

SRC 构件偏心受拉试验及承载力研究

张 鹏,沈民合,邓 宇

(广西科技大学土木建筑工程学院,广西 柳州 545006)

摘 要 目的 研究型钢混凝土偏心受拉构件各阶段受力性能,优化规范中提出的正截面承载力计算公式.方法 利用自主研发一套拉-压转换架,对12根型钢混凝土偏心受拉构件进行单调加载试验,研究配钢率、偏心距、配筋率以及型钢腹板、翼缘厚度对型钢混凝土偏心受拉构件各阶段受力性能及承载力影响.结果 型钢配钢率、腹板、翼缘各占比约8%、6%、9%,对轴拉试件的承载力有较为明显的影响,但对于偏心受拉试件影响较小;偏拉试件偏心距越大,试件破坏时间越早,局部破坏越显著.结论 试验推导公式满足精度要求,为型钢混凝土偏心受拉构件在实际工程中的应用与推广提供了理论基础.

关键词 型钢混凝土构件;偏心受拉;影响因素分析;正截面承载力计算

中图分类号 TU378

文献标志码 A

Study on Eccentric Tension Test and Bearing Capacity of SRC Members

ZHANG Peng, SHEN Minhe, DENG Yu

(Department of Civil Engineering and Architecture, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou, China, 545006)

Abstract: In order to deeply study the mechanical behavior of steel eccentric tension members at various stages, the calculation formula of the normal section bearing capacity proposed in the optimization specification is optimized. In this paper, the self-developed set of tension-pressure conversion frame is used to conduct monotonic loading test on 12 steel eccentric tension members, and the ratio of steel distribution, eccentricity, reinforcement ratio, steel web and flange thickness to eccentricity of steel reinforced concrete are studied. Study on the mechanical properties and bearing capacity of the tensile members at various stages. The ratio of steel distribution, web and flange is about 8%, 6% and 9%, which has obvious influence on the bearing capacity of the axial tensile test piece, but has little effect on the eccentric tensile test piece; The larger the eccentricity of the test piece, the earlier the damage time of the test piece, and the more obvious the local damage.

收稿日期:2018-09-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51768008);中国博士后科学基金项目(2017M613273XB);广西自然科学基金项目(2015GXNSFAA139263);广西科技大学研究生教育创新计划项目(GKYC201814);2018广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0315)

作者简介:张鹏(1967—),男,教授,博士,主要从事结构工程等方面研究.

The experimental derivation formula satisfies the accuracy requirements, which provides a theoretical basis for the application and popularization of steel eccentric tension members in practical engineering.

Key words: SRC; eccentric tension; analysis of influencing factors; normal section bearing capacity calculation

型钢混凝土又称钢骨混凝土^[1-5] (Steel Reinforced Concrete, SRC). 因其拥有高强度、高刚度、出色的延性及优越的抗震能力, 在越来越多的高层及高耸结构、抗震及承载力要求较高的结构中得到应用^[6-8]. 但是由于偏心受拉型钢混凝土构件破坏机理复杂, 试验加载方式困难, 造成了国内外对型钢混凝土构件的偏心受拉性能研究较少. 只有日本的南宏一等学者^[9-11]对 SRC 偏拉构件进行了初步研究. 2016 年《组合结构设计规范》(JGJ138—2016)才正式出版^[12]. 重庆大学韩文涛^[13]、陈茜^[14]对型钢混凝土拉弯构件进行相关模拟研究后发现, 规范中给出的公式与真实试验结果有较大误差, 需进一步修正. 基于此, 笔者在相关研究文献基础上, 通过自行研发拉-压转换架, 对 12 根型钢混凝土受拉构件进行试验, 在依托平截面假定的基础上, 给出了试件在轴拉及偏心受拉状态下的正截面承载力计算公式.

1 试验设计

1.1 试件设计

根据试验目的并参考国内外研究成果,

共设计了 12 根 SRC 偏心受拉构件. 试件总长度为 2 040 mm, 净长度为 2 000 mm. 混凝土强度等级 C40, 截面长宽为 200 mm × 200 mm; 内置 Q235 级 H 型钢, 高宽为 100 mm × 100 mm, H 型钢的翼缘与腹板之间为焊接, 焊脚尺寸为 8 mm, 翼缘和腹板的厚度分为 6 mm、8 mm 两种. 试件设计参数见表 1. 材料力学性能指标见表 2, H 型钢周围配有箍筋和纵筋, 箍筋均为 Φ6. 5@ 100, 纵筋有 4Φ6. 5 和 4Φ12 两种, 均沿试件纵向通长配置; 沿 H 型钢翼缘外侧纵向通长布置栓钉, 栓钉分两排布置, 栓钉的法向间距为 50 mm, 纵向间距为 100 mm, 布置简图如图 1 所示. 试件端头用两块 Q345 钢板焊接以用于试件与拉压反力架相连, 其中端板处预留 6 个孔洞, 用于高强螺栓固定^[15].

