

研究简报

基于静态弯曲性能的木质工字梁 设计计算方法探讨

张宏健¹, 董春雷¹, Ying Hei Chui², 袁福兴¹

(1. 西南林学院木质科学与装饰工程学院, 云南昆明 650224; 2. 加拿大 New Brunswick 大学木材科技中心, 加拿大 E3C 2G6)

摘要: 参照钢质工字梁静态弯曲理论,对木质工字梁(IJ)的“荷载-位移”曲线、IJ正应力理论计算值与实测值、IJ整梁挠度理论计算值与实测值的对比分析,结果认定:1)钢质工字梁的静态弯曲理论计算公式,可用于IJ弹性段应力和挠度的分析计算;2)IJ整梁静态弯曲性能的分析计算时,应注意IJ上翼缘压缩特性和下翼缘拉伸特性的差异。

关键词: 木质工字梁; 静态弯曲性能; 翼缘

中图分类号:TS6;TU375

文献标识码:B

文章编号:1001-8654(2009)04-0019-03

An Approach to Analyzing Static Bending Performance of Wood I-Joist

ZHANG Hong-jian¹, DONG Chun-lei¹, Ying Hei Chui², YUAN Fu-xing¹

(1. Faculty of Wood Science and Decoration Engineering, Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Wood Science and Technology Centre of University of New Brunswick, E3C 2G6, Canada)

Abstract: Based on the classic static bending theory of a homogenous steel I-beam, the authors of this study investigated the load-displacement performance of non-homogeneous wood I-joists (IJ) made from different wood composites. The theoretical results and actual load-displacement data of wood I-joists were compared. The results indicated that; 1) the classic static bending theory based on a steel I-beam could still be applied to wood I-Joists within the elastic stage; 2) the tensile strain of the bottom flange and the compressive strain of the top flange were different and should be distinguished when designing wood I-joists.

Key words: wood I-joist; static bending performance; flange

在现代轻型木结构建筑中,主要骨架承力构件的预组型木质工字梁(Wood I-Joist, IJ)的力学性能,特别是弯曲性能的设计、计算,是IJ制造和应用的重要理论依据之一^[1]。

对于钢质工字梁,其翼缘在纵向载荷作用下,主要承受拉、压应力作用,腹板主要承受剪应力作用;其中,在考虑剪应力作用下的整梁挠度,可以采用单位力法中的图形相乘法求得。

钢材是一种均质材料,而木质材料尤其是IJ,是一种非均质材料,其静态弯曲性能是否符合钢质工字梁的规律,或者IJ具有自身特殊性,均需通过试验确认。因此,笔者进行了钢质工字梁与IJ静态弯曲性能的计算比较,旨在为木结构建筑中木质工字梁的设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 钢质工字梁静态弯曲性能的计算方法

根据材料力学,以两点对称加载的简支工字梁为例,钢质工字梁静态抗弯性能的最大弯矩 M 及正应力 σ 的计算公式为:

收稿日期:2008-10-13; 修改日期:2009-05-20

基金项目:云南省国际合作暨科技兴贸计划(2006GH11);国家自然科学基金项目(30771684)。

作者简介:张宏健(1952—),男,西南林学院木质科学与装饰工程学院教授。

$$M_{\max} = \frac{Pl}{6}, x \in [\frac{l}{3}, \frac{2l}{3}] \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{My}{I_z} \quad (2)$$

同时,材料力学的基本前提之一,研究对象为线弹性材料,即应符合虎克定律:

$$\sigma = E\epsilon \quad (3)$$

式中: σ —翼缘的拉压正应力,MPa; M —纵向荷载的弯矩,N·mm; E —翼缘的弹性模量,MPa; ϵ —翼缘在拉压作用下的线应变; p —加载力,N; l —梁长,mm; y —考察点距中性轴的距离,mm; I_z —工字梁对Z轴(弱轴)的截面惯性矩,mm⁴。

