

波纹腹板 H 型钢梁的腹板受力分析

陈 勇, 张春玉, 范 伟

(黑龙江科技学院建筑工程学院, 哈尔滨 150027)

【摘 要】 H 型钢腹板强度与稳定性之间的矛盾是长期困扰工程界的一个难题, 文中所研究的全波纹腹板 H 型钢在一定程度上缓解了这个矛盾。文中根据能量原理分析计算了承受均布下的全波纹腹板 H 型钢梁的腹板屈曲强度, 给出了波纹腹板弹性失稳的临界公式, 用实例说明了全波纹腹板 H 型钢的优越性, 为这种 H 型钢在工程中的应用提供了理论依据。

【关键词】 全波纹腹板; H 型钢; 屈曲性能

【中图分类号】 TU391

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001- 6864(2009)11- 0043- 02

ELASTAVE BUCKING OF WHOLE CORRUGATE WEB H- BEAM

CHEN Yong, ZHANG Chunyu, FAN Wei

(Department of Civil and Architectural Engineering, Heilongjiang Scientific College, Harbin 150027, China)

Abstract: Contradiction between thin wall and stability of H-beam is a kind of problem in engineering field, the corrugated web H-beam researched in this paper reduce the contradiction some extent. In this paper, the buckling strength of the web of whole corrugated web H-beam under the uniform compression loading is analyzed by the energy principle. And the critical load formulae of the corrugated web plastic buckling is given, supply theory to this kind of H beam in engineering application.

Key words: whole corrugated web; H-beam; buckling strength

0 前言

众所周知 H 型钢构件截面形式多为等截面和楔形变截面, 由于腹板宽厚比限值的规定, 材料的承载能力不能充分发挥。据有关资料统计, 在门式刚架中腹板用钢量一般占钢架用钢量的 15% 左右。因此, 如何能够减少腹板厚度, 增大截面外围尺寸, 而且又能解决构件的强度和整体稳定性之间的矛盾, 是目前研究的热点。波纹腹板 H 型钢在一定程度上缓解了这个矛盾^[1-2]。波纹腹板 H 型钢是将平的钢板弯曲成波纹状作为梁的腹板^[1-2], 它可以使腹板厚度减少而无需加劲肋, 从而降低造价。1986 年法国 CB 公司建成了世界上第一座波纹腹板桥梁 (Cognac 桥), 采用波纹腹板代替传统的混凝土腹板大大降低了自重, 同时避免了在灌注混凝土时遇到的困难, 加快了施工进度。同时与传统的纵向加劲肋平面钢腹板相比, 避免了全部纵向加劲肋。

由于此种钢梁的优越性, 法国与日本相继建成了不少座波纹腹板钢桥。为了能使这种型钢在我国得到应用, 燕山大学机械学院 H 型钢关键技术课题组的老师在八十年代初做了独创性的研究, 轧制出世界上

第一根全波纹腹板 H 型钢。哈尔滨工业大学和北方交通大学也对波纹腹板 H 型钢作了研究, 但主要是针对在桥梁中的应用研究。通过大量的实验研究证明全波纹腹板抗屈曲能力比平直板 H 型钢的腹板抗屈曲能力有很大提高。

为推广和促进这种型钢的应用, 对波纹腹板的受力行为进行研究是非常必要的。文中从理论计算了承受均布压力下的全波纹腹板 H 型钢梁的腹板屈曲强度, 以期为这种型钢在我国的应用提供有效的理论基础和计算方法。

1 波纹腹板的抗剪

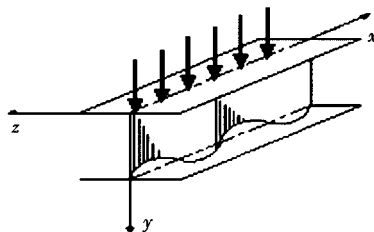


图 1 均布压力下的波纹腹板 H 型钢

全波纹腹板 H 型钢与波纹腹板如图 1 和图 2 所

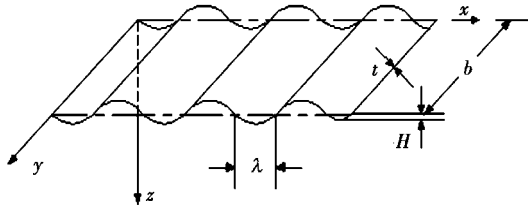


图2 波纹板参数图

示。腹板的曲线方程^[3]：

$$Z = H \sin(\pi x / \lambda) \quad (1)$$

式中, H 为半波幅, λ 为半波长。

由于腹板具有横向正弦曲线状波纹, 因此在纵、横向呈现异向特征。依据弹性薄板理论, 视这种板件为正交各向异性构造, 应力应变关系显然各向异性特征, 其应变能和外力势能为^[4]：

$$U = \frac{1}{2} \iint \left\{ [D_1 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right)^2 + [D_2 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)^2 + 2(D_3 - 2D_K) \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + 4D_K \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \right)^2] \right\} dx dy \quad (2)$$

$$W = \frac{1}{2} \iint \left\{ [N_x \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + N_y \left(\frac{\partial \omega}{\partial y} \right)^2 + 2N_{xy} \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y}] \right\} dx dy \quad (3)$$

