

文章编号:1001-5132 (2009) 01-0117-04

# 轻钢结构蒙皮效应的简化计算方法

陈 剑<sup>1</sup>, 杨蒙龙<sup>2</sup>, 姚 宁<sup>1</sup>

(1.宁波大学 建筑设计研究院, 浙江 宁波 315211; 2.台州安信工程咨询有限公司, 浙江 台州 318000)

摘要: 利用国外的方法对提出的试验模型进行了轻钢结构蒙皮效应简化计算, 同时分析了计算中偏差存在的原因, 并将计算结果与试验结果进行了比较, 而最后得到的计算结果符合相应要求, 因此也对其他蒙皮效应的简化计算有一定的参考价值.

关键词: 轻钢结构; 压型钢板; 简化计算方法; 蒙皮效应

中图分类号: TU392.1; TU317.1 文献标识码: A

钢结构设计中的蒙皮效应越来越被结构设计师所重视, 但是目前我国尚没有蒙皮效应方面的规范及手册, 也就无法进行相关计算, 因此目前国内的结构设计师只是将蒙皮效应作为安全储备应用于实际工程中. 对于实际利用蒙皮效应的工程设计来说, 必须有一套实用的简化设计方法, 这样才能应用于国民经济建设. 本文则采用文献[1]的试验实例, 利用文献[2]的计算方法进行简化计算, 并用试验结果检验此种简化计算方法的实用性.

图1即是本文将要简化分析的未开洞蒙皮体试件的平面图, 所有的构件均采用与文献[1]试验相同的构件.

## 1 极限抗剪强度的近似计算

1.1 压型钢板(蒙皮体)接缝破坏的极限设计强度  
压型钢板(蒙皮体)接缝破坏的极限设计强度公式为:

$$V_{ult} = \frac{a}{b} \left[ n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p \right], \quad (1)$$

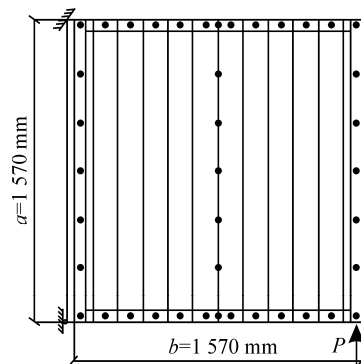


图1 试件的平面图

其中:  $a, b$  为整个构件的宽度与跨度, 具体数据如图1所示;  $n_s$  为接缝连接件的个数;  $F_s$  为压型钢板与压型钢板间连接件(拉铆钉)的设计强度;  $\beta_1, \beta_3$  为与  $n_f$  相关的系数,  $n_f$  为每块压型钢板与檩条的连接件个数;  $n_p$  为檩条的根数;  $F_p$  为压型钢板与檩条连接件(自攻螺钉)的设计强度.

本文  $n_f = 8$ , 查文献[2]系数表得  $\beta_1 = 1.45, \beta_3 = 1.0, n_p = 2, n_s = 7, F_p = 0.9 \times 1.1 = 0.99 \text{ kN}$ , 其中 0.9 为连接件设计强度折减系数;  $F_s = 0.9 \times 0.5 = 0.45 \text{ kN}$ ;  $a = b$ . 将以上数据代入(1)式后, 可得:

$$V_{ult} = 7 \times 0.45 + (1.45/10) \times 2 \times 0.99 = 6.02 \text{ kN.}$$

## 1.2 压型钢板与平行钢构件(与檩条相垂直的构件)连接处破坏的极限设计强度

压型钢板与平行钢构件连接处破坏的极限设计强度公式为:

$$V_{ult} = \frac{a}{b} (n_{sc} F_{sc}), \quad (2)$$

其中:  $n_{sc}$  为压型钢板与平行钢构件连接的连接件的个数;  $F_{sc}$  为连接件的设计强度;  $a, b$  与上文同.

本文  $n_{sc} = 7, F_{sc} = 0.9 \times 1.1 = 0.99 \text{ kN}$ . 将以上数据代入(2)式得:

$$V_{ult} = 7 \times 0.99 = 6.93 \text{ kN.}$$

## 1.3 极限抗剪强度的设计值 $V^*$

将 1.1 节与 1.2 节的极限抗剪强度  $V_{ult}$  相比较可得较小值为 6.02 kN, 这样可以预测破坏形式为接缝破坏, 此结果与文献[1]的试验结果相吻合.

因此极限抗剪强度的设计值:  $V^* = 6.02 \text{ kN}$ .