表 1 试件设计参数

Table 1 Design parameters of specimen MPa			
钢材型号	屈服强度	极限强度	弹性模量
Φ6. 5	406	575	2 × 10 ⁵
Φ12	410	577	2 × 10 ⁵
Q235	340	450	2. 06 × 10 ⁵

表 2 力学性能指标

Table 2 The mechanics properties of bars

试件名称	型钢高 × 宽 × 腹板 × 翼缘/mm	配钢率/%	偏心距/mm	纵筋/mm	配筋率/%	箍筋/mm
ZLGJ-6. 5-6 × 8	100 × 100 × 6 × 8	5. 26	0	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-6. 5-6 × 8-15	100 × 100 × 6 × 8	5. 26	15	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-6. 5-6 × 8-80	100 × 100 × 6 × 8	5. 26	80	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
ZLGJ-12-6 × 8	100 × 100 × 6 × 8	5. 26	0	4Φ12	1. 13	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-12-6 × 8-15	100 × 100 × 6 × 8	5. 26	15	4Φ12	1. 13	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-12-6 × 8-80	100 × 100 × 6 × 8	5. 26	80	4Φ12	1. 13	Φ 6. 5@ 100
ZLGJ-6. 5-8 × 8	100 × 100 × 8 × 8	5. 68	0	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
ZLGJ-6. 5-6 × 6	100 × 100 × 6 × 6	4. 32	0	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-6. 5-8 × 8-15	100 × 100 × 8 × 8	5. 68	15	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-6. 5-6 × 6-15	100 × 100 × 6 × 6	4. 32	15	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-6. 5-8 × 8-80	100 × 100 × 8 × 8	5. 68	80	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100
PLGJ-6. 5-6 × 6-80	100 × 100 × 6 × 6	4. 32	80	4Φ6. 5	0. 33	Φ 6. 5@ 100

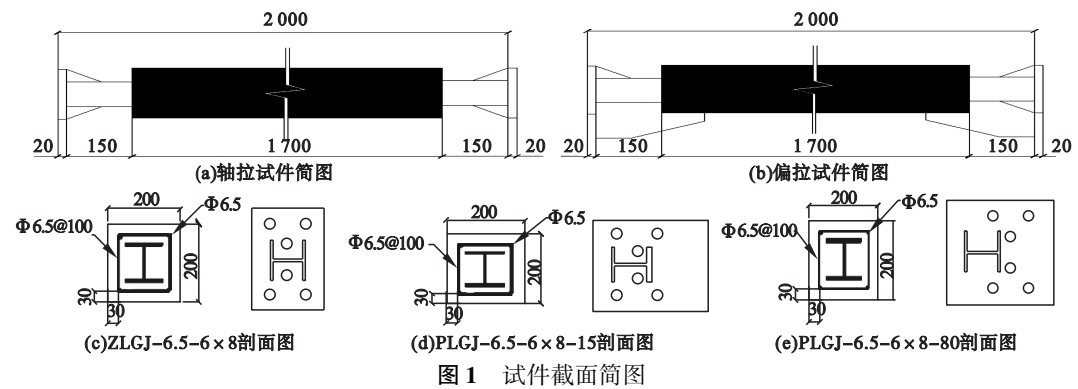


图 1 Specimen profile of specimen

1.2 加载设计

由于国内缺少大尺寸构件专业拉伸仪器,普通的拉力试验机无法满足试验高承载力、大截面尺寸的需求.为了解决这一技术难题,课题组自主研发了一套拉压反力架,通过高强螺栓将试件固定于反力架上,利用实验室 500 kN 压力机,可对待测试件施加拉力作用,加载装置如图 2 所示.

2 试验结果

2.1 破坏形态

试件具有以下三种破坏形态. ①轴心受拉破坏:试件腹中混凝土两侧出现多条法向贯通裂缝,由腹中密至疏朝试件两端排列.且在端部两侧出现若干条纵向劈裂裂缝.型钢截面均匀屈服.其中,试件 ZLGG-6.5-6x6 出现型钢拉断破坏,破坏形态见图 3(a). ②小偏心受拉破坏:试件腹中混凝土受压侧裂缝数量少于受拉侧,但裂缝形式依旧为贯穿裂缝.受拉侧混凝土破坏严重,大量裂缝法向贯穿.型钢受拉翼缘出现局部屈服.破坏形态见图 3(b). ③大偏心受拉破坏:在加载过程中,受压区混凝土首先开裂,随着试件形变裂缝重新闭合.最终试件腹中受压侧混凝土呈压碎形态,受拉侧混凝土出现大量法向贯穿裂缝,型钢受压翼缘褶皱,型钢受拉翼缘发生明显屈服,试件整体起拱严重,破坏形态见图 3(c).

