

# 考虑滑移效应的钢-混凝土组合梁 弹性受弯承载力计算

朱松玲

(浙江恒欣建筑设计股份有限公司, 浙江 嘉兴 314001)

**摘要:**以冷弯薄壁U型钢-混凝土组合梁为研究对象,对组合梁进行了理论分析,建立了考虑滑移效应的弹性抗弯强度计算公式,并计算了8根简支冷弯薄壁U型钢-混凝土组合梁弹性抗弯承载力.将理论计算值与相关文献中的试验结果进行对比,结果表明:考虑滑移效应的弹性弯矩计算值与试验值吻合较好,滑移效应对组合梁弹性抗弯承载力降低的影响不能忽略.

**关键词:**冷弯薄壁型钢;钢-混凝土组合梁;滑移效应;承载性能;弹性抗弯承载力

**中图分类号:**TU392.3

**文献标志码:**A

## Elastic bending bearing capacity calculation of steel-concrete composite beams regarding slip effect

ZHU Song-ling

(Zhejiang Hengxin Architectural Design Shares Co., Ltd., Jiaxing 314001, China)

**Abstract:** Taking the cold-formed thin-walled U-section steel-concrete composite beams as material, theory analysis have been conducted on the composite beams. Expressions for elastic strength in consideration of slip effect were given. The bending moment of eight simply supported composite beams were calculated, and the comparison between theory and test results showed that the calculated values of elastic moment was good consistent with the test results. It is shown that the slip effect on the elastic bending strength can not be ingored.

**Key words:** cold-formed thin-walled steel; steel-concrete composite beams; slip effect; bearing property; elastic bending bearing capacity

## 0 引言

冷弯薄壁U型钢-混凝土组合梁是指将薄钢板焊成或冷弯成U型截面作为梁肋、在U型截面的肋部和上部翼缘浇捣混凝土而组成整体且共同工作的一种新型结构形式.钢梁在施工阶段可代替模

板,混凝土结硬后可代替受拉钢筋.这种组合梁充分发挥了混凝土和钢材各自的力学性能,具有承载力高、刚度大、抗震性能和动力性能好等优点<sup>[1]</sup>.由于内部填充混凝土,该种构件既能增加截面刚度,又能防止钢梁单独作用时因腹板高而薄导致局部失稳破坏.这种组合梁中的钢梁与混凝土板能够共

收稿日期:2011-08-11

作者简介:朱松玲(1978—),女,浙江省嘉兴市人,浙江恒欣建筑设计股份有限公司工程师,主要研究方向为建筑工程设计.

同工作是由于剪力连接件传递了钢梁与混凝土交界面的剪力,而在荷载作用下,采用栓钉等柔性抗剪连接件的薄壁型钢-混凝土组合梁,连接件会产生变形,导致混凝土翼板与钢梁的交界面出现相对滑移.钢梁与混凝土交界面的滑移会导致截面弹性弯矩降低,即由于滑移应变的存在,截面的实际弹性弯矩小于由换算截面法得到的计算值,这一点对组合梁的设计是很重要的.本文拟以冷弯薄壁U型钢-混凝土组合梁为研究对象,建立考虑滑移效应的弹性抗弯强度计算公式,并计算8根简支冷弯薄壁U型钢-混凝土组合梁弹性抗弯承载力.

### 1 滑移效应对组合梁弹性抗弯强度的影响

#### 1.1 按换算截面法计算组合梁弹性抗弯强度

钢-混凝土组合梁的弹性计算可以利用材料力学公式,但材料力学是针对单质连续弹性体的,因此对于由钢和混凝土2种材料组成的组合梁截面,首先应把它换算成同一种材料的截面.可以参考文献[2]的方法来确定薄壁型钢-混凝土组合梁截面中和轴,其计算模型如图1所示.

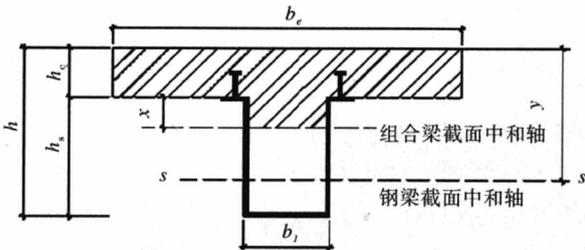


图1 薄壁型钢-混凝土组合梁截面中和轴计算模型

假设组合梁截面中和轴到混凝土翼板的距离为  $x$ ,将混凝土换算成钢材时,换算截面面积为  $A_{sp} = A_s + A_c / (\alpha E)$ ,组合截面中和轴至混凝土翼板顶面的距离为

$$x + h_c = \left( \frac{b_c \cdot h_c}{\alpha E} \left( \frac{h_c}{2} + x \right) + \frac{b_s x}{\alpha E} + A_s \cdot y \right) / A_{sp} \quad (1)$$

