

中国工程建设标准化协会标准

钢管混凝土结构设计与 施 工 规 程

CECS 28:90

主编单位：哈尔滨建筑工程学院
中国建筑科学研究院

批准单位：中国工程建设标准化协会

批准日期：1990年 11 月 6 日

前 言

钢管混凝土是一种具有承载力高、塑性和韧性好、节省材料、方便施工等特点的新型组合结构材料，已在工业和民用建筑等工程中应用多年，取得了较好的技术经济效益。为了在钢管混凝土结构设计及施工中，更好地贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，原城乡建设环境保护部于1986年以城科字第263号文委托哈尔滨建筑工程学院和中国建筑科学研究院会同有关单位进行本规程的编制工作。经过向全国有关设计、科研、施工和高等院校等80个单位广泛征求意见，反复讨论、修改及试设计，最后由建筑工程标准研究中心组织审查定稿。

现批准《钢管混凝土结构设计与施工规程》，编号为CECS 28:90，并推荐给工程建设有关单位在设计和施工时使用。在使用过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和资料寄北京安外小黄庄中国建筑科学研究院（邮政编码：100013）。

中国工程建设标准化协会

1990年11月6日

目次

第一章 总则 11—4

第二章 材料 11—5

 第一节 钢管 11—5

 第二节 混凝土 11—5

第三章 基本设计规定 11—6

 第一节 一般规定 11—6

 第二节 承载力极限状态计算规定 11—6

 第三节 正常使用极限状态的变形验算规定 11—7

第四章 承载力计算 11—8

 第一节 单肢柱承载力计算 11—8

 第二节 格构柱承载力计算 11—10

 第三节 局部受压计算 11—14

第五章 变形计算 11—16

第六章 节点构造 11—16

 第一节 一般规定 11—16

 第二节 框架节点 11—17

 第三节 格构柱节点 11—19

 第四节 桁架节点 11—20

 第五节 柱脚 11—22

第七章 施工及质量要求 11—22

 第一节 钢管制作 11—22

 第二节 钢管拼接组装 11—23

 第三节 钢管柱吊装 11—24

 第四节 管内混凝土浇灌 11—25

附录一 柱的计算长度系数 11—26

附录二 本规程用词说明 11—33

附加说明 11—33

条文说明 11—34

主 要 符 号

A_s ——钢管横截面面积；
 A_c ——钢管内的混凝土横截面面积；
 A_{cor} ——螺旋套箍内的核心混凝土横截面面积；
 A_l ——局部受压面积；
 A_{sp} ——螺旋箍筋的横截面面积；
 a_c ——格构柱压肢重心至压强重心轴的距离；
 a_t ——格构柱拉肢重心至压强重心轴的距离；
 d ——钢管外径；
 d_{sp} ——螺旋圈的直径；
 E_s ——钢材弹性模量；
 E_c ——混凝土弹性模量；
 e_0 ——柱较大弯矩端的轴向压力对柱截面重心轴或压强重心轴的偏心距；
 f_s ——钢材抗拉、抗压强度设计值；
 f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
 f_{sp} ——螺旋箍筋的抗拉强度设计值；
 H ——悬臂柱的长度；阶形柱的长度；
 H^* ——格构式悬臂柱的长度；
 h ——格构柱在弯矩作用平面内的柱肢之间的距离；
 I_s ——钢管横截面面积对其重心轴的惯性矩；
 I_c ——钢管内的混凝土横截面面积对其重心轴的惯性矩；
 l ——钢管混凝土柱或构件的长度；
 l_e ——钢管混凝土柱或构件的等效计算长度；
 l_0 ——钢管混凝土柱或构件的计算长度；

l^* ——钢管混凝土格构柱的长度；
 l_e^* ——钢管混凝土格构柱的等效计算长度；
 l_0^* ——钢管混凝土格构柱的计算长度；
 M ——弯矩设计值；
 M_1 ——柱两端弯矩设计值之较小者；
 M_2 ——柱两端弯矩设计值之较大者；
 M_u ——构件的受弯极限承载力设计值；
 N ——轴向力设计值；
 N_0 ——钢管混凝土轴心受压短柱的极限承载力设计值；
 N_s ——构件的轴向受压极限承载力设计值；
 $N_{\%}^*$ ——格构柱在弯矩单独作用下的受压区各肢短柱轴心受压极限承载力设计值的总和；
 $N_{\%}^{\dagger}$ ——格构柱在弯矩单独作用下的受拉区各肢短柱轴心受压极限承载力设计值的总和；
 N_0^* ——格构柱整体的轴心受压短柱极限承载力设计值；
 N_s^* ——格构柱整体的轴向受压极限承载力设计值；
 N_w ——钢管混凝土局部受压的极限承载力设计值；
 r_c ——钢管的内半径；
 s ——螺旋圈的间距；
 t ——钢管的壁厚；
 V ——剪力的设计值；
 β ——柱两端弯矩设计值之较小者与较大者的比值；钢管混凝土的局部受压强度提高系数；
 β_{sp} ——螺旋筋套箍混凝土的局部受压强度提高系数；
 γ_0 ——结构重要性系数；
 ε_b ——界限偏心率；
 θ ——钢管混凝土的套箍指标；
 θ_t ——格构柱拉区柱肢的套箍指标；
 θ_{sp} ——螺旋筋套箍混凝土的套箍指标；

k ——柱的等效长度系数;
 λ ——长细比;
 λ^* ——格构柱的长细比;
 μ ——柱的计算长度系数;
 $\rho_{s,sp}$ ——螺旋箍筋的体积配筋率。

第一章 总 则

第1.0.1条 为了在钢管混凝土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、经济合理、安全适用、确保质量,特制订本规程。

第1.0.2条 本规程适用于工业与民用建筑及构筑物的钢管混凝土结构设计及施工。本规程所指的钢管混凝土是指在圆形钢管内填灌混凝土的钢管混凝土结构。

第1.0.3条 本规程是根据国家标准《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84)规定的原则进行制订的。符号、计量单位和基本术语按照国家标准《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》(GBJ83-85)的规定采用。

第1.0.4条 按本规程设计和施工时,除本规程有明确规定外,荷载应按国家标准《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)的规定执行;设计尚应符合国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17-88)、《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)和《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)的要求;材料和施工的质量尚应符合国家标准《钢结构工程施工及验收规范》(GBJ205-83)和《混凝土结构工程施工及验收规范》(GBJ204-83)的要求。

第1.0.5条 钢管混凝土结构表面的温度不宜超过100℃;当超过100℃时,应采取有效的防护措施。

第1.0.6条 对有防火和防腐蚀要求的结构,应按有关的专门规定,作防火和防腐蚀处理。

第二章 材 料

第一节 钢 管

第2.1.1条 管材的选用，应符合《钢结构设计规范》(GBJ 17-88)的有关规定。

第2.1.2条 钢管可采用直缝焊接管、螺旋形缝焊接管和无缝钢管。焊接必须采用对接焊缝，并达到与母材等强的要求。

第2.1.3条 钢材的弹性模量和强度设计值，应按表2.1.3采用。

钢材的弹性模量和强度设计值 表2.1.3

钢 号	钢 材 厚 度 $t(\text{mm})$	抗拉、抗压强度设计值 $f_t(\text{N/mm}^2)$	弹 性 模 量 $E_s(\text{N/mm}^2)$
3 号 钢	<20	215	206×10^3
	21~40	200	
	41~50	190	
16Mn 钢	< 6	315	206×10^3
	17~25	300	
	26~30	290	
16MnV 钢	<16	350	206×10^3
	17~25	335	
	26~30	320	

注：3号镇静钢的强度设计值应按表中数值提高5%。

第二节 混 凝 土

第2.2.1条 混凝土采用普通混凝土，其强度等级不宜低于

C30。

混凝土强度等级系指以150mm的立方体试件，在28d龄期，用标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度值（以 N/mm^2 计）。

第2.2.2条 混凝土的弹性模量和强度设计值应按表2.2.2采用。

混凝土弹性模量和强度设计值 表2.2.2

混凝土强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
抗压设计强度 f_c (N/mm^2)	15	17.5	19.5	21.5	23.5	25	26.5
抗拉设计强度 f_t (N/mm^2)	1.5	1.65	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
弹性模量 E_c (N/mm^2)	3×10^4	3.15×10^4	3.25×10^4	3.35×10^4	3.45×10^4	3.55×10^4	3.6×10^4

第三章 基本设计规定

第一节 一般规定

第3.1.1条 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计法，用分项系数的设计表达式进行计算。

第3.1.2条 结构的极限状态系指结构或构件能满足设计规定的某一功能要求的临界状态；超过这一状态，结构或构件便不再能满足设计要求。

极限状态可分为下列两类：

一、承载能力极限状态：这种极限状态对应于结构或构件达到最大承载力或达到不适于继续承载的变形。

二、正常使用极限状态：这种极限状态对应于结构或构件达到正常使用的某项规定限值。

第3.1.3条 结构或构件应根据承载能力极限状态和正常使用极限状态，分别按下列规定进行计算和验算：

一、承载力：所有结构或构件均应进行承载力计算，计算时采用荷载设计值，对动力荷载尚应乘动力系数。

二、变形：对使用上需控制变形值的结构或构件，应进行变形验算，验算时采用相应的荷载代表值，对动力荷载不应乘动力系数。

第3.1.4条 钢管混凝土结构或构件之间的连接，以及施工安装阶段（混凝土浇灌前和混凝土硬结前）的承载力、变形和稳定性，应按钢结构进行设计。

第3.1.5条 钢管混凝土构件宜满足下列要求：

一、钢管外径不宜小于100mm；壁厚不宜小于4mm。

二、钢管外径与壁厚之比值 d/t ，宜限制在20到 $85\sqrt{235/f_y}$ 之间，此处 f_y 为钢材屈服强度（或屈服点）：对3号钢，取 $f_y=235\text{N/mm}^2$ ；对16Mn钢，取 $f_y=345\text{N/mm}^2$ ；对15MnV钢，取 $f_y=390\text{N/mm}^2$ ；对于一般承重柱，可取 $d/t=70$ 左右；对于桁架结构，可取 $d/t=25$ 左右。

三、套箍指标 θ 宜限制在0.3到3之间。

四、长细比不宜超过表3.1.5的限值。

构件的容许长细比 表3.1.5

项次	构件名称	容许长细比	
		l/d	λ
1	桁架	单肢柱	20
		格构柱	—
2	桁架	30	80
3	其他	35	140

第二节 承载能力极限状态计算规定

第3.2.1条 根据建筑结构破坏后果（危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等）的严重程度，建筑结构应按表3.2.1

建筑结构的等级 表3.2.1

安全等级	破坏后果	建筑物类型
一级	很严重	重要的建筑物
二级	严重	一般的建筑物
三级	不严重	次要的建筑物

注：对有特殊要求的建筑物，其安全等级可根据具体情况另行确定。

划分为三个安全等级。设计时根据具体情况，选用适当的安全等级。

第3.2.2条 建筑物中各类结构构件的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同。对其中部分结构构件的安全等级可进行调整，但不得低于三级。

第3.2.3条 结构构件的承载力设计应采用下列极限状态设计表达式：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (3.2.3-1)$$

$$R = R(f_c, f_s, a_k \dots) \quad (3.2.3-2)$$

式中 γ_0 ——结构构件的重要性系数，对安全等级为一级、二级、三级的结构构件，可分别取1.1，1.0，0.9；在抗震设计中，不考虑结构构件的重要性系数；

S ——内力组合设计值，按国家标准《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)和《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)的规定进行计算；

R ——结构构件的承载力设计值；

$R(\cdot)$ ——结构构件的承载力函数；

f_c, f_s ——混凝土、钢材的强度设计值；

a_k ——几何参数的标准值。

注：本规程的内力设计值(Δ 、 M 、 V 等)为已乘重要性系数 γ_0 以后的值。

第三节 正常使用极限状态的变形验算规定

第3.3.1条 对正常使用极限状态，结构构件应分别按荷载的短期效应组合和长期效应组合进行验算，并应保证变形不超过相应的规定限值。

荷载的短期效应组合和长期效应组合应按国家标准《建筑结构荷载规范》(GBJ9-87)和《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)的规定进行计算。

第3.3.2条 钢管混凝土结构在正常使用极限状态下的变形限值应符合国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17-88)、《建筑抗震设计规范》(GBJ11-89)及其他有关规范的规定。

第四章 承载力计算

第一节 单肢柱承载力计算

第4.1.1条 钢管混凝土单肢柱的轴向受压承载力应满足下列要求:

$$N \leq N_u \quad (4.1.1)$$

式中 N ——轴向压力设计值;

N_u ——钢管混凝土单肢柱的承载力设计值。

第4.1.2条 钢管混凝土单肢柱的承载力应按下列公式计算:

$$N_u = \varphi_1 \varphi_e N_0 \quad (4.1.2-1)$$

$$N_0 = f_c A_c (1 + \sqrt{\theta} + \theta) \quad (4.1.2-2)$$

$$\theta = f_s A_s / f_c A_c \quad (4.1.2-3)$$

式中 N_0 ——钢管混凝土轴心受压短柱的承载力设计值;

θ ——钢管混凝土的套箍指标;

f_c ——混凝土的抗压强度设计值;

A_c ——钢管内混凝土的横截面面积;

f_s ——钢管的抗拉、抗压强度设计值;

A_s ——钢管的横截面面积;

φ_1 ——考虑长细比影响的承载力折减系数,按本章第4.1.4条确定;

φ_e ——考虑偏心率影响的承载力折减系数,按本章第4.1.3条确定。

在任何情况下均应满足下列条件:

$$\varphi_1 \varphi_e \leq \varphi_0 \quad (4.1.2-4)$$

式中 φ_0 ——按轴心受压柱考虑的 φ_1 值。

第4.1.3条 钢管混凝土柱考虑偏心影响的承载力折减系数 φ_e ,应按下列公式计算:

一、当 $e_0/r_0 \leq 1.55$ 时:

$$\varphi_e = 1 / (1 + 1.85e_0/r_0) \quad (4.1.3-1)$$

$$e_0 = M_2/N \quad (4.1.3-2)$$

二、当 $e_0/r_0 > 1.55$ 时:

$$\varphi_e = 0.4 / (e_0/r_0) \quad (4.1.3-3)$$

式中 e_0 ——柱较大弯矩端的轴向压力对构件截面重心的偏心距;

r_0 ——钢管的内半径;

M_2 ——柱两端弯矩设计值之较大者;

N ——轴向压力设计值。

第4.1.4条 钢管混凝土柱考虑长细比影响的承载力折减系数 φ_1 ,应按下列公式计算:

一、当 $l_0/d > 4$ 时:

$$\varphi_1 = 1 - 0.115\sqrt{l_0/d - 4} \quad (4.1.4-1)$$

二、当 $l_0/d \leq 4$ 时:

$$\varphi_1 = 1 \quad (4.1.4-2)$$

式中 d ——钢管外径;

l_0 ——柱的等效计算长度,按本章第4.1.5条和第4.1.6条的规定确定。

第4.1.5条 对于两支承点之间无横向荷载作用的框架柱和杆件,其等效长度应按下列公式确定:

$$l_0 = kl_0 \quad (4.1.5-1)$$

$$l_0 = \mu l \quad (4.1.5-2)$$

式中 l_0 ——框架柱或杆件的计算长度(图4.1.5);

l ——框架柱或杆件的长度;

k ——等效长度系数;

μ ——计算长度系数,对无侧移框架应按附录一附表1.1

确定,对有侧移框架,应按附录一附表1.2确定。
等效长度系数应按下列规定计算(图4.1.5)。

一、轴心受压柱和杆件:

$$k=1 \quad (4.1.5-3)$$

二、无侧移框架柱:

$$k=0.5+0.3\beta+0.2\beta^2 \quad (4.1.5-4)$$

三、有侧移框架柱:

1. 当 $e_0/r_0 \geq 0.8$ 时

$$k=0.5 \quad (4.1.5-5)$$

2. 当 $e_0/r_0 < 0.8$ 时

$$k=1-0.622e_0/r_0 \quad (4.1.5-6)$$

式中 β ——柱两端弯矩设计值之较小者与较大者的比值, $\beta = M_1/M_2$, $|M_1| \leq |M_2|$, 单曲压弯者取正值, 双曲压弯者取负值。

注: 无侧移框架系指框架中设有支撑架、剪力墙、电梯井等支撑结构, 且支撑结构的抗侧移刚度等于或大于框架本身抗侧移刚度的5倍者。有侧移框架系指框架中未设上述支撑结构或支撑结构的抗侧移刚度小于框架本身抗侧移刚度的5倍者。

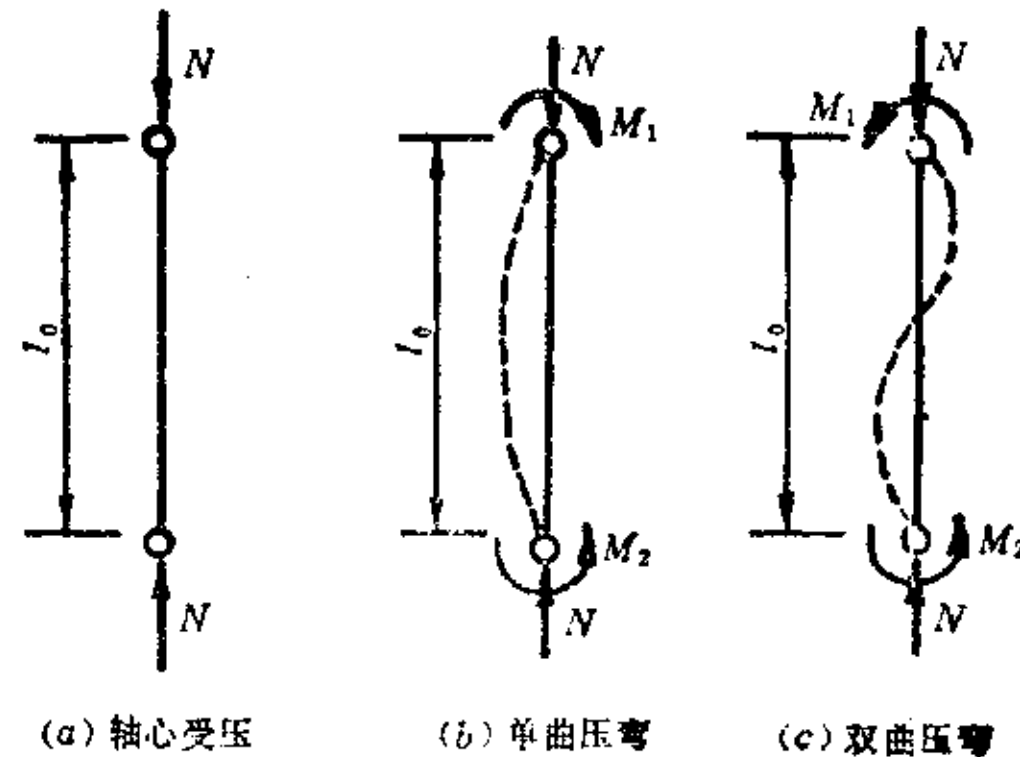


图4.1.5 无侧移框架柱

第4.1.6条 悬臂柱(图4.1.6)的等效计算长度应按下列公式确定。

$$l_e = kH \quad (4.1.6-1)$$

式中 H ——悬臂柱的长度,

k ——等效长度系数。

悬臂柱的等效长度系数应按下列规定计算, 并取其中之较大者。

当嵌固端的偏心率 $e_0/r_0 \geq 0.8$ 时:

$$k=1 \quad (4.1.6-2)$$

当嵌固端的偏心率 $e_0/r_0 < 0.8$ 时:

$$k=2-1.25e_0/r_0 \quad (4.1.6-3)$$

当悬臂柱的自由端有力矩 M_1 作用时:

$$k=1+\beta \quad (4.1.6-4)$$

式中 β ——悬臂柱自由端的力矩设计值 M_1 与嵌固端的弯矩设计值 M_2 之比值, 当 β 为负值(双曲压弯)时, 则按反弯点所分割成的高度为 H_2 的子悬臂柱计算(图4.1.6(b))。

注: 嵌固端系指相交于柱的横梁的线刚度与柱的线刚度之比不小于4者, 或柱基础的长和宽均不小于柱直径的4倍者。

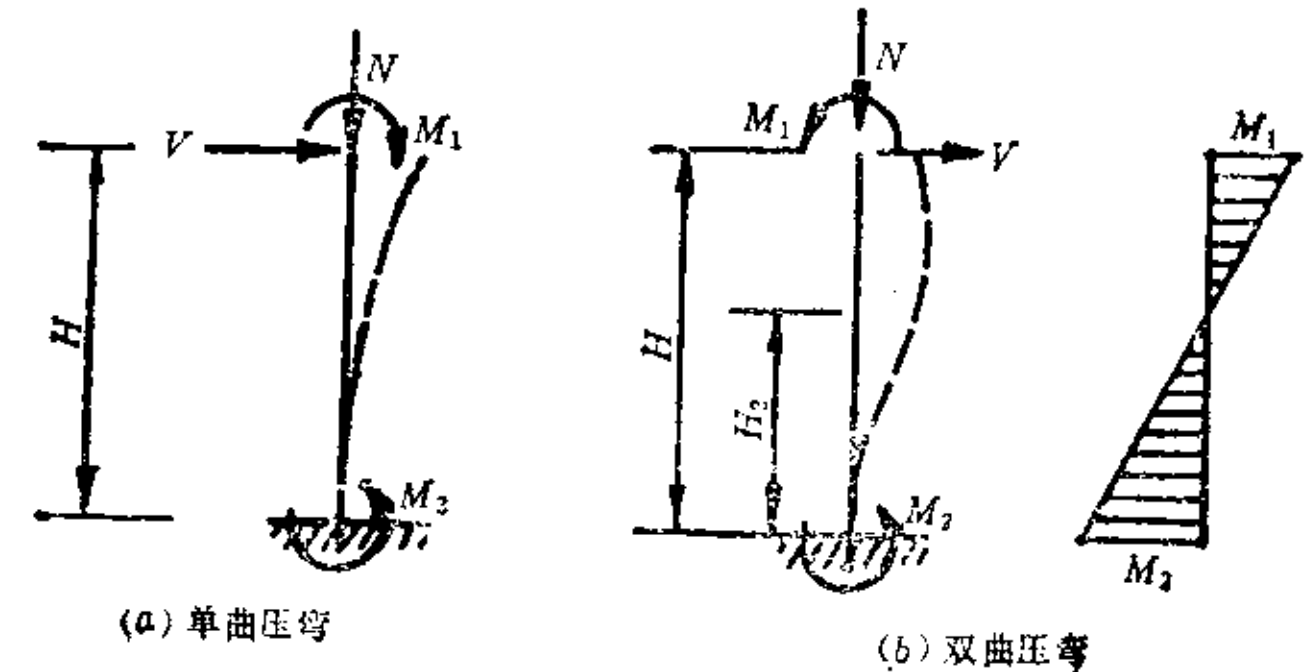
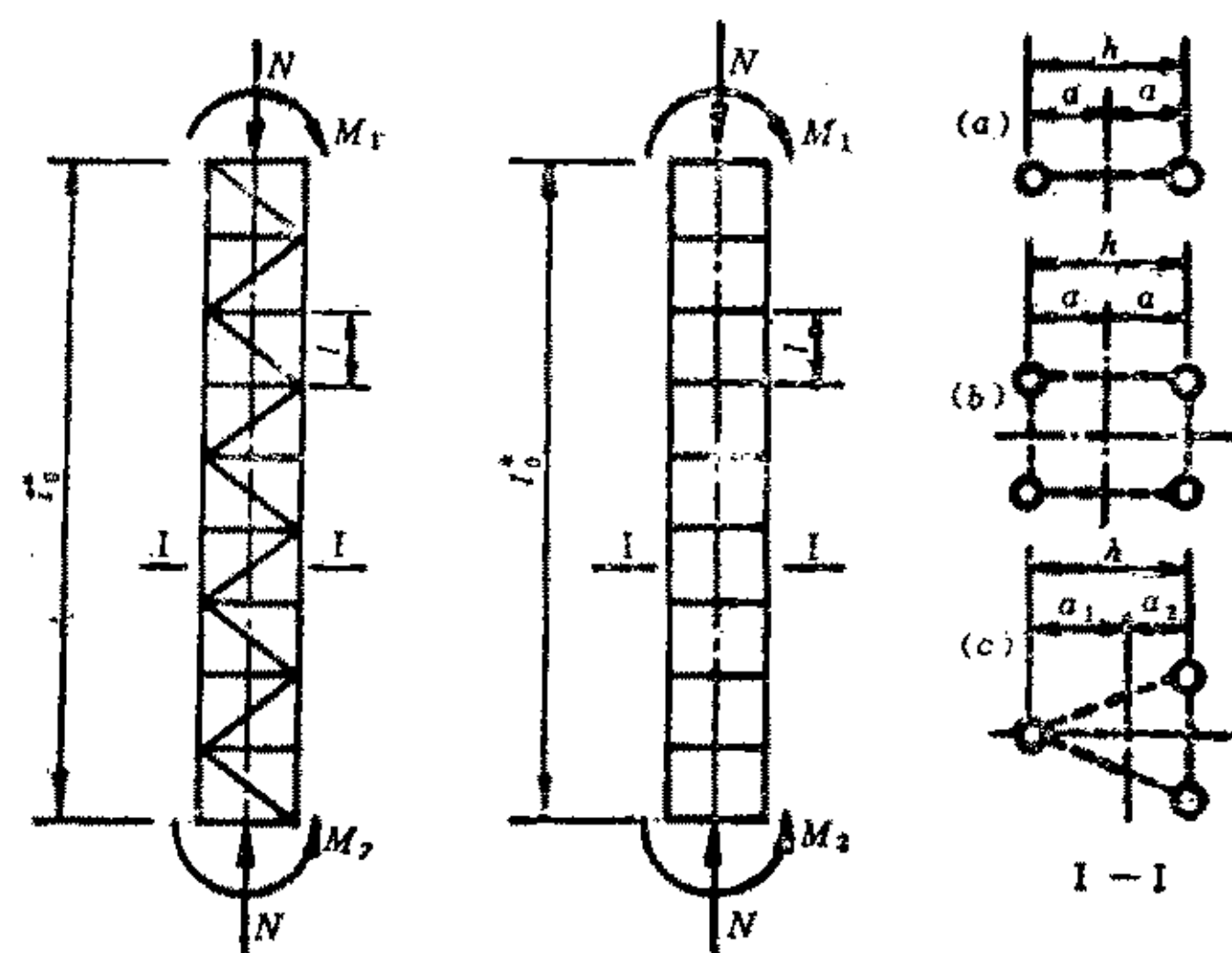