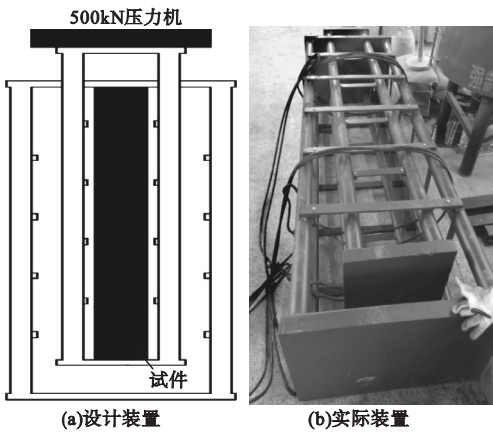


图 2 加载装置

Fig. 2 Loading device schematic



图 3 试件主要破坏形态

Fig. 3 The main failure mode of the specimen

2.2 承载力

由试验可知,在其他参数不变的前提下,轴心与小偏心受拉试件的开裂荷载相差不大,相较之下大偏心受拉试件开裂荷载比轴拉试件下降 230 kN,有较大差距.就屈服荷载和极限荷载而言,试件偏心距越大,其承载力的下降情况越明显,分层现象越严重,且试

件达到极限承载力的速率越快.将试件的荷载-轴向位移曲线按偏心距组合对比分析(见图 4),可直观地得到偏心距是影响试件伸长量的主要影响参数.偏心距越大,则试件的纵向位移越小.腹板厚度越厚,试件屈服荷载点差距越大.

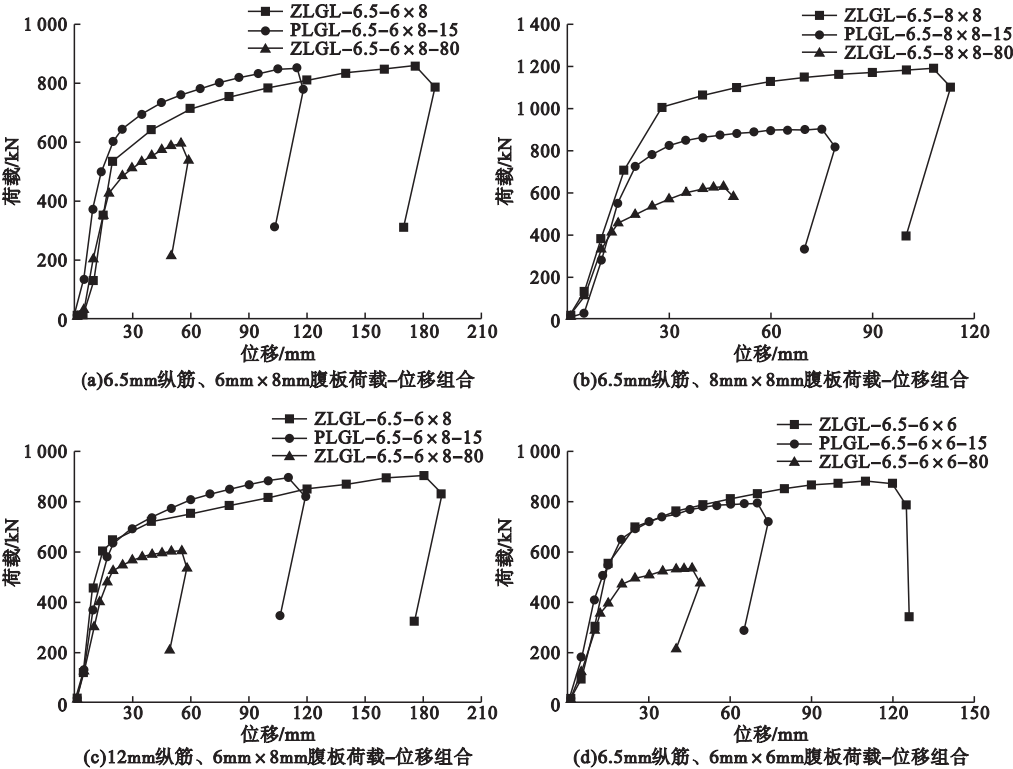


图 4 荷载-位移曲线

Fig. 4 Load displacement curves

3 偏心受拉试件正截面承载力计算

3.1 基本假定

- (1) 由试件跨中应变可知,试件符合平截面假定,即正截面应变沿腹板线性变化^[16];
- (2) 混凝土开裂之前视为弹性阶段,材料应力均为应变与弹性模量的乘积;
- (3) 试件中布置了充足的抗剪件,保证试件在达到 80% 极限荷载时不产生滑移;
- (4) 混凝土受拉时应力-应变关曲线^[17]

表达式如下:

$$\begin{cases} \sigma_t = E_c \varepsilon_t, & 0 \leq \varepsilon_t \leq \varepsilon_{t0}; \\ \sigma_t = f_t, & \varepsilon_{t0} \leq \varepsilon_t \leq \varepsilon_{tu}. \end{cases} \quad (1)$$

式中: ε_{tu} 为混凝土的极限拉应变,取 $\varepsilon_{tu} = 2\varepsilon_{t0}$.

