

文章编号:1673-2049(2015)06-0050-08

# 冷弯薄壁型钢梁-OSB板组合楼盖的抗弯刚度研究

石宇<sup>1</sup>,周绪红<sup>1,2</sup>,宋凯<sup>1</sup>,刘剑<sup>1</sup>

(1. 长安大学 建筑工程学院,陕西 西安 710061; 2. 重庆大学 土木工程学院,重庆 400045)

**摘要:**通过对2块足尺冷弯薄壁型钢梁-定向刨花板(OSB板)组合楼盖的受弯承载力进行单调静载试验,分析了连接OSB板与冷弯薄壁型钢梁之间的螺钉间距对组合楼盖抗弯刚度的影响。采用拟正交异性板法计算了组合楼盖的抗弯刚度,在此基础上分析OSB板厚度、楼盖梁间距和截面尺寸等因素对组合楼盖抗弯刚度的影响,提出了常用冷弯薄壁型钢梁-OSB板组合楼盖的等效抗弯刚度计算方法。结果表明:试件的破坏模式主要表现为楼盖梁发生弯扭屈曲的同时,受压区翼缘、卷边及腹板出现相关屈曲破坏,屈曲波长为相邻螺钉间距;OSB板没有明显破坏;螺钉间距对组合楼盖的弹性抗弯刚度影响微小;在弹塑性阶段,随着螺钉间距的增大,组合楼盖的刚度退化明显增大。

**关键词:**冷弯薄壁型钢梁;定向刨花板;组合楼盖;抗弯刚度;破坏模式

中图分类号:TU398.9

文献标志码:A

## Study on Flexural Stiffness of Cold-formed Thin-walled Steel Joists-OSB Composite Floors

SHI Yu<sup>1</sup>, ZHOU Xu-hong<sup>1,2</sup>, SONG Kai<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China;

2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

**Abstract:** Two full scale specimens were tested to study the flexural stiffness of cold-formed thin-walled steel joists-oriented strand board (OSB) composite floors, and the effect of the screw spacing between OSB and cold-formed thin-walled steel joists on the flexural stiffness of composite floors was analyzed. Meanwhile, authors used the proposed method of orthotropic plate to calculate the flexural stiffness of composite floors. Based on this, the influences of the thickness of OSB, the spacing and section dimension of joist, etc. on the flexural stiffness of composite floors were analyzed, and the equivalent flexural stiffness calculation method of the common cold-formed thin-walled steel joists-OSB composite floors was put forward. The results indicate the main failure modes of specimens are bending-torsion buckling of floor joists, and the relative buckling of compression flange, web and crimping. The wave length of buckling is the adjacent screw spacing. Then the OSB is not obviously damaged. Screw spacing almost has little effect to the elastic flexural stiffness of composite floors. However, in the elastic-plastic stage, with the increase of screw spacing, the stiffness degradation of composite floors increases significantly.

**Key words:** cold-formed thin-walled steel joist; oriented strand board; composite floor; flexural stiffness; failure mode

收稿日期:2015-05-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51108033);陕西省自然科学基金研究计划项目(2013JQ7032)

作者简介:石宇(1978-),女,苗族,湖北宣恩人,副教授,工学博士,E-mail:shiyu7811@163.com。

0 引 言

冷弯薄壁型钢梁-定向刨花板(OSB 板)组合楼盖由间距 400~600 mm 的 C 形楼盖梁和套在其端部的 U 形边梁以及 OSB 板组成<sup>[1-3]</sup>。在楼面板与冷弯薄壁型钢楼盖梁之间通过螺钉可靠连接后,楼面板为楼盖梁提供了有效的侧向支撑,使冷弯薄壁型钢组合楼盖的刚度和稳定承载能力得到了明显提高<sup>[4-7]</sup>。

加拿大木结构委员会<sup>[8]</sup>提出了木结构楼盖有效抗弯刚度的计算公式;美国应用技术委员会<sup>[9]</sup>提出了冷弯薄壁型钢组合楼盖有效抗弯刚度的计算公式。中国对冷弯薄壁型钢组合楼盖的研究刚起步,滕学锋等<sup>[10-11]</sup>采用足尺模型对冷弯薄壁型钢组合楼盖的受弯性能进行了研究,周绪红等<sup>[12-14]</sup>采用试验对冷弯薄壁型钢-混凝土组合楼盖以及冷弯薄壁型钢-OSB 板组合楼盖的抗弯承载力进行了研究,而中国对冷弯薄壁型钢组合楼盖的刚度研究尚不够深入,亦无系统的计算方法。

