28\text{mm}$  时可取  $25\text{mm}$ ,柱子壁厚大于  $28\text{mm}$  时可取  $30\text{mm}$ ,但不宜大于  $50\text{mm}$ 。隔板与上下柱段的连接及与梁翼缘板的连接应采用全熔透焊缝。

4 内隔板、外环板和贯通隔板的板件都应满足局部稳定性要求的宽厚比限值。

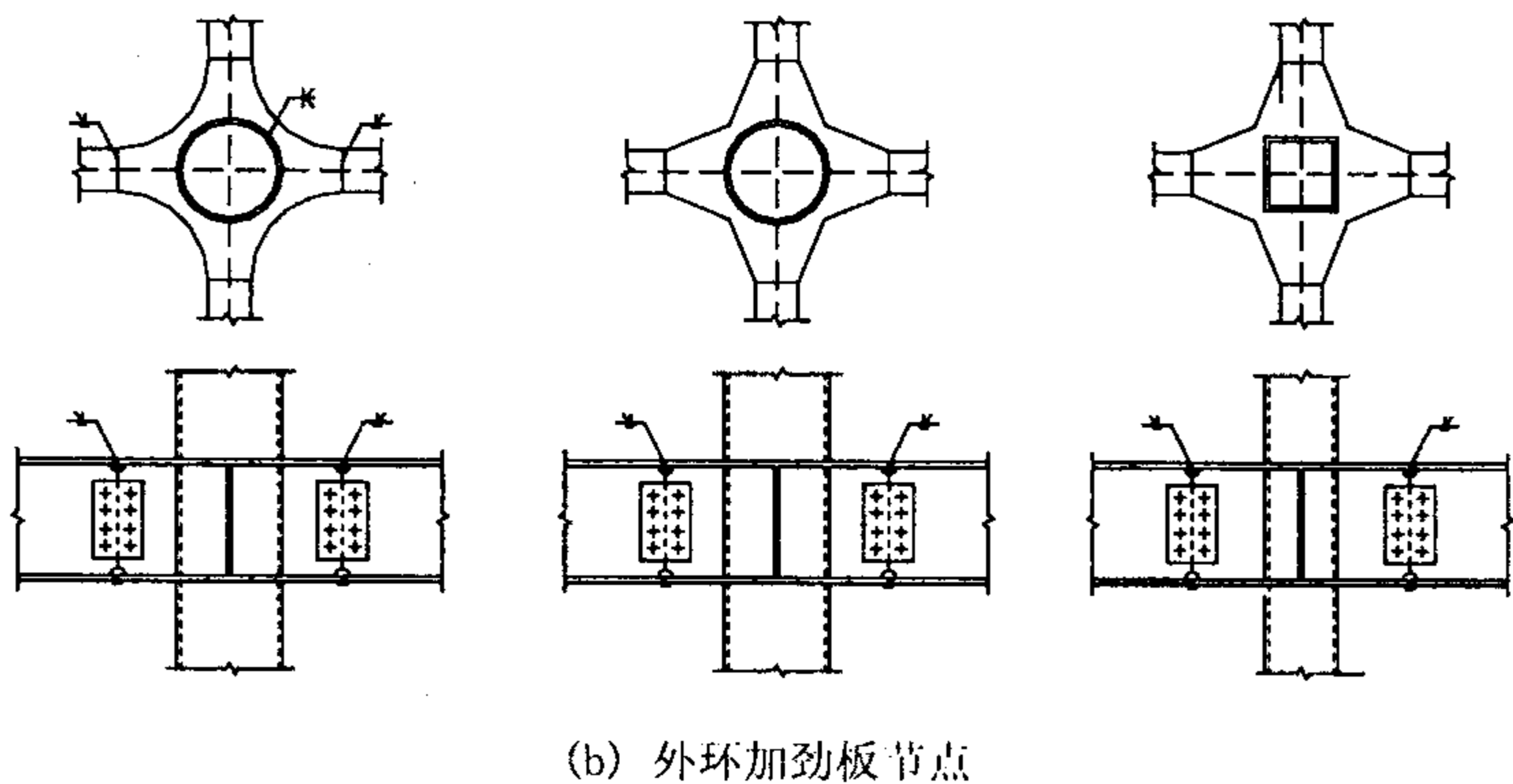
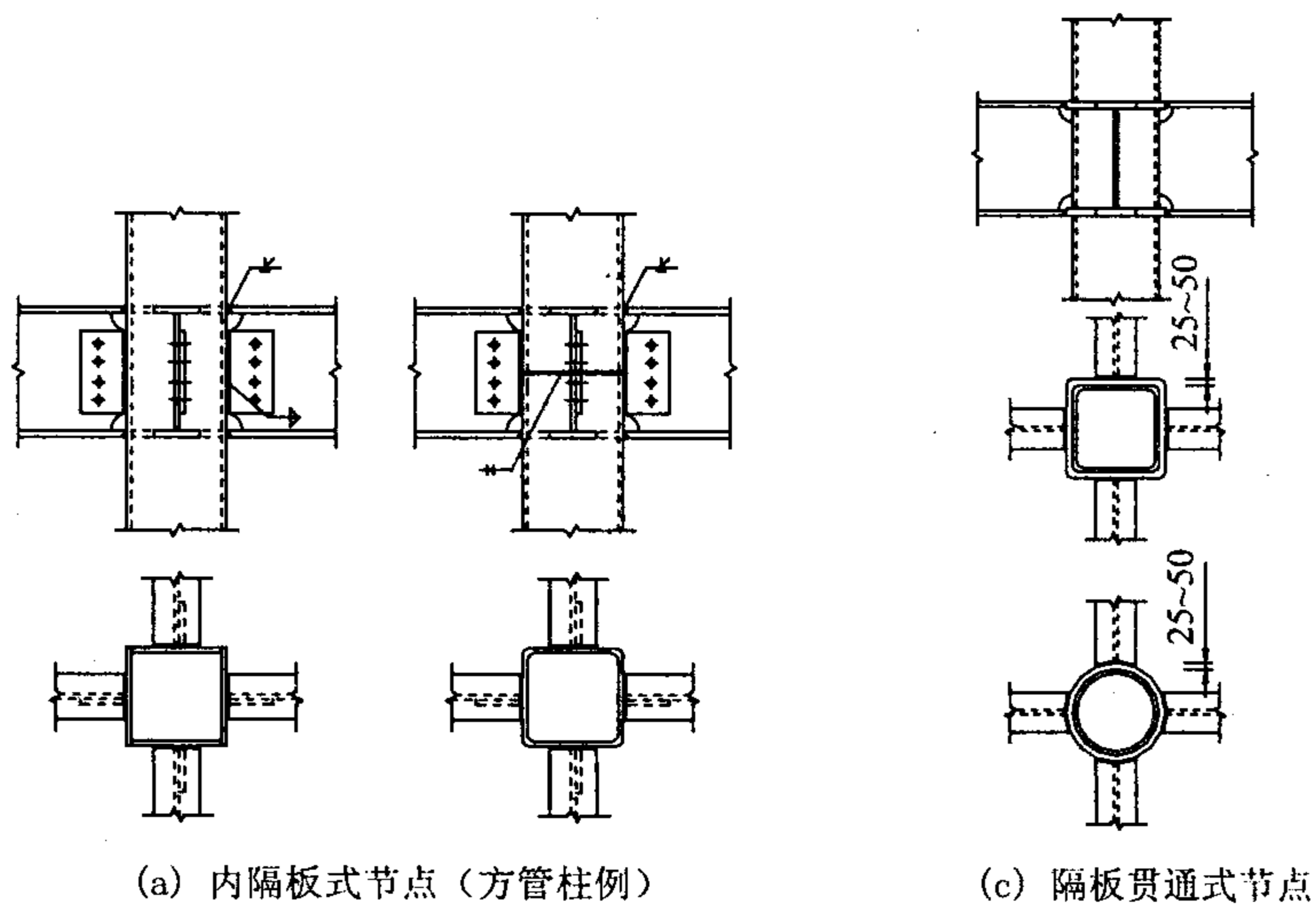


图 7.4.1 钢管柱-H 型钢梁的刚接节点构造

**7.4.2** 框架结构中钢管柱与 H 型钢梁的铰接连接节点, 当无支托传递剪力时, 若按本规程式(6.5.2-6)计算的抗弯承载力小于梁端弯矩时应在梁腹板连接板处设横向加劲肋(图 7.4.2), 梁端弯矩可取  $M_b = Ve$ ,  $e$  为柱子轴线到连接板焊缝群的形心或连接螺栓群的形心的距离。



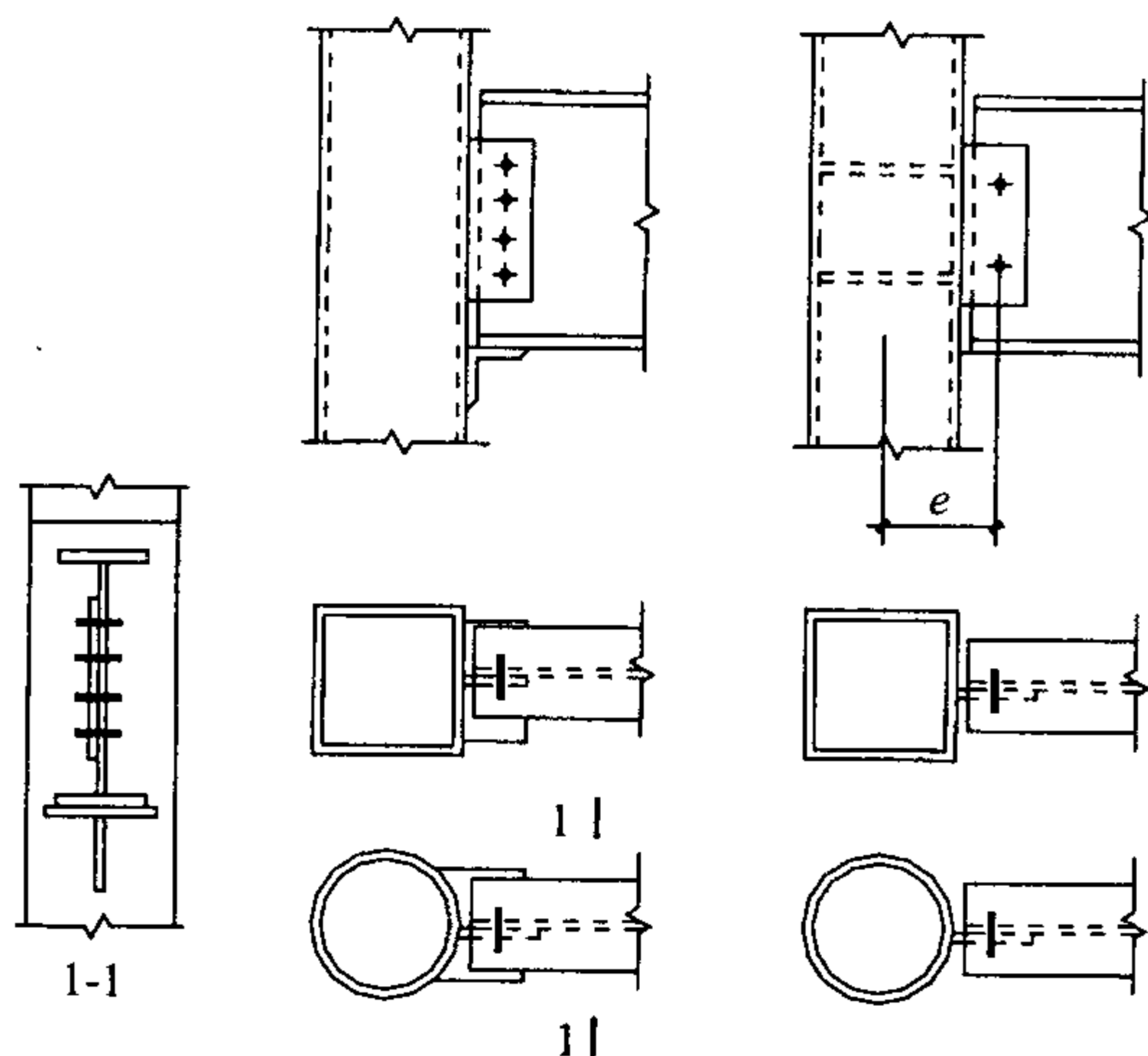


图 7.4.2 钢管柱与 H 型钢梁的铰接节点构造

## 7.5 杆件拼接构造

7.5.1 钢管拼接时的构造可按照协会标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159:2004 第 7.2.2 条执行。

## 7.6 柱脚构造和支座构造

7.6.1 矩形钢管柱的刚接柱脚构造可按协会标准《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159:2004 第 7.3 节执行。圆钢管柱的埋入式与外包式柱脚的构造与矩形钢管柱相同。外露式柱脚构造可采用图 7.6.1 的形式。

7.6.2 钢管柱铰接柱脚可采用图 7.6.2 所示的铰接构造。

梭形柱与基础连接宜采用销轴支座节点。对单管梭形柱支座节点宜采用钢板(销轴)支座节点,对多肢梭形格构柱可采用铸钢(销轴)节点或钢板(销轴)支座节点。

7.6.3 管桁架支座与柱子的连接可采用图 7.6.3 构造。

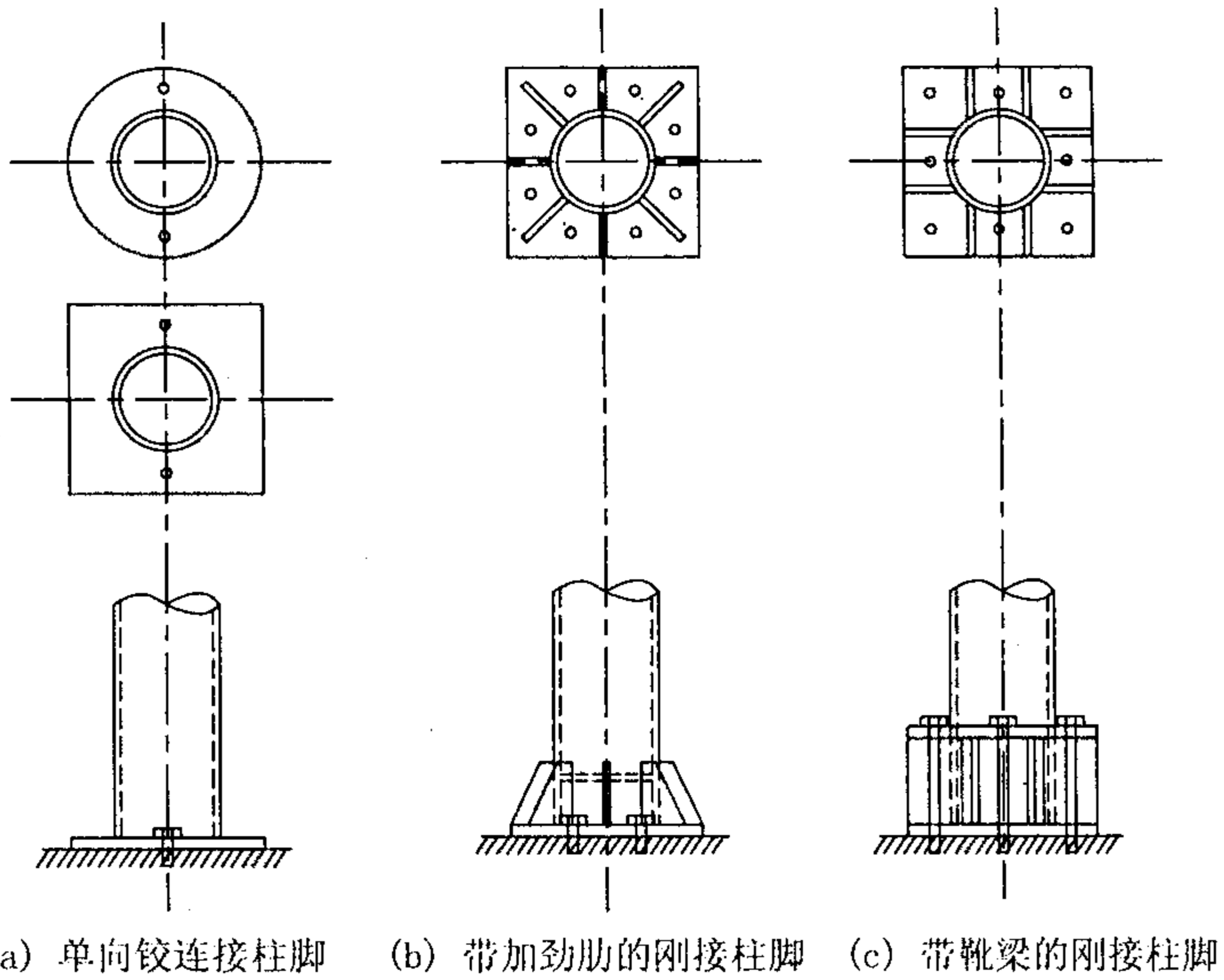


图 7.6.1 圆钢管柱外露式柱脚

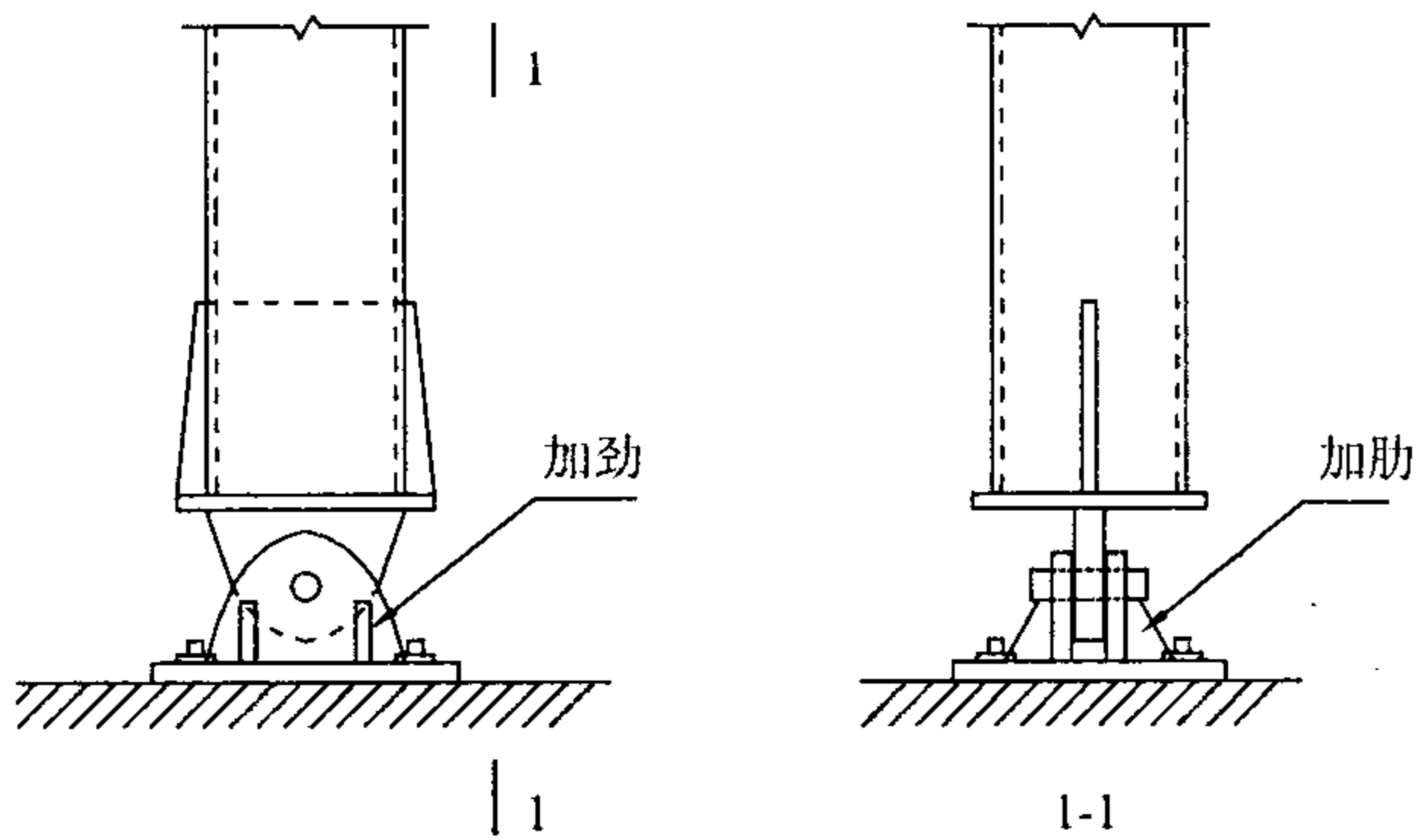


图 7.6.2 钢管柱铰接柱脚

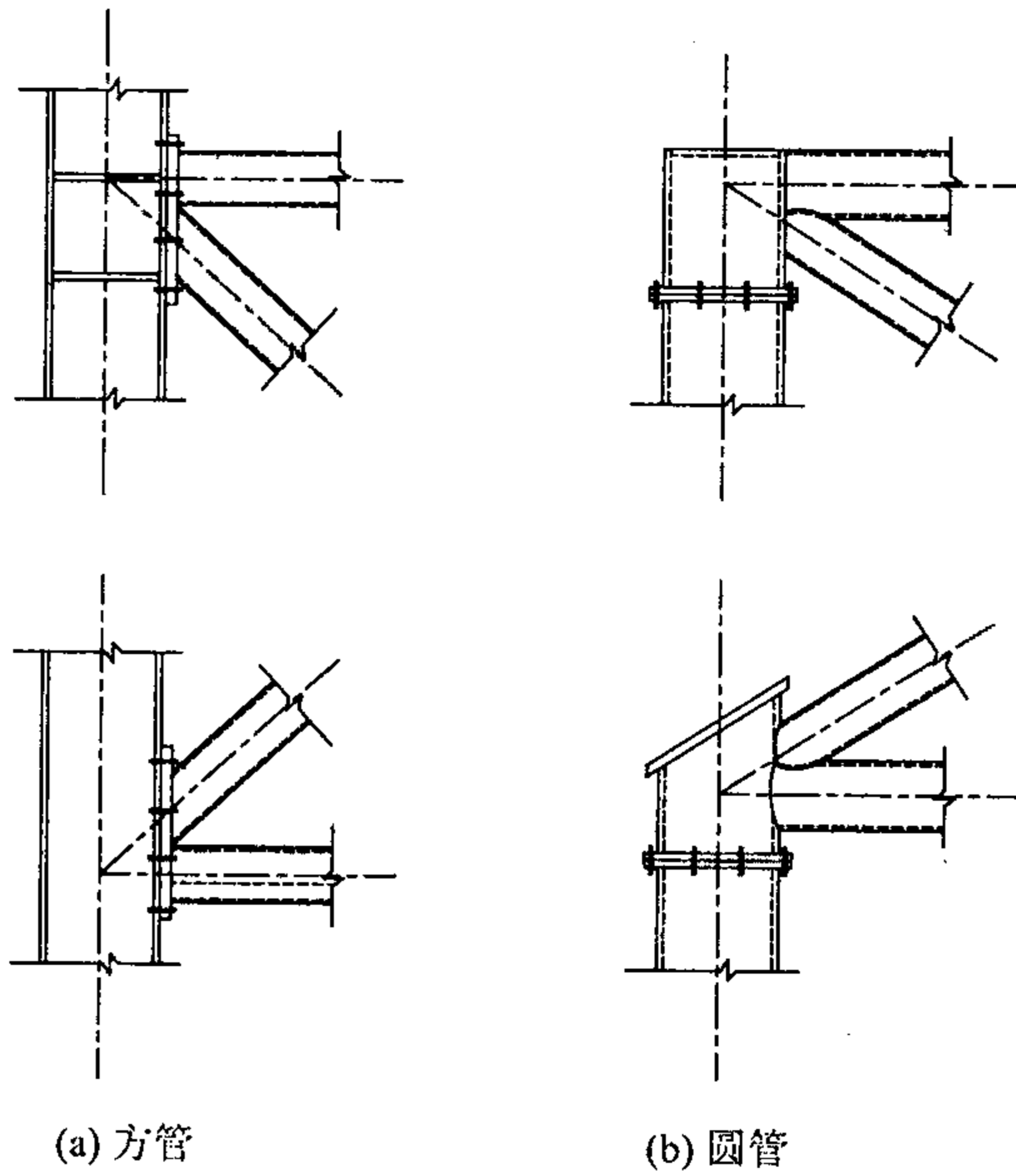


图 7.6.3 管桁架与柱子的连接

### 7.7 管桁架上弦与屋面构件的连接构造

7.7.1 管桁架上弦与屋面结构连续次梁的连接构造可采用图 7.7.1 的构造。

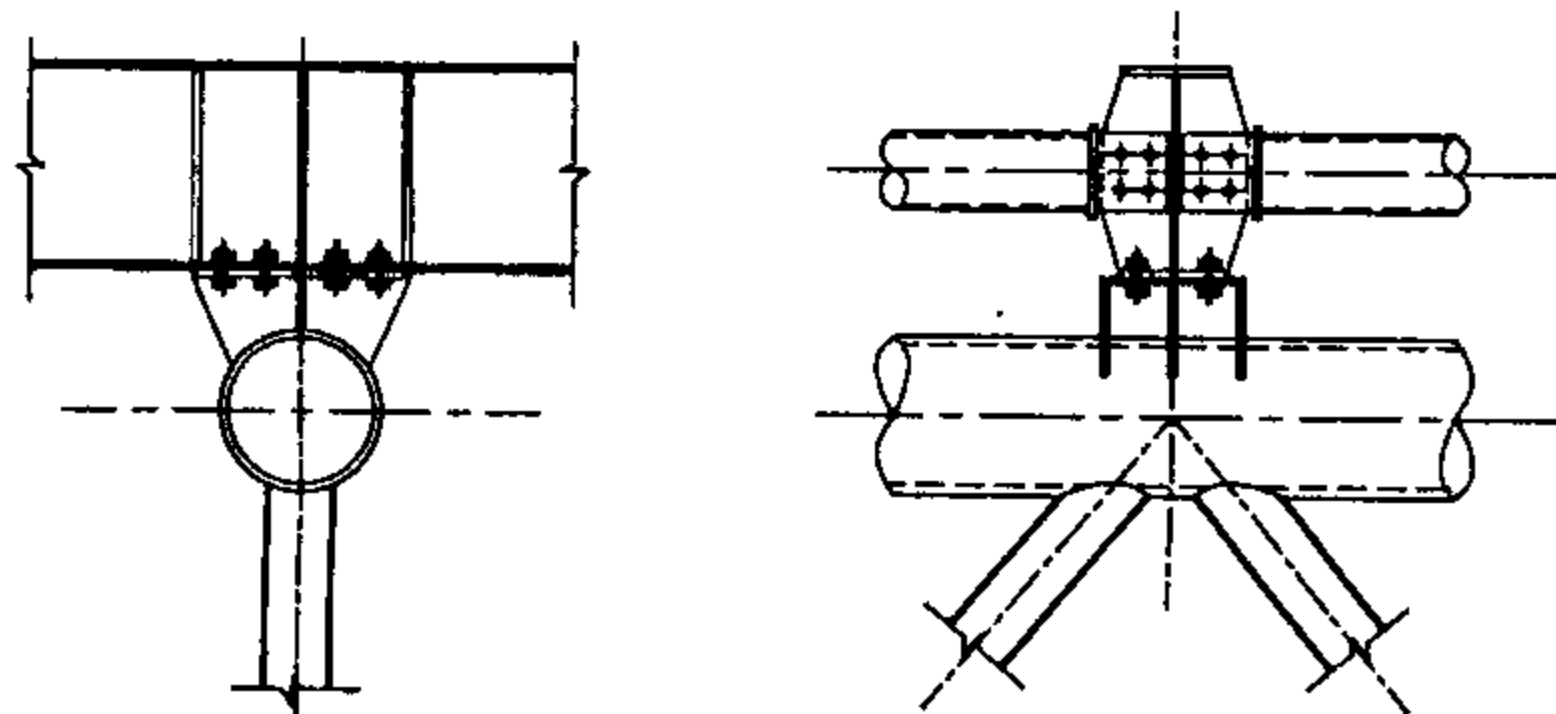
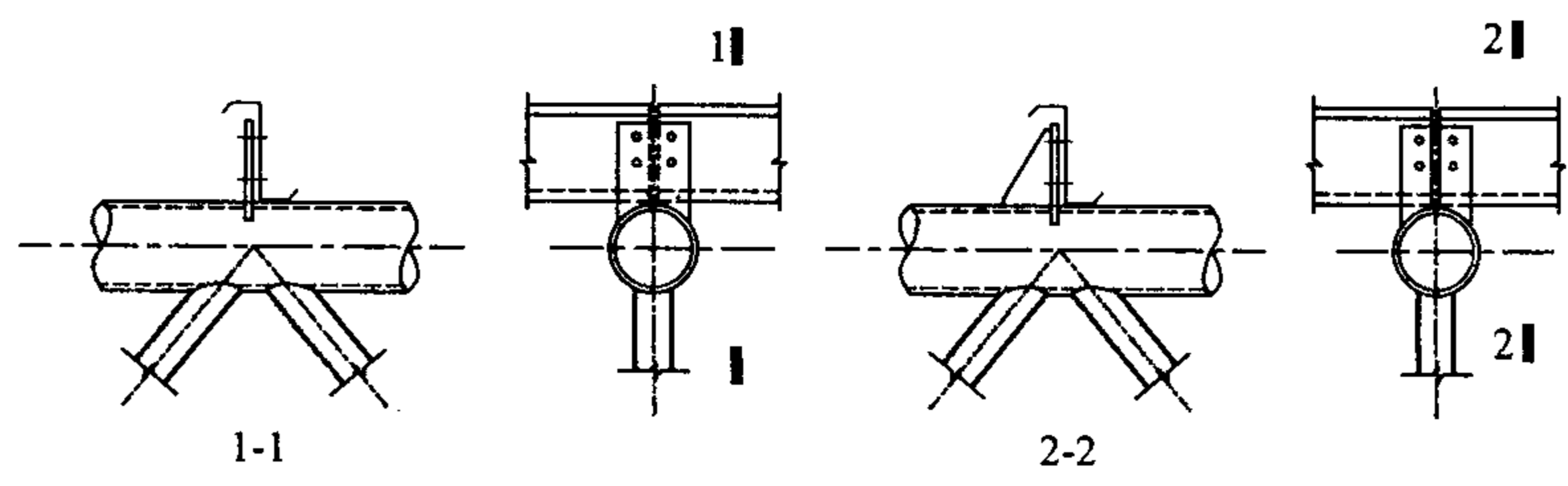
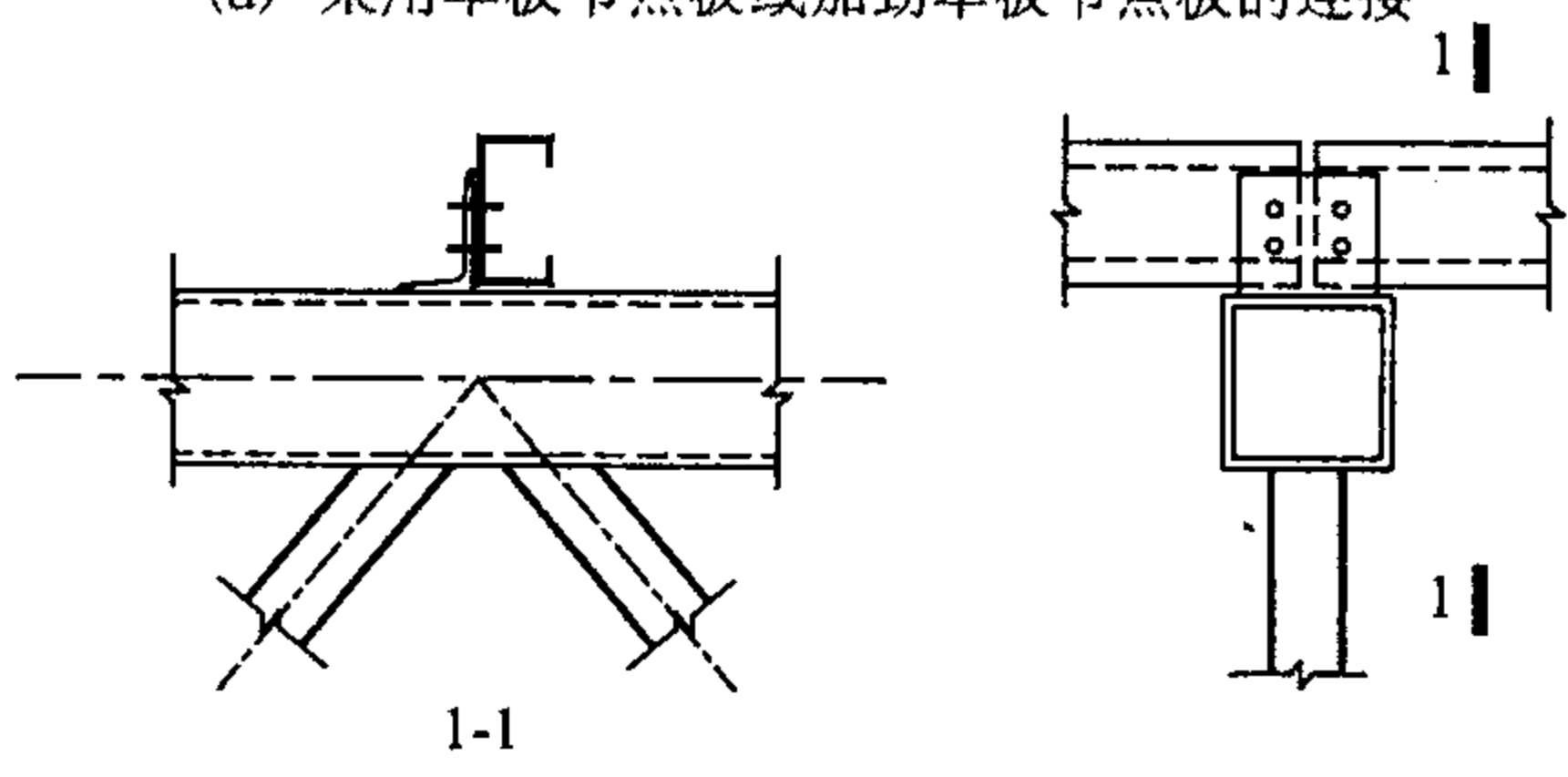


图 7.7.1 屋面次梁与桁架上弦连接构造

7.7.2 管桁架上弦与屋面檩条连接可采用图 7.7.2 的构造。



(a) 采用单板节点板或加劲单板节点板的连接



(b) 采用角钢的连接

图 7.7.2 屋面檩条与桁架上弦连接构造

## 8 疲劳计算

### 8.1 一般规定

8.1.1 直接承受动力荷载重复作用的钢管结构构件及其连接,当设计基准期内应力变化的循环次数  $n$  等于或者大于  $5 \times 10^4$  时,应进行疲劳计算。

8.1.2 本章规定不适用于特殊条件(如构件表面温度大于  $150^\circ\text{C}$ ,处于海水腐蚀环境,焊后消除残余应力以及低周一高应变疲劳条件等)下的管结构构件及其连接的疲劳计算。

8.1.3 管结构疲劳计算可采用基于名义应力幅的容许应力幅法。容许应力幅应按构件和连接分类(疲劳计算的构件和连接分类见附录 A)、应力循环次数以及计算部位的管壁厚度确定。在应力循环中不出现拉应力的部位可不计算疲劳。

### 8.2 疲劳计算

8.2.1 疲劳计算的名义应力应按杆系结构对结构进行线弹性分析计算。当分析桁架结构各杆件内力时,可假定主管连续,支管两端铰接或刚接于主管。

8.2.2 对于 K 形和 N 形节点,当分析桁架内力时,可假设支管为铰接,节点支管和主管内由轴力产生的名义应力幅应乘以放大系数  $\eta$ ,  $\eta$  应按表 8.2.2 取值。疲劳计算时,节点的支管和主管应分别计算。

表 8.2.2 K、N 形节点的名义应力幅放大系数  $\eta$

节点类型		主管	与主管正交的支管	与主管斜交的支管
圆管节点	K 形节点	1.50	—	1.30
	N 形节点	1.50	1.80	1.40

续表 8.2.2

节点类型		主管	与主管正交的支管	与主管斜交的支管
圆管节点	搭接节点	K形节点	1.50	—
		N形节点	1.50	1.65
矩形管节点	间隙节点	K形节点	1.50	—
		N形节点	1.50	2.20
	搭接节点	K形节点	1.50	—
		N形节点	1.50	2.00

8.2.3 当计算名义应力幅  $\Delta\sigma$  时,对焊接部位应采用  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ , 对非焊接部位应采用折算应力幅  $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - 0.7\sigma_{\min}$ 。

式中:  $\sigma_{\max}$  —— 计算部位每次应力循环中的最大名义拉应力(取正值);

$\sigma_{\min}$  —— 计算部位每次应力循环中的最小名义拉应力或名义压应力(拉应力取正值,压应力取负值)。

8.2.4 在结构使用寿命期间内,当预期最大的名义应力幅  $\Delta\sigma_{\max}$  满足下列要求时,可不进行疲劳计算:

$$\Delta\sigma_{\max} \leq \frac{[\Delta\sigma_D]}{K} \quad (8.2.4-1)$$

$[\Delta\sigma_D]$  根据构件和连接分类按本规程附录 A 采用,或按下式计算:

$$[\Delta\sigma_D] = [\Delta\sigma]_{2 \times 10^6} \left(\frac{2}{5}\right)^{1/m} \quad (8.2.4-2)$$

式中:  $K$  —— 系数,  $K = 1.15$ ;

$[\Delta\sigma_D]$  —— 计算部位的常幅疲劳极限应力幅( $N/mm^2$ );

$[\Delta\sigma]_{2 \times 10^6}$  —— 200 万循环次数时的容许应力幅( $N/mm^2$ ),根据构件和连接分类按本规程附录 A 采用;

$M$  —— 参数,根据构件和连接分类按本规程附录 A 采用。

8.2.5 常幅(应力循环中的应力幅保持常量)疲劳应按下式进行计算:

$$[\Delta\sigma] \leq \frac{[\Delta\sigma_R]}{K} \quad (8.2.5-1)$$

$$[\Delta\sigma_R] = [\Delta\sigma]_{2 \times 10^6} \left( \frac{2 \times 10^6}{n} \right)^{1/m} \quad (8.2.5-2)$$

式中:  $[\Delta\sigma_R]$ ——计算部位的常幅疲劳的容许应力幅(N/mm<sup>2</sup>);  
 $n$ ——应力循环次数。

**8.2.6** 变幅(应力循环中的应力幅随机变化)疲劳,当能预测结构在使用寿命期间内由各种荷载所产生的设计应力幅谱(应力幅水平及频次分布)时,其疲劳强度应按下式进行验算:

$$D \leq 1 \quad (8.2.6-1)$$

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (8.2.6-2)$$

式中:  $D$ ——疲劳损伤累积值;

$n_i$ ——结构使用寿命期内,各名义应力幅水平  $\Delta\sigma_i$  的循环次数;

$N_i$ ——各名义应力幅  $\Delta\sigma_i$  所对应的常幅疲劳寿命。

常幅疲劳寿命按下列情况进行计算:

1 当  $\Delta\sigma_i \geq [\Delta\sigma_D]$  时:

$$N_i = 5 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{K \Delta\sigma_i} \right)^m \quad (8.2.6-3)$$

2 当  $[\Delta\sigma_L] \leq \Delta\sigma_i < [\Delta\sigma_D]$  时:

$$N_i = 5 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma_D}{K \Delta\sigma_i} \right)^5 \quad (8.2.6-4)$$

$[\Delta\sigma_L]$ ——变幅疲劳应力幅截止限,可根据构件和连接分类按本规程附录 A 采用,或按下式进行计算:

$$[\Delta\sigma_L] = 0.549 [\Delta\sigma_D] \quad (8.2.6-5)$$

3 当  $\Delta\sigma_i < [\Delta\sigma_L]$  时,不考虑该应力幅的循环次数对疲劳损伤的影响。

**8.2.7** 在需要进行疲劳计算的构件和连接中,焊缝的质量等级应按以下原则选用:

1 对接焊缝或焊透的对接与角接组合焊缝,当作用力为拉力且垂直于焊缝长度方向时,焊缝质量应为一級,其余情况下的应為二級。

2 角焊缝或部分焊透的对接与角接组合焊缝的外观质量标准应符合二級。部分焊透的对接与角接组合焊缝,应按角焊缝的连接分类进行疲劳计算。

8.2.8 支管与主管的相贯接头焊缝,当支管壁厚  $t > 8\text{mm}$  时,宜采用部分焊透焊缝或完全焊透焊缝;支管壁厚  $t \leq 8\text{mm}$  时,可采用角焊缝,此时角焊缝的计算厚度  $h_e$  不应小于支管壁厚  $t$ 。