在考虑剪应力作用时,用单位力法中的图形(图1~2)相乘法。

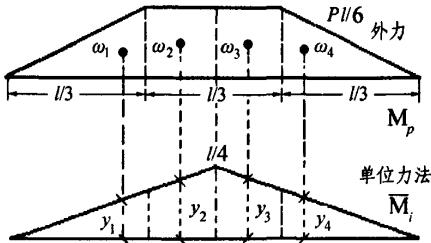


图1 单位力法求弯矩产生的挠度

Fig. 1 Theoretical bending moment diagram and deflection

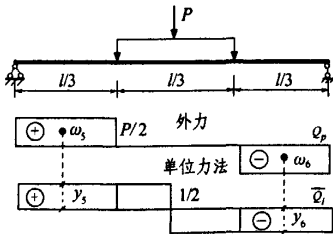


图2 单位力法求剪力产生的挠度

Fig. 2 Theoretical shear diagram and deflection

可求出钢质工字梁的挠度 Δ_i :

$$\Delta_i = \int_0^l \frac{M_p \bar{M}_i}{EI} dx + \int_0^l \frac{kQ_p \bar{Q}_i}{GA} dx = \sum \int \frac{M_p \bar{M}_i}{EI} ds + \sum \int \frac{kQ_p \bar{Q}_i}{GA} ds = \sum \frac{\omega_p y_c}{EI} + \sum \frac{k\omega_y}{GA} \quad (4)$$

式中: Δ_i —挠度,即纵向荷载下的位移量,mm; M_p —外荷载产生的弯矩,N·mm; $\bar{M}_i$ —单位荷载产生的弯矩; EI —工字梁对Z轴的刚度,N·mm²; ω_p —外荷载弯矩图的面积,mm²; y_c —对应外荷载弯矩图的形心在单位荷载弯矩图上的

纵坐标值,mm; Q_p —外荷载产生的剪力,N; $\bar{Q}_i$ —单位荷载产生的剪力; G —腹板的剪切模量,MPa; k —截面形状系数, $k=A/A_1$ (A 为截面总面积, A_1 为截面腹板面积); ω —剪力图面积,mm²; y —剪力图形心对应的单位剪力图上的纵坐标值,mm。

1.2 试验材料

木质工字梁以意杨 LVL 为翼缘、竹大片刨花板为腹板(图3),本课题组自行设计制作6条,其中:

整梁 规格(长×宽×高):4 580 mm×50 mm×241 mm,气干绝对含水率 10.6%;

翼缘 规格(长×宽×厚):4 580 mm×50 mm×40 mm;绝干密度 551 kg/m³,含水率 10.2%;顺纹抗拉、抗压强度分别为 66.0 和 47.0 MPa;顺纹抗拉、抗压弹性模量分别为 10 000 和 9 000 MPa;

腹板 厚度 10 mm,绝干密度 850 kg/m³,含水率 11.0%;静曲强度 4 200 MPa,静曲弹性模量 40.0 MPa,内结合强度 0.7 MPa,水平剪切强度 22.0 MPa。

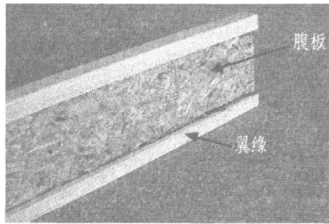


图3 预组型木质工字梁结构

Fig. 3 Prefabricated wood I-joist

1.3 仪器与设备

1) 带防侧弯装置和双点加载的大跨度万能力学试验机,最大荷载 50 kN;

2) 检测应变的程控静态应变仪 YE2538(精度 10⁻⁶ m)和应变片(规格:50 mm×5 mm);