图4.1.6 悬臂柱

第二节 格构柱承载力计算

第4.2.1条 由双肢或多肢钢管混凝土柱肢组成的格构柱(图4.2.1), 应分别对单肢承载力和整体承载力两种情况进行计算。



(a) 等截面双肢柱 (b) 等截面四肢柱 (c) 三肢柱

图4.2.1 格构柱

第4.2.2条 格构柱的单肢承载力计算, 首先应按桁架确定其单肢的轴向力, 然后按压肢和拉肢分别进行承载力计算。压肢的承载力应按本章第一节的公式计算, 其长度在桁架平面内取格构柱节间长度 l (图4.2.1); 在垂直于桁架平面方向则取侧向支撑点的间距。拉肢的承载力应按钢结构拉杆计算, 不考虑混凝土的抗拉强度。

第4.2.3条 格构柱缀件的构造和计算, 应符合《钢结构设计规范》(GBJ17-88)的有关规定。格构柱的缀件, 应能承受下列

剪力中之较大者, 剪力 V 值可认为沿格构柱全长不变。

一、实际作用于格构柱上的横向剪力设计值。

二、 $V = N^*_{0}/85$ (4.2.3)

式中 N^*_{0} ——格构柱轴心受压短柱的承载力设计值, 按公式(4.2.5-2)确定。

第4.2.4条 格构柱的整体承载力应满足下列要求:

$$N \leq N^*_{0} \quad (4.2.4)$$

式中 N^*_{0} ——格构柱的整体承载力设计值。

第4.2.5条 格构柱的整体承载力设计值应按下列公式计算:

$$N^*_{0} = \varphi^*_1 \varphi^*_e N^*_{01} \quad (4.2.5-1)$$

$$N^*_{01} = \sum_{i=1}^n N^*_{0i} \quad (4.2.5-2)$$

式中 N^*_{01} ——格构柱各单肢柱的轴心受压短柱承载力设计值, 按公式(4.1.2-2)确定;

φ^*_1 ——考虑长细比影响的整体承载力折减系数, 按本章第4.2.8条的公式确定;

φ^*_e ——考虑偏心率影响的整体承载力折减系数, 按本章第4.2.6条的公式确定。

在任何情况下都应满足下列条件:

$$\varphi^*_1 \varphi^*_e \leq \varphi^*_0 \quad (4.2.5-3)$$

式中 φ^*_0 ——按轴心受压柱考虑的 φ^*_1 值。

第4.2.6条 格构柱考虑偏心率影响的整体承载力折减系数 φ^*_e 应按下列公式计算:

一、对于对称截面的双肢柱和四肢柱:

1. 当偏心率 $e_0/h \leq e_0$ 时:

$$\varphi^*_e = \frac{1}{1 + 2e_0/h} \quad (4.2.6-1)$$

2. 当偏心率 $e_0/h > e_0$ 时:

$$\varphi^* = \frac{\theta_t}{(1 + \sqrt{\theta_t + \theta_c})(2e_0/h - 1)} \quad (4.2.6-2)$$

二、对于三肢柱和不对称截面的多肢柱:

1. 当偏心率 $e_0/h \leq e_b$ 时:

$$\varphi^* = \frac{1}{1 + e_0/a_t} \quad (4.2.6-3)$$

2. 当偏心率 $e_0/h > e_b$ 时:

$$\varphi^* = \frac{\theta_t}{(1 + \sqrt{\theta_t + \theta_c})(e_0/a_c - 1)} \quad (4.2.6-4)$$

式中 e_b ——界限偏心率, 按本章第4.2.7条的规定确定;

e_0 ——柱较大弯矩端的轴向压力对格构柱压强重心轴的偏心距, $e_0 = M_e/N$, 其中 M_e 为柱两端弯矩中之较大者;

h ——在弯矩作用平面内的柱肢重心之间的距离;

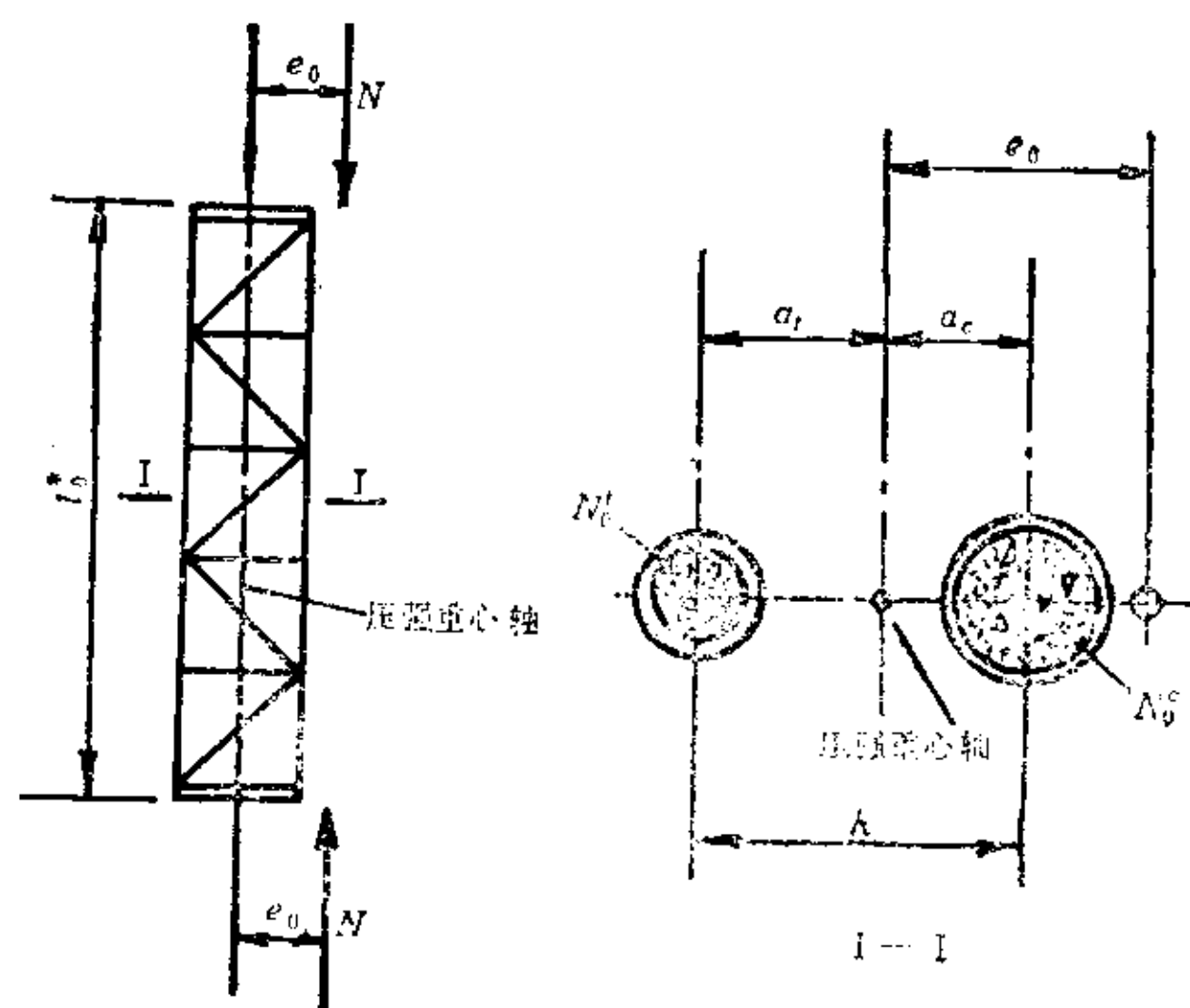


图4.2.6 格构柱计算简图

a_t 、 a_c ——弯矩单独作用下的受拉区柱肢的重心、受压区柱肢的重心至格构柱压强重心轴的距离(图4.2.6): $a_t = hN'_0/N^*_0$, $a_c = hN/N^*_0$, 其中 N^*_0 为受压区各柱肢短柱轴心受压承载力设计值的总和, N'_0 为受拉区各柱肢短柱轴心受压承载力设计值之总和, $N^*_0 = N'_0 + N'_0$;

θ_t ——受拉区柱肢的套箍指标, 按公式(4.1.2-3)计算。

第4.2.7条 格构柱的界限偏心率 e_b 应按下列公式计算:

一、对于对称截面的双肢柱和四肢柱:

$$e_b = 0.5 + \frac{\theta_t}{1 + \sqrt{\theta_t}} \quad (4.2.7-1)$$

二、对于三肢柱和不对称截面的多肢柱:

$$e_b = \frac{2N'_0}{N^*_0} \left(0.5 + \frac{\theta_t}{1 + \sqrt{\theta_t}} \right) \quad (4.2.7-2)$$

第4.2.8条 格构柱考虑长细比影响的整体承载力折减系数 φ^* 应按下列公式计算:

$$\varphi^*_1 = 1 - 0.0575\sqrt{\lambda^* - 16} \quad (4.2.8-1)$$

当 $\lambda^* \leq 16$ 时, 取 $\varphi^*_1 = 1$ 。

格构柱的换算长细比 λ^* 应按下列公式计算:

一、双肢格构柱(图4.2.8a):

1. 当缀件为缀板时:

$$\lambda^*_1 = \sqrt{\left(l^* / \sqrt{\frac{I_y}{A_0}} \right)^2 + 16 \left(\frac{l}{d} \right)^2} \quad (4.2.8-2)$$

2. 当缀件为缀条时:

$$\lambda^*_1 = \sqrt{\left(l^* / \sqrt{\frac{I_y}{A_0}} \right)^2 + 27 A_0' / A_{1r}} \quad (4.2.8-3)$$

二、四肢格构柱(图4.2.8b):

1. 当缀件为缀板时:

$$\lambda^*_{\text{x}} = \sqrt{\left(l^*_{\text{x}} / \sqrt{\frac{I_{\text{x}}}{A_0}}\right)^2 + 16\left(\frac{l}{d}\right)^2} \quad (4.2.8-4)$$

$$\lambda^*_{\text{y}} = \sqrt{\left(l^*_{\text{y}} / \sqrt{\frac{I_{\text{y}}}{A_0}}\right)^2 + 16\left(\frac{l}{d}\right)^2} \quad (4.2.8-5)$$

2. 当缀件为缀条时:

$$\lambda^*_{\text{x}} = \sqrt{\left(l^*_{\text{x}} / \sqrt{\frac{I_{\text{x}}}{A_0}}\right)^2 + 40A_0/A_{1\text{x}}} \quad (4.2.8-6)$$

$$\lambda^*_{\text{y}} = \sqrt{\left(l^*_{\text{y}} / \sqrt{\frac{I_{\text{y}}}{A_0}}\right)^2 + 40A_0/A_{1\text{y}}} \quad (4.2.8-7)$$

三、缀件为缀条的三肢格构柱 (图4.2.8c):

$$\lambda^*_{\text{x}} = \sqrt{\left(l^*_{\text{x}} / \sqrt{\frac{I_{\text{x}}}{A_0}}\right)^2 + \frac{42A_0}{A_1(1.5 - \cos^2\alpha)}} \quad (4.2.8-8)$$

$$\lambda^*_{\text{y}} = \sqrt{\left(l^*_{\text{y}} / \sqrt{\frac{I_{\text{y}}}{A_0}}\right)^2 + \frac{42A_0}{A_1\cos^2\alpha}} \quad (4.2.8-9)$$

式中 l^* ——格构柱的等效计算长度,按第4.2.9条、第4.2.10条和第4.2.11条确定;

I_{x} ——格构柱横截面换算面积对x轴的惯性矩;

I_{y} ——格构柱横截面换算面积对y轴的惯性矩;

A_0 ——格构柱横截面所截各分肢换算截面面积之和, $A_0 = \sum_i A_{s,i} + \frac{E_s}{E_c} \sum_i A_{c,i}$, 其中 $A_{s,i}$ 、 $A_{c,i}$ 分别为第 i 分肢的钢管横截面面积和钢管内混凝土横截面面积;

l ——格构柱节间长度;

d ——钢管外径;

$A_{1\text{x}}$ ——格构柱横截面中垂直于x轴的各斜缀条毛截面面积之和;

$A_{1\text{y}}$ ——格构柱横截面中垂直于y轴的各斜缀条毛截面面积之和;

α ——构件截面内缀条所在平面与x轴的夹角 (图4.2.8c), 应在 $40^\circ \sim 70^\circ$ 范围内。

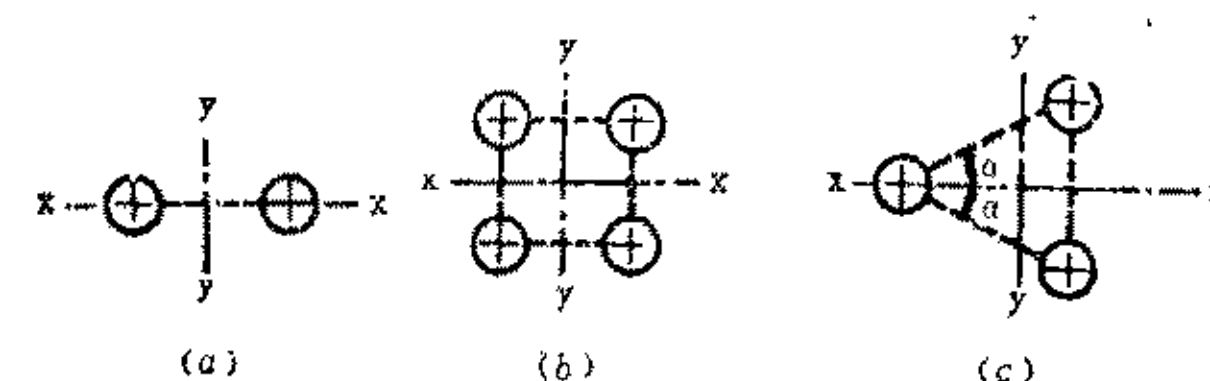


图4.2.8 格构柱截面

第4.2.9条 对于两支承点之间无横向力作用的格构式框架柱和构件, 其等效计算长度应按下列公式确定:

$$l^*_0 = k l^* \quad (4.2.9-1)$$

$$l^*_0 = \mu l^* \quad (4.2.9-2)$$

式中 l^*_0 ——格构柱或构件的计算长度 (图4.2.9);

l^* ——格构柱或构件的长度;

k ——等效长度系数;

μ ——框架柱的计算长度系数, 对无侧移框架应按附录一附表1.1确定, 对有侧移框架, 应按附录一附表1.2确定。

等效长度系数应按下列规定计算 (图4.2.9):

一、轴心受压柱和杆件:

$$k=1 \quad (4.2.9-3)$$

二、无侧移框架柱:

$$k=0.5+0.3\beta+0.2\beta^2 \quad (4.2.9-4)$$

三、有侧移框架柱:

1. 当 $e_0/h \geq 0.5e_b$ 时:

$$k=0.5 \quad (4.2.9-5)$$

2. 当 $e_0/h < 0.5e_b$ 时:

$$k=1 - (e_0/h) / e_b$$

式中 β ——柱两端弯矩设计值之较小者与较大者的比值, $\beta = M_1/M_2$, $|M_1| \leq |M_2|$, 单曲压弯者取正值, 双曲压弯者取负值。

注: 有端侧移和端侧移假定的计算长度按4.1.6条确定。

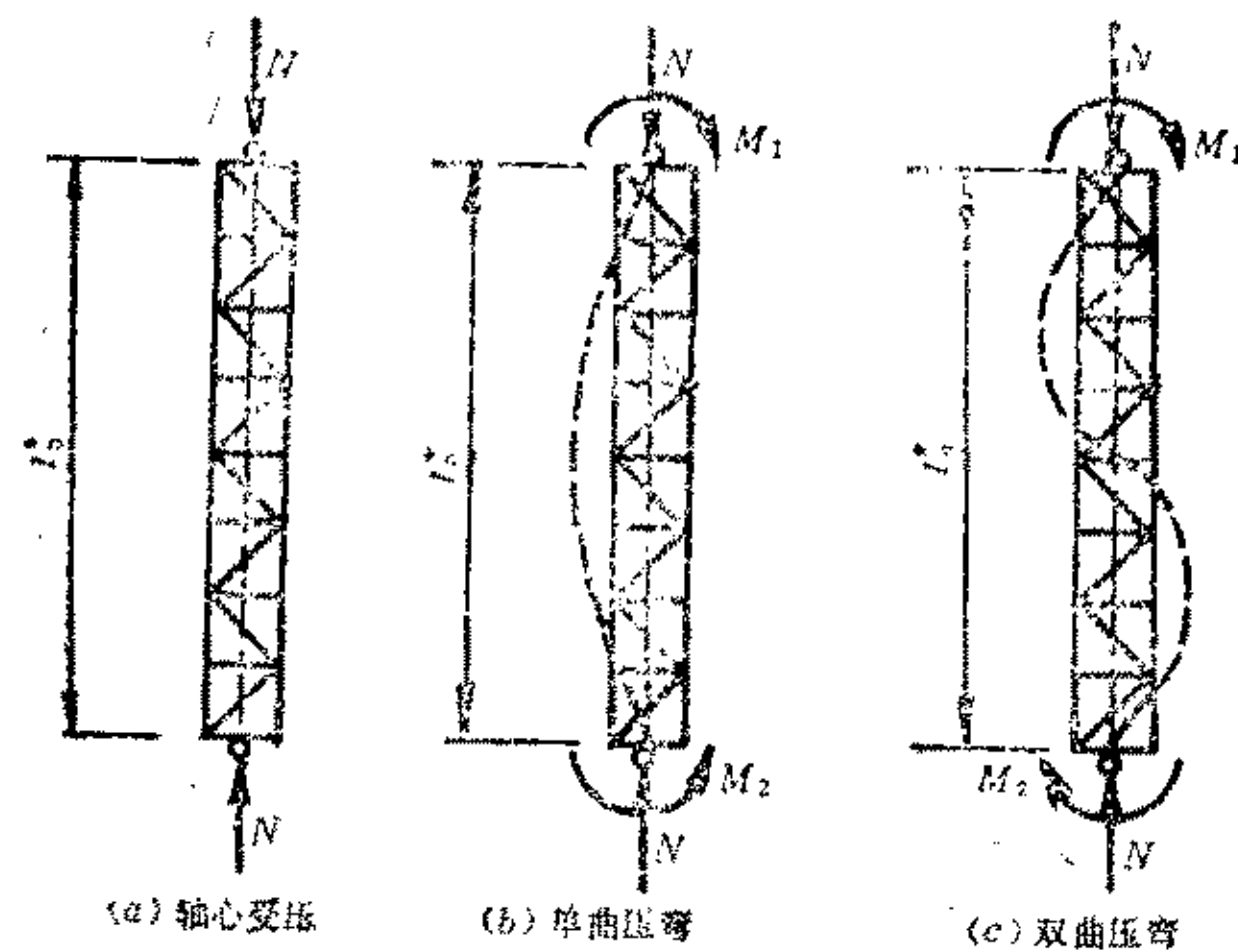


图4.2.9 格构式无侧移框架柱

第4.2.10条 格构式悬臂柱的等效计算长度应按下列公式确定 (图4.2.10) :

$$l^* = kH^* \quad (4.2.10-1)$$

式中 H^* ——格构式悬臂柱的长度;

k ——等效长度系数。

格构式悬臂柱的等效长度系数应按下列规定计算, 并取其中之较大者:

