

文章编号: 1005-0523(2007)05-0017-04

钢筋混凝土压弯构件荷载—挠度全过程分析

王庆华, 张敏, 王晓东

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:对压弯构件的荷载—挠度全过程进行了理论分析,在此基础上编制了计算程序,对弯矩 M —曲率 φ 及荷载 P —位移 δ 曲线进行了探讨,并由此讨论了纵筋配筋率、体积配箍率、轴压比对压弯构件延性的影响。

关键词:压弯构件; M — φ 曲线; P — δ 曲线; 延性

中图分类号: TU375

文献标识码: A

1 前言

压弯构件是具有轴向力作用的受弯构件. 在轴力 N 的作用下, 由于构件挠度 δ 将引起附加弯矩 $N \cdot \delta$, 所以构件各截面所承受的弯矩除由横向荷载产生外, 还应考虑附加弯矩, 而弯矩的增大又将加大挠度. 对构件全过程分析时, 部分截面进入屈服状态, 因此压弯构件荷载—挠度 (P — δ) 计算既包括几何非线性又包括材料非线性, 而结构的弯矩—曲率 (M — φ) 关系是分析 P — δ 曲线的基础. 本文介绍了 M — φ 、 P — δ 曲线计算的理论根据, 并由此编制了计算程序, 在此基础上讨论了纵筋、箍筋以及轴压比对压弯构件延性的影响规律.

2 理论分析和程序框图

2.1 基本假定

- (1) 屈服前后截面保持平面变形, 混凝土和钢筋应变都按线性变化.
- (2) 不考虑混凝土的受拉作用.
- (3) 钢筋应力—应变关系 (σ_s — ϵ_s) 采用二折线理想弹塑性模型, 如图 1 所示.
- (4) 混凝土 (包括约束混凝土) 应力—应变关系 (σ_c — ϵ_c) 采用 Kent—Park 模型, 如图 2 所示.

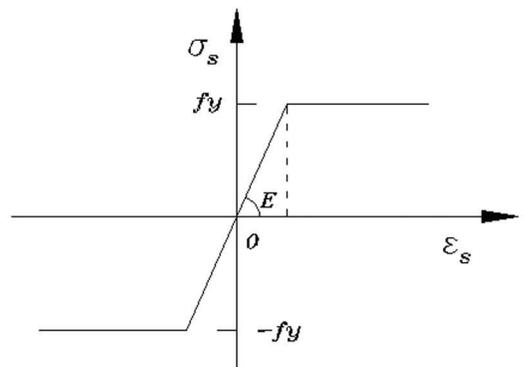


图1 钢筋应力—应变关系

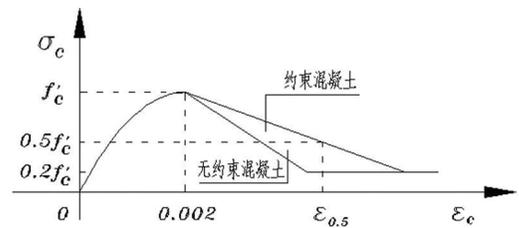


图2 混凝土应力—应变关系

Kent—Park 模型曲线由上升段和下降段组成. 上升段的曲线采用二次式 $\sigma_c = 2\epsilon_c - \epsilon_c^2$, 下降段的斜线由 $\sigma = 0.5 f_c$ 处的应变确定^[4]: $\epsilon_{0.5} = \frac{3+0.003f_c'}{f_c-1000} + \frac{3}{4} \rho_w \sqrt{\frac{b}{s}}$. 约束混凝土极限压应变^[4]: $\epsilon_u = \epsilon_{u0} + 0.09 \rho_w f_{yh} / 30$.

收稿日期: 2007-05-16

式中, f_c' —混凝土的圆柱体抗压强度;
 ρ_w —体积配箍率;
 b —从箍筋外皮量起的砼核芯短边尺寸;
 s —箍筋间距;
 ϵ_{u0} —混凝土极限压应变,可取 0.0033;
 f_{yh} —箍筋屈服强度.