8.2.9 直接承受动力荷载的多个支管交汇的钢管桁架节点,被搭接管的隐藏部位必须焊接。

8.2.10 支管与主管焊接时,宜采用图 8.2.10 所示顺序施焊。焊缝的起弧点和落弧点应避开应力集中的位置,对圆管节点,不宜放在冠点、鞍点处;对于方管或矩形管节点,不宜放在支管角部处。

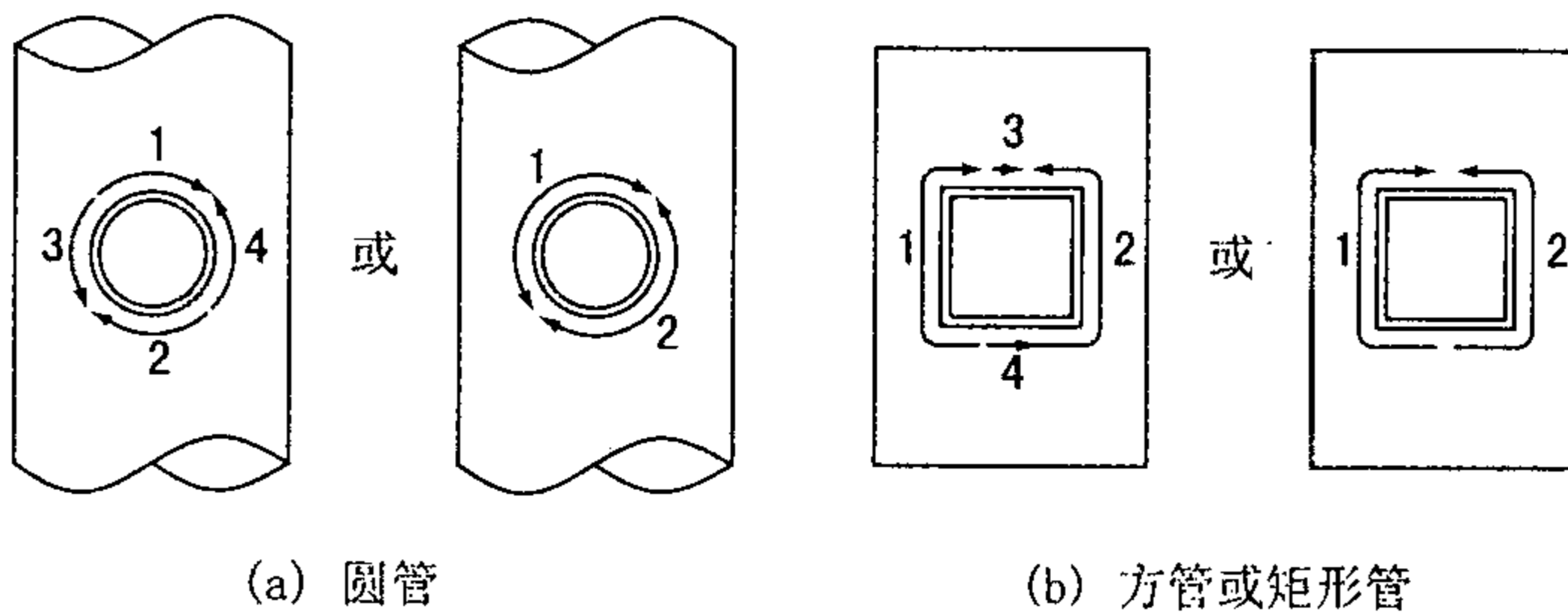


图 8.2.10 管节点施焊顺序

8.2.11 钢管连接部位可采用打磨焊缝、重熔焊趾、喷丸或锤击等措施,改善抗疲劳性能。



## 9 施 工

### 9.1 一 般 规 定

**9.1.1** 钢管结构的施工,除应符合本规程的规定外,尚应遵守现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 和《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

**9.1.2** 钢管结构施工单位应具有相应的钢结构工程施工资质。钢结构施工单位或由其委托的设计单位应根据已批准的设计文件编制施工详图。

施工详图应规定空间管件的坐标位置和定位方法;对于要起拱的构件应依据起拱后的空间位置编制节点相贯线切割输入数据;施工详图应规定相互搭接支管的焊接顺序和隐蔽焊缝的焊接方法,隐蔽处可以不焊的部位应在节点图上标明。

**9.1.3** 钢管结构制作前,应根据设计文件、施工详图的要求以及制作厂的条件,编制制作工艺。制作工艺书应作为技术文件经发包单位代表及监理审核。

**9.1.4** 对大型复杂的钢管结构,应根据业主或设计的要求,进行制作工艺、安装方法和结点性能的试验,试验项目及内容应在设计文件上说明。对施工单位提出的新加工工艺和安装方法,经相应部门组织鉴定并备案后方可采用。

**9.1.5** 钢管结构采用的钢材、焊接材料、连接材料和混凝土材料的性能,应具有质量合格证明书,并应符合本规程第 3 章的规定和设计文件的要求。

### 9.2 放 样 和 号 料

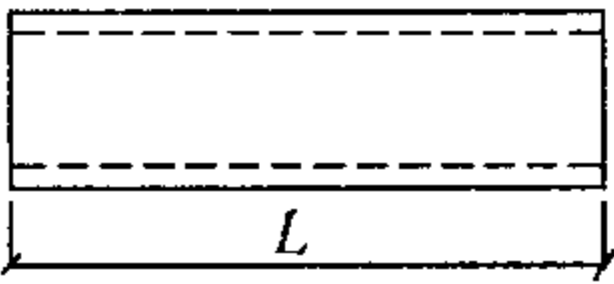
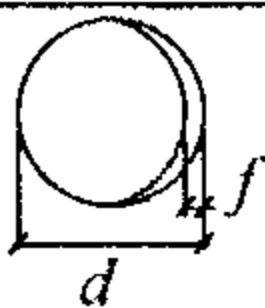
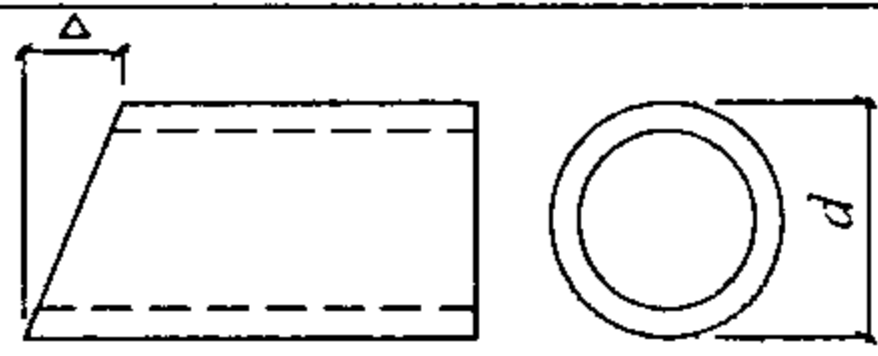
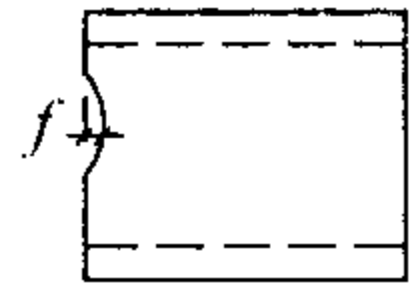
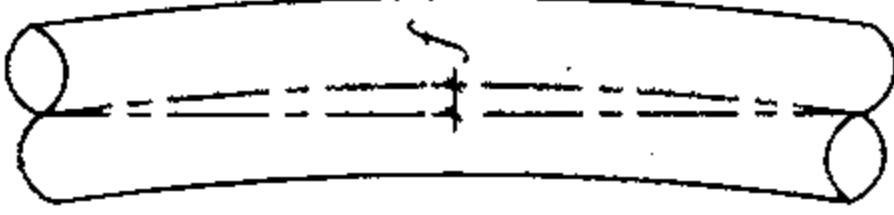
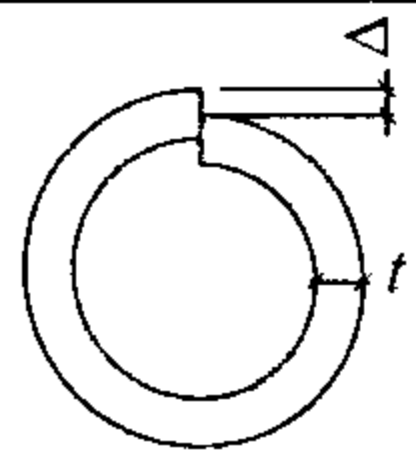
**9.2.1** 钢管结构需要放样的构件应根据批准的施工详图进行放

样。放样和号料应预留焊接收缩量及切割、铣端等加工余量。高层钢框架柱尚应预留弹性压缩量。

### 9.3 加工

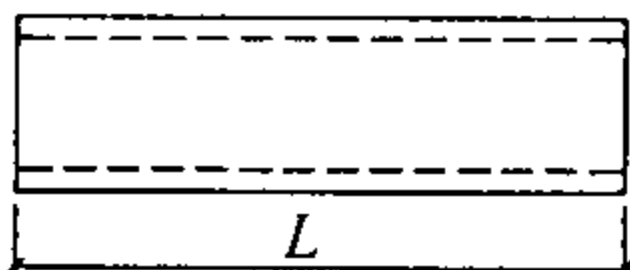
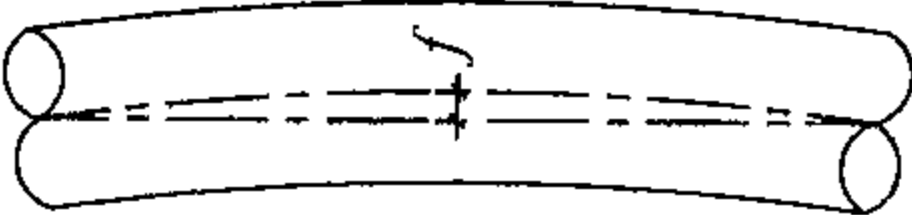
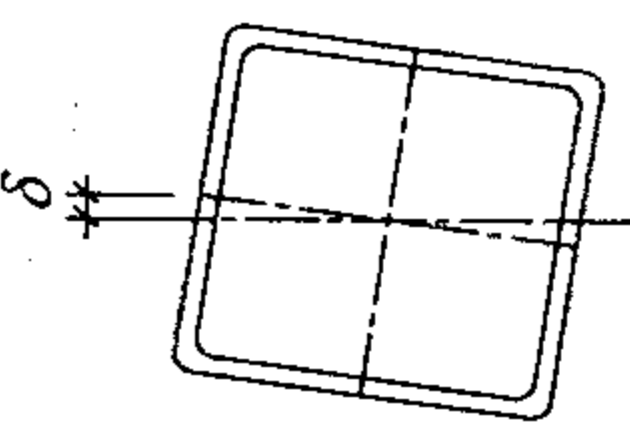
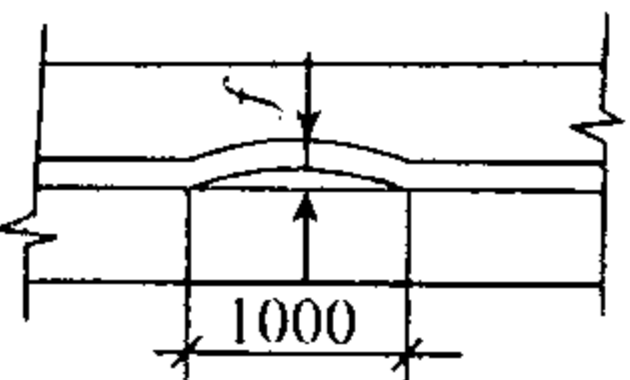
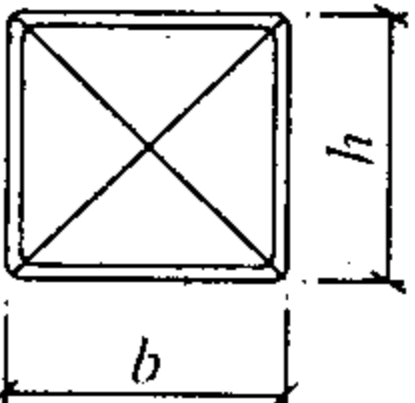
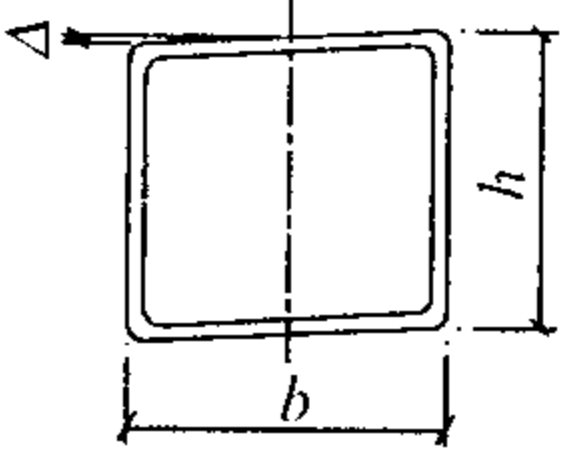
9.3.1 钢管成型的方法应符合设计文件要求,圆钢管和矩形钢管构件加工的允许偏差应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定采用,尚应分别符合表 9.3.1-1 和表 9.3.1-2 的规定。

表 9.3.1-1 圆钢管构件加工的允许偏差

项目	允许偏差(mm)	检查方法	图例
直径	$\pm d/500$ ,且不应大于 3.0	用钢尺和卡尺检查	
构件(管段)长度	$\pm 3.0$	用钢尺和百分表检查	
椭圆度	$f \leq \frac{d}{500}$ ,且不应大于 3.0	用卡尺和游标卡尺检查	
相贯线切口	$\pm 2.0$	用套模和游标卡尺检查	
管端面对管轴线的垂直度	$\Delta \leq \frac{d}{500}$ ,且不应大于 3.0	用角尺、塞尺和百分表检查	
管端面局部不平度	$f < 1.0$	用游标卡尺检查	
弯曲矢高	$L/1500$ ,且不应大于 5.0	用拉线、直角尺和钢尺检查	
对口错边	$t/10$ ,且不应大于 3.0, t 为钢管壁厚	用套模和游标卡尺检查	

9.3.2 钢材切割面应无裂纹、夹渣和分层,切割位置准确、切口整齐,钢管接口相贯线的加工宜采用数控相贯线切割机。切割后应清除毛刺、熔渣和飞溅物。需边缘加工的管件,应采用精密切割代替机械加工。

表 9.3.1-2 矩形钢管构件加工的允许偏差

项目	允许偏差(mm)		检查方法	图例
长度 $L$	$\pm 3.0$		用钢尺检查	
弯曲	$\leq 1/1500$ , 且 $\leq 5.0$		用拉线和钢尺检查	
扭曲 $\delta$	$h(b)/250$ , 且 $\leq 5.0$			
板局部平面度(1m范围内)	$t < 14, 3.0$		用1m直尺和塞尺检查	
	$t \geq 14, 2.0$			
相贯线切口	$\pm 2.0$		用套模和游标卡尺检查	
高度 $h$	$\pm 2.0$		用钢尺检查	
宽度 $b$	$\pm 2.0$			
对角线偏差	3.0			
翼缘板倾斜度	$h(b) \leq 400$	1.5	用直尺、角尺和钢尺检查	
	$h(b) > 400$	3.0		

续表 9.3.1-2

项目	允许偏差(mm)	检查方法	图例
端面对轴线的垂直度	$\Delta/h \leq 500$ , 且不应大于 3.0	用直尺、角尺和钢尺检查	
端面局部不平度	$f < 1.0$	用游标卡尺检查	
板面局部变形	$\delta \leq 0.01b$	用直尺和钢尺检查	

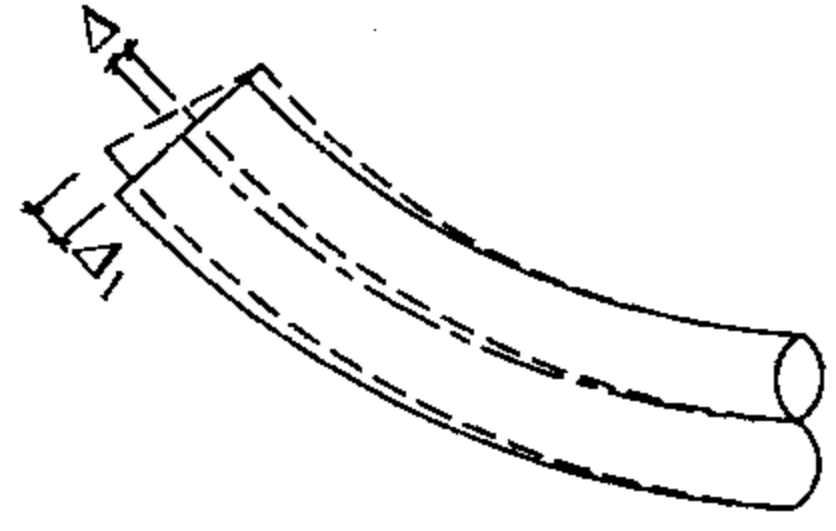
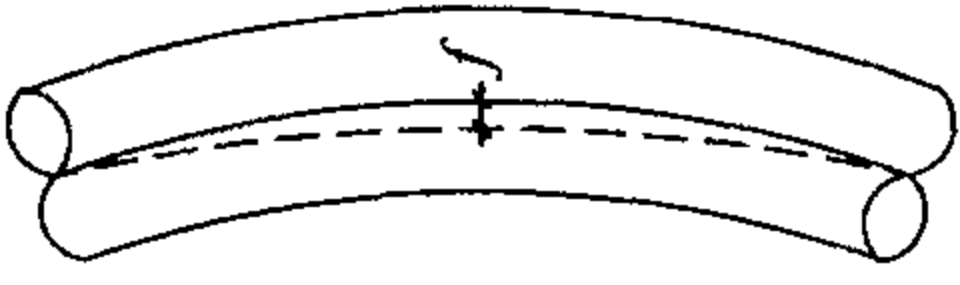
9.3.3 对钢材原材料变形、加工和焊接引起的变形,应分析其影响因素,选用合适的冷弯矫正或热加工方法。矫正质量和允许偏差应按现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 执行。

9.3.4 钢管的弯曲加工方法应依据设计要求和设备条件决定。弯管的加工应在直管验收合格后进行,钢管的纵向焊缝宜避开受拉边。弯曲成形后的构件表面不应有明显皱褶,且凹凸深度不应大于 1mm。弯曲部位不应发生裂纹、过烧、分层等缺陷。弯管构件的外形尺寸允许偏差应符合表 9.3.4 的规定。

表 9.3.4 弯管构件的外形尺寸允许偏差

偏差项目	允许偏差(mm)	检查方法	图例
直径	$d/500$ , 不大于 3	用直尺或卡尺检查	
椭圆度	端部 $f \leq \frac{d}{500}$ , 不大于 3	用直尺或卡尺检查	
	其他部位 $f \leq \frac{d}{500}$ , 不大于 6		

续表 9.3.4

偏差项目	允许偏差(mm)	检查方法	图例
管端部中心点偏移 $\Delta$	$\Delta$ 不大于 5	依实样或坐标经纬、直尺、铅锤检查	
管口垂直度 $\Delta_1$	$\Delta_1$ 不大于 5	依实样或坐标经纬、直尺、铅锤检查	
弯管中心线矢高	$f \pm 10$	依实样或坐标经纬、直尺、铅锤检查	
弯管平面度(扭曲、平面外弯曲)	不大于 10	置平台上, 水准仪检查	

## 9.4 组 装

### 9.4.1 钢管构件组装应符合下列规定:

1 组装应按制作工艺规定的顺序进行。对支管相互搭接的节点应严格执行组装顺序;

2 对矩形钢管构件组装焊接时,应避免在钢管角部进行定位焊;

3 组装焊接构件时,构件的几何尺寸应依据焊缝收缩等变形情况,预放收缩余量;对要求起拱的构件,必须在组装前按规定设置起拱;

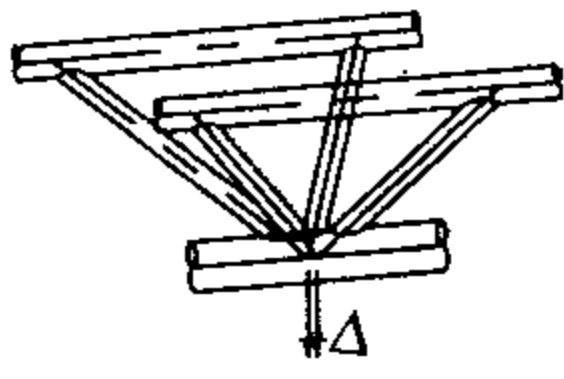
4 组装前应对零部件进行严格检查,制作必要的工装,填写实测记录。

9.4.2 钢管构件组装和预拼装的质量要求,应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 中管构件、梁及桁架等预拼装允许误差和检验方法的规定。钢管桁架和构架现场拼装外形尺寸的允许偏差应符合表 9.4.2 的规定。

表 9.4.2 桁架和构架组装(现场拼接)外形尺寸的允许偏差(mm)

偏差项目	允许偏差	检查方法	图例
上下弦杆两端轴心线高度 $H$ (桁架高度)	$\pm 2.0$	用钢尺检查	
节间长度 $L$	$\pm 2.0$	用钢尺检查	
旁弯 $f$	$\leq S/5000$ ( $S$ 为试拼接段长度)	用钢尺检查	
挠度( $f$ 为设计要求起拱值)	设计要求起拱时, $\pm 1/5000$	用钢尺检查	
	设计不要求起拱时, (+10,0)	用钢尺检查	
桁架宽度 $b$	$\pm 2.0$	用钢尺检查	
主桁架中心矩 $B$	$\pm 3.0$	用钢尺检查	
拼装单元长度 $S$	$S \leq 24\text{m}$ , (+3.0, -7.0) $S > 24\text{m}$ , (+5.0, -10.0)	用钢尺检查	
主管肢组合误差	$\frac{\delta_1}{b} \leq \frac{1}{1000}$	用钢尺检查	
	$\frac{\delta_2}{b} \leq \frac{1}{1000}$ 且均不大于 $\pm 3.0$		
支管组合误差 (或节间支管长度)	$\frac{\delta_3}{l_1} \leq \frac{1}{1000}$	用钢尺检查	
	$\frac{\delta_4}{l_2} \leq \frac{1}{1000}$ 且均不大于 $\pm 3.0$		
节点偏心	$-0.55 \leq \frac{e}{h}$ (或 $\frac{e}{d} \leq 0.25$ )	用钢尺检查	

续表 9.4.2

偏差项目	允许偏差(mm)	检查方法	图例
支管与主管平面内交角 $\theta_1, \theta_2$	$\pm 5'$	用钢尺或卡尺检查	
空间节点支管横向角 $\Phi$	$\pm 10'$	根据实测主管间距 $b_1, b_2, h_1, h_2$ , 计算横向角	
空间节点中, 各平面节点支管轴线交点在主管轴向的间距	$\pm 3.0$	用拉线和钢尺检查	
桁架节段面扭转偏差 $\Delta$	$\Delta \leq 1.0/m$ , 且不应大于 5	用钢尺检查	

## 9.5 焊 接

**9.5.1** 从事钢管结构焊接的焊工, 应按现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的规定经考试并取得合格证后, 方可进行操作。

**9.5.2** 施焊前, 应由焊接技术责任人根据焊接工艺评定结果编制工艺文件, 向操作人员进行技术交底, 并及时处理施工过程中的焊接技术问题。

**9.5.3** 焊工应严格按照批准的焊接工艺文件中规定的焊接方法、工艺参数、施焊顺序等进行焊接。

**9.5.4** 焊接材料与母材的匹配应符合设计要求及国家现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 和本规程第 3 章的规定。焊接材料在使用前, 应按其产品说明书及焊接工艺文件的规定进行存放和烘焙。

**9.5.5** 钢管结构相贯接头节点区分区采用全焊透焊缝和部分焊透焊缝, 其坡口的形状和尺寸应符合现行行业标准《建筑钢结构焊

接技术规程》JGJ 81 的规定和设计要求。

**9.5.6** 施焊时应采取工艺措施控制焊接变形,减小焊接残余应力。采用加热矫正钢管构件时,应控制钢管截面的变形,对高强度钢管应严格控制其加热温度和冷却速度。

**9.5.7** 钢管对接焊缝或沿截面围焊焊缝,壁厚不大于 6mm 时,可用 I 形坡口全周长加垫板单面全焊透焊缝;在壁厚大于 6mm 时,可用 V 形坡口全周长加垫板单面全焊透焊缝。焊接时不得在同一位置起弧灭弧,而应盖过起弧处一段距离后方能灭弧。不得在母材非焊接部位和焊缝端部起弧灭弧。

**9.5.8** 矩形钢管端头角部或沿矩形钢管角部进行焊接时,应先对该部位打磨,用放大镜或磁粉探伤检查,确认无表面裂缝后方可进行焊接。

**9.5.9** 钢管构件的焊接质量应符合设计要求及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 及现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的规定。

## 9.6 加工验收

**9.6.1** 钢管构件加工完毕后,应按施工详图的要求,对成品进行检查验收。成品的外形和几何尺寸的偏差应符合设计要求及本规程和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

**9.6.2** 钢管构件出厂时,制作单位应提交产品质量证明及下列技术资料:

- 1 钢管结构施工详图;
- 2 制作中对问题处理的协议文件;
- 3 钢材和其他辅助材料的质量证明书及复验报告;
- 4 高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数试验报告;
- 5 焊缝无损检验记录;
- 6 构件发运清单。



## 9.7 运输及安装

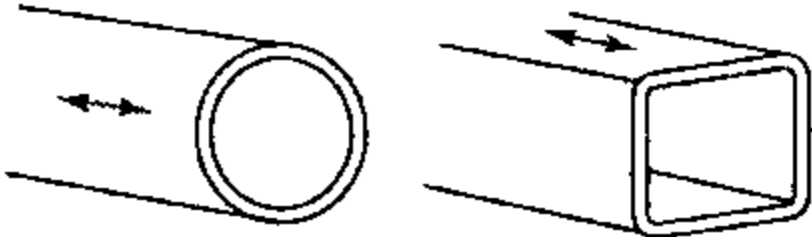
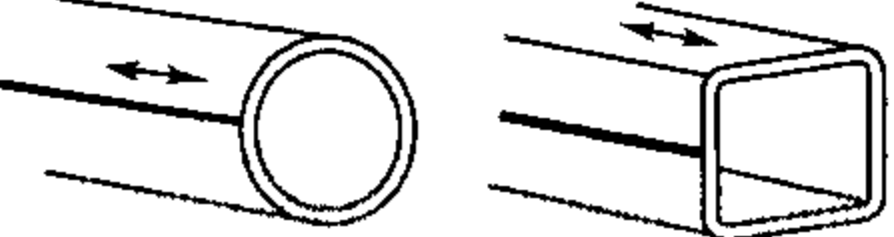
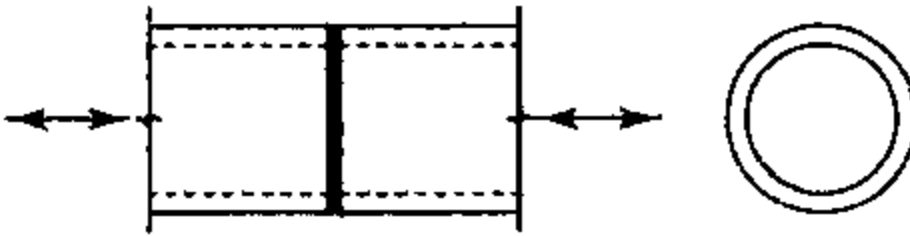
- 9.7.1 在没有可靠依据和经验的情况下,钢管结构在吊装过程中应进行施工验算,必要时应采取加固措施。
- 9.7.2 钢管结构在运输、吊装之前,应将管口包封,防止雨水和异物落入管内。暴露于室外的钢管结构应在吊装完毕后使杆件彻底密封或在水可能聚集的地方布置排水孔。
- 9.7.3 钢管结构吊装就位后应立即进行校正,并采取可靠措施保证其稳定性。
- 9.7.4 钢管结构的安装质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

## 9.8 钢管节点区混凝土施工

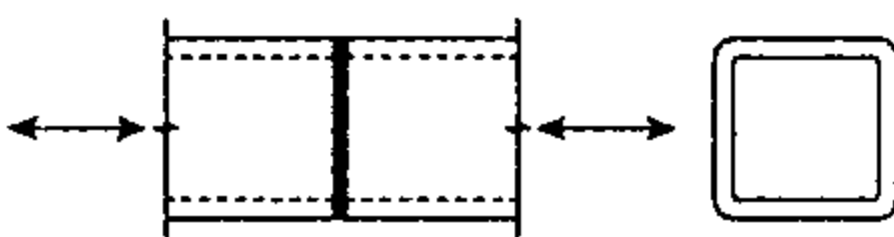
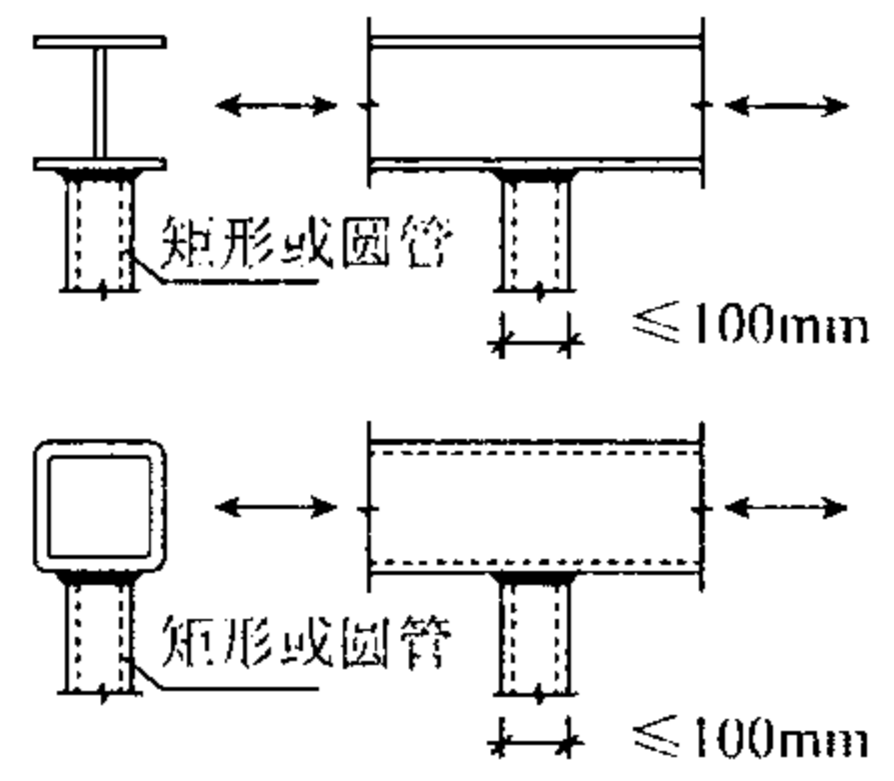
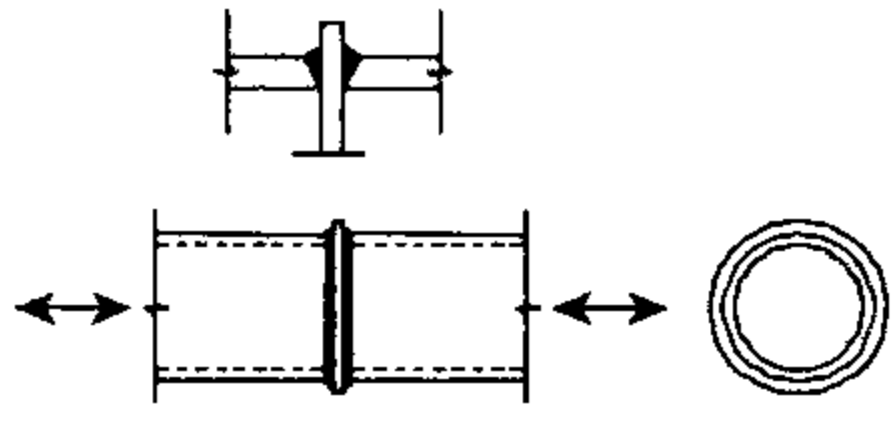
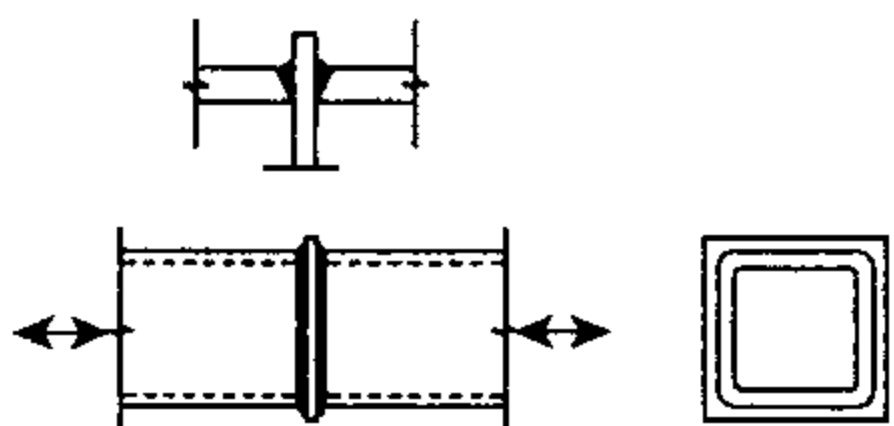
- 9.8.1 加强型钢管节点内的混凝土浇筑之前,应将管内异物、积水清除。
- 9.8.2 钢管节点内的混凝土浇筑可采用导管浇筑法或手工浇筑法。施工前应根据设计要求进行混凝土配合比设计和必要的浇筑工艺试验,并制定浇筑工艺和各项技术措施。
- 9.8.3 钢管节点内的混凝土宜采用无收缩混凝土,应连续浇筑并采取有效措施振捣密实。
- 9.8.4 浇筑混凝土时在钢管上开的进料孔宜开圆孔,进料孔直径宜小于钢管直径或边长的二分之一。开孔位置宜在钢管上部,孔边与节点焊缝之间的净距应不小于 300mm。混凝土初凝后应将进料孔焊接封固。

# 附录 A 疲劳计算的构件和连接分类

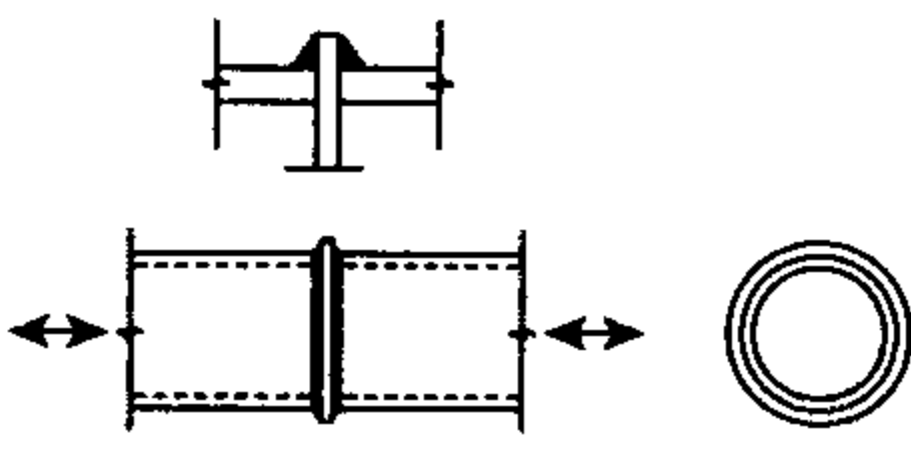
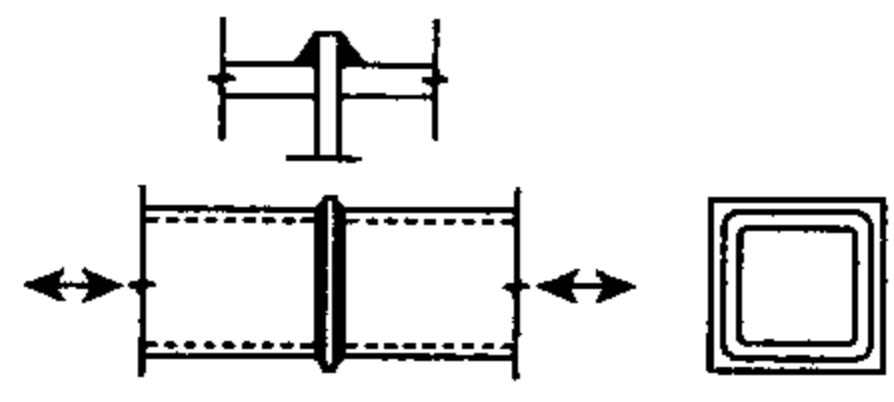
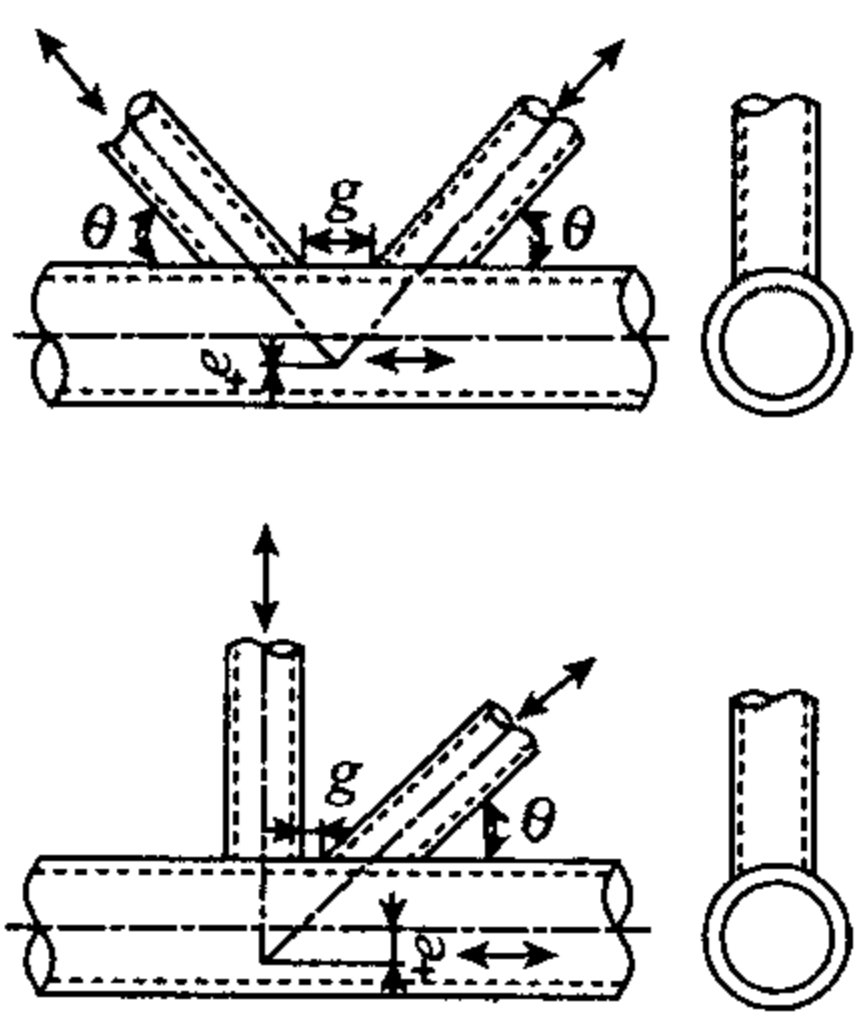
表 A 构件和连接分类