一、当嵌固端的偏心率 $e_0/h \geq 0.5e_k$ 时:

$$k=1 \quad (4.2.10-1)$$

当嵌固端的偏心率 $e_0/h < 0.5e_k$ 时:

$$k=2-2(e_0/h)/e_k \quad (4.2.10-2)$$

二、当悬臂柱的自由端有力矩 M_1 作用时:

$$k=1+\beta \quad (4.2.10-3)$$

式中 β ——悬臂柱自由端的力矩设计值 M_1 与嵌固端的弯矩设计值 M_2 之比值, $\beta = M_1/M_2$, 当 β 为负值 (双曲压弯) 时, 则按反弯点所分割成的高度为 H_0 的子悬臂柱计算 (图4.2.10 (b)) ;

e_k ——界限偏心率, 按第4.2.7条计算。

注: 嵌固端的定义见第4.1.6条的注。

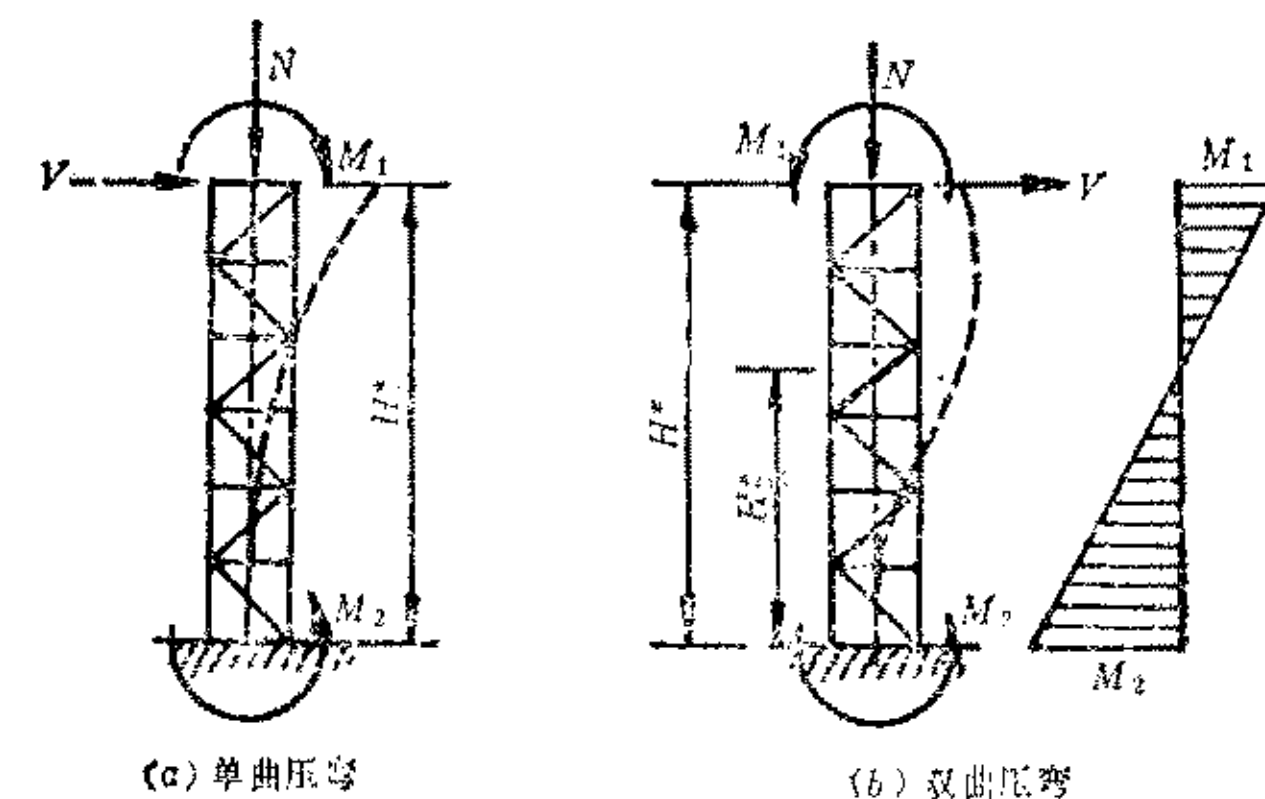


图4.2.10 格构式悬臂柱

第4.2.11条 单层厂房框架下柱脚柱固定的阶形格构柱, 各阶柱段在框架平面内的等效计算长度应按下列公式确定:

$$l^*_{*i} = \mu_i H_i \quad (4.2.11-1)$$

式中 H_i ——相应各阶柱段的长度;

μ_i ——相应各阶柱段的计算长度系数。

计算长度系数 μ_i 应按下列规定确定:

一、单阶柱。

1. 下段柱的计算长度系数 μ_2 ：当柱上端与横梁铰接时，等于按附录一附表1.3（柱上端为自由的单阶柱）的数值乘以表4.2.11的折减系数；当柱上端与横梁刚接时，等于按附录一附表1.4（柱上端可移动但不转动的单阶柱）的数值乘以表4.2.11的折减系数。

2. 上柱段的计算长度系数 μ_1 ，应按下式计算：

$$\mu_1 = \mu_2 / \eta_1 \quad (4.2.11-2)$$

式中 η_1 ——参数，按附录一附表1.3或附表1.4中的公式计算。

二、双阶柱。

1. 下段柱的计算长度系数 μ_3 ：当柱上端与横梁铰接时，等于按附录一附表1.5（柱上端为自由的双阶柱）的数值乘以表4.2.11的折减系数；当柱上端与横梁刚接时，等于按附录一附表1.6（柱上端可移动但不转动的双阶柱）的数值乘以表4.2.11的折减系数。

单层厂房阶形柱计算长度的折减系数 表4.2.11

厂 房 类 型				折 减 系 数
单 跨 或 多 跨	纵向温度区段内 一个柱列的柱子 数	屋 面 情 况	厂房两侧是否有通 长的屋盖纵向水平 支撑	
单 跨	等于或少于6个	—	—	0.9
	多于6个	非大型屋面板	无纵向水平支撑	
		屋面	有纵向水平支撑	0.8
		大型屋面板屋面	—	
多 跨	—	非大型屋面板	无纵向水平支撑	0.7
		屋面	有纵向水平支撑	
		大型屋面板屋面	—	

注：有横梁的露天结构（如落锤车间等），其折减系数可采用0.9。

2. 上段柱和中段柱的计算长度系数 μ_1 和 μ_2 ，应按下列公式计算：

$$\mu_1 = \mu_2 / \eta_1 \quad (4.2.11-3)$$

$$\mu_2 = \mu_3 / \eta_2 \quad (4.2.11-4)$$

式中 η_1 、 η_2 ——参数，按附录一附表1.5或附表1.6中的公式计算。

第三节 局部受压计算

第4.3.1条 钢管混凝土的局部受压应满足下列条件：

$$N \leq N_{\text{ul}}$$

式中 N ——轴向压力设计值；

N_{ul} ——钢管混凝土在局部受压下的承载力设计值。

第4.3.2条 钢管混凝土在局部受压下的承载力设计值应按下列公式计算（图4.3.2）：

$$N_{\text{ul}} = f_c A_l (1 + \sqrt{\theta} + \theta) \beta \quad (4.3.2-1)$$

$$\beta = \sqrt{A_c / A_l} \quad (4.3.2-2)$$

式中 A_l ——局部受压面积；

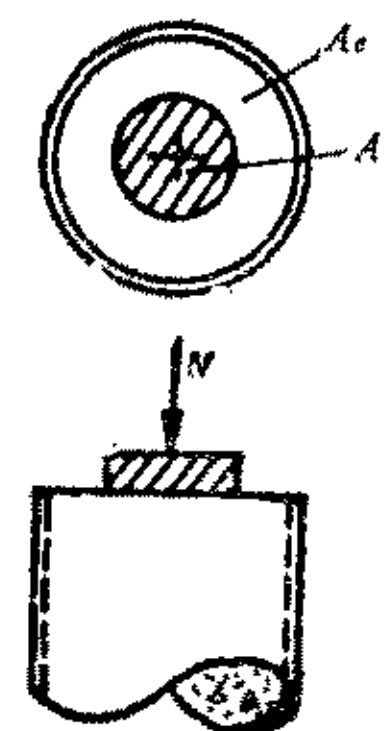


图4.3.2 钢管混凝土局部受压

β ——钢管混凝土的局部受压强度提高系数，当 β 值大于3时，取等于3；

θ ——钢管混凝土的套箍指标，按公式(4.1.2-3)计算确定；

A_c ——钢管内混凝土的横截面面积；

f_c ——混凝土的抗压强度。

第4.3.3条 配有螺旋箍筋加强的钢管混凝土在局部受压下的承载力设计值应按下列公式计算(图4.3.3)：

$$N_{s1} = f_c A_1 [(1 + \sqrt{\theta} + \theta) \beta + (\sqrt{\theta_{sp}} + \theta_{sp}) \beta_{sp}] \quad (4.3.3-1)$$

$$\beta_{sp} = \sqrt{A_{cor} / A_1} \quad (4.3.3-2)$$

$$\theta_{sp} = \rho_{v,sp} f_{sp} / f_c \quad (4.3.3-3)$$

$$\rho_{v,sp} = \frac{A_{sp}}{s d_{sp}} \quad (4.3.3-4)$$

式中 β_{sp} ——螺旋箍混凝土的局部受压强度提高系数；

θ_{sp} ——螺旋箍混凝土的套箍指标；

A_{cor} ——螺旋箍内的核心混凝土横截面面积；

f_{sp} ——螺旋箍筋的抗拉强度设计值，按《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)取值；

$\rho_{v,sp}$ ——螺旋箍筋的体积配筋率；

A_{sp} ——螺旋箍筋的横截面面积；

d_{sp} ——螺旋圈的直径；

s ——螺旋圈的间距。

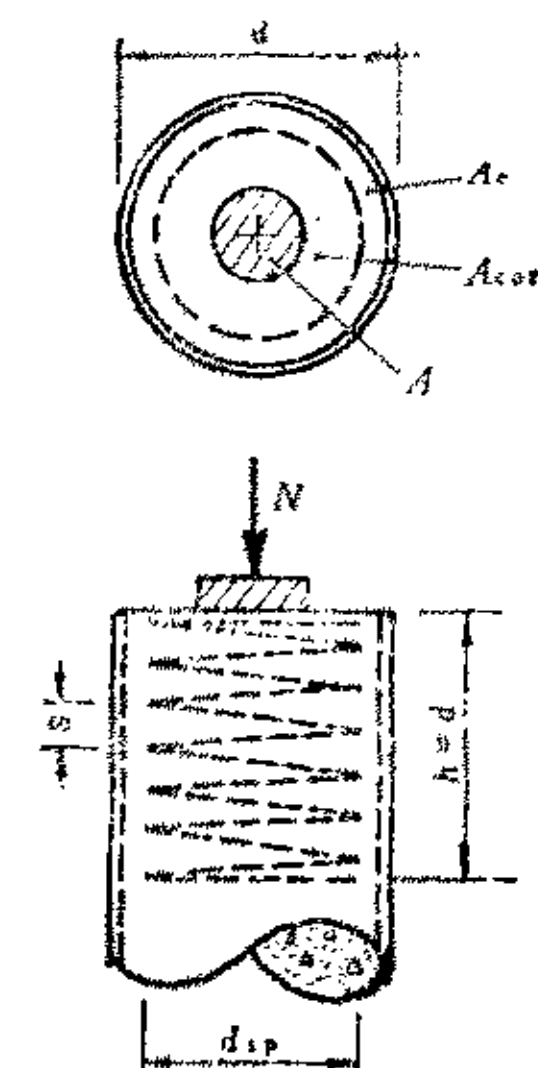


图4.3.3 配有螺旋箍筋的钢管混凝土局部受压

第五章 变形计算

第5.0.1条 钢管混凝土结构的变形,可按一般结构力学的方法进行计算。

第5.0.2条 钢管混凝土构件在正常使用极限状态下的刚度可按下列规定取值:

一、压缩和拉伸刚度:

$$EA = E_s A_s + E_c A_c \quad (5.0.2-1)$$

二、弯曲刚度:

$$EI = E_s I_s + E_c I_c \quad (5.0.2-2)$$

式中 A_s 、 I_s ——钢管横截面的面积和对其重心轴的惯性矩;

A_c 、 I_c ——钢管内混凝土横截面的面积和对其重心轴的惯性矩;

E_s 、 E_c ——钢材和混凝土的弹性模量。

第六章 节点构造

第一节 一般规定

第6.1.1条 节点构造应做到构造简单、整体性好、传力明确、安全可靠、节约材料和施工方便。

第6.1.2条 焊接管必须采用坡口焊,并满足Ⅱ级质量检验标准,达到焊缝与母材等强度的要求。

第6.1.3条 钢管接长时,如管径不变,宜采用等强度的坡口焊缝[图6.1.3(a)];如管径改变,可采用法兰盘和螺栓连接[图6.1.3(b)],同样应满足等强度要求。法兰盘用一带孔板,使管内混凝土保持连续。

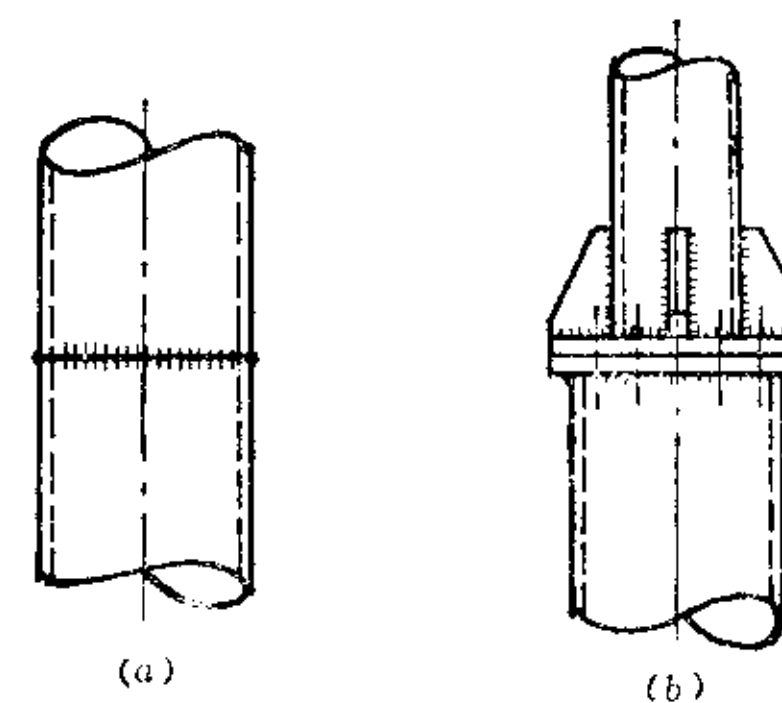


图6.1.3 钢管接长

第6.1.4条 钢管在现场接长时,尚应加焊必要的定位零件,确保几何尺寸符合设计要求。

第二节 框架节点

第6.2.1条 根据构造和运输要求, 框架柱长度宜按12m或三个楼层分段。分段接头位置宜接近反弯点位置, 且不宜出楼面1m以上, 以利现场施焊。

第6.2.2条 为增强钢管与核心混凝土共同受力, 每段柱子的接头处, 在下段柱端宜设置一块环形封顶板(图6.2.2)。封顶板厚度: 当钢管厚度 $t < 30\text{mm}$, 取12mm; $t > 30\text{mm}$, 取16mm。

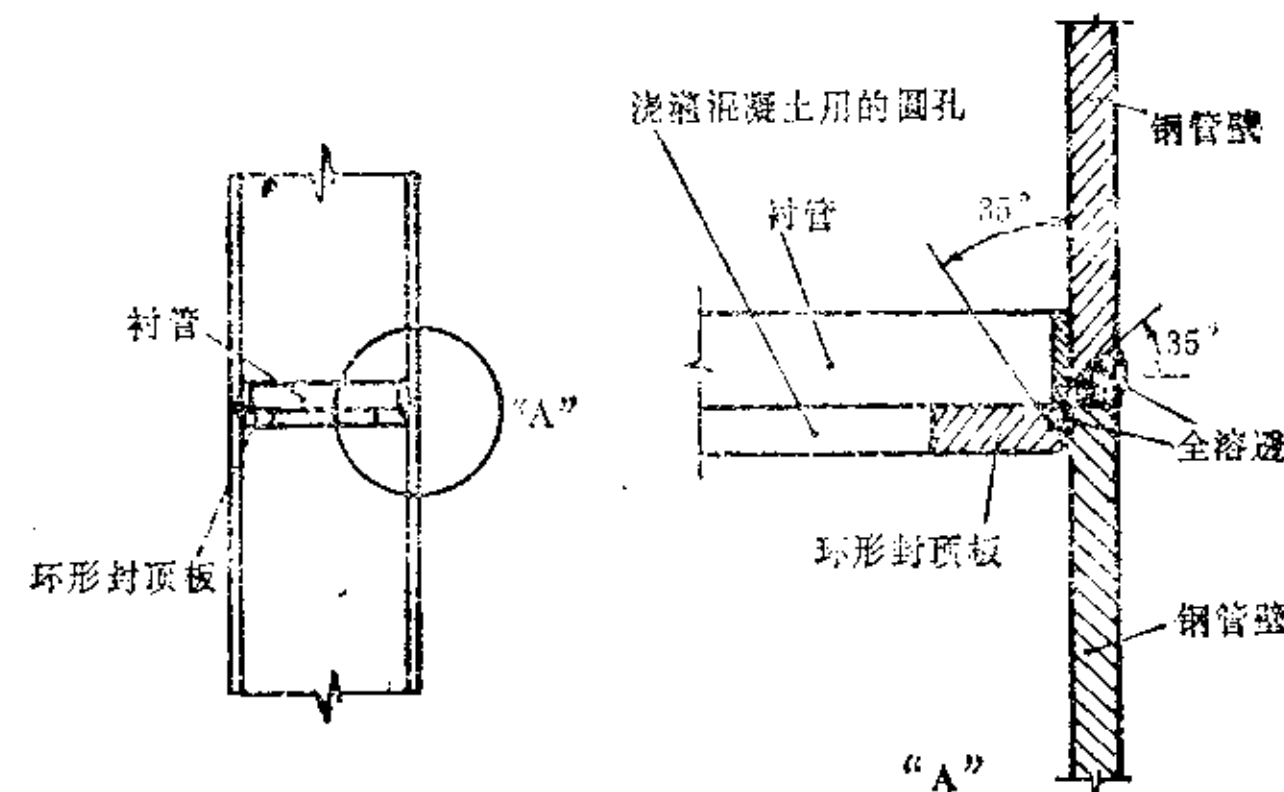


图6.2.2 柱接头的封顶板

第6.2.3条 框架柱和梁的连接节点, 除节点内力特别大, 对结构整体刚度要求很高的情况外, 不宜有零部件穿过钢管, 以免影响管内混凝土的浇灌。

第6.2.4条 梁柱连接处的梁端剪力可采用下列方法传递:

一、对于混凝土梁, 可用焊接于柱钢管上的钢牛腿来实现[图6.2.4 (a)]; 牛腿的腹板不宜穿过管心, 以免妨碍混凝土浇灌, 如必须穿过管心时, 可先在钢管壁上开槽, 将腹板插入后, 以双面贴角焊缝封固。

二、对于钢梁, 可按钢结构的做法, 用焊接于柱钢管上的连接腹板来实现[图6.2.4 (b)]。

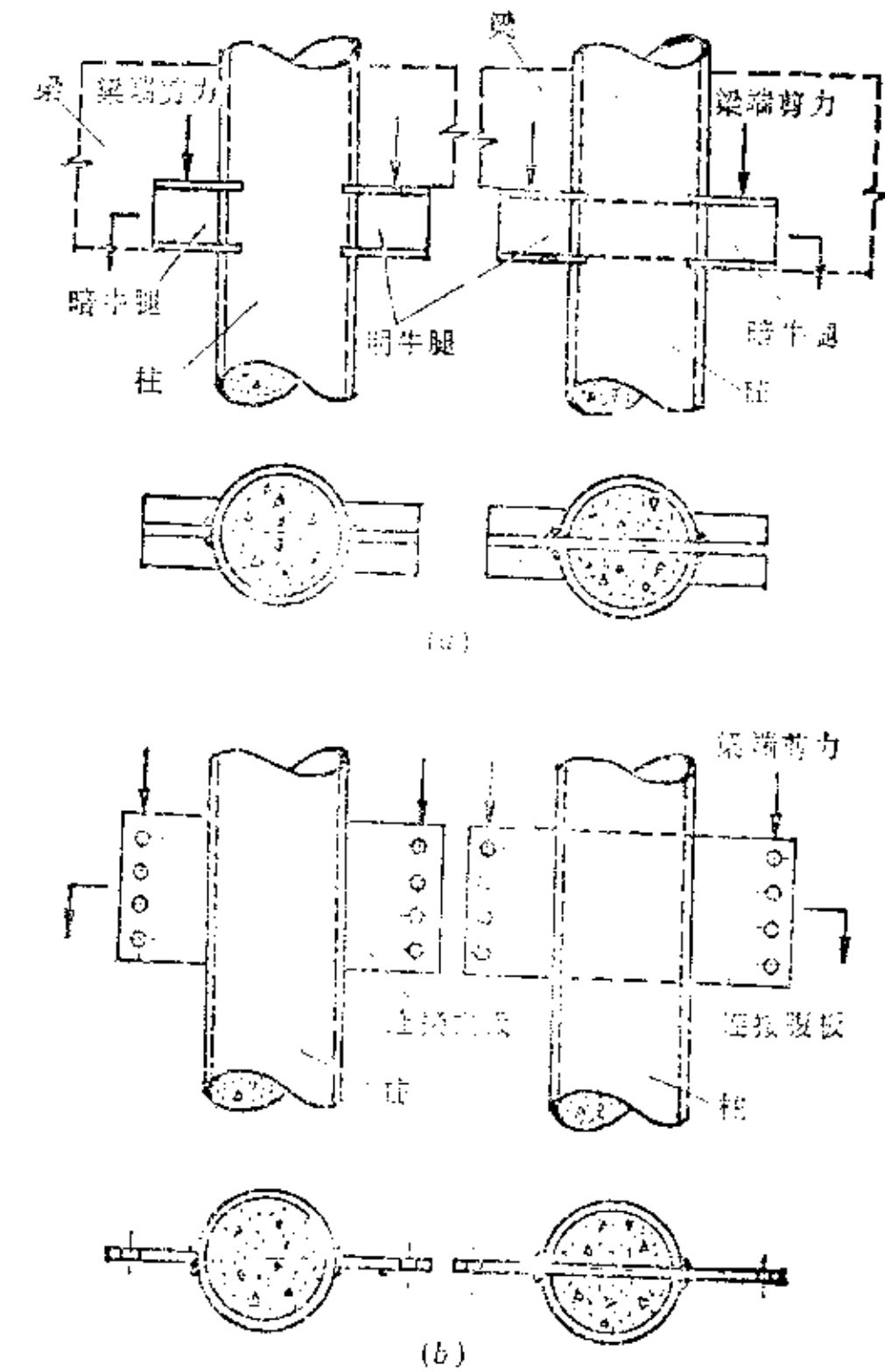


图6.2.4 传递剪力的梁柱连接
(a)混凝土梁; (b)钢梁

第6.2.5条 梁柱连接处的梁内弯矩可用下列方法传递:

一、对于钢梁和预制混凝土梁, 均可采用钢加强环与钢梁上下翼板或与混凝土梁纵筋焊接的构造形式来实现(图6.2.5-1)。

混凝土梁端与钢管之间的空隙用高一级的细石混凝土填实。加强环的板厚及连接宽度 B ，根据与钢梁翼板或混凝土梁的纵筋等强的原则确定，环带的最小宽度 C 不小于 $0.7B$ 〔图6.2.5-1(c)〕。对于有抗震要求的框架结构，在梁的上下沿均需设置加强环，

