

文章编号: 1000-5013(2009)05 0557-06

滑移对薄壁 U 型钢-混凝土组合梁挠度的影响

沈建华¹, 高 轩¹, 周期源²

(1. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021;
2. 深圳市电子院设计有限公司, 广东 深圳 518031)

摘要: 建立薄壁 U 型钢-混凝土梁的挠度计算模型, 推导梁的平衡微分方程, 得出组合梁在不同荷载作用下的挠度计算公式. 对 8 根组合梁进行计算, 将计算结果与用现有计算方法计算的值和试验值进行比较, 结果表明, 薄壁 U 型钢-混凝土梁的滑移效应对挠度的影响较大, 不能忽略不计. 在相同的剪力连接件作用下, 薄壁 U 型钢-混凝土梁的剪力连接程度比普通钢-混凝土梁低, 要适当增加剪力连接件, 剪力连接程度系数可从 0.66 提高到 0.75. 通过与现行钢结构设计规范公式的比较和分析, 得出适合薄壁 U 型钢-混凝土梁挠度计算的刚度折减系数修正计算公式.

关键词: 冷弯薄壁 U 型钢; 组合梁; 滑移; 挠度; 折减系数

中图分类号: TU 398.01 **文献标识码:** A

钢-混凝土组合梁, 是由钢和混凝土组成整体而共同工作的一种结构形式. 混凝土宜受压, 但抗拉承载力极低, 而钢材宜受拉, 但受压时需要考虑稳定问题. 将钢与混凝土结合在一起, 混凝土将限制钢材在局部挠曲, 充分发挥两种材料的优势. 因此, 这种结构形式具有显著经济效益和社会效益, 在工业厂房、桥梁及民用建筑(特别是轻钢住宅)中, 得到日益广泛的应用^[1-2]. 薄壁 U 型钢-混凝土组合梁是其中一种较新型的组梁形式, 在我国的应用起步比较晚, 但发展较快, 在一些高层建、轻钢住宅和工业建筑有了一定的应用^[3-6]. 它利用薄壁 U 型截面作为梁肋, 在 U 型截面的肋部和上部翼缘中浇筑混凝土, 形成钢-混凝土工字型组合截面的构件以共同承受外荷载. 由于内部填充混凝土, 使得构件不仅增加了截面刚度, 而且防止钢梁单独作用时因腹板高、薄而易产生局部失稳破坏, 降低了梁高度增加房屋净空. 钢材又可以减少模板的施工量, 加快施工进度, 有着良好的发展前景. 本文对薄壁 U 型钢-混凝土组合梁建立了计算模型, 并利用文[5]中的 8 根梁进行计算比较.

1 滑移的计算

1.1 滑移理论计算模型

对 U 截面薄壁型钢-混凝土组合梁, 取一段长度为 dx 的微段进行分析, 图 1 为其滑移分析简图. M, T, V 分别表示截面的弯矩、轴力和剪力, r 为单位长度上的挤压力; v 为交界面单位长度的水平剪力; s 为滑移量; c, s 下标分别表示混凝土和钢梁.

为便于推导, 做如下假定: (1) 钢梁与混凝土均为理想的弹性体; (2) 梁截面受荷后仍符合平截面假定, 且钢梁与混凝土应变分别沿截面高度呈线性分布; (3) 钢梁与混凝土具有相同的曲率, 即忽略钢梁与混凝土之间的竖向掀起; (4) 假设组合梁中剪力连接件沿梁长均匀分布, 交界面剪力与相对滑移成线性关系. 即