项次	构造细节	说明	m	$\Delta\sigma_2 \times 10^6$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
1		无缝钢管的主体金属, 两端为轧制或刨边	3	160	118	65
2		钢管轴向自动焊接的主体金属: (1) 壁厚 $t \leq 12.5\text{mm}$ , 无焊接起弧、灭弧点	3	140	103	57
		(2) 壁厚 $t > 12.5\text{mm}$ , 无焊接起弧、灭弧点	3	125	92	51
		(3) 壁厚 $t > 12.5\text{mm}$ , 有焊接起弧、灭弧点	3	90	66	36
3		圆管端部对接焊缝附近的主体金属, 焊缝平滑过渡并符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205的一级焊缝标准, 余高不大于焊缝宽度的10%。				
		(1) 计算部位 壁厚 $t \leq 8\text{mm}$	3	71	52	29
		(2) 计算部位 壁厚 $8\text{mm} < t \leq 12.5\text{mm}$	3	90	66	36

续表 A

项次	构造细节	说明	m	$\Delta\sigma_2 \times 10^6$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
4		矩形管端部对接焊缝附近的主体金属, 焊缝平滑过渡并符合一级焊缝标准, 余高不大于焊缝宽度的10%。 (1) 计算部位壁厚 $t \leq 8\text{mm}$	3	56	41	23
		(2) 计算部位壁厚 $8\text{mm} < t \leq 12.5\text{mm}$	3	71	52	29
5		矩形管(或圆管)用角焊缝焊于其他构件上, 角焊缝附近的主体金属, 非承载焊缝的外观质量标准符合二级, 矩形管(或圆管)的宽度(或直径)不大于100mm	3	71	52	29
6		圆管端部通过端板用对接焊缝连接, 焊缝附近的圆管主体金属, 焊缝符合一级质量标准。 (1) 计算部位壁厚 $t \leq 8\text{mm}$	3	50	37	20
		(2) 计算部位壁厚 $8\text{mm} < t \leq 12.5\text{mm}$	3	56	41	23
7		矩形管端部通过端板用对接焊缝连接, 焊缝附近的矩形管主体金属, 焊缝符合一级质量标准。 (1) 计算部位壁厚 $t \leq 8\text{mm}$	3	45	33	19
		(2) 计算部位壁厚 $8\text{mm} < t \leq 12.5\text{mm}$	3	50	37	20

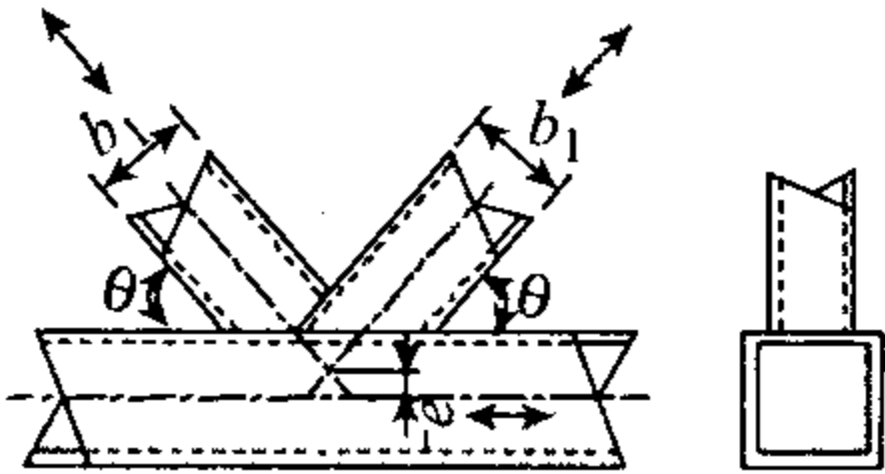
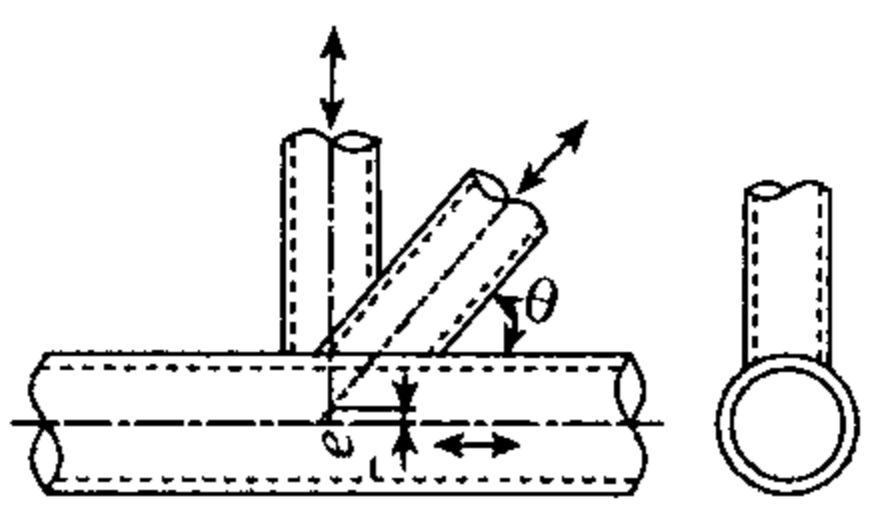
续表 A

项次	构造细节	说明	m	$\Delta\sigma_2 \times 10^6$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
8		<p>圆管端部通过端板用角焊缝连接,焊缝附近的圆管主体金属,焊缝外观质量标准符合二级,管壁厚度 <math>t \leq 8\text{mm}</math></p>	3	40	29	16
9		<p>矩形管端部通过端板用角焊缝连接,焊缝附近的矩形管主体金属,焊缝外观质量标准符合二级,管壁厚度 <math>t \leq 8\text{mm}</math></p>	3	36	26	14
10		<p>K 和 N 形圆管间隙焊接节点,节点焊缝附近支管和主管的主体金属  <math>t \leq 8\text{mm}</math>,  <math>t_1 \leq 8\text{mm}</math>  <math>t/t_1 \geq 1.0</math>  <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math>  <math>d/t_1 \leq 25</math>  <math>0.25 \leq \beta \leq 1.0</math>  <math>d \leq 300\text{mm}</math>  <math>-0.5d \leq e \leq 0.25d</math>                      平面外偏心不大于 <math>0.02d</math></p>	5	$t/t_1 \geq 2$ 时:90  $t/t_1 = 1$ 时:45  其他 $t/t_1$ 值,采用线性插值	$t/t_1 \geq 2$ 时:75  $t/t_1 = 1$ 时:37  其他 $t/t_1$ 值,按本规程式 8.2.4-2 计算	$t/t_1 \geq 2$ 时:41  $t/t_1 = 1$ 时:21  其他 $t/t_1$ 值,按本规程式 8.2.6-5 计算

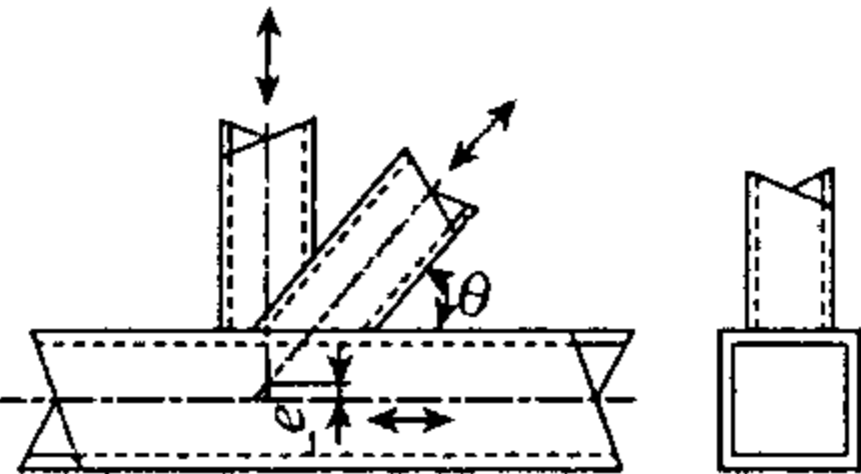
续表 A

项次	构造细节	说明	m	$\Delta\sigma_2 \times 10^6$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
11		<p>K 和 N 形矩形管间隙焊接节点, 节点焊缝附近支管和主管的主体金属</p> <p><math>t \leq 8\text{mm}</math>,  <math>t_i \leq 8\text{mm}</math>  <math>t/t_i \geq 1.0</math>  <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math>  <math>b/t_i \leq 25</math>  <math>0.4 \leq \beta \leq 1.0</math>  <math>b \leq 200\text{mm}</math>  <math>-0.5h \leq e \leq 0.25h</math>  <math>0.5(b-b_i) \leq g \leq 1.1(b-b_i)</math>  <math>g \geq 2t</math> 平面外偏心不大于 <math>0.02b</math></p>	5	<p><math>t/t_i \geq 2</math> 时: 71</p> <p><math>t/t_i = 1</math> 时: 36</p> <p>其他 <math>t/t_i</math> 值, 采用线性插值</p>	<p><math>t/t_i \geq 2</math> 时: 59</p> <p><math>t/t_i = 1</math> 时: 30</p> <p>其他 <math>t/t_i</math> 值, 按本规程式 8.2.4-2 计算</p>	<p><math>t/t_i \geq 2</math> 时: 32</p> <p><math>t/t_i = 1</math> 时: 16</p> <p>其他 <math>t/t_i</math> 值, 按本规程式 8.2.6-5 计算</p>
12		<p>K 形圆管搭接焊接节点, 节点焊缝附近支管和主管的主体金属</p> <p><math>t \leq 8\text{mm}</math>,  <math>t_i \leq 8\text{mm}</math>  <math>t/t_i \geq 1.0</math>  <math>30\% \leq O_v \leq 100\%</math>  <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math>  <math>d/t_i \leq 25</math>  <math>0.25 \leq \beta \leq 1.0</math>  <math>d \leq 300\text{mm}</math>  <math>-0.5d \leq e \leq 0.25d</math>          平面外偏心不大于 <math>0.02d</math></p>	5	<p><math>t/t_i \geq 1.4</math> 时: 71</p> <p><math>t/t_i = 1</math> 时: 56</p> <p>其他 <math>t/t_i</math> 值, 采用线性插值</p>	<p><math>t/t_i \geq 1.4</math> 时: 59</p> <p><math>t/t_i = 1</math> 时: 47</p> <p>其他 <math>t/t_i</math> 值, 按本规程式 8.2.4-2 计算</p>	<p><math>t/t_i \geq 1.4</math> 时: 32</p> <p><math>t/t_i = 1</math> 时: 26</p> <p>其他 <math>t/t_i</math> 值, 按本规程式 8.2.6-5 计算</p>

续表 A

项次	构造细节	说明	m	$\Delta\sigma_2 \times 10^6$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
13		<p>K形矩形管 搭接焊接节点, 节点焊缝附近 支管和主管的 主体金属</p> <p><math>t \leq 8\text{mm}</math>, <math>t_1 \leq 8\text{mm}</math> <math>t/t_1 \geq 1.0</math> <math>30\% \leq O_v \leq 100\%</math> <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math> <math>b/t_1 \leq 25</math> <math>0.4 \leq \beta \leq 1.0</math> <math>b \leq 200\text{mm}</math> <math>-0.5h \leq e \leq 0.25h</math> 平面外偏心不 大于<math>0.02b</math></p>	5	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 71</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 56</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值,采用 线性 插值</p>	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 59</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 47</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值,按本 规程式 8.2.4-2 计算</p>	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 32</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 26</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值,按本 规程式 8.2.6-5 计算</p>
14		<p>N形圆管搭 接焊接节点,节 点焊缝附近支 管和主管的主 体金属</p> <p><math>t \leq 8\text{mm}</math>, <math>t_1 \leq 8\text{mm}</math> <math>t/t_1 \geq 1.0</math> <math>30\% \leq O_v \leq 100\%</math> <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math> <math>b/t_1 \leq 25</math> <math>0.25 \leq \beta \leq 1.0</math> <math>d \leq 200\text{mm}</math> <math>-0.5d \leq e \leq 0.25d</math> 平面外偏心不 大于<math>0.02d</math></p>	5	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 71</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 50</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值,采用 线性 插值</p>	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 59</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 42</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值,按本 规程式 8.2.4-2 计算</p>	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 32</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 23</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值,按本 规程式 8.2.6-5 计算</p>

续表 A

项次	构造细节	说明	m	$\Delta\sigma_2 \times 10^6$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
15		<p>N形矩形管 搭接焊接节点, 节点焊缝附近 支管和主管的 主体金属</p> <p><math>t \leq 8\text{mm}</math>, <math>t_1 \leq 8\text{mm}</math> <math>t/t_1 \geq 1.0</math> <math>30\% \leq O_v \leq 100\%</math> <math>35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ</math> <math>b/t_1 \leq 25</math> <math>0.4 \leq \beta \leq 1.0</math> <math>b \leq 200\text{mm}</math> <math>-0.5h \leq e \leq 0.25h</math> 平面外偏心不 大于<math>0.02b</math></p>	5	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 71</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 50</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值, 采用 线性 插值</p>	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 59</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 42</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值, 按本 规程式 8.2.4-2 计算</p>	<p><math>t/t_1 \geq 1.4</math>时: 32</p> <p><math>t/t_1 = 1</math>时: 23</p> <p>其他 <math>t/t_1</math> 值, 按本 规程式 8.2.6-5 计算</p>

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。



## 引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》 GB 50009  
《混凝土结构设计规范》 GB 50010  
《建筑抗震设计规范》 GB 50011  
《钢结构设计规范》 GB 50017—2003  
《冷弯薄壁型钢结构技术规范》 GB 50018  
《混凝土强度检验评定标准》 GB 50107  
《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204  
《钢结构工程施工质量验收规范》 GB 50205  
《优质碳素结构钢》 GB/T 699  
《碳素结构钢》 GB/T 700  
《钢结构用高强度大六角头螺栓》 GB/T 1228  
《钢结构用高强度大六角螺母》 GB/T 1229  
《钢结构用高强度垫圈》 GB/T 1230  
《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 1231  
《低合金高强度结构钢》 GB/T 1591  
《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》 GB/T 3632  
《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 技术条件》 GB/T  
3633  
《碳钢焊条》 GB/T 5117  
《低合金钢焊条》 GB/T 5118  
《六角头螺栓 C级》 GB/T 5780  
《六角头螺栓》 GB/T 5782  
《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》 GB/T 8110

《熔化焊用钢丝》 GB/T 14957  
《气体保护焊用钢丝》 GB/T 14958  
《建筑结构用钢板》 GB/T 19879  
《建筑钢结构焊接技术规程》 JGJ 81  
《矩形钢管混凝土结构技术规程》 CECS 159 : 2004  
《自密实混凝土应用技术规程》 CECS 203  
《铸钢节点应用技术规程》 CECS 235

中国工程建设协会标准

钢管结构技术规程

CECS 280 : 2010

条文说明

# 目 次

3	材 料 .....	(93)
3.1	钢材 .....	(93)
4	基本设计规定 .....	(96)
4.1	设计原则 .....	(96)
4.2	设计指标 .....	(96)
4.3	结构变形限值 .....	(96)
4.4	构造要求 .....	(97)
5	结构及构件设计 .....	(98)
5.1	一般设计规定 .....	(98)
5.2	构件及结构形式 .....	(98)
5.3	钢管梁及铜管柱设计 .....	(101)
5.4	等截面钢管格构柱设计 .....	(103)
5.5	钢管格构柱缀件设计 .....	(106)
6	节点强度计算 .....	(109)
6.1	一般规定 .....	(109)
6.2	直接焊接圆管节点计算 .....	(109)
6.3	直接焊接矩形管节点计算 .....	(130)
6.4	支管端部压扁的连接节点计算 .....	(132)
6.5	节点板与圆管连接节点计算 .....	(135)
6.6	钢管柱与 H 型钢梁节点计算 .....	(136)
7	节点构造 .....	(139)
7.1	直接焊接节点构造 .....	(139)
7.2	端部压扁节点构造 .....	(140)
7.3	加劲钢管节点构造 .....	(140)

7.4	钢管柱与 H 型钢梁节点构造 .....	(141)
8	疲劳计算 .....	(143)
8.1	一般规定 .....	(143)
8.2	疲劳计算 .....	(145)
9	施 工 .....	(148)
9.1	一般规定 .....	(148)
9.2	放样和号料 .....	(148)
9.3	加工 .....	(149)
9.4	组装 .....	(149)
9.5	焊接 .....	(150)
9.6	加工验收 .....	(150)
9.8	钢管节点区混凝土施工 .....	(150)

## 3 材 料

### 3.1 钢 材

3.1.1 本条规定了钢管结构钢材的选用范围,因目前国内外在钢管节点的试验研究中,其钢材的屈服强度仅限于  $355\text{N/mm}^2$  及其以下,屈强比均不大于 0.8。对于 Q420 和 Q460 级钢材,在钢管节点中试验研究和工程中应用尚少,参照欧洲规范(EN 1993-1-8)第 7 章的规定,可按本规程给出的公式计算节点静力承载力,然后乘以 0.9 的折减系数。对我国的 Q390 级钢,难以找到国外强度级别相对应的钢材,其静力承载力折减系数可参照 Q420、Q460 级钢及相关工程设计经验确定。根据欧洲规范的规定,主管管壁厚度不应超过 25mm,除非采取措施能充分保证钢板厚度方向的性能。当主管壁厚超过 25mm 时,管节点施焊时应采取焊前预热等措施降低焊接残余应力,防止出现层状撕裂,或采用具有厚度方向性能要求的 Z 向钢。

钢管结构中对钢材性能要求是基于最终的成品(钢管及方矩管),而不是基于母材的性能,对冷成型的钢管(如方矩管的弯角处),其性能的变化设计者应予以重视,特别是用于抗震或者直接承受疲劳荷载的管节点,对钢管成品的材料性能应作出规定。

钢管结构中的钢管主要承受轴力,因此成品钢管材料的轴向性能必须得到保证。钢板的性能与轧制方向有关,一般塑性和冲击韧性沿轧制方向的性能指标较高,平行于轧制方向的冲击韧性要比垂直方向高 5%~10%,因此在卷制钢管时,应优先选取卷曲方向与轧制方向垂直,以保证成品钢管轴向的强度、塑性和冲击韧性均能满足设计要求。当卷曲方向与轧制方向相同时,宜附加要求钢板横向冲击韧性的合格保证。

**3.1.2** 根据现行国家标准, Q235 钢分为 A、B、C、D 四个质量等级, Q345 钢分为 A、B、C、D、E 五个质量等级, 钢管结构设计时钢材质量等级的选用可依据国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 3.3.4 条执行。对于需要验算疲劳的焊接管结构钢材, 应至少具有常温冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于  $0^{\circ}\text{C}$ , 但高于  $-20^{\circ}\text{C}$  时, Q235 钢和 Q345 钢应具有  $0^{\circ}\text{C}$  冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于  $-20^{\circ}\text{C}$  时, 对于 Q235 钢和 Q345 钢应具有一  $20^{\circ}\text{C}$  冲击韧性的合格保证。因 Q235A、Q345A 级钢的含碳量不能保证焊接要求, 故焊接钢管结构不宜采用。

关于冷加工效应是指在冷弯成型过程中, 由于冷作硬化使管材强度提高而塑性、延性降低的影响。在设计选材中应综合考虑这些影响因素。同时本条还明确规定在设计文件中应完整的提出所用钢材与连接材料的标准、牌号及性能技术要求, 以作为设计、钢材订货及监理、验收的依据。

钢管按照成型方法不同分为热轧无缝钢管和冷弯焊接钢管, 热轧钢管又分为热挤压和热扩两种, 冷轧圆管则分为冷卷制与冷压制两种; 而冷弯矩形管也有圆变方与直接成方两种。不同的成型方法会对管材产品的性能有不同的影响, 热轧无缝钢管残余应力小, 在轴心受压构件的截面分类中属于 a 类, 但是产品规格少, 其壁厚误差较大; 冷弯焊接钢管品种规格范围广, 价格比无缝钢管低, 但是其残余应力大, 在轴心受压构件的截面分类中属于 b 类。

**3.1.3** 结构用钢管型材的规格和质量应满足以下国家现行标准标准, 《结构用无缝钢管》GB/T 8162、《无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 17395、《结构用冷弯空心型钢尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 6728、《直缝电焊钢管》GB/T 13793、《焊接钢管尺寸及单位长度重量》GB/T 21835、《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178。对热扩管、热完成成型管应符合现行生产企业的标准和设计文件的规定。热轧、热扩无缝钢管、热定径的和经过热

处理的直缝焊接管属于热成型管,不经加热定径的焊接管为冷成型管。按照上述产品标准,钢管壁厚的容许误差一般在 10%到 12.5%之间,这在设计和订货时应引起注意。

热扩管是大直径厚壁无缝管的一种,利用已轧制成型的厚壁无缝钢管加热后再次挤压扩张成型。在扩张过程中,由于温度不均及扩张拉伸速度不同,致使热扩管壁厚的不均匀性增大。按现行国家标准《结构用无缝钢管》GB/T 8162,挤压成型的普通级无缝钢管厚度在 4mm~20mm 时壁厚的偏差为 +15%~-12.5%,厚度在 20mm 以上时为 ±12.5%。而热扩管当外径大于或等于 351mm 时,其壁厚允许偏差可达 ±18%。

对螺旋埋弧焊管本条未予列入,这是因为螺旋管主要用作输送流体及气体管道,承载力由管内压力和环向应力控制,其相应的验收标准以水压试验为依据,这与本规程钢管桁架类结构的受力有明显不同。再者,螺旋管在卷制过程中存在较复杂的残余应力,如卷制过程中的弯曲、扭曲以及因自由边变形充分而递送边强迫变形而产生的残余应力和内外螺旋形焊接产生的残余应力,实测结果表明其分布及大小在焊缝区附近均达到屈服强度左右。另外,带钢对接焊缝与管的螺旋焊缝所形成的 T 形交点存在焊接缺陷的概率较高。对焊接钢管结构而言,尤其是承受反复荷载的结构,特别应注意交叉焊缝的质量,往往是脆性断裂和疲劳破坏的薄弱环节。若将螺旋焊管用于钢管结构,支管和主管间的相贯焊缝必然会出现焊缝相交,对结构的抗疲劳性能是非常不利的。为此,设计者应在规定螺旋焊管的验收条件,并在轴心受压稳定系数取值有实验依据的前提下,才能将螺旋焊管应用于钢管结构。



## 4 基本设计规定

### 4.1 设计原则

4.1.1~4.1.6 设计原则中关于极限状态设计方法、极限状态的分类、建筑结构安全等级的划分、荷载效应的组合原则,均是根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 的规定,并参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 编写的。

### 4.2 设计指标

4.2.1 本条提供的热成型钢管包括热轧成型和热完成成型钢管。热完成成型钢管,是在卷制成型大直径直缝埋弧焊管的基础上,将钢管进行整体热处理,或者是在冷弯焊接成型后采用加热定径方法得到的钢管。热加工可消除焊接残余应力,并使钢材塑性性能得到恢复。因此热完成成型钢管的性能,如钢材力学性能和截面稳定系数分类等,可以等同于热轧无缝钢管。

4.2.2 本条提供的冷成型或由冷弯型钢焊接组成的钢管的钢材强度设计值,取自现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018,该规范只规定了板材厚度  $t \leq 6\text{mm}$  的强度设计值,对于板厚  $t > 6\text{mm}$  的冷成型钢管的钢材强度设计值,可参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定取用,且不考虑冷弯效应对钢材强度提高的影响。

### 4.3 结构变形限值

4.3.2 本条对多、高层钢管框架结构的房屋,在风荷载作用下的层间位移限值,和对多层框架柱顶位移的限值,是依据现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 的规定。

**4.3.3** 本条对高层钢管框架结构的房屋,在地震作用下的层间位移限值,是依据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

#### 4.4 构造要求

**4.4.1** 壁厚大于 25mm 时,一般难以用冷弯成型的方法制造钢管,近年来,国内外已用压制或冷卷的方法生产出壁厚为 50mm~60mm 的钢管。冷成型过程中,特别是管径与壁厚之比较小时,钢材的塑性性能被较大消耗,由此引起钢材性能变化。当设计采用壁厚大于 25mm 及径厚比小于 20 的钢管时,应对成型工艺、成品钢管材性、节点承载力计算及层状撕裂性能进行试验研究,稳妥地扩大厚壁钢管的应用。

**4.4.2** 限值钢管的径厚比或宽厚比是为了防止钢管发生局部屈曲,矩形钢管翼缘及腹板的宽厚比略偏安全地取与轴压箱形截面构件相同。当满足本条要求时,可以不再验算局部稳定。对大直径钢管和大型方距管(箱形截面),当径厚比或宽厚比不满足本条要求时,也可用设置加劲肋的方法提高管壁的局部稳定性,比用增加壁厚的方法可能会经济些。

**4.4.4** 本条是参照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 规定的,仅对受拉构件的容许长细比作了一些调整,将“一般建筑物”明确规定为“无吊车结构和有轻、中级工作制吊车的厂房”,将拉杆、支撑、系杆通称为支撑,并将与此对应的两类厂房结构的容许长细比调整为 350 和 300,较原规定控制严了一些。

## 5 结构及构件设计

### 5.1 一般设计规定

5.1.2 单管梁(或檩条)和单管柱的设计应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 或《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018执行。

5.1.3 由于钢管桁架刚度较大,其非线性作用较弱,故钢管结构宜采用一阶分析方法计算其内力。

5.1.7 钢管桁架构件的计算长度系数,由于立体钢管桁架应用非常普遍,钢管桁架构件的计算长度系数应反映出立体钢管桁架与平面钢管桁架的区别。一般情况下,立体桁架杆件的端部约束比平面桁架强,故在本规程中对立体桁架与平面桁架杆件的计算长度系数的取值稍有区分,以反映其约束强弱的影响。

对于弦杆平面内计算长度系数的取值,考虑到平面桁架与立体桁架对杆件面外约束的差别不大,故均取 0.9。

对于支座斜杆和支座竖杆,由于其受力较大,受周边构件的约束较弱,其计算长度系数取 1.0。

对于立体桁架,弦杆平面外的计算长度取  $0.9l$ ,同时尚应以  $0.9l_1$  按格构式压杆验算其稳定性。

### 5.2 构件及结构形式

5.2.1 钢管桁架按平面和空间布置可形成平面桁架和立体桁架,按外观形状可分为曲线桁架和直线桁架,按边界条件分为端部刚接和端部铰接桁架。

考虑到曲线桁架与桁架拱从受力方面区别较大,在外荷载作用下前者一般不会形成支座水平推力,而后者则有较大的水平推

力,因而后者的稳定性计算更为复杂。

平面桁架和立体桁架的腹杆布置形式多种多样,以后者为例说明。对于三角形截面的立体桁架,腹杆布置以四角锥形式居多,上弦水平面斜腹杆可根据建筑需要决定。矩形和梯形截面的立体桁架中四个面的腹杆布置与平面桁架腹杆的布置形式基本相同,不过有时需要增加一些空间斜向构件,以增强其截面的扭转刚度,这往往与建筑对通透效果的要求相矛盾。桁架示意图 1~图 4。

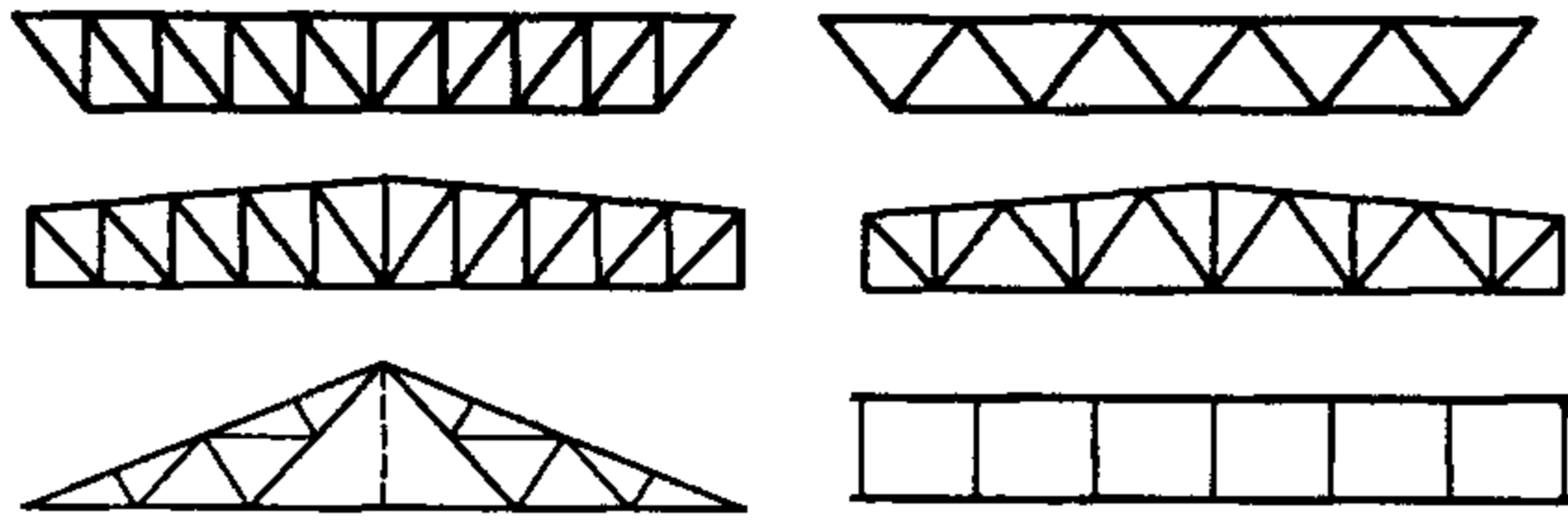


图 1 几种钢管平面桁架

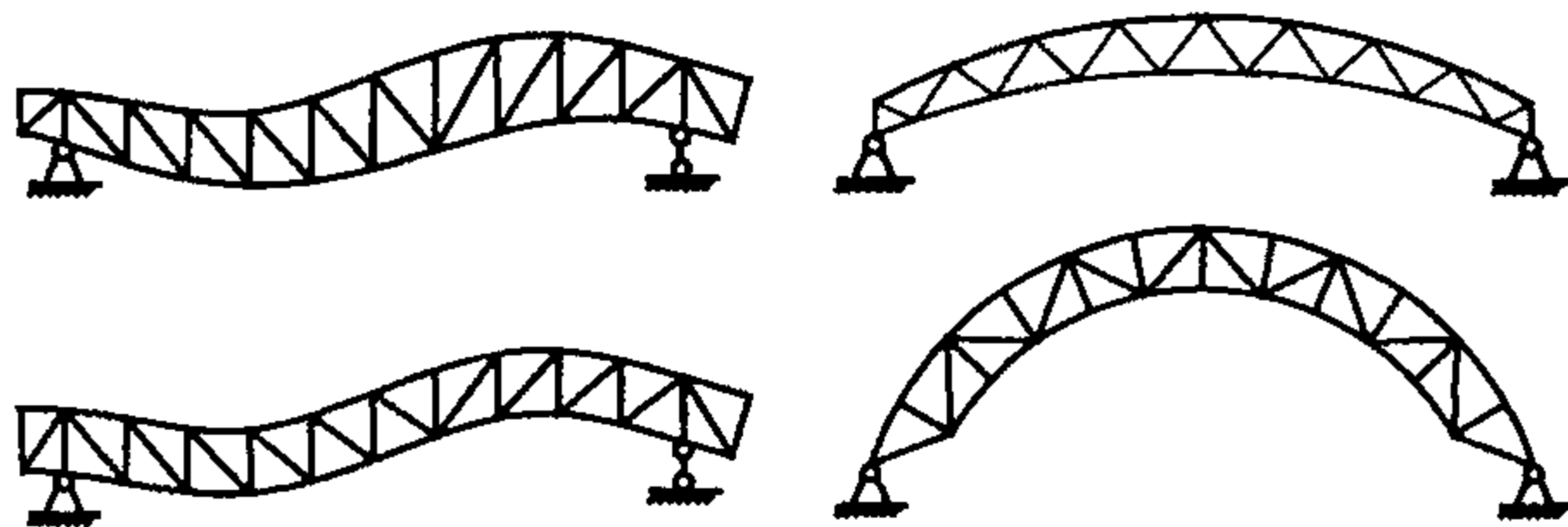
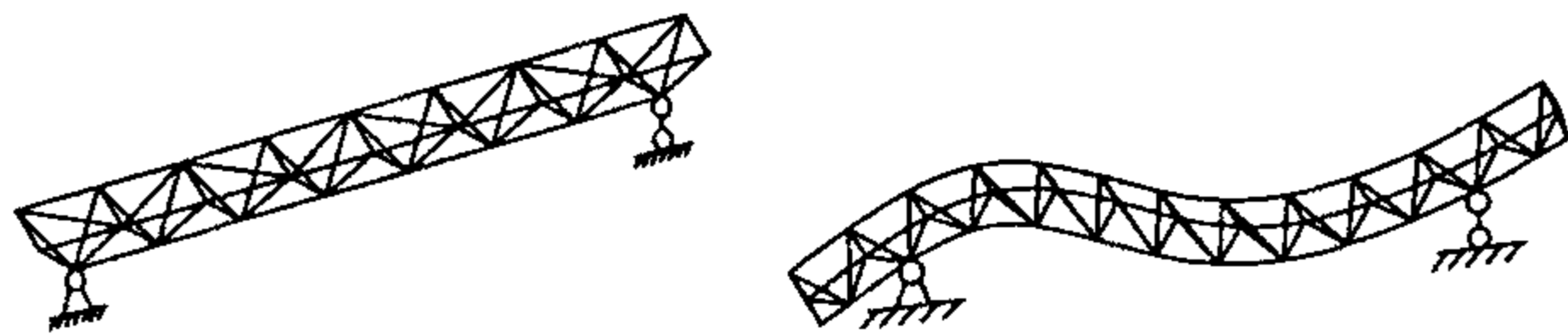


图 2 拱形桁架及曲线桁架



(a) 三角形截面立体直线桁架 (b) 三角形截面立体曲线桁架

图 3 立体桁架示意图

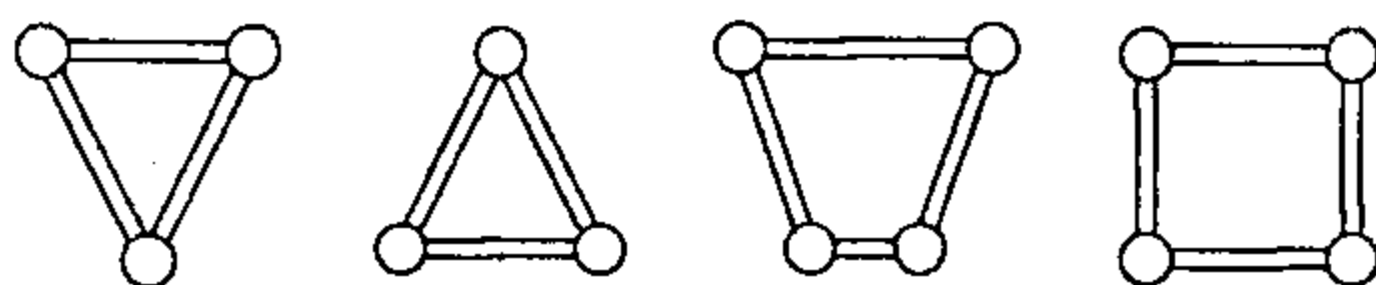


图 4 常用立体桁架截面形式

5.2.2 钢管刚架也分为平面刚架和立体刚架(见图 5),其与基础的连接可分为铰接和刚接。这里特别注意,所谓刚架与基础铰接是指刚架柱整体上与基础铰接,所谓刚接是指刚架柱整体上与基础刚接。前者一般采用销轴支座节点,后者涉及到单根构件的连接情况,实际工程中可选择与基础埋件直接焊接,也可选择铰接,但有时铰接销轴的方向性很难确定。

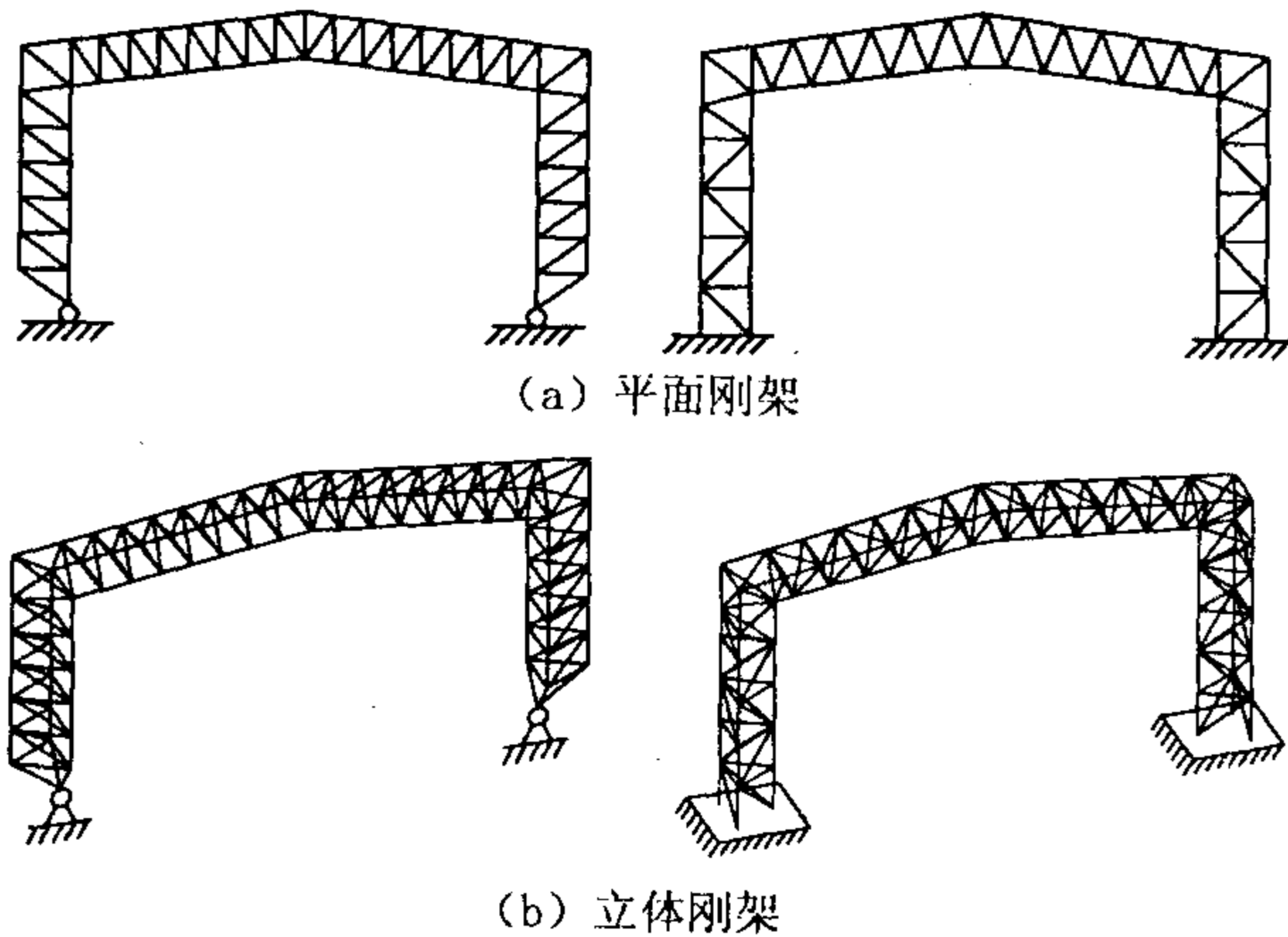


图 5 钢管刚架

5.2.3 棱形钢管柱和锥形钢管柱在空间结构及索膜结构中应用较多。棱形钢管柱一般承担纯轴力,故两端采用铰接支座。锥形柱在柱脚处要承担弯矩,故柱脚刚接。

5.2.4 按分肢多少,钢管格构柱可分为两肢组合合格构柱、三肢组合合格构柱、四肢组合合格构柱、五肢组合合格构柱等;按缀件的截面及连接方式,可分为缀管和缀板格构柱;缀管格构柱按缀件的布置情况分为设置横缀管的钢管格构柱和设置横缀管和斜缀管的钢管格构柱,缀板则分为缀板水平放置和缀板竖放两种。这些缀件及连接形式在工程中有广泛的应用,特别在空间结构中。