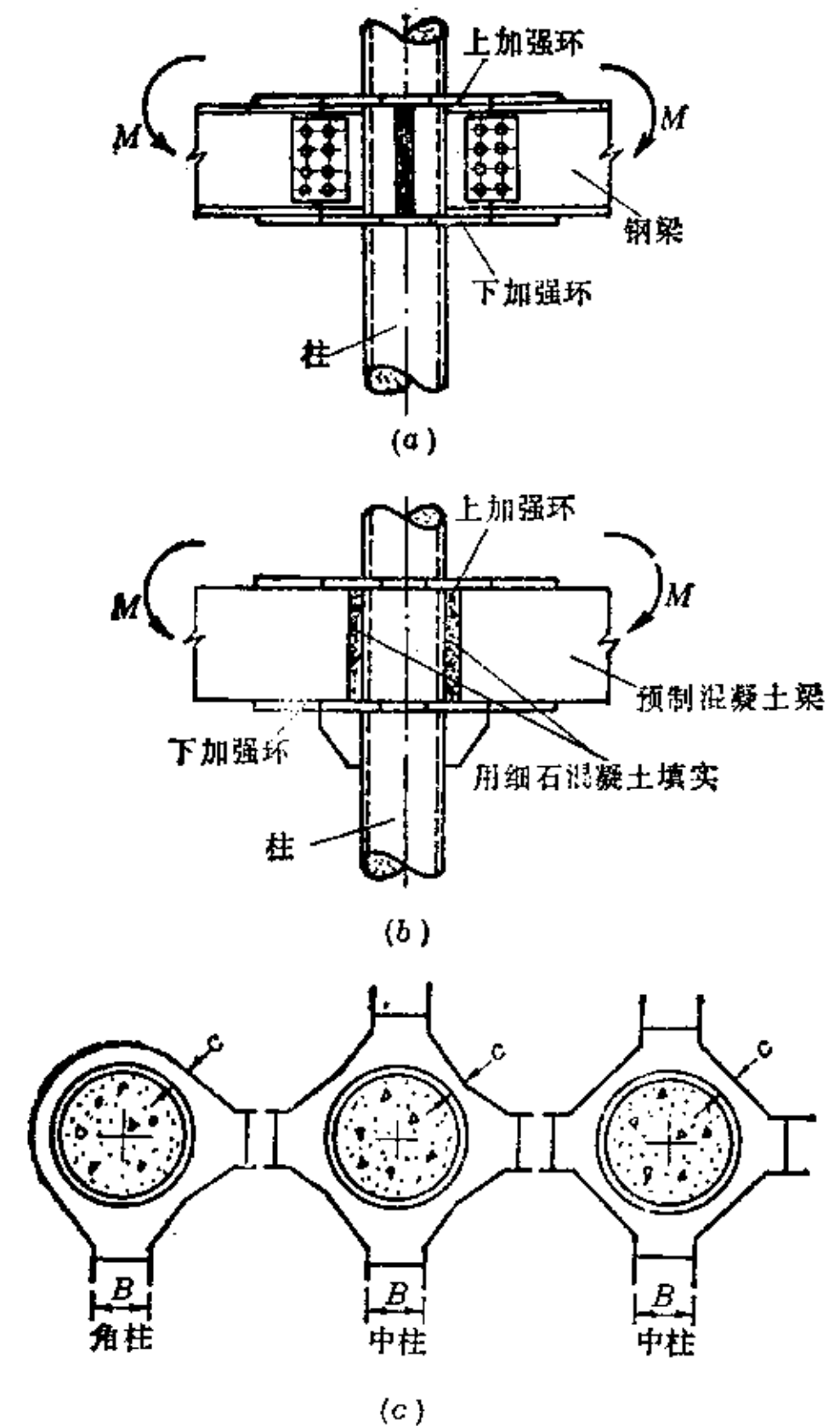


图6.2.5-1 传递弯矩的梁柱连接(钢梁及预制混凝土梁)
(a) 钢梁; (b) 预制混凝土梁; (c) 加强环

且加强环与梁件焊接的位置，应离开柱边至少1倍梁高的距离。

二、对于现浇混凝土梁，可根据具体情况，或采用连续双梁，或将梁端局部加宽，使纵向钢筋连续绕过钢管的构造形式来实现〔图6.2.5-2〕。梁端加宽的斜度不小于 $1/6$ 。在开始加宽处须增设附加箍筋将纵向钢筋包住。

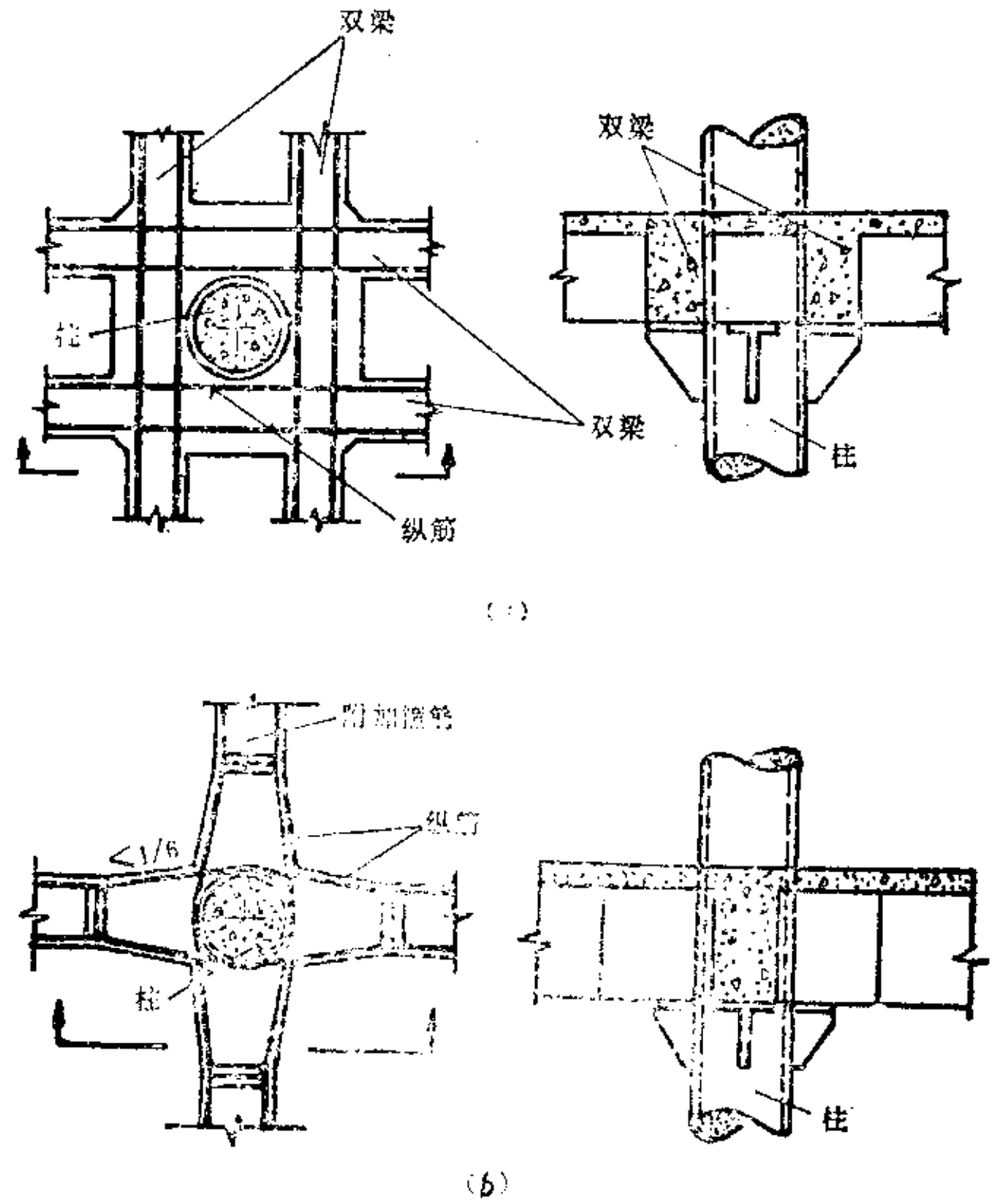


图6.2.5-2 传递弯矩的梁柱连接
(a) 双梁; (b) 变宽度梁

第三节 格构柱节点

第6.3.1条 格构柱的缀材宜用圆钢管，直接和柱肢钢管焊接。除双肢柱和三肢柱的内双肢可采用缀板体系外，宜采用缀条体系。三肢柱的 h/b 不宜大于2.2（图6.3.1-1）。