为了研究冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖的抗弯刚度,本文对文献[14]中的 2 块足尺冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖试件的变形和破坏特征进行分析,研究 OSB 板与冷弯薄壁型钢梁之间的螺钉间距对组合楼盖抗弯刚度的影响。采用拟正交异性板法计算组合楼盖的抗弯刚度,在此基础上分析楼面板厚度、楼盖梁截面尺寸等因素对组合楼盖抗弯刚度的影响。

表 1 试件编号及构造设置

Tab. 1 Number and Configuration of Specimens

试件编号	楼盖长度/m	楼盖宽度/m	楼盖梁型号	边梁型号	楼盖梁间距/mm	OSB 板厚度/mm	周边螺钉间距/mm	中间螺钉间距/mm
FL-1	4.8	2.4	C305×41×14×1.6	U305×35×1.6	400	18	150	300
FL-2	4.8	2.4	C305×41×14×1.6	U305×35×1.6	400	18	300	600

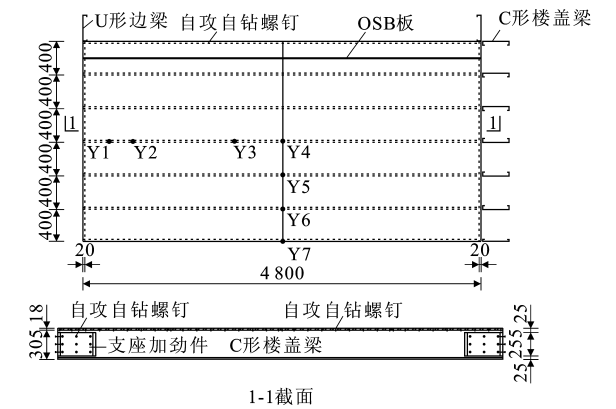


图 1 试件 FL-1 构造(单位:mm)

Fig. 1 Construction of Specimen FL-1 (Unit:mm)

1 试验概况

1.1 试件设计与钢材材性

2 块足尺冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖试件的编号及构造设置见表 1。试件 FL-1 的构造见图 1,其中  $Y_1 \sim Y_7$  为位移计,试件 FL-2 与 FL-1 除了 OSB 板与冷弯薄壁型钢梁连接的螺钉间距不同外,其他构造完全相同。支座加劲件的截面规格同楼盖梁,其长度为楼盖梁腹板高度减去 50 mm,18 mm 厚 OSB 板的纵向垂直于楼盖梁布置。所有钢材之间的连接采用 4816 型盘头自攻自钻螺钉,OSB 板与钢材之间的连接采用 4838 型沉头自攻自钻螺钉,螺钉中心至构件边缘的距离为 20 mm。

钢材材性试验根据《金属材料拉伸试验——第 1 部分:室温试验方法》(GB/T 228.1—2010)<sup>[15]</sup> 的规定,从冷弯薄壁型钢楼盖梁中切取 3 个板状试件进行拉伸试验并取平均值,试验结果见表 2。

1.2 加载装置

试验加载装置见图 2,采用八分点加载模拟均布荷载。刚性钢框架台座的柱脚与地面导槽固定,钢框架 H 形截面钢梁翼缘上焊接长 3 m 的 L50×5 角钢作为试件的铰支座。试验时将组合楼盖沿边梁方向的 2 个端部分别搁置在钢框架台座角钢铰支座上,以进行定位、调整。

1.3 挠度测点布置

试件挠度测点布置见图 1。将组合楼盖的中心

设为坐标原点,楼盖梁跨度方向为  $x$  轴,垂直跨度方向为  $y$  轴。考虑组合楼盖的对称性,试验中用位移计  $Y_1 \sim Y_4$  来测量楼盖半个跨度范围内的挠度(其中  $Y_1$  位于支座处, $Y_2, Y_3$  位于加载分配梁的正下方, $Y_4$  位于组合楼盖的跨中),位移计  $Y_5 \sim Y_7$  用

表 2 钢材的材性

Tab. 2 Material Properties of Steel

试件编号	厚度/mm	弹性模量/GPa	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
P1	1.54	216	341.02	451.53	32.81
P2	1.58	206	328.63	438.16	27.43
P3	1.56	203	332.46	444.51	32.81
平均值	1.56	208	334.04	447.73	32.80