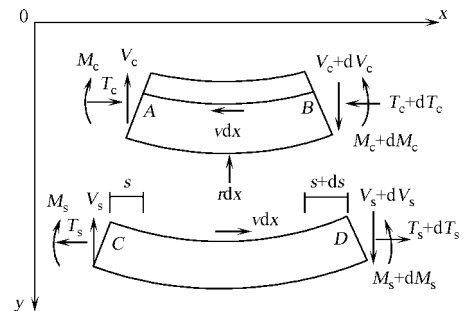


图 1 组合梁滑移计算简图

Fig. 1 Calculation diagram of composite beams slip

收稿日期: 2008-04-01

通信作者: 高轩能(1962-), 男, 教授, 主要从事工程结构抗火及组合结构的研究. E-mail: gaoxn@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省科技计划项目(2006H0030); 厦门市科技计划项目(3502Z20073036)

$$v = ks/m. \tag{1}$$

式(1)中, k 为抗剪连接件的刚度, $k = \eta_k n N_c^v$; 当栓钉连接时, 系数 η_k 取 0.66^[7]; n 为抗剪连接件在梁上的列数; N_c^v 为剪力连接件的抗剪承载力; m 为组合梁剪力连接件的间距.

2.2 滑移微分方程的建立

根据以上的组合梁滑移计算简化模型, 建立滑移微分方程. 分别对混凝土和钢梁单元左侧形心取矩, 对于混凝土单元, 有

$$\sum X = dT_c + vdx = 0, \tag{2}$$

$$dM_c - V_c dx + vdx d_c - r dx \cdot dx/2 = 0; \tag{3}$$

而对于钢梁单元, 有

$$\sum X = dT_s + vdx = 0, \tag{4}$$

$$dM_s - V_s dx + vdx d_s - r dx \cdot dx/2 = 0. \tag{5}$$

式(3), (5)中, d_c 为混凝土单元形心到钢梁上翼缘的距离, d_s 为钢梁单元形心到钢梁上翼缘的距离. 将式(3)与式(5)相加, 并在方程两侧同时除以 dx , 即可得到

$$\frac{dM_c}{dx} + \frac{dM_s}{dx} - v d_0 - V = 0. \tag{6}$$

式(5)中, $d_0 = d_s - d_c$, $V = V_c + V_s$. 由假设(3)可知, 曲率为

$$\Phi = \frac{M_c}{E_c I_c} = \frac{M_s}{E_s I_s}. \tag{7}$$

式(7)中, E_c , E_s 分别为混凝土和钢梁的弹性模量; I_c , I_s 分别混凝土和钢梁的截面惯性矩. 对式(7)求导后并代入式(6), 同时将式(1)代入, 则有

$$\frac{d\Phi}{dx} E_0 I_0 - \frac{ks}{m} d_0 - V = 0. \tag{8}$$

式(8)中, $E_0 I_0 = E_c I_c + E_s I_s$, 交界面处应变为

$$\epsilon_{AB} = \frac{M_c}{E_c I_c} d_c - \frac{T_c}{E_c I_c}, \quad \epsilon_{BD} = \frac{M_s}{E_s I_s} d_s - \frac{T_s}{E_s I_s}. \tag{9}$$

则交界面的相对滑移应变 ϵ_s 为

$$\epsilon_s = \epsilon_{AB} - \epsilon_{BD} = \Phi d_0 - T/EA. \tag{10}$$

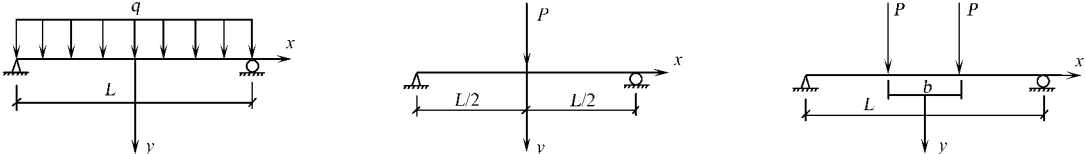
式(10)中, $T = T_c = T_s$, $1/EA = 1/E_c I_c + 1/E_s I_s$. 对式(10)求导, 并将式(8)及式(2)或(4)代入, 整理得交界面滑移微分方程为

$$\frac{d^2 s}{dx^2} - \alpha^2 s = \alpha^2 \beta V. \tag{11}$$

式(11)中, $\alpha^2 = \frac{k}{m} (\frac{d_0^2}{E_0 I_0} + \frac{1}{EA})$, $\beta = \frac{d_0 m}{k (d_0^2 + E_0 I_0 / EA)}$.

