

钢筋砼异形截面柱正截面承载力简化计算

⑤
22-26 (张玉秋 陈云霞)
(天津大学土木系 300072)

TU375-302
TU375-301

[摘要] 根据钢筋砼异形截面双向偏心受压柱的工作机理,编制了正截面承载力分析的数值迭代法计算机程序,并用它对 T 形、L 形截面各 1 024 根柱进行了计算分析,总结了这两种截面双向偏心受压柱正截面承载力的变化规律,在此基础上提出双向偏心受压柱正截面承载力的简化计算公式,并给出了利用此公式进行 T 形、L 形正截面设计的计算机程序,可用于实际工程设计。

[关键词] 钢筋砼异形柱 承载力 简化计算方法 迭代法

Based on the behavior of R. C. special-shaped columns subjected to biaxially eccentric loading, a computer program for exact analysis of load-bearing capacity on the basis of numerical iteration method is compiled. By using this computer program, 1 024 T and L shaped columns analyses are achieved, and then the variation regularity of load-bearing capacity for T and L shaped columns is summarized. A simplified calculation method for determination of load-bearing capacity of T and L shaped columns is proposed, and the corresponding calculation program, which is of practical engineering value, is compiled.

Keywords: R. C. special-shaped column; load-bearing capacity; simplified calculation method; numerical iteration method

一、前 言

异形截面双向偏心受压柱由于截面形状的特点,其受力与变形性能除与单偏心受压柱有较大差异外,与双偏心矩形和方形截面亦有很大不同。截止目前,国内外有关异形截面双向偏心受压柱的试验非常有限,试验数据还不够充分。自 1992 年以来,我校已对 T 形、L 形截面双向偏心受压柱进行了试验研究,并初步得出了一些结论。在此基础上,本文利用数值积分法,根据“破坏曲面”的概念,编制双向偏心受压柱正截面承载力计算的计算机程序,并将该程序的计算结果与文献^[7,8]中试验结果进行对比,二者吻合较好,从而证明该程序是正确可行的。通过对

各种截面形状柱在双向偏心荷载作用下的 $M_x - M_y$ 相关曲线分析,拟合出柱的正截面极限承载力 $M_x - M_y$ 的计算公式,并以此为依据编制了 L 形、T 形截面双向偏心受压柱的设计计算程序。下面将提出以精确分析为基础的异形截面柱的简化设计方法。

二、异形截面双向偏心受压柱正截面承载力计算公式

通过数值迭代法计算机程序,对图 1 所示的截面进行计算,改变轴压比,改变三种砼强度等级,经对截面极限承载力的 $M_x - M_y$ ($M_x - M_y$) 相关曲线的分析(M_x, M_y, M_x, M_y 分别为荷载对 u, v, x, y 轴的弯矩,如图 2 所示),得到如下规律:

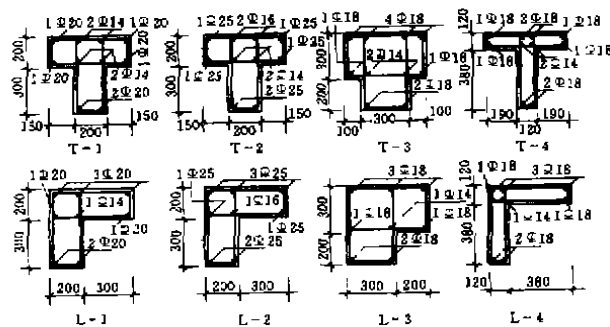


图 1

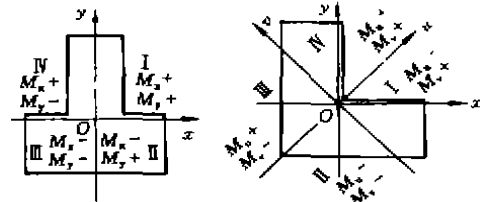


图 2

对于等肢 L 形截面,截面配筋对称于最大主轴 u 布置时, $M_x - M_y$ 相关曲线则对称于 M_x 轴,如图 3 所示。当轴压比较大或较小时, $M_x - M_y$ 相关曲线可