不同的缀件截面及连接,决定了格构柱稳定计算及设计方法的差异。

**5.2.5** 多肢梭形柱的形式及连接与等截面钢管格构柱相同,但梭形柱上下端均为铰接。对四肢以上的梭形格构柱,在跨中截面转折处必须设置水平斜缀管,以保证其柱跨中截面的刚度要求。梭形钢管格构柱的设计方法可参见清华大学等单位的研究成果。

### 5.3 钢管梁及钢管柱设计

**5.3.1** 由于圆钢管截面各方向的截面特性相同,因此在进行构件有关受弯的强度、刚度和稳定性计算时,应将几个平面内的弯矩合成最大弯矩,按单向弯曲(或单向压弯、单向拉弯)公式计算。

$$\frac{N}{\varphi A} + \frac{\beta_m M_m}{\gamma W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_E}\right)} \leq f \quad (1)$$

$$M_m = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (2)$$

式中: $\varphi$ ——轴向受压构件稳定系数,确定该系数时,柱构件的计算长度系数取两个框架平面内的最大计算长度,但当仅一个框架平面内有弯矩作用时,柱构件的计算长度应按该平面内的计算长度确定;

$M_m$ ——框架柱最大弯矩,取柱构件段内双向弯矩设计值的最大矢量;

$M_x, M_y$ ——同一截面上绕  $x$  轴、 $y$  轴的弯矩设计值;

$\beta_m$ ——等效弯矩系数,按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017有关规定采用。

**5.3.2** 梭形钢管柱整体稳定性计算及设计方法主要参考清华大学的研究工作,通过对圆钢管梭形柱及方钢管梭形柱的稳定承载力进行大量的数值研究,分析中考虑了初始缺陷的不利影响,提出

了圆钢管及方钢管梭形柱的设计方法。

单管梭形柱整体稳定承载力计算流程图见图 6 和图 7。

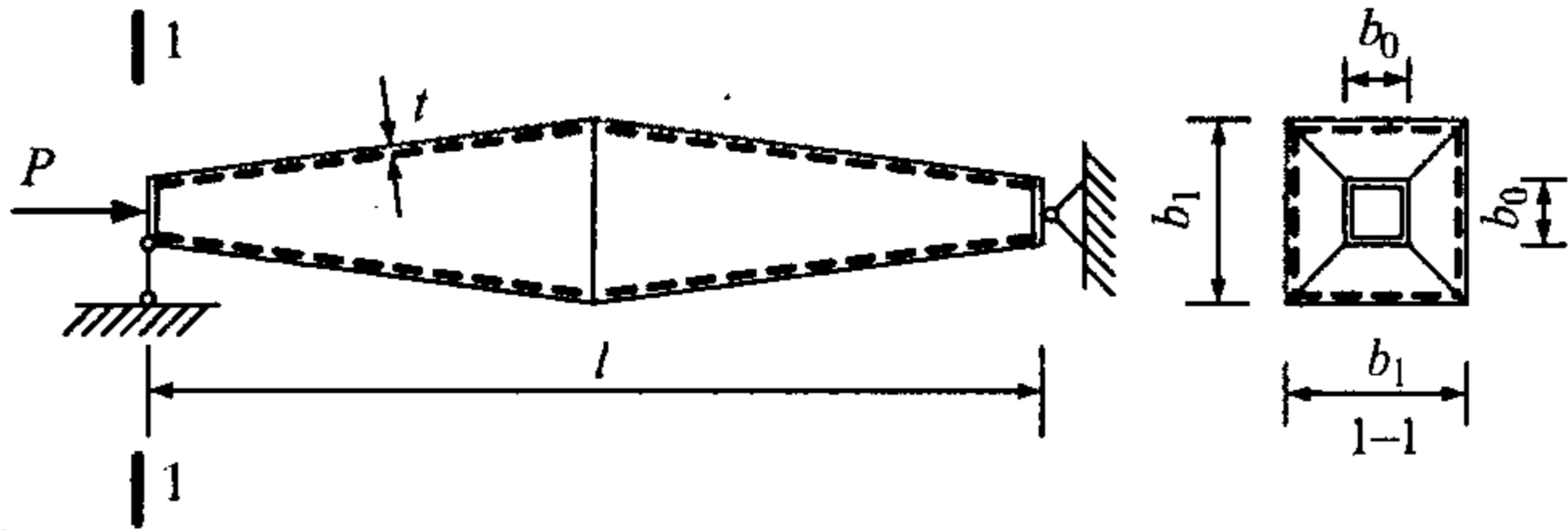


图 6 梭形方钢管柱

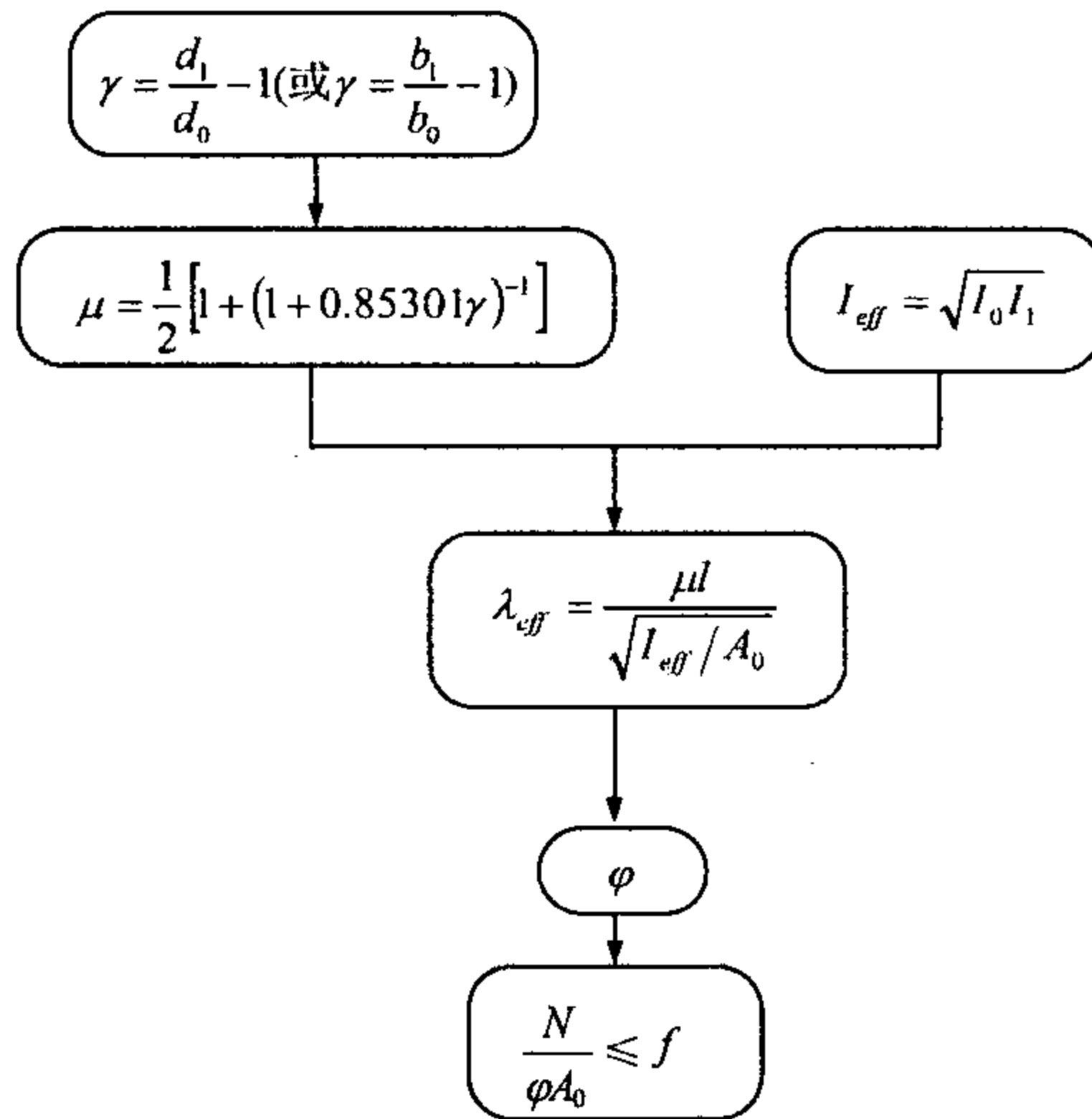


图 7 梭形圆钢管柱及梭形方钢管柱整体稳定验算步骤

大挠度弹塑性有限元承载力分析结果显示(见图 8),按上述计算步骤校核单管梭形柱整体稳定性是安全的。计算结果系固定小头截面尺寸,通过变化大头截面尺寸及柱长实现其楔率的变化,其  $\gamma=0\sim 1.5$ 。

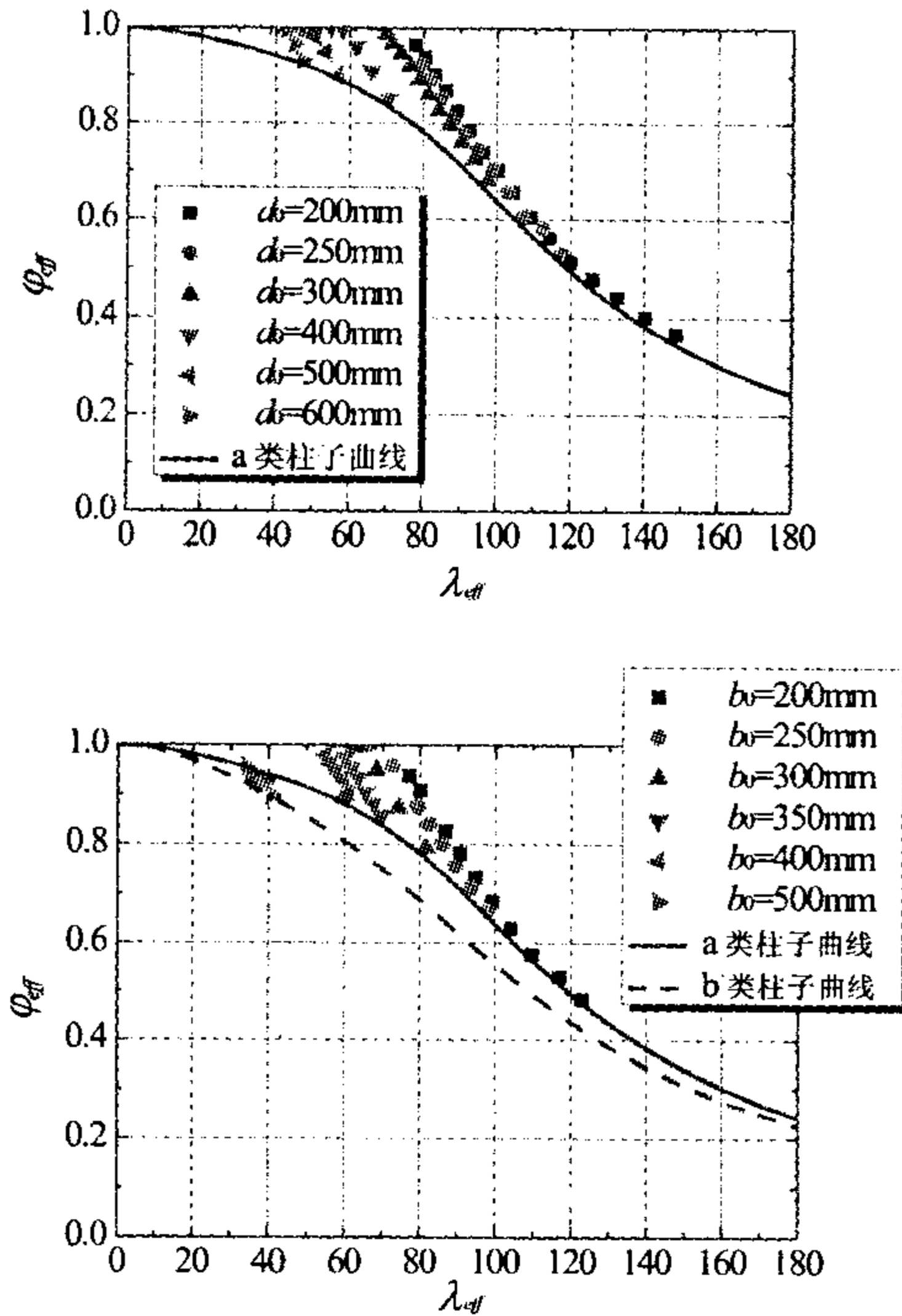


图 8 梭形圆钢管柱及梭形方钢管柱的等效稳定系数

## 5.4 等截面钢管格构柱设计

**5.4.1** 等截面钢管格构柱应进行整体稳定性计算和分肢稳定性计算。整体稳定性计算通过换算长细比按照国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 确定柱子的稳定系数。换算长细比要反映格构柱剪切变形的影响,其通用计算公式如下:

$$\lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \pi^2 EA \gamma_1 \quad (3)$$

以缀件是横缀管的三肢钢管格构柱为例,说明换算长细比的计算方法。假设各分肢中点为反弯点,取两反弯点之间的分段建立计算模型。分肢底部完全铰接,顶端完全自由但平动位移相同(耦合



平动自由度),如图 9 所示。依据上述计算模型,推导或计算在单位水平剪力作用下的剪切角变  $\gamma_1$  及对应的换算长细比,见公式(4)。

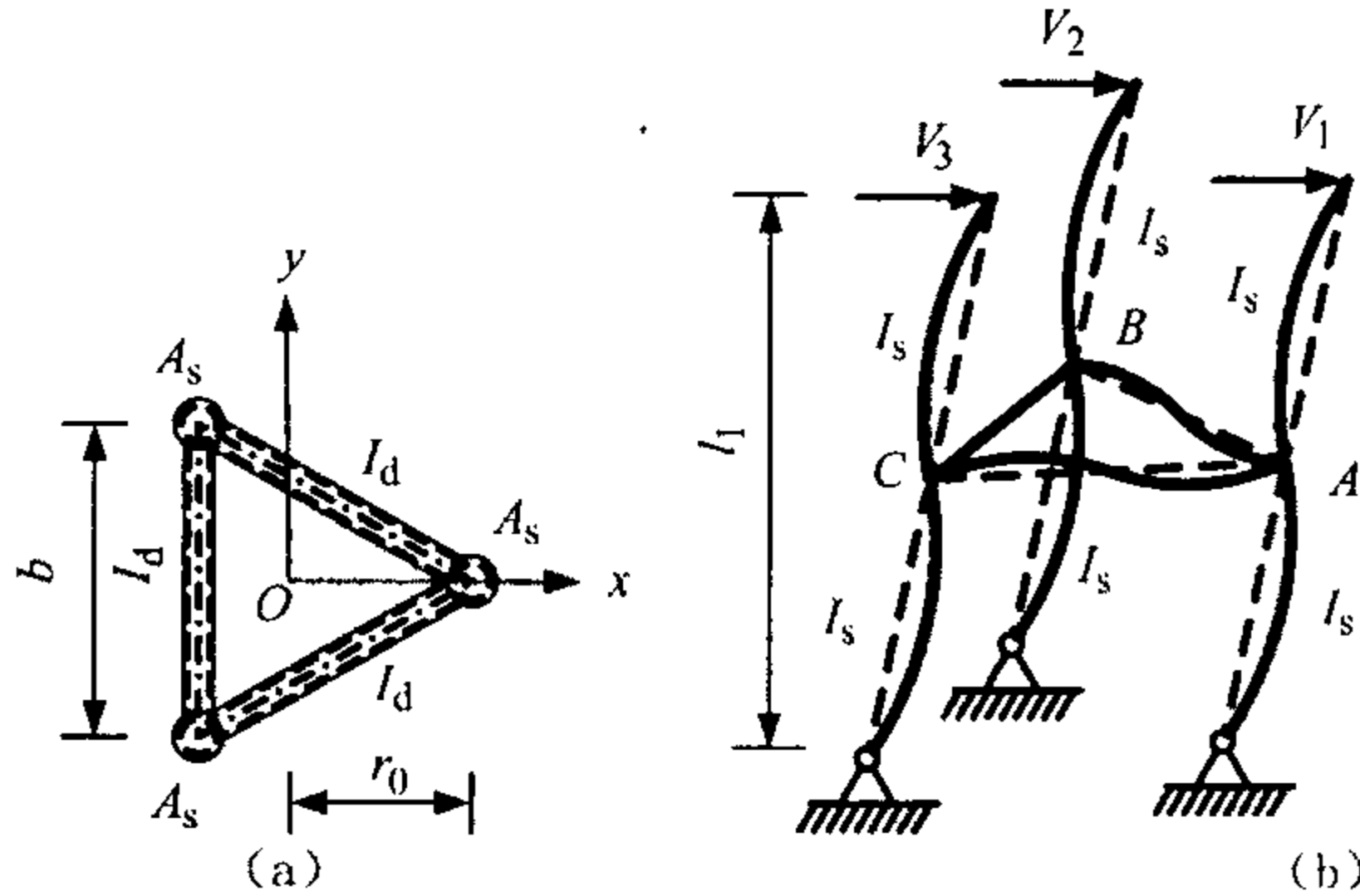


图 9 三肢等截面钢管格构柱剪切角变计算模型

$$\gamma_1 = \frac{\Delta}{l_1} = \frac{l_1 b}{18EI_d} + \frac{5l_1^2}{144EI_s}, \quad \lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{48}\lambda_1^2(5+8\beta) \quad (4)$$

同理,可获得缀件是缀管的四肢至八肢钢管格构柱的剪切角变  $\gamma_1$  及对应的换算长细比:

$$\text{四肢柱: } \gamma_1 = \frac{l_1 b}{24EI_d} + \frac{l_1^2}{48EI_s}, \quad \lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{12}\lambda_1^2(1+2\beta) \quad (5)$$

$$\text{五肢柱: } \gamma_1 = \frac{l_1 b}{30EI_d} + \frac{1.37l_1^2}{75EI_s}, \quad \lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{6}\lambda_1^2(0.33+\beta) \quad (6)$$

$$\text{六肢柱: } \gamma_1 = \frac{l_1 b}{36EI_d} + \frac{5l_1^2}{288EI_s}, \quad \lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{48}\lambda_1^2(5+8\beta) \quad (7)$$

$$\text{七肢柱: } \gamma_1 = \frac{l_1 b}{42EI_d} + \frac{2.43l_1^2}{147EI_s}, \quad \lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{6}\lambda_1^2(0.70+\beta) \quad (8)$$

$$\text{八肢柱: } \gamma_1 = \frac{l_1 b}{48EI_d} + \frac{l_1^2}{64EI_s}, \quad \lambda_m^2 = \lambda_0^2 + \frac{\pi^2}{24}\lambda_1^2(3+4\beta) \quad (9)$$

式中,  $\lambda_1$  为分肢长细比,  $\lambda_1^2 = l_1^2 A_s / I_s$ ,  $A_s$  为钢管格构柱单个分肢截面面积,  $I_s$  为单个分肢的惯性矩;  $\lambda_0$  为钢管格构柱的长细比,  $\lambda_0^2 = l^2 A / I$ ,  $l$  为钢管格构柱柱长,  $A$  为钢管格构柱各分肢截面面积之和,  $\beta$  为格构柱节间分肢与缀管的线刚度比,  $\beta = \frac{EI_s}{l_1} / \frac{EI_d}{b}$ 。

分析结果证明,三肢等截面钢管格构柱沿各个方向的剪切刚度均相同,公式(4)计算结果与有限元分析结果非常吻合。同时,图 10 给出了多肢钢管格构柱有限元数值结果与设计方法的比较,结果说明按照国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 中 b 类截面计算格构柱的稳定系数是合理的。

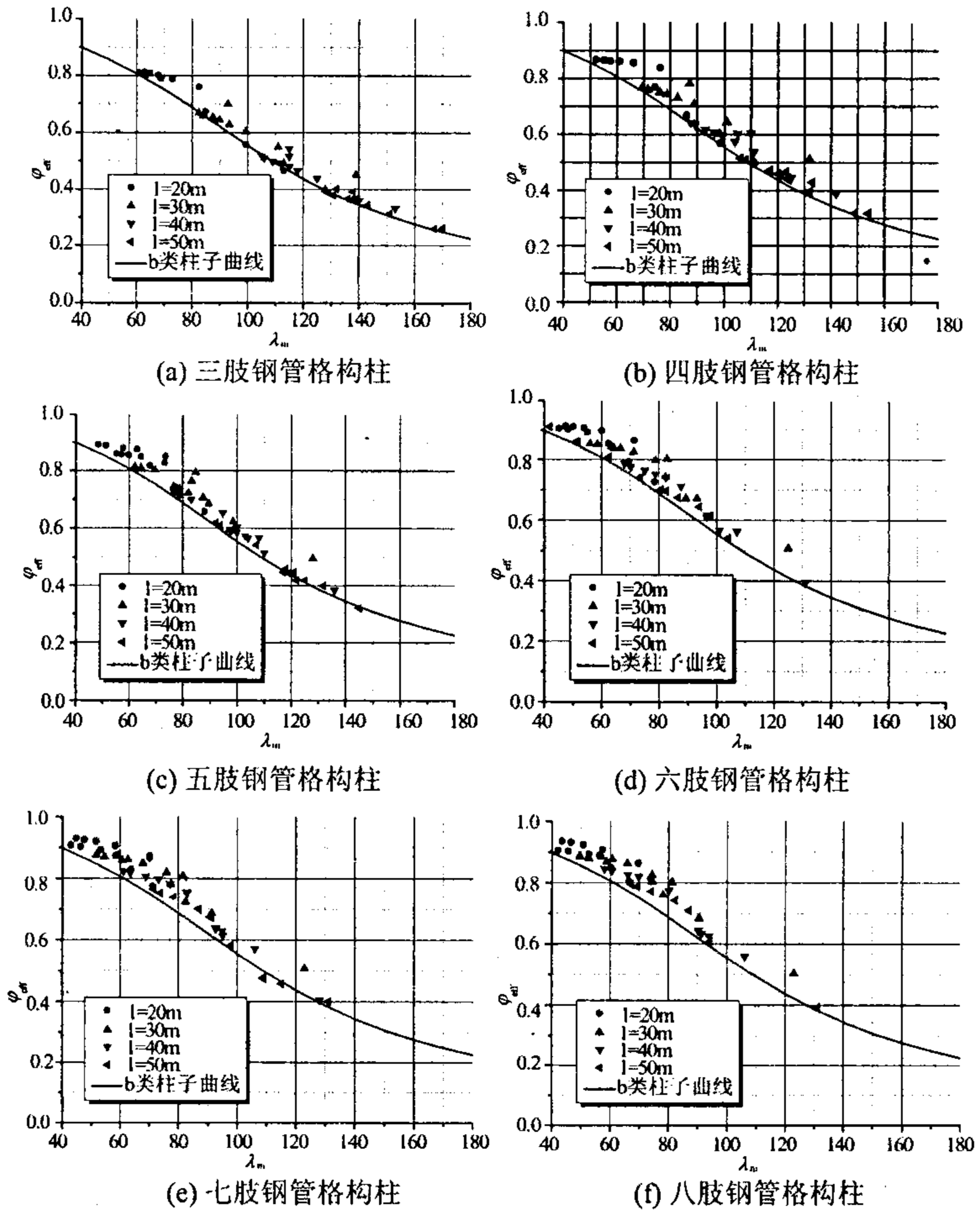


图 10 多肢等截面钢管格构柱换算长细比与等效稳定系数的关系

对于既设置横缀管也设置单斜缀管的两肢和三肢钢管格构柱,则综合剪切角变  $\gamma_z$  按下式确定。

$$\gamma_z = \gamma_2 / (1 + \gamma_2 / \gamma_1) \quad (10)$$

式中,  $\gamma_1$  对应于仅设置横缀管的剪切角变,  $\gamma_2$  对应于仅设置斜缀管的剪切角变。一般情况下,  $\gamma_1$  远远大于  $\gamma_2$ , 故  $\gamma_2 / \gamma_1$  比值接近于零。因此, 对于既设置横缀管也设置单斜缀管的多肢钢管格构柱, 可忽略  $\gamma_1$  的贡献。

对于既设置横缀管也设置单斜缀管的两肢和三肢钢管格构柱, 其换算长细比计算公式参考现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017, 对于缀件和分肢是角钢的格构柱, 按现行国家标准《钢结构设计规范》计算结果对于钢管格构柱是偏于安全的。但是对于既设置横缀管也设置单斜缀管的四肢钢管格构柱, 考虑到构造上缀管与分肢形心相交且采用相贯焊缝, 其刚度较大, 故换算长细比不再放大, 取与两肢钢管格构柱相同的计算公式。

**5.4.2** 通过大量算例的数值分析及研究, 表明当满足下列条件下时, 分肢的局部失稳均不先于钢管格构柱的整体失稳:

(1) 对于设置斜缀管的钢管格构柱, 分肢长细比  $\lambda_1$  不大于格构柱不同方向整体换算长细比最大值  $\lambda_m$  的 0.7 倍时;

(2) 对于仅设置横缀管的钢管格构柱,  $\lambda_1$  不大于 40, 且不大于  $\lambda_m$  的 0.5 倍(当  $\lambda_m < 50$  时, 取  $\lambda_m = 50$ ) 时。

## 5.5 钢管格构柱缀件设计

**5.5.1** 格构柱一般作为轴心受压构件, 柱子失稳后在截面上产生剪力。剪力的分布在柱端最大, 在跨中为零。为了计算方便, 假定其沿柱长均匀分布, 其取值同现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017。多肢格构柱的缀件常采用缀管和缀板, 其缀件的受力分析比较复杂。假定多肢等截面钢管格构柱的剪力由各个缀面承担(缀面由相邻两个分肢及分肢间的缀管组成), 且每个缀面上两分肢所承担的剪力相同; 每个缀面上分配的剪力, 其大小与这些面

(面的长度即为此面上的轴线缀管长度)在剪力作用方向上的投影长度成正比,方向沿缀管轴线的方向。由图 9 和图 11 可分解其内力大小及分布,单位水平剪力作用下每个分肢在其缀面上所承担的剪力为:

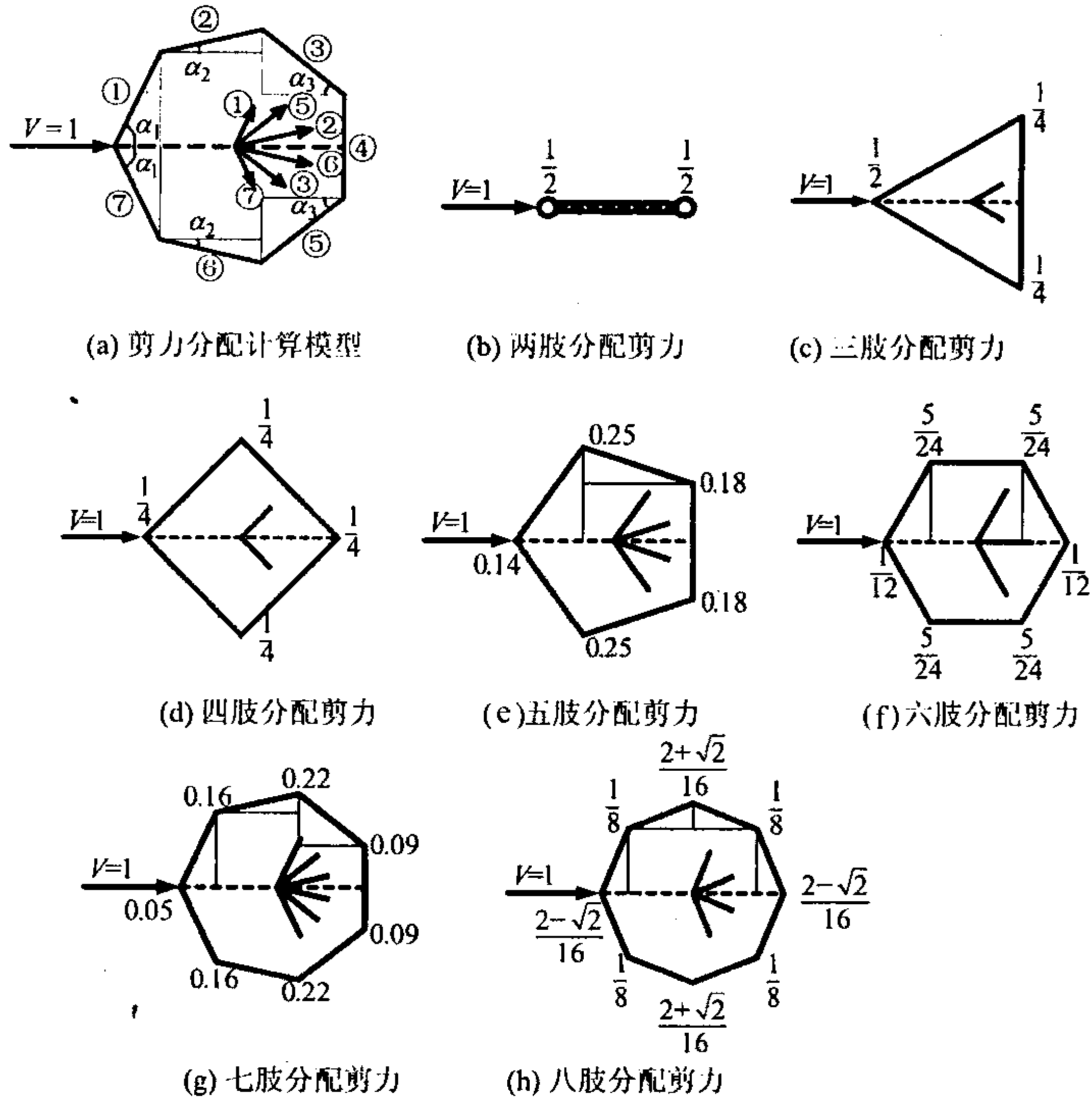


图 11 分肢剪力分担比例计算模型及分担比例大小

$$V_{sk} = \frac{1}{n} \cos \alpha_i \quad (11)$$

每个分肢在水平剪力作用方向上的投影大小按公式(12)计算。

$$V_k = \frac{1}{n} (\cos^2 \alpha_i + \cos^2 \alpha_j) \quad (12)$$

其中,  $n$  为等截面钢管格构柱的分肢数目,  $\alpha_i$  和  $\alpha_j$  分别为分肢

连接的两根横隔缀管与剪力作用方向的夹角。当横缀管与剪力方向垂直时,夹角为  $90^\circ$ ,当横缀管与剪力方向平行时为  $0^\circ$ 。

首先要决定每个分肢所承担的剪力大小,对两肢格构柱和四肢格构柱,每个分肢承担的剪力相同。对三肢钢管格构柱,其三个分肢承担剪力在水平剪力方向上的投影比例为  $0.5 : 0.25 : 0.25$ ,其他依次类推。有了每个分肢的剪力大小,选择与最大剪力的分肢相连接的缀管,取隔离体图计算其内力大小,并依此进行强度验算。研究表明,按照公式(13)计算缀管的端弯矩是合理且偏于安全的。

$$M_d = \frac{Vl_1}{n} \quad (13)$$

## 6 节点强度计算

### 6.1 一般规定

6.1.1 本章规定适用于承受静力荷载和低周反复荷载作用的节点。

6.1.2 铸钢节点应按现行协会标准《铸钢节点应用技术规程》CECS 235 进行计算,螺栓球节点与焊接球节点应按现行行业标准《网壳结构技术规程》JGJ 61 进行计算,法兰式节点应按现行国家标准《高耸结构设计规范》GB 50135 进行计算。

### 6.2 直接焊接圆管节点计算

6.2.2 国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 10.1.3 条规定,热加工管材和冷成型管材不应采用屈服强度  $f_y$  超过  $345\text{N/mm}^2$  以及屈强比  $f_y/f_u > 0.8$  的钢材。国外进口钢管有屈服强度  $f_y$  多为  $355\text{N/mm}^2$  等级者,该等级钢材已经过欧洲、日本等国大量试验,应可应用。但使用其他非 Q235、Q345 等级钢材的钢管时,应有充分依据,才能应用本规程公式。

6.2.3 本条为圆管节点的承载力使用范围和要求:

国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 针对平面 X、Y、T 形和间隙 K 形以及空间 TT 型和 KK 型节点的支管轴心承载力设计值的公式是比较、分析国外有关规范和国内外有关资料的基础上,根据近 300 个各类型管节点的承载力极限值试验数据,通过回归分析归纳得出的承载力极限值经验公式,然后采用校准法换算得到的,其公式计算值与试验结果吻合均较好。本规程中以上类型节点承载力极限值经验公式直接引于国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003。

本规程根据同济大学的研究成果对平面 K 形圆钢管相贯搭接节点的计算公式做修正,还增加了平面 DY、DK 和 KT 型节点极限承载力计算公式,针对平面节点补充了节点冲剪验算。

工程实践表明,搭接焊接的隐藏部位要求焊接难度较大。同济大学与宝冶建设联合于 2004 年以来开展系列实验,目前已进行了 15 个搭接节点试件的对比,包括承受低周反复荷载的节点试件;同年,同济大学与上海建筑设计研究院合作结合上海网球中心工程进行了搭接节点隐藏部位焊接与否的对比试验。这些试验涉及的节点形式为:K 形和 KT 型。K 形圆钢管搭接节点试验的主要参数范围见表 1。

表 1 同济大学平面 K 形圆钢管搭接节点试件几何参数一览表

试件 编号	$\tau$		$\gamma$	$\beta$	$\theta$	$O_v(\%)$	焊脚尺寸
	搭接支管	被搭接支管					
SJ1	0.76	0.84	8.33	0.78	60	36	$1.5t_i$
SJ2	0.85	0.76	8.29	0.78	60	36	$1.5t_i$
SJ3	0.69	0.74	6.09	0.78	60	36	$1.5t_i$
SJ4	0.52	0.54	8.29	0.83	60	40	$1.5t_i$
SJ5	0.53	0.54	8.40	0.83	60	40	$1.5t_i$
SJ6	0.51	0.51	8.37	0.83	60	40	$1.5t_i$
SJ7	0.53	0.52	8.31	0.83	60	40	$1.5t_i$
SJ8	0.45	0.45	7.09	0.83	60	40	$1.5t_i$
SJ9	0.51	0.49	7.83	0.83	60	40	$1.5t_i$
SJ10	0.51	0.51	8.20	0.83	60	40	$1.2t_i$
SJ11	0.61	0.61	9.24	0.83	50	22	$1.5t_i$
SJ12	0.51	0.71	7.72	0.83	60	40	$1.5t_i$

本规程对 K 形圆钢管搭接节点公式的修正采用在国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的 K 形圆钢管间隙节点强度计算公式基础上乘以上搭接影响系数  $\psi_0$  的方法,系数  $\psi_0$  中的取值仍按国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的规定取为零。影响支管搭接节点强度的主要因素为:支管与主管的壁厚比 ( $\tau = \frac{t_i}{t}$ ),支管与主管的管径比 ( $\beta = \frac{d_i}{d}$ )、主管的径厚比 ( $\gamma = \frac{d}{2t}$ ) 和搭接率 ( $O_v = \frac{q}{p}$ )。根据同济大学实施的 12 个节点试验资料、国际管节点数据库的资料以及有限元计算结果,经回归分析得到  $\psi_0$  的表达式。分 4 种情况规定了  $\psi_0$  的取值,即(1)被搭接支管受压且内隐蔽部分焊接(CW);(2)被搭接支管受压且内隐蔽部分不焊接(CN);(3)被搭接支管受拉且内隐蔽部分焊接(TW);(4)被搭接支管受拉且内隐蔽部分不焊接(TN)。

图 12~图 14 为  $\psi_0$ (CW)随各参数变化的情况;图 15~图 17 为  $\psi_0$ (CN)随各参数变化的情况,图中横坐标  $g$  为两支管间相对距离,当为间隙节点时  $g$  取为两支管间的间隙值  $a$ ,此时  $\psi_0$  取为 1.0;节点为搭接节点时  $g$  取为节点中的搭接值  $-q$ 。

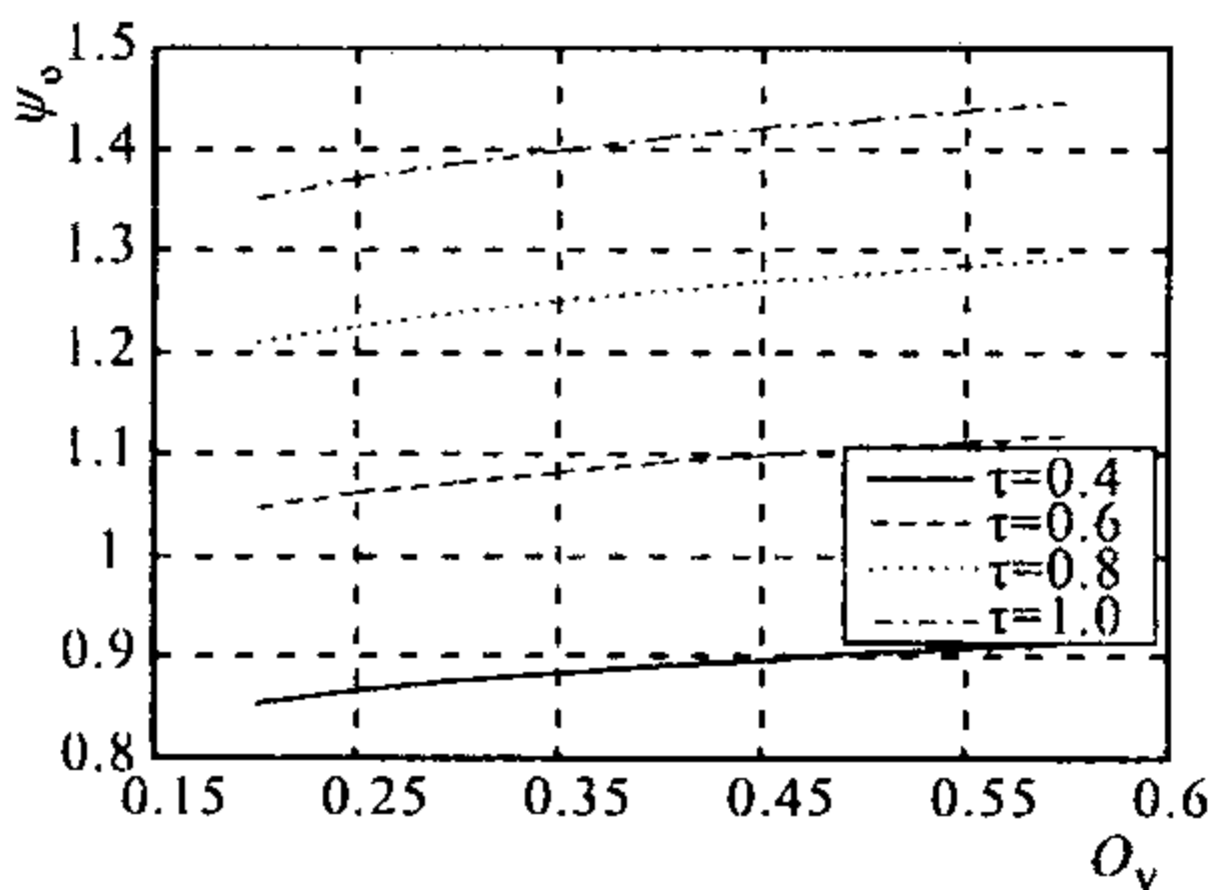


图 12  $\psi_0$ (CW) —  $O_v$  曲线  
( $\beta=0.7, \gamma=20$ )