1.3 滑移微分方程的求解

不同的加载方式导致剪力不同, 所以其滑移微分方程的解不同. 对 3 种典型的加载方式(图 2)的方程进行求解. 根据对称性, 可取一半结构计算.



(a) 均布荷载 (b) 跨中集中荷载 (c) 跨中两点对称荷载

图 2 典型荷载作用下的组合梁

Fig.2 Typical load of composite beams

(1)在均布荷载作用下, 有

$$s = \frac{\beta q}{\alpha (e^{L\alpha/2} + e^{-L\alpha/2})} (e^\alpha - e^{-\alpha}) - \beta q x. \tag{12}$$

(2)在跨中集中荷载作用下, 有

$$s = \frac{\beta P}{2(1 + e^{-L\alpha})}(e^{\alpha - L\alpha} - e^{-\alpha} - e^{-L\alpha} - 1). \quad (13)$$

(3)在跨中两点对称荷载作用下, 有

$$s_1 = \frac{\beta P(1 - e^{\frac{L\alpha - b\alpha}{2}})}{2(e^{-\frac{b\alpha}{2}} + e^{\frac{L\alpha - b\alpha}{2}})}(e^{\alpha} - e^{-\alpha}), \quad -b/2 \leq x \leq b/2, \quad (14)$$

$$s_2 = \frac{\beta P}{2} \left[\frac{(1 + e^{\frac{-b\alpha}{2}})}{(e^{-\frac{b\alpha}{2}} + e^{\frac{L\alpha - b\alpha}{2}})}(e^{\alpha} + e^{L\alpha - \alpha}) - 2 \right], \quad b/2 \leq |x| \leq L/2. \quad (15)$$

2 考虑滑移挠度的计算

2.1 计算公式的推导

滑移导致交界处混凝土和钢梁的应变差, 根据基本假定可知, 由滑移引起的附加曲率为

$$\Delta \Phi = \left(\frac{ds}{dx} \right) / h. \quad (16)$$

式(16)中, h 为组合梁横截面总高度. 根据结构力学虚功原理, 将附加曲率积分, 能方便求出由滑移引起的附加挠度. 同样, 由于对称性, 取一半结构进行计算. 在均布荷载作用下, 将式(12)代入式(16), 积分后可得跨中附加挠度为

$$\Delta f_1 = \frac{\beta q}{h} \left[\frac{2e^{\frac{L\alpha}{2}}}{\alpha^2(e^{\frac{L\alpha}{2}} + 1)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\alpha^2} \right]. \quad (17)$$

同理, 在跨中集中荷载作用下和跨中两点对称荷载作用下, 其附加挠度分别为

$$\Delta f_2 = \frac{\beta P}{2h} \left[\frac{L}{2} + \frac{e^{-L\alpha} - 1}{\alpha(e^{-L\alpha} + 1)} \right], \quad (18)$$

$$\Delta f_3 = \frac{\beta P}{2h} \left[\frac{3e^{\frac{b\alpha}{2}} - 2e^{\frac{L\alpha - b\alpha}{2}} - 1}{\alpha(1 + e^{\frac{L\alpha}{2}})} + L - b \right]. \quad (19)$$

根据叠加原理, 组合梁挠度(f)由根据弹性换算截面法得到的计算挠度 f_e , 以及由滑移效应引起的附加挠度 Δf 组成. 因此, 受均布荷载作用的两端简支组合梁, 跨中总挠度($x = L/2$)为

$$f_1 = \frac{5qL^4}{384EI} + \frac{\beta q}{h} \left[\frac{2e^{\frac{L\alpha}{2}}}{\alpha^2(e^{\frac{L\alpha}{2}} + 1)} + \frac{L^2}{8} - \frac{1}{\alpha^2} \right]; \quad (20)$$

