

# 高强混凝土环形截面偏心受压构件正截面承载力计算

冯 鹏 叶列平 庄崖屏

(清华大学土木工程系 北京 100084)

[提要] 通过计算分析比较,针对现行规范 GBJ10—89 中适用于环形截面偏心受压构件的设计计算公式,对高强混凝土的适用性进行了讨论,并给出了有关简化设计建议。

[关键词] 高强混凝土 环形截面 偏心受压构件 正截面承载力

The applicability of the design formulae for eccentrically compressed ring-section members of high-strength concrete in the current code (GBJ10—89) is discussed. A design suggestion is given.

Keywords: high-strength concrete; normal section strength; ring-section; eccentrically compressed member

## 一、环形截面偏压构件正截面承载力计算公式

现行《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)<sup>[1]</sup>(以下简称现行规范)中,钢筋混凝土环形截面构件的承载力计算,除遵循正截面承载力计算的基本假定外,还增加了下面两条假定:(1)当周边均匀配筋的根数不少于6根时,可将钢筋化为总面积为 $A_s$ 、半径为 $r_s$ 的钢环, $r_s$ 为周边配筋中心所在圆的半径;(2)混凝土环形截面的内、外径分别为 $r_1, r_2$ ,当 $r_1/r_2 \geq 0.5$ 时,可用对应圆心角 $2\pi\theta$ 的扇环面积近似混凝土受压区面积 $A_c$ 。

图1中(b)为截面应变分布,(c),(d)分别为截面的混凝土和钢环的应力分布。截面有效高度 $h_0 = r_2 + r_s$ 。设中和轴高度为 $\xi_n h_0 = \xi_n (r_s + r_2)$ ,所对应的圆心角为 $2\pi\theta_0$ ,由此可得表1所示几个与截面应力分布有关的参

数。表1中 $\beta' = \frac{f'_y}{\epsilon_{cu} E_s}, \beta = \frac{f_y}{\epsilon_{cu} E_s}$ ,对于常用的II, III级钢筋, $f'_y = f_y$ ,则 $\beta' = \beta$ 。

由图1,环形截面的承载力可表示为以下五部分组成<sup>[3]</sup>:(1)受压区混凝土的合力 $C$ 及对最下侧受拉钢筋的内力矩 $M_c$ ;(2)受压区内屈服钢环的内力 $C_1$ 及对最下侧受拉钢筋的内力矩 $M_{c1}$ ;(3)受压区内未屈服钢环的内力 $C_2$ 及对最下侧受拉钢筋的内力矩 $M_{c2}$ ;(4)受拉区内屈服钢环的内力 $T_1$ 及对最下侧受拉钢筋的内力矩 $M_{t1}$ ;(5)受拉区内未屈服钢环的内力 $T_2$ 及对最下侧受拉钢筋的内力矩 $M_{t2}$ 。因此截面的内力平衡方程为:

$$\begin{cases} N = C + C_1 + C_2 + T_1 + T_2 \\ N\eta e_i = M_c + M_{c1} + M_{c2} + M_{t1} + M_{t2} \end{cases} \quad (1)$$

利用表1中参数的定义,上式可表示为:

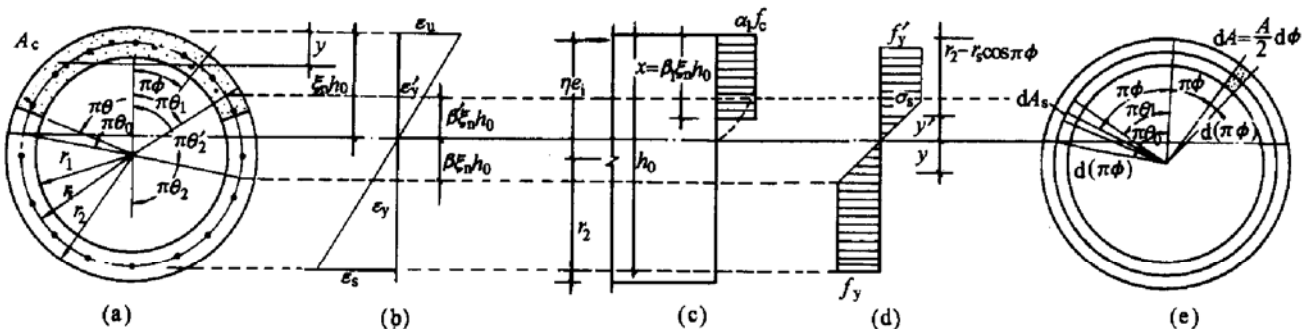


图1 环形截面计算分析

参数定义	到受压边缘的距离 $y$	对应的圆心角 $\phi$ (rad)
中和轴高度	$\xi_n(r_s + r_2)$	$\theta_0 = \arccos[r_2/r_s - \xi_n(1 + r_2/r_s)]/\pi$
受压区高度	$\beta_1 \xi_n(r_s + r_2)$	$\theta = \arccos[r_2/r_s - \beta_1 \xi_n(1 + r_2/r_s)]/\pi$
界限受压区高度	$\beta_1 \xi_{nb}(r_s + r_2)$	$\theta_b = \arccos[r_2/r_s - \beta_1 \xi_{nb}(1 + r_2/r_s)]/\pi$
受压区钢环屈服点到受压边缘	$(1 - \beta') \xi_n(r_s + r_2)$	$\theta_1 = \arccos[r_2/r_s - (1 - \beta') \xi_n(1 + r_2/r_s)]/\pi$
受拉区钢环屈服点到受压边缘	$(1 + \beta) \xi_n(r_s + r_2)$	$\theta'_2 = \arccos[r_2/r_s - (1 + \beta) \xi_n(1 + r_2/r_s)]/\pi$

$$\begin{cases} N = \alpha_1 f_c \theta A + f'_y A_s (\theta_1 + k_c) - f_y A_s (\theta_2 + k_t) \\ N \eta e_i = \alpha_1 f_c A \frac{r_1 + r_2}{2} \frac{\sin \pi \theta}{\pi} + f'_y A_s r_s \frac{\sin \pi \theta_1 + m_c}{\pi} \\ \quad + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \theta_2 + m_t}{\pi} \end{cases} \quad (2)$$

式中： $\alpha_1$  和  $\beta_1$  为混凝土等效矩形应力图形系数，对于 C50 级以下的混凝土， $\alpha_1 = 1.0$  和  $\beta_1 = 0.8$ ，与现行规范一致；对于 C50 ~ C80 级高强混凝土，等效矩形应力图形系数  $\alpha_1$  和  $\beta_1$  见表 2<sup>[2,4]</sup>； $k_c, k_t, m_c$  和  $m_t$  是计算参数， $k_c, k_t$  为弧度单位， $m_c, m_t$  为无量纲数值，其精确表达式见文献[3]。

高强混凝土等效矩形应力图形系数 表 2

$f_{cu,k}$	C50	C60	C70	C80
$\alpha_1$	1.0	0.98	0.96	0.94
$\beta_1$	0.8	0.78	0.76	0.74

对 II 级钢、新 III 级钢， $\beta$  及  $\beta'$  的取值范围为 0.47 ~ 0.60；设  $h/h_0 = 1.05 \sim 1.10$ ，取均值