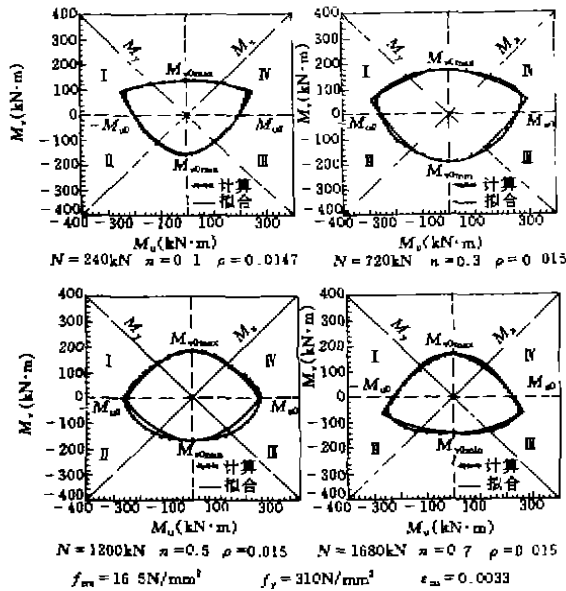


图3 L形截面 $M_u - M_v$ 拟合曲线与精确分析结果对比

视为两条抛物线围成的闭合曲线，只有中等轴压比 ($n=0.5$ 左右) 时过渡为类椭圆曲线，当然此时的曲线形状仍可用抛物线来模拟。

对于截面和纵向钢筋的布置对称于 y 轴的 T 形截面， $M_x - M_y$ ($M_u - M_v$) 相关曲线对称于 M_x 轴，如图 4 所示，当轴压比较大或较小时 $M_x - M_y$ ($M_u - M_v$) 相关曲线近似为两条抛物线加两条平直直线围成的闭合曲线，只有中等轴压比时过渡为类椭圆曲线，当然也可以用双抛物线加双直线来模拟。方形和十字形双轴对称截面双向偏心受压柱的正截面承载力计算公式，形式上为类圆或圆的形式，此处不再深入讨论，而对 L 形和 T 形双向偏心受压柱，采用类椭圆正截面承载力计算公式，在截面承受较大或较小轴向力时，是存在相当大的误差的。下面将讨论考虑了轴压比这一影响因素的抛物线型正截面承载力计算公式。

(一) 等肢 L 形截面双向偏心受压柱抛物线型正截面承载力计算公式

L 形截面双向偏心受压柱 $M_u - M_v$ 曲线可分为上、下两部分，见图 3。图中 M_{u0max} 、 M_{v0min} 分别为荷载作用于截面主轴 u 轴时截面抵抗弯矩的最大、最小值。 M_{u0min} 、 M_{v0max} 分别为荷载作用于截面主轴 v 轴时截面抵抗弯矩的最大、最小值，并有 $|M_{u0max}| = |M_{v0min}| = M_{u0}$ 。

1. 小轴压比 ($n < 0.5$) 时正截面承载力计算公式
上侧抛物线方程为：

$$M_u = -\frac{M_u^2}{K_L M_{u0max}} + M_{v0max} \quad (1)$$

下侧抛物线方程为：

$$M_u = -\frac{M_{u0min}}{M_{u0}^2} M_u^2 + M_{v0min} \quad (2)$$

两抛物线交点为：

$$\begin{cases} M_u' = \pm \sqrt{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} (M_{v0max} - M_{v0min})} \\ M_v' = \frac{C_1}{C_1 + C_2} (M_{v0min} - M_{v0max}) + M_{v0max} \end{cases} \quad (3)$$

式中： $C_1 = -M_{u0}^2 / M_{u0max}$ ， $C_2 = K_L M_{v0max}$ ， K_L 为与轴压比有关系数，根据大量 $M_u - M_v$ 相关曲线拟合得出，见表 1。当 $M_u > M_u'$ 时采用式 (1) 进行正截面承载力计算；当 $M_u \leq M_u'$ 时采用式 (2) 进行正截面承载力计算。