图 2 试验加载装置  
Fig. 2 Test Loading Set-up

来测量 C 形楼盖梁跨中的最大挠度,以观测垂直楼盖梁方向的挠度变化。

1.4 试验现象

图 3 为组合楼盖破坏模式。对于试件 FL-1,当荷载较小时,各级荷载下的挠度平稳增加;当荷载增加至 140 kN 左右时,楼盖梁发生轻微扭转,除边部楼盖梁外,中间楼盖梁连接螺钉间的受压翼缘和卷边均出现畸变屈曲变形,腹板以连接 300 mm 的螺钉间距为半波长出现局部屈曲变形[图 3(a)]。随着荷载的增加,靠近跨中弯矩最大区域及加载点附近的翼缘与腹板屈曲波幅增加较快,腹板面外支撑刚度迅速减小,出现局部侧向失稳变形;当荷载达到 198 kN 时,楼盖梁跨中发生折曲破坏。随着挠度的增加,组合楼盖的承载力下降,OSB 板无明显破坏特征[图 3(b)]。

对于试件 FL-2,当荷载增加到 120 kN 时,在楼盖梁受压翼缘连接螺钉间形成一个畸变屈曲全波,波长为连接螺钉间距 600 mm,同时腹板出现局部屈曲;当荷载达到 170.16 kN 时,楼盖梁折曲破坏,组合楼盖承载力下降,OSB 面板未发生破坏。试验结束后,将 2 个试件 OSB 板拆除,破坏后的楼盖骨架见图 3(c),试件 FL-2 的变形比试件 FL-1 的要大。

1.5 试验结果及分析

试件的荷载-挠度曲线见图 4,其中挠度值取位移计 Y4 去除支座沉降后的挠度值。

从图 4 可以看出:加载初期,由于各试件之间存在空隙,没能有效共同工作,试件的刚度较小;当荷载增加至 20 kN 时,组合楼盖工作性能很好,荷载-挠度曲线呈线性增长;在弹性阶段,2 个试件荷载-挠度曲线的直线段重合,表明螺钉间距对组合楼盖的承载力及刚度几乎没有影响;当荷载达到 105 kN 时,试件 FL-2 的楼盖梁屈曲,试件 FL-1 与 FL-2 的



(a) 腹板局部屈曲



(b) OSB板面无明显破坏



(c) 试件FL-2破坏后的楼盖骨架

图 3 组合楼盖破坏模式

Fig. 3 Failure Modes of Composite Floors

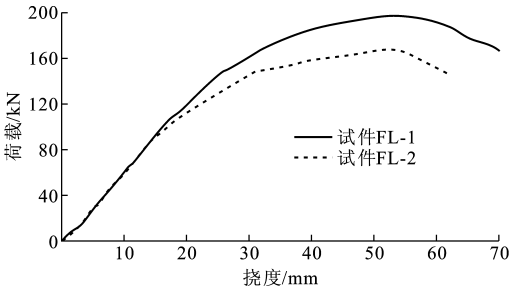


图 4 试件荷载-挠度曲线

Fig. 4 Load-deflection Curves of Specimens

荷载-挠度曲线开始分叉,螺钉间距对组合楼盖承载力及刚度的影响作用开始显现,螺钉间距越大,屈曲后刚度退化越快。螺钉间距由 150 mm(300 mm)调整到 300 mm(600 mm),组合楼盖的极限承载力降低了 14.32%。

考虑加载初期刚度受试件没能有效工作的影响,并参考文献[16],弹性抗弯刚度取过荷载-挠度曲线上  $0.1P_{\max}$  ( $P_{\max}$  为试验最大荷载)与  $0.4P_{\max}$  所

引直线的斜率。从图 4 还可见,在  $0.4P_{\max}$  之前,试件处在弹性变形阶段。组合楼盖试件的承载力和抗弯刚度取值见表 3。

表 3 组合楼盖试件承载力和抗弯刚度

Tab. 3 Bearing Capacity and Flexural Stiffness of Composite Floors

试件编号	$0.1P_{\max}/\text{kN}$	$\Delta_{0.1P_{\max}}/\text{mm}$	$0.4P_{\max}/\text{kN}$	$\Delta_{0.4P_{\max}}/\text{mm}$	$P_{\max}/\text{kN}$	$\Delta P_{\max}/\text{mm}$	抗弯刚度/ $(\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$
FL-1	19.8	4.36	79.2	13.53	198.0	52.77	6 478
FL-2	17.7	4.29	70.8	12.54	177.0	51.71	6 436

注: $\Delta_{0.1P_{\max}}, \Delta_{0.4P_{\max}}, \Delta P_{\max}$  分别为与  $0.1P_{\max}, 0.4P_{\max}, P_{\max}$  对应的楼盖梁跨中最大挠度。