## 1.4 避免压型钢板整体屈曲破坏的要求

避免压型钢板整体屈曲破坏要求的公式为:

$$\left( \frac{14.4a}{b^2} \right) D_x^{1/4} D_y^{3/4} (n_p - 1)^2 \geq V^*, \quad (3)$$

其中:

$$D_x = \frac{Et^3 d}{12(1-\mu^2)u}, D_y = \frac{EI_y}{d},$$

$b$  为压型钢板的跨度;  $d$  为压型钢板的波谷间距;  $E$  为弹性模量;  $t$  为压型钢板的净厚度;  $u$  为压型钢板展开长度(单波);  $I_y$  为压型钢板的惯性矩;  $\mu$  为泊松比.

本文中  $E = 207 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-2}$ ,  $t = 0.6 \text{ mm}$ ,  $d = 144.5 \text{ mm}$ ,  $\mu = 0.3$ ,  $u = 250 \text{ mm}$ ,  $I_y = 20 \ 226 \text{ mm}^4$ .

因此,

$$D_x = \frac{207 \times 0.6^3 \times 144.5}{12 \times 0.91 \times 250} = 2.367 \text{ kN} \cdot \text{mm},$$

$$D_y = \frac{207 \times 20 \ 226}{144.5} = 28 \ 974 \text{ kN} \cdot \text{mm},$$

将以上数据代入(3)式, 可得:

$$\left( \frac{14.4}{1570} \right) \times (2.367)^{1/4} \times (28 \ 974)^{3/4} \times 1 = 25.3 \text{ kN,}$$

所得数据  $25.3 \text{ kN} > 6.02 \text{ kN}$ , 因此满足强度要求.

## 1.5 避免压型钢板与檩条连接件提前破坏的要求

避免压型钢板与檩条连接件提前破坏要求的

公式为:

$$\frac{0.8aF_p}{p} V^*, \quad (4)$$

其中,  $p$  为压型钢板与檩条连接件的间距, 其余参数与上相同.

本文  $p = (122 + 68) / 2 = 95 \text{ mm}$ , 这样将参数代入(4)式得:

$$\frac{0.8aF_p}{p} = \frac{0.8 \times 1570 \times 0.99}{95} = 13.09 \text{ kN,}$$

所得数据  $25.3 \text{ kN} > 6.02 \text{ kN}$ , 因此满足强度要求.

## 1.6 边缘檩条的强度要求

边缘檩条承受的最大轴力为:

$$V = \frac{V^* a}{b} = \frac{6.02 \times 1570}{1570} = 6.02 \text{ kN,}$$

这样檩条的应力:

$$\sigma = \frac{V}{A} = \frac{6.02 \times 10^3}{709.5} = 8.48 < 215 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2},$$

因此同样满足相关条件.

## 2 柔度的近似计算

首先需查出压型钢板的扭曲柔度系数  $\overline{K}_2$ , 根据本文采用的压型钢板相关参数如下:

$h$ : 压型钢板波高为 35 mm;

$l$ : 压型钢板波峰处的宽度为 29 mm;

$\theta$ : 压型钢板波的角度为 45°;

$d$ : 压型钢板的波谷间距为 144.5.

所以

$$\frac{h}{d} = 0.242, \frac{l}{d} = 0.2,$$

查文献[2]中系数表 9.7, 可得  $\overline{K}_2 = 0.092$ .

### 2.1 压型钢板的扭曲柔度 $c_{1.1}$

$$c_{1.1} = \frac{ad^{2.5} \alpha_1 \alpha_4 \overline{K}_2}{Et^{2.5} b^2}.$$

根据本文  $a = b = 1570 \text{ mm}$ , 查文献[2]系数表

9.1, 可得  $\alpha_1 = 1, \alpha_4 = 1$ , 其余参数与上相同. 因此,

$$c_{1.1} = \frac{1570 \times 144.5^{2.5} \times 1 \times 1 \times 0.092}{207 \times 0.6^{2.5} \times 1570^2} = 0.255 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}.$$

2.2 压型钢板的剪切柔度  $c_{1.2}$

$$c_{1.2} = \frac{2a(1+\mu)[1+(2h/d)]}{Etb} = \frac{2 \times 1570 \times 1.3 \times [1+(2 \times 35/144.5)]}{207 \times 0.6 \times 1570} = 0.031 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}.$$

2.3 压型钢板与檩条连接处相对移动产生的柔度  $c_{2.1}$

$$c_{2.1} = \frac{2a_s s_p p}{b^2},$$

其中,  $s_p$  为蒙皮体与檩条连接件的柔度, 其值为  $0.545 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}$ , 其余参数与上相同. 因此,

$$c_{2.1} = \frac{2 \times 1570 \times 0.545 \times 95}{1570^2} = 0.066 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}$$

2.4 压型钢板间接缝连接处相对移动产生的柔度  $c_{2.2}$

$$c_{2.2} = \frac{2s_s s_p (n_{sh} - 1)}{2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s},$$