2.2 M-φ 曲线计算

M-φ 曲线的求解主要是求得弯矩曲率的对应关系. 先将混凝土梁柱截面分成有限个条带, 并假定每个条上的应力应变均匀分布. 根据平解面假定, 其截面曲率 φ 由下式计算:

$$\phi = \frac{\epsilon_m}{kh_0} \quad (1)$$

式中, ϵ_m —压区边缘应变; h_0 —截面有效高度;
 k —中和轴位置系数.

截面的各个条带的应变由下式计算:

$$\epsilon_i = \frac{\epsilon_m}{kh_0} (kh_0 - y_i) \quad (2)$$

式中, y_i —一条带距压区边缘的距离.

按已知的混凝土和钢筋的应力应变关系, 可得截面上任一条带的混凝土和钢筋的应力 σ_{ci} , σ_{si} . 设

每个条带的面积为 ΔA , 且混凝土和钢筋的应力均以压力为正, 拉力为负. 根据力的平衡条件可得截面的轴心压力 N 和弯矩 M 为:

$$N = \sum_i \sigma_{ci} \Delta A + \sigma_{si} A_{si} \quad (3)$$

$$M = \sum_i \sigma_{ci} \Delta A (h/2 - y_i) + \sigma_{si} A_{si} (h/2 - y_i) \quad (4)$$

计算时采用分级加压区边缘最大压应变 ϵ_m . 具体求解步骤如下:

- (1) 取边缘应变;
- (2) 假定中和轴位置, 取 k 值;
- (3) 按(2)式求个混凝土条带和钢筋的应变;
- (4) 按混凝土和钢筋的应力应变关系求与应变相对应的应力值;
- (5) 按(3)式求内力总和, 并判断是否满足平衡条件;
- (6) 若不满足, 则需调整 k 值, 重复步骤(3)~(5);
- (7) 若满足, 按(4)式求弯矩, 按(1)式求曲率;
- (8) 循环步骤(1)~(7), 直至 ϵ_m 达到最大应变 ϵ_u , 由此得到 $M-\phi$ 曲线.

图 3 为相应的计算框图.