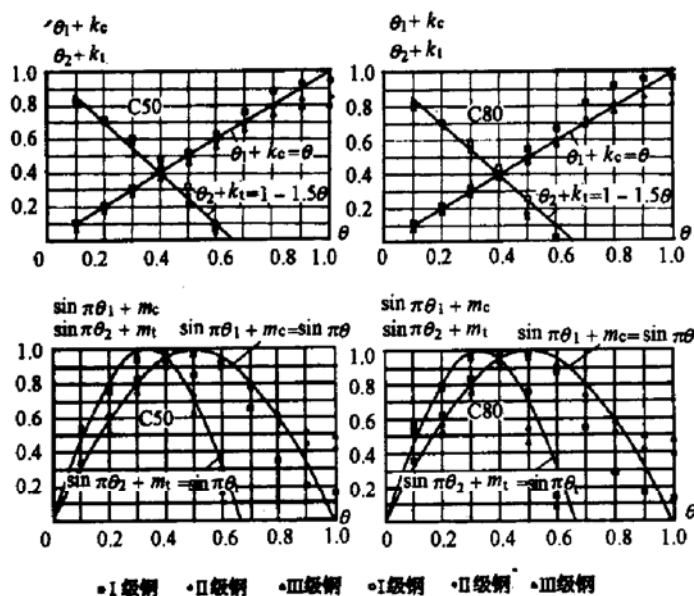


图 2 近似关系的比较曲线

1.075，则  $r_2/r_s = 1.16$ 。当  $\beta, \beta'$  及  $r_2/r_s$  确定，则可以求得环形截面构件的承载力。现行规范为简化计算，对  $\theta_1 + k_c$  和  $\theta_2 + k_t$  与  $\theta$  的关系以及  $\sin \pi \theta_1 + m_c$  和  $\sin \pi \theta_2 + m_t$  与  $\theta$  的关系取以下近似式：

$$\begin{cases} \theta_1 + k_c = \theta \\ \theta_1 = \theta_2 + k_t = 1 - 1.5\theta \\ \sin \pi \theta_1 + m_c = \sin \pi \theta \\ \sin \pi \theta_2 + m_t = \sin \pi \theta \end{cases} \quad (3)$$

由此得到与现行规范类似的环形截面构件正截面承载力公式：

$$\begin{cases} N = \theta (\alpha_1 f_c A + f'_y A_s) - \theta_2 f_y A_s \\ N \eta e_i = \left( \alpha_1 f_c A \frac{r_1 + r_2}{2} + f'_y A_s r_s \right) \frac{\sin \pi \theta}{\pi} \\ \quad + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \theta_2}{\pi} \end{cases} \quad (4)$$

式中， $\theta_2 = 1 - 1.5\theta$ ，当  $\theta_2 < 0$  时取  $\theta_2 = 0$ 。

### 二、对高强混凝土构件适用性的研究

近似式(3)是现行规范在对普通混凝土研究的基础上得到的，但对高强等效矩形应力图形系数  $\alpha_1$  和  $\beta_1$  的取值与普通混凝土不同。下面根据表 2 的  $\alpha_1, \beta_1$  建议值讨论简化式(3)对于高强混凝土的适用性。

取  $f_y = f'_y$ ，则  $\theta_1 + k_c$  和  $\theta_2 + k_t$  与  $\theta$  的关系以及  $\sin \pi \theta_1 + m_c$  和  $\sin \pi \theta_2 + m_t$  与  $\theta$  的关系见图 2。图中各符号点为按文献[3]参数  $k_c, k_t$  和  $m_c, m_t$  的精确表达式得到的计算点，式(3)的近似结果也绘于图中。由图可见，虽然近似拟合关系式(3)与精确计算结果随  $\theta$  变化的整体趋势大致相同，但随着混凝土强度等级的增大，近似拟合关系式(3)与精确计算点的偏离也越大。说明简化公式用于高强混凝土