3.2 公式分析

《组合结构设计规范》(JCJ138—2016)(简称《规范》)中给出的实腹型钢混凝土大、小偏心受拉框架柱正截面受拉承载力计算公式如下.

(1) 大偏心受拉

根据截面静力平衡可得:

$$N \leq f_y A_s + f_a A_{af} - f'_y A'_s - f'_a A'_{af} - \alpha_1 f_c b x + N_{aw}. \quad (2)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_y' A_s' (h_0 - a_s') + f_a' A_{af}' (h_0 - a_a') + M_{aw} \quad (3)$$

由于型钢腹板部分受压,《规范》根据受压区混凝土受压应力图给出了简化分项式。

当 $\delta_1 h_0 \leq \frac{x}{\beta_1}$, $\delta_2 h_0 \geq \frac{x}{\beta_1}$ 时:

$$N_{aw} = \left[(\delta_1 + \delta_2) - \frac{2x}{\beta_1 h_0} \right] t_w h_0 f_a. \quad (4)$$

$$M_{aw} = \left[(\delta_1 + \delta_2) + \left(\frac{x}{\beta_1 h_0} \right)^2 - \frac{2x}{\beta_1 h_0} - 0.5(\delta_1^2 + \delta_2^2) \right] t_w h_0^2 f_a. \quad (5)$$

当 $\delta_1 h_0 > \frac{x}{\beta_1}$, $\delta_2 h_0 > \frac{x}{\beta_1}$ 时:

$$N_{aw} = (\delta_2 - \delta_1) t_w h_0 f_a. \quad (6)$$

$$M_{aw} = [(\delta_2 - \delta_1) - 0.5(\delta_2^2 - \delta_1^2)] t_w h_0^2 f_a. \quad (7)$$

(2) 小偏心受拉

同理,根据截面静力平衡可得:

$$Ne \leq f_y' A_s' (h_0 - a_s') + f_a' A_{af}' (h_0 - a_a') + M_{aw}. \quad (8)$$

式中: e 为轴向力作用点至纵向受拉钢筋和型钢受拉翼缘的合力点之间的距离; α_1 为受压区混凝土压应力影响系数; β_1 为受压区混凝土应力图形影响系数; M 为柱端较大弯矩设计值; N 为与弯矩设计值 M 相对应的轴向拉力设计值; M_{aw} 为型钢腹板承受的轴向合力

力对受拉或受压较小边型钢翼缘和纵向钢筋合力点的力矩; N_{aw} 为型钢腹板承受的轴向合力; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值; f_a 、 f_a' 、 f_y 、 f_y' 为型钢、钢筋抗拉和抗压强度设计值; A_s 、 A_s' 、 A_{af} 、 A_{af}' 为受拉钢筋、受压钢筋、型钢受拉翼缘、型钢受压翼缘的截面面积; h_0 为截面有效高度; a_s 、 a_a 为受拉区钢筋、型钢翼缘合力点至截面受拉边缘的距离; a_s' 、 a_a' 为受压区钢筋、型钢翼缘合力点至截面受压边缘的距离; δ_1 为型钢腹板上端至截面上边的距离与 h_0 的比值 $\delta_1 h_0$ 为型钢腹板上端至截面上边的距离; δ_2 为型钢腹板下端至截面上边的距离与 h_0 的比值 $\delta_2 h_0$ 为型钢腹板下端至截面上边的距离。

从《规范》给出的公式可知,承载力的界限状态为所有材料均达到其屈服强度进行计算,然而这并不符合实际的受力情况,而且通过偏压试件的有限元模拟^[18]类比可知,截面布置越复杂误差也就越大,所以笔者利用平截面假定对承载力计算公式进行进一步优化.将中和轴在正截面内的分布分为三种情况,分别是中和轴位于截面外侧(见图5)、中和轴位于截面内侧(见图6)、中和轴位于型钢内侧(见图7)进行分析。