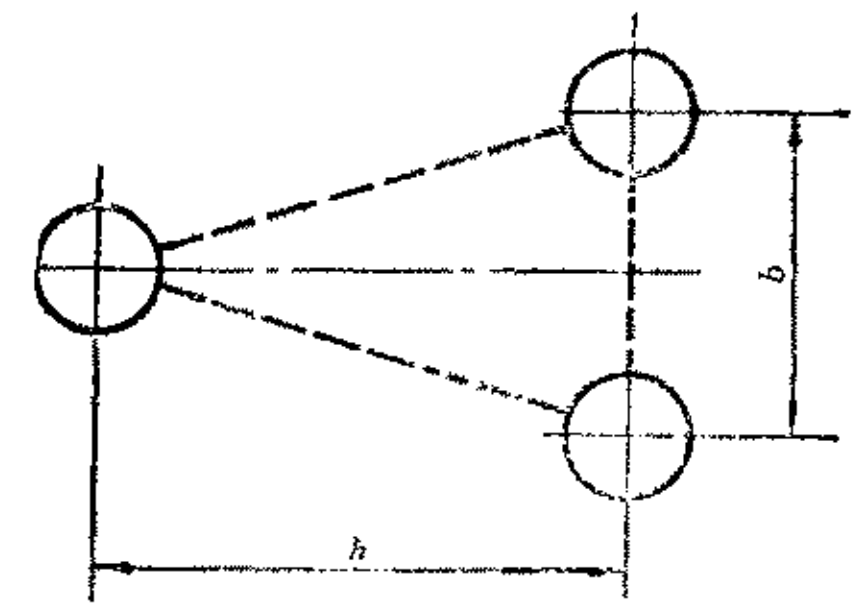


图6.3.1-1 三肢格构柱截面型式

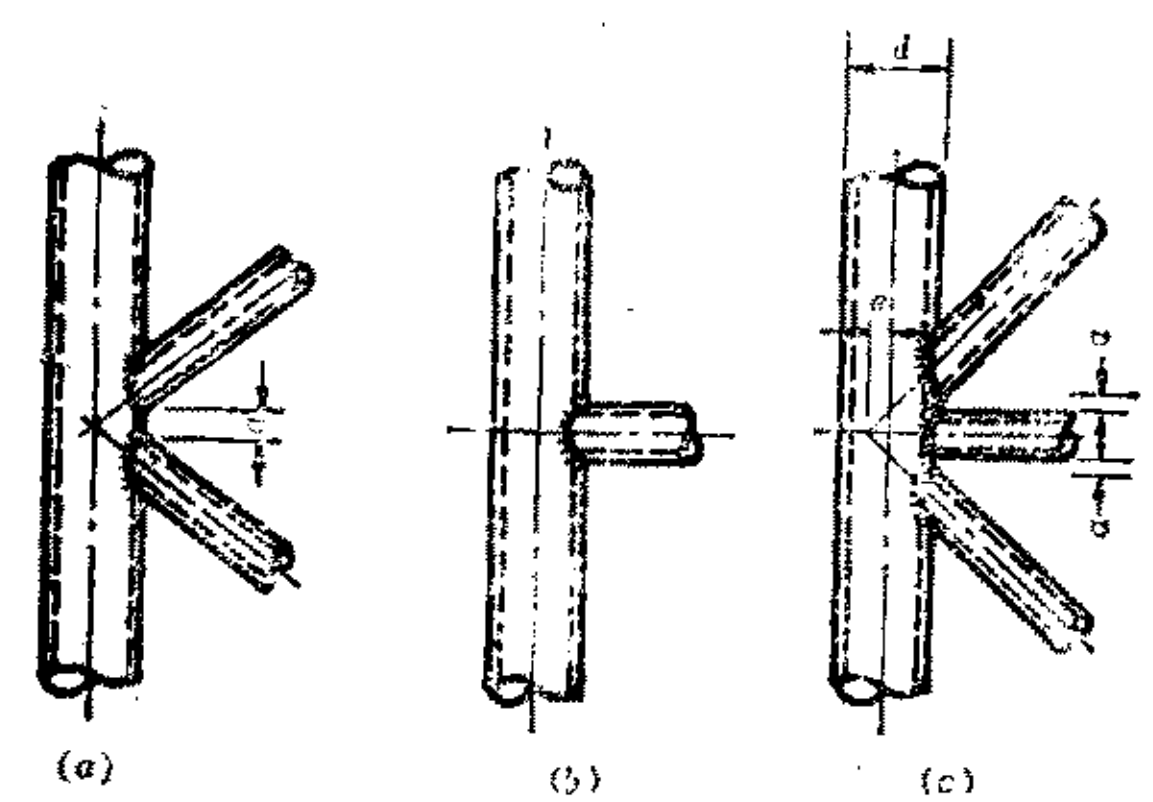


图6.3.1-2 缀材与柱肢的连接

采用缀条体系时，缀条间的净距 a 不得小于50mm。当不能满足时，允许缀条轴线不交于柱肢轴线，但偏心距 e 不得大于 $d/4$ 。

此时，计算中可不考虑此偏心影响（图6.3.1-2）。

缀材长细比不应大于150。

缀材与柱肢的连接焊缝应按《钢结构设计规范》（GBJ17-88）的规定计算。

格构柱受有较大水平力作用处和运输单元的端部应设置横隔。横隔的距离不得大于柱截面较大宽度的9倍和8m，否则应增设中间横隔。

第6.3.2条 单层厂房等截面格构柱，可采用牛腿支承吊车梁（图6.3.2）。

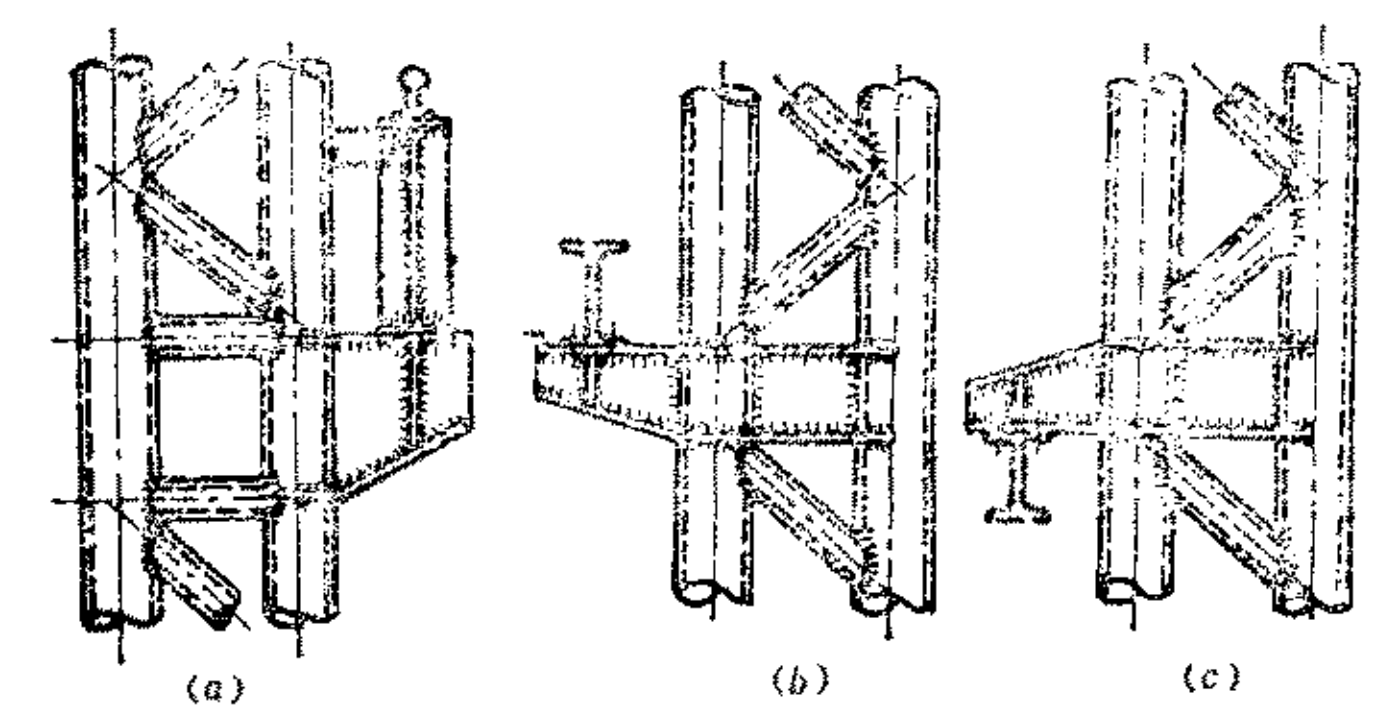


图6.3.2 等截面格构柱牛腿

第6.3.3条 单层厂房阶形格构柱，可在变截面处采用肩梁支承吊车梁和上柱（图6.3.3）。

肩梁由腹板、平台板和下部水平隔板组成，呈工字形截面。

肩梁腹板可采取穿过柱肢钢管和不穿过柱肢钢管两种形式。当吊车梁梁端压力较大时，肩梁腹板宜采用穿过柱肢钢管的形式。

穿过钢管的腹板应以双面贴角焊缝与钢管相连接。不穿过钢管的腹板，应采用剖口焊缝与钢管全熔透焊接。

腹板顶面应刨平，并和平台顶紧，依靠端面承压传力。

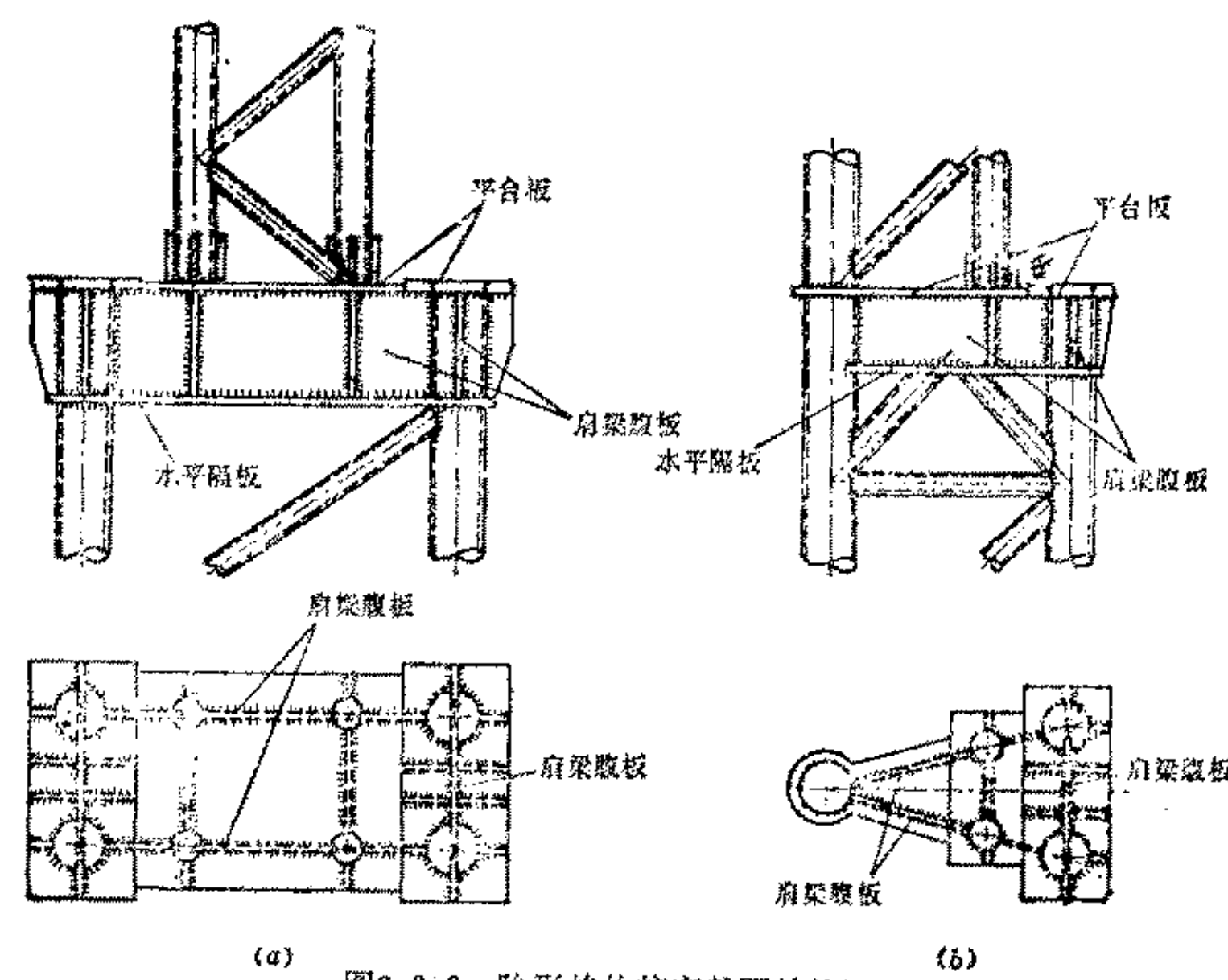


图6.3.3 阶形格构柱变截面处构造

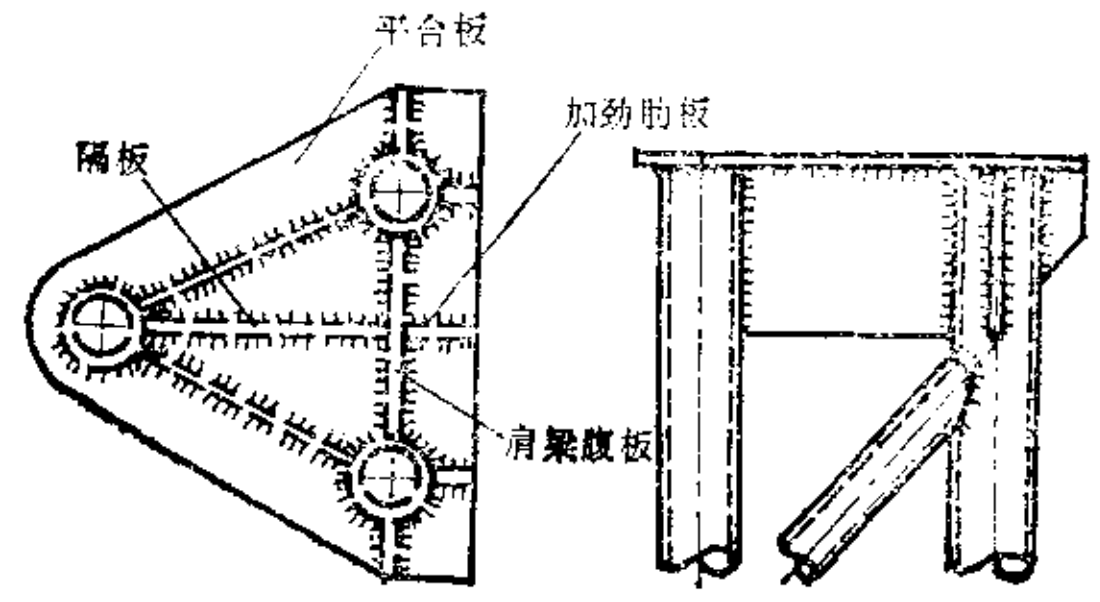


图6.3.4 边列柱柱端构造

第四节 桁架节点

第6.4.1条 在桁架体系中，受压弦杆和压力较大的腹杆宜采用钢管混凝土构件，其他构件可采用空钢管或型钢。

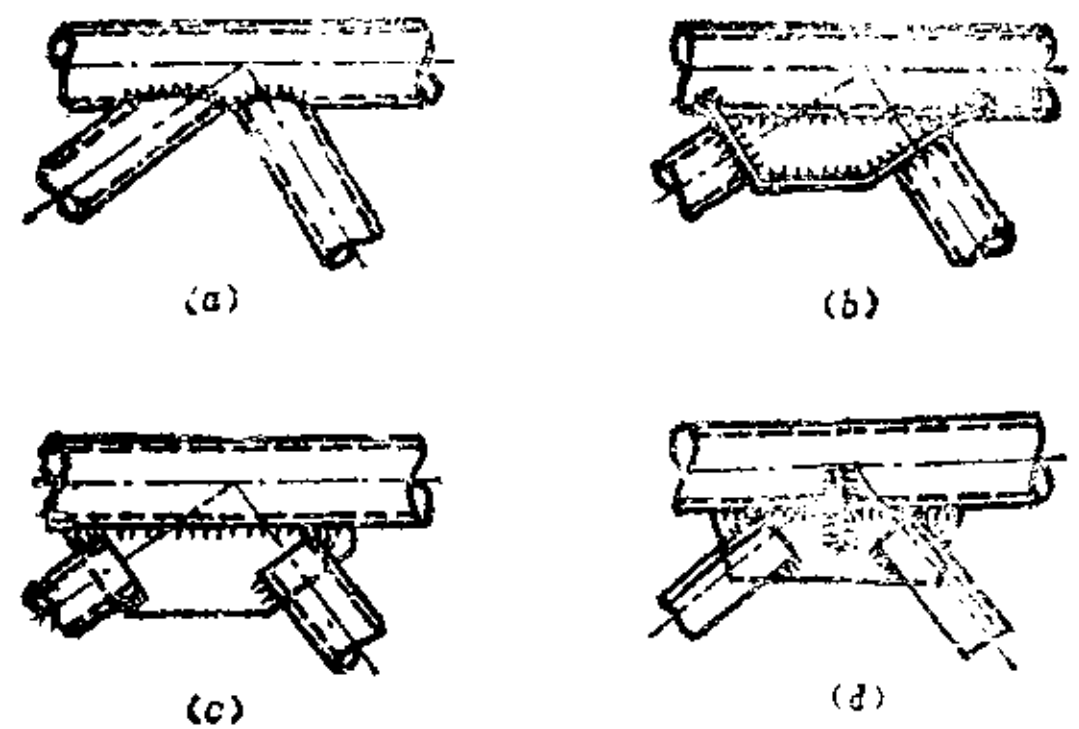


图6.4.1 杆件节点连接形式

腹杆和弦杆可直接连接或借助节点板连接 (图6.4.1)。直接连接的节点构造要求与本章第6.3.1条的规定相同。

第6.4.2条 上弦节点处应做成平台, 以便安放屋面构件 (图6.4.2)。

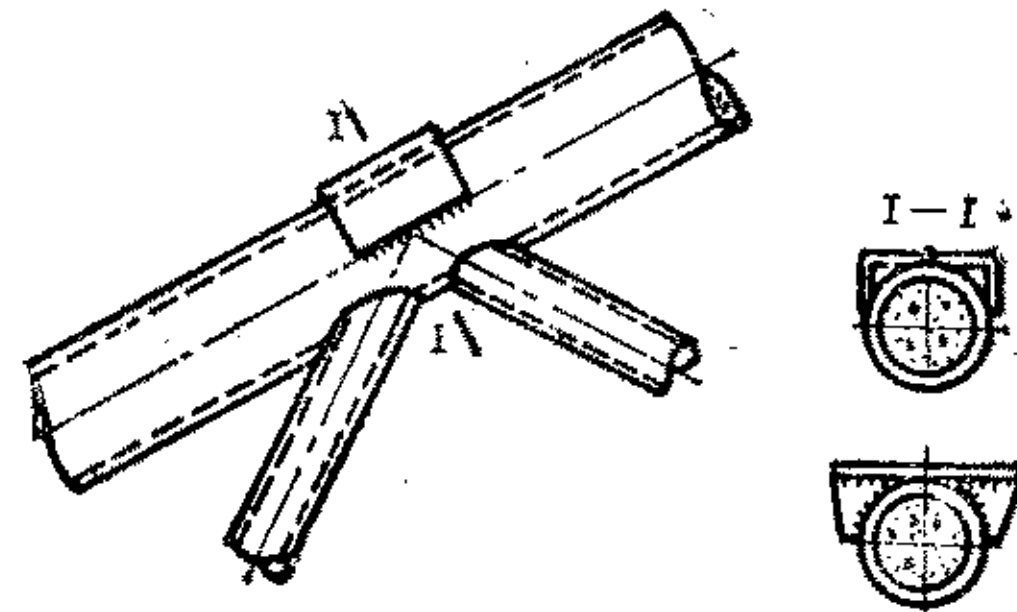


图6.4.2 上弦节点

第6.4.3条 支座节点可采用如图6.4.3所示的构造, 用锚栓和支座相连。

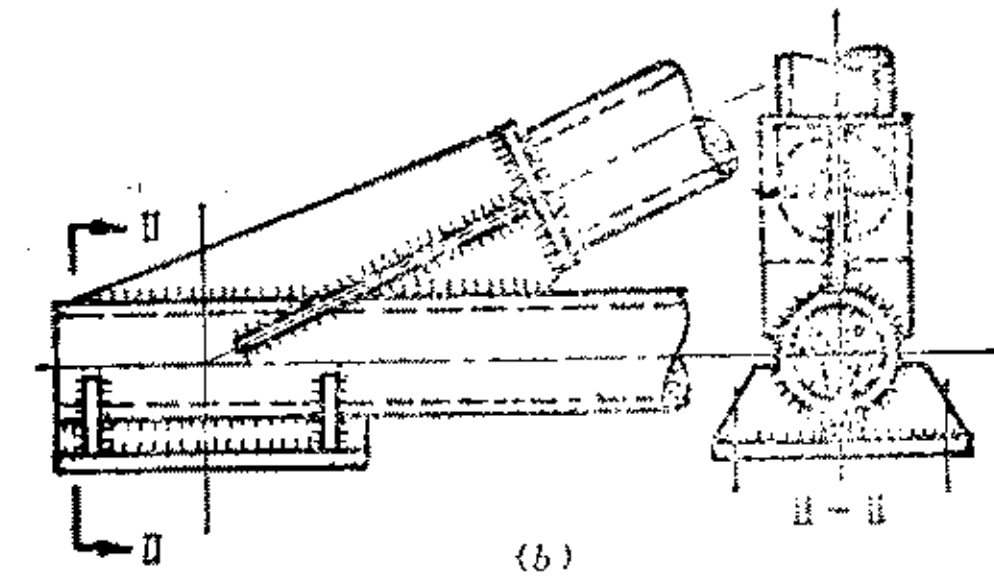
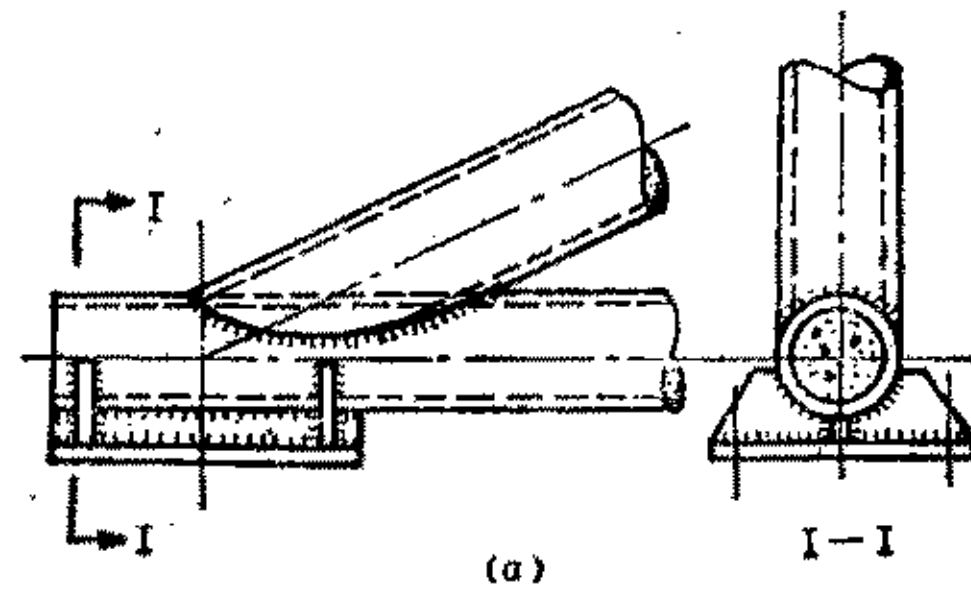


图6.4.3 屋架支座节点

第6.4.4条 当桁架跨度超过30m时, 可在跨中设置安装节点, 并用法兰盘和螺栓连接 (图6.4.4)。

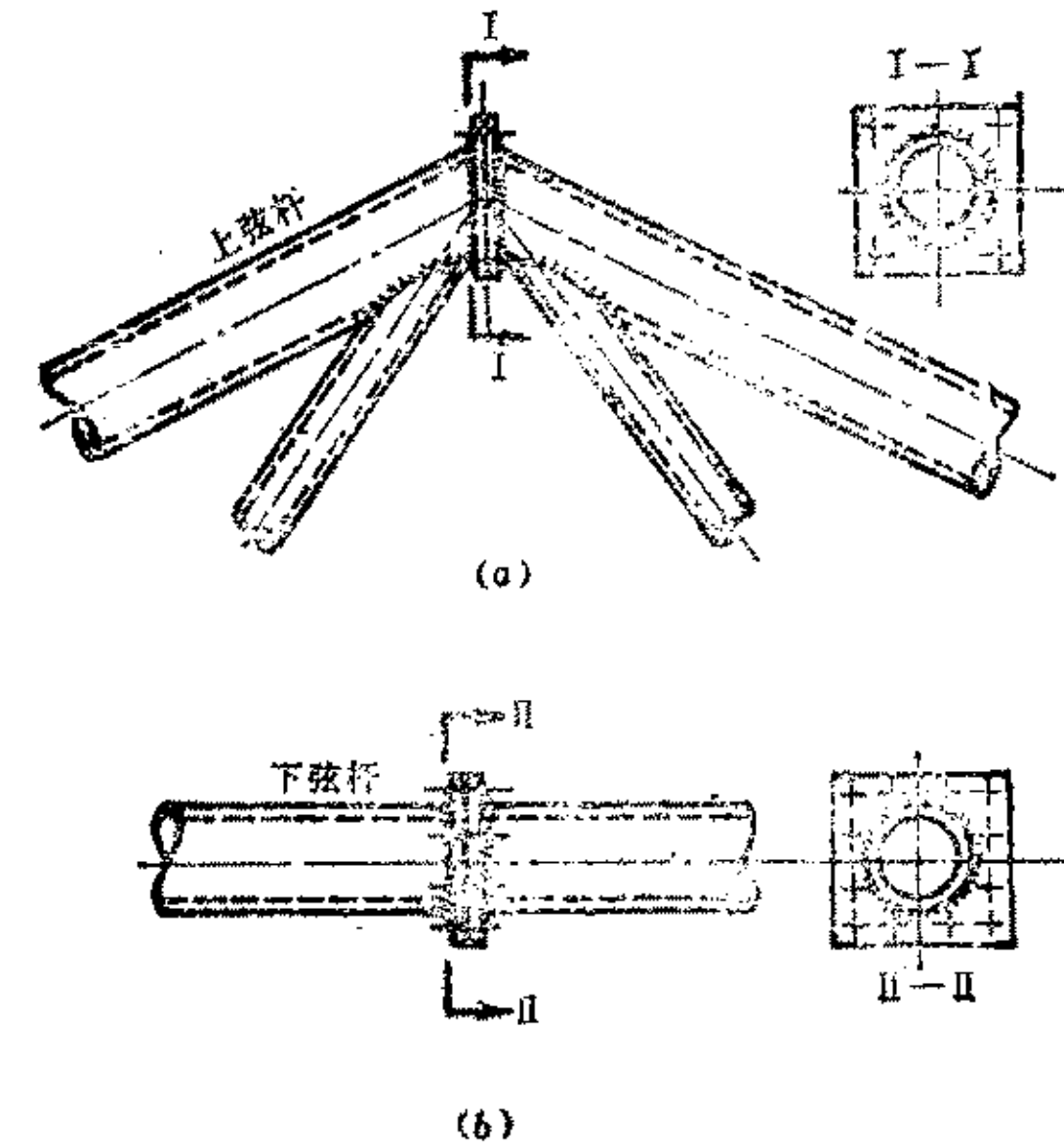


图6.4.4 跨中安装节点

第五节 柱 脚

第6.5.1条 柱脚钢管的端头必须用封头板封固。钢管混凝土柱脚与基础的连接,分插入式[图6.5.1 (a)]和端承式[图6.5.1 (b)]两种。插入式柱脚的杯口设计和构造与预制钢筋混凝土柱的基础杯口相同。柱脚插入深度不宜小于2倍钢管直径。端承式柱脚的设计和构造与钢结构相同。应注意验算柱与基础连接面的局部受压强度。

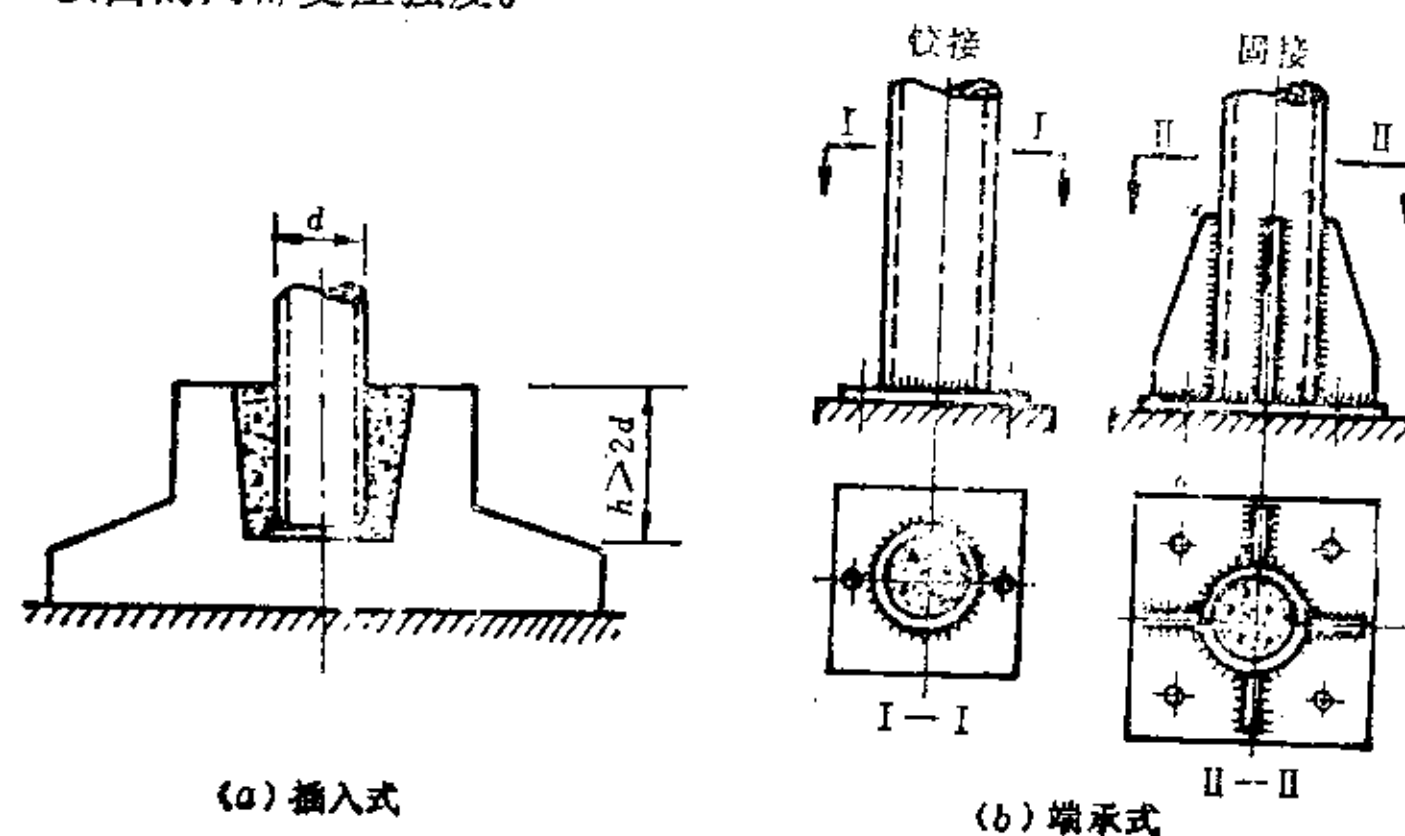


图6.5.1 柱脚构造

第七章 施工及质量要求

第一节 钢管制作

第7.1.1条 按设计施工图要求由工厂提供的钢管应有出厂合格证。由施工单位自行卷制的钢管,其钢板必须平直,不得使用表面锈蚀或受过冲击的钢板,并应有出厂证明书或试验报告单。

第7.1.2条 卷管方向应与钢板压延方向一致。卷制钢管前,应根据要求将板端开好坡口。为适应钢管拼接的轴线要求,钢管坡口端应与管轴线严格垂直。卷板过程中,应注意保证管端平面与管轴线垂直。根据不同的板厚,焊接坡口应符合表7.1.2的要求。采用螺旋缝焊接管时,拼接亦应按表7.1.2的要求预先开好坡口。

第7.1.3条 当采用滚床卷管及手工焊接时,宜采用直流电焊机进行反接焊接施工。

第7.1.4条 焊缝质量应满足《钢结构工程施工及验收规范》(GBJ205-83)二级质量标准的要求。

第7.1.5条 应保证钢管内壁与核心混凝土紧密粘接,钢管内不得有油渍等污物。

焊接坡口允许偏差 表7.1.2

坡口名称	焊接方法	厚度 δ	钝边 a	垫板厚度 b	内侧面间隙 c	外侧面间隙 d	坡口高度 e	坡口半径 R	坡口角度 α	坡口形式	备注
齐边I型	自动焊	<14			0 ± 2						
V型坡口	手工焊	$6 \sim 8$	1 ± 1		1 ± 1				$70^\circ \pm 5^\circ$		
		$10 \sim 26$	2 ± 1		2 ± 1				$60^\circ \pm 5^\circ$		
	自动焊	$16 \sim 22$	7 ± 1		0 ± 1				$60^\circ \pm 5^\circ$		
U型坡口	自动焊	<30	2 ± 1	6	2 ± 1	7 ± 1		3.5 ± 1			
		>30	2 ± 1	0	4 ± 1	13 ± 1		6.5 ± 1			
	手工焊	>25	2 ± 1		0 ± 1	13 ± 1	3 ± 1	6.5 ± 1	$90^\circ \pm 5^\circ$		大管径

注：①垫板材质与钢管材质可不相同，宜采用3号钢或20号钢；
②焊工可进入大管径的钢管内壁进行施焊。

第二节 钢管拼接组装

第7.2.1条 钢管或钢管格构柱的长度，可根据运输条件和吊装条件确定，一般以不长于12m为宜，也可根据吊装条件，在现场拼接加长。

第7.2.2条 钢管对接时应严格保持焊后管肢的平直，焊接时，除控制几何尺寸外，还应注意焊接变形对肢管的影响，焊接宜采用分段反向顺序，分段施焊应保持对称。肢管对接间隙宜放大0.5~2.0mm，以抵消收缩变形，具体数据可根据试焊结果确定。

第7.2.3条 焊接前，对小直径钢管可采用点焊定位，对大直径钢管可另用附加钢筋焊于钢管外壁作临时固定联焊，固定点的间距可取300mm左右，且不得少于3点。钢管对接焊接过程中如发现点焊定位处的焊缝出现微裂缝，则该微裂缝部位须全部铲除重焊。


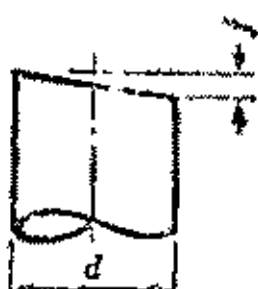
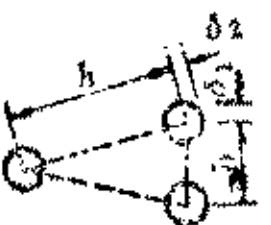
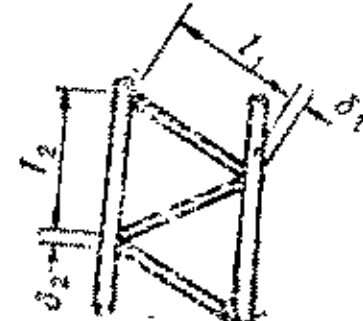
第7.2.4条 为确保联接处的焊接质量，可在管内接缝处设置附加衬管，其宽度为20mm，厚度为3mm，与管内壁保持0.5mm的膨胀间隙。

第7.2.5条 格构柱的肢管和各种缀件的组装应遵照施工工艺设计的程序进行。肢管与缀件连接的尺寸和角度必须准确。组装的质量应符合表7.2.5的要求。

钢管组装允许偏差 表7.2.5

偏差名称	示意图	允许值
纵向弯曲		$f \leq l/1000$ $f \leq 10\text{mm}$

续表7.2.5

偏差名称	示意图	允许值
椭圆度		$\frac{f}{d} \leq \frac{3}{1000}$
管端不平度		$\frac{f}{d} = \frac{1}{1500}$ $f \leq 0.3 \text{ mm}$
管肢组合误差		$\frac{\delta_1}{b} \leq \frac{1}{1000}$ $\frac{\delta_2}{h} \leq \frac{1}{1000}$
缀件组合误差		$\frac{\delta_1}{l_1} \leq \frac{1}{1000}$ $\frac{\delta_2}{l_2} \leq \frac{1}{1000}$

第7.2.6条 钢管构件中各杆件的间隙，特别是缀件与肢管连接处的间隙应按钣金展开图进行放样。焊接时，根据间隙大小选用合适的焊条直径。肢管与缀件焊接时，焊接次序应考虑焊接变形的影响。

第7.2.7条 格构柱组装后，应按吊装平面布置图就位，在节点处用垫木支平。吊点位置应有明显标记。

第7.2.8条 在各工种之间，或每个工序之间，必须按设计图纸进行自检和互检，并在钢管构件上打上各自的记号。

第7.2.9条 所有钢管构件必须在焊缝检查后方能按设计要求进行防腐蚀处理。

第三节 钢管柱吊装

第7.3.1条 钢管柱组装后，在吊装时应注意减少吊装荷载作用下的变形，吊点的位置应根据钢管柱本身的承载力和稳定性经验算后确定。必要时，应采取临时加固措施。

第7.3.2条 吊装钢管柱时，应将其上口包封，防止异物落入管内。

当采用预制钢管混凝土构件时，应待管内混凝土强度达到设计值的50%以后，方可进行吊装。

第7.3.3条 钢管柱吊装就位后，应立即进行校正，并采取临时固定措施以保证构件的稳定性。

第7.3.4条 吊装的质量应符合表7.3.4的要求。

钢管柱吊装允许偏差 表7.3.4

序号	检查项目	允许偏差
1	立柱中心线和基础中心线	±5 mm
2	立柱顶面标高和设计标高	+0 mm, -20 mm
3	立柱顶面不平度	±5 mm
4	各立柱不垂直度	长度的 $\frac{1}{1000}$ ，最大不大于15 mm
5	各柱之间的距离	间距的 $\frac{1}{1000}$
6	各立柱上下两平面相应对角线差	长度的 $\frac{1}{1000}$ ，但不大于20 mm

第四节 管内混凝土浇灌

第7.4.1条 管内混凝土可采用泵送顶升浇灌法、立式手工浇捣法或高位抛落无振捣法。

第7.4.2条 泵送顶升浇灌法：在钢管接近地面的适当位置安装一个带闸门的进料支管，直接与泵车的输送管相连，由泵车将混凝土连续不断地自下而上灌入钢管，无需振捣。钢管直径宜大于或等于泵径的两倍。

第7.4.3条 立式手工浇捣法：混凝土自钢管上口灌入，用振捣器捣实。管径大于350mm时，采用内部振捣器（振捣棒或锅底形振捣器等）。每次振捣时间不少于30s，一次浇灌高度不宜大于2m。当管径小于350mm时，可采用附着在钢管上的外部振捣器进行振捣。外部振捣器的位置应随混凝土浇灌的进展加以调整。外部振捣器的工作范围，以钢管横向振幅不小于0.3mm为有效。振幅可用百分表实测。振捣时间不小于1min。一次浇灌的高度不应大于振捣器的有效工作范围和2~3m柱长。

第7.4.4条 立式高位抛落无振捣法：利用混凝土下落时产生的动能达到振实混凝土的目的。它适用于管径大于350mm，高度不小于4m的情况。对于抛落高度不足4m的区段，应用内部振捣器振实。一次抛落的混凝土量宜在0.7m²左右，用料斗装填，料斗的下口尺寸应比钢管内径小100~200mm，以便混凝土下落时，管内空气能够排出。

第7.4.5条 混凝土配合比应根据混凝土设计等级计算，并通过试验后确定，除满足强度指标外，尚应注意混凝土坍落度的选择。对于泵送顶升浇灌法和立式高位抛落无振捣浇灌法，粗骨料粒径可采用0.5~3cm，水灰比不大于0.45，坍落度不小于15cm，对于立式手工浇灌法，粗骨料粒径可采用1~4cm，水灰比不大于0.4，坍落度2~4cm；当有穿心部件时，粗骨料粒径宜减小为0.5~2cm，坍落度宜不小于15cm。为满足上述坍落

度的要求，应掺适量减水剂。为减少收缩量，也可掺入适量的混凝土微膨胀剂。

第7.4.6条 钢管内的混凝土浇灌工作，宜连续进行，必须间歇时，间歇时间不应超过混凝土的终凝时间。需留施工缝时，应将管封闭，防止水、油和异物等落入。

第7.4.7条 每次浇灌混凝土前（包括施工缝）应先浇灌一层厚度为10~20cm的与混凝土等级相同的水泥砂浆，以免自由下落的混凝土粗骨料产生弹跳现象。

第7.4.8条 当混凝土浇灌到钢管顶端时，可以使混凝土稍为溢出后再将留有排气孔的层间横隔板或封顶板紧压在管端，随即进行点焊，待混凝土强度达到设计值的50%后，再将横隔板或封顶板按设计要求进行补焊。