集中荷载作用下的两端简支组合梁, 跨中总挠度($x = L/2$)为

$$f_2 = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{\beta P}{2h} \left[\frac{L}{2} + \frac{e^{-L\alpha} - 1}{\alpha(e^{-L\alpha} + 1)} \right]; \quad (21)$$

而跨中两点对称荷载作用下的两端简支组合梁, 其跨中总挠度($x = L/2$)为

$$f_3 = \frac{PL^2(L - b)}{48EI} \left[3 - \frac{(L - b)^2}{L^2} \right] + \frac{\beta P}{2h} \left[\frac{3e^{\frac{b\alpha}{2}} - 2e^{\frac{L\alpha - b\alpha}{2}} - 1}{\alpha(1 + e^{\frac{L\alpha}{2}})} + L - b \right]. \quad (22)$$

2.2 不同计算方法的精度比较分析

对文[5]中 U 型截面钢-混凝土组合梁试件, 采用文[8]和文[9]及本文提出的方法, 分别计算两点对称荷载作用下的挠度. 将计算结果与文[5]中的试验结果进行比较, 如表 1, 2 所示. 表 1, 2 中, f_1, f_2, f_3 表示组合梁总挠度, 且 $f_1 = f_e + \Delta f_1, f_2 = f_e + \Delta f_2; f_e, \Delta f_1, \Delta f_2$ 分别表示组合梁用换算截面得出的弹性挠度和由滑移效应引起的附加挠度; f_{y1}, f_{y2}, f_{y3} 分别为试验值、平均值和标准偏差值.

由表 1 可以看出, 采用文[8]和本文的方法, 所计算的附加挠度的增加均占总挠度的 20% 以上, 滑移效应引起的组合梁的附加挠度较大. 这表明, 对于薄壁 U 型钢-混凝土组合梁, 挠度计算必需考虑滑移效应; 否则, 计算结果与实际挠度误差较大, 存在安全隐患.

由表 2 可以看出, 与试验结果相比较, 3 种计算方法的计算值均存在一定的误差. 文[8]和文[9]的计算方法最大误差均在 20% 以上, 本文提出的方法在 20% 以下, 相对于前两种方法的误差要小, 误差平均值和标准差相对于前两种方法也较小. 这说明, 所提出的计算模型有较好的适用性且精度较高.

2.3 误差分析

所提出的计算方法的精度相对于文[8]和文[9]有所提高, 但与试验值仍有较大的误差. 这与截面

的剪力连接程度有着密切的联系. 完全剪力连接设计是依据截面极限平衡条件^[10], 在极限状态时, 计算最大弯矩截面在混凝土翼缘的压力; 然后, 由零弯矩点至最大弯矩点之间(剪跨内)混凝土翼缘脱离体的平衡条件, 确定剪跨内所需要的全部连接件个数 n_t , 部分剪力连接则只需在剪跨内布置 n 个连接件, 并且 $n < n_t$. 为方便起见, 用 $\eta = n/n_t$ 表示剪力连接程度系数, $\eta = 1$ 为完全剪力连接组合梁, $0 < \eta < 1$ 为部分剪力连接组合梁.