2 组合楼盖刚度计算的拟正交异性板法

冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖是由冷弯薄壁型钢楼盖梁与 OSB 板构成的板肋体系,属于构造正交异性板。同时由于楼面板与楼盖梁材料不同,并且 OSB 板材料为正交异性,故可将组合楼盖简化成正交异性薄板体系的力学模型来计算其抗弯刚度。试件可简化为如图 5 所示的两边简支正交异性薄板,其中, $S$  为楼盖梁间距,  $a$  为楼盖长度,  $b$  为楼盖宽度。

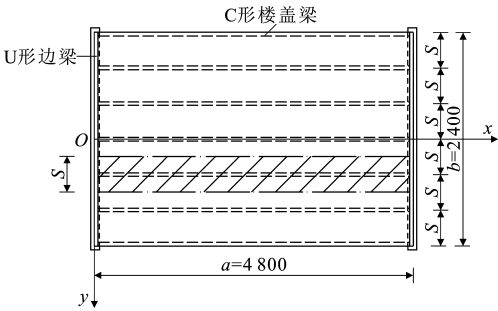


图 5 两边简支正交异性薄板模型(单位:mm)

Fig. 5 Both Sides Simply-supported Orthotropic Thin Plate Model (Unit:mm)

2.1 基本方程

正交异性薄板在横向荷载下的弹性曲面微分方程为<sup>[17]</sup>

$$D_1 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + D_2 \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2D_3 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} = q \tag{1}$$

式中: $D_1$  为组合楼盖绕  $y$  轴(平行于楼盖梁方向)弯曲单位宽度的等效刚度; $D_2$  为组合楼盖绕  $x$  轴(垂直于楼盖梁方向)弯曲单位宽度的等效刚度; $D_3$  为组合楼盖单位宽度的折算刚度; $q$  为横向荷载; $w$  为正交异性薄板的挠度。

对两端简支的组合楼盖,令挠度  $w$  表达式为单三角级数,即

$$w = \sum_{m=1}^{+\infty} Y_m \sin(\frac{m\pi x}{a}) \tag{2}$$

式中: $Y_m$  为  $y$  的任意函数,即  $Y_m = F_m(y)$ 。

式(2)可以满足以下边界条件

$$\left. \begin{aligned} (\omega)_{x=0} &= 0, (M_x)_{x=0} = 0 \\ (\omega)_{x=a} &= 0, (M_x)_{x=a} = 0 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

式中: $M_x$  为单位长度上的弯矩。

将式(1)等号右边对  $\sin(\frac{m\pi x}{a})$  进行傅里叶展开

得到

$$\left. \begin{aligned} q &= \sum_{m=1}^{+\infty} q_m \sin(\frac{m\pi x}{a}) \\ q_m &= \frac{2}{a} \int_0^a q \sin(\frac{m\pi x}{a}) dx \end{aligned} \right\} \tag{4}$$

将式(2),(4)代入式(1)可得

$$D_2 \frac{d^4 Y_m}{dy^4} - 2D_3 (\frac{m\pi}{a})^2 \frac{d^2 Y_m}{dy^2} + D_1 (\frac{m\pi}{a})^4 Y_m = q_m \tag{5}$$

方程的特解  $f_m(y)$  为

$$f_m(y) = \frac{4q_m a^4}{D_1 (m\pi)^5} \tag{6}$$

方程的通解是将  $F_m(y)$  取  $e^{\frac{m\pi r y}{a}}$  形式,其中  $r$  为任意常数,式(5)对应的齐次微分方程的特征方程为

$$D_2 r^4 - 2D_3 r^2 + D_1 = 0 \tag{7}$$

(1)当  $D_3^2 > D_1 D_2$  时

$$\begin{aligned} F_m(y) &= A_m \cosh(\frac{m\pi r_1 y}{a}) + B_m \sinh(\frac{m\pi r_1 y}{a}) + \\ &C_m \cosh(\frac{m\pi r_2 y}{a}) + D_m \sinh(\frac{m\pi r_2 y}{a}) \end{aligned} \tag{8}$$

式中: $A_m, B_m, C_m, D_m$  均为系数; $r_1, r_2$  均为任意常数。

(2)当  $D_3^2 = D_1 D_2$  时

$$\begin{aligned} F_m(y) &= (A_m + B_m y) \cosh(\frac{m\pi r y}{a}) + \\ &(C_m + D_m y) \sinh(\frac{m\pi r y}{a}) \end{aligned} \tag{9}$$