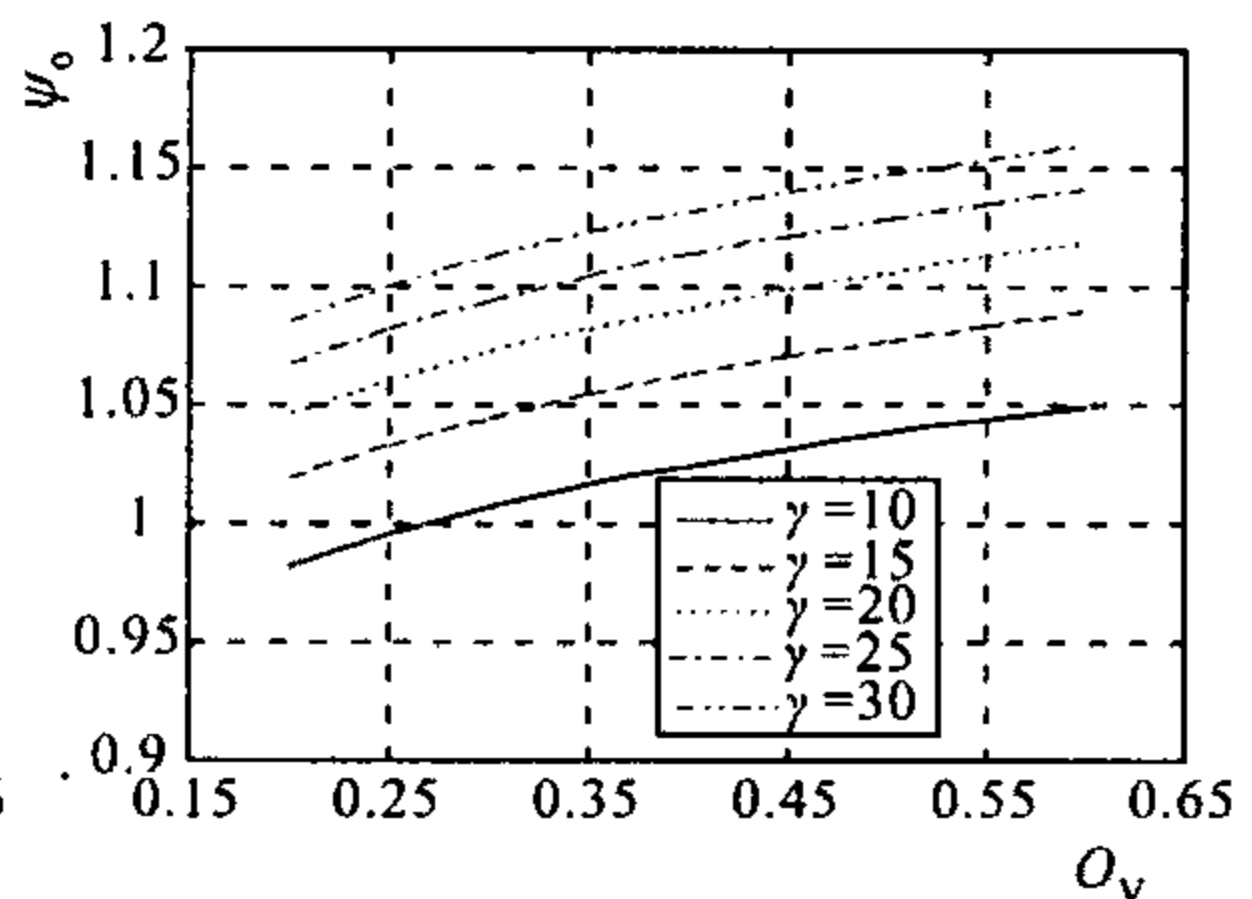


图 13  $\psi_0$ (CW) —  $O_v$  曲线  
( $\beta=0.7, \tau=0.6$ )



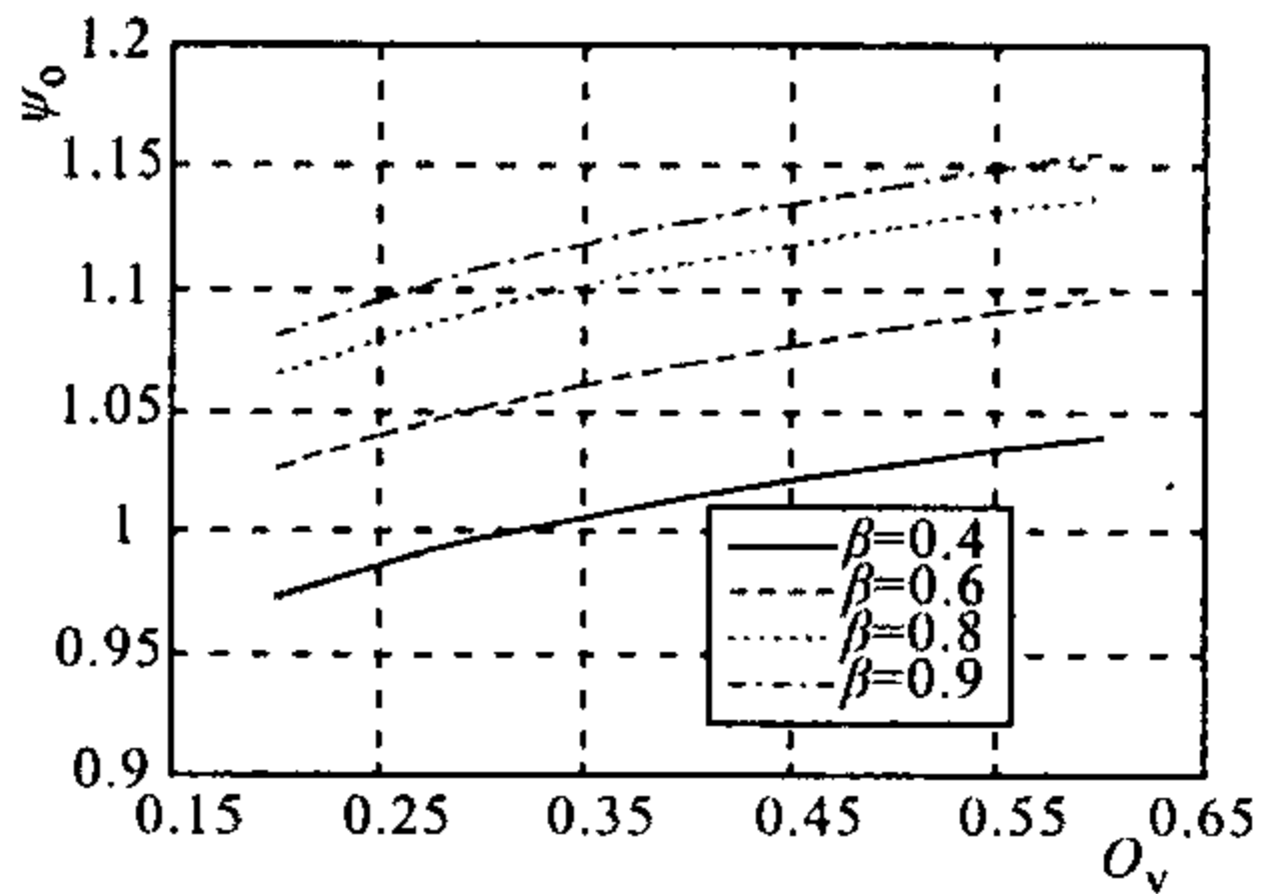


图 14  $\psi_0$ (CW) -  $O_v$  曲线  
( $\tau=0.6, \gamma=20$ )

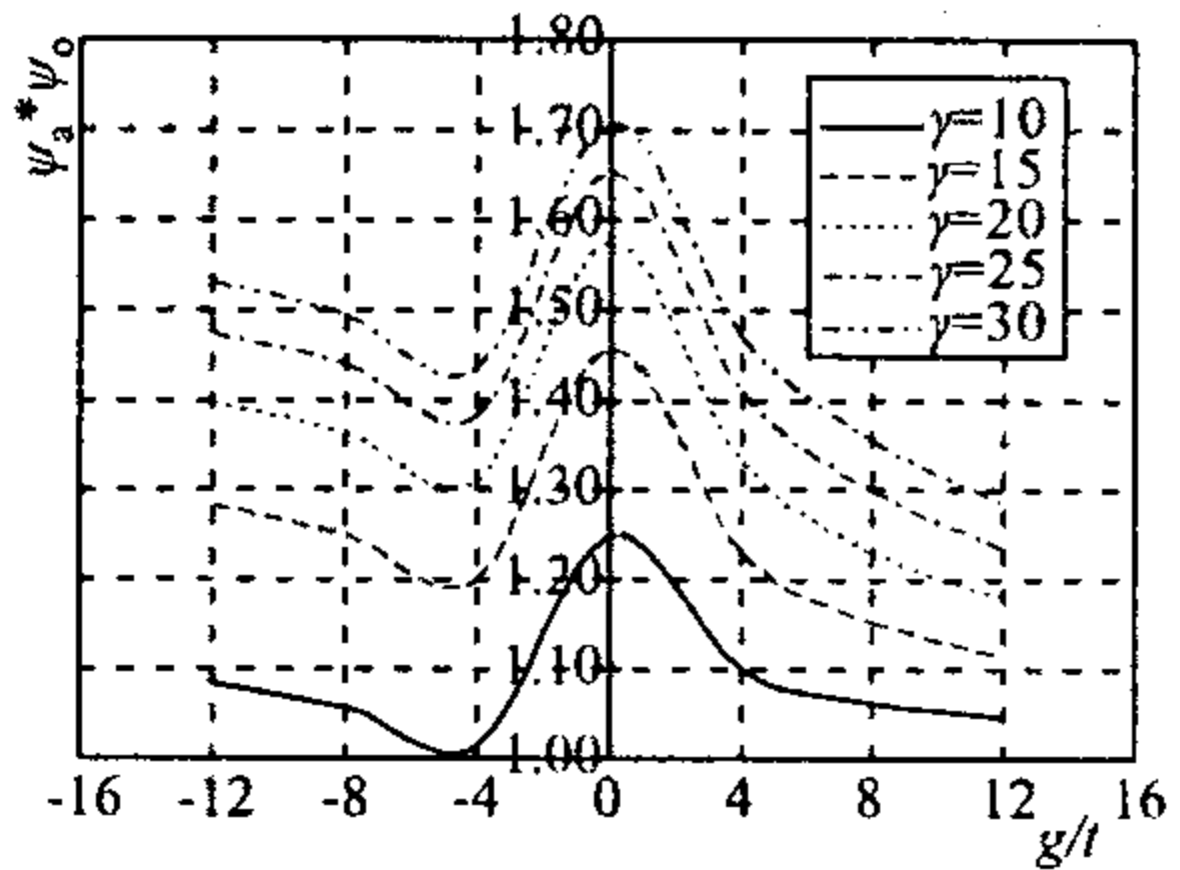


图 15  $\psi_a \psi_0$ (CW)  $\psi_n - g/t$   
( $\tau=0.4, \beta=0.7$ )

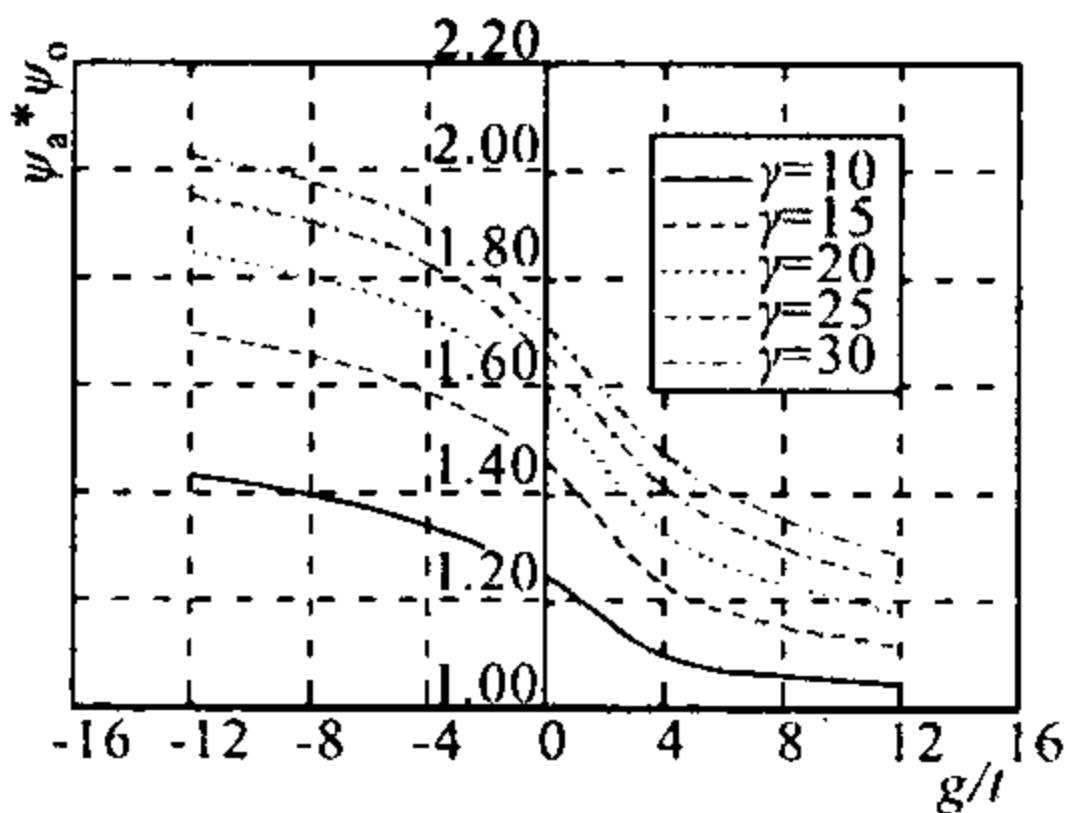


图 16  $\psi_a \psi_0$ (CW) -  $g/t$   
( $\tau=0.7, \beta=0.7$ )

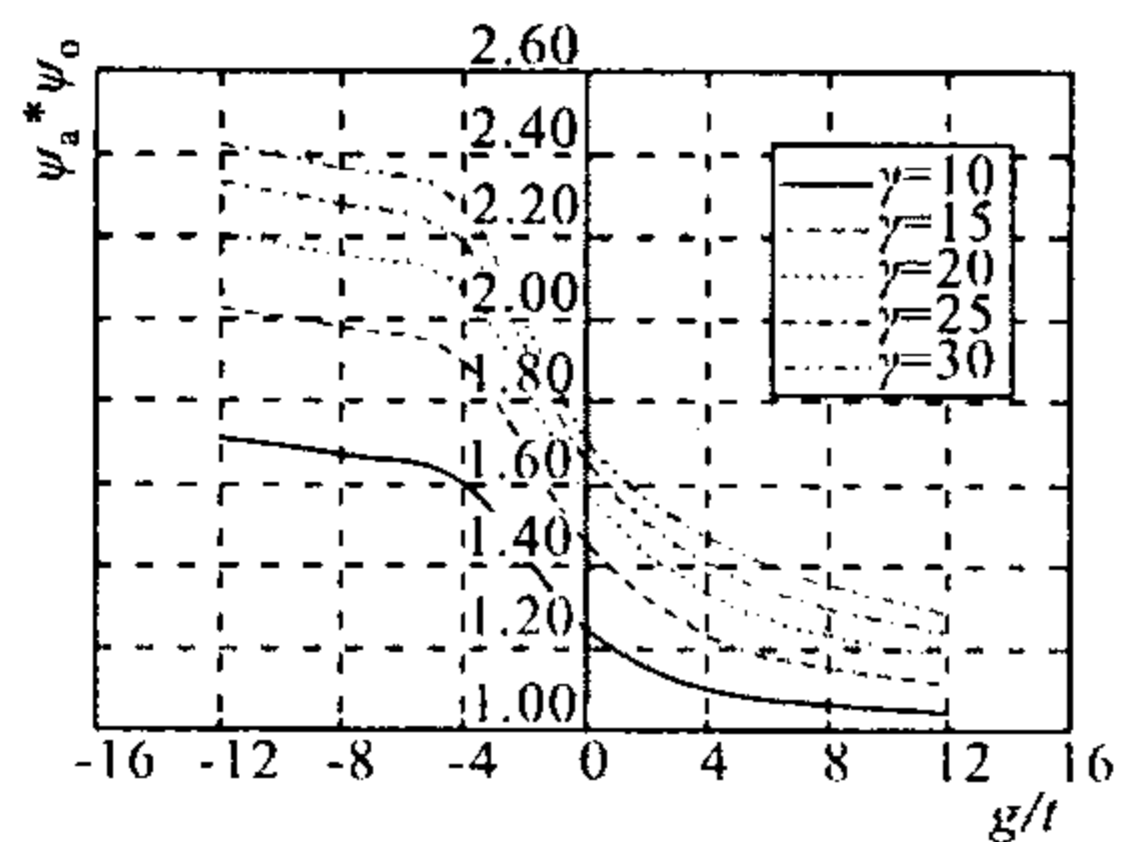


图 17  $\psi_n \psi_0$ (CW) -  $g/t$   
( $\tau=1.0, \beta=0.7$ )

图 18~图 20 为  $\psi_0$ (TW) 随各参数变化的情况; 图 21~图 23 为  $\psi_a \psi_0$ (TW) 随各参数变化的情况。

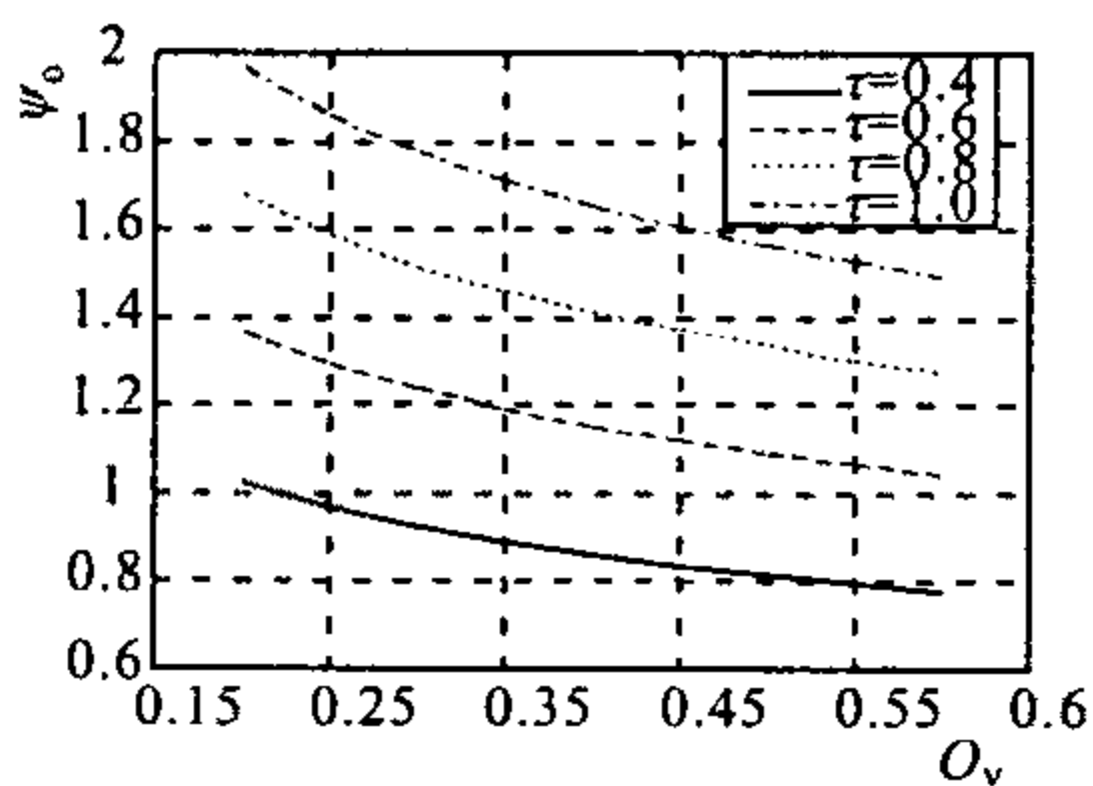


图 18  $\psi_0$ (TW) -  $O_v$  曲线  
( $\beta=0.7, \gamma=20$ )

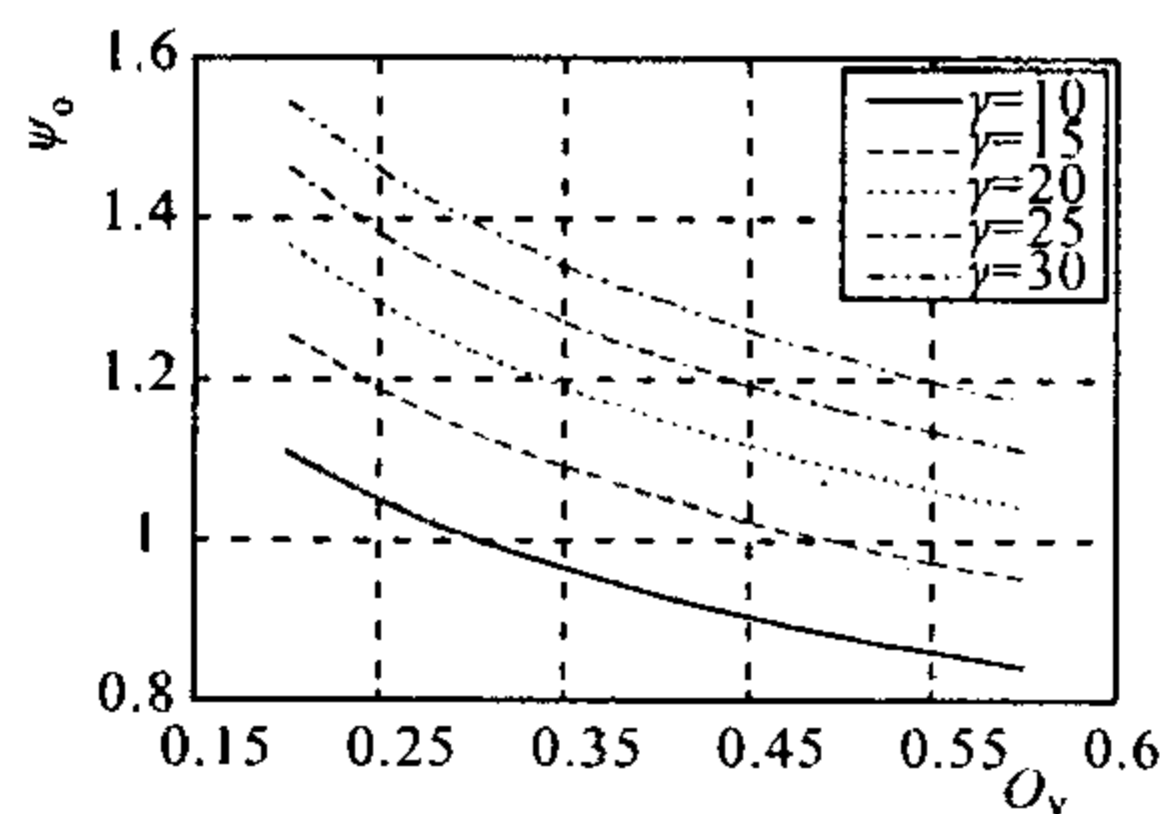


图 19  $\psi_0$ (TW) -  $O_v$  曲线  
( $\beta=0.7, \tau=0.6$ )

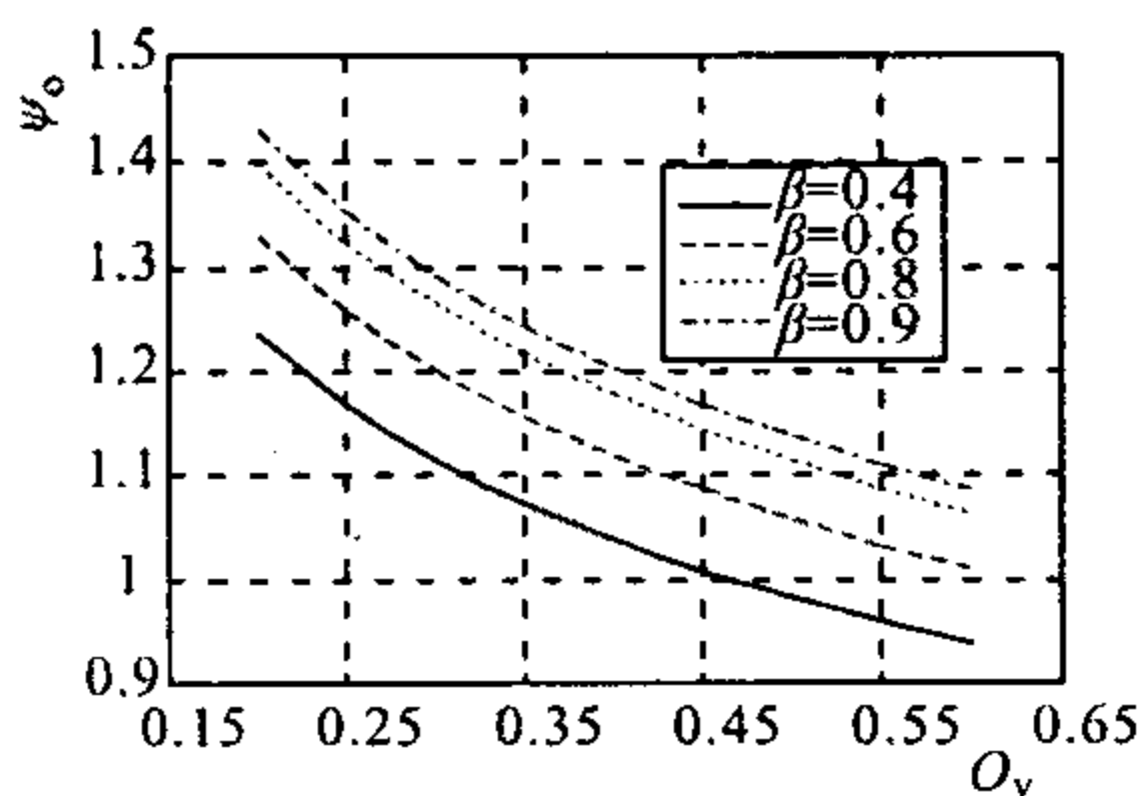


图 20  $\psi_0$  (TW) -  $O_v$  曲线  
( $\tau=0.6, \gamma=20$ )

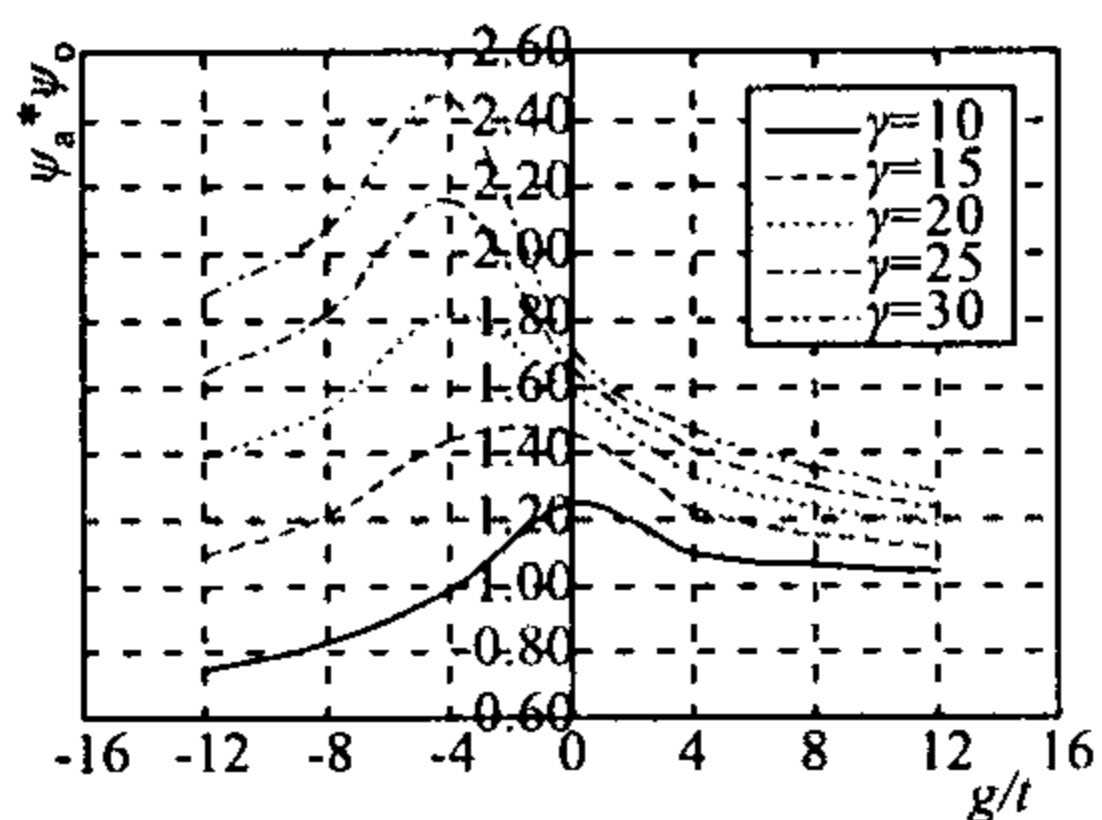


图 21  $\psi_a \psi_0$  (TW)  $\psi_a - g/t$   
( $\tau=0.4, \beta=0.7$ )

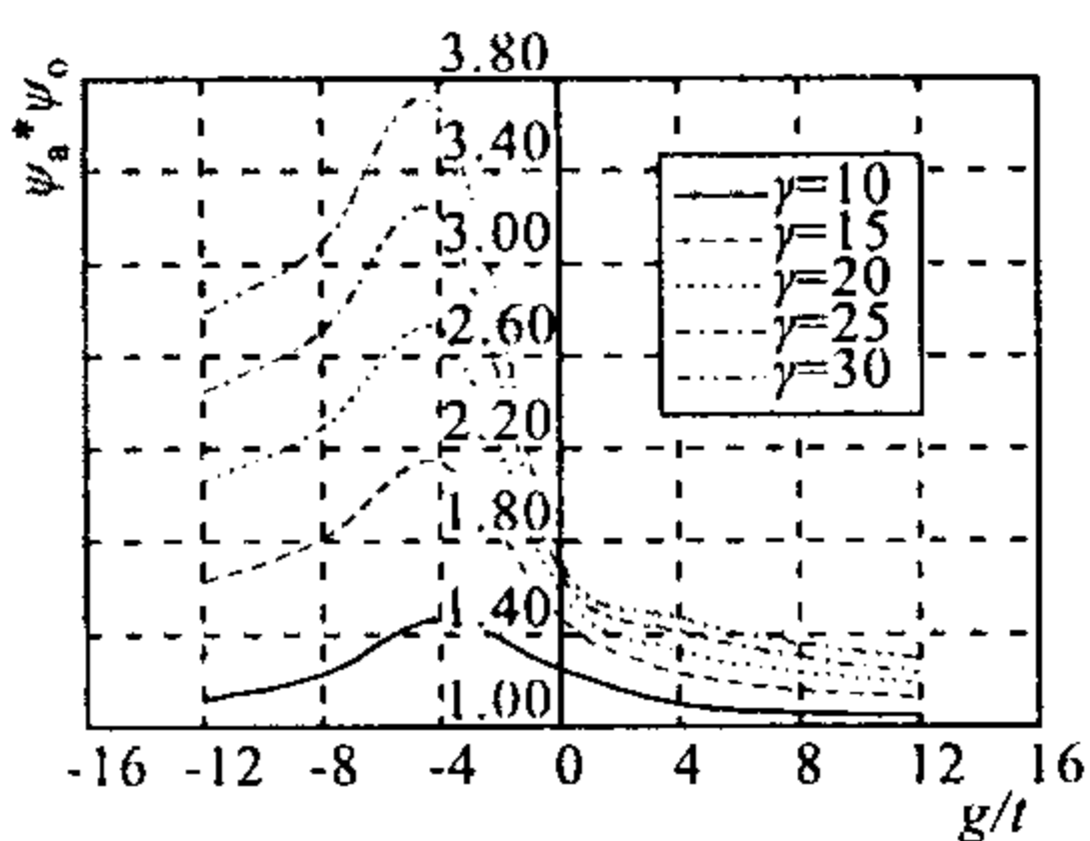


图 22  $\psi_a \psi_0$  (TW) -  $g/t$   
( $\tau=0.7, \beta=0.7$ )

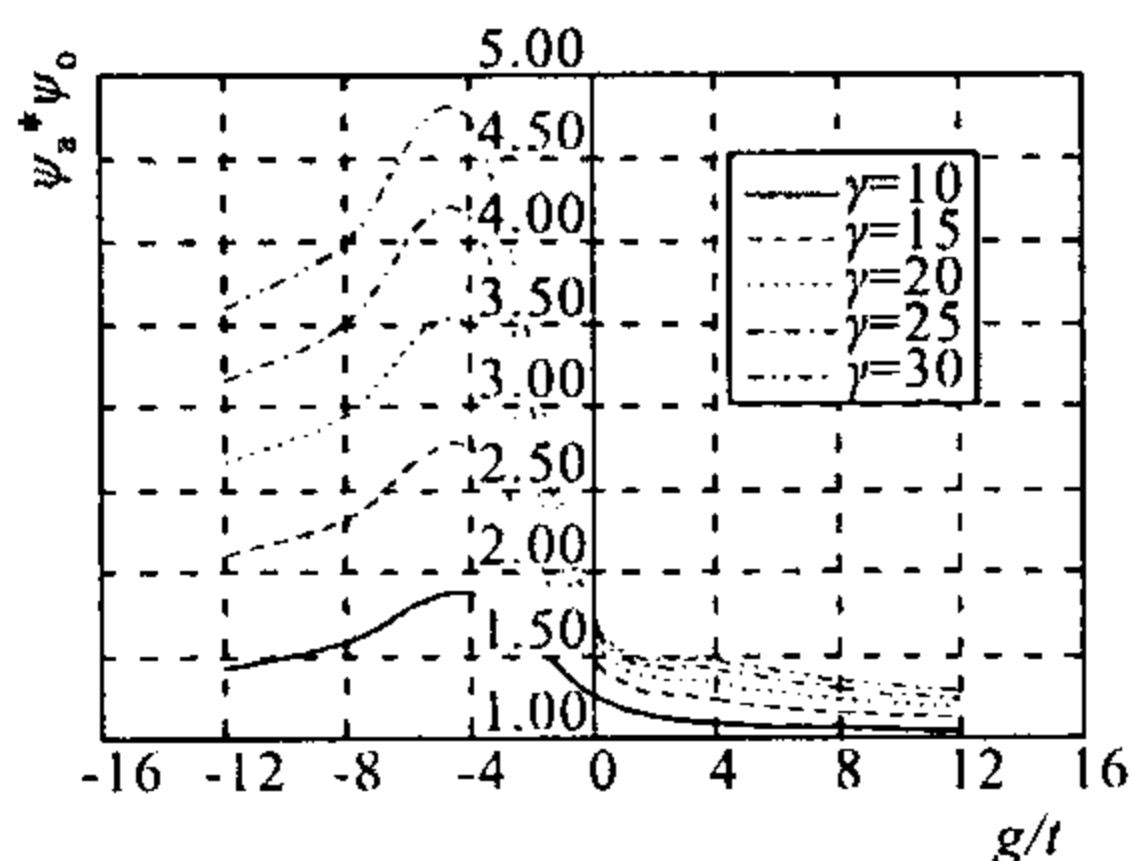


图 23  $\psi_a \psi_0$  (TW) -  $g/t$   
( $\tau=1.0, \beta=0.7$ )

图 24~图 26 为  $\psi_0$  (TN) 随各参数变化的情况; 图 27~图 29 为  $\psi_a \psi_0$  (TN) 随各参数变化的情况。

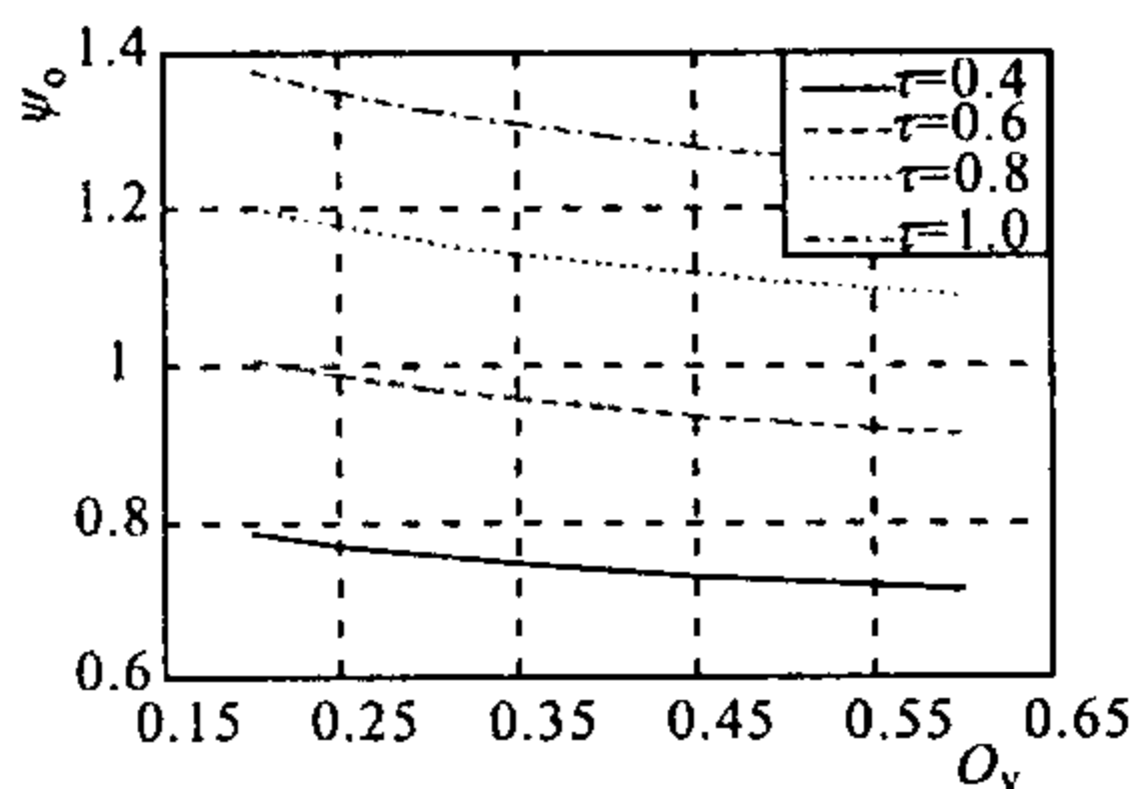


图 24  $\psi_0$  (TN) -  $O_v$  曲线  
( $\beta=0.7, \gamma=20$ )

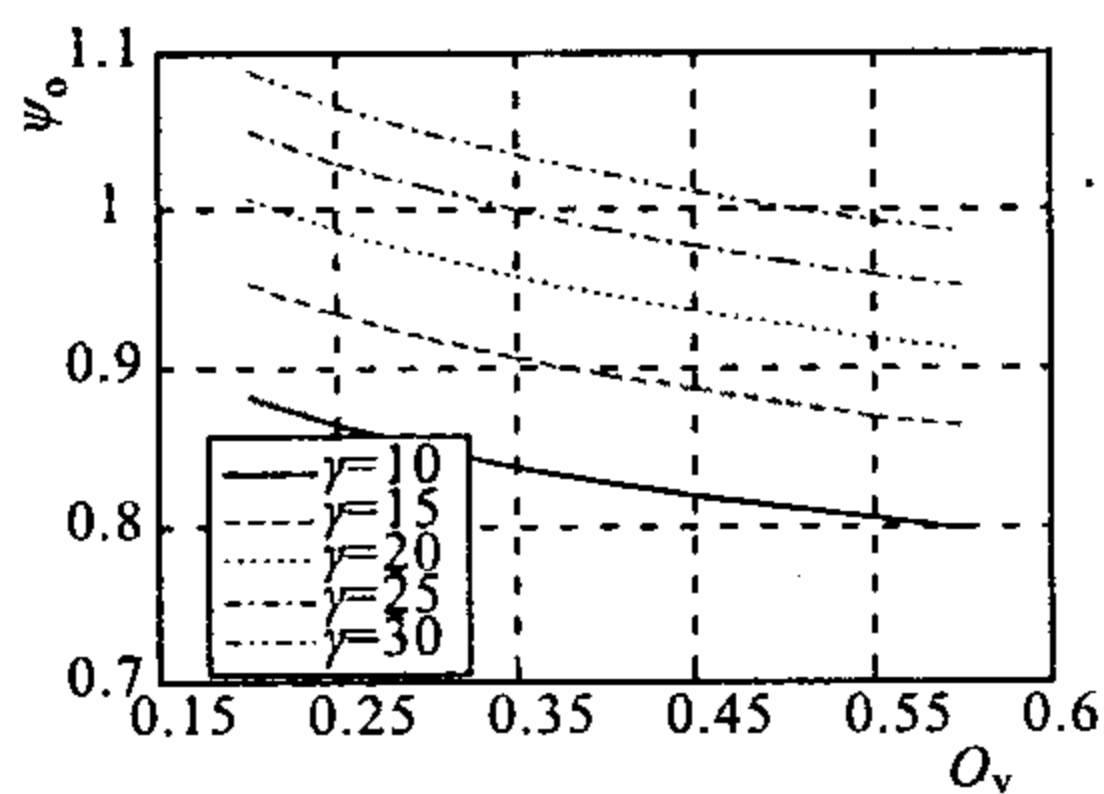


图 25  $\psi_0$  (TN) -  $O_v$  曲线  
( $\beta=0.7, \tau=0.6$ )