表 1 组合梁的挠度计算值
Tab. 1 The calculation deflection of composite beams

| 试件 | f_{yt} | 文[8]的方法 | | | | 本文方法 | | | | 文[9]方法 |
|--------|----------|---------|------------|--------|----------------|--------|------------|--------|----------------|--------|
| | | f_e | Δf | f_1 | $\Delta f/f_1$ | f_e | Δf | f_2 | $\Delta f/f_2$ | f_3 |
| UCB 1 | 12. 12 | 9. 16 | 3. 43 | 12. 59 | 0. 27 | 9. 13 | 3. 05 | 12. 18 | 0. 25 | 12. 45 |
| UCB 3 | 11. 25 | 10. 24 | 3. 53 | 13. 77 | 0. 26 | 10. 24 | 2. 91 | 13. 15 | 0. 22 | 13. 66 |
| UCB 4 | 10. 02 | 8. 15 | 3. 19 | 11. 34 | 0. 28 | 8. 13 | 2. 85 | 10. 98 | 0. 26 | 11. 21 |
| UCB 6 | 11. 05 | 8. 84 | 3. 17 | 12. 01 | 0. 26 | 8. 84 | 2. 62 | 11. 46 | 0. 23 | 11. 45 |
| UCB 7 | 8. 57 | 7. 26 | 2. 46 | 9. 72 | 0. 25 | 7. 25 | 2. 22 | 9. 47 | 0. 23 | 9. 63 |
| UCB 8 | 9. 13 | 7. 74 | 2. 54 | 10. 28 | 0. 25 | 7. 73 | 2. 31 | 10. 04 | 0. 23 | 10. 20 |
| UCB 9 | 12. 64 | 9. 71 | 3. 01 | 12. 72 | 0. 24 | 9. 71 | 2. 53 | 12. 24 | 0. 21 | 12. 64 |
| UCB 10 | 10. 68 | 7. 45 | 2. 21 | 9. 66 | 0. 23 | 7. 45 | 1. 88 | 9. 33 | 0. 20 | 9. 59 |

表 2 组合梁挠度计算的比较
Tab. 2 Comparison of calculation Deflection of beams

| 计算值 | UCB 1 | UCB 3 | UCB 4 | UCB 6 | UCB 7 | UCB 8 | UCB 9 | UCB 10 | f_{av} | f_d |
|--------------------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|----------|----------|-------|
| $\frac{f_1-f_{yt}}{f_{yt}}/\%$ | 3. 88 | 22. 4 | 13. 17 | 8. 69 | 13. 42 | 12. 60 | 0. 63 | - 9. 55 | 8. 15 | 9. 11 |
| $\frac{f_2-f_{yt}}{f_{yt}}/\%$ | 0. 50 | 16. 89 | 9. 58 | 3. 71 | 10. 50 | 9. 97 | - 3. 16 | - 12. 64 | 4. 42 | 8. 76 |
| $\frac{f_3-f_{yt}}{f_{yt}}/\%$ | 2. 72 | 21. 42 | 11. 88 | 3. 62 | 12. 37 | 11. 72 | 0 | - 10. 21 | 6. 69 | 9. 06 |

在假设交界面剪力与相对滑移关系时, 认为薄壁 U 型钢-混组合梁跟普通钢-混凝土组合梁有同样的剪力连接程度, 即系数 η_v 取 0. 66^[7]. 剪力连接程度系数的比较, 如表 3 所示. 表 3 中, f_{yt}, f 分别表示组合梁挠度的试验值和用本文方法计算的总挠度值.

由表 3 可知, 在相同的剪力连接程度系数时, 利用不同的计算方法计算出的薄壁 U 型钢-混组合梁的总挠度值明显大于试验值, 说明薄壁 U 型钢-混组合梁的剪力连接程度不够. 相对于普通钢-混凝土组合梁在相同的剪力连接件时, 其剪力连接程度要低于普通钢-混凝土组合梁. 计算结果表明, 要适当增加薄壁 U 型钢-混组合梁的剪力件, 即可增加其剪力连接的程度系数. 由表 3 可以看出, 当薄壁 U 型钢-混组合梁的剪力连接程度系数 η 取 0. 75 时, 计算值与试验值的误差平均值和标准差较小, 再继续增加 η , 误差平均值与标准差变化不大. 因此, η 取 0. 75 可以满足精度要求.