式中,  $y$  为钢梁截面中和轴至混凝土翼板顶面的距离.将式①化简可得

$$\frac{b_s}{2\alpha E} x^2 + \left( A_s + \frac{b_c \cdot h_c}{\alpha E} \right) x + \frac{b_c \cdot h_c^2}{2\alpha E} - A_s (y - h_c) = 0 \quad (2)$$

由式②可解出  $x$  之值.若  $x < 0$ ,则组合梁截面

中和轴在混凝土翼板内,否则组合梁截面中和轴在混凝土翼板之下.确定组合截面中和轴之后,可以按材料力学的方法求出组合梁弹性极限抗弯强度

$$M_y = W_0^b \cdot f_y \quad (3)$$

式中,  $W_0^b$  表示按照换算截面法得到的钢梁截面底部纤维的截面抵抗矩,  $f_y$  表示钢梁的屈服强度.

#### 1.2 考虑滑移效应的组合梁弹性抗弯强度计算

由于滑移效应的存在,截面的实际弯矩要小于按式③计算所得的值.为了定量计算滑移效应引起截面弯矩的降低,引入以下2个假设<sup>[3]</sup>: 1) 钢梁和混凝土翼板弯曲曲率相同; 2) 滑移应变引起截面的附加应力按线性分布.假设2)主要是考虑到由滑移引起的附加应力主要分布在截面中和轴附近,并且此时混凝土的应力水平处于应力-应变曲线上升阶段,因此混凝土非线性特征对计算结果的影响可以忽略不计.根据冷弯薄壁型钢-混凝土组合梁的特点,其中和轴一般在混凝土翼缘板以下,附加弯矩  $\Delta M$  计算模型如图2所示.

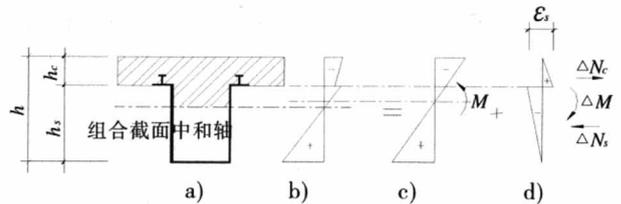


图2 附加弯矩的计算模型

$\epsilon_s$  为交界面的相对滑移应变,  $\epsilon_{cb}$  为混凝土翼板底部的附加拉应变,  $\epsilon_{sb}$  为钢梁上翼缘的附加滑移拉应变.根据相似三角形定理可得  $\frac{\epsilon_{cb}}{\epsilon_{sb}} = \frac{h_c}{h_s}$ ,进而可得

$$\epsilon_{cb} = \frac{h_c}{h} \epsilon_s$$

根据图2d)所示模型,混凝土翼板的附加合力为

$$\Delta N_c = 0.5 E_c \frac{h_c}{h} \epsilon_s A_{yc}$$

式中,  $A_{yc}$  为混凝土翼缘板的面积.

考虑到钢梁内填混凝土也分担一部分由滑移引起的压应力,故可近似取钢梁的附加合力  $\Delta N_s$  的作用点在  $h_s/2$  处,因此由  $\Delta N_c$  引起的附加弯矩(使截面弯矩减小)为

$$\Delta M = \Delta N_c \cdot \frac{h}{2} = \frac{E_c h_c \epsilon_s A_{yc}}{4} \quad (4)$$

因此组合梁截面的实际弯矩为

$$M_p = M - \Delta M$$

式中,  $M$  为不考虑滑移效应的组合梁截面弯矩。

根据变形叠加原则, 滑移效应引起的附加曲率为

$$\Delta\phi = \frac{\varepsilon_{cb}}{h_c} = \frac{\varepsilon_{sb}}{h_s} = \frac{\varepsilon_{cb} + \varepsilon_{sb}}{h_c + h_s} =$$

$$\frac{\varepsilon_s}{h} = \frac{M}{E_s I} (1 + \xi) - \frac{M}{E_s I} = \frac{M}{E_s I} \xi$$