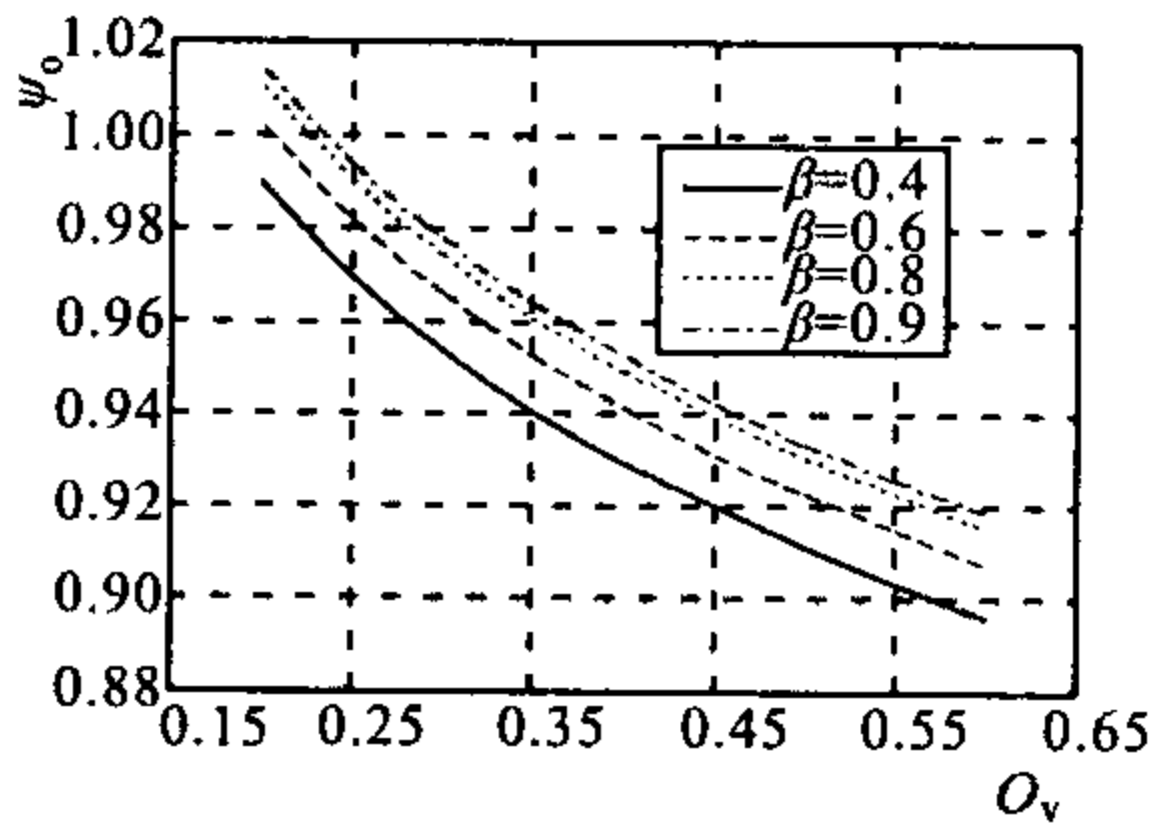


图 26  $\psi_0$  (TN) -  $O_v$  曲线  
( $\tau=0.6, \gamma=20$ )

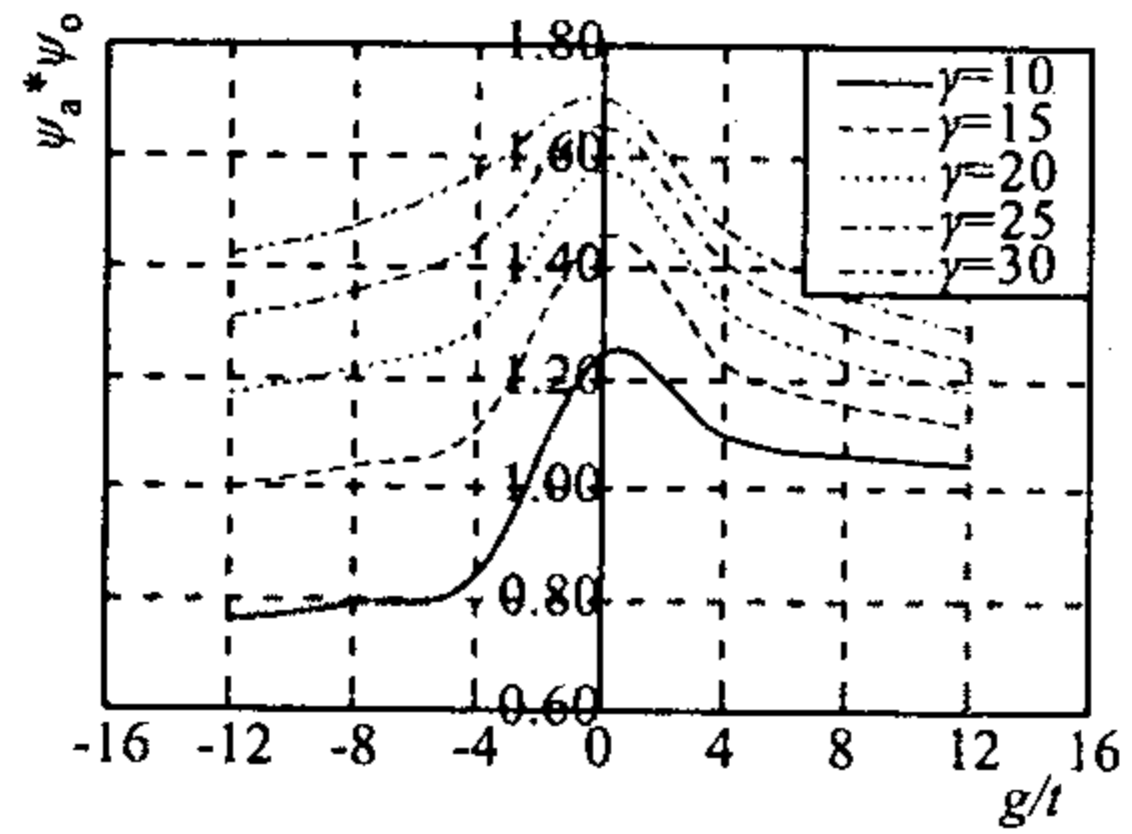


图 27  $\psi_a \psi_0$  (TN)  $\psi_a - g/t$   
( $\tau=0.4, \beta=0.7$ )

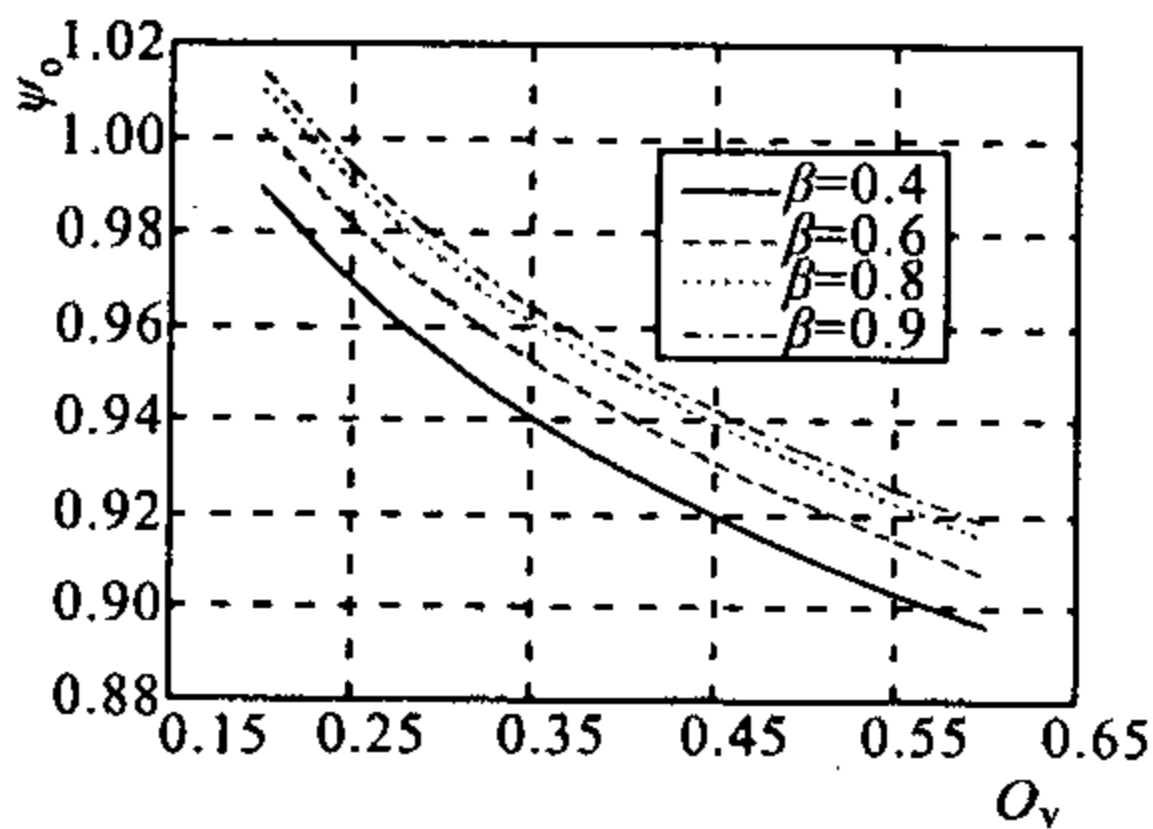


图 28  $\psi_a \psi_0$  (TN) -  $g/t$   
( $\tau=0.7, \beta=0.7$ )

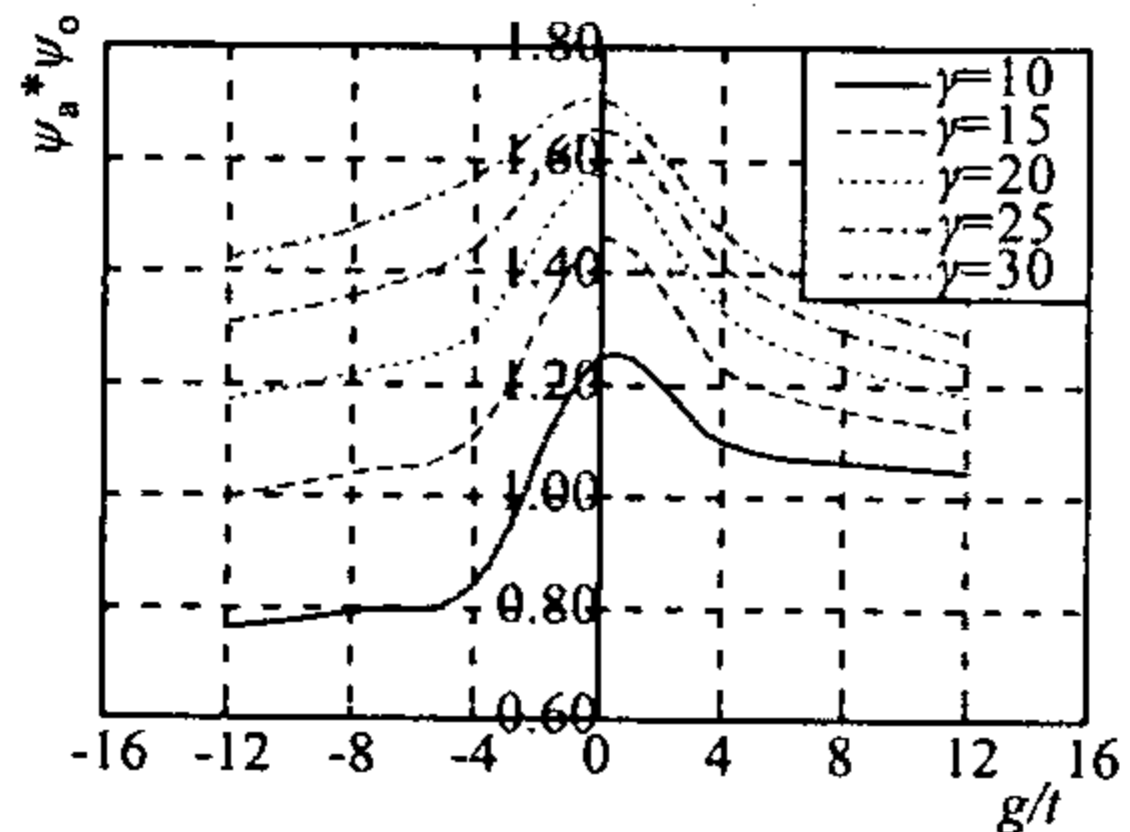


图 29  $\psi_a \psi_0$  (TN) -  $g/t$   
( $\tau=1.0, \beta=0.7$ )

$\psi_0$  值随着  $\tau, \gamma, \beta$  值的提高而提高; 被搭接支管受压时  $\psi_0$  值随着  $O_v$  提高而提高, 然而被搭接支管受拉时  $\psi_0$  值随着  $O_v$  提高而减小。  $\tau$  对  $\psi_0$  和  $\psi_0 \psi_a$  值的影响最大, 其次是  $\gamma$ , 然后是  $\beta$ , 影响最小的参数是  $O_v$ 。

由试验和有限元分析得到关于搭接节点的如下结论:

1 搭接节点的支管分为搭接支管和被搭接支管, 其中搭接支管的端部一部分直接与主管相贯, 其余部分与被搭接支管相连, 而被搭接支管则在端部只与主管相贯。这种搭接节点支管荷载的一部分通过其搭接部分的连接焊缝直接传递给被搭接支管, 搭接范围内两支管的竖向分力部分抵消, 使得主管连接面所受的力相对

减小,同时搭接部位的存在也增大了约束主管管壁局部变形的刚度。因而,搭接节点的受力性能与间隙节点有很大区别。

2 间隙节点破坏主要是由于主管壁塑性引起的。然而搭接节点达到极限承载力而破坏形态分为三种模式,即支管轴向屈服破坏模式、支管局部屈曲破坏模式、支管局部屈曲与主管管壁塑性的联合破坏模式。搭接节点与间隙节点的破坏模式的不同导致其极限承载力的不同。发生支管轴向屈服破坏模式的节点集中在 $\gamma$ 和 $\tau$ 值均很小的情况;发生支管局部屈曲破坏模式的节点集中在 $\beta$ 值很大或者 $\gamma$ 值较大和 $\tau$ 较小情况;主管管壁塑性和支管局部屈曲联合破坏模式的是最普遍的破坏模式,对于 $\gamma$ 值和 $\tau$ 值较大的节点最为突出,而对于低搭接率的节点更容易发生这种破坏模式。

3 根据有限元分析在 $\tau$ 值很小( $\tau \leq 0.4$ )时即支管管壁相对主管管壁很薄的情况,搭接节点极限承载力与相应零间隙节点极限承载力比值在0.76~1.03之间,比值小于1的节点数量占93%,说明支管的搭接基本无助于节点极限承载力的提高,在大部分情况下还小于零间隙节点极限承载力。在 $\tau$ 值较小时即支管管壁相对主管管壁较薄的情况,搭接节点极限承载力与相应零间隙节点极限承载力比值在0.92~1.30之间,比值大于1的节点数量占74%,说明支管的搭接对节点极限承载力的提高较为明显,在大部分情况下大于零间隙节点极限承载力。在 $\tau$ 值较大时即支管管壁相对主管管壁较厚的情况,搭接节点极限承载力与相应零间隙节点极限承载力比值在1.19~1.67之间,比值全部大于1,支管的搭接对节点极限承载力的提高较为明显,全部大于间隙为零的节点极限承载力。

4 节点效率大于1的搭接节点基本集中在 $\gamma$ 和 $\tau$ 值均很小的情况下,此时主管较强支管管壁相对较弱。而其余几何尺寸的搭接节点效率均小于1。

5 经过对节点的有限元分析表明:在低搭接率的情况下被搭接支管受拉且内隐蔽部分焊接的节点极限承载力略微大于被搭接

支管受压且内隐蔽部分焊接的节点极限承载力,然而在大搭接率情况下前者可能会小于后者,尤其在 $\beta$ 值较大同时 $\tau$ 值较小的情况下,最大可以降低16%。

6 经过对节点的有限元分析表明:在被搭接支管受压的情况下,被搭接支管内隐蔽部分不焊接节点与焊接节点相比节点极限承载力小幅下降,最大降幅仅为7%,故其极限承载力考虑取为相应内隐蔽部分焊接节点极限承载力的0.95。在被搭接支管受拉的情况,被搭接支管内隐蔽部分与主管不相互作用约束,在轴向拉力的作用下内隐蔽部分从主管处拉出,使得两支管直接的传力路径破坏,导致节点极限承载力大幅下降。被搭接支管受拉内隐蔽部分不焊接节点极限承载力与被搭接支管受拉内隐蔽部分焊接节点相比最大下降34%,而与内隐蔽部分焊接节点相比最大下降26%。

7 从表2可以知道,M. M. K. LEE的节点承载力设计值公式与试验值比值平均值大于1,偏于危险;罗尧治和AWS公式平均值在0.5左右又过于保守;欧洲规范(Eurocode3)和国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003相比较其他公式精度较高,同时欧洲规范(Eurocode3)与国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003相比平均值大,方差和离散度均较小,更接近试验值,但是其平均值也仅为0.7777仍然比较保守。主要原因是国际管结构数据库中的节点大部分是 $\tau$ 比较大的搭接节点,该类节点的搭接会明显改善节点的受力性能,故节点极限承载力会有大幅提高,而规范值忽略了支管搭接的提高作用而过于保守的。本规程修正公式的计算结果均值提高到0.9302,方差和离散度仅有微小增大,比修正前的国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003更合理。

8 同济大学十二个搭接节点试件的极限承载力试验值与国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003计算结果和规程公式计算结果比较见表3,其中试件几何参数见表1。本规程搭接节点

极限承载力公式与国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 公式相比,在  $\tau$  值比较大的情况下(SJ1~SJ3)对极限承载力提高较多,更加接近试验值;然而在  $\tau$  值比较小的节点试件中极限承载力有所降低,尤其对 SJ8 和 SJ10 来说本规程极限承载力公式更为安全可靠。

将欧洲规范(Eurocode 3)、国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003、AWS 公式、罗尧治公式、M. M. K. LEE 公式和本规程公式与国际管节点数据库数据以及同济大学试验数据进行的比较如表 2 和表 3 所示。下面分别列出各规范和各学者提出的计算公式:

1 国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 公式:

搭接节点强度计算公式仍采用间隙 K 形圆钢管节点强度计算公式,但取  $a=0$  计算。

2 欧洲规范(Eurocode 3):

1) 受压支管在管节点处的承载力设计值  $N_{ck}^{pj}$  应按照下式计算:

节点最大承载力由支管轴力控制,受压支管轴力为

$$N_{ck}^{pj} = \frac{(1.8 + 10.2d_1/d)}{\sin\theta_c} \psi_n f(\gamma, q) t^2 f$$

$$f(\gamma, q) = \gamma^{0.2} \left[ 1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{\exp(-0.5q/t - 1.33) + 1} \right]$$

式中: $\theta_c$ ——受压支管轴线与主管轴线的夹角;

$f(\gamma, q)$ ——间隙影响函数;

$q$ ——两支管之间的搭接长度;

$\gamma = d/2t$ ——主管半径与壁厚比值。

2) 受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{ck}^{lk}$  应按照下式计算:

$$N_{ck}^{lk} = \frac{\sin\theta_c}{\sin\theta_l} N_{ck}^{pj}$$

式中: $\theta_l$ ——受拉支管轴线与主管轴线的夹角。

3 M. M. K. LEE 公式:

$$P_u = \frac{fd^2}{\sin\theta} Q_g Q_{ld}$$

$Q_g$ ——节点几何形状函数,按下式计算

$$Q_g = (3.88\beta^{0.97} \gamma^{-1.43} \tau^{0.81} + 0.26O_v^{1.58} \gamma^{-1.07} \tau^{2.05})(1 - 0.43\tau\cos^2\theta);$$

$Q_{ld}$ ——系数,按下式计算

$$Q_{ld} = \begin{cases} 1.0, \text{CW 和 CN 形} \\ \min\{1.0; [1.0 - 1.16\beta(1.0 - \tau)(O_v - 0.5)]\}, \text{TW} \\ \min\{1.0; [-0.24O_v + (0.14\tau - 0.29)\beta + 1.13]\}, \text{TN} \end{cases}$$

#### 4 罗尧治公式:

罗尧治公式基于有限元 ANSYS 的计算结果,参数数值范围:  
 $15 \leq \gamma \leq 25, 0.4 \leq \beta \leq 0.8, -12 \leq g' = g/t \leq 12, \tau = 1$ 。该公式未考虑实际施工中隐蔽部分焊接与否以及被搭接管的受力状态为。

$$N_c^{pj} = \begin{cases} \text{按照规范公式计算} & g' \geq 2.0 \\ \frac{2.53}{\sin\theta} (\gamma^{0.5} - 2)(1 + 2.88\beta) \psi_n t^2 f & g' \leq -2.0 \\ \text{按照线性插值计算} & -2.0 < g' \leq 2.0 \end{cases}$$

受拉支管在管节点处的承载力设计值  $N_{ik}^{pj}$  应按下式计算:

$$N_{ik}^{pj} = \frac{\sin\theta_c}{\sin\theta_i} N_c^{pj}$$

#### 5 AWS 规范:

当发生主管管壁塑性变形失效时,支管轴力应小于  $P_n$ ,按下式计算:

$$P_n = \Phi t^2 f_y (6\pi\beta Q_q) Q_f / \sin\theta$$

$\Phi$ ——抗力系数,取为 0.8;

$Q_q$ ——管件几何形状(及荷载)的修正系数,应按下式计算:

$$Q_q = \left(1.7 + \frac{0.18}{\beta}\right)$$

$Q_\beta$ ——参数:

$$Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)} (\beta > 0.6)$$

$Q_f$ ——管件间应力相互作用关系系数,应按下式计算:

$$Q_f = 1.0 - \lambda \gamma \bar{U}^2$$

其中  $\lambda = 0.030$ 。

$\bar{U}$ 为连接处的主管纵向压力的利用比率,应按下式计算:

$$\bar{U}^2 = \left[ \frac{P_c}{A f_y} \right]^2$$

$P_c$  为主管内轴压力较小值,  $A$  为主管面积。

表 2 有关平面 K 形圆钢管搭接节点承载力设计值公式计算结果  
与国际管结构数据库试验数据的比较

节点类型	试件数	统计量	国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003	Euro-code3	M. M. K. LEE	罗尧治	AWS	本规程公式
平面 K 形搭接节点	95	最大值	1.4220	1.2356	2.2588	0.6843	1.7834	1.8551
		最小值	0.4912	0.5096	0.6992	0.2294	0.2592	0.5152
		平均值	0.7584	0.7777	1.2295	0.4312	0.5099	0.9302
		方差	0.0379	0.0280	0.0835	0.0089	0.0782	0.0580
		离散度	0.1589	0.1391	0.2136	0.0779	0.1720	0.1916

注:表中数值为公式计算值与试验值的比值。

表 3 本规程承载力设计值公式计算结果和国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 与同济大学试验值比较

试件编号	节点类型	试验值	国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003		本规程公式		
		(kN)	(kN)	比值	$\phi_n$	计算值(kN)	比值
SJ1	CW	1373	930	0.68	1.20	1119	0.81
SJ2	CN	1409	935	0.66	1.15	1074	0.76
SJ3	CN	1474	1143	0.78	1.06	1208	0.82
SJ4	CW	1209	1023	0.85	0.98	999	0.83
SJ5	CN	1060	1005	0.95	0.93	933	0.88
SJ6	CW	1043	1009	0.97	0.95	959	0.92



续表 3

试件 编号	节点 类型	试验值	国家标准《钢结构设计 规范》GB 50017--2003		本规程公式		
		(kN)	(kN)	比值	$\psi_0$	计算值(kN)	比值
SJ7	CN	1071	1020	0.95	0.92	937	0.88
SJ8	CN	1019	1256	1.23	0.84	1049	1.03
SJ9	CN	1268	1105	0.87	0.90	991	0.78
SJ10	CN	976	1038	1.06	0.90	935	0.96
SJ11	CN	1259	1122	0.89	0.91	1025	0.81
SJ12	TN	1121	1124	1.00	0.88	987	0.88

注:表中比值为计算值/试验值。

平面 KT 型节点公式引自欧洲规范(Eurocode 3)。

目前平面 DY 型和 DK 型节点已经广泛应用于空间网壳结构中。本规程平面 DY 和 DK 型节点承载力设计值公式引自欧洲规范(Eurocode 3)。

考虑到 T、Y、X 形和间隙 K 形、N 形、KT 型节点可能发生主管管壁的冲剪破坏,考虑对以上类型节点进行支管在节点处的冲剪承载力补充验算。本条公式引自欧洲规范(Eurocode 3)。

**6.2.4** 主管和支管均为圆管的平面 T、Y、X 形相贯节点抗弯承载力设计值公式是在比较、分析国外有关规范和国内外有关资料的基础上,根据近 160 个管节点的抗弯承载力极限值试验数据,通过回归分析归纳得出承载力极限值经验公式,然后考虑可靠度与安全系数后得到本规程采用的设计表达式。

目前对应于主管塑性软化破坏模式的相贯节点抗弯承载力计算公式的主要来源有欧洲规范(Eurocode 3)、日本规范(AIJ)、美国石油协会许用应力设计规范(API-WSD)和荷载与抗力系数设计规范(API-LRFD)以及其他若干海工结构的规范,包括 HSE 规范,ISO 规范,NORSOK 规范。下面分别列出各规范对应于本

程式(6.2.4-7)中  $Q_{ui}$  和式(6.2.4-8)中  $Q_{uo}$  的计算公式:

1 API-WSD&LRFD 公式:

$$Q_{ui} = 0.8(3.4 + 19\beta)$$

$$Q_{uo} = 0.8(3.4 + 7\beta) \frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)}$$

2 HSE 公式:

$$Q_{ui} = 5\beta\gamma^{0.5} \sin\theta$$

$$Q_{uo} = (1.6 + 7\beta) \frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)} \quad (\text{Y、K 节点})$$

$$Q_{uo} = (1.6 + 7\beta) \left[ \frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)} \right]^{0.5} \quad (\text{X 节点})$$

3 ISO&NORSOK 公式:

$$Q_{ui} = 4.5\beta\gamma^{0.5}$$

$$Q_{uo} = 3.2\gamma^{(0.5\beta^2)}$$

4 Eurocode 3 公式:

$$Q_{ui} = 4.85\beta\gamma^{0.5}$$

$$Q_{uo} = \frac{2.7}{1 - 0.81\beta}$$

5 AIJ 公式:

$$Q_{ui} = 5.02\beta\gamma^{0.42}$$

$$Q_{uo} = \frac{2.2}{1 - 0.81\beta} \gamma^{-0.1}$$

此外, Van der Vegte 在其博士论文中提出了以下公式:

$$Q_{ui} = \frac{5.1\gamma^{1.04\beta - 0.43\beta^2}}{(1 - 0.4\beta) + \sqrt{(1 - 0.4\beta^2) + \frac{2 - (0.4\beta)^2}{\gamma^2}}}$$

$$Q_{uo} = \frac{2.5\gamma^{0.28\beta} [0.8\beta + \sin 0.8(1.8 + 0.5\beta^2)]}{(0.8\beta + 1.0) \left[ \left( 1 - \frac{\arcsin 0.8\beta}{\pi} \right) \sin 0.8 \right.} \\ \left. (1.8 + 0.5\beta^2) - \left( 1 - \frac{0.8(1.8 + 0.5\beta^2)}{\pi} \right) 0.8\beta \right] + \frac{0.5}{\gamma^2}}$$

表 4 给出了对各国抗弯承载力规范公式拟合试验数据的统计分析结果,  $m$ ,  $\sigma$  和  $\nu$  分别表示公式计算值与试验值之比的均值、方差和离散度。其中  $M_{ui}^c$ 、 $M_{uo}^c$  分别为根据公式计算得到的节点平面内与平面外抗弯承载力, 计算时已将各规范中的强度设计值置换为钢材屈服值,  $M_{ui}^t$ 、 $M_{uo}^t$  分别为试验测得的节点平面内与平面外抗弯承载力。从表中的对比可以看出, 在平面内抗弯承载力方面, API 公式与试验结果最为接近, 但离散度较大, HSE 与 Eurocode 3 公式比试验结果低, 但数据离散度较小。在平面外抗弯承载力方面, HSE 公式与试验结果最为接近, API 公式次之, 但数据离散度较大。Van der Vegte 公式与试验结果差别较大, 且计算异常繁琐, 不便于工程应用。

表 4 对应于主管塑性软化模式的抗弯承载力公式  
拟合试验数据的统计分析

试件数			Eurocode 3	AIJ	ISO	HSE	API	Van der Vegte	规程公式
36	$M_{ui}^t/M_{ui}^c$	$m$	0.849	0.702	0.788	0.875	0.905	0.815	0.852
		$\sigma$	0.087	0.068	0.081	0.090	0.169	0.075	0.082
		$\nu$	0.103	0.096	0.103	0.103	0.187	0.092	0.096
24	$M_{uo}^t/M_{uo}^c$	$m$	0.795	0.482	0.803	0.955	1.044	1.935	—
		$\sigma$	0.142	0.094	0.114	0.184	0.248	1.505	—
		$\nu$	0.179	0.196	0.142	0.192	0.237	0.778	—

由于各规范公式考虑了一定的承载力安全储备, 所以计算值均低于节点实际承载力。本规程在上述公式的基础上提出了以下未考虑强度折减的相贯节点平面内抗弯承载力计算公式:

$$M_{ui}^{pl} = 7.55\beta\gamma^{0.42} Q_f \frac{d_i t^2 f}{\sin\theta}$$

统计分析表明该公式能够很好的预测相贯节点的实际平面内抗弯承载力, 在此基础上考虑可靠度后得到本规程公式。规程公式拟合试验数据的统计分析结果列于表 4 中。

对应于主管冲剪破坏模式的相贯节点抗弯承载力计算公式的主要来源为 CIDECT 设计指南。

下面分别列出各规范对于节点在弯矩与轴力共同作用下的承

载力相关方程,其中  $N_c$ 、 $N_{cu}$  分别为组合荷载下支管轴压力与节点仅受轴压力作用时的极限承载力公式计算值,  $N_t$ 、 $N_{tu}$  分别为组合荷载下支管轴拉力与节点仅受轴拉力作用时的极限承载力公式计算值,  $M_i$ 、 $M_{ui}$  分别为组合荷载下支管平面内弯矩与节点仅受平面内弯矩作用时的极限承载力公式计算值,  $M_o$ 、 $M_{uo}$  分别为组合荷载下支管平面外弯矩与节点仅受平面外弯矩作用时的极限承载力公式计算值。

1 API-LRFD 相关方程:

$$1 - \cos\left[\frac{\pi}{2}\left(\frac{N}{N_u}\right)\right] + \left[\left(\frac{M_i}{M_{ui}}\right)^2 + \left(\frac{M_o}{M_{uo}}\right)^2\right]^{0.5} = 1$$

2 AIJ 相关方程:

$$\frac{N}{N_u} + \frac{M_i}{M_{ui}} + \frac{M_o}{M_{uo}} = 1$$

3 Eurocode 3、HSE、ISO、NORSOK 相关方程:

$$\frac{N}{N_u} + \left(\frac{M_i}{M_{ui}}\right)^2 + \frac{M_o}{M_{uo}} = 1$$

上述公式的比较表明,欧洲规范认为平面内弯矩对节点组合荷载作用下承载力的影响较平面外弯矩小,而美国规范和日本规范则认为两者权重相同。图 30~图 33 给出了各种性质荷载组合下试验值与相关方程曲线的比较。可以看出,AIJ 相关公式在所有情况下都是偏于安全的,Eurocode 3 相关公式在大多数情况下

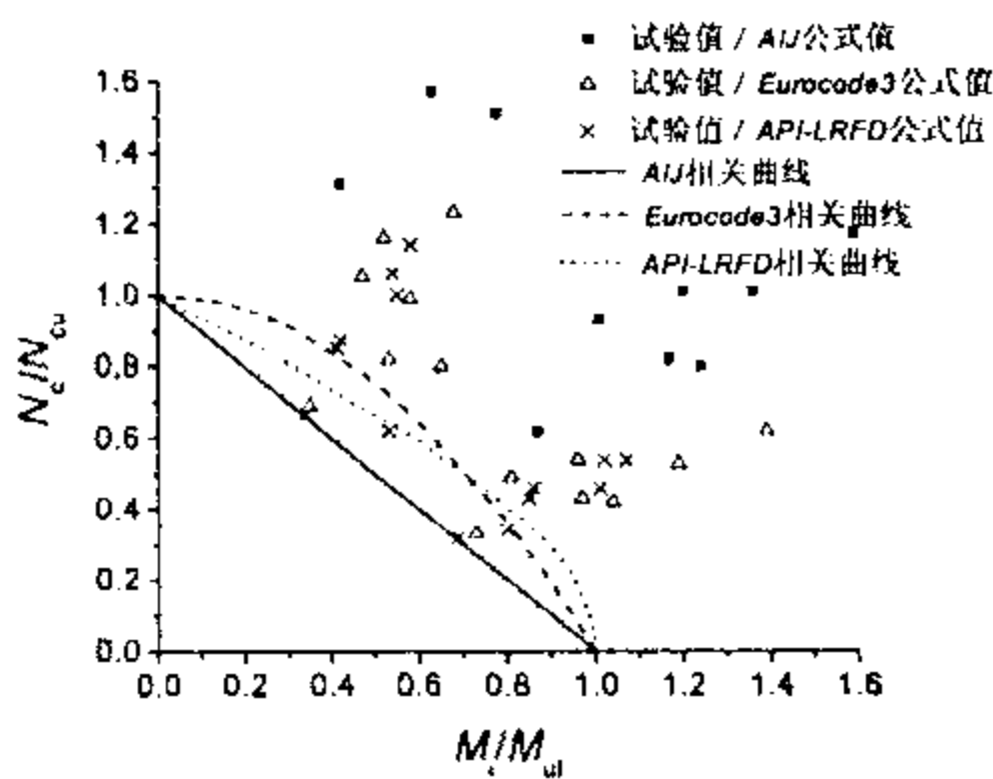


图 30  $N_c$ - $M_i$  相关方程  
与试验数据的比较

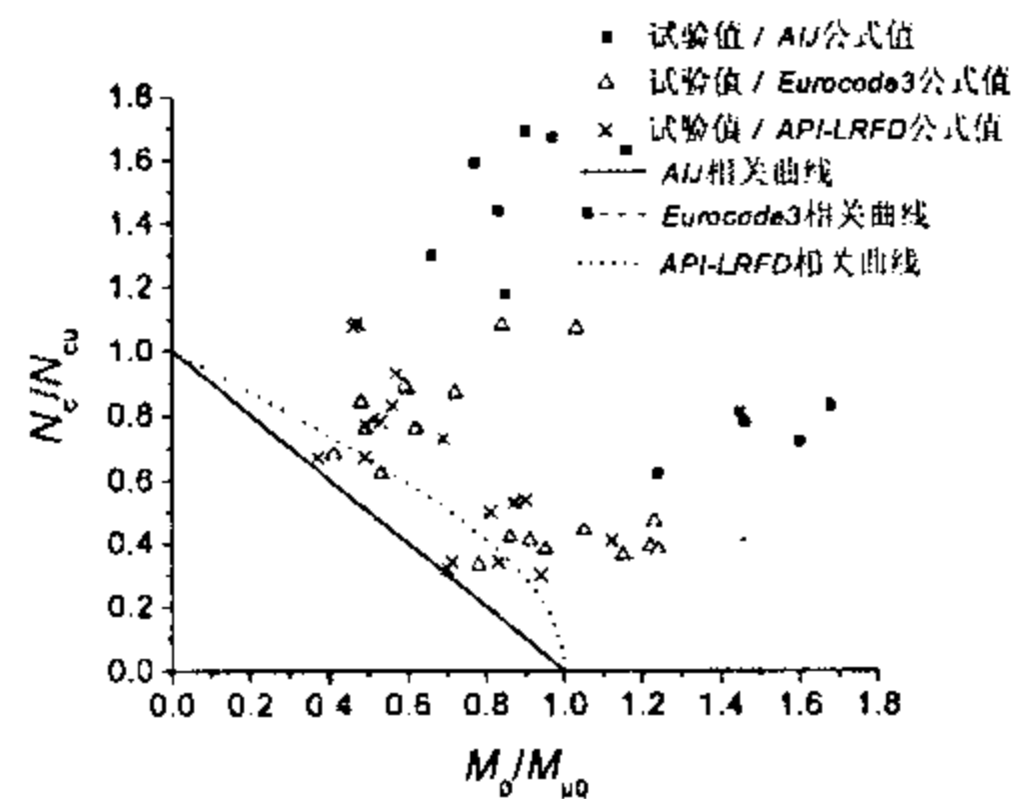


图 31  $N_c$ - $M_o$  相关方程  
与试验数据的比较

是安全的,仅有个别数据点越界,而 API-LRFD 相关公式相对来说安全度稍低,有少数数据点越界。表 5 还给出了节点在轴力、平面内弯矩、平面外弯矩共同作用下试验值代入各相关公式中的计算结果,同样显示了上述现象。

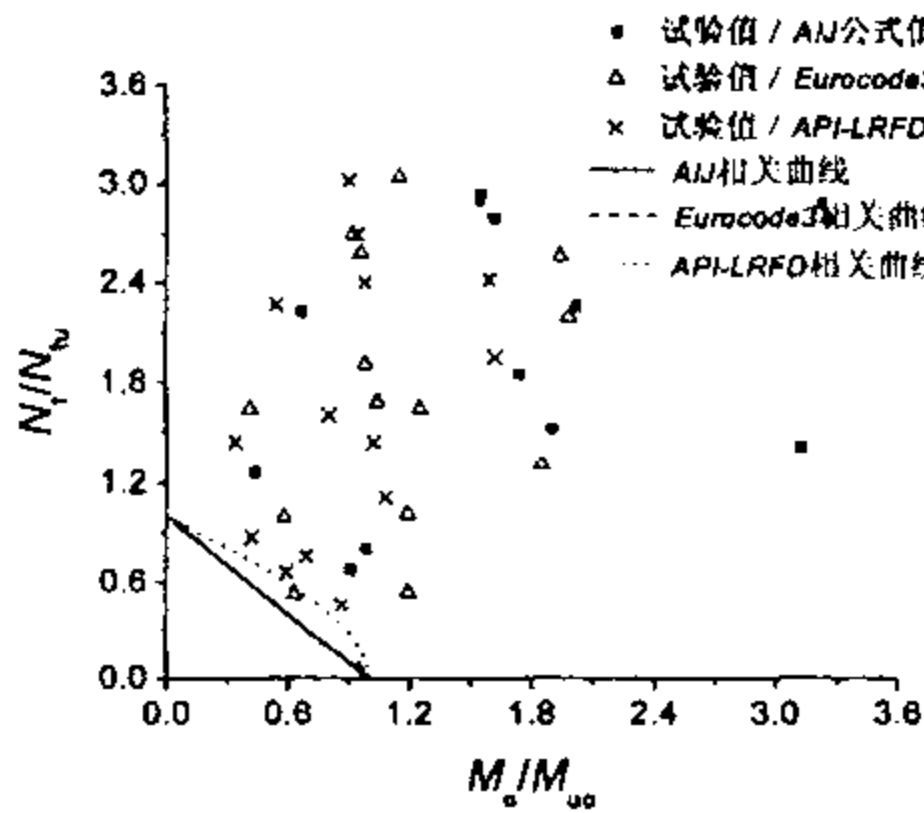


图 32  $N_c-M_i$  相关方程  
与试验数据的比较

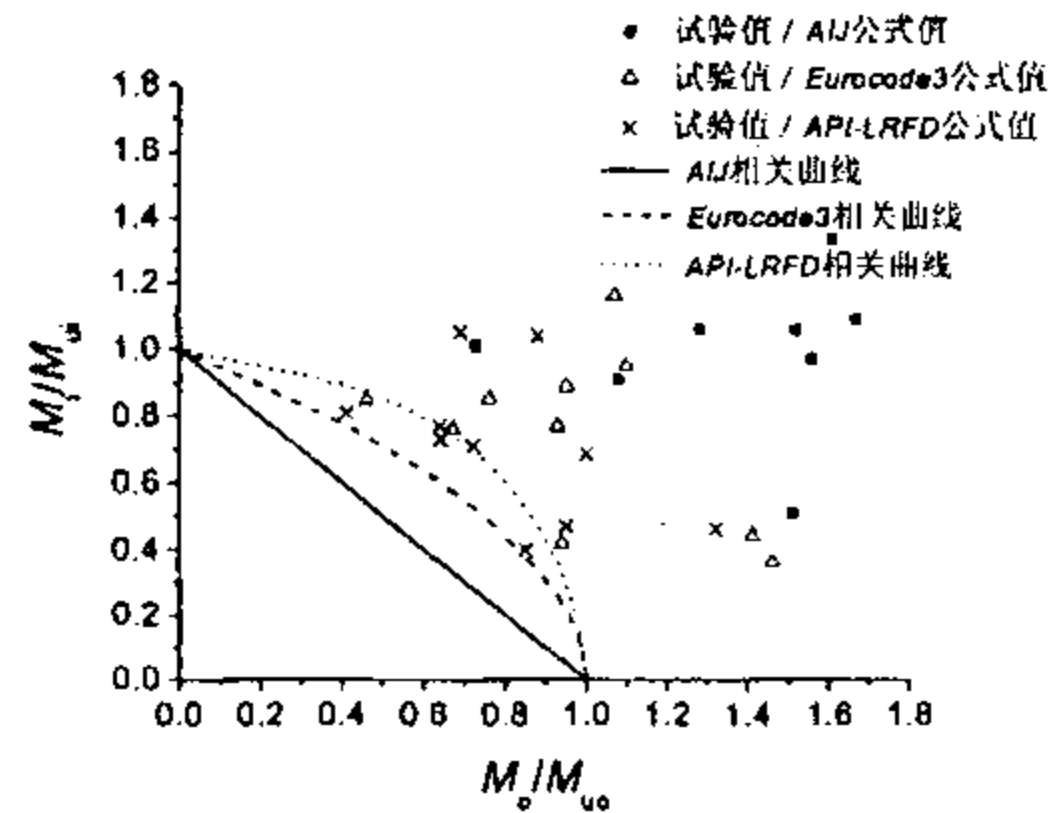


图 33  $M_i-M_o$  相关方程  
与试验数据的比较

表 5  $N_c-M_i-M_o$  相关方程与试验数据的比较

试件号	$N_c$ (kN)	$M_i$ (kN-m)	$M_o$ (kN-m)	AIJ 相关 公式	Eurocode 3 相关公式	API-LRFD 相关公式
TCM-40	-34.5	2.0	1.3	2.35	1.26	0.70
TCM-41	-56.5	2.2	1.4	2.95	1.60	0.96
TCM-42	-42.0	3.2	1.3	2.88	1.74	0.97
TCM-43	-17.9	1.2	0.8	3.41	1.87	1.18
TCM-44	-140.0	7.1	5.3	4.05	2.69	1.22
TCM-45	-32.5	2.9	2.2	2.82	1.48	1.22
TCM-46	-50.0	2.3	1.5	2.77	1.41	1.35
TCM-47	-81.0	7.4	4.0	2.17	1.14	0.84
TCM-48	-113.0	5.3	2.9	2.13	1.08	0.86
TCM-49	-66.0	8.3	6.4	2.77	1.46	1.55
TCM-50	-145.0	19.8	13.5	2.27	1.23	1.10
TCM-51	-194.0	17.0	12.4	2.86	1.67	1.07