表 3 剪力连接程度系数的比较
Tab. 3 Comparison of the degree of shear connection coefficient

| η_v | $(f-f_{yt})/f_{yt}$ | | | | | | | | f_{av} | f_d |
|----------|---------------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|----------|----------|-------|
| | UCB 1 | UCB 3 | UCB 4 | UCB 6 | UCB 7 | UCB 8 | UCB 9 | UCB 10 | | |
| 0. 60 | 2. 06 | 18. 59 | 11. 38 | 5. 07 | 12. 14 | 11. 83 | - 1. 82 | - 11. 52 | 5. 96 | 8. 97 |
| 0. 66 | 0. 50 | 16. 89 | 9. 58 | 3. 71 | 10. 50 | 9. 97 | - 3. 16 | - 12. 64 | 4. 42 | 8. 76 |
| 0. 70 | - 0. 41 | 15. 91 | 8. 48 | 2. 71 | 9. 45 | 9. 09 | - 3. 96 | - 13. 39 | 3. 49 | 8. 67 |
| 0. 75 | - 1. 49 | 14. 75 | 7. 29 | 1. 72 | 8. 28 | 7. 89 | - 6. 25 | - 14. 14 | 2. 26 | 8. 53 |
| 0. 80 | - 2. 56 | 13. 78 | 6. 19 | 0. 81 | 7. 24 | 4. 05 | - 5. 62 | - 14. 89 | 1. 13 | 8. 27 |
| 0. 85 | - 3. 38 | 12. 80 | 5. 19 | - 0. 09 | 6. 18 | 5. 19 | - 6. 41 | - 15. 54 | 0. 58 | 8. 30 |
| 0. 90 | - 4. 21 | 12. 00 | 4. 29 | - 0. 81 | 5. 37 | 5. 04 | - 7. 21 | - 16. 19 | - 0. 21 | 8. 27 |

3 简化计算公式

提出的组合梁挠度计算模型概念明确, 计算结果精度较高, 但计算过程繁琐, 不适合工程应用. 因

此, 参照文[9]的有关规定, 采用文[7]推导出计算薄壁 U 型钢-混凝土梁的挠度计算简化公式. 同样, 定义参数 B 为考虑滑移效应影响时组合梁的折减刚度, 取 $B_i = EI/(1 + \xi_i)$. 其中, ξ_i 为刚度折减系数. 因此, 式(20)~(22)可改写为

$$f_1 = \frac{5qL^4}{38B_1}, \quad f_2 = \frac{PL^3}{48B_2}, \quad f_3 = \frac{PL^2(L-b)}{48B_3} \left(3 - \frac{(L-b)^2}{L^2} \right), \quad (23)$$

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= \eta \left[\frac{2}{5} - \frac{16 - 32e^{L\alpha/2}/(e^{L\alpha} + 1)}{5L^2\alpha^2} \right], & \xi_2 &= \eta \left[\frac{1}{2} + \frac{e^{-L\alpha} - 1}{\alpha L (e^{-L\alpha} + 1)} \right], \\ \xi_3 &= \eta \left[\frac{3e^{L\alpha/2} - 2e^{L\alpha-L\alpha/2} - 1}{\alpha(1 + e^{L\alpha})} + L - b \right] / \left[\frac{(L-b)(3 - (L-b)^2/L^2)}{L^2} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

式(24)中, $\eta = 24EI\beta/L^2h$, EI 为组合梁的截面刚度, $EI = E_s(I_s + a_s d_1^2 + I_c/\alpha_E + A_c d_2^2/\alpha_E)$; d_1, d_2 分别为钢和混凝土截面到梁中和轴的距离. 因此, 只要得到合适的 ξ_i , 便可得到合适的挠度计算简化公式.