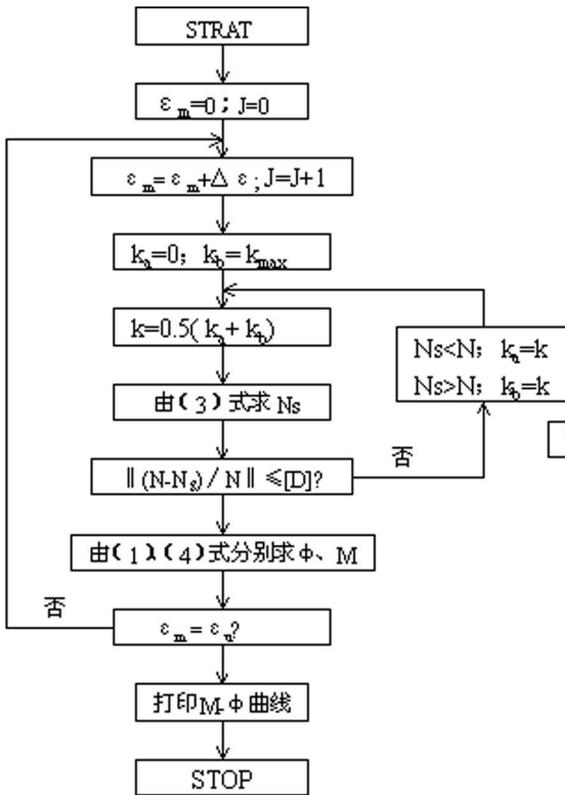


图 3 弯矩—曲率计算框图

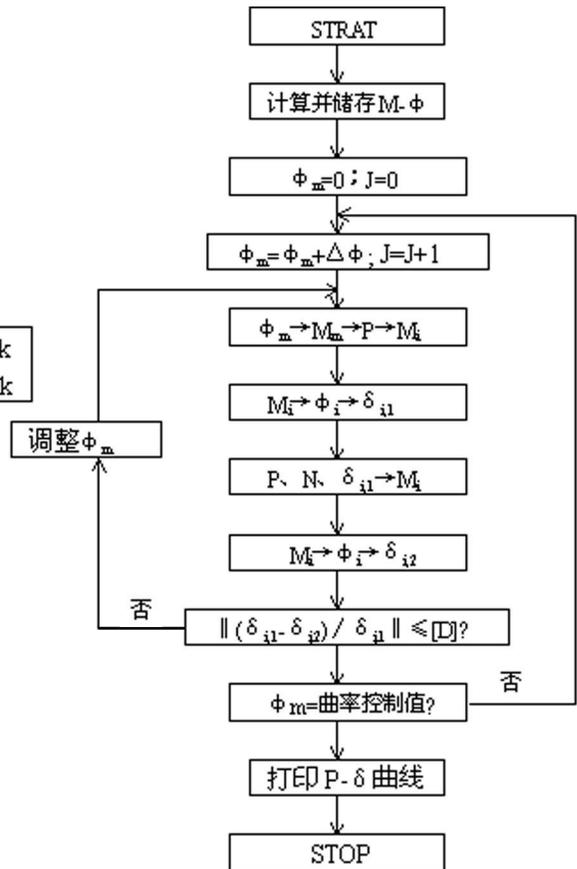


图 4 荷载—位移计算框图

2.3 P-δ 曲线计算

由于附加弯矩与挠度的相互影响,数值分析时必须反复迭代,逐次逼近.可采用分级加曲率求 P-δ 曲线.假定控制截面的曲率 φ,根据 M-φ 关系求得弯矩 M_m,再由 M_m 确定外加水平荷载 P,根据 P 求各截面的弯矩 M_i,再由 M-φ 关系求得各截面的曲率 φ_i,采用图乘法可求任一截面的挠度 δ_{i,1} = ∫ Mφ_idx, M 为单位荷载 (P=1) 在虚梁上的弯矩.再重复上述过程得到 δ_{i,2},比较两者差值是否在允许值范围内,若满足,则进行 φ_m = φ_m + Δφ 下一轮计算,若不满足,则调整 φ_m 反复迭代再算.图 4 为相应的计算框图.

构件进入屈服阶段后应注意构件的卸载和塑性铰的处理.

(1) 构件卸载处理

构件的全过程计算要涉及到下降段,构件的局部区域出现塑性铰,构件承载力 P 相应减少,这时构件塑性铰以外的区域同样出现卸载.对于塑性铰区段 M-φ 按下下降段负刚度取值,而对于塑性铰区段外 M-φ 可按初始刚度卸载.