### 6.2.5 同济大学进行了弦管为向内弯曲、向外弯曲和无弯曲(直

线状)的圆管焊接节点静力加载对比试验共 15 件,节点形式有平面 K 形、空间 TT 型、KK 型、KTT 型。同时,应用有限元的壳单元,考虑多种节点参数,对节点补充进行了弹塑性数值分析。节点参数包括  $\beta$  变化范围 0.5~0.8,  $2\gamma$  变化范围 36~50,  $\tau$  变化范围 0.5~1.0, 弦管曲率半径  $R$  变化范围 5m~35m, 弦管曲率半径  $R$  与弦管直径  $D$  之比  $\alpha(R/D)$  变化范围 12~110。研究表明以上节点形式的圆管节点,弯曲状的弦管(无论是向内还是向外弯曲)节点都与直线状的弦管节点在节点受力性能以及节点承载力方面都没有大的差别,相差都在 5% 以内。因此,工程上应用弯曲的弦管时,其各种节点形式的承载力的计算可不考虑弦管弯曲的影响,按照直线状的弦管进行计算。

**6.2.6 非搭接管连接焊缝在轴力作用下的强度计算公式(6.2.6-1)、(6.2.6-2)和(6.2.6-3)引自国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003第 10.3.2 条的规定。**

本规程关于非搭接管连接焊缝在平面内与平面外弯矩作用下的强度计算公式是采用空间解析几何原理,经数值计算与回归分析后提出的,详细过程如下:

### 1 主管与支管相贯线方程的建立。

主管与支管的相贯线实际上为一空间曲线。该空间曲线的方程可通过主管与支管表面的圆柱面方程求得。

如图 34 所示,分别对主管和支管建立空间坐标系  $x-y-z$  和  $x_1-y_1-z_1$ 。设直角坐标系的原点位于两管轴线交点  $O$ ,  $x$  轴与主管轴线重合,  $x_1$  轴与支管轴线重合。

两相交圆柱面的相贯线方程为

$$\begin{cases} y^2 + z^2 = R^2 \\ y_1^2 + z_1^2 = r^2 \end{cases} \quad (14)$$

式中:  $R$  为主管半径,  $r$  为支管半径。

$x-y-z$  坐标系与  $x_1-y_1-z_1$  坐标系之间存在以下坐标转换关系,即

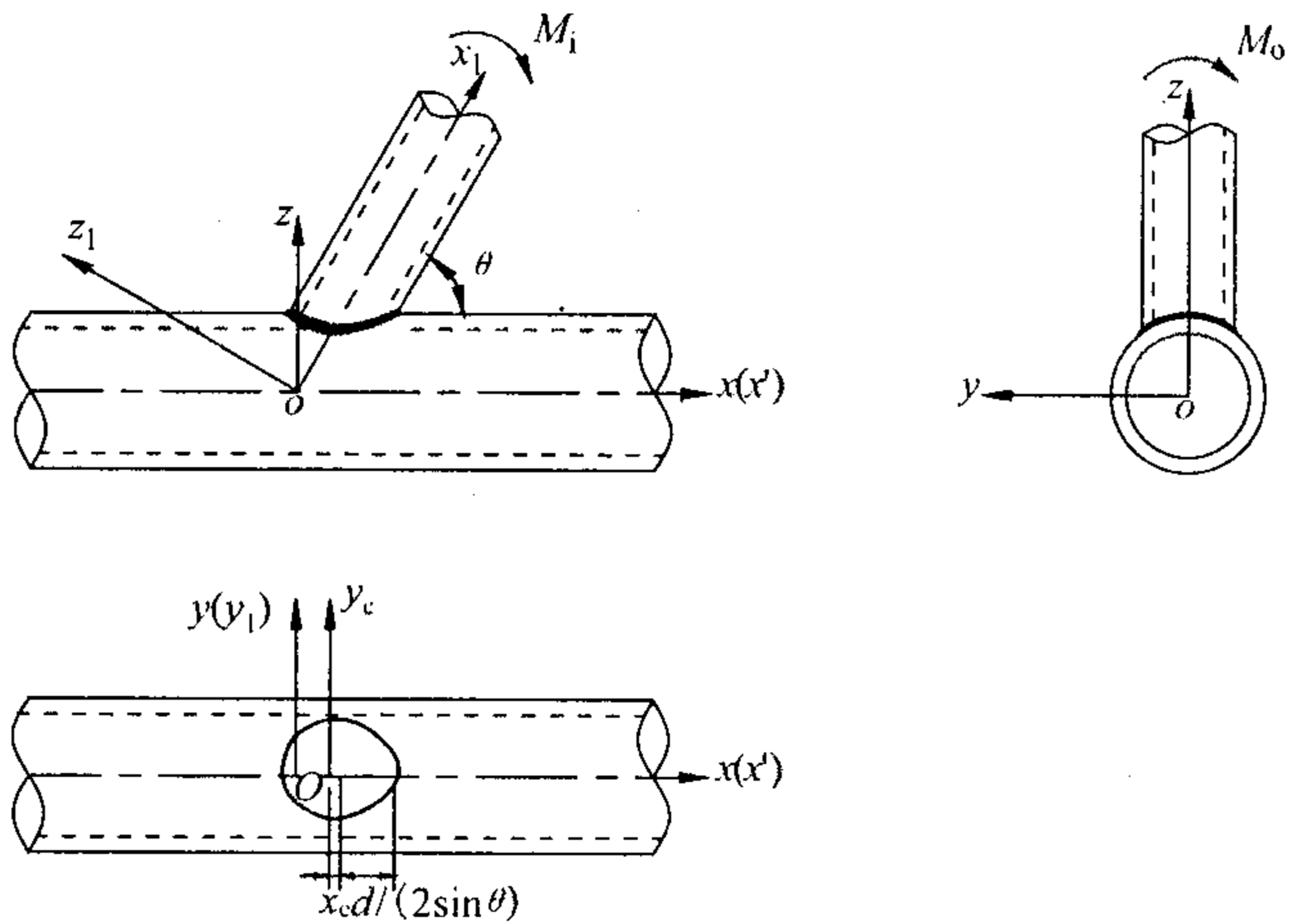


图 34 空间坐标系

$$\begin{cases} x_1 = x \cos \theta + z \sin \theta \\ y_1 = y \\ z_1 = -x \sin \theta + z \cos \theta \end{cases} \quad (15)$$

式中： $\theta$  为坐标系旋转角，亦即两管夹角。

如图 35 所示， $y_1 - z_1$  平面内支管圆柱面的极坐标方程为

$$\begin{cases} z_1 = r \cos \varphi \\ y_1 = r \sin \varphi \end{cases} \quad (16)$$

式中： $r$  为支管半径。 $\varphi$  为极坐标系下的极角。

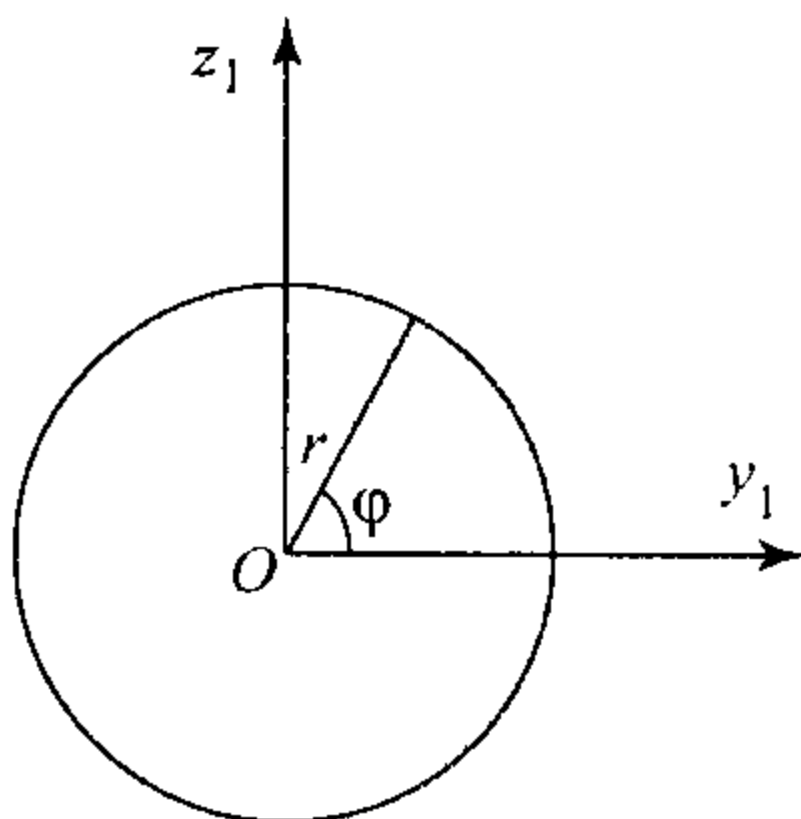


图 35  $y_1 - z_1$  平面极坐标系

由式(14)、(15)、(16)得出主管半径为  $R$ 、支管半径为  $r$  的两圆柱面相贯线的参数方程为

$$\begin{cases} x = \frac{z \cos \theta - r \cos \varphi}{\sin \theta} \\ y = r \sin \varphi \\ z = \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} \end{cases} \quad (17)$$

式中： $R = D/2$ ,  $r = d/2$ ,  $\varphi$  为取值介于  $0 \sim 2\pi$  之间的参数。

## 2 主管与支管连接焊缝抗弯计算的基本假定。

图 34 所示的钢管节点关于  $x-o-z$  平面对称。根据对称性原理,可取对称面一侧结构施加总荷载的一半进行研究,如图 36(a) 所示。

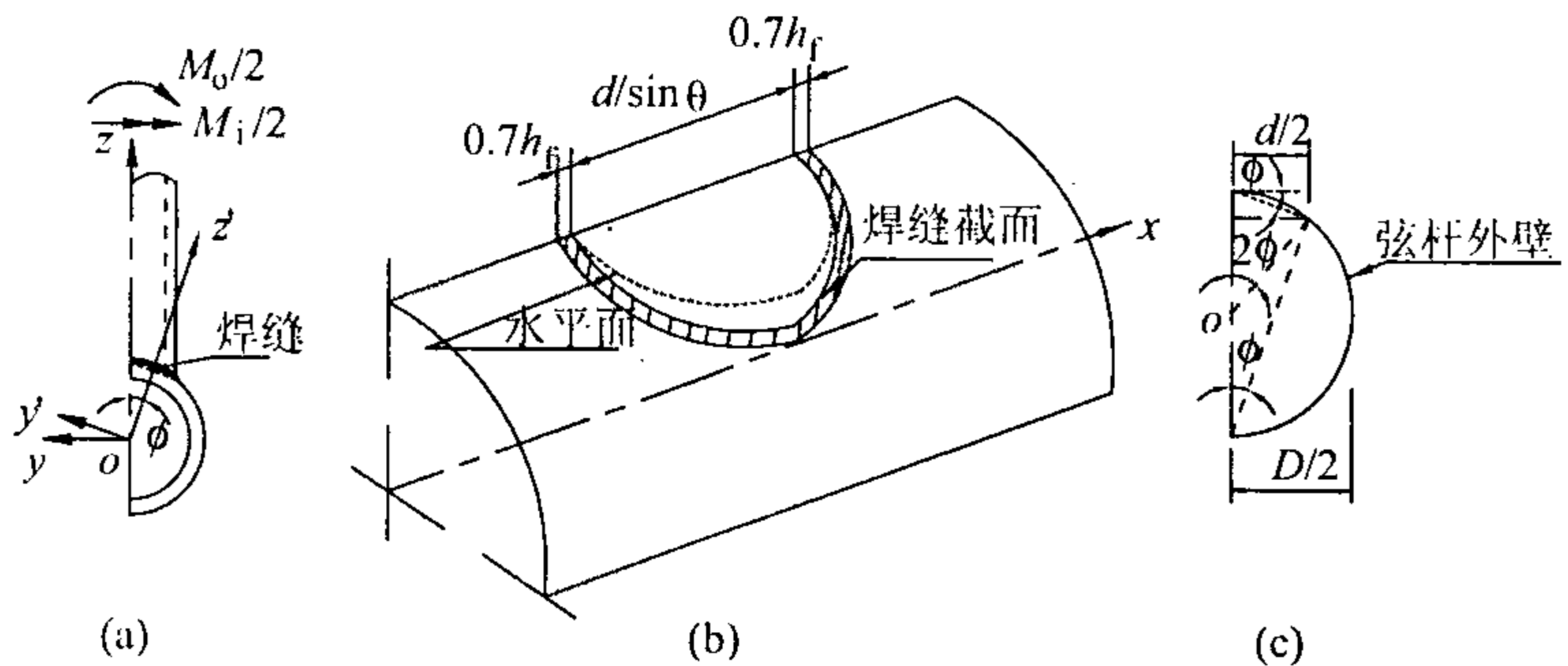


图 36 焊缝截面的简化

在计算弯矩作用下的 T 形焊缝连接时,通常先计算角焊缝有效截面的几何特性如  $W_w$  等,然后按如下材料力学公式求出弯曲应力  $\sigma_f^M$ :

$$\sigma_f^M = \frac{M}{W_w} \leq \beta_f f_f^w \quad (18)$$

式中： $W_w$  为全体焊缝有效截面的弹性截面模量。

公式(18)应用的前提条件是假设焊缝截面符合平截面假定。钢管相贯节点中连接主管与支管的焊缝截面实际为一空间曲面,为应用式(18)进行焊缝计算,建立空间坐标系  $x'-y'-z'$



(图 36(a)), 将焊缝曲面投影至  $x'-o-y'$  平面, 并将平截面假定不加证明的推广至该焊缝投影平面。此外, 还假定主管与支管的连接焊缝可视为全周角焊缝进行抗弯计算, 角焊缝有效截面的计算厚度  $h_e$  为焊脚尺寸  $h_f$  的 0.7 倍。

### 3 主管与支管连接焊缝抗弯截面模量的计算。

为计算钢管相贯节点焊缝截面的几何特性, 将焊缝有效截面的形成方式假定如下: 焊缝有效截面的内边缘线即为主管与支管外表面的相贯线, 外边缘线则由主管外表面与半径为  $r_1$  且同支管共轴线的圆柱面相贯形成, 其中  $r_1 = d/2 + 0.7h_f \sin\theta$ 。

因此, 图 36(b) 中焊缝截面内边缘线方程即为式(17), 但  $\varphi$  的取值介于  $\pi/2 \sim 3\pi/2$  之间。焊缝截面外边缘线方程为

$$\begin{cases} x = \frac{z \cos\theta - r_1 \cos\varphi}{\sin\theta} \\ y = r_1 \sin\varphi \\ z = \sqrt{R^2 - r_1^2 \sin^2\varphi} \end{cases} \quad (19)$$

式中:  $R = D/2$ ,  $r_1 = d/2 + 0.7h_f \sin\theta$ ,  $\varphi$  为参数, 取值介于  $\pi/2 \sim 3\pi/2$  之间。

$x-y-z$  坐标系与  $x'-y'-z'$  坐标系之间存在以下坐标转换关系, 即

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y \cos 2\phi + z \sin 2\phi \\ z' = -y \sin 2\phi + z \cos 2\phi \end{cases} \quad (20)$$

式中, 由图 36(c) 可知,  $\phi = \arcsin(d/D) = \arcsin\beta$ 。

由式(17)、(19)、(20) 可得焊缝截面内外边缘相贯线在  $x'-y'-z'$  坐标系的方程分别为

$$\begin{cases} x' = \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2\varphi} - \frac{r}{\sin\theta} \cos\varphi \\ y' = r \cos 2\phi \sin\varphi + \sin 2\phi \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2\varphi} \\ z' = -r \sin 2\phi \sin\varphi + \cos 2\phi \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2\varphi} \end{cases} \quad (21)$$

与

$$\begin{cases} x' = \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \sqrt{R^2 - r_1^2 \sin^2 \varphi} - \frac{r_1}{\sin\theta} \cos\varphi \\ y' = r_1 \cos 2\phi \sin\varphi + \sin 2\phi \sqrt{R^2 - r_1^2 \sin^2 \varphi} \\ z' = -r_1 \sin 2\phi \sin\varphi + \cos 2\phi \sqrt{R^2 - r_1^2 \sin^2 \varphi} \end{cases} \quad (22)$$

投影到  $x'-o-y'$  平面后, 方程(21)、(22)变为

$$\begin{cases} x' = \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} - \frac{r}{\sin\theta} \cos\varphi \\ y' = r \cos 2\phi \sin\varphi + \sin 2\phi \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \varphi} \end{cases} \quad (23)$$

与

$$\begin{cases} x' = \frac{\cos\theta}{\sin\theta} \sqrt{R^2 - r_1^2 \sin^2 \varphi} - \frac{r_1}{\sin\theta} \cos\varphi \\ y' = r_1 \cos 2\phi \sin\varphi + \sin 2\phi \sqrt{R^2 - r_1^2 \sin^2 \varphi} \end{cases} \quad (24)$$

当上式中  $\theta=90^\circ$  时表示节点型式为 T 形的情况。

T 形节点焊缝截面边缘相贯线在  $x'-o-y'$  平面的投影当近似为椭圆时, 其平面内与平面外抗弯的有效截面惯性矩分别按式(25)与(26)计算:

$$I_{fi}^T = \frac{\pi}{64} \cdot \frac{(d+1.4h_f)^4 - d^4}{\cos\phi} \quad (25)$$

$$I_{fo}^T = \frac{\pi}{64} \cdot \frac{(d+1.4h_f)^4 - d^4}{\cos^3\phi} \quad (26)$$

本文将 Y 形节点焊缝有效截面在  $x'-o-y'$  平面投影的惯性矩表示为 T 形节点焊缝惯性矩乘以相应的调整系数:

$$I_{fi} = \eta_i I_{fi}^T \quad (27)$$

$$I_{fo} = \eta_o I_{fo}^T \quad (28)$$

经过数值积分与回归分析, 得到如下调整系数的表达式:

$$\eta_i = \left( \frac{0.826}{\sin^2\theta} + 0.113 \right) (1.04 + 0.124\beta - 0.322\beta^2) \quad (29)$$

$$\eta_o = (0.26\sin\theta + 0.74) (1.04 - 0.06\beta) \quad (30)$$

Y形节点焊缝截面投影的形心至冠点边缘的最大距离经数值积分与回归分析后表达为:

$$\Delta_i = x_c + d/(2\sin\theta) \quad (31)$$

式中:  $x_c = (-0.34\sin\theta + 0.34)(2.188\beta^2 + 0.059\beta + 0.188)d$ 。

Y形节点焊缝截面投影的形心至鞍点边缘的距离可表达为:

$$\Delta_o = d/(2\cos\phi) \quad (32)$$

因此,非搭接管节点焊缝在平面内与平面外的抗弯截面模量分别为:

$$W_{fi} = \frac{I_{fi}}{x_c + d/(2\sin\theta)} \quad (33)$$

$$W_{fo} = \frac{I_{fo}}{d/(2\cos\phi)} \quad (34)$$

经对所收集的近 120 个管节点的极限承载力、杆件承载力、焊缝承载力与破坏模式的计算比较,可以保证静力荷载下焊缝验算公式的适用性。

### 6.3 直接焊接矩形管节点计算

随节点几何参数变化,直接焊接矩形管节点有七种破坏模式: 1)主管表面塑性失效(支管将主管表面压入或拉出); 2)沿支管四周主管表面冲剪失效; 3)受拉支管或焊缝开裂; 4)受压支管局部屈曲; 5)主管在间隙处剪切破坏; 6)在受压支管作用下主管侧壁压屈; 7)受拉支管背面主管表面局部屈曲。在满足表 6.3.2 和式 (5.1.5)的条件下可用第 6.3.3 条给出的相应公式和式 (6.3.4-1) 计算节点和焊缝承载力,保证节点不发生以上七种破坏模式。第 6.3.3 条给出的公式中只有少部分是理论推出来的,大部分是经验公式。如计算 T形、Y形节点主管表面塑性失效的承载力公式是根据塑性铰线模型推出来的,考虑主管轴向应力影响时要乘以系数  $\psi_n$ ,而  $\psi_n$  是经验公式。由该公式计算出的节点极限承载力对应的主管表面凸凹变形大约在  $3\%b_0$  左右。考虑到荷载分项系数

和抗力分项系数,对应使用极限状态的变形大约在  $1\%b_0$  左右。由于数据的离散性,某些节点在正常使用状态下,变形要超过  $1\%b_0$ ,为避免复杂的变形验算,将相应承载力公式乘以 0.9 的系数予以降低。

对于等宽( $\beta=1.0$ )T、Y 及 X 形方管节点,节点刚度较大,受拉时节点承载力主要取决于主管侧壁的抗拉能力。受压时,节点发生的是腹板压皱破坏,属脆性破坏。我国公式比国外公式多一项考虑主管轴向压力影响的影响系数  $\psi_n$ 。此外我国公式与国外公式在支管受压时计算  $\varphi$  的方法不同。国外公式  $\varphi$  按长细比  $\lambda=3.46(h_0/t_0-2)$  确定,而我国公式  $\varphi$  按长细比  $\lambda=1.73(h_0/t_0-2)$  确定。以屈服应力代入修订后的公式,与实验结果及有限元计算结果比较发现,我国公式更为合理,详见《土木工程学报》2004 年第四期中“等宽 T 形方管节点静力工作性能与设计”。X 形节点主管侧壁的变形大于 T 形及 Y 形方管节点,承载力也略低些,在承载力公式中  $f_k$  的取值为 T 形、Y 形节点的  $0.8\sin\theta_i$  倍。当  $\theta_i < 90^\circ$  且  $h \geq h_i/\cos\theta_i$  时尚应验算主管侧壁的抗剪承载力。当  $0.85 < \beta \leq 1$  时,T 形、Y 形及 X 形节点的承载力由各自  $\beta=0.85$  与  $\beta=1$  时的承载力线性插值确定。 $\beta \geq 0.85$  时支管所受荷载主要由平行于主管的支管侧壁承受,另外两壁受承受的荷载较小。这是需要进行“有效宽度”失效模式与主管表面冲剪破坏模式的验算。主管冲剪破坏面应在支管外侧与主管腹板内侧之间,所以冲剪破坏的上限是  $\beta=1-1/\gamma$ 。

将主管因受轴心压力使节点承载力降低的参数表达式改为:

$$\psi_n = 1.0 - \frac{0.25}{\beta} \cdot \frac{\sigma}{f}$$
与国外相关公式比较,该式没有突变,符合有限元分析和实验结果,并可与等宽 T 形方管节点计算公式中的轴向压力影响系数统一起来。

K、N 形节点有间隙时最小间隙不应小于两支管壁厚之和,这是为了保证间隙处有足够的地方放置焊缝。搭接时最小搭接率为

25%，这是保证搭接特性的最小值。K、N形间隙节点需验算主管表面塑性破坏、主管剪切破坏、有效宽度失效模式及主管冲剪破坏。剪切破坏模式中，主管截面分两部分，第一部分为剪切面积 $A_v$ ，包括主管两侧壁与上翼缘一部分，可同时承受剪力与轴向荷载；剩余面积 $A_v - A_0$ 为第二部分，仅能承受轴向荷载。

两支管平面间夹角在 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之间的空间T、X、K及N形节点，可采用相应平面节点承载力公式计算，并将计算结果乘以0.8的折减系数。此外，对于空间间隙K形节点尚应验算在间隙断面处主管在压力与剪力共同作用下的承载能力，公式(6.3.3-15)适用于常用的主管为方管转 $45^\circ$ 的空间间隙K形节点。

## 6.4 支管端部压扁的连接节点计算

**6.4.1** 端部楔形压扁和部分压扁的圆支管主要用于桁架中的焊接连接节点；全压扁主要用于桁架中的螺栓连接节点。

**6.4.2、6.4.3** 这两条为支管端部压扁节点的承载力适用范围和要求。对于支管端部压扁节点，国内尚无相关试验数据。公式(6.4.2-1~6.4.3-3)引自《Structures with Hollow Section》，Dipak Dutta, p193~204 和《空心管结构连接设计指南》，J. A. Packer, 科学出版社, 1997年版, 第132~138页。同时，查阅了相关背景文献，对公式做了局部修改。

**1** 支管端部为楔形压扁的N形节点(主管为圆管或方管)，主要应用于Pratt桁架节点。国外Glenn A. Morris M (1985)等对此类节点作了一系列试验研究，并回归出相应的承载力公式。图37和图38给出了承载力回归曲线与相应的试验处理数据。

通过试验回归出的主管轴力影响系数 $\psi_n$ 如图39所示。考虑到实际应用方便， $\psi_n$ 按本规程公式(6.4.2-1)和式(6.4.3-1)的规定取用。式(6.4.2-1)式和式(6.4.3-1)均根据可靠度进行了调整。

**2** 支管端部为楔形压扁的K形节点(主管为方管)，主要应用于Warren桁架节点。考虑到经济性和实用性，要求支管之间

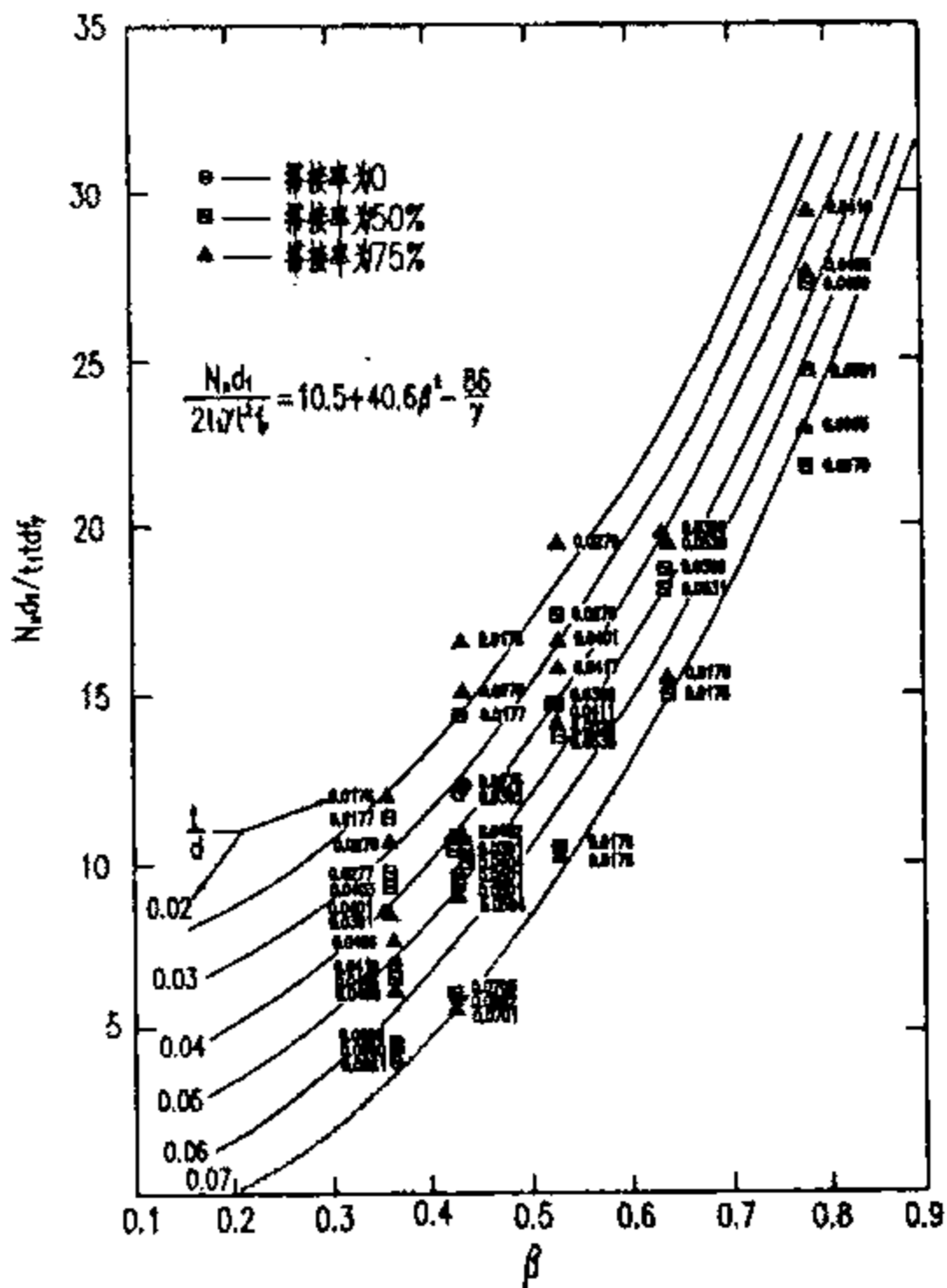


图 37 支管端部为楔形压扁的 N 形节点承载力(主管为圆管)

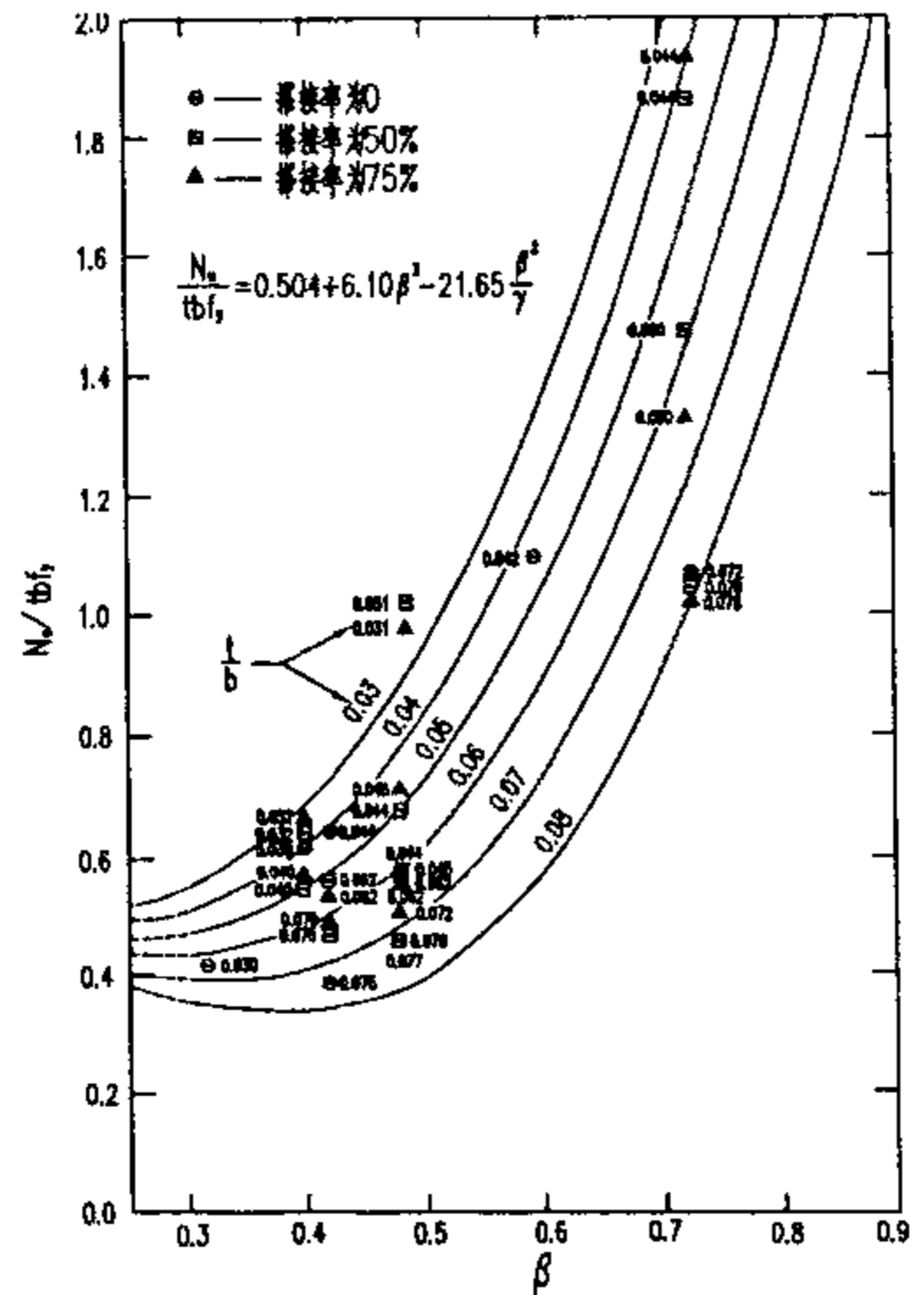


图 38 支管端部为楔形压扁的 N 形节点承载力(主管为方管)

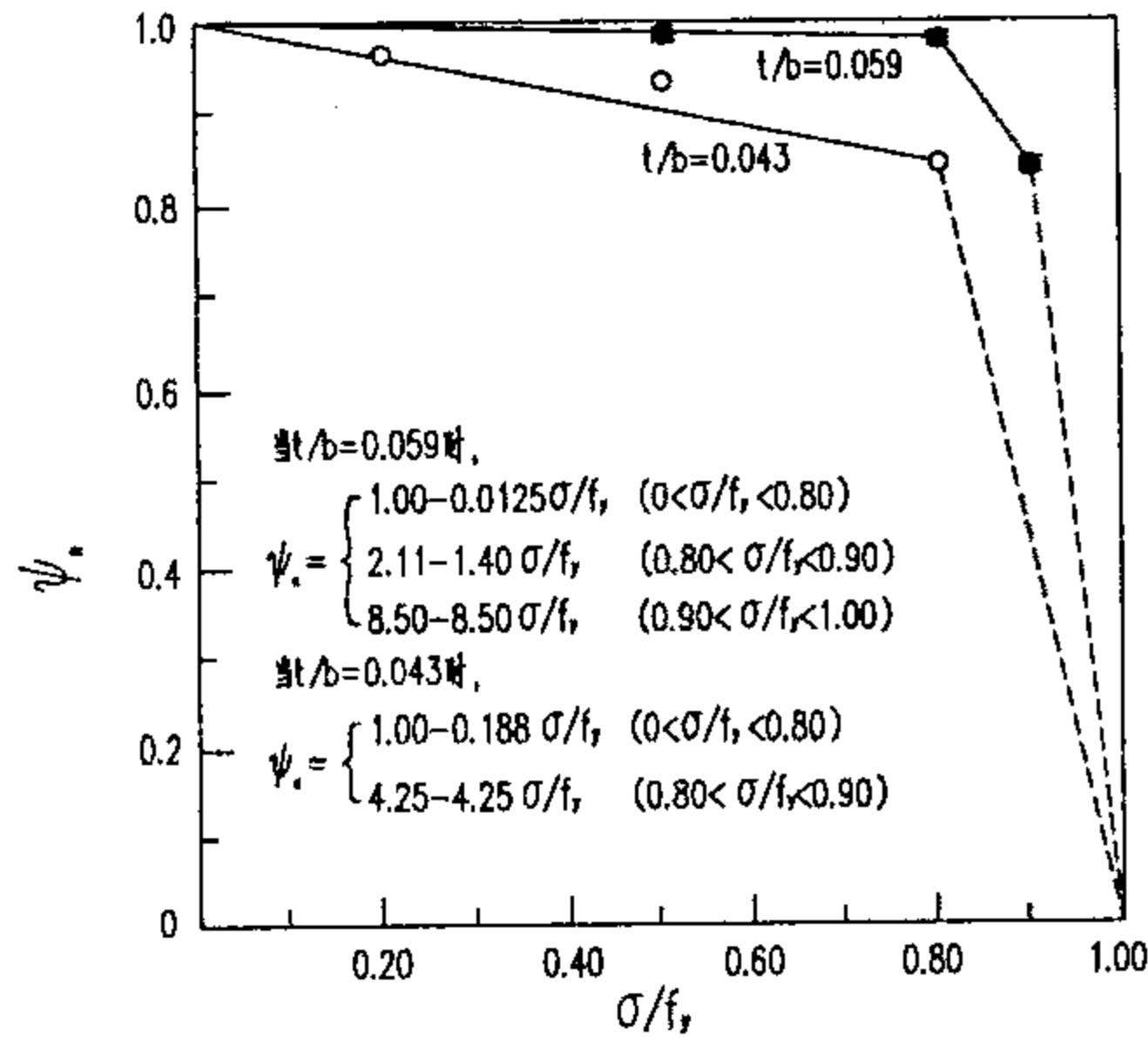


图 39 主管轴力影响系数  $\psi_n$

既无搭接也无间隙。Morris 与 Packer(1988)基于屈服线理论的分析并考虑薄膜作用,得出了此类节点的承载力公式。

在 Morris 与 Packer 的承载力公式中,本规程式(6.4.3-3)应为:

$$N_{y1} = \frac{1}{\sin\theta_1} \left[ \frac{\pi}{2} + \frac{b_{1a} + 2h_{1a}}{b_a - b_{1a}} + \frac{1.32}{t} \sqrt{\frac{f_{y1}}{f_y} \tan\theta_{1a} b_a t_{1a}} \right] \psi_n t^2 f$$