有时也可将混凝土浇灌到稍低于钢管的位置，待混凝土强度达到设计值的50%后再用相同等级的水泥砂浆补填至管口，并按上述方法将横隔板或封顶板一次封焊到位。

第7.4.9条 管内混凝土的浇灌质量，可用敲击钢管的方法进行初步检查，如有异常，则应用超声波检测。对不密实的部位，应采用钻孔压浆法进行补强，然后将钻孔补焊封固。

附录一 柱的计算长度系数

无侧移框架柱的计算长度系数 μ

附表1.1

K_2	K_1																		
	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	10	20	∞				
0	1.000	0.980	0.961	0.944	0.919	0.895	0.872	0.875	0.820	0.791	0.773	0.760	0.732	0.716	0.699				
0.05	0.990	0.981	0.971	0.955	0.910	0.886	0.863	0.867	0.814	0.784	0.766	0.754	0.726	0.711	0.694				
0.1	0.981	0.971	0.962	0.946	0.901	0.877	0.854	0.858	0.807	0.778	0.760	0.748	0.721	0.705	0.688				
0.2	0.961	0.955	0.946	0.931	0.916	0.903	0.889	0.891	0.843	0.814	0.797	0.785	0.758	0.742	0.725				
0.3	0.949	0.943	0.931	0.916	0.902	0.889	0.877	0.879	0.834	0.805	0.788	0.776	0.749	0.733	0.716				
0.4	0.935	0.926	0.918	0.903	0.889	0.877	0.865	0.868	0.825	0.796	0.779	0.767	0.740	0.724	0.707				
0.5	0.922	0.914	0.906	0.891	0.878	0.866	0.855	0.858	0.816	0.787	0.770	0.758	0.731	0.715	0.698				
1	0.875	0.867	0.860	0.848	0.834	0.823	0.813	0.814	0.774	0.745	0.728	0.716	0.689	0.673	0.656				
2	0.820	0.811	0.807	0.795	0.781	0.774	0.763	0.769	0.729	0.699	0.683	0.671	0.644	0.628	0.612				
3	0.791	0.781	0.778	0.767	0.756	0.747	0.733	0.734	0.704	0.674	0.658	0.646	0.619	0.603	0.587				
4	0.773	0.763	0.760	0.749	0.739	0.730	0.721	0.708	0.678	0.648	0.632	0.620	0.593	0.577	0.561				
5	0.760	0.754	0.754	0.743	0.733	0.728	0.719	0.710	0.677	0.648	0.632	0.620	0.593	0.577	0.561				
10	0.732	0.726	0.726	0.711	0.701	0.693	0.685	0.677	0.645	0.615	0.599	0.587	0.560	0.544	0.528				
20	0.716	0.711	0.705	0.696	0.687	0.678	0.671	0.664	0.632	0.602	0.586	0.574	0.547	0.531	0.515				
∞	0.699	0.691	0.689	0.679	0.671	0.663	0.656	0.648	0.616	0.586	0.570	0.558	0.531	0.515	0.500				

注: ①表中的计算长度系数 μ 值系按下式求得:

$$\left[\left(\frac{\pi}{\mu} \right)^2 + 2(K_1 + K_2) - 4K_1K_2 \right] \frac{1}{\mu} \sin \frac{\pi}{\mu} - 2 \left[(K_1 + K_2) \left(\frac{\pi}{\mu} \right)^2 + 4K_1K_2 \right] \cos \frac{\pi}{\mu} + 8K_1K_2 = 0$$

K_1, K_2 ——分别为相交于柱上端、柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。

②当横梁与柱铰接时, 取横梁线刚度为零。

③对底层框架柱: 当柱与基础铰接时, 取 $K_2=0$; 当柱与基础刚接时, 取 $K_2=\infty$ 。

有侧移框架柱的计算长度系数 μ

附表1.2

K_1	K_2																		
	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	10	20	∞				
0	∞	4.02	4.46	3.42	3.01	2.78	2.64	2.33	2.17	2.11	2.08	2.07	2.03	2.02	2.00				
0.05	6.02	4.16	3.47	2.88	2.58	2.42	2.31	2.07	1.94	1.89	1.87	1.86	1.83	1.83	1.80				
0.1	4.46	3.47	3.01	2.56	2.33	2.20	2.11	1.80	1.73	1.69	1.67	1.66	1.63	1.63	1.60				
0.2	3.42	2.86	2.56	2.23	2.05	1.94	1.87	1.70	1.60	1.57	1.55	1.54	1.52	1.51	1.49				
0.3	3.01	2.58	2.33	2.05	1.90	1.80	1.74	1.53	1.43	1.40	1.39	1.38	1.36	1.35	1.33				
0.4	2.78	2.42	2.20	1.94	1.80	1.71	1.65	1.50	1.42	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31				
0.5	2.64	2.31	2.11	1.87	1.74	1.65	1.58	1.45	1.37	1.34	1.32	1.31	1.29	1.28	1.26				
1	2.33	2.07	1.90	1.70	1.58	1.50	1.45	1.32	1.24	1.21	1.20	1.19	1.17	1.16	1.14				
2	2.17	1.94	1.79	1.60	1.49	1.42	1.37	1.24	1.13	1.11	1.10	1.09	1.07	1.06	1.04				
3	2.11	1.90	1.75	1.57	1.46	1.39	1.34	1.21	1.14	1.11	1.10	1.09	1.07	1.06	1.04				
4	2.08	1.87	1.73	1.55	1.45	1.37	1.32	1.20	1.12	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04				
5	2.07	1.86	1.72	1.54	1.44	1.37	1.32	1.19	1.12	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.03				
10	2.03	1.83	1.70	1.52	1.42	1.35	1.30	1.17	1.10	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.01				
20	2.02	1.82	1.68	1.51	1.41	1.34	1.29	1.17	1.09	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.00				
∞	2.00	1.80	1.67	1.50	1.40	1.33	1.28	1.16	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.00				

注: ①表中的计算长度系数 μ 值系按下式求得:

$$\left[36K_1K_2 - \left(\frac{\pi}{\mu} \right)^2 \right] \sin \frac{\pi}{\mu} + 3(K_1 + K_2) \frac{\pi}{\mu} \cos \frac{\pi}{\mu} = 0$$

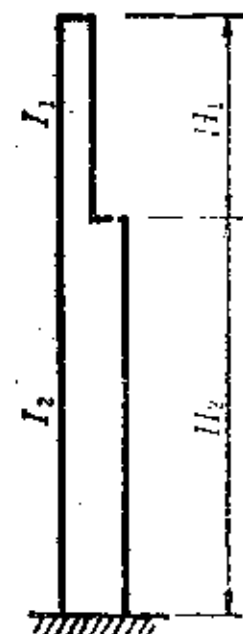
K_1, K_2 ——分别为相交于柱上端、柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。

②当横梁与柱铰接时, 取横梁线刚度为零。

③对底层框架柱: 当柱与基础铰接时, 取 $K_2=0$; 当柱与基础刚接时, 取 $K_2=\infty$ 。

柱上端为自由的单阶柱下段的计算长度系数 μ

附表1.3


简 图	η_1	K_1																	
		0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
	0.2	2.00	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07
	0.3	2.01	2.02	2.02	2.02	2.03	2.03	2.03	2.04	2.04	2.05	2.05	2.05	2.06	2.08	2.10	2.12	2.13	2.15
	0.4	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.14	2.18	2.21	2.25	2.28
	0.5	2.04	2.05	2.06	2.07	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13	2.15	2.16	2.17	2.18	2.24	2.29	2.35	2.40	2.45
	0.6	2.06	2.08	2.10	2.12	2.14	2.16	2.18	2.19	2.21	2.23	2.25	2.26	2.28	2.36	2.44	2.52	2.59	2.66
	0.7	2.10	2.13	2.16	2.18	2.21	2.24	2.26	2.29	2.31	2.34	2.36	2.38	2.41	2.52	2.62	2.72	2.81	2.90
	0.8	2.15	2.20	2.24	2.27	2.31	2.34	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53	2.56	2.70	2.82	2.94	3.06	3.16
	0.9	2.24	2.29	2.35	2.39	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.63	2.67	2.71	2.74	2.90	3.05	3.19	3.32	3.44
	1.0	2.36	2.43	2.48	2.54	2.59	2.64	2.69	2.73	2.77	2.82	2.86	2.90	2.94	3.12	3.29	3.45	3.59	3.74
	1.2	2.69	2.76	2.83	2.89	2.95	3.01	3.07	3.12	3.17	3.22	3.27	3.32	3.37	3.59	3.80	3.99	4.17	4.34
	1.4	3.07	3.14	3.22	3.29	3.36	3.42	3.48	3.55	3.61	3.66	3.72	3.78	3.83	4.09	4.33	4.56	4.77	4.97
	1.6	3.47	3.55	3.63	3.71	3.78	3.85	3.92	3.99	4.07	4.12	4.18	4.25	4.31	4.61	4.88	5.14	5.38	5.62
	1.8	3.88	3.97	4.05	4.13	4.21	4.29	4.37	4.44	4.52	4.59	4.66	4.73	4.80	5.13	5.44	5.73	6.00	6.26
	2.0	4.29	4.39	4.48	4.57	4.65	4.74	4.82	4.90	4.99	5.07	5.14	5.22	5.30	5.66	6.00	6.32	6.63	6.92
	2.2	4.71	4.81	4.91	5.00	5.10	5.19	5.28	5.37	5.46	5.54	5.63	5.71	5.80	6.19	6.57	6.92	7.26	7.58
	2.4	5.13	5.24	5.34	5.44	5.54	5.64	5.74	5.84	5.93	6.03	6.12	6.21	6.30	6.73	7.14	7.52	7.89	8.24
	2.6	5.55	5.66	5.77	5.88	5.99	6.10	6.20	6.31	6.41	6.51	6.61	6.71	6.80	7.27	7.71	8.13	8.52	8.90
	2.8	5.97	6.09	6.21	6.33	6.44	6.55	6.67	6.78	6.89	6.99	7.10	7.21	7.31	7.81	8.28	8.73	9.16	9.57
	3.0	6.39	6.52	6.64	6.77	6.89	7.01	7.13	7.25	7.37	7.48	7.59	7.71	7.82	8.35	8.86	9.34	9.80	10.24

注: 表中的计算长度系数 μ 值系按下式算得:

$$\eta_1 K_1 \cdot \lg \frac{\pi}{\mu} \cdot \frac{\pi \eta_1}{\mu} - 1 = 0$$

柱上端可移动但不转动的单阶柱下段的计算长度系数 μ

附表1.4

简 图	η_1	K_1																	
		0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
 $K_1 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2}{H_1}$ $\eta_1 = \frac{H_1}{H_2} \sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}}$ $N_1 \text{——上段柱的轴心力;}$ $N_2 \text{——下段柱的轴心力.}$	0.2	1.96	1.94	1.93	1.91	1.90	1.89	1.88	1.88	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.76	1.72	1.68	1.65	1.62
	0.3	1.96	1.94	1.93	1.92	1.91	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.77	1.73	1.70	1.66	1.63
	0.4	1.96	1.95	1.94	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.79	1.75	1.72	1.68	1.66
	0.5	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.85	1.81	1.77	1.74	1.71	1.69
	0.6	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90	1.89	1.89	1.88	1.87	1.87	1.83	1.80	1.78	1.75	1.73
	0.7	1.97	1.97	1.96	1.95	1.94	1.94	1.93	1.92	1.92	1.91	1.90	1.90	1.89	1.86	1.81	1.82	1.80	1.78
	0.8	1.98	1.98	1.97	1.96	1.96	1.95	1.95	1.94	1.94	1.93	1.93	1.93	1.92	1.90	1.88	1.87	1.86	1.84
	0.9	1.99	1.99	1.98	1.98	1.98	1.97	1.97	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96	1.95	1.91	1.93	1.92	1.92
	1.0	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	1.2	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.10	2.11	2.13	2.15	2.17	2.18	2.20
	1.4	2.07	2.09	2.11	2.12	2.14	2.16	2.17	2.18	2.20	2.21	2.22	2.23	2.24	2.29	2.33	2.37	2.40	2.42
	1.6	2.13	2.16	2.19	2.22	2.25	2.27	2.30	2.32	2.34	2.36	2.37	2.39	2.41	2.48	2.54	2.59	2.63	2.67
	1.8	2.22	2.27	2.31	2.35	2.39	2.42	2.45	2.48	2.50	2.53	2.55	2.57	2.59	2.69	2.76	2.83	2.88	2.93
	2.0	2.35	2.41	2.46	2.50	2.55	2.59	2.62	2.66	2.69	2.72	2.75	2.77	2.80	2.91	3.00	3.08	3.14	3.20
	2.2	2.51	2.57	2.63	2.68	2.73	2.77	2.81	2.85	2.89	2.92	2.95	2.98	3.01	3.14	3.25	3.33	3.41	3.47
	2.4	2.68	2.75	2.81	2.87	2.92	2.97	3.01	3.05	3.09	3.13	3.17	3.20	3.24	3.38	3.50	3.59	3.68	3.75
	2.6	2.87	2.94	3.00	3.06	3.12	3.17	3.22	3.27	3.31	3.35	3.39	3.43	3.46	3.62	3.75	3.86	3.95	4.03
	2.8	3.06	3.14	3.20	3.27	3.33	3.38	3.43	3.48	3.53	3.58	3.62	3.66	3.70	3.87	4.01	4.13	4.23	4.32
	3.0	3.26	3.34	3.41	3.47	3.54	3.60	3.66	3.70	3.75	3.80	3.85	3.89	3.93	4.12	4.27	4.40	4.51	4.61

注：表中的计算长度系数 μ 值系按下式算得：

$$\operatorname{tg} \frac{\pi \eta_1}{\mu} + \eta_1 K_1 \operatorname{tg} \frac{\pi}{\mu} = 0$$

柱上端自由的双阶柱下段的计算长度系数 μ

附表1.5

简 图

$$K_1 = \frac{I_1}{I_3} \cdot \frac{H_1}{H_2}$$

$$K_2 = \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{H_2}{H_3}$$

$$\eta_1 = \frac{H_1}{H_2} \sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{I_1}{I_2}}$$

$$\eta_2 = \frac{H_2}{H_3} \sqrt{\frac{N_2}{N_3} \cdot \frac{I_2}{I_3}}$$

N_1 ——上段柱的轴心力;

N_2 ——中段柱的轴心力;

N_3 ——下段柱的轴心力;

$K_1 = 0.05$

$K_1 = 0.10$

η_1 η_2

K_2

		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.2		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
0.4		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
0.6		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
0.8		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
1.0		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
1.2		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92
1.4		0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13
		0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32
		0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72
		1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92

$$K_1 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2}{H_1}$$

$$K_2 = \frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{H_3}{H_2}$$

$$\eta_1 = \frac{H_1}{H_2} \sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{I_2}{I_1}}$$

$$\eta_2 = \frac{H_2}{H_3} \sqrt{\frac{N_2}{N_3} \cdot \frac{I_3}{I_2}}$$

N_1 ——上段柱的轴心力;

N_2 ——中段柱的轴心力;

N_3 ——下段柱的轴心力。

续附表1.5

η_1	η_2	$K_1=0.25$											$K_1=0.30$										
		K_2																					
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.2	0.2	2.04	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.09	2.10	2.11	2.12	2.05	2.05	2.06	2.07	2.08	2.09	2.09	2.10	2.11	2.12	2.13
	0.4	2.10	2.13	2.17	2.20	2.24	2.27	2.30	2.31	2.37	2.40	2.43	2.12	2.15	2.18	2.21	2.25	2.28	2.31	2.35	2.38	2.41	2.44
	0.6	2.23	2.31	2.39	2.47	2.54	2.61	2.68	2.75	2.82	2.89	2.94	2.25	2.33	2.41	2.48	2.56	2.63	2.69	2.76	2.83	2.89	2.95
	0.8	2.46	2.60	2.73	2.85	2.97	3.08	3.18	3.29	3.38	3.48	3.57	2.49	2.62	2.75	2.87	2.98	3.09	3.20	3.30	3.39	3.49	3.58
	1.0	2.79	2.98	3.15	3.32	3.47	3.61	3.75	3.89	4.02	4.14	4.26	2.82	3.00	3.17	3.33	3.48	3.63	3.76	3.90	4.02	4.15	4.27
1.2	3.18	3.41	3.62	3.82	4.01	4.19	4.36	4.52	4.68	4.83	4.98	3.20	3.43	3.61	3.83	4.02	4.20	4.37	4.53	4.69	4.84	4.99	
0.4	0.2	2.15	2.13	2.13	2.14	2.14	2.15	2.15	2.16	2.17	2.17	2.18	2.23	2.21	2.20	2.19	2.19	2.20	2.20	2.21	2.21	2.22	2.23
	0.4	2.24	2.24	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.36	2.33	2.33	2.35	2.38	2.40	2.43	2.46	2.49	2.51	2.54
	0.6	2.40	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69	2.76	2.82	2.88	2.94	3.00	2.54	2.54	2.58	2.63	2.69	2.75	2.81	2.87	2.93	2.99	3.04
	0.8	2.68	2.74	2.81	2.95	3.05	3.15	3.25	3.35	3.44	3.53	3.62	2.79	2.83	2.91	3.01	3.10	3.20	3.30	3.39	3.48	3.57	3.63
	1.0	2.98	3.12	3.25	3.40	3.54	3.68	3.81	3.94	4.07	4.19	4.31	3.11	3.20	3.32	3.43	3.59	3.72	3.85	3.98	4.10	4.22	4.33
1.2	3.35	3.53	3.71	3.90	4.08	4.25	4.41	4.57	4.73	4.87	5.02	3.47	3.60	3.77	3.95	4.12	4.28	4.45	4.60	4.75	4.90	5.04	
0.6	0.2	2.57	2.42	2.37	2.34	2.33	2.32	2.32	2.32	2.32	2.32	2.33	2.93	2.68	2.57	2.52	2.49	2.47	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
	0.4	2.67	2.54	2.50	2.50	2.51	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.63	3.02	2.79	2.71	2.67	2.64	2.66	2.67	2.69	2.70	2.72	2.74
	0.6	2.83	2.74	2.73	2.76	2.80	2.85	2.90	2.96	3.01	3.06	3.12	3.17	2.98	2.93	2.93	2.95	2.98	3.02	3.07	3.11	3.16	3.21
	0.8	3.06	3.01	3.05	3.12	3.20	3.29	3.38	3.46	3.55	3.63	3.72	3.37	3.24	3.23	3.27	3.33	3.41	3.49	3.58	3.64	3.72	3.80
	1.0	3.34	3.35	3.44	3.56	3.68	3.80	3.92	4.04	4.16	4.27	4.33	3.63	3.56	3.57	3.63	3.79	3.90	4.01	4.12	4.23	4.34	4.45
1.2	3.67	3.74	3.88	4.03	4.19	4.35	4.50	4.65	4.80	4.94	5.08	3.94	3.92	4.00	4.15	4.29	4.43	4.58	4.72	4.87	5.01	5.14	
0.8	0.2	3.25	2.98	2.82	2.74	2.69	2.66	2.64	2.62	2.61	2.61	2.60	3.38	3.38	3.38	3.35	2.98	2.93	2.89	2.83	2.81	2.83	2.82
	0.4	3.33	3.05	2.93	2.87	2.84	2.83	2.83	2.83	2.84	2.85	2.87	3.85	3.47	3.23	3.18	3.12	3.09	3.07	3.05	3.06	3.06	3.03
	0.6	3.45	3.21	3.12	3.10	3.10	3.12	3.14	3.18	3.22	3.26	3.30	3.96	3.61	3.46	3.39	3.33	3.35	3.38	3.41	3.44	3.47	3.47
	0.8	3.63	3.44	3.39	3.41	3.45	3.51	3.57	3.64	3.71	3.79	3.85	4.12	3.82	3.70	3.67	3.68	3.72	3.76	3.82	3.83	3.94	4.01
	1.0	3.86	3.73	3.73	3.80	3.88	3.98	4.08	4.18	4.29	4.39	4.50	4.32	4.07	4.01	4.03	4.08	4.16	4.24	4.33	4.43	4.52	4.62
1.2	4.13	4.07	4.13	4.24	4.36	4.50	4.64	4.78	4.91	5.05	5.18	4.57	4.33	4.38	4.44	4.53	4.63	4.78	4.93	5.08	5.16	5.29	
1.0	0.2	4.00	3.60	3.39	3.28	3.18	3.13	3.08	3.05	3.03	3.01	3.00	4.88	4.15	3.83	3.69	3.57	3.49	3.43	3.38	3.35	3.32	3.30
	0.4	4.06	3.67	3.48	3.37	3.30	3.26	3.23	3.21	3.21	3.20	3.20	4.79	4.21	3.94	3.78	3.68	3.61	3.57	3.51	3.51	3.50	3.49
	0.6	4.15	3.79	3.63	3.54	3.50	3.48	3.49	3.50	3.51	3.54	3.57	4.82	4.33	4.08	3.95	3.87	3.83	3.80	3.80	3.80	3.81	3.83
	0.8	4.29	3.97	3.81	3.80	3.79	3.81	3.85	3.90	3.95	4.01	4.07	4.94	4.40	4.28	4.18	4.14	4.13	4.14	4.17	4.20	4.25	4.29
	1.0	4.48	4.21	4.13	4.13	4.17	4.23	4.31	4.39	4.43	4.57	4.66	5.10	4.70	4.53	4.48	4.48	4.51	4.58	4.62	4.70	4.77	4.85
1.2	4.70	4.49	4.47	4.52	4.60	4.71	4.82	4.94	5.07	5.19	5.31	5.30	4.95	4.84	4.82	4.83	4.83	4.86	4.95	5.05	5.16	5.27	
1.2	0.2	4.76	4.26	4.00	3.83	3.72	3.65	3.59	3.54	3.51	3.48	3.46	5.58	4.93	4.57	4.35	4.20	4.10	4.01	3.95	3.90	3.85	3.81
	0.4	4.81	4.32	4.07	3.91	3.82	3.75	3.70	3.67	3.65	3.63	3.62	5.62	4.98	4.64	4.43	4.20	4.13	4.12	4.07	4.03	4.01	3.98
	0.6	4.89	4.43	4.19	4.05	3.98	3.93	3.91	3.89	3.89	3.90	3.91	5.70	5.08	4.75	4.56	4.41	4.37	4.32	4.29	4.27	4.25	4.23
	0.8	5.00	4.57	4.36	4.26	4.21	4.20	4.21	4.23	4.26	4.30	4.34	5.80	5.21	4.91	4.75	4.66	4.61	4.59	4.59	4.60	4.62	4.65
	1.0	5.15	4.76	4.59	4.53	4.53	4.55	4.60	4.68	4.73	4.80	4.88	5.93	5.38	5.12	5.00	4.95	4.94	4.95	4.99	5.03	5.09	5.16
1.2	5.34	5.00	4.88	4.87	4.91	4.98	5.07	5.17	5.27	5.38	5.49	6.10	5.59	5.38	5.31	5.30	5.31	5.32	5.37	5.48	5.51	5.59	5.73
1.4	0.2	5.53	4.94	4.62	4.42	4.29	4.19	4.12	4.06	4.02	3.98	3.95	6.49	5.72	5.30	5.03	4.85	4.72	4.62	4.54	4.48	4.43	4.38
	0.4	5.57	4.99	4.68	4.49	4.36	4.27	4.21	4.16	4.13	4.10	4.08	6.53	5.77	5.35	5.10	4.93	4.80	4.71	4.64	4.59	4.55	4.51
	0.6	5.64	5.07	4.78	4.60	4.49	4.42	4.38	4.35	4.33	4.32	4.32	6.59	5.85	5.45	5.21	5.05	4.95	4.87	4.82	4.78	4.76	4.74
	0.8	5.74	5.19	4.92	4.77	4.69	4.64	4.62	4.62	4.63	4.65	4.67	6.63	5.96	5.59	5.37	5.24	5.15	5.10	5.08	5.06	5.08	5.07
	1.0	5.88	5.35	5.12	5.00	4.95	4.94	4.96	4.99	5.03	5.09	5.15	6.79	6.10	5.76	5.58	5.48	5.43	5.41	5.41	5.44	5.47	5.51
1.2	6.02	5.55	5.36	5.29	5.28	5.31	4.37	5.44	5.52	5.61	5.71	6.93	6.28	5.98	5.84	5.78	5.76	5.79	5.83	5.89	5.95	6.03	

注: 表中的计算长度系数 μ 值按下式算得:

$$\frac{\eta_1 K_1}{\eta_2 K_2} \cdot \lg \frac{\pi \eta_1}{\mu} \cdot \lg \frac{\pi \eta_2}{\mu} + \eta_1 K_1 \cdot \lg \frac{\pi \eta_1}{\mu} \cdot \lg \frac{\pi}{\mu} + \eta_2 K_2 \cdot \lg \frac{\pi \eta_2}{\mu} \cdot \lg \frac{\pi}{\mu} - 1 = 0$$

柱顶可移动但不转动的双阶柱下段的计算长度系数 μ

附表1.6

$$K_1 = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{H_2}{H_1}$$

$$K_2 = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{H_1}{H_2}$$

$$\eta_1 = \frac{H}{H_1} \sqrt{\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{I_1}{I_2}}$$

$$\eta_2 = \frac{H}{H_2} \sqrt{\frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{I_2}{I_1}}$$

N_1 — 上段柱的轴心力;

N_2 — 中段柱的轴心力;

N_3 — 下段柱的轴心力.