2. 大轴压比 ($n \geq 0.5$) 时正截面承载力计算公式
上侧抛物线方程为：

$$M_u = -\frac{M_{u0max}}{M_{u0}^2} M_u^2 + M_{v0max} \quad (4)$$

下侧抛物线方程为：

$$M_v = -\frac{M_v^2}{K_L M_{v0max}} + M_{v0min} \quad (5)$$

两抛物线交点为：

$$\begin{cases} M_{u1} = \pm \sqrt{\frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} (M_{v0max} - M_{v0min})} \\ M_{v1} = \frac{C_3}{C_3 + C_4} (M_{v0max} - M_{v0min}) + M_{v0min} \end{cases} \quad (6)$$

式中： $C_3 = -M_{u0}^2 / M_{u0max}$ ， $C_4 = -K_L M_{v0min}$ ， K_L 为系数 (见表 1)，由 $M_u - M_v$ 相关曲线拟合而得。当 $M_u \geq M_{u1}$ 时，采用式 (4) 进行正截面承载力计算；当 $M_u < M_{u1}$ 时，采用式 (5) 进行正截面承载力计算。

上面分析得到的 $M_u - M_v$ 相关曲线方程 (1)、(2)、(4)、(5) 与用计算机精确计算得到的 $M_u - M_v$ 相关曲线有很好的-致性，见图 3。

经对不同肢宽厚比截面的 $M_u - M_v$ 相关曲线拟合分析，肢宽厚比对截面 $M_u - M_v$ 相关曲线的形状是有影响的，经验算，本公式适用于 $1.5 \leq B/b_f \leq 4$ 的等肢 L 形截面，平均相对误差不超过 17%。

(二) T 形截面双向偏心受压柱抛物线型正截面承载力计算公式

等肢 L 形截面抛物线型正截面

承载力计算公式中系数 K_L 表 1

轴压比	K_L	轴压比	K_L
$0 < n \leq 0.1$	10	$0.5 < n \leq 0.6$	4
$0.1 < n \leq 0.2$	6	$0.6 < n \leq 0.7$	6
$0.2 < n \leq 0.3$	4	$0.7 < n < 0.8$	8
$0.3 < n \leq 0.4$	2	$n \geq 0.8$	10
$0.4 < n \leq 0.5$	1		

T形截面双向偏心受压柱的 $M_x - M_y$ 相关曲线由左右两条抛物线及两平直线组成,并对称于 M_x 轴。抛物线与 M_x 轴相交的交点 M , 坐标的 $|M'_x| = |M_x| = M_{x0}$ 的关系,见图4,图中 M_{x0max} , M_{x0min} 分别为荷载作用于截面主轴 y 轴时截面抵抗弯矩的最大、最小值, M_{y0} , $-M_{y0}$ 为荷载作用于截面主轴 x 轴时截面抵抗弯矩的最大、最小值。

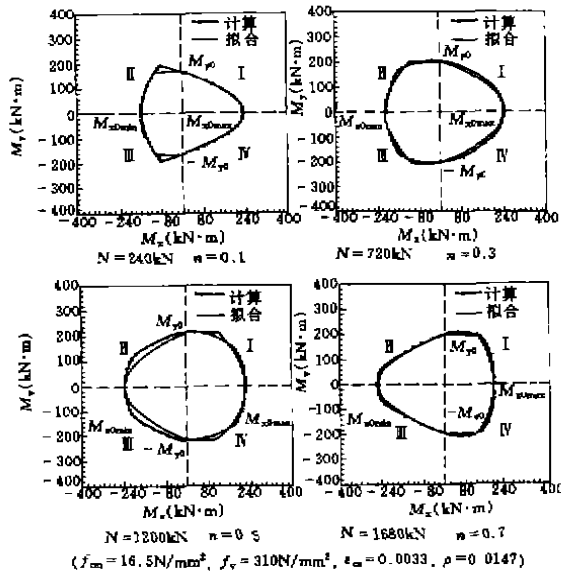


图4 T形截面 $M_x - M_y$ 拟合曲线与精确分析结果的对比

1. 小轴压比时 ($n < 0.5$) 正截面承载力计算
左侧抛物线方程为:

$$M_x = -\frac{1}{K_T M_{x0min}} M_y^2 + M_{x0min} \quad (7)$$

右侧抛物线方程为:

$$M_x = -\frac{M_{x0max}}{M_y^2} M_y^2 + M_{x0max} \quad (8)$$

双直线方程为:

$$M_y = \pm M_{y0} \quad (9)$$

直线与右侧抛物线交点为 $(0, M_{y0})$, $(0, -M_{y0})$; 直线与左侧抛物线交点为 $(M_{x0}^2/C_3 + M_{x0min}, M_{y0})$, $(M_{x0}^2/C_3 + M_{x0min}, -M_{y0})$, $C_3 = K_T M_{x0min}$, K_T 为系数, 由 $M_x - M_y$ 相关曲线拟合而得, 见表4。

当 $M_{x0min} < M_x < M_{x0}^2/C_3 + M_{x0min}$ 时, 采用式(7)进行正截面承载力计算; 当 $M_{x0}^2/C_3 + M_{x0min} \leq M_x \leq 0$ 时, 采用式(9)进行正截面承载力计算; 当 $0 < M_x \leq M_{x0max}$ 时, 采用式(8)进行正截面承载力计算。

2. 大轴压比时 ($n \geq 0.5$) 正截面承载力计算
左侧抛物线方程为:

$$M_x = -\frac{M_{x0min}}{M_y^2} M_y^2 + M_{x0min} \quad (10)$$

右侧抛物线为:

$$M_x = -\frac{1}{K_T M_{x0max}} M_y^2 + M_{x0max} \quad (11)$$

双直线方程为:

$$M_y = \pm M_{y0} \quad (12)$$

直线与左侧抛物线交点为 $(0, M_{y0})$, $(0, -M_{y0})$; 直线与右侧抛物线交点为 $(-M_{x0}^2/C_6 + M_{x0max}, M_{y0})$, $(-M_{x0}^2/C_6 + M_{x0max}, -M_{y0})$, $C_6 = -K_T M_{x0max}$, K_T 为轴压比相关的系数, 见表2。

T形截面正截面承载力计算公式中系数 K_T 表2

轴压比	K_T	轴压比	K_T
$0 < n \leq 0.1$	3	$0.5 < n \leq 0.6$	2
$0.1 < n \leq 0.3$	2	$0.6 < n \leq 0.7$	4
$0.3 < n \leq 0.4$	1.5	$0.7 < n \leq 0.8$	5
$0.4 < n \leq 0.5$	1	$n > 0.8$	6

当 $M_{x0min} \leq M_x < 0$ 时, 采用式(10)进行正截面承载力计算; 当 $0 \leq M_x \leq -M_{x0}^2/C_6 + M_{x0max}$ 时, 用式(12)进行正截面承载力计算; 当 $-M_{x0}^2/C_6 + M_{x0max} < M_x \leq M_{x0max}$ 时, 采用式(11)进行正截面承载力计算。

经对不同肢宽厚比截面的 $M_x - M_y$ 相关曲线拟合分析, 肢宽厚比对截面的 $M_x - M_y$ 相关曲线的形状是有影响的, 经验算, 本公式适用于 $1.5 \leq B/b_f \leq 4$ 的腹板与翼缘等宽的T形截面, 平均相对误差不超过19.5%。