因此  $\varepsilon_s$  可以表达为

$$\varepsilon_s = \frac{M}{EI} h \xi \quad (5)$$

将式(5)代入式(4),  $\Delta M$  便可以表达为

$$\Delta M = \frac{ME_c h h_c A_{yc} \xi}{4E_s I}$$

所以考虑滑移效应后截面的实际弯矩为

$$M_p = \gamma M$$

式中,  $\gamma = \frac{1 - E_c h h_c A_{yc} \xi}{4E_s I}$ , 其中  $I$  为按换算截面法计算的组合梁截面惯性矩。

参考文献[4]中刚度折减系数  $\xi$  值为

$$\xi = \begin{cases} \eta \left[ 0.4 - \frac{3}{(L\alpha)^2} \right] & L\alpha \geq 5 \\ \eta \left[ 0.5 + \frac{1 - e^{-L\alpha}}{L\alpha(1 + e^{-L\alpha})} \right] & L\alpha < 5 \end{cases}$$

其中,  $\eta = 24EI\beta / (L^2 h)$ 。当交界面无滑移时, 即连接件的刚度  $k \rightarrow \infty$ , 由式  $\beta = \frac{d_0 m}{k \cdot A_1}$  可知  $\eta = 0$ , 故  $\xi = 0$ 。此时,  $\gamma = 1$ ,  $M_p = M$ , 与实际情况吻合。在弹性极限状态时, 即对应钢梁开始屈服时的弯曲强度为  $M_{py} = \gamma M_y$ 。

## 2 滑移对组合梁弹性抗弯强度的影响分析

为验证弹性抗弯承载力计算公式的正确性, 分析滑移对弹性抗弯承载力的影响, 取文献[5]中的组合梁 UCB—1 至 UCB—10 作为计算模型, 计算结果如表 1 所示。表中,  $M_{yt}$  为弹性抗弯强度试验值,  $M_{ya}$  为采用有限元软件 ANSYS 模拟值,  $M_{yh}$  为按换算截面法计算的弹性抗弯强度值,  $M_{yc}$  为考虑滑移效应的弹性抗弯强度计算值。

从试验结果与考虑滑移效应影响的弹性抗弯强度值比较可知, 考虑滑移效应的弹性抗弯强度计算方法虽对结果做出了较大改善, 但仍有部分结果误差较大, 主要原因在于: 试验用材性能、试验设

备、人为误差等因素使得试验结果具有一定的离散性, 而在有限元软件 ANSYS 分析中, 由于可以避免这些因素, 所以考虑滑移效应的弹性抗弯强度与 ANSYS 模拟值吻合得更好。未考虑滑移效应影响计算所得的弹性极限抗弯强度值与试验值相比误差较大, 平均误差在 10% 以上, 最大误差达到 58.9%; 而考虑滑移效应的弹性极限抗弯强度值、有限元软件 ANSYS 模拟值与试验值相比误差均较小。这说明滑移效应对组合梁弹性抗弯强度的影响不能忽略。

表 1 组合梁弹性抗弯强度  
计算值与试验值的对比分析 kN·m

试件编号	$M_{yt}$	$M_{ya}$	$M_{yh}$	$M_{yc}$
UCB—1	195.00	180.75	187.15	180.23
UCB—3	106.50	118.63	120.64	114.77
UCB—4	180.00	206.90	189.73	181.71
UCB—6	95.25	117.37	122.32	115.54
UCB—7	135.00	151.72	156.16	150.44
UCB—8	135.00	146.88	155.61	149.80
UCB—9	90.00	99.85	103.45	98.55
UCB—10	64.18	65.06	102.03	97.15

## 3 结论

本文以冷弯薄壁 U 型钢-混凝土组合梁为研究对象, 对组合梁进行了理论分析, 建立了考虑滑移效应的弹性抗弯强度计算公式, 并计算了 8 根简支冷弯薄壁 U 型钢-混凝土组合梁弹性抗弯承载力。通过理论分析与试验对比, 说明钢与混凝土之间存在滑移效应, 且滑移效应对组合梁弹性抗弯强度影响较大, 实际工程中应考虑滑移效应对组合梁弹性抗弯强度的不利影响。

### 参考文献:

- [1] 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(1): 53.
- [2] 赵世春, 施建平. 型钢混凝土梁受弯刚度计算[J]. 西南交通大学学报, 2006, 26(4): 25.
- [3] 胡夏闯, 薛伟, 曹雪娇. 钢-混凝土组合梁挠度计算的附加曲率法[J]. 建筑结构学报, 2010, 28(1): 26.
- [4] 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.
- [5] 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.