		$K_1 = 0.05$												$K_1 = 0.10$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
η_1	η_2	K_2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0.2		0.21	0.99	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	1.96	1.96	1.97	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	2.00	2.00	2.01	2.02	0.42	0.93	2.06	2.09	2.12	2.16	2.19	2.22	2.25	2.29	2.32	2.35	2.39	2.42	2.45	2.48	2.51	2.54	2.57	2.60	2.63	2.66	2.69	2.72	2.75	2.78	2.81	2.84	2.87	2.90	2.93	2.96	2.99	3.02	3.05	3.08	3.11	3.14	3.17	3.20	3.23	3.26	3.29	3.32	3.35	3.38	3.41	3.44	3.47	3.50	3.53	3.56	3.59	3.62	3.65	3.68	3.71	3.74	3.77	3.80	3.83	3.86	3.89	3.92	3.95	3.98	4.01	4.04	4.07	4.10	4.13	4.16	4.19	4.22	4.25	4.28	4.31	4.34	4.37	4.40	4.43	4.46	4.49	4.52	4.55	4.58	4.61	4.64	4.67	4.70	4.73	4.76	4.79	4.82	4.85	4.88	4.91	4.94	4.97	5.00	5.03	5.06	5.09	5.12	5.15	5.18	5.21	5.24	5.27	5.30	5.33	5.36	5.39	5.42	5.45	5.48	5.51	5.54	5.57	5.60	5.63	5.66	5.69	5.72	5.75	5.78	5.81	5.84	5.87	5.90	5.93	5.96	5.99	6.02	6.05	6.08	6.11	6.14	6.17	6.20	6.23	6.26	6.29	6.32	6.35	6.38	6.41	6.44	6.47	6.50	6.53	6.56	6.59	6.62	6.65	6.68	6.71	6.74	6.77	6.80	6.83	6.86	6.89	6.92	6.95	6.98	7.01	7.04	7.07	7.10	7.13	7.16	7.19	7.22	7.25	7.28	7.31	7.34	7.37	7.40	7.43	7.46	7.49	7.52	7.55	7.58	7.61	7.64	7.67	7.70	7.73	7.76	7.79	7.82	7.85	7.88	7.91	7.94	7.97	8.00	8.03	8.06	8.09	8.12	8.15	8.18	8.21	8.24	8.27	8.30	8.33	8.36	8.39	8.42	8.45	8.48	8.51	8.54	8.57	8.60	8.63	8.66	8.69	8.72	8.75	8.78	8.81	8.84	8.87	8.90	8.93	8.96	8.99	9.02	9.05	9.08	9.11	9.14	9.17	9.20	9.23	9.26	9.29	9.32	9.35	9.38	9.41	9.44	9.47	9.50	9.53	9.56	9.59	9.62	9.65	9.68	9.71	9.74	9.77	9.80	9.83	9.86	9.89	9.92	9.95	9.98	10.01	10.04	10.07	10.10	10.13	10.16	10.19	10.22	10.25	10.28	10.31	10.34	10.37	10.40	10.43	10.46	10.49	10.52	10.55	10.58	10.61	10.64	10.67	10.70	10.73	10.76	10.79	10.82	10.85	10.88	10.91	10.94	10.97	11.00	11.03	11.06	11.09	11.12	11.15	11.18	11.21	11.24	11.27	11.30	11.33	11.36	11.39	11.42	11.45	11.48	11.51	11.54	11.57	11.60	11.63	11.66	11.69	11.72	11.75	11.78	11.81	11.84	11.87	11.90	11.93	11.96	11.99	12.02	12.05	12.08	12.11	12.14	12.17	12.20	12.23	12.26	12.29	12.32	12.35	12.38	12.41	12.44	12.47	12.50	12.53	12.56	12.59	12.62	12.65	12.68	12.71	12.74	12.77	12.80	12.83	12.86	12.89	12.92	12.95	12.98	13.01	13.04	13.07	13.10	13.13	13.16	13.19	13.22	13.25	13.28	13.31	13.34	13.37	13.40	13.43	13.46	13.49	13.52	13.55	13.58	13.61	13.64	13.67	13.70	13.73	13.76	13.79	13.82	13.85	13.88	13.91	13.94	13.97	14.00	14.03	14.06	14.09	14.12	14.15	14.18	14.21	14.24	14.27	14.30	14.33	14.36	14.39	14.42	14.45	14.48	14.51	14.54	14.57	14.60	14.63	14.66	14.69	14.72	14.75	14.78	14.81	14.84	14.87	14.90	14.93	14.96	14.99	15.02	15.05	15.08	15.11	15.14	15.17	15.20	15.23	15.26	15.29	15.32	15.35	15.38	15.41	15.44	15.47	15.50	15.53	15.56	15.59	15.62	15.65	15.68	15.71	15.74	15.77	15.80	15.83	15.86	15.89	15.92	15.95	15.98	16.01	16.04	16.07	16.10	16.13	16.16	16.19	16.22	16.25	16.28	16.31	16.34	16.37	16.40	16.43	16.46	16.49	16.52	16.55	16.58	16.61	16.64	16.67	16.70	16.73	16.76	16.79	16.82	16.85	16.88	16.91	16.94	16.97	17.00	17.03	17.06	17.09	17.12	17.15	17.18	17.21	17.24	17.27	17.30	17.33	17.36	17.39	17.42	17.45	17.48	17.51	17.54	17.57	17.60	17.63	17.66	17.69	17.72	17.75	17.78	17.81	17.84	17.87	17.90	17.93	17.96	17.99	18.02	18.05	18.08	18.11	18.14	18.17	18.20	18.23	18.26	18.29	18.32	18.35	18.38	18.41	18.44	18.47	18.50	18.53	18.56	18.59	18.62	18.65	18.68	18.71	18.74	18.77	18.80	18.83	18.86	18.89	18.92	18.95	18.98	19.01	19.04	19.07	19.10	19.13	19.16	19.19	19.22	19.25	19.28	19.31	19.34	19.37	19.40	19.43	19.46	19.49	19.52	19.55	19.58	19.61	19.64	19.67	19.70	19.73	19.76	19.79	19.82	19.85	19.88	19.91	19.94	19.97	20.00	20.03	20.06	20.09	20.12	20.15	20.18	20.21	20.24	20.27	20.30	20.33	20.36	20.39	20.42	20.45	20.48	20.51	20.54	20.57	20.60	20.63	20.66	20.69	20.72	20.75	20.78	20.81	20.84	20.87	20.90	20.93	20.96	20.99	21.02	21.05	21.08	21.11	21.14	21.17	21.20	21.23	21.26	21.29	21.32	21.35	21.38	21.41	21.44	21.47	21.50	21.53	21.56	21.59	21.62	21.65	21.68	21.71	21.74	21.77	21.80	21.83	21.86	21.89	21.92	21.95	21.98	22.01	22.04	22.07	22.10	22.13	22.16	22.19	22.22	22.25	22.28	22.31	22.34	22.37	22.40	22.43	22.46	22.49	22.52	22.55	22.58	22.61	22.64	22.67	22.70	22.73	22.76	22.79	22.82	22.85	22.88	22.91	22.94	22.97	23.00	23.03	23.06	23.09	23.12	23.15	23.18	23.21	23.24	23.27	23.30	23.33	23.36	23.39	23.42	23.45	23.48	23.51	23.54	23.57	23.60	23.63	23.66	23.69	23.72	23.75	23.78	23.81	23.84	23.87	23.90	23.93	23.96	23.99	24.02	24.05	24.08	24.11	24.14	24.17	24.20	24.23	24.26	24.29	24.32	24.35	24.38	24.41	24.44	24.47	24.50	24.53	24.56	24.59	24.62	24.65	24.68	24.71	24.74	24.77	24.80	24.83	24.86	24.89	24.92	24.95	24.98	25.01	25.04	25.07	25.10	25.13	25.16	25.19	25.22	25.25	25.28	25.31	25.34	25.37	25.40	25.43	25.46	25.49	25.52	25.55	25.58	25.61	25.64	25.67	25.70	25.73	25.76	25.79	25.82	25.85	25.88	25.91	25.94	25.97	26.00	26.03	26.06	26.09	26.12	26.15	26.18	26.21	26.24	26.27	26.30	26.33	26.36	26.39	26.42	26.45	26.48	26.51	26.54	26.57	26.60	26.63	26.66	26.69	26.72	26.75	26.78	26.81	26.84	26.87	26.90	26.93	26.96	26.99	27.02	27.05	27.08	27.11	27.14	27.17	27.20	27.23	27.26	27.29	27.32	27.35	27.38	27.41	27.44	27.47	27.50	27.53	27.56	27.59	27.62	27.65	27.68	27.71	27.74	27.77	27.80	27.83	27.86	27.89	27.92	27.95	27.98	28.01	28.04	28.07	28.10	28.13	28.16	28.19	28.22	28.25	28.28	28.31	28.34	28.37	28.40	28.43	28.46	28.49	28.52	28.55	28.58	28.61	28.64	28.67	28.70	28.73	28.76	28.79	28.82	28.85	28.88	28.91	28

续附表1.6

		$K_1=0.20$										$K_1=0.30$											
η_1	η_2	K_2																					
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0.2	0.2	1.94	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.92	1.91	1.90	1.89	1.89	1.89	1.90	1.90	1.90	1.90	1.91
	0.4	1.96	1.98	1.99	2.02	2.04	2.07	2.09	2.12	2.15	2.17	2.20	1.95	1.95	1.96	1.97	1.99	2.01	2.04	2.06	2.08	2.11	2.13
	0.6	2.02	2.07	2.13	2.19	2.26	2.32	2.38	2.44	2.50	2.56	2.62	1.99	2.03	2.08	2.13	2.18	2.24	2.29	2.35	2.41	2.46	2.52
	0.8	2.12	2.23	2.35	2.47	2.58	2.68	2.78	2.88	2.98	3.07	3.15	2.07	2.16	2.27	2.37	2.47	2.57	2.66	2.75	2.84	2.93	3.01
	1.0	2.28	2.47	2.65	2.82	2.97	3.12	3.26	3.39	3.51	3.63	3.75	2.20	2.37	2.53	2.69	2.88	2.97	3.10	3.13	3.35	3.46	3.57
	1.2	2.50	2.77	3.01	3.22	3.42	3.61	3.77	3.93	4.09	4.23	4.38	2.39	2.63	2.85	3.05	3.24	3.42	3.58	3.74	3.89	4.03	4.17
0.4	0.2	1.93	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.92	1.91	1.91	1.90	1.90	1.91	1.91	1.91	1.92	1.92	1.92
	0.4	1.97	1.98	2.00	2.03	2.05	2.08	2.11	2.13	2.16	2.19	2.22	1.95	1.96	1.97	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.10	2.12	2.15
	0.6	2.03	2.08	2.14	2.21	2.27	2.33	2.40	2.46	2.52	2.58	2.63	2.00	2.04	2.09	2.14	2.20	2.26	2.31	2.37	2.42	2.48	2.53
	0.8	2.13	2.25	2.37	2.48	2.59	2.70	2.80	2.90	2.99	3.08	3.17	2.08	2.18	2.28	2.39	2.49	2.59	2.68	2.77	2.83	2.95	3.03
	1.0	2.29	2.49	2.67	2.83	2.99	3.13	3.27	3.40	3.53	3.64	3.76	2.22	2.39	2.55	2.71	2.85	2.99	3.12	3.24	3.36	3.48	3.59
	1.2	2.52	2.79	3.02	3.23	3.43	3.61	3.78	3.94	4.10	4.24	4.39	2.41	2.65	2.87	3.07	3.26	3.43	3.59	3.75	3.90	4.04	4.18
0.6	0.2	1.95	1.95	1.95	1.95	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.93	1.93	1.92	1.92	1.93	1.93	1.93	1.94	1.94	1.95	1.95
	0.4	1.98	2.00	2.02	2.05	2.08	2.10	2.13	2.16	2.19	2.21	2.24	1.96	1.97	1.99	2.01	2.03	2.06	2.08	2.11	2.13	2.16	2.18
	0.6	2.01	2.10	2.17	2.23	2.30	2.35	2.42	2.48	2.54	2.60	2.66	2.02	2.06	2.12	2.17	2.23	2.29	2.35	2.40	2.46	2.51	2.57
	0.8	2.15	2.27	2.39	2.51	2.62	2.72	2.82	2.92	3.01	3.10	3.19	2.11	2.21	2.32	2.42	2.52	2.62	2.71	2.80	2.89	2.98	3.06
	1.0	2.32	2.52	2.70	2.83	3.01	3.16	3.29	3.42	3.55	3.66	3.78	2.25	2.42	2.59	2.74	2.88	3.02	3.15	3.27	3.39	3.50	3.61
	1.2	2.55	2.82	3.05	3.23	3.45	3.63	3.80	3.95	4.11	4.26	4.40	2.44	2.69	2.91	3.11	3.29	3.43	3.62	3.78	3.93	4.07	4.23
0.8	0.2	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	1.96	1.95	1.98	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00
	0.4	2.00	2.03	2.06	2.08	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.25	2.28	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.10	2.13	2.15	2.18	2.21	2.23
	0.6	2.08	2.14	2.21	2.27	2.34	2.40	2.46	2.52	2.58	2.64	2.69	2.05	2.10	2.16	2.22	2.28	2.34	2.40	2.45	2.51	2.58	2.61
	0.8	2.19	2.32	2.44	2.55	2.66	2.76	2.86	2.93	3.05	3.13	3.22	2.15	2.26	2.37	2.47	2.57	2.67	2.76	2.85	2.94	3.02	3.10
	1.0	2.37	2.57	2.74	2.90	3.05	3.19	3.33	3.45	3.58	3.69	3.81	2.30	2.48	2.64	2.79	2.93	3.07	3.19	3.31	3.43	3.54	3.65
	1.2	2.61	2.87	3.09	3.30	3.49	3.63	3.83	3.99	4.14	4.29	4.42	2.50	2.74	2.96	3.15	3.33	3.50	3.66	3.81	3.96	4.10	4.23
1.0	0.2	2.01	2.02	2.03	2.03	2.04	2.05	2.05	2.06	2.07	2.07	2.08	2.01	2.02	2.02	2.03	2.04	2.04	2.05	2.06	2.06	2.07	2.07
	0.4	2.06	2.09	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23	2.25	2.28	2.31	2.33	2.05	2.08	2.10	2.13	2.16	2.18	2.21	2.23	2.26	2.28	2.31
	0.6	2.14	2.21	2.27	2.34	2.40	2.46	2.52	2.58	2.63	2.69	2.74	2.13	2.19	2.25	2.30	2.36	2.42	2.47	2.53	2.58	2.63	2.68
	0.8	2.27	2.39	2.51	2.62	2.72	2.82	2.91	3.00	3.09	3.18	3.26	2.24	2.35	2.45	2.55	2.65	2.74	2.83	2.92	3.00	3.08	3.16
	1.0	2.45	2.61	2.81	2.98	3.19	3.34	3.37	3.50	3.61	3.73	3.84	2.40	2.57	2.72	2.88	3.00	3.13	3.25	3.37	3.48	3.59	3.70
	1.2	2.69	2.94	3.15	3.35	3.53	3.71	3.87	4.02	4.17	4.32	4.46	2.60	2.83	3.03	3.22	3.39	3.56	3.71	3.86	4.01	4.14	4.28
1.2	0.2	2.13	2.12	2.12	2.13	2.13	2.14	2.14	2.15	2.15	2.16	2.16	2.17	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.17	2.18	2.18	2.19
	0.4	2.18	2.19	2.21	2.24	2.26	2.29	2.31	2.34	2.36	2.38	2.41	2.22	2.22	2.24	2.26	2.28	2.30	2.32	2.34	2.36	2.39	2.41
	0.6	2.27	2.32	2.37	2.43	2.49	2.54	2.60	2.65	2.70	2.76	2.81	2.29	2.33	2.38	2.43	2.48	2.53	2.58	2.62	2.67	2.72	2.77
	0.8	2.41	2.50	2.60	2.70	2.80	2.89	2.98	3.07	3.15	3.23	3.32	2.41	2.49	2.58	2.67	2.75	2.81	2.92	3.00	3.08	3.16	3.23
	1.0	2.59	2.74	2.89	3.04	3.17	3.30	3.43	3.55	3.66	3.78	3.89	2.56	2.69	2.83	2.96	3.09	3.21	3.33	3.44	3.55	3.66	3.76
	1.2	2.81	3.03	3.23	3.42	3.59	3.76	3.92	4.07	4.22	4.36	4.49	2.74	2.94	3.13	3.30	3.47	3.63	3.78	3.92	4.06	4.20	4.33
1.4	0.2	2.35	2.31	2.29	2.28	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	2.28	2.28	2.45	2.40	2.37	2.35	2.35	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34
	0.4	2.40	2.37	2.37	2.38	2.39	2.41	2.43	2.45	2.47	2.49	2.51	2.48	2.45	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
	0.6	2.48	2.49	2.52	2.56	2.61	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.89	2.55	2.54	2.56	2.60	2.63	2.67	2.71	2.75	2.80	2.84	2.88
	0.8	2.60	2.66	2.73	2.82	2.90	2.98	3.07	3.15	3.23	3.31	3.38	2.64	2.68	2.74	2.81	2.89	2.96	3.04	3.11	3.18	3.25	3.33
	1.0	2.77	2.88	3.01	3.14	3.25	3.38	3.50	3.62	3.73	3.84	3.94	2.77	2.87	2.98	3.09	3.20	3.32	3.43	3.53	3.64	3.74	3.84
	1.2	2.97	3.15	3.33	3.50	3.67	3.83	3.98	4.13	4.27	4.41	4.54	2.94	3.09	3.26	3.41	3.57	3.72	3.86	4.00	4.13	4.26	4.39

注: 表中的计算长度系数 μ 值系按下式算得:

$$\frac{\eta_1 K}{\eta_2 K_1} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi \eta_1}{\mu} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi \eta_2}{\mu} + \frac{\eta_1 K}{(\eta_2 K_1)^2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi \eta_1}{\mu} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi}{\mu} + \frac{1}{\eta_1 K_1} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\pi \eta_2}{\mu}, \operatorname{ctg} \frac{\pi}{\mu} - 1 = 0$$

附录二 本规程用词说明

一、执行本规程条文时，对要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待：

1. 表示很严格，非这样作不可的用词：
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作的用词：
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作的用词：
正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”。

二、条文中必须按指定的标准、规范或其他有关规定执行的，其写法为“应按……执行”或“应符合……要求(或规定)”。非必须按照所指定的标准、规范或其他规定执行的，其写法为“可参照……”。

附加说明

本规程主编单位、参加单位 和主要起草人名单

主 编 单 位：

哈尔滨建筑工程学院
中国建筑科学研究院

参 加 单 位：

清华大学土木系
北京工业大学土木系
中国船舶工业总公司第九设计研究院
中国建筑第三工程局科研所
核工业第二研究设计院
北京市城市建设设计院
首都钢铁公司设计院

主要起草人：

钟善桐 蔡绍怀 沈聚敏 陆赐麟 高伯扬
沈希明 彭少武 顾维平 苗若愚 张小丽
李传铭 李太惠 李 桥

审 查 单 位：建筑工程标准研究中心

中国工程建设标准化协会标准

钢管混凝土结构设计 与 施 工 规 程

CECS 28 : 90

条 文 说 明

目 次

第一章 总则	11—35
第三章 基本设计规定	11—36
第四章 承载力计算	11—37
第一节 单肢柱承载力计算	11—37
第二节 格构柱承载力计算	11—39
第三节 局部受压计算	11—40
第五章 变形计算	11—40
第六章 节点构造	11—41
第一节 一般规定	11—41
第二节 框架节点	11—41
第三节 格构柱节点	11—41
第四节 桁架节点	11—41
第七章 施工及质量要求	11—42
第一节 钢管制作	11—42
第二节 钢管拼接组装	11—42
第三节 钢管柱吊装	11—42
第四节 管内混凝土浇灌	11—42

第一章 总 则

钢管混凝土系指在钢管之内填充混凝土而形成的组合材料。钢管有圆形和方形之分。圆钢管混凝土和方钢管混凝土的力学行为有着重大差别。圆钢管因能有效地约束核心混凝土，从而其混凝土的抗压强度和变形能力都能显著提高。方钢管则因不能对核心混凝土提供有效的箍力，其强度和变形能力都远低于圆钢管混凝土。本规程仅限于圆钢管混凝土。

钢管混凝土除具有一般套箍混凝土的强度高、重量轻、塑性好、耐疲劳、耐冲击等优点外，还具有以下一些在施工工艺方面的独特优点：

一、钢管本身就是耐侧压的模板。因而浇灌混凝土时，可省去支模、拆模的工和料，并可适应先进的泵灌混凝土工艺。

二、钢管本身就是钢筋。它兼有纵向钢筋（受拉和受压）和横向箍筋的作用。制作钢管远比制作钢筋骨架省工省料，而且便于浇灌混凝土。

三、钢管本身又是劲性承重骨架。在施工阶段可起劲性钢骨架的作用，其焊接工作量远比一般型钢骨架为少，从而可简化施工安装工艺、节省脚手架、缩短工期，减少施工用地。在寒冷地区，可以冬季安装空钢管骨架，开春后再浇灌混凝土，施工不受季节的限制。

在结构的受压杆件中，采用钢管混凝土代替钢筋混凝土和结构钢，可大幅度地节省钢、木、水泥和减轻结构自重，使传统杆系结构的性能大为改善，尤其是在高层、大跨、重载和抗震抗爆的建筑结构中，以及在大中城市的施工场地狭窄的建筑工程中，能更好地满足设计和施工的一系列要求。

钢管混凝土还可与预应力技术结合，提高结构的刚度和耐疲劳性能。

理论分析和工程实践都表明，钢管混凝土与钢结构相比，在保持自重相近和承载能力相同的条件下，可节省钢材约50%，焊接工作量可大幅度减少，与普通钢筋混凝土相比，在保持钢筋用量相近和承载能力相同的条件下，构件的横截面面积可减小约一半，从而建筑空间得到加大，混凝土和水泥用量以及构件自重相应减少约50%。