式中： $\theta_{1a}$ ——支管端部表面相对主管的斜度(图 40)。

但考虑到应用方便,公式(6.4.3-3)中取  $\theta_{1a} = \theta_1$ 。

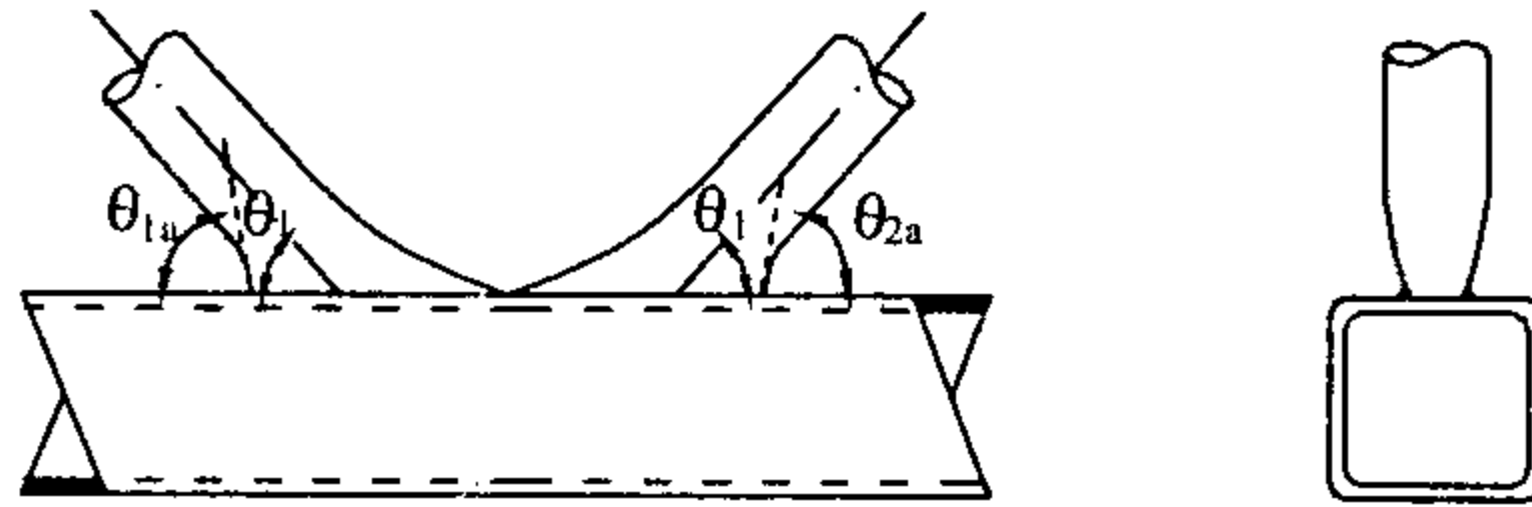


图 40 主管为方管的 K 形节点

考虑到我国的实际情况,本规程对主管轴力影响系数  $\psi_n$  的规定做了修改。本规程式(6.4.3-1)中的  $\psi_n$  与国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 中公式(10.3.4-1)所规定的保持一致。

图 41 给出了试验值与承载力公式计算值的比较。

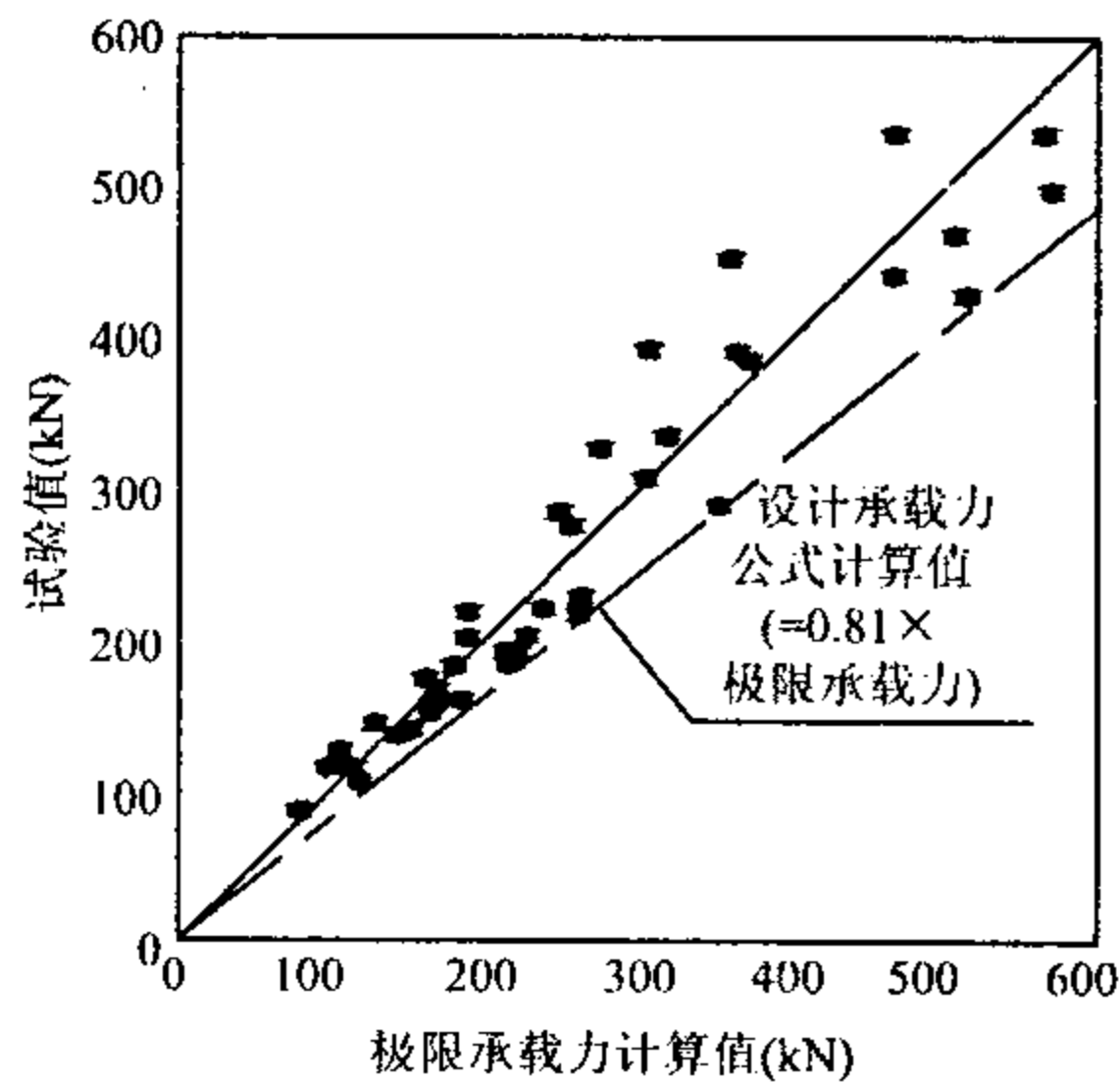


图 41 支管端部为楔形压扁的 K 形节点  
承载力(主管为方管)

3 支管端部为部分压扁的 T 形、X 形和 K 形间隙节点(主管为圆管),其承载力是通过对相应端部未压扁的直接焊接节点承载力设计值公式进行修正得到的。支管端部部分压扁后,会造成受力不均匀,导致承载力降低。Wandenier 等(1991)对此进行了试

验研究,发现上述修正是合理安全的。

## 6.5 节点板与圆管连接节点计算

6.5.1 节点板的计算可参照国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的相关规定。

6.5.2 节点板连接节点承载力设计值公式是在比较、分析国外有关规范和资料的基础上,根据近 100 个节点的承载力极限值试验数据,通过回归分析归纳得出承载力极限值经验公式,然后考虑可靠度与安全系数后得到本规程采用的设计表达式。

目前节点板连接节点承载力计算公式的主要来源有日本规范(AIJ)、欧洲规范(Eurocode3)、《Design Guide for Circular Hollow Section(CHS) Joints under Predominantly Static Loading》, Verlag TUV Rheinland GmbH, Koln, Federal Republic of Germany, 1991 和《空心管结构连接设计指南》J. A. Packer, 科学出版社, 1997 年版。日本学者对各国节点板连接节点试验数据进行了归纳整理,建立了一个包含 128 个节点试验结果的数据库。正文中给出的节点承载力公式是对照该试验数据库,同时参考日本建筑学会(AIJ)公式进行统计分析得出的。表 6 给出了纵向板与圆管连接节点承载力设计值公式计算结果与试验数据的比较。

表 6 纵向板与圆管连接节点承载力设计值公式计算结果  
与试验数据的比较

试件数	节点类型	统计量	AIJ	Eurocode 3	本规程公式
12	X形 受压	$m$	0.622	0.674	0.827
		$\sigma$	0.054	0.051	0.072
		$\nu$	0.088	0.075	0.088
21	X形 受拉	$m$	0.532	0.320	0.512
		$\sigma$	0.130	0.078	0.125
		$\nu$	0.244	0.244	0.244
6	X形 受弯	$m$	0.467	0.863	0.778
		$\sigma$	0.051	0.091	0.084
		$\nu$	0.109	0.106	0.109



续表 6

试件数	节点类型	统计量	AIJ	Eurocode 3	本规程公式
8	T形 受压	$m$	0.507	0.706	0.572
		$\sigma$	0.108	0.168	0.122
		$v$	0.213	0.238	0.213
8	T形 受拉	$m$	0.479	0.240	0.424
		$\sigma$	0.139	0.067	0.123
		$v$	0.291	0.279	0.291
9	T形 受弯	$m$	0.379	0.820	0.834
		$\sigma$	0.030	0.058	0.067
		$v$	0.081	0.070	0.081

注:表中  $m$  为规程公式计算值与试验比值的平均值,  $\sigma$  为标准差,  $v$  为离散度。

6.5.3 表 7 给出了横向板与圆管连接节点承载力设计值公式计算结果与试验数据的比较。

表 7 横向板与圆管连接节点承载力设计值公式计算结果  
与试验数据的比较

试件数	节点类型	统计量	AIJ	Eurocode 3	本规程公式
5	X形 受压	$m$	0.729	0.868	0.597
		$\sigma$	0.145	0.163	0.119
		$v$	0.199	0.187	0.199
4	X形 受拉	$m$	0.429	0.453	0.805
		$\sigma$	0.044	0.048	0.083
		$v$	0.103	0.106	0.103
无	X形 受弯	$m$	—	—	—
		$\sigma$	—	—	—
		$v$	—	—	—
14	T形 受压	$m$	0.530	0.706	0.482
		$\sigma$	0.137	0.139	0.125
		$v$	0.258	0.196	0.258
6	T形 受拉	$m$	0.506	0.309	0.739
		$\sigma$	0.063	0.047	0.093
		$v$	0.125	0.153	0.125
无	T形 受弯	$m$	—	—	—
		$\sigma$	—	—	—
		$v$	—	—	—

注:表中  $m$  为规程公式计算值与试验比值的平均值,  $\sigma$  为标准差,  $v$  为离散度。

## 6.6 钢管柱与 H 型钢梁节点计算

6.6.1 圆管柱与 H 型钢梁的抗弯连接可采用非加劲的直接焊接

构造,如图 42 所示。此节点宜在工厂预制,相连梁段作为短悬臂梁,他端在工地与梁连接。

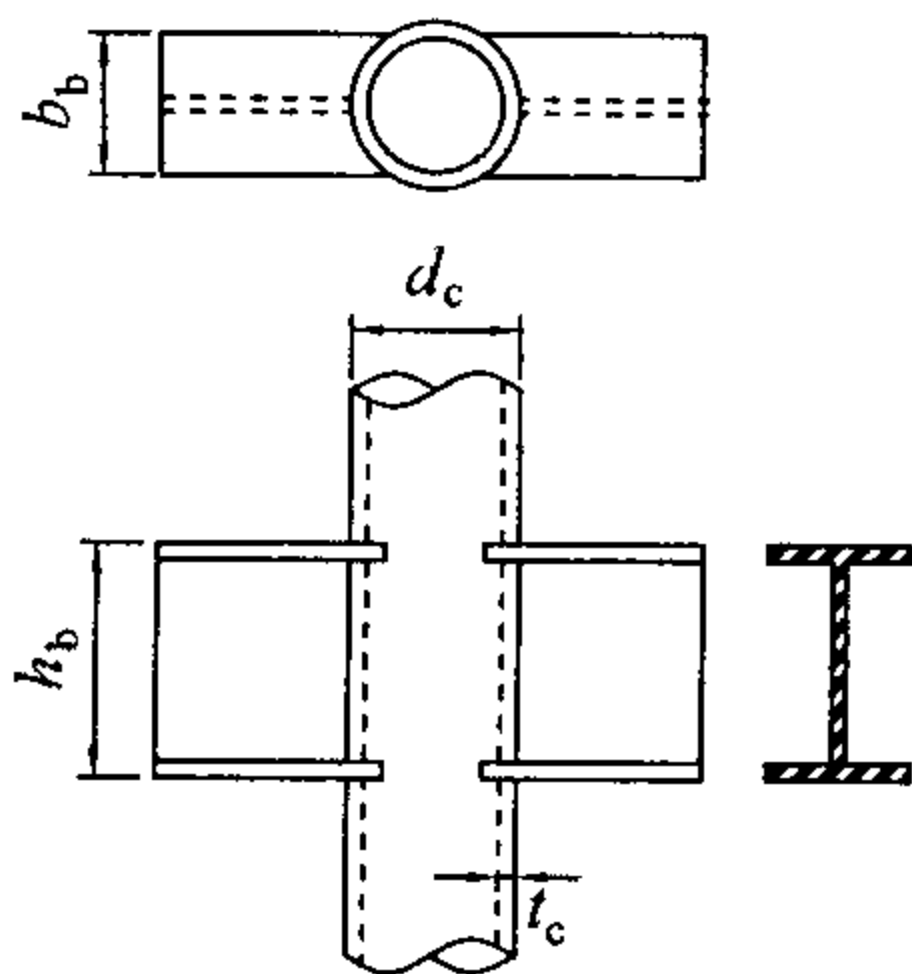


图 42 圆管柱-H 型钢梁非加劲连接节点

1 圆管柱与 H 型钢梁的非加劲直接焊接抗弯节点的抗弯承载力设计值  $M_{ui}$  应按下式计算:

$$M_{ui} = \frac{6.82h_b}{1-0.81\beta_3} \gamma^{-0.1} t_c^2 f$$

式中:  $\beta_3 = b_b/d_c$ ;

$\gamma = d_c/(2t_c)$ ;

$h_b$ ——梁高;

$b_b$ ——梁的翼缘宽度;

$d_c$ ——圆管柱的直径;

$t_c$ ——圆管柱的壁厚;

$f$ ——柱子钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

对非抗震设防区的结构,按上式计算的  $M_{ui}$  应大于或等于梁端弯矩设计值;对抗震设防区的结构,如框架结构不超过 6 层且梁构件设计时利用屈曲后性能,按上式计算的  $M_{ui}$  应大于或等于按屈后强度计算的梁截面最大抗弯承载力设计值;其他情况下,应满足以下公式:

$$M_{ui} \geq \eta W_{bp} f_b$$

式中:  $\eta$ ——强柱系数,7 度设防区可取 1.0,8 度设防区可取 1.05,

9 度设防区可取 1.15;

$W_{pb}$ ——梁的塑性截面模量;

$f_b$ ——梁翼缘的钢材强度设计值。

2 该节点还应按下式进行冲剪验算:

$$\left(\frac{N_1}{A_1} + \frac{M_{f1}}{W_1}\right)t_1 \leq 1.16ft_c$$

式中:  $N_1$ ——梁的轴向力;

$A_1$ ——梁的横截面积;

$M_{f1}$ ——梁端弯矩;

$W_1$ ——梁的弹性截面模量;

$t_1$ ——梁翼缘厚度与腹板厚度中的较大值;

$f$ ——圆管钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

钢管柱与 H 型钢梁非加劲直接焊接节点承载力设计值公式是在日本建筑学会(AIJ)公式的基础上经与试验数据分析比较后得到的。表 8 给出了该类节点承载力设计值公式计算结果与试验数据的比较。

表 8 钢管柱与 H 型钢梁非加劲节点承载力公式  
计算结果与试验数据的比较

试件数	受力性质	统计量	AIJ	本规程公式
7	受弯	$m$	0.552	0.685
		$\sigma$	0.088	0.109
		$v$	0.160	0.160

注:表中  $m$  为规程公式计算值与试验比值的平均值,  $\sigma$  为标准差,  $v$  为离散度。

6.6.2 梁柱节点处柱子横向加劲肋或贯通隔板之间的柱子节点域抗剪强度计算参照日本建筑学会(AIJ)公式。其中当柱为箱形截面时的节点域抗剪有效体积计算公式与现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99 规定相同。

6.6.3 外环加劲板式的梁柱节点抗拉或抗压承载力公式参照日本建筑学会(AIJ)公式。同济大学近期对 3 个采用圆管柱的梁柱节点进行了试验,试验承载力均高于规程公式计算结果。

## 7 节点构造

### 7.1 直接焊接节点构造

7.1.1 除本条规定外,根据 AWS D1.1:2000“钢结构焊接规范”图 3.5 和日本建筑学会(AIJ)2002 年版“钢管桁架结构设计施工指南与解说”5.3 节,相贯焊缝也可采用全周角焊缝。当按坡口焊要求施工时,由于相贯部位支管钢管内难以安放内衬,因此全融透的要求实际上是难以达到的;故 AWS 规范将符合构造要求的部分熔透焊缝也作为可以免除评定的焊缝来对待,此外参照国内已有工程的经验,本条提出“坡口部位焊缝根部 2mm~3mm 范围内的焊缝检测可不作全熔透要求”。

AWS 规范和 AIJ 指南对相贯焊缝的构造要求基本相同,可参照 AIJ 2002 年版指南图 5.1。

7.1.2 工程实践表明,搭接焊接的隐蔽部位要求焊接难度较大。日本建筑学会(AIJ)1990 年版“钢管结构设计指南与解说”在 6.7 条解说中指出“组装后的隐蔽部位即使不焊也没有什么影响”。同济大学与宝冶建设联合于 2004 年以来开展系列实验,目前已进行了 15 个节点试件的对比,包括承受低周反复荷载的节点试件;同年,同济大学与上海建筑设计研究院合作结合上海网球中心工程进行了搭接节点隐蔽部位焊接与否的对比试验。这些试验涉及的节点形式为平面 K 形和 KT 型;试验结果表明:隐蔽部位焊接与否对节点的最后破坏模式是有影响的,故本规程提出了相应的计算公式。

因尚缺乏疲劳实验的支持,本条关于隐蔽部位可以不焊的规定不适用承受高周疲劳荷载的节点。

## 7.2 端部压扁节点构造

7.2.4 控制支管外径与壁厚之比不能过大,是为了保证压扁后支管强度不发生较大降低。

7.2.5 有关研究表明,支管楔形压扁方向平行于主管或垂直于主管对承载力影响不大。选用平行于主管方向布置,主要是考虑制作和安装方便。

## 7.3 加劲钢管节点构造

7.3.1 根据同济大学进行的有限元分析,当支管仅承受轴力时,相对无加劲的直接焊接节点,设置一道内加劲板可以将节点极限承载力提高 1 倍左右,设置两道内加劲板可以将节点极限承载力提高 2 倍左右,当设置三道内加劲板时,其对节点极限承载力的提高仍有作用,但没有这么显著。支管仅承受弯矩时,在鞍点处设置内加劲板作用非常小,设置两道加劲板时,虽然加劲板设置在冠点处对抗弯承载力提高最为有利,但考虑到支管纯受弯矩的情况并不多见,而当承受轴力时,设置两道加劲板的最佳位置在距冠点  $0.1D$  附近;即使对支管仅承受弯矩的荷载条件作分析,此时的承载力也达到内加劲设置在冠点处的 90% 左右,综合考虑支管同时承受轴力和弯矩的一般情况,本条提出设置两道加劲板时的合适位置。

在 K 形、N 形、KT 型节点搭接处,支管内力的一部分在搭接处直接传递而不经主管管壁,这种情况下搭接部位下方的主管内可仅设置一道加劲板。

同济大学的数值分析算例中,主管与支管同壁厚,内加劲板的厚度也为同一数值。因这种情况已考虑了支管壁厚对主管节点区的最不利影响,故其所得结论可推广到支管壁厚小于主管壁厚的情况。但同济大学的数值分析仅针对无开孔的内加劲板,当内加劲板有开孔时,设计时应注意开孔大小的影响。

本条的背景资料可参考文献:张峰、陈扬骥、陈以一等:“内加劲环的设置对钢管节点性能的影响”,空间结构,Vol. 10, No. 1, 2004. 3。

是否设置加劲肋还应根据实际施工条件确定。

**7.3.2** 根据同济大学的实验研究和有限元分析,支管为方管或矩形管时,内加劲板的最佳位置位于支管翼板下方。背景资料可参考文献:陈以一、陈建兴、王伟等:“平面钢管桁架管内加劲相贯节点有限元分析和试验分析”,建筑结构,Vol. 34, No. 11, 2004. 11。

**7.3.3** 应避免主管拼接焊缝位于支管拉力区相贯焊缝下方。

**7.3.4** 覆板加劲的焊接连接易于实现,但可能受到建筑外观的限制。此外,如果节点承载能力由抗拉强度控制,则与受拉不同,覆板与主管钢管的共同作用需通过焊缝传力。如在抗拉时欲提高覆板与主管钢管共同受力的性能,则可通过在覆板上设置塞焊使之与主管钢管紧密连接。

## 7.4 钢管柱与 H 型钢梁节点构造

**7.4.1** 抗震设防结构内加劲式节点的构造规定参照行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99—98 第 7.3.6 条和第 7.3.7 条。钢管用作柱子时,如截面较小,则内加劲板的焊接相当困难。对焊接箱形截面可以采用电渣焊的方式,但对冷成型钢管,内隔板的定位就难以实现。为此一种方式是在节点区中部把钢管断开,从开口处进行隔板的定位和焊接,然后再把柱子拼接起来。外环式加劲或隔板贯通式加劲是另外两种可以采用的节点方案。外环加劲由于梁下翼缘位置处的环板突出,在一般民用建筑中有时不便使用。冷成型钢管应用比较普遍的日本,大量采用隔板贯通式的节点。本条主要参考日本相关标准编写。其中隔板厚度的规定取自日本建筑学会(AIJ)2001 年版“钢结构节点设计指南”4.2.3 条,规定中考虑了柱子隔板抵抗梁翼缘的轴力所需的抗剪屈服强度,本条规定中针对隔板钢材可能与梁翼缘板钢材牌号不一的情

况做了必要调整。隔板挑出柱侧的长度规定取自日本钢铁联盟、日本建筑中心联合编制的 2003 年“冷成型方钢管设计、施工手册(修订版)”第 3.2.1 条。隔板挑出长度太小可能导致焊缝接近而恶化隔板的材质,挑出长度过大则因焊接变形控制困难,导致与梁端的对位和拼接上的问题。

同济大学与浙江精工钢构于 2005 年合作进行了采用贯通式隔板的钢管柱-H 型钢梁刚性节点在水平反复荷载作用下的承载试验,试件共两组,圆管柱与方管柱各 4 件,还包括了与内加劲板节点的对照试验。贯通式隔板的构造尺寸按本条规定设定。试验结果表明,所有节点在梁截面达到全塑性弯矩前都没有破坏;当框架相对变形达到 1/50 以上后节点部位逐渐破坏,破坏模式主要是梁翼缘板和隔板焊接连接的热影响区处产生裂缝直至拉断;就节点承载力而言,贯通式隔板与内加劲式节点基本相同。

## 8 疲劳计算

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本条阐明本章的适用范围为直接承受动力荷载重复作用的钢管结构(如:工业厂房的桁架吊车梁,有悬挂吊车或输送链的屋架、网架,风振效应显著的塔桅结构,过山车等游乐设施),当其荷载产生应力变化的循环次数  $n$  等于或者大于  $5 \times 10^4$  时的高周疲劳计算。

**8.1.2** 参见国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 6.1.2 条的条文说明。

**8.1.3** 连接形式是影响疲劳性能的主要因素,不同的连接形式有不同的应力集中和残余应力分布。考虑到这些因素的影响,目前钢管结构疲劳强度计算方法有两种:基于名义应力的分类法和基于几何应力集中的热点应力法。

分类法的基本思路是,以名义应力幅作为衡量疲劳性能的指标,通过大量试验得到各种构件和连接的疲劳性能的统计数据,将疲劳性能相近的构件和连接归为一类,同一类构件和连接有相同的 S—N 曲线。设计时,根据构件和连接形式找到相应的类别,即可确定其疲劳强度。分类法概念明确、使用方便,欧洲钢结构设计规范《Eurocode 3: Design of steel structures》(以下简称 EC3)将分类法作为钢管结构疲劳计算的主要方法,我国的国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 也采用这一方法。

热点应力法用于直接相贯焊接的管节点,热点应力是指由节点几何形状引起的几何应力在焊趾处的最大值。这一方法的基本思路是,认为直接焊接相贯管节点的焊趾处的热点应力幅是影响节点疲劳性能的最主要因素,将焊趾处的热点应力幅作为疲劳强



度的控制应力幅。热点应力法的优点在于:1)试验研究表明,对于不同形式的管节点,可以采用相同的 S—N 曲线。例如,IIW(国际焊接协会)的《Recommended Fatigue Design for Welded Hollow Section Joints》(Second Edition, 1999)中,针对圆管—圆管、方管—方管的 T/Y、X、K、空间 XX 节点,只采用一条 S—N 曲线。2)与基于名义应力的分类法相比,热点应力法的精度更高,但它需要计算反映应力集中的热点应力。在 IIW、AWS 的相关规范中,均采用热点应力法计算疲劳,CIDECT 的设计指南中同时推荐了分类法和热点应力法,EC3 规范也给出热点应力法的基本概念。

考虑到:1)我国现行的国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的疲劳计算采用的是基于名义应力的分类法,且已为广大结构设计人员所熟悉,而热点应力法计算热点应力的公式复杂,使用不便。2)分类法能满足建筑结构领域对疲劳计算的一般要求。因此本规程的疲劳计算仍主要采用基于名义应力的分类法。本规程的名义应力法与 EC3 的疲劳设计部分《Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9 : Fatigue》(EN 1993-1-9: 2005)基本相同。

但在某些情况下,热点应力法可作为疲劳设计的参考依据。例如,当节点形式不在本规程的分类范围之内时,当对疲劳计算的精度有较高要求时。热点应力可通过有关的计算公式、试验实测或有限元计算得到。关于热点应力法的进一步说明,可参见《Recommended Fatigue Design for Welded Hollow Section Joints》(Second Edition, IIW, 1999)、《For Circular and Rectangular Hollow Section Welded Joints Under Fatigue Loading》(CIDECT, 2001)、行业标准《海上固定平台规划、设计和建造的推荐做法 工作应力设计法》SY/T 10030—2004、《海上钢结构疲劳强度分析推荐做法》SY/T 10049—2004、《空间管结构连接设计指南》(J. A. Packer, 曹俊杰, 1997)等相关文献。

## 8.2 疲劳计算

8.2.1、8.2.2 分析桁架内力时可假设支管铰接在主管上,但实际结构中连接部位有一定约束刚度,不完全符合理想铰接的情况,由这一刚度引起的弯矩称为次弯矩。由于次弯矩的存在,需对铰接假定计算得到的主管和支管内的名义应力进行修正。参考 EC3 的相关条文,表 8.2.2 给出了名义应力放大系数  $\eta$ 。IIW、CI-DECT 的规范中也有相应的规定,取值与本规程相同。此时主管内的名义应力按下式计算:

$$\sigma_{n0} = \eta \sigma_{a0}$$

式中:  $\sigma_{n0}$ ——主管内的名义应力;

$$\sigma_{a0} \text{——主管内由轴力引起的名义应力, } \sigma_{a0} = \frac{N_0}{A_0};$$

支管内的名义应力按下式计算:

$$\sigma_{ni} = \eta \sigma_{ai}$$

式中:  $\sigma_{ni}$ ——支管内的名义应力;

$$\sigma_{ai} \text{——支管内由轴力引起的名义应力, } \sigma_{ai} = \frac{N_i}{A_i};$$

8.2.3 由于非焊接构件和连接一般不存在很高的残余应力,其疲劳寿命不仅与名义应力幅有关,也与名义应力最大值有关。因此,对于非焊接部位引入了折算应力幅。

8.2.4 当计算部位的名义应力幅低于其相应的常幅疲劳极限 ( $\Delta\sigma_D$ ) 时,认为该部位可承受无限多次的应力循环而不发生疲劳破坏,此时可不进行疲劳计算。与现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 一致,本规程取  $n=5 \times 10^6$  次为常幅疲劳极限对应的循环次数。

$K$  是疲劳强度的附加安全系数。在 EC3 中,根据计算部位日常是否容易进入检查维护以及结构疲劳失效后的危害性, $K$  分别取 1.00、1.15、1.15 和 1.35,如表 9 所示。本规程建议按照破损—安全设计,鉴于我国钢管结构主支管连接节点的相贯焊缝的焊

接质量欠佳,与欧洲有一定差距,建议  $K$  取高值,同时为了设计的方便,统一取 1.15(相当于这四个数据的平均值)。

表 9 EC3 中  $K$  的取值

$K$	失效后尚不危及整个结构	失效后危及整个结构
定期检查和维修,易进入的部位	1.00	1.15
定期检查和维修,难进入的部位	1.15	1.35

8.2.5 本规程疲劳强度  $S-N$  曲线参考欧洲 EC3 规范的相关规定,将管构件以及连接分为 15 个类别,每个类别对应地有适用的  $S-N$  曲线,其中管构件及其连接(本规程附录 A 表 A 的类别 1~9)采用如图 43(a)所示的双斜率  $S-N$  曲线,主支管直接焊接的 K 形、N 形相贯连接节点(附录 A 表 A 中的类别 10~15)采用如图 43(b)所示的单斜率  $S-N$  曲线。

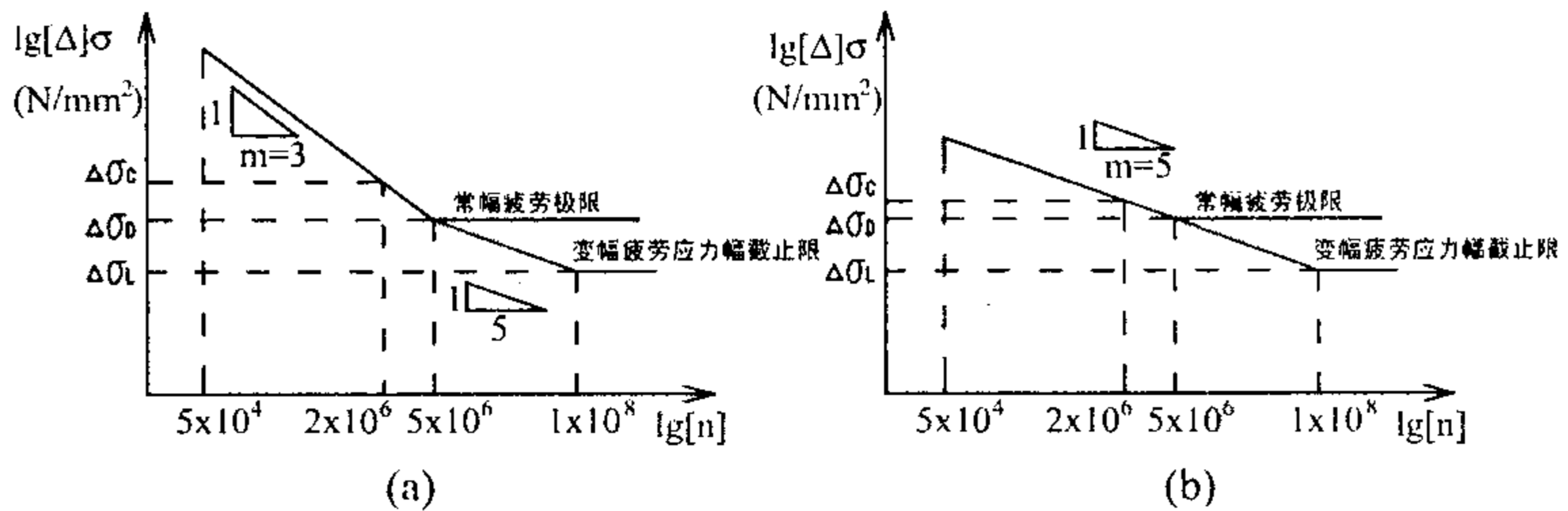


图 43  $S-N$  曲线

对于相贯连接的管节点,应分别验算主管和支管的疲劳。只有当主管和支管均满足疲劳验算的要求时,才可认为节点满足疲劳验算的要求。

8.2.6 本条参考 EC3 的相关条文提出了变幅疲劳的验算公式。该公式是基于目前国际上通用的 Miner 线性累计损伤原则提出的,Miner 线性累计损伤的基本原理见国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 第 6.2.3 条的条文说明。

对于变幅疲劳,随着疲劳裂缝的扩展,一些低于常幅疲劳极限的低应力幅仍将对疲劳损伤产生影响,常幅疲劳的疲劳极限并不适用,因此本条还引入了变幅疲劳应力幅截止限( $\Delta\sigma_l$ )的概念以考虑

低应力幅的影响,截止名义应力幅对应的循环次数  $n=1 \times 10^8$ 。

8.2.7 本条参考国家标准《钢结构设计规范》GB 50017—2003 的第 7.1.1 条、行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81—2002 的第 4.7.1 条以及 EC3 的相关条文。

8.2.8 本条参考《Recommended Fatigue Design Procedure for Welded Hollow Section Joints》(IIW 1999)的研究成果。

8.2.10 本条参考《Recommended Fatigue Design Procedure for Welded Hollow Section Joints》(IIW 1999)的相关规定。

8.2.11 本条提出的这些措施能缓解应力集中程度、消除焊缝缺口或在金属表层形成压缩残余应力,从而提高疲劳强度。

对于对接焊缝,打磨焊缝余高使得焊缝与母材之间的过渡更加平滑,降低了应力集中程度,从而提高疲劳强度。对于角焊缝,焊趾处经常存在由咬边形成的切口、焊渣侵入等焊接缺陷,为消除这些缺陷以改善疲劳性能,可以如图 44 所示的焊缝 B 那样打磨焊趾,不仅要磨去切口,还要再磨去  $0.5\text{mm} \sim 0.8\text{mm}$  以除去侵入的焊渣,如果只是像焊缝 A 那样磨去部分焊缝,疲劳强度提高不明显。采用气体保护钨弧重新熔化角焊缝的焊趾,只要重新熔化深度足够,可以消除原有的切口、裂缝及侵入的焊渣,从而提高疲劳强度。在焊接部位附近进行喷丸或锤击,可以产生残余压应力和冷作硬化,还能缓解切口的尖锐程度,从而提高该部位的疲劳强度。

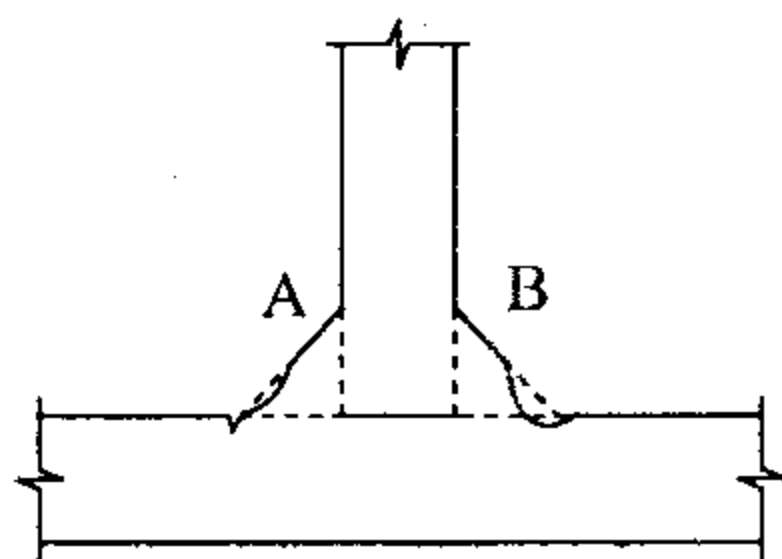


图 44 打磨角焊缝

虽然上述措施均能改善疲劳性能,但不同情况下效果究竟如何,研究的尚不充分。因此,只有在具备可靠依据时,才能在设计中利用由此带来的疲劳强度的提高。

## 9 施 工

### 9.1 一 般 规 定

**9.1.1** 本章是充分考虑了钢管结构的施工特点而制定的。在执行本规程的同时,尚应符合现行国家标准和行业标准的有关规定。

**9.1.2** 为确保工程质量和管管理,本条提出了钢管结构施工单位应具有相应的钢结构工程施工资质。施工详图应由制作单位根据已批准的设计文件编制。施工详图设计人员除了应详细了解原设计文件和现行工程规范,同时还应熟悉制作和安装的专业技术。

**9.1.3** 钢管结构构造较为复杂,应根据工程特点编制制作工艺。制作工艺应包括:制作中所依据的标准,制作厂的质量保证体系,成品的质量保证和为保证成品达到规定的要求而制订的措施,生产场地的布置、采用的加工、焊接设备和工艺装备,焊工和检查人员的资质证明,各类检查项目表格和生产进度计划表。

**9.1.4** 钢管结构施工单位在制作构造复杂的构件时,应根据构件的组成情况和受力情况确定其加工、组装以及焊接等方法,以保证构件的制作质量,必要时应进行工艺性试验。

**9.1.5** 本条对采用的钢材、焊接材料、连接材料和混凝土材料等为国家标准规定或设计文件规定使用的材料,故均应具有质量证明书并符合国家标准之规定和设计的要求。

### 9.2 放 样 和 号 料

**9.2.1** 放样和号料是钢结构制作的首道并且重要的工序。在放样和号料前,必须认真熟悉批准的施工详图、技术文件以及工艺要求,对施工详图进行详细核对,保证材料钢号、规格、外观质量符合要求,同时应预留焊接收缩量及切割、铣端等需要的加工余量,确

保钢结构产品质量。

### 9.3 加 工

**9.3.1** 钢管成型的方法应符合设计文件要求,采用辊压成型、冷弯成型、热完成成型等加工方法时,应充分注意材料所产生的冷加工硬化及开裂现象,严格控制退火处理及热弯时的温度。

本规程钢管构件加工允许偏差表 9.3.1-1 和 9.3.1-2 是分别参考现行国家标准《结构用无缝钢管》GB/T 8162 和现行行业标准《建筑结构用冷弯矩形钢管》JG/T 178 规定的。冷成型矩形管局部变形的纵向测量值参照现行国家标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 的有关规定内容。

**9.3.2** 钢材的切割有多种方法,切割时必须保证工艺的合理性,对不同材料和不同技术要求则应采用不同设备和不同的切割方法。钢管接口相贯线的加工宜采用数控相贯线切割机切割。此种方法自动化程度高,具有加工精度和外观质量好,切割面光洁等特点。

精密切割具有切割面平整、精度高等特点,可完成焊接坡口加工等。管端部压扁方法可根据管壁厚度选用常温或加热压扁方法。采用加热压扁方法时,必须清除氧化皮。

**9.3.3** 对焊接或其他原因引起的变形可采用加热矫正或机械矫正方法。矫正时应注意构件不出现明显的截面整体变形、褶皱和局部变形。

**9.3.4** 本规程表 9.3.4 弯管构件加工允许偏差是参考部分弯管专业工厂的企业标准规定的。

### 9.4 组 装

**9.4.1** 构件的组装工艺要根据钢管结构的特点确定组装顺序、收缩余量分配、定位点、累积误差等,避免出现隐蔽焊接。对冷成型矩形钢管构件组装焊接时,考虑成型钢管角部的冷作硬化影响,应

避免在角部区域进行定位焊接。定位焊采用的焊接材料,应与主体金属力学性能相匹配。

组装前,应检查各零部件的编号、数量、几何尺寸、变形等,保证合格。

**9.4.2** 本规程钢管桁架和构架外形尺寸允许偏差(表 9.4.2)是依据现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 相应规定,并根据近年来钢管结构工程的实践经验,结合一些钢结构企业的钢管结构工程施工技术标准增补了相关的规定。

## 9.5 焊 接

本节条文遵照国家现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 及现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。由于钢管结构的焊接具有曲线焊接量大,焊接位置和焊缝坡口连续变化,焊接可操作空间小等特点,因此在制定工艺文件和对焊工的技术要求应特别予以重视。

## 9.6 加 工 验 收

本节条文遵照现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定。

## 9.8 钢管节点区混凝土施工

圆钢管和矩形钢管节点内的混凝土施工分别遵照协会标准《钢管混凝土结构设计施工规程》CECS 28:90 和《矩形钢管混凝土结构技术规程》CECS 159:2004 的相关规定。