

文章编号:1673-2049(2008)03-0092-04

方钢管-钢骨混凝土偏压柱正截面承载力分析

赵同峰^{1,2}, 王连广¹, 吴少敏²

(1. 东北大学 资源与土木学院, 辽宁 沈阳 110004;

2. 中国人民解放军沈阳炮兵学院 基础部, 辽宁 沈阳 110162)

摘要: 为了进一步研究方钢管-钢骨混凝土偏心受压柱的力学性能, 采用叠加法推导了其在钢管、钢骨受拉、受压区屈服条件下的承载力计算公式; 分析了长细比、偏心率、套箍率、配骨率等参数对偏压构件承载力的影响; 通过算例对偏压柱正截面承载力的计算过程进行了演示。结果表明: 偏心率的增大使承载力迅速降低; 随着长细比的增加, 构件的承载力呈直线下降; 套箍率、配骨率的增加可以显著提高构件的承载力; 得出的偏压承载力的计算公式可用于承载力复核, 为方钢管-钢骨混凝土偏压柱设计提供参考。

关键词: 方钢管混凝土; 偏压柱; 正截面承载力; 长细比; 偏心率

中图分类号: TU528.59

文献标志码: A

Cross-section Bearing Capacity Analysis of Eccentrically-loaded Columns of Square Steel Tube Filled with Steel-reinforced Concrete

ZHAO Tong-feng^{1,2}, WANG Lian-guang¹, WU Shao-min²

(1. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, Liaoning, China;

2. Department of Foundation, Shenyang Artillery Academy of PLA, Shenyang 110162, Liaoning, China)

Abstract: In order to further study the mechanical properties of eccentrically-loaded column of square steel tube filled with steel-reinforced concrete, authors used superposition method to deduce the calculation formula of cross-section bearing capacity under yield conditions of both compressional and tensile regions of steel tube and steel-reinforced. The influences of slenderness ratio, eccentricity ratio, stirrup ratio, steel-reinforced ratio on bearing capacity of eccentrically-loaded columns were also analyzed. Examples about computation process were given. Results indicate that the increase of eccentricity ratio makes its bearing capacity dropped rapidly; bearing capacity drops linearly with the increase of slenderness ratio and increases rapidly with the increase of the stirrup and reinforced ratio; the calculation formula proposed above can be used for certifying the bearing capacity, and it can offer reference for design of eccentrically-loaded columns of square steel tube filled with steel-reinforced concrete.

Key words: square steel tube filled with steel-reinforced concrete; eccentrically-loaded column; cross-section bearing capacity; slenderness ratio; eccentricity ratio

收稿日期: 2008-04-20

基金项目: 辽宁省重点实验室基金项目(JG-200601)

作者简介: 赵同峰(1979-), 男, 辽宁辽阳人, 中国人民解放军沈阳炮兵学院讲师, 东北大学工学博士研究生, E-mail: ztfgty@sohu.com。

0 引言

方钢管-钢筋混凝土 (Square Steel Tube Columns Filled with Steel-reinforced Concrete, 以下简称 STSRC) 结构具有承载力高、截面尺寸小、耐火性好等优点。STSRC 结构作为受压构件是理想的,而实际工程中,由于存在着荷载作用位置的不确定性、混凝土不均匀性以及施工偏差等因素都可能产生偏心^[1],因此,研究其偏压性能是十分必要的。STSRC 作为一种新的结构形式,其理论发展还需经历一定过程。目前,朱美春^[2]对 STSRC 柱进行了部分理论及试验研究,但对静力偏压中长柱(长细比 $\lambda > 3$, $\lambda = L/B$, L 为试件的计算长度, B 为方钢管的外边长)的承载力研究较少。本文中笔者采用叠加法推导了静力偏压中长柱在钢管、钢筋受拉、受压区均屈服条件下的承载力的计算公式。

1 大偏心受压中长柱承载力计算

STSRC 偏压柱的破坏模式与中和轴的位置有关。参照文献[3],为了方便计算,通常将破坏模式分为 2 种情况:①中和轴经过钢管;②中和轴不经过钢管。当偏心率较大时,通常中和轴经过钢管,钢管、钢筋受拉、受压区均部分屈服,混凝土达到极限抗压强度,构件达到极限承载力,受力状态如图 1 所示。下面笔者采用叠加法对该种情况的极限承载力进行理论推导。