圆形钢管混凝土柱的强度，在任意方向都是相等的。这用于抵抗方向不确定的地震作用，是很有效的。在那些有任意方向的交通流的地方，例如公共建筑的大厅、车站、车库等，采用圆形的钢管混凝土柱，是十分合理的。将钢管混凝土用作城市立交桥的支墩可在任何方向都得到最佳的视野而有助于交通安全。

在露天塔架结构中，圆形杆件的暴露面积最小，阻风面积也最小。

钢管混凝土的耐火性能虽不如钢筋混凝土好，但比钢结构要强。钢管混凝土耐腐蚀的性能和钢结构相似，但腐蚀面积减小一半。

钢管混凝土耐撞击的能力，比钢结构和钢筋混凝土结构都强。

在土木建筑工程中应用钢管混凝土结构已有80多年的历史。60年代前后，钢管混凝土结构的应用，在苏联、西欧、北美和日本等工业发达国家受到重视，曾在厂房建筑、多层和高层建筑、立交桥以及特种结构工程中加以应用，收到良好的效果。

我国从1959年开始研究钢管混凝土的基本性能和应用。1963年成功地将钢管混凝土柱用于北京地铁车站工程，70年代又相继在冶金、造船、电力等部门的单层厂房和重型构架中得到成功的应用。80年代更进一步在多层建筑的框架结构中采用钢管混凝土。

土柱。

本规程总结了我国20多年来在钢管混凝土方面研究、设计、施工和应用的实践经验。

第三章 基本设计规定

第3.1.5条 钢管壁厚4 mm, 是焊接需要的最小厚度。套箍指标 $\theta \geq 0.3$ 的规定, 系为防止混凝土等级高时钢管的套箍能力不足而引起脆性破坏。 $\theta \leq 3$ 的规定, 则为防止因混凝土等级过低而使结构在使用荷载下产生塑性变形。国内的大量试验结果表明其套箍指标都位于本规程所限定的范围。在使用荷载下此范围内的试件均处于弹性工作阶段, 且破坏前都具有足够的延性。

径厚比 d/t 不大于 $85\sqrt{235/f_y}$ 的限制, 是参考国外规范, 为防止空钢管受力时管壁局部失稳而定出的 (详见 ECCS, Composite Structures, The Construction Press, London and New York, 1981, PP.150~151)。如不存在空钢管受力这种情况, 则径厚比可不受此限制。

第四章 承载力计算

第一节 单肢柱承载力计算

第4.1.2条 规程公式(4.1.2-1)的双系数乘积关系是根据国内各研究单位的大量试验结果所确定的经验公式,并用国外的大量试验结果验证过,证明该公式与试验结果符合良好。采用该公式后,计算工作大为简化(详见蔡绍怀、邸小坛“钢管混凝土偏压柱的性能和强度计算”,《建筑结构学报》1985年第6卷第4期,第32~42页;或蔡绍怀《钢管混凝土结构的计算与应用》,中国建筑工程出版社1989年出版,第40~42页)。

规程中轴压短柱极限承载力 N_0 的计算公式(4.1.2-2),是在总结国内外大量理论和试验研究成果的基础上得到的。在套箍指标为0.2~5.0的范围内,该公式的计算值与实测值均符合良好。试验结果表明,该式对于①钢管与混凝土同时受载;②仅核心混凝土直接受载;③钢管在弹性极限内预先受载,然后再与核心混凝土共同受载等加载方式均适用(详见蔡绍怀、焦占栓“钢管混凝土短柱的基本性能和强度计算”,《建筑结构学报》1984年第5卷第6期,第13~29页;或蔡绍怀《钢管混凝土结构的计算与应用》,中国建筑工程出版社1989年出版,第29~36页)。

双曲压弯柱,在偏心率较小时,其承载力会高于轴心受压时的承载力。考虑到这种提高,是以弯矩 M 和轴力 N 共同作用为前提,同时考虑到当偏心率趋近于零时(即弯矩趋于消失时),柱的承载力应趋于轴压时的承载力,为避免弯矩消失而引起承载力突然下降的危险,故规定应满足规程公式(4.1.2-4)的限制条件(详见蔡绍怀、顾维平“弯矩分布图对钢管混凝土无侧移柱承

载能力的影响”,《建筑结构学报》1996年第11卷第5期;蔡绍怀、顾维平“钢管混凝土框架柱的极限分析”,《中国土木工程学会第四届全国论文集》,中国铁道出版社1998年出版,第263~268页)。

第4.1.3条 根据极限平衡理论和试验资料分析,在轴力 N 和相等端弯矩 M 共同作用下的两端铰支的钢管混凝土标准柱(图4.1.3),其屈服条件可表达为:

$$\text{当 } \frac{N}{N_0} \geq 0.26 \text{ 时, } \frac{N}{N_0} + 0.74 \frac{M}{M_0} = 1 \quad (4.1.3-1)$$

$$\text{当 } \frac{N}{N_0} < 0.26 \text{ 时, } \frac{M}{M_0} = 1 \quad (4.1.3-2)$$

式中 N_0 为钢管混凝土轴压短柱的极限承载力; M_0 为其极限抗弯强度。

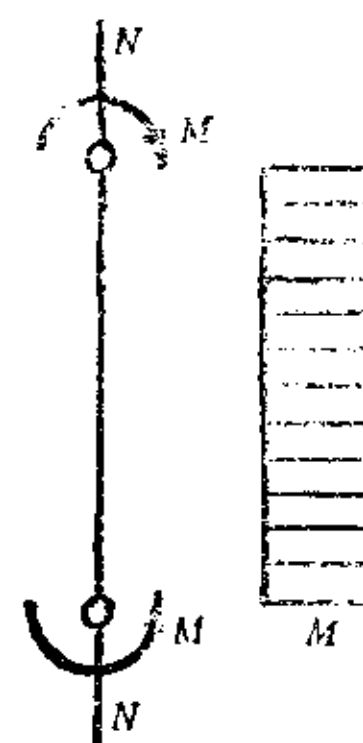


图4.1.3 标准柱

根据试验结果, M_0 可近似表达为:

$$M_0 = 0.4 N_0 r_0 \quad (4.1.3-3)$$

将其代入式(4.1.3-1)和(4.1.3-2),并考虑到 $M = N e_0$,和根据定义 $\varphi = N/N_0$,即得本规程正文的公式(4.1.3-1)和公

式(4.1.3-5)。再令该二式的 r_0 相等,即得分界点的偏心率 $e_0/r_0=1.55$ (详见蔡绍怀、邱小坛“钢管混凝土偏压柱的性能和强度计算”,《建筑结构学报》1985年第6卷第4期,第32~42页;蔡绍怀、顾万黎“钢管混凝土抗弯强度的试验研究”,《建筑结构》1985年第3期,第28~29页;或蔡绍怀《钢管混凝土结构的计算与应用》,中国建筑工程出版社1989年出版,第40~48页)。

第4.1.4条 规程公式(4.1.4-1)是总结国内外大量的试验数据得出的经验公式。在 $l_0/d \leq 50$ 的范围内,该公式的计算值与试验实测值符合良好。从现有的试验数据看,钢管径厚比 d/t ,钢材品种以及混凝土等级等的变化,对 φ_1 值的影响无明显规律,其变化幅度都在试验结果的离散程度以内,故公式中对这些因素都不予考虑(详见蔡绍怀、顾万黎“钢管混凝土长柱的性能和强度计算”,《建筑结构学报》1985年第6卷第1期,第32~40页)。

第4.1.5条 本条的等效计算长度考虑了柱端约束条件(转动和侧移)和沿柱长的弯矩分布图等因素对柱承载力的影响。

柱端约束条件的影响,借引入“计算长度”的办法予以考虑,与我国《钢结构设计规范》所采用的办法完全相同。附录一附表1.1和附表1.2的计算长度系数 μ 即系摘自《钢结构设计规范》。

为考虑沿柱长的弯矩分布图的影响,本规程和《钢结构设计规范》一样,采用了等效标准柱的计算方法,即将各种一次弯矩分布图不为矩形的两端铰支柱以及悬臂柱等非标准柱,转换为具有相同承载力的一次弯矩分布图为矩形的等效标准柱。所不同的是,钢结构设计规范采用了等效弯矩,即将非标准柱的较大弯矩予以缩减,取等效弯矩系数 $C \leq 1$,相应的柱长保持不变[图4.1.5-1(a)];本规程采用的则是等效长度,即将非标准柱的长度予以缩减,取等效长度系数 $k \leq 1$,相应的柱端较大弯矩 M_1 保持不变[图4.1.5-1(b)]。两种处理办法的效果应该是相同的。本规程采用等效长度,在概念上更为直观,对双曲压弯下的零挠度点漂移现象,更易于解释。

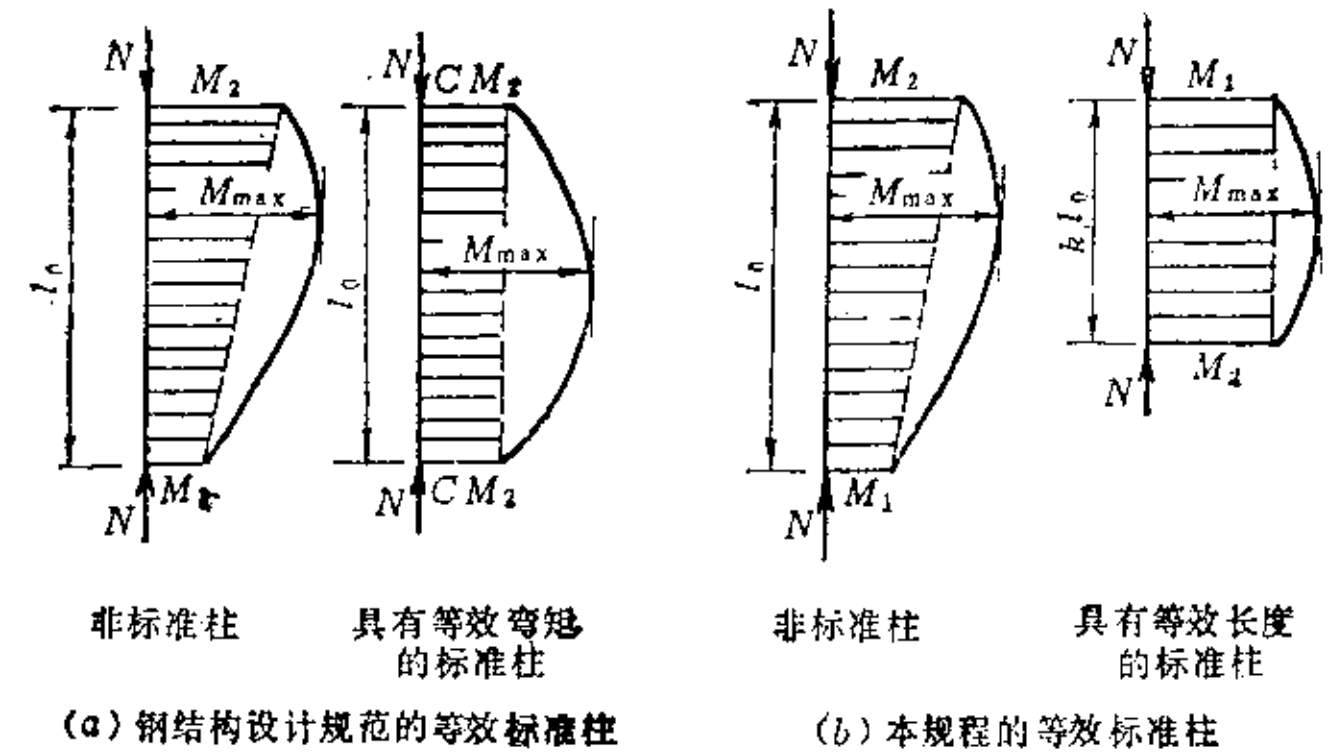


图4.1.5-1 无侧移框架柱

无侧移框架柱的等效长度系数公式(4.1.5-4)是根据试验结果建立的经验公式(详见蔡绍怀、顾维平“弯矩分布图形对钢管混凝土无侧移柱承载能力的影响”,《建筑结构学报》1990年第

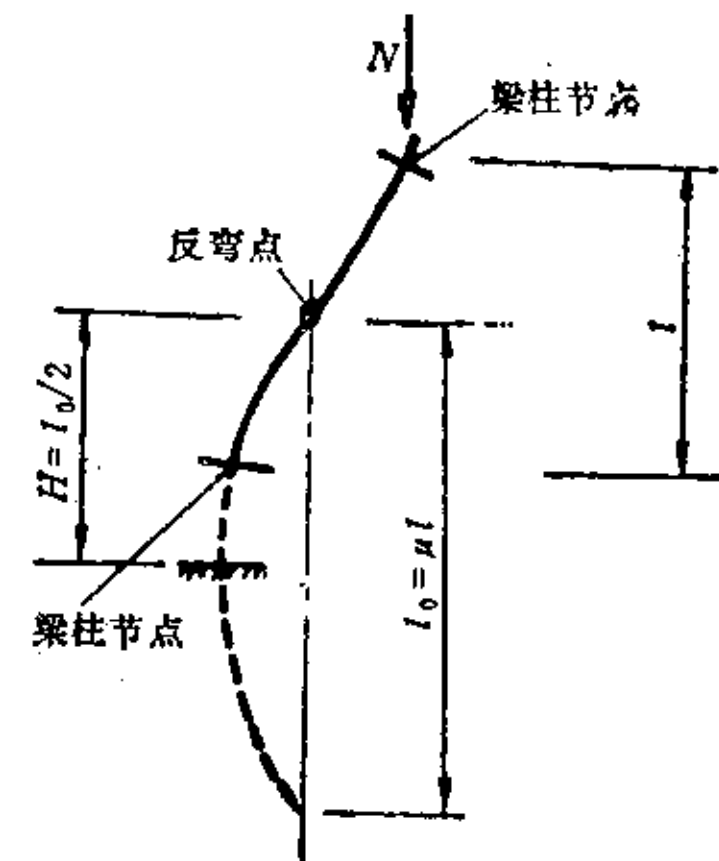


图4.1.5-2 有侧移框架柱

11卷第5期,或蔡绍怀《钢管混凝土结构的计算与应用》,中国建筑工业出版社1989年出版,第48~51页)。

有侧移框架柱的等效长度系数,是按悬臂柱的规律进行计算的,取计算长度的1/2,作为悬臂柱的高度(图4.1.5-2)。

第4.1.6条 规程公式(4.1.6-2)所反映的规律,是根据试验结果总结的。显然,它只在偏心率较大情况下才成立。当偏心率趋近于零时,规程公式(4.1.6-1)中的 k 值显然将趋近于2,因为由材料力学可知,在偏心率等于零的情况下,悬臂柱的计算长度应等于 $2H$ 。根据现有的试验资料,当 $e_0/r_0 \geq 0.8$ 时,规程公式(4.1.6-2)成立。当 $e_0/r_0 < 0.8$ 时,可取 k 值在1与2之间,按偏心率的大小作线性插入,亦即按规程公式(4.1.6-3)计算(详见蔡绍怀、顾维平、陆群,“钢管混凝土框架柱在侧力作用下的性能及其极限承载力计算方法的研究”,中国建筑科学研究院《建筑科学研究报告》,1988年No. 1~6,第17~37页)。

当悬臂柱上无侧力作用时,它实际上已与长度 $l_0 = 2H$ 的标准单元柱相当(图4.1.6),亦即在这种情况下,应取 $k = 2$ 。因此,规程公式(4.1.6-2)中 $k = 1$ 的规律只适用于自由端无弯矩作用的情况,当自由端还同时有弯矩 M_1 作用时, k 值显然应大于1。规程公式(4.1.6-1)对两种极端情况都能满足,即当

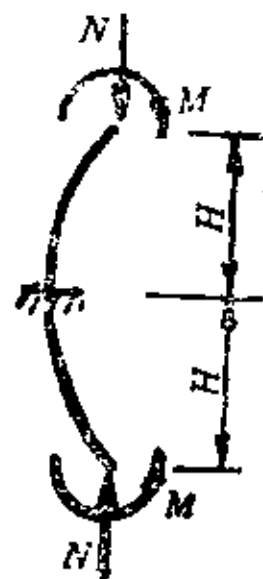


图4.1.6 无侧力作用的悬臂柱

$\beta = 0$ 时, $k = 1$,当 $\beta = 1$ 时, $k = 2$ 。

第二节 格构柱承载力计算

第4.2.3条 有关剪力的规定,是按照我国《钢结构设计规范》套用的。由于钢管混凝土为组合材料,故将钢结构设计规范中的应力表达改为极限承载力表达。

第4.2.5条 仿照《钢结构设计规范》的作法,格构柱的整体承载力随长细比和偏心率的增大而下降的规律,一如单肢柱那样,采用双系数乘积公式表达。参见第4.1.2条的说明。

第4.2.6条、第4.2.7条 以往国内一些单位,在设计钢管混凝土格构柱时,基本上借用《钢结构设计规范》中计算钢格构柱的公式和方法,其根本缺点是没有反映钢管混凝土柱肢的抗压强度和抗拉强度有重大差异这一特点。因而在某些场合,特别是荷载偏心较大时,会得出偏于不安全的结果。本规程的格构柱计算,则反映了钢管混凝土柱肢的抗压强度与抗拉强度不相等这一重要特点(详见蔡绍怀“钢管混凝土格构柱的强度计算”,《建筑科学》1989年第6期,PP.15~20;或蔡绍怀《钢管混凝土结构的计算与应用》,中国建筑工业出版社1989年出版,PP.75~79)。

第4.2.8条 关于考虑长细比影响的折减系数 φ_1 ,遵循《钢结构设计规范》的原则,令格构柱承载力因长细比增大而降低的规律与实心柱的规律相同,亦即与单肢钢管混凝土柱的规律相同。

近似地取钢管混凝土圆形截面积的回转半径为 $r = d/4$,于是长细比 λ 可表达为:

$$\lambda = l_0/r = 4l_0/d$$

由此得: $l_0/d = \lambda/4$

将其代入单肢柱的公式,即得:

$$\varphi_1 = 1 - 0.115 \sqrt{\frac{\lambda}{4} - 4}$$

$$=1-0.115\sqrt{\frac{\lambda-16}{4}}$$

$$=1-0.0575\sqrt{\lambda-16}$$

将上式中的长细比 λ 以格构柱的换算长细比 λ^* 置换,即得

$$\varphi^*=1-0.0575\sqrt{\lambda^*-16}$$

格构柱的换算长细比公式,引自《钢结构设计规范》。

第4.2.9条、第4.2.10条 等效计算长度的计算公式,完全仿照单肢柱的公式导得。条文中以 $e_0/h=0.5e_s$,亦即以0.5倍临界偏心率作为选用 K 值公式的分界线。这是参考单肢柱的分界线 $e_0/r_s=0.8$,大致相当于临界偏心率 $e_0/r_s=1.55$ 的0.5倍这样一个规律定出的。

第4.2.11条 本条的计算系数取自《钢结构设计规范》。

第三节 局部受压计算

第4.3.2条、第4.3.3条 对混凝土配置横向箍筋,形成所谓套箍混凝土,可显著提高其局部承压强度。钢管混凝土是一种特殊形式的套箍混凝土。试验研究表明,其局部承压强度提高系数亦服从与面积比的平方根成线性关系的规律(详见蔡绍怀、尉尚民、焦占栓、何琼“钢管混凝土局部承压性能和强度计算的研究”,《建筑科学》1989年第2期,第18~23页)。

第五章 变形计算

第5.0.2条 钢管混凝土中的混凝土,在受压时,因受到钢管的约束,处于三向受压状态,其弹性极限会增高,在受拉时,因受到钢管的抑制,其抗拉强度和弹性极限也会增高。因此,在计算钢管混凝土的综合刚度时,混凝土的弹性模量,无论受压或受拉,均按《混凝土结构设计规范》取值,不必采用0.85的折减系数。

第六章 节点构造

第一节 一般规定

第6.1.1条 按一般结构设计的要求提出。

第6.1.2条、第6.1.3条 由于钢管混凝土构件受压时产生很大的紧箍力,必须保证钢管不断裂破坏,因而要求连接和母材等强度。

第6.1.4条 根据现场施工的要求提出。

第二节 框架节点

第6.2.1条、第6.2.2条 根据中船总公司第九设计院等三单位在上海基础公司特种基础研究所科研楼设计施工中的经验提出。

第6.2.3条 为了保证管内混凝土的浇灌质量,应尽可能避免零部件穿过钢管。

第6.2.4条 本条只对剪力的外部传递作了规定。至于剪力的内部传递,可借钢管与核心混凝土之间的粘结力和钢管分段处封顶板的支承力等来实现,但目前还没有确切的计算方法。如节点的剪力很大,可将腹板穿入管心,但须注意不要妨碍混凝土的浇灌。

第6.2.5条 本条提出的构造方式,都是为了避免钢筋穿入钢管,以方便混凝土的浇灌。根据国内和日本的经验,加强环是一种有效的弯矩传递构造形式。加强环带的最小宽度 $c=0.7B$ 的规定,是根据最薄弱部位与梁轴线呈 45° ,且不考虑钢管的作用,由等强静力平衡条件得出的。对有抗震要求的结构,加强环与梁

件焊接位置的限制,是为了避开在弯矩峰值区焊接,以保证结构有较好的延性。

双梁和局部加宽梁端,使钢筋绕过钢管的构造方式,是根据中国建筑西南设计院和哈尔滨建工学院等单位的经验提出的。

第三节 格构柱节点

第6.3.1条 主要根据国内多年的设计和使用经验制订。

第6.3.2条 主要根据国内多年的设计和使用经验制订。肩梁不穿过钢管既方便了管内混凝土的浇灌,又简化了节点构造,应优先采用。

第6.3.4条 主要是参考吉林造纸厂碱炉电站除尘车间的设计经验制订的。

第四节 桁架节点

第6.4.1条、第6.4.4条 主要根据吉林造纸厂碱炉电站除尘车间的设计和应用经验以及国外的经验(见〔苏联〕Л.И.斯托鲁任科著《钢管混凝土结构》,冶金工业出版社,1982年版)制订。

第七章 施工及质量要求

第一节 钢管制作

本节条文基本上根据《钢结构工程施工及验收规范》(GBJ 205-83)的内容制订。

第二节 钢管拼接组装

本节条文是根据国内已建钢管混凝土结构的施工经验制订的。表7.2.5还参考了《钢结构工程施工及验收规范》(GBJ 205-83)的有关内容。

第三节 钢管柱吊装

本节各条均属基本要求,规程表7.3.4是参考《钢结构工程施工及验收规范》(GBJ 205-83)的有关内容和国内已建钢管混凝土结构的施工经验而制订的。规程第7.3.2条提出混凝土强度达到设计值50%时可以吊装,主要是考虑到钢管混凝土构件比钢筋混凝土构件轻,钢管又能承受自重作用的大部分,故此值取得较低。

第四节 管内混凝土浇灌

钢管混凝土的特点之一是它的钢管就是模板,具有很好的整体性和密闭性,不漏浆、耐内压。一般情况下,钢管内部无钢筋骨架和穿心部件,管断面又为圆形,因此,在钢管内浇灌混凝土比一般钢筋混凝土容易,特别适合泵送顶升和高位抛落。但是,对管内混凝土的浇灌质量,无法作直观检查,其浇灌质量必须依靠严密的施工组织,明确的岗位责任制和操作人员的责任心。

本节给出的泵送顶升、高位抛落无振捣和手工浇捣等三种浇灌混凝土的方法,是根据国内已建钢管混凝土结构的施工经验制定的。日前,国内最大抛落高度达50m(湖北荆门热电厂二期工程锅炉炉架施工);混凝土不产生离析。抛落无振捣浇灌法,是太钢土建部门1985年创始的,已成功地应用于太钢三厂铸造车间工程、重钢高炉工程、包钢高炉工程以及青海铝厂生阳极车间工程等(详见《工业建筑》1986年第6期和1988年第9期)。泵送顶升浇灌法在国外如日本、美国、匈牙利等用的较普遍,国内在首钢已成功地用于实际工程(详见《工业建筑》1988年第10期)。