上面分析得到的T形截面 $M_x - M_y$ 相关曲线方程与计算机精确计算得到的相关曲线有很好的-致性, 见图4。

在不同轴压比下, 对于常用的L形或T形截面, 公式中的 M_{x0} , M_{x0max} , M_{x0min} 以及 M_{y0} , M_{x0max} , M_{x0min} 可通过精确分析制成表格或图直接查用, 表3, 4列出了本文计算的两个截面(图1中L-1与T-1, 砼强度等级为C30)极限抵抗弯矩的数值。

三、计算方法的基本原理

(一) 基本原理

实际上工程设计中, 一般是已知柱截面上的轴向力 N , 沿截面两主轴方向的初始偏心距 e_{ox} , e_{oy} ; 或已知轴力 N 和沿截面双向的弯矩 M_x , M_y , 进行配筋设计。应用上节得出的抛物线型正截面承载力计算公式, 用数值迭代法程序可进行正截面设计计算, 其步骤如下:

① 根据给定的外荷载轴力 N 和构造要求初选截面及截面纵筋量(可先选择满足最小配筋的用量)与设置位置, 并计算轴压比 $n = N/f_c A_c$

图 1 中 L-1 截面由精确分析得到的主轴抵抗弯矩值(kN·m)

表 3

轴压比	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
M_{y0}	194.87	224.49	255.29	274.82	256.13	277.68	222.32	224.00	194.32
M_{x0max}	139.69	161.32	178.54	190.94	180.64	197.12	170.33	176.13	157.36
M_{x0min}	-156.04	-178.60	-188.22	-190.37	-186.29	-176.26	-147.03	-149.33	-131.82

图 1 中 T-1 截面由精确分析得到的主轴抵抗弯矩值(kN·m)

表 4

轴压比	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
M_{y0}	164.97	186.79	202.50	210.20	214.55	212.41	195.80	175.90	156.00
M_{x0max}	230.91	241.34	246.90	235.89	223.51	209.34	192.50	172.55	149.00
M_{x0min}	-158.06	-189.55	-210.40	-224.60	-237.02	-246.62	-253.08	-255.68	-250.03

②根据截面形状(属 T 形或 L 形)和轴压比 n 值确定正截面承载力计算公式。

③利用计算机数值迭代法程序计算外荷载 N 作用于截面两主轴上时的极限抵抗弯矩,对于等肢 L 形截面为 $M_{y0}, M_{x0max}, M_{x0min}$ 值,对 T 形截面为 $M_{y0}, M_{x0max}, M_{x0min}$ 值。

④利用相应轴压比 n 下的正截面承载力计算公式,计算出正截面承载力 $M_x - M_y (M_x - M_y)$ 曲线,为满足足够的精度,在计算该曲线时,点一定要较密。

⑤根据给定的设计弯矩值 M_x, M_y 或 M_u, M_v , 在已确定的正截面承载力曲线上检索出满足 $M'_x/M'_y = M_x/M_y$ 关系的极限承载力 M'_x 和 M'_y 。若满足 $|M'_x| \geq |M_x|$, 则表明设计的截面满足要求,否则需增加钢筋量重新进行设计计算。

(二)设计方法的特点

1. 结果可重复使用

程序采用分段输出储存的方法,精确分析得出的荷载作用在主轴上时的极限抵抗弯矩和 $M'_x - M'_y (M'_x - M'_y)$ 正截面承载力曲线都分别储存于不同文件中,可建立一个截面设计的 $M_{u0}, M_{x0max}, M_{x0min}; M_{y0}, M_{x0max}, M_{x0min}$ 数组库及相应的 $M'_x - M'_y$ 和 $M'_x - M'_y$ 曲线库,当库丰富到一定程度,只需根据设计内力 $N, M_x, M_y (N, M_u, M_v)$ 直接对现有数组库及曲线库检索便可以完成设计,而且还可以根据已有资料制成图表,利用图表进行设计。

2. 可以用简化的正截面承载力计算公式手算

对于常用截面、砼强度等级、配筋率的柱可将精确分析得到的 $M_{y0}, M_{x0max}, M_{x0min}, M_{y0}, M_{x0max}, M_{x0min}$ 制成图表,直接用本文提出的相应正截面承载力计算公式进行计算也十分容易。