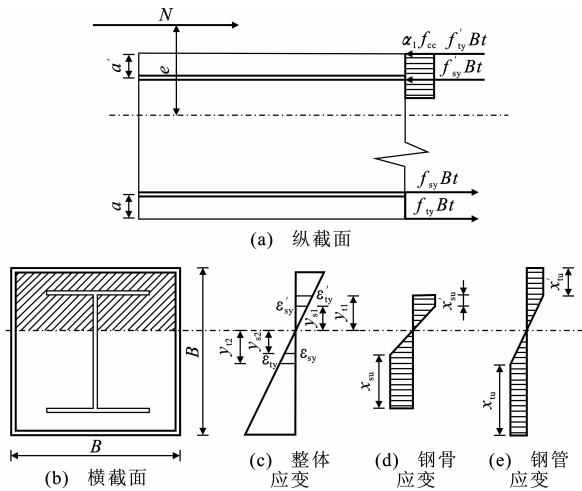


图 1 构件的受力状态

Fig. 1 Stress State of Members

1.1 基本假定

理论推导的基本假定为:

(1) 截面应变符合平面假定(修正平面)。

(2) 钢管和钢筋的应力均等于应变与其弹性模量的乘积,但不大于各自强度设计值;受拉钢管管壁的极限抗拉应变取 $\epsilon_{tu} = 0.01$ 。

(3) 不考虑混凝土的抗拉作用。

(4) 忽略柱子的纵向压缩变形。

(5) 不考虑钢管、钢筋的局部屈曲。

1.2 承载力计算

方钢管偏压柱的数值模拟表明^[4],在受压区采用方钢管混凝土轴心短柱试验研究所确定的钢材和核心混凝土的本构关系,按单向应力计算方钢管混凝土组合截面偏压柱,可以得到与试验比较符合的结果。参照文献[5],取

$$f_{cc} = f_{ck} + \begin{cases} 2350 \left(\frac{t}{B}\right)^2 + 1.37 & \frac{B}{t} \leq 21 \\ 2880 \left(\frac{t}{B}\right)^2 + 0.17 & \frac{B}{t} > 21 \end{cases}$$

式中: t 为钢管管壁厚度; f_{ck} 为混凝土轴心抗压强度标准值; f_{cc} 为假定的核心混凝土屈服点。

一般情况下,钢筋为型钢,则有 $f'_{ty} = f_{ty}$ 、 $f'_{sy} = f_{sy}$ 。此外,根据平截面假定及混凝土、钢材屈服应变关系可以得出

$$y_{s1} = y_{s2} = \frac{f_{sy} x_n}{\epsilon_{cu} E_s}$$

$$y_{t1} = y_{t2} = \frac{f_{ty} x_n}{\epsilon_{cu} E_t}$$

$$x_{su} = B - 2t - x_n - a - y_{s2} - t_{sf}$$

$$x'_{su} = x_n - y_{s1} - a' - t'_{sf}$$

$$x_{tu} = B - x_n - 2t - y_{t2}$$

$$x'_{tu} = x_n - y_{t1}$$

式中: f_{ty} 、 f'_{ty} 分别为钢管受拉、受压屈服强度; f_{sy} 、 f'_{sy} 分别为钢筋受拉、受压屈服强度; x_n 为中和轴到混凝土受压边缘的距离; E_s 、 E_t 分别为钢筋、钢管的弹性模量; x'_{tu} 、 y_{t1} 分别为钢管受压屈服高度和钢管受压屈服点到中和轴的距离; x_{su} 、 y_{s1} 分别为钢筋腹板受压屈服高度和钢筋受压屈服点到中和轴的距离; x_{tu} 、 y_{t2} 分别为钢管受拉屈服高度和钢管受拉屈服点到中和轴的距离; x_{su} 、 y_{s2} 分别为钢筋腹板受拉屈服高度和钢筋受拉屈服点到中和轴的距离; a 、 a' 分别为钢管受拉管壁与钢筋受拉翼缘之间的净距离和钢管受压管壁与钢筋受压翼缘之间的净距离; t_{sf} 、 t'_{sf} 分别为钢筋受拉、受压翼缘的厚度; ϵ_{cu} 为受压区混凝土的极限压应变,取值为

$$\epsilon_{cu} = (\epsilon_{cc} + 29 f_{ck} \theta^{0.2}) \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_{cc} = (1300 + 14.93 f_{ck}) \times 10^{-6}$$