(3)当  $D_3^2 < D_1 D_2$  时

$$\begin{aligned} F_m(y) &= \cosh(\frac{m\pi r_1 y}{a}) [A_m \cos(\frac{m\pi r_2 y}{a}) + \\ &B_m \sin(\frac{m\pi r_2 y}{a})] + \sinh(\frac{m\pi r_1 y}{a}) \cdot \end{aligned}$$

$$[C_m \cos(\frac{m\pi r_2 y}{a}) + D_m \sin(\frac{m\pi r_2 y}{a})] \quad (10)$$

通解中的系数  $A_m, B_m, C_m, D_m$  可由  $y = \pm b/2$  处的边界条件确定。

正交异性薄板的挠度  $\omega$  为

$$\omega = [F_m(y) + f_m(y)] \sin(\frac{\pi x}{a}) \quad (11)$$

2.2 组合楼盖主刚度的计算

如图 5 所示的组合楼盖计算简图,楼盖梁沿  $x$  轴方向放置,楼盖梁间距为  $S$ ,则取宽度为  $S$  的组合楼盖截面构造如图 6 所示,其中,  $t$  为楼面板厚度,  $h$  为楼面板形心轴到楼盖梁形心轴的距离,  $z$  为平行于楼盖梁方向组合楼盖截面中性轴到楼盖梁形心轴的距离,  $t_w$  为楼盖梁腹板厚度。

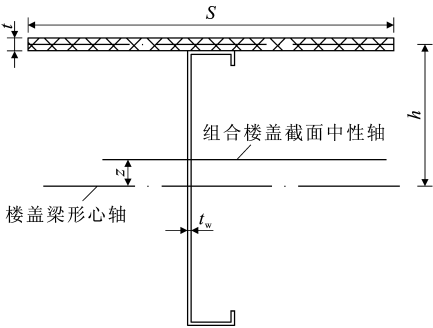


图 6 组合楼盖截面构造

Fig. 6 Construction of Composite Floor Section

冷弯薄壁型钢组合楼盖平行于楼盖梁方向及垂直于楼盖梁方向的截面中性轴位置可由式(12), (13)确定<sup>[18]</sup>,即

$$z = \frac{SK_2 h}{K_1 + SK_2} \quad (12)$$

$$z' = \frac{hK_3}{K_3} \quad (13)$$

式中:  $z'$  为垂直于楼盖梁方向组合楼盖截面中性轴到楼盖梁形心轴的距离;  $K_1$  为楼盖梁的抗拉压刚度;  $K_2$  为楼面板平行于楼盖梁方向单位宽度的抗拉刚度;  $K_3$  为楼面板垂直于楼盖梁方向单位宽度的抗拉刚度。

结合图 5, 6, 冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖单位宽度的等效刚度<sup>[19]</sup>计算公式分别为

$$D_1 = \frac{K_4 + K_1 z^2}{S} + \frac{K_5 + K_2 (h - z)^2}{1 - \mu_1 \mu_2} \quad (14)$$

$$D_2 = \frac{K_6}{1 - \mu_1 \mu_2} \quad (15)$$

$$D_3 = \frac{1}{2} [\mu_1 \frac{K_2 (h - z)^2}{1 - \mu_1 \mu_2} + 4D_k] \quad (16)$$

$$D_k = \frac{1}{2} [Gt(h - z)^2 + Gt(h - z')^2] \quad (17)$$

式中:  $\mu_1$  为楼面板平行于楼盖梁方向的泊松比;  $\mu_2$  为楼面板垂直于楼盖梁方向的泊松比;  $K_4$  为楼盖梁的抗弯刚度;  $K_5$  为楼面板平行于楼盖梁方向单位宽度的抗弯刚度;  $K_6$  为楼面板垂直于楼盖梁方向单位宽度的抗弯刚度;  $G$  为楼面板的剪切模量。

2.3 理论计算结果与试验结果比较

由于没有对 OSB 板进行材性试验,对组合楼盖的抗弯刚度进行理论计算时参考《定向刨花板》(LY/T 1580—2010)<sup>[20]</sup>确定 18 mm 厚 OSB 板的抗弯强度和刚度,18 mm 厚 OSB 板的剪切模量和泊松比参考文献<sup>[21]</sup>取值,见表 4。

表 4 18 mm 厚 OSB 板的材性

Tab. 4 Material Properties of 18 mm Thick OSB

参数	抗弯弹性模量/MPa	抗弯强度/MPa	剪切模量/MPa	泊松比
平行纵向	3 500	18	1 180	0.30
垂直纵向	1 400	9	1 280	0.11