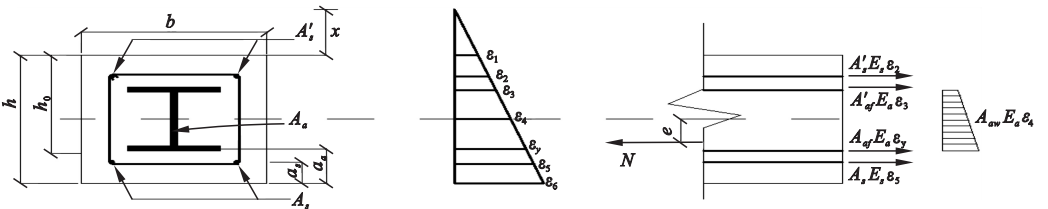


图5 中和轴位于截面外侧应力-应变分布

Fig. 5 The neutral axis is located on the lateral stress-strain distribution

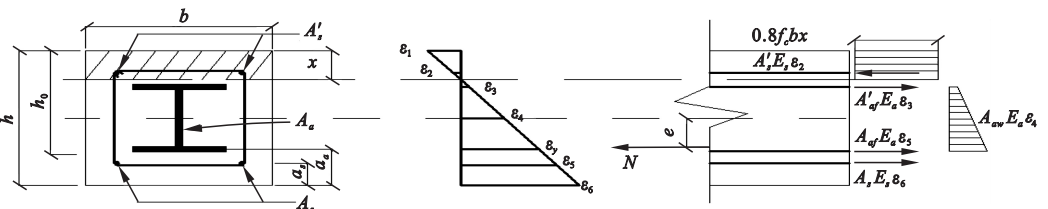


图6 中和轴位于截面内侧应力-应变分布

Fig. 6 The neutralization axis is located in the inner section of the section stress-strain distribution

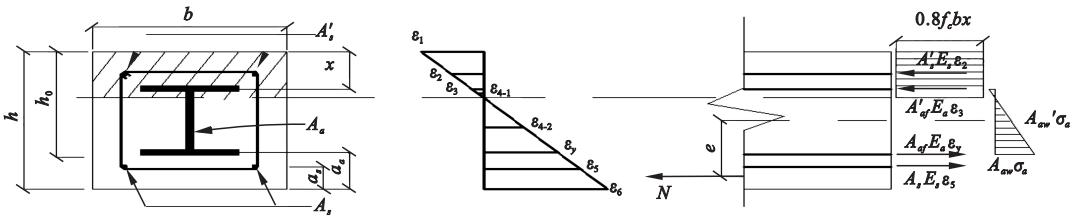


图 7 中和轴位于型钢内侧应力 - 应变分布

Fig. 7 The neutralization axis is located in the inner stress-strain distribution of the section steel

3.3 理论推导

3.3.1 小偏拉承载力计算

小偏拉构件正截面承载力计算按中和轴在截面中位置的不同分为两种情况建立计算公式,即中和轴位于截面外侧与中和轴位于截面内侧(不经过型钢).

在计算时,尽管 $\epsilon_y > \epsilon_{cr}$,但随着中和轴的移动,混凝土部分截面仍会出现混凝土拉力.若将这部分拉力直接带入守恒方程式,算式的计算量会大大增加,为此笔者提出“混凝土拉力折算系数 φ ”,即利用平截面假定求出混凝土压力再乘以该系数,可直接得到混凝土拉力,表达式为

$$\varphi = \frac{\epsilon_{cr}}{\epsilon_1}, T_t = \varphi^2 T_c. \tag{9}$$

(1) 中和轴位于截面外侧

受压钢筋拉力:

$$T_2 = \frac{x + a'_s}{h - a_a + x} \epsilon_y E_s A'_s. \tag{10}$$

$$x = \frac{(a_s - h)N + h\epsilon_y(E_s A_s + E_a A_{af} + 0.5 E_a A_{aw} + 0.5 E_c A_t)}{N - \epsilon_y(2 E_s A_s + 2 E_a A_{af} + E_a A_{aw} + E_c A_t)}. \tag{17}$$

联立开裂弯矩解方程组,故对混凝土上边缘取矩:

$$Ne = T_2 a'_s + T_3 a'_a + 0.5 T_4 h + T_y (h - a_a) + T_6 (h - a_s) + 0.5 T_t h \tag{18}$$

若联立式(17)与(18)所求 $x \leq 0$,则说明中和轴位于界面内侧,上述公式不满足计算要求,需使用第二种情况计算公式求解.