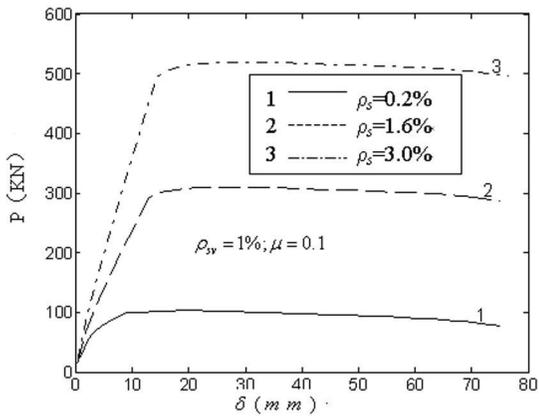


图 5 纵筋配筋率对 P-δ 曲线的影响

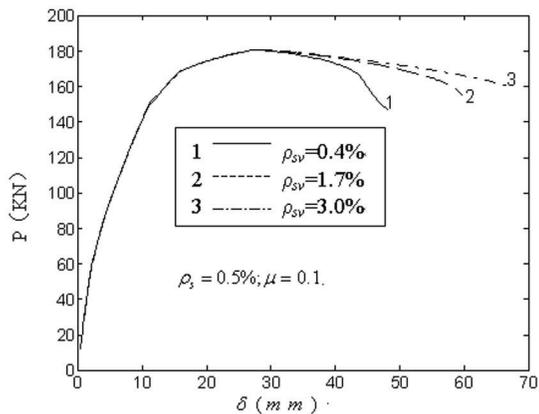


图 7 体积配筋率对 P-δ 曲线的影响

(2) 构件塑性铰处理

当构件进入屈服阶段, M > M_y 时,在最大弯矩点附近区段,由于钢筋和混凝土的急剧增加以及它们之间粘结力的破坏,将形成集中的塑性变形区域,称此区域为塑性铰区.在变形计算中,可认为在塑性铰区 l_p 的范围内所有截面的曲率相等.其塑性铰区长度 l_p 按 Mattok 公式取值: l_p = 0.5h₀ + 0.05z.

式中, z — 最大弯矩截面至 M=0 截面的距离.

2.4 延性比的取值

$$\text{截面曲率延性比 } \mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

式中, φ_y — 截面的屈服曲率,取受拉钢筋屈服时的截面曲率;

φ_u — 截面的极限曲率,取最大弯矩下降 15% 对应的截面曲率.

$$\text{构件位移延性比 } \mu_{\delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y}$$

式中, δ_y — 构件的屈服位移,取构件控制截面达到屈服曲率时对应的位移;

δ_u — 构件的极限位移,取构件控制截面达到极限曲率时对应的位移.