四、程序简介及可行性分析

本程序采用数据文件和人机交互两种方式输入

初始数据,对于数量多的数据组,可先组成数据文件,以文件形式输入,对于数量少的关键数据,采用计算机提示输入方式,其程序框图见图 5。

经试验和理论研究分析可知,影响异形截面双向偏压柱正截面极限承载力 $M_x - M_y (或 M_u - M_v)$ 相关曲线形状的主要因素为截面固有参数和轴压比。

为进一步检验该程序的可行性,本节对图 6 所示的试验截面^[7,8]用本文程序进行了计算,计算值与

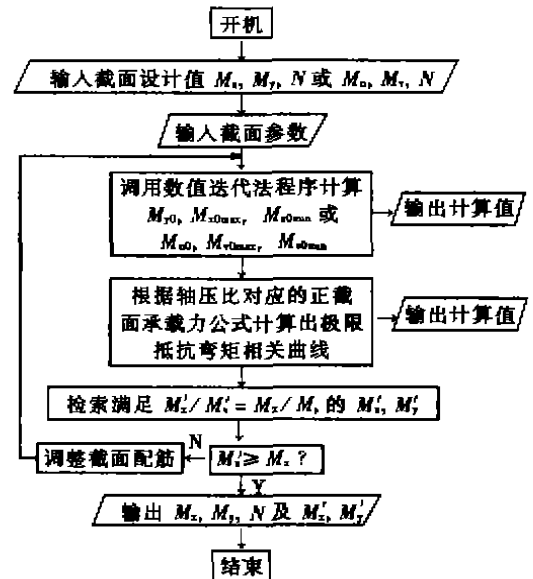


图 5 基于精确分析的简化设计程序框图

L 形截面极限承载力计算与试验值对比^[9] 表 5

编号	荷载角 α (°)	轴向力 (kN)	轴压比 n	极限弯矩 (kN·m)		
				M_x	M_y	M_x/M_y
Z-1	0	220	0.281	47.96	43.27	1.108
Z-2	180	220	0.296	44.85	40.36	1.111
Z-3	315	220	0.281	62.10	55.5	1.119
Z-4	135	370	0.472	72.45	62.4	1.161
Z-5	225	220	0.296	34.50	41.1	0.839
Z-6	45	220	0.296	46.58	38.9	1.197

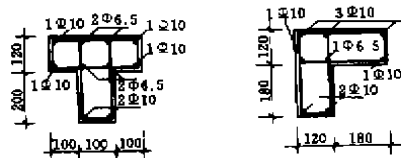


图6 实验截面

T形截面极限承载力计算值与试验值对比¹⁷¹表6

编号	荷载角 $\alpha(^{\circ})$	轴向力 (kN)	轴压比 n	极限弯矩(kN·m)		
				M_{x}	M_{y}	M_{x}/M_{y}
Z-2	0	560	0.525	56.55	56.24	1.005
Z-3	180	560	0.525	72.8	61.05	1.192
Z-4	22.5	560	0.621	50.1	45.64	1.097
Z-5	22.5	280	0.256	54.4	50.88	1.069
Z-6	45	560	0.680	62.5	48.63	1.285
Z-7	45	280	0.256	57.6	45.59	1.263
Z-8	67.5	560	0.621	62.8	45.16	1.390
Z-9	67.5	280	0.256	60.4	44.58	1.355
Z-10	90	560	0.525	58.6	51.26	1.143
Z-11	90	280	0.340	61.2	43.81	1.396

试验值结果对比如表5, 6所示, 表明该程序的计算值与实验值吻合较好。证明该程序是可行的。

参考文献

1. Cheng-Tzu, Thomas Hsu. T-Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Compression. ACI Structural, Julu-August, 1989.
2. Zak M L. Computer Analysis of Reinforced Concrete