(2) 中和轴位于截面内侧

受压钢筋拉力:

$$T_2 = \frac{(x - a'_s)}{(h - a_a - x)} \epsilon_y E_s A'_s. \tag{19}$$

型钢受压翼缘拉力:

$$T_3 = \frac{a_a + x}{h - a_a + x} \epsilon_y E_a A'_{af}. \tag{11}$$

型钢腹板拉力:

$$T_4 = \frac{\frac{h}{2} + x}{h - a_a + x} \epsilon_y E_a A_{aw}. \tag{12}$$

型钢受拉翼缘拉力:

$$T_y = \epsilon_y E_a A_{af}. \tag{13}$$

受拉钢筋拉力:

$$T_6 = \frac{h + x - a_s}{h - a_a + x} \epsilon_y E_s A_s. \tag{14}$$

受拉区混凝土拉力:

$$T_t = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_6}{2} E_c A_t. \tag{15}$$

由内力平衡 $\sum x = 0$ 可得:

$$N = T_2 + T_3 + T_4 + T_y + T_6 + T_t. \tag{16}$$

同理采用对称配筋,式(19)简化移项可得:

$$\tag{17}$$

型钢受压翼缘拉力:

$$T_3 = \frac{a_a - x}{h - a_a - x} \epsilon_y E_a A'_{af}. \tag{20}$$

型钢腹板拉力:

$$T_4 = \frac{\frac{h}{2} - x}{h - a_a - x} \epsilon_y E_a A_{aw}. \tag{21}$$

型钢受拉翼缘拉力:

$$T_y = \epsilon_y E_a A_{af}. \tag{22}$$

受拉钢筋拉力:

$$T_6 = \frac{h - a_s - x}{h - a_a - x} \epsilon_y E_s A_s. \tag{23}$$

受压区混凝土压力:

$$T_c = 0.5 \varepsilon_1 E_c (b \cdot 0.8x - A'_s). \quad (24)$$

受拉区混凝土拉力:

$$T_t = \varphi^2 T_c \quad (25)$$

$$0.4 E_c b \left(\frac{\varepsilon_{cr}^2}{\varepsilon_y} - \varepsilon_y \right) x^2 - \varepsilon_y [E_a A_{af} + E_a A_{aw} + 2 E_s A_{as} + 0.8 \frac{\varepsilon_{cr}^2}{\varepsilon_y} (h - a_a) E_c b - N] x +$$

$$\varepsilon_y [a_s E_a A_{af} + 0.5 h E_a A_{af} + E_a A_{af} + h E_s A_s + 0.4 \frac{\varepsilon_{cr}^2}{\varepsilon_y} (h - a_a)^2 E_c b] + (a_a - h) N = 0. \quad (27)$$

联立开裂弯矩解方程组,故对混凝土上边缘取矩:

$$N e = T_3 a'_a + 0.5 T_4 h + T_y (h - a_a) + T_6 (h - a_s) + 0.5 T_t (h + x) - T_2 a'_s - 0.5 T_c x. \quad (28)$$

若联立式(27)与(28)所求 $x \geq a'_a - \frac{t_f}{2}$,

$$T_c = \frac{\varepsilon_1}{2} E_c \left[b \cdot 0.8x - A'_s - A'_{af} - \left(x - a'_a - \frac{t_f}{2} \right) t_w \right]. \quad (32)$$

说明该型钢混凝土偏拉构件型钢高度过大,属于比较特殊的小偏拉构件,需要使用大偏拉情况下中和轴经过型钢的计算公式求解.

3.3.2 大偏拉承载力计算

在大偏心受拉状态下,由于试件的塑性发展,截面弹性区不断减小,截面上拉应力合力与压应力之间的力臂缩短,受拉区混凝土提供的拉力也越拉越小,所以为了进一步简化计算,在计算大偏拉承载力时,不考虑受拉区混凝土作用.由试验可知,在大偏心距的作用下,混凝土受压区的覆盖面很大,中和轴将经过型钢内侧,故针对大偏拉正截面承载力建立如下公式.

受压钢筋拉力 T_2 、型钢受拉翼缘拉力 T_y 、受拉钢筋拉力 T_6 同式(19)、(22)、(23).

型钢受压翼缘压力:

$$T_3 = \frac{x - a'_a}{h - a_a - x} \varepsilon_y E_a A'_{af}. \quad (29)$$

型钢腹板压力:

$$T_{4-1} = \frac{x - a'_a - \frac{t_f}{2}}{2(h - a_a - x)} \varepsilon_y E_a A_{aw}. \quad (30)$$

型钢腹板拉力:

$$T_{4-2} = \frac{h - a_a - \frac{t_f}{2} - x}{2(h - a_a - x)} \varepsilon_y E_a A_{aw}. \quad (31)$$

受压区混凝土压力:

由内力平衡 $\Sigma x = 0$ 可得:

$$N = T_3 + T_4 + T_y + T_6 + T_t - T_2 - T_c. \quad (26)$$

同理式(26)简化移项可得:

由内力平衡 $\Sigma x = 0$ 可得:

$$N = T_{4-2} + T_y + T_6 - T_2 - T_3 - T_{4-1} - T_c. \quad (33)$$

同理采用对称配筋,式(33)简化移项可得:

$$E_c \varepsilon_y (0.4b - 0.5t_w) x^2 + [\varepsilon_y (E_a A_{af} + E_a A_{aw} + 2 E_s A_{as}) - 0.5 E_c \varepsilon_y (A_{as} + h A_{af} - a_a t_w - t_f t_w) - N] x - \varepsilon_y (0.5 E_a A_{aw} h + E_a A_{af} h + E_s A_{as} h + E_a A_{af} h) + (h - a_a) N = 0. \quad (34)$$

联立开裂弯矩解方程组,故对混凝土上边缘取矩:

$$N e = T_y (h - a_a) + T_6 (h - a_s) + 0.5 T_{4-2} (h - a_a - 0.5 t_f + x) - T_2 a'_s - T_3 a'_a - 0.5 T_c x - 0.5 T_{4-1} (x + a'_a + 0.5 t_f). \quad (35)$$

若大偏心受拉试件经式(34)与(35)求得 $x \leq a'_a - \frac{t_f}{2}$,说明试件混凝土截面较大,受

拉区混凝土应力与受压区混凝土压力已充分协调,此时中和轴不经过型钢腹板,故采用小偏拉正截面承载力公式计算.

笔者推导式中 ε_{cr} 、 ε_y 为受拉区混凝土开裂时的应变、型钢受拉翼缘屈服时应变; ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 、 ε_5 、 ε_6 为受拉区混凝土开裂时上边缘混凝土、上部钢筋形心、型钢上翼缘形心、型钢腹板形心、型钢下翼缘形心、下部钢筋形心处应变; E_c 、 E_s 、 E_a 为混凝土的弹性模量、钢筋的弹性模量、型钢的弹性模量; A_t 、 A_{aw} 为混凝土的净截面面积、型钢腹板的截面面积.

4 承载力公式验算

为了验证文中轴拉及偏心受拉状态下正截面承载力公式准确性. 现将推导公式计算值与规范公式计算值与试验实测值进行对比,结果见表3. 由表3可知,小偏心受拉构件使用规范推荐公式计算所得误差范围在14%~24%,而利用笔者推导的计算公式可保证误差范围在4%~16%,且每一根试件

的推导公式计算值均优于规范计算值,由此可知,笔者推导公式在小偏心作用下具有较高准确度,推荐使用. 大偏心受拉构件使用规范推荐公式计算所得误差范围在2%~18%,但其结果出现较大离散,而利用笔者推导的计算公式计算,其误差范围在10%~19%,精确度亦满足要求. 对于大偏心受拉构件,笔者计算方法与规范推荐公式精度相近,故不做推荐.

表3 试件承载力试验值与计算值对比结果

Table 3 Comparison of test values and calculation values of specimen bearing capacity

试件编号	试验值/ kN	笔者计算 值/kN	试验值/笔者 计算值	规范计算 值/kN	试验值/规范 计算值	受力状态
ZLGJ-6.5-6×8	620	758	0.82	758	0.82	轴心受拉
ZLGJ-12-6×8	700	864	0.81	864	0.81	
ZLGJ-6.5-8×8	901	816	1.10	816	1.10	
ZLGJ-6.5-6×6	605	674	0.89	674	0.89	
PLGJ-6.5-6×8-15	600	547	1.09	524	1.14	小偏心受拉
PLGJ-12-6×8-15	635	610	1.04	745	0.85	
PLGJ-6.5-8×8-15	680	589	1.15	576	1.18	
PLGJ-6.5-6×6-15	645	555	1.16	519	1.24	
PLGJ-6.5-6×8-80	320	289	1.10	312	1.02	大偏心受拉
PLGJ-12-6×8-80	390	343	1.13	373	1.05	
PLGJ-6.5-8×8-80	400	336	1.19	338	1.18	
PLGJ-6.5-6×6-80	285	239	1.19	260	1.09	

5 结 论

(1)在其他变量恒定不变时,偏心距越大,试件承载能力越弱,侧向挠度越大,裂缝越多,试件破坏时间越早,局部破坏越显著,其型钢腹板、型钢翼缘厚度、配钢率及配筋率对试件的影响越小.

(2)对于轴心受拉的型钢混凝土构件,通过增加型钢腹板厚度,可有效提高截面强度,增加型钢整体刚度,能在一定程度上改善平面扭转屈曲性能. 对于偏心受拉构件,在偏心矩作用下,型钢腹板极易失稳,增强效用大大减弱.

(3)无论是大偏心或是小偏心受拉试件,增大型钢翼缘宽度能有效提高抗屈曲性能,能最有效地控制试件的侧向挠度.