式中: θ 为套箍率。

由力的平衡条件列方程,并化简得

$$N=\alpha_1 f_{cc}(B-2t)\beta_1 x_n+2 f_{ty}(x'_{tu}-x_{tu})t+f_{sy}(x'_{su}-x_{su})t_{sw} \quad (1)$$

$$N(\eta e-\frac{B}{2}+x_n+t)=f_{sy}t_{sw}[x'_{su}(y_{s1}+\frac{x'_{su}}{2})+x_{su}(\frac{x_{su}}{2}+y_{s2})+\frac{2}{3}y_{s1}^2]+f_{sy}A_{sf}(x_n-a'+x_{su}+y_{s2})+f_{ty}t[B(B-t)+2x'_{tu}(x_n-\frac{x'_{tu}}{2})+2x_{tu}(\frac{x_{tu}}{2}+y_{t2})+\frac{4}{3}f_{ty}y_{t1}^2]+\alpha_1 f_{cc}(B-2t)\beta_1 x_n(x_n-\frac{\beta_1 x_n}{2}) \quad (2)$$

式中: e 为初始偏心距; A_{sf} 为钢骨翼缘的面积; t_{sw} 为钢骨腹板厚度; α_1 、 β_1 为简化应力图形系数,按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)规定取用; η 为偏心距增大系数,参照文献[6],取 $\eta=(1+0.003\lambda^{1.67})(2e_o/B)^{-0.003\lambda^{1.5}}$, e_o 为偏心距。

式(1)、(2)适用的条件为: $B-2t-a>x_n>$

$$\frac{\epsilon_{cu}E_s}{f_{sy}+\epsilon_{cu}E_s}(h_s+a-t_{sf}),\text{且 } x_n>\frac{\epsilon_{cu}E_t}{f_{ty}+\epsilon_{cu}E_t}(B-2t)。$$

2 主要参数对大偏心受压中长柱承载力的影响

为了进一步分析主要参数对偏压柱承载力的影响,本文中笔者进行了大量的计算(计算构件 $B=200\text{ mm}$, $t=5\text{ mm}$),得出长细比 λ 、偏心率 e/r ($r=B/2$)、套箍率 $\theta[\theta=f_{ty}A_t/(f_{ck}A_c)]$, A_t 、 A_c 分别为钢管、混凝土的截面面积]、配骨率 $\rho[\rho=f_{sy}A_s/(f_{ck}\cdot A_c)]$, A_s 为钢骨的截面面积]变化与承载力的关系曲线,如图2所示。

从图2可以看出:随着偏心率 e/r 的增加,构件的承载力呈明显降低趋势,偏心率为影响大偏压受压柱的主要参数;长细比 λ 的增大导致承载力直线下降;套箍作用的存在客观上增加了混凝土的强度,同时套箍率 θ 的增加也明显提高了偏压承载力;配骨率 ρ 的增大使得承载力逐渐增大。

3 算例分析

为了更好地理解上述方法的计算步骤,下面通过算例来演示 STSRC 偏压柱承载力的计算过程。

取一截面为 $200\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 的 STSRC 框架柱(图3),设计轴力 $N=400\text{ kN}$,弯矩 $M=80\text{ kN}\cdot\text{m}$,计算高度 $L=2\text{ m}$,验算其正截面强度。混凝土 C70,钢骨为 10 号热轧普通工字型钢,钢管为 4 块 Q235B 级钢板焊接而成。