从式(24)可以看出, η 与组合梁的几何参数、材料参数和抗剪连接有关, 而与荷载作用类型无关. 反映荷载作用类别影响的主要变量是 $L\alpha$ 及 b . 图 3 为不同荷载形式下 ξ_i 随 $L\alpha$ 及 b 的变化曲线. 由图 3 可见, 不同荷载类别下 ξ_i 之间的差异很小, b 对 ξ_i 的影响也不显著. 基于此, 为便于工程应用, 经数值计算和回归分析, 提出的刚度折减系数计算式.

(1) 当 $L\alpha \geq 5$ 时, 与文[8]相同, 有

$$\xi_i = \eta \left[0.4 - \frac{3}{(L\alpha)^2} \right], \quad (25)$$

(2) 当 $L\alpha < 5$ 时, 则有

$$\xi_i = \eta \left[\frac{1}{2} + \frac{1 - e^{L\alpha}}{L\alpha(1 + e^{L\alpha})} \right]. \quad (26)$$

因此, 可以统一折减刚度简化计算公式为

$$B = EI/(1 + \xi_i). \quad (27)$$

图 4 为式(25), (26) 与文[9]比较(规定 $\xi_i < 0$ 时, 取 $\xi_i = 0$). 为方便起见, 图 4 中的 η 统一取值为 0.80.

由图 4 中可以看出, 所给出的刚度折减系数 ξ_i 简化计算公式与薄壁 U 型钢-混凝土梁的实际情况比较吻合. 在 $L\alpha < 5$ 时, 现行钢结构设计规范的 ξ_i 计算公式与解析解计算结果误差明显增大, 有可能低估滑移效应的影响, 结果偏于不安全.

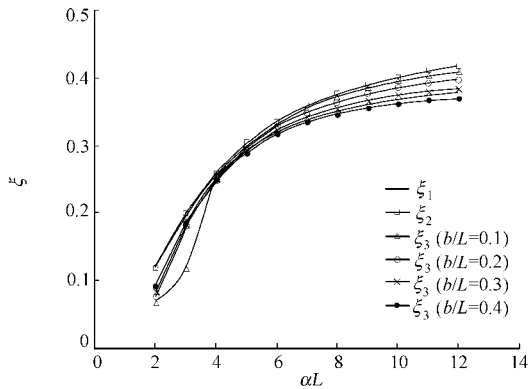


图 3 不同荷载形式下 ξ_i 随 $L\alpha$ 及 b 的变化曲线

Fig. 3 Variation curves among ξ_i , $L\alpha$ and b under different loads

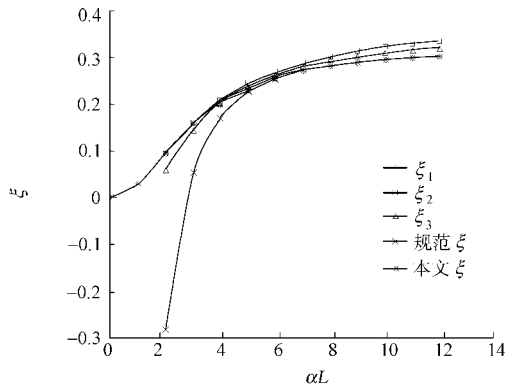


图 4 公式的比较

Fig. 4 Comparison of calculation formulas

4 结论

(1) 通过以上分析可知, 薄壁 U 型钢-混凝土梁在荷载作用下, 其变形规律总体上与普通钢混凝土组合梁相类似, 但滑移效应对变形的影响更大, 不能忽略不计.

(2) 计算结果表明, 在不考虑滑移效应及抗剪连接件刚度时, 可将 U 型截面钢梁等效为工字型截面钢梁, 并且只考虑混凝土翼缘板的等效刚度来计算构件的挠度. 试验结果^[5]也验证, 在钢梁屈服之际, 腹板内部混凝土已经发生开裂; 实测结果表明, 钢与混凝土截面上的相对滑移很小, 可忽略截面相对滑

移的影响.