(4)笔者提出了偏心受拉型钢混凝土构件正截面承载力公式,利用平截面假定对公式进行了推导. 最终由规范计算值与文中计算值对比可知,笔者推导的型钢混凝土偏心受拉承载力公式适用于大、小偏心受拉状态,在小偏拉计算中具有较高精度,推荐使用.

参考文献

[1] 曾磊,涂祥,许成祥,等. 非对称配钢钢骨混凝土柱抗震性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2013,34(3):141-151.
(ZENG Lei,TU Xiang,XU Chengxiang,et al. Experimental study on seismic behavior of asymmetric steel reinforced concrete columns [J]. Journal of building structures, 2013, 34 (3):141-151.)

[2] 刘阳,郭子雄,许鹏红,等. 核心型钢混凝土构件轴压性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2015,36(4):68-74.
(LIU Yang, GUO Zixiong, XU Penghong, et al. Experimental study on axial compression

- performance of core steel concrete members [J]. Journal of architectural structure, 2015, 36 (4): 68 - 74)
- [3] 陈宗平, 钟铭, 陈宇良. 型钢再生混凝土偏压构件受力性能试验及承载力计算[J]. 工程力学, 2014(4): 160 - 170.
(CHEN Zongping, ZHONG Min, CHEN Yuliang. Calculation of stress performance and bearing capacity of reinforced concrete slabs in section steel [J]. Engineering mechanics, 2014 (4): 160 - 170)
- [4] CHEN Suwen, WU Pei. Analytical model for predicting axial compressive behavior of steel reinforced concrete column [J]. Journal of constructional steel research, 2016, 10 (1): 649 - 660.
- [5] SERKAN T, CENGİZ D. Tests of eccentrically loaded L-shaped section steel fibre high strength reinforced concrete and composite columns [J]. Engineering structures, 2012, 1 (9): 134 - 141.
- [6] 李文昌, 王钧, 刘英明. 内置 H 型钢预应力混凝土组合梁受弯性能非线性分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2012, 28 (3): 473 - 479.
(LI Wenchang, WANG Jun, LIU Yingming. Nonlinear analysis of bending behavior of prestressed concrete composite beam with H-beam [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2012, 28 (3): 473 - 479.)
- [7] DASTFAN M, DRIVER R G. Large scale test of a steel plate shear wall with PEC columns and RBS connections [C]. Structural stability research council-annual stability conference, SSRC 2010-Proceedings, 2010.
- [8] 邹惠. 型钢混凝土柱弯剪承载力研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
(ZOU Hui. Research on bearing capacity of steel reinforced concrete columns [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.)
- [9] KOICI M, SADAFUSA K. Experimental study on the ultimate strength and ductility of the case base for right under tension filled with steel reinforced concrete structures (Part 1, Part 2, Part 3) [C]. Outline of the academic lectures of the Japan architecture society conference. Tokyo: Japanese Architecture Society, 1999.
- [10] HIDEJI Oba, HIDENORI Tanaka. Experimental study on the ultimate strength and ductility of the case base for right under tension filled with steel reinforced concrete structures (Part 4, Part 5, Part 6, Part 7, Part 8, Part 9) [C]. Outline of the academic lectures of the Japan architecture society conference. Tokyo: Japanese Architecture Society, 2000.
- [11] FUJIWARA T, SADASUE K. Experimental study on the ultimate strength and ductility of the case base for right under tensile force of steel reinforced concrete bridge structures (Part 11, Part 12) [C]. Outline of the academic lectures of the Japan architecture society conference. Tokyo: Japanese Architecture Society, 2002.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 组合结构设计规范: JGJ138—2016 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design specifications for combined structures: JGJ138—2016 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2016.)
- [13] 韩文涛. 偏心受拉型钢混凝土梁的受力性能及板内裂缝试验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
(HAN Wentao. The stress performance of eccentric tensile steel concrete beam and the test of crack in the plate are studied [D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.)
- [14] 陈茜. 工字型钢混凝土拉弯构件正截面承载力计算分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2015.
(CHEN Qian. Calculation and analysis of the normal section bearing capacity of section steel concrete bending members [D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.)
- [15] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计规范: GB50017—2017 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Specification for steel structure design: GB50017—2017 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2017.)
- [16] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范: GB50010—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
(Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of concrete structures: GB50010—2010 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2010.)
- [17] 顾祥林. 混凝土结构基本原理 [M]. 3 版. 上海: 同济大学出版社, 2015.
(GU Xianglin. Basic Principles of concrete structures [M]. 3rd ed. Shanghai: Tongji University Press, 2015.)
- [18] 颜家胜. 型钢混凝土巨型柱的数值模拟分析 [D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
(YAN Jiasheng. Numerical simulation analysis of steel reinforced concrete columns [D]. Xiamen: Xiamen University, 2014.)
(责任编辑: 杨永生 英文审校: 刘永军)