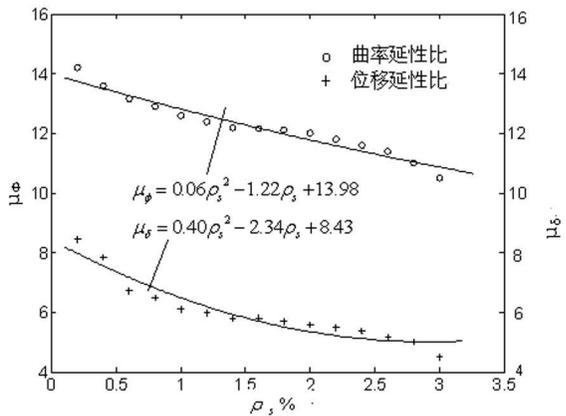


图 6 纵筋配筋率对延性比的影响

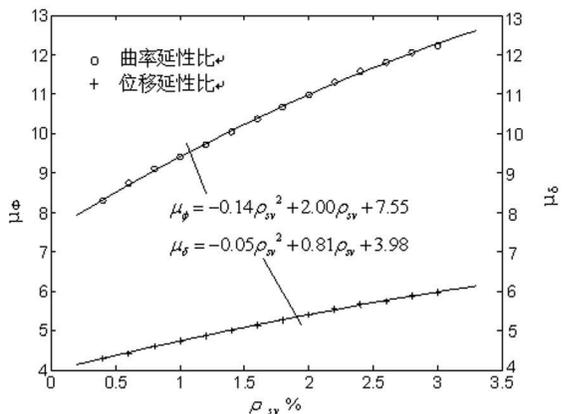


图 8 体积配筋率对延性比的影响

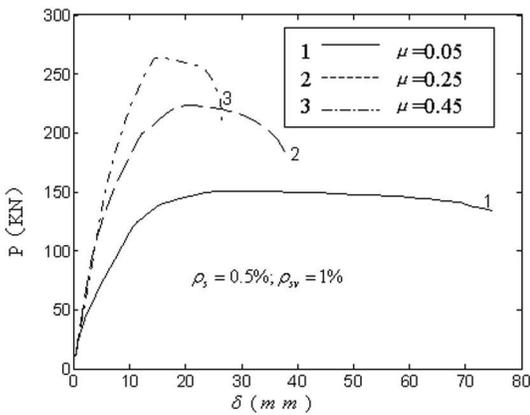
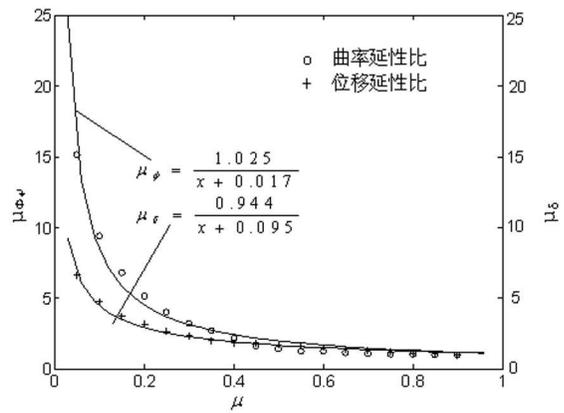
图9 轴压比对 $P-\delta$ 曲线的影响

图10 轴压比对延性比的影响

3 算例分析

设一悬臂柱,顶部作用水平力 P 和轴向力 N ,柱高 3 m,矩形截面 $500 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$,钢筋保护层厚度 30 mm,砼强度 $f_c = 30 \text{ N/mm}^2$,纵筋屈服强度 $f_y = 300 \text{ N/mm}^2$,箍筋屈服强度 $f_{yh} = 210 \text{ N/mm}^2$.纵筋按对称配筋 $\rho_s = \rho'_s$,箍筋间距 $s = 200 \text{ mm}$.按上述计算框图用 Matlab 编程,对该悬臂柱进行荷载—挠度全过程分析,着重从纵筋配筋率 ρ_s 、体积配箍率 ρ_{sv} 、轴压比 μ 三个方面讨论其对截面曲率延性比 μ_ϕ 、构件位移延性比 μ_δ 的影响.

从图 5~10 可知,就构件的承载力而言,提高纵筋配筋率、轴压比均可显著提高承载力;体积配箍率对承载力没有影响.就构件的延性而言,纵筋配筋率对延性影响比较明显,增加受拉钢筋的数量,将减小延性.构件在大偏心受压状态 ($\mu < 0.5$),轴压比对

延性影响较大,增大轴压比,将减小延性;而在小偏心受压状态 ($\mu > 0.5$),轴压比对延性影响较小.体积配箍率对延性也有影响,增大体积配箍率,将增加延性.截面曲率延性比与构件位移延性比的变化基本一致,构件位移延性比要小于截面曲率延性比.提高构件延性的措施是控制轴压比不应过大,体积配箍率不应过小.

参考文献:

- [1] 朱伯龙,董振祥.钢筋混凝土非线性分析[M].上海:同济大学出版社,1985.
- [2] 吕西林,金国芳,吴晓涵.钢筋混凝土结构有限元理论与应用[M].上海:同济大学出版社,1997.
- [3] 过镇海,时旭东.钢筋混凝土原理和分析[M].北京:清华大学出版社,2003.
- [4] Park R, Paulay T. Reinforced Concrete Structures [M]. New York: John Wiley & Sons, 1975.

Load—Deflection Full—Range Analysis of Reinforced Concrete Compression—bending Member

WANG Qing-hua, ZHANG Min, WANG Xiao-dong

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: In this paper, a computer program is compiled based on load—deflection full—range analysis of reinforced concrete pressing—bending member. The moment—curvature curve and the load—deflection curve are calculated, and the effect of different longitudinal reinforcement ratio, volume stirrup reinforcement ratio and axial compression stress ratio on ductility is discussed.

Key words: compression—bending member; $M-\varphi$ curve; $P-\delta$ curve; ductility