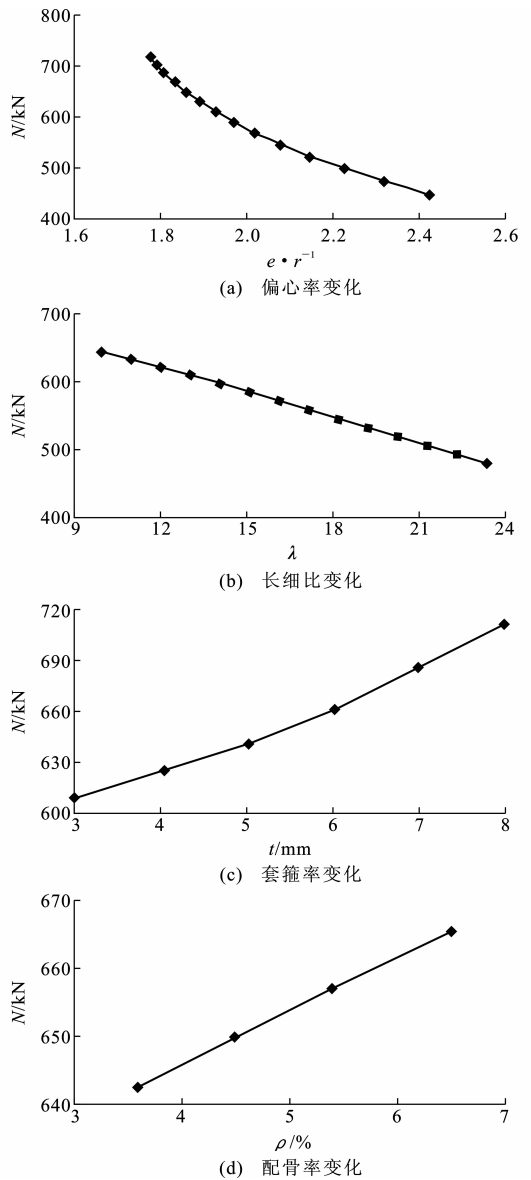


图2 偏心受压中长柱主要参数对承载力的影响

Fig. 2 Effects of Main Parameters on Bearing Capacities of Middle Long Eccentrically-loaded Columns

查表得 $\alpha_1=0.96$, $\beta_1=0.76$; $f_{ck}=44.5\text{ MPa}$; $f_{sy}=f_{ty}=215\text{ MPa}$; $B=200\text{ mm}$; $t=5\text{ mm}$; $a=a'=45\text{ mm}$; $t_{sf}=t'_{sf}=7.6\text{ mm}$; $\theta=50.8\%$; $e_o=\frac{M}{N}=200\text{ mm}$ 。

由 $B/t=40>21$ 可得
 $f_{cc}=f_c+2\ 880(t/B)^2+0.17=46.5\text{ MPa}$

$$\epsilon_{cc}=(1\ 300+14.93f_{ck})\times 10^{-6}=1\ 964\times 10^{-6}$$
$$\epsilon_{cu}=\epsilon_{cc}+29f_{ck}\theta^{0.2}=3\ 091\times 10^{-6}$$

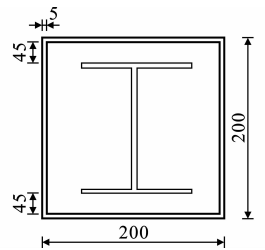


图3 柱的横截面(单位:mm)

Fig. 3 Cross-section of Column (Unit:mm)

$$y_{s1} = y_{s2} = y_{t1} = y_{t2} = \frac{f_{sy} x_n}{0.003E_s} =$$

$$\frac{215x_n}{3 \times 210} = 0.341x_n$$

$$x_{su} = B - 2t - x_n - a - y_{s2} - t_{sf} = 142.4 - 1.341x_n$$

$$x'_{su} = x_n - y_{s1} - a' - t'_{sf} = 0.659x_n - 47.6$$

$$x_{tu} = B - x_n - 2t - y_{t2} = 190 - 1.341x_n$$

$$x'_{tu} = x_n - y_{t1} = 0.659x_n$$

因偏心距较大,钢管、钢筋可能均已屈服,先按式(1)、(2)计算

$$N = \alpha_1 f_{cc} (B - 2t) \beta_1 x_n + 2f_{ty} (x'_{tu} - x_{tu})t + f_{sy} (x'_{su} - x_{su})t_{sw} = 0.96 \times 46.5 \times 190 \times 0.76x_n + 2 \times 215 \times (2x_n - 190) \times 5 + 215 \times (2x_n - 190) \times 4.5$$