将表 1~3 中的试件构造参数和材性代入式(1)~(17),计算得  $z = 11.25 \text{ mm}$ ,  $z' = 161.4 \text{ mm}$ ,  $D_1 = 4.33 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ ,  $D_2 = 1.70 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ ,  $D_k = 2.37 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ ,  $D_3 = 5.06 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ , 抗弯刚度为  $7\,240 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ ,与试验测得试件 FL-1 和 FL-2 的平均抗弯刚度  $6\,457 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$  相差 12.13%。可见,采用拟正交异性板法来计算冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖的抗弯刚度是完全可行的,该方法可以满足工程精度要求。

3 冷弯薄壁型钢组合楼盖刚度的影响因素分析

3.1 OSB 板厚度的影响

取实际工程中比较常用的楼盖梁型号 C305  $\times$  41  $\times$  13  $\times$  1.37,钢材弹性模量取  $2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ ,楼盖梁间距取 400 mm,改变 OSB 板的厚度,分析 OSB 板厚度变化对冷弯薄壁型钢组合楼盖刚度的影响,计算结果见表 5 和图 7。由表 5 可知,增加 OSB 板厚度能提高组合楼盖的抗弯刚度,但增幅不明显。

3.2 楼盖梁间距的影响

在第 3.1 节的基础上,分析楼盖梁间距的改变对组合楼盖等效刚度的影响,计算结果如表 6 所示。由表 6 和图 7 可以看出,当楼盖梁间距由 400 mm 增大至 600 mm 时,组合楼盖抗弯刚度明显减小,约减小 29%。

3.3 楼盖梁截面尺寸的影响

选用楼盖梁常用的规格,钢材弹性模量取

表 5 楼盖梁间距 400 mm 时 OSB 板厚度对组合楼盖抗弯刚度的影响

OSB 板厚度/mm	$D_1/(10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	$D_2/(10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	$D_3/(10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	抗弯刚度/( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
12	3.82	5.21	3.28	6 350
15	3.92	10.20	4.18	6 540
18	4.03	17.60	5.12	6 740

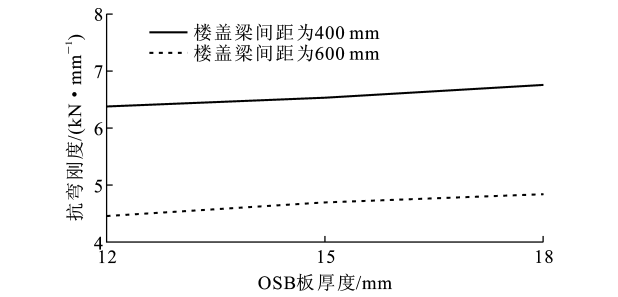


图 7 OSB 板厚度和楼盖梁间距对组合楼盖抗弯刚度的影响

Fig. 7 Effects of Thickness of OSB and Joist Spacing on Flexural Stiffness of Composite Floors

$2.06 \times 10^5$  MPa,楼盖梁间距取 400 mm,楼面板取 18 mm 厚 OSB 板,分析楼盖梁截面尺寸和高度对组合楼盖抗弯刚度的影响,计算结果见表 7 和图 8。从表 7 可以看出:改变楼盖梁的腹板高度,组合楼盖的抗弯刚度明显增大;仅改变楼盖梁截面尺寸时,组合楼盖等效刚度  $D_2$  及折算刚度  $D_3$  基本没有变化,抗弯刚度增幅较小。

表 6 楼盖梁间距 600 mm 时 OSB 板厚度对组合楼盖等效刚度的影响

OSB 板厚度/mm	$D_1/(10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	$D_2/(10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	$D_3/(10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	抗弯刚度/( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
12	2.67	5.21	3.28	4 500
15	2.78	10.20	4.18	4 670
18	2.88	17.60	5.12	4 850

表 7 楼盖梁截面尺寸对组合楼盖抗弯刚度的影响

楼盖梁型号	$D_1/(10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	$D_2/(10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	$D_3/(10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2)$	抗弯刚度/( $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ )
C205×41×13×1.09	1.31	1.76	2.28	2 220
C205×41×13×1.37	1.57	1.76	2.28	2 660
C205×41×13×1.73	1.92	1.76	2.28	3 220
C205×41×13×2.46	2.62	1.76	2.28	4 380
C254×41×13×1.09	2.15	1.76	3.53	3 630
C254×41×13×1.37	2.60	1.76	3.53	4 370
C254×41×13×1.73	3.18	1.76	3.53	5 320
C254×41×13×2.46	4.35	1.76	3.53	7 250
C305×41×13×1.09	3.33	1.76	5.12	5 580
C305×41×13×1.37	4.03	1.76	5.12	6 740
C305×41×13×1.73	4.94	1.76	5.12	8 240
C305×41×13×2.46	6.77	1.76	5.12	11 260