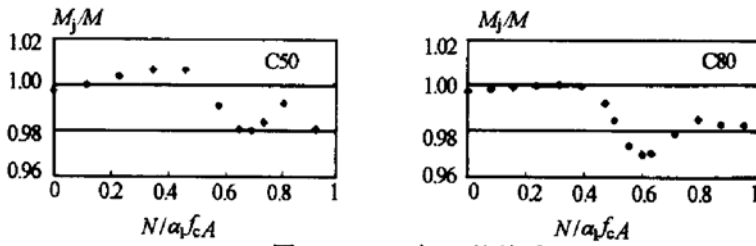


图3  $M_j/M$  与  $N$  的关系

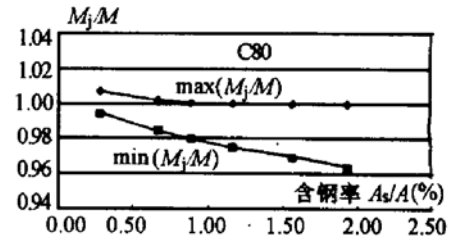


图4 含钢率与误差的关系

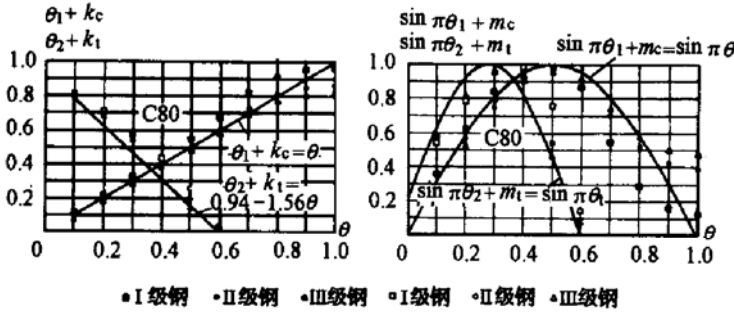


图5  $\theta_1 = 0.94 - 1.56\theta$  的拟合

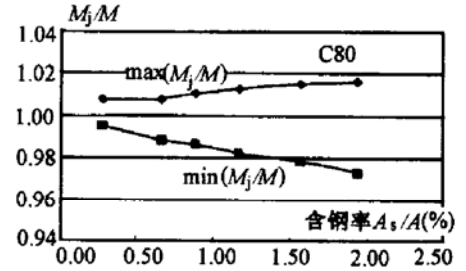


图6 含钢率与误差的关系

土会有较大的误差。

### 三、算例分析

算例的截面尺寸及有关参数见表3。图3为对给定轴力  $N/\alpha_1 f_c A = 0 \sim 1.0$ , 分别按精确公式<sup>[3]</sup>计算的受弯承载力  $M_j$  和按简化式(3)计算的受弯承载力  $M$  的比值  $M_j/M$ 。由图可见, 对 C50 级混凝土, 简化公式在大偏心受压范围内均为正误差, 偏于安全; 在小偏心受压范围的误差均在  $-2\%$  之内。因此, 现行规范的简化公式对 C50 级以下的混凝土误差较小。对 C80 级混凝土, 简化公式的结果均为负误差, 偏于不安全。

算例截面尺寸及参数 表3

内径 $r_1$ (mm)	外径 $r_2$ (mm)	环形配筋 $A_s$ (mm <sup>2</sup> )	钢筋强度 $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	钢筋环直径 $r_s$ (mm)	钢筋弹模 $E_s$ (N/mm <sup>2</sup> )
180	300	2 825	310	265	200 000

仍采用上述截面尺寸, 对于不同的配筋率,  $M_j/M$  的变化范围见图4。可以看出, 含钢率越大, 简化公式偏于不安全程度越大。当含钢率超过  $0.9\%$  时, 最大误差超过  $-2\%$ 。因此, 简化公式(3)对于高强混凝土构件偏于不安全程度较大。

### 四、修正近似公式

对于 C50 级以上的高强混凝土, 将简化式(3)修正如下:

$$\begin{cases} \theta_1 + k_c = \theta \\ \theta_1 = \theta_2 + k_t = \alpha_1 - (2.5 - \alpha_1)\theta \\ \sin \pi \theta_1 + m_c = \sin \pi \theta \\ \sin \pi \theta_2 + m_t = \sin \pi \theta \end{cases} \quad (5)$$

式中:  $\alpha_1$  为混凝土等效矩形应力图形系数, 对 C50 及以下等级的混凝土,  $\theta_1 = 1 - 1.5\theta$ , 与现行规范一致; 对于 C80,  $\theta_1 = 0.94 - 1.56\theta$ 。修正近似公式与精确结果的比较见图5。上述算例  $M_j/M$  与配筋率的关系见图6。可见, 在通常的配筋率范围, 按修正简化公式计算得到的结果最大误差为  $-3\%$ , 比简化公式(3)有所改善。

### 五、结论

分析对比表明, 将现行规范中环形截面偏心受压的设计计算公式推广到高强混凝土存在一定的偏于不安全的误差, 最大负误差在  $5\%$  之内。为减小误差, 本文对简化公式进行了改进, 改进后的近似公式(5)可将负误差控制在  $3\%$  以内。

### 参考文献

1. 混凝土结构设计规范 (GBJ10-89). 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
2. 叶列平, 庄崖屏等. 高强混凝土构件正截面承载力计算方法. 清华大学土木工程系研究报告, 1999.
3. 滕智明. 钢筋混凝土基本构件. 清华大学出版社, 1987.
4. 冯鹏, 叶列平, 庄崖屏. 均匀配筋及配置工形型钢高强混凝土偏心受压构件正截面承载力计算. 建筑结构, 2000, 30(10).