- Sections Under Biaxial Bending and Longitudinal Load. ACI. Structural. March-April, 1993.
3. Mallikarjuna, Mahadevappa P. Computer Aided Analysis of Reinforced Concrete Columns Subjected to Axial Compression and Bending - I L-shaped Sections. Computer and Structures, 1992,44(5).
4. Mallikarjuna, Mahadevappa P. Computer Aided Analysis of Reinforced Concrete Columns Subjected to Axial Compression and Bending - II T-shaped Sections. Computer and Structures, 1993,52(6).
5. Dundar C, Sahin B. Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Subject to Biaxial Bending and Axial Load. Computer and Structures, 1993, 49(4).
6. 王伟. T形及L形截面双向偏压构件的强度计算. 结构工程师, 1986, (4)
7. 高云海. 钢筋砼T形截面双向压弯构件正截面强度、延性及滞回特性的试验及理论研究. 天津大学硕士论文, 1993, 6.
8. 刘超. 钢筋砼L形截面双向压弯构件正截面强度、延性的试验及理论研究. 天津大学硕士论文, 1994, 3.
9. 曹祖同, 陈云霞等. 钢筋陶粒砼压弯构件强度、延性和滞回特性的研究. 建筑结构学报, 1988, (6).
10. 王传志, 滕志明主编. 钢筋砼结构理论. 中国建筑出版社, 1985, 3.
11. 朱伯龙, 董振祥. 钢筋砼非线性分析. 1984, 10.

(上接第15页)

在加载角不同时其差异是很大的, 所以设计中应由最不利荷载角方向的承载力控制。

(3) 在采用相同的截面面积、配筋率和材料强度的情况下, T形截面双向压弯构件正截面的总体承载力比L形、方形截面要高。

参考文献

1. 曹祖同, 陈云霞等. 钢筋陶粒砼压弯构件强度、延性和滞回特性的研究. 建筑结构学报, 1988, 9(6): 2~16.
2. 刘超. 钢筋砼L形截面双向压弯构件正截面强度、延性的试验及理论研究. 天津大学硕士论文, 1994.
3. 高云海. 钢筋砼T形截面双向压弯构件正截面强度、延性及滞回特性的试验研究. 天津大学硕士论文, 1993.
4. 王伟. T形及L形截面双向偏压构件的强度计算. 结构工程师, 1986.
5. Hsu T C. T-Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Compression. ACI Structural Journal, 1989; 86(4): 460~468.
6. Zahn F A, Park Retal. Strength and Ductility of Square Reinforced Concrete Column Sections Subjected to Biaxial Bending. ACI Structural Journal, 1989; 56(2): 123~131.

第四届全国预应力学术交流会在贵阳召开

由中国土木工程学会和中国科技咨询中心预应力技术专家组共同举办的第四届全国预应力学术交流会于1998年11月26~29日在贵阳市隆重召开, 314名来自全国各地从事预应力科研、设计、施工和材料设备生产单位的代表参加了本次会议。

此届大会是继第三届全国预应力学术交流会纪念预应力技术40周年发展的又一次盛会。杜拱辰等著专家做了特邀报告。与会代表就近年来我国预应力工程的设计与施工经验以及理论和应用的研究成果, 预应力新概念、新构思、新方案及新型体系的研究和设计, 预应力技术的应用和发展前景, 预应力新技术、新工艺、新设备和新材料的开发应用动态及信息等方面进行了热烈的交流和讨论。内容涉及到房屋、桥梁、水工、机场、港口、核电站以及地下工程、海洋工程、通讯工程、市政工程以及各类特种结构等, 其中还对长江三峡工程、黄河小浪底工程、首都国际机场新航站楼工程以及香港新机现场配套工程等超大型工程的预应力技术应用做了专门报告。会议还安排新近出席在荷兰阿姆斯特丹市召开的国际预协第13届会议的专家介绍介绍了该次会议的有关内容及国际预应力发展的动态。

论文集《世纪之交的预应力新技术》共收入论文159篇。会议期间还议定下届会议将由四川省建筑科学研究院承办。(本刊讯)