式中, D_1 、 D_2 为板在弹性方向的弯曲刚度; D_K 为板在弹性方向的扭转刚度; $D_3 = \mu_1 D_2 + 2D_K$; μ_1 、 μ_2 为弹性方向的泊松系数; N_x 、 N_y 、 N_{xy} 作用在中性面上的内力; D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_K 是为 H 、 λ 、 t 、 b 有关的常数。

由于板所承受的只是单向的均匀压力, 所以中性面上的内力 $N_x = 0$, $N_{xy} = 0$, $N_y = P_y$ 。根据板的边界条件可知, 当 $x = 0$ 时和 $x = a$ 时 $\omega = 0$,

$$\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \quad \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

所以满足边界条件的位移函数可取:

$$\omega = \sum_n a_n \left(1 - \cos \frac{2n\pi}{b} y \right) \quad (5)$$

将(5)式求得代入(2)和(3)可得如下结果:

$$U = \frac{1}{2} \iint D_2 \left[\sum_n a_n \left(\frac{2n\pi}{b} \right)^2 \cos \frac{2n\pi}{b} y \right]^2 dx dy \quad (6)$$

$$W = \frac{P_y}{2} \iint \left[\sum_n a_n \frac{2n\pi}{b} \sin \frac{2n\pi}{b} y \right]^2 dx dy \quad (7)$$

式中: E 、 t 分别为材料的弹性模量、板厚。

$$D_2 = EH^2 t \{ 1 - 0.81 / [1 + 0.625(H/\lambda)^2] \} / 2$$

完成上述积分所以有:

$$U = \frac{D_2}{2} \sum_n a_n^2 \left(\frac{2n\pi}{b} \right)^4 \frac{ab}{2} \quad (8)$$

$$W = \frac{P_y}{2} \sum_n a_n^2 \left(\frac{2n\pi}{b} \right)^2 \frac{ab}{2} \quad (9)$$

由 Ritz 法有:

$$\frac{\partial(U - W)}{\partial a_n} = 0 \quad (10)$$

把(8)与(9)带入式(10)可得:

$$\left[D_2 \left(\frac{2n\pi}{b} \right)^4 \frac{ab}{2} - P_y \left(\frac{2n\pi}{b} \right)^2 \frac{ab}{2} \right] a_n = 0 \quad (11)$$

由式(11)可得 n 个关于 a_n 的方程可用来确定 a_n 。

由于 a_n 具有非零解, 故其系数为零, 取 $n = 1$, 由此获得临界荷载 P_{ycr} 与临界应力 σ_{ycr} :

$$P_{ycr} = \left(\frac{2n\pi}{b} \right)^2 D_2 = \frac{2\pi^2 H^2 t E}{b^2} \left(1 - \frac{0.81}{1 + 0.625(H/\lambda)^2} \right) \quad (12)$$

$$\sigma_{ycr} = \frac{P_{ycr}}{t} + \frac{2\pi^2 H^2 E}{b^2} \left(1 - \frac{0.81}{1 + 0.625(H/\lambda)^2} \right) \quad (13)$$

2 结语

从公式(12)与(13)中可以得出, 影响波纹腹板临界荷载的主要是波幅与波长。随着波长的增加临界荷载在减小; 但是随着波幅的增加临界荷载却在增大。同时当波幅趋于零且波长趋于无穷大, 此时波纹腹板就成为了普通平板, 通过公式显然可以得出在相同条件下前者的临界荷载高于后者, 说明波纹腹板在抗剪具有一定的优越性。

参考文献

- [1] Johnson R P, Cafolla J. Corrugated webs in plate girders for bridges [J]. Structures and Buildings, 1997, 123(3): 157-164.
- [2] Elgaaly M, Hamilton R, Seshadri A. Shear strength of beams with corrugated webs [J]. Journal of Structural Engineering, 1996, (4).
- [3] 李艳文. 全波纹腹板 H 型钢腹板屈曲性能分析 [J]. 燕山大学学报, 2001, (4): 371-374.
- [4] 常福清. 波纹腹板 H 型钢梁腹板的屈曲强度 [J]. 东北重型机械学院学报, 1996, (2): 150-153.

[收稿日期] 2009-10-21

[作者简介] 陈勇(1977-), 男, 内蒙古人, 讲师, 硕士, 研究方向: 钢结构。

(编辑 王亚清)

欢迎订阅
《低温建筑技术》