其中, 蒙皮宽度内板的块数  $n_{sh}$  为 2, 为接缝连接件(拉铆钉)的柔度  $s_s$  为  $2.24 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}$ , 其余参数与上相同. 因此,

$$c_{2.2} = \frac{2 \times 2.24 \times 0.545 \times (2 - 1)}{2 \times 7 \times 0.545 + 1.45 \times 2 \times 2.24} = 0.173 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}.$$

2.5 板柱间相对移动产生的柔度  $c_{2.3}$

$$c_{2.3} = \frac{2s_{sc}}{n_{sc}},$$

其中, 板柱间连接件的个数 ( $n_{sc}$ ) 为 7, 板柱间连接件(自攻螺钉)的柔度  $s_{sc}$  为  $0.545 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}$ , 因此,

$$c_{2.3} = \frac{2 \times 0.545}{7} = 0.156 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}.$$

2.6 由于檩条轴向应变而产生的柔度  $c_3$

$$c_3 = \frac{2a^3}{3EAb^2},$$

其中: 檩条的横截面积  $A$  为  $709.5 \text{ mm}^2$ , 其余参数与上相同. 因此,

$$c_3 = \frac{2 \times 1570^3}{3 \times 207 \times 709.5 \times 1570^2} = 0.007 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}.$$

2.7 整个蒙皮体结构的总柔度  $c$

$$c = c_{1.1} + c_{1.2} + c_{2.1} + c_{2.2} + c_{2.3} + c_3 = 0.255 + 0.031 + 0.066 + 0.173 + 0.156 + 0.007 = 0.688 \text{ mm} \cdot \text{kN}^{-1}$$

### 3 结果比较

将以上简化计算得到的强度和刚度与试验所得结果的比较列在表 1, 同时为比较起见, 将有限元分析结果也同列于表 1.

表 1 结果比较

	极限强度/ kN	柔度/ (mm·kN <sup>-1</sup> )	刚度/ (KN·mm <sup>-1</sup> )
计算结果	6.02	0.688	1.453
试验结果	4.60	1.132	0.884
有限元分析结果	-	2.670	0.375

从表 1 的结果比较可以看出, 极限抗剪强度计算值  $6.02 \text{ kN}$  比试验值  $4.6 \text{ kN}$  稍大; 从刚度(柔度的倒数)角度来看, 本文的计算结果比试验结果稍大; 强度与刚度比试验结果偏大可能与本文采用的压型钢板与文献[2]所采用的压型钢板不同有关, 而本文的许多参数均查自文献[2], 这可能也是造成有些偏差的原因. 而有限元分析结果的刚度比试验所得的刚度稍小, 其原因可参照文献[3]中的相关说明.

### 4 结论和建议

本文采用文献[2]的方法进行了蒙皮效应简化计算的尝试, 采用的实例均做过相关试验, 并经过计算得出以下几点结论:

(1) 经过计算, 可以预测破坏形式为蒙皮体试件接缝破坏, 此结果与文献[1]的试验结果相吻合.

(2) 本文得到的强度和刚度比试验结果偏大. 而本文采用 U35-190-760 型彩色镀层压型钢板, 与文献[2]所采用的压型钢板不同, 而本文的许多参数均查自文献[2], 这可能是偏差的原因所在.

(3) 对于实际利用蒙皮效应的工程设计而言, 必须有一套实用的简化设计方法. 本文简单地介绍了进行蒙皮效应简化设计计算的过程, 并对计算结果与试验结果进行了比较, 证明国外的分析方法仍适用我国. 但仍需针对我国普遍采用的压型钢板型号进行试验, 从而对计算图表进行修改, 制订出适合我国目前常用压型钢板的计算系数图表, 为编制我国的蒙皮效应规程和手册打下基础.

#### 参考文献:

- [1] 陈剑, 王新堂. 轻钢结构开洞蒙皮体蒙皮效应的试验研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2005, 18(3):357-360.
- [2] Davis J M, Bryan E R. Manual of stressed skin diaphragm design[M]. UK: Granada Publishing, 1982.
- [3] 陈剑, 王新堂. 开洞蒙皮体蒙皮效应的 ANSYS 有限元分析[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2006, 19(2):245-248.

## Simple Computational Method on Effect of Skin Diaphragms in Light Steel Construction

CHEN Jian<sup>1</sup>, YANG Meng-long<sup>2</sup>, YAO Ning<sup>1</sup>

( 1.Architectural Design and Research Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Taizhou Anxin Engineering Consultation Co. Ltd., Taizhou 318000, China )

**Abstract:** In this paper, effect of skin diaphragms of light steel construction is computed simply using external methods on the test model. The results of computation and test are compared, the result measures up to the requirements. Some conclusions are reached through simple computation for the effect of skin diaphragms.

**Key words:** light steel construction; profiled sheet; simple computational method; effect of skin diaphragms

**CLC number:** TU392.1; TU317.1 **Document code:** A

( 责任编辑 章践立 )