3.4 螺钉间距的影响

由于楼盖梁与楼面板采用螺钉紧密连接,并且通过试验验证,螺钉间距对组合楼盖刚度的影响很小,在计算组合楼盖抗弯刚度时可忽略螺钉间距的影响。OSB 板与楼盖梁的螺钉间距应取为:板周边螺钉间距不应大于 150 mm,板中间螺钉间距不应大于 300 mm。

综上所述,提高组合楼盖刚度最有效、最合理的方法就是改变楼盖梁腹板高度和楼盖梁间距。

4 常用组合楼盖的等效刚度计算

冷弯薄壁型钢结构住宅采用工厂加工,现场装配式安装,对于组合楼盖的计算也应该做到快速、便捷。为此,根据式(14)~(17)的组合楼盖刚度计算方法,得出一系列常用的冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖单位宽度的等效刚度,见表 8,钢材弹性模量取  $2.06 \times 10^5$  MPa。将等效刚度代入式(1),可计算出不同边界条件下组合楼盖的挠度,从而得到其抗

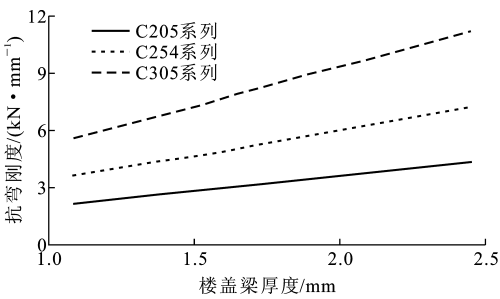


图 8 楼盖梁厚度对组合楼盖抗弯刚度的影响

Fig. 8 Effects of Thickness of Joist on Flexural Stiffness of Composite Floors

表 8 冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖等效刚度

Tab. 8 Equivalent Stiffness of Cold-formed Thin-walled Steel Joists-OSB Composite Floors

楼盖梁型号	OSB 板厚度/ mm	楼盖梁间距 400 mm			楼盖梁间距 600 mm		
		$D_1 /$ ( $10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ )	$D_2 /$ ( $10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ )	$D_3 /$ ( $10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ )	$D_1 /$ ( $10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ )	$D_2 /$ ( $10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ )	$D_3 /$ ( $10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ )
C205×41×13×1.37	15	1.52	1.02	1.84	1.09	1.02	1.84
	18	1.57	1.76	2.28	1.14	1.76	2.28
C205×41×13×1.73	15	1.87	1.02	1.84	1.32	1.02	1.84
	18	1.92	1.76	2.28	1.37	1.76	2.28
C254×41×13×1.37	15	2.53	1.02	2.87	1.79	1.02	2.87
	18	2.60	1.76	3.53	1.87	1.76	3.53
C254×41×13×1.73	15	3.10	1.02	2.87	2.18	1.02	2.87
	18	3.18	1.76	3.53	2.26	1.76	3.53
C305×41×13×1.37	15	3.92	1.02	4.18	2.78	1.02	4.18
	18	4.03	1.76	5.12	2.88	1.76	5.12
C305×41×13×1.73	15	4.83	1.02	4.18	3.38	1.02	4.18
	18	4.94	1.76	5.12	3.49	1.76	5.12

(2)采用拟正交异性板法推导了两边简支冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖的等效刚度计算公式和跨中挠度计算公式。抗弯刚度的理论计算值和试验结果吻合较好,表明本文采用拟正交异性板法计算冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖的抗弯刚度是正确可行的。

(3)通过对影响冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖刚度的各种因素分析可知,增加楼盖梁腹板高度及减小楼盖梁间距是提高组合楼盖刚度的有效途径。同时给出了常用冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖的等效刚度计算方法,以便计算组合楼盖的抗弯刚度。

参考文献:

References:

[ 1 ] NASFA 2000, Prescriptive Method for Residential Cold-formed Steel Framing[S].  
[ 2 ] 周绪红,石宇,周天华,等. 低层冷弯薄壁型钢结构住宅体系[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(2): 1-

弯刚度。

5 结 语

(1)冷弯薄壁型钢梁-OSB 板组合楼盖抗弯试验结果表明,试件的破坏模式主要表现为楼盖梁发生弯扭屈曲的同时,受压区翼缘、卷边及腹板出现相关屈曲破坏,屈曲波长为相邻螺钉间距;OSB 板无明显破坏。螺钉间距对组合楼盖的弹性抗弯刚度几乎无影响,而在弹塑性阶段,随着螺钉间距的增大,组合楼盖的刚度退化明显增大。