(3) 通过比较可知,考虑滑移效应引起组合梁变形时,所提出的方法精度较高,与试验值的误差较小.这是因为考虑了部分混凝土参与,充分利用未开裂混凝土的作用,使计算值与试验值更为接近.在相同连接件的情况下,薄壁 U 型钢-混凝土组合梁的剪力连接程度要比普通钢-混凝土组合梁的程度要低.因此,减小薄壁 U 型钢-混凝土组合梁的滑移效应对挠度的影响,要适当增加剪力连接件,其剪力连接程度系数可从 0.66 提高到 0.75.

(4) 从薄壁 U 型钢-混凝土组合梁的滑移微分方程出发,得出组合梁在不同荷载形式下的滑移计算公式.通过与钢结构设计规范公式进行比较分析,给出适合薄壁 U 型钢-混凝土梁的刚度折减系数计算公式,可供工程应用参考.

参考文献:

[1] 周期源.冷弯薄壁型钢-混凝土组合梁抗弯承载性能研究[D].南昌:南昌大学,2006.
[2] 高轩能,朱皓明,周期源.粘钢补强钢筋混凝土梁的正截面承载性能[J].华侨大学学报:自然科学版,2007,28(2): 192-200.
[3] 聂建国,沈聚敏,延滨,等.冷弯薄壁型钢-混凝土组合梁的试验研究及应用[J].建筑结构,1998,28(1):53-56.
[4] 林于东,宗周红.帽型截面钢-混凝土组合梁受弯强度[J].工业建筑,2002,32(9):11-13,59.
[5] 林于东,宗周红.U 型截面钢-混凝土组合梁挠度计算分析[J].福州大学学报:自然科学版,2005,33(S1):219-222.
[6] 周天华,何保康,李鑫全,等.帽形冷弯薄壁型钢-混凝土组合梁的试验研究[J].建筑结构,2003,33(1):14,48-50.
[7] 聂建国,沈聚敏,余志武.考虑滑移效应的钢-混凝土简支梁变形计算的折减刚度法[J].土木工程学报,1995,28(6):11-17.
[8] 聂建国,沈聚敏,袁彦声.钢-混凝土简支组合梁变形计算的一般公式[J].工程力学,1994,11(1):21-27.
[9] 北京钢铁设计总院.GB 50017-2003 钢结构设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.
[10] 聂建国,沈聚敏,袁彦声,等.钢-混凝土组合梁中剪力连接件实际承载力的研究[J].建筑结构学报,1996,17(2): 21-28

**Influence of Slip on Deflection of Cold-Formed
Thin-Walled U-Section
Steel-Concrete Composite Beams**

SHEN Jian-hua¹, GAO Xuan-neng¹, ZHOU Qiyuan²

(1. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;
2. Shenzhen Electronics Design Institute Co. LTD, Shenzhen 518031, China)

Abstract: The deflection calculation model of cold-formed thin-walled U-section steel-concrete composite beams is established. Based on the model, an equilibrium differential equation is derived and deflection calculation formulas of the composite beams under different forms of loading are obtained, and the deflections of 8 beams are calculated. Comparing the authors' results with the results by currently existed methods and the test data, it is shown that the influence of slip effect on deflection of the composite beams is evident and can not be ignored; the deflection calculation method proposed in this paper is accurate; the degree of shear connection is obviously lower than the conventional steel-concrete with the same shear connector. The shear connectors should be appropriately increased to get an effective shear connection and the factor of degree of shear connection would be increased from 0.66 to 0.75. By comparison with formulas of code for design of steel structures, a modified formula of the coefficient of reduction rigidity is proposed for the deflection calculation of the cold-formed thin-walled U-section steel-concrete composite beams.

Keywords: cold-formed thin-walled U-section steel; composite beam; slip; deflection; coefficient of reduction rigidity

(责任编辑:钱筠 英文审校:方德平)