将 $N = 400 \text{ kN}$ 代入式(2),得 $x_n = 79 \text{ mm}$,经验证, x_n 在式(1)、(2)的适用范围内。

偏心距增大系数 η 为

$$\eta = (1 + 0.003\lambda^{1.67})(2e_o/B)^{-0.003\lambda^{1.5}} = 1.02$$

$$N(\eta e_o - \frac{B}{2} + x_n + t) = f_{sy} t_{sw} [x'_{su} (y_{s1} + \frac{x'_{su}}{2}) + x_{su} (\frac{x_{su}}{2} + y_{s2}) + \frac{2}{3} y_{s1}^2] + f_{sy} A_{sf} (x_n - a' + x_{su} + y_{s2}) + f_{ty} t [B(B - t) + 2x'_{tu} (x_n - \frac{x'_{tu}}{2}) + 2x_{tu} (\frac{x_{tu}}{2} + y_{t2}) + \frac{4}{3} f_{ty} y_{t1}^2] + \alpha_1 f_{cc} (B - 2t) \beta_1 x_n (x_n - \frac{\beta_1 x_n}{2})$$

由 $N(1.02 \times 200 - 100 + 79) = 99\ 849$,可得 $N = 546 \text{ kN} > 400 \text{ kN}$, $M = N\eta e_o = 111 \text{ kN} \cdot \text{m} > 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$,即正截面承载力满足要求。

4 结 语

采用叠加法对偏心率较大的 STSRC 柱的承载力计算公式进行了推导;通过计算,分析了主要参数对承载力的影响规律;最后通过算例演示了使用式(1)、(2)对 STSRC 偏压柱承载力的计算过程。由此可见,本文中所得计算式(1)、(2)可为偏压柱设计提供理论参考,但其正确性还需更多试验检验。

参考文献:

References:

[1] 马怀忠,王天贤. 钢-混凝土组合结构[M]. 北京:中国

建材工业出版社,2006.

MA Huai-zhong, WANG Tian-xian. Steel-concrete Composite Structure[M]. Beijing: China Building Material Industry Publishing House, 2006.

[2] 朱美春. 钢筋-方钢管自密实高强混凝土柱力学性能研究[D]. 大连:大连理工大学,2005.

ZHU Mei-chun. Research on Mechanical Behavior of Square Steel Tube Columns Filled with Steel-reinforced Self-consolidating High-strength Concrete[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2005.

[3] 徐 麟,张仲先,阮成堂,等. 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算的一种新方法[J]. 工业建筑,2003,33(2):65-67.

XU Lin, ZHANG Zhong-xian, RUAN Cheng-tang, et al. A New Method of Calculating Normal Section Bearing Capacity of SRC Bending Members[J]. Industrial Construction, 2003, 33(2): 65-67.

[4] 李四平,邹时智,关 昱,等. 方钢砼偏压柱压溃过程的数值模拟[J]. 华中理工大学学报,1996,24(5):91-94.

LI Si-ping, ZOU Shi-zhi, GUAN Gang, et al. Numerical Simulation of Collapse of Concrete-filled Square Steel Tubular Columns Under Eccentric Compression[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 1996, 24(5): 91-94.

[5] 张正国,左明生. 方钢管混凝土轴压短柱在短期一次静载下的基本性能研究[J]. 郑州工学院学报,1985,6(2):19-32.

ZHANG Zheng-guo, ZUO Ming-sheng. Study on Basic Behavior of Short Columns of Square Tube Filled Concrete Subjected to Short-term Static Loading[J]. Journal of Zhengzhou Engineering College, 1985, 6(2): 19-32.

[6] 赵同峰,王连广,吴少敏. 矩形钢管-钢筋高强混凝土梁抗弯承载力计算[J]. 东北大学学报:自然科学版,2007,28(9):1338-1341.

ZHAO Tong-feng, WANG Lian-guang, WU Shao-min. Calculation Method of Flexural Capacity of Rectangular Steel Tube Beams Filled with Steel-reinforced High-strength Concrete[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2007, 28(9): 1338-1341.