14.  
ZHOU Xu-hong, SHI Yu, ZHOU Tian-hua, et al. Cold-formed Steel Framing System of Low-rise Residential Building[J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2005, 22(2): 1-14.  
[ 3 ] JGJ 227—2011, 低层冷弯薄壁型钢房屋建筑技术规范[S].  
JGJ 227—2011, Technical Specification for Low-rise Cold-formed Thin-walled Steel Buildings[S].  
[ 4 ] HANAOR A. Tests of Composite Beams with Cold-formed Sections[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2000, 54(2): 245-264.  
[ 5 ] LAKKAVALLI B S, LIU Y. Experimental Study of Composite Cold-formed Steel C-section Floor Joists [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2006, 62(10): 995-1006.  
[ 6 ] IRWAN J M, HANIZAH A H, AZMI I. Test of Shear Transfer Enhancement in Symmetric Cold-formed Steel-concrete Composite Beams[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2009, 65(12): 2087-

- 2098.
- [7] IRWAN J M, HANIZAH A H, AZMI I. Large-scale Test of Symmetric Cold-formed Steel (CFS)-concrete Composite Beams with BTTST Enhancement [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2011, 67(4): 720-726.
- [8] Canadian Wood Council. Development of Design Procedures for Vibrations Controlled Spans Using Engineered Wood Members[R]. Montreal: Canadian Construction Material Center, 1996.
- [9] ATC, Design Guide 1: Minimizing Floor Vibration [S].
- [10] 滕学锋, 曹宝珠, 许超, 等. 冷弯薄壁型钢-OSB板楼盖的试验研究[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2009, 26(2): 1-5.
- TENG Xue-feng, CAO Bao-zhu, XU Chao, et al. Experimental Research on Cold Formed Steel-OSB Floor[J]. Journal of Jilin Institute of Architecture & Civil Engineering, 2009, 26(2): 1-5.
- [11] 吴传伟. 冷弯薄壁型钢组合楼盖整体承载性能理论与试验研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2009.
- WU Chuan-wei. Theoretical and Experimental Research on Integral Bearing Behavior of Cold-formed Thin-wall Steel Composite Floor [D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2009.
- [12] 周绪红, 贾子文. 冷弯薄壁型钢-混凝土组合楼盖受弯承载力试验研究[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(7): 13-22.
- ZHOU Xu-hong, JIA Zi-wen. Experimental Study on Flexural Capacity of Cold-formed Steel Joists and Concrete Composite Floor [J]. Journal of Building Structures, 2010, 31(7): 13-22.
- [13] 贾子文, 周绪红, 刘永健. 冷弯薄壁型钢-混凝土组合楼盖受弯承载力影响因素分析[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(4): 135-143.
- JIA Zi-wen, ZHOU Xu-hong, LIU Yong-jian. Influencing Factors Analysis on Flexural Capacity of Cold-formed Steel Joists Concrete Composite Floor [J]. Journal of Building Structures, 2013, 34(4): 135-143.
- [14] 周绪红, 李喆, 王瑞成, 等. 冷弯薄壁型钢梁-OSB板组合楼盖的受弯承载力研究[J]. 土木工程学报, 2013, 46(9): 1-11.
- ZHOU Xu-hong, LI Zhe, WANG Rui-cheng, et al. Study on Load-carrying Capacity of the Cold-formed Steel Joists-OSB Composite Floor [J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46(9): 1-11.
- [15] GB/T 228.1—2010, 金属材料拉伸试验——第1部分: 室温试验方法[S].
- GB/T 228.1—2010, Metallic Materials Tensile Testing — Part 1: Method of Test at Room Temperature [S].
- [16] Japan Iron and Steel Union. Thin Light Gauge Steel Building Construction Design Manual [M]. Tokyo: Gihodo Publishing Company, 2002.
- [17] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- XU Zhi-lun. Elasticity [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [18] RIZWAN U. Evaluation of Different Floor Vibration Criteria of Cold-formed Residential Construction [D]. Waterloo: University of Waterloo, 2000.
- [19] FUNG T C, TAN K H, LOK T S. Elastic Constants for Z-core Sandwich Panels[J]. Journal of Structural Engineering, 1994, 120(10): 3046-3054.
- [20] LY/T 1580—2010, 定向刨花板[S].
- LY/T 1580—2010, Oriented Strand Board [S].
- [21] THOMAS W H. Concentrated Load Capacity and Stiffness of Oriented Strand Board: Calculation Versus Test[J]. Journal of Structural Engineering, 2002, 128(7): 908-912.