3) 检测挠度的带磁性表座百分表,精度 10⁻⁵ m。

1.4 测试方法

依据钢质工字梁的测试原理^[2]及美国 ASTM D5055-04^[3],确定本试验的测试方法(图4)。

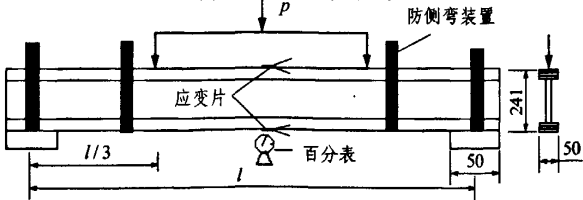


图4 IJ弯曲性能测试方法

Fig. 4 Test set-up for static bending performance of wood I-joist

2 结果与讨论

2.1 钢质工字梁与 U 的“荷载-位移”曲线

尽管钢质工字梁和 U 在弹性受力阶段内的“荷载-位移”曲线的斜率不一样,但 U 的荷载-位移曲线相关系数 $R_2=0.99$ (图 5)。这一特性表明:在“荷载-位移”曲线上,a 点之前的弹性受力段内,钢质工字梁和 U 都符合虎克定律。因此,适用于钢质工字梁的静态弯曲性能理论计算的(1)~(4)式,可以应用于弹性受力段内 U 静态弯曲性能的分析 and 计算。

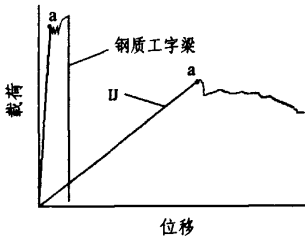


图 5 钢质工字梁和 U 的“荷载-位移”曲线

Fig. 5 Load-displacement curves of steel and wood I-joist

2.2 U 翼缘正应力设计计算方法的验证

在弹性受力段内,式(1)~(3)用于 U 翼缘拉、压正应力理论计算值,与实测值的对比结果(图 6),表明 U 翼缘拉、压正应力的理论计算值与实测值之间具有较高的拟合度(回归系数均为 0.002),再次证明:可借鉴钢质工字梁的正应力计算理论,来指导 U 翼缘弹性受力段内的计算和设计。

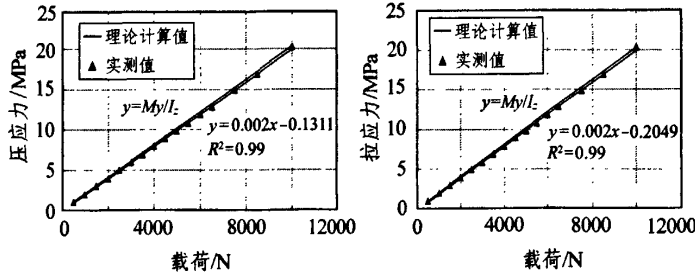


图 6 U 翼缘应力理论计算值与实测值对比

Fig. 6 Comparison of measured and predicted compressive stress

由于 U 的木质翼缘受不同树种木材和制造工艺等因素的影响,使木质翼缘材料存在着拉、压弹性模量的差异。本研究的杨木 LVL 翼缘的顺纹抗拉弹性模量实测值为 10 000 MPa,而顺纹抗压弹性模量实测值则为 9 000 MPa。由此可见,在对 U 翼缘作正应力理论计算时,需要分别引用 U 上、下翼缘的压、拉弹性模量。

2.3 U 整梁挠度设计计算方法的验证

图 7 显示了 U 整梁挠度的计算值与实测值的关系,其中,计算值与实测值在 q 点前的线性段范围内可高度拟合($t=0.00876 < t_{24}^{0.1}=1.71$);q 点后,计算值的“荷载-挠度”仍为线性关系,但实测值却为非线性关系。其原因在于进入 q 点后,试件垂直方向上产生形变,加入了水平方向上屈曲变形垂面分量,而失去了与载荷之间的比例关系。因此,图 7 中 q 点就成了 U 荷载-挠度曲线中,线性段和非线性段的分界点,亦即发生屈曲变形的起始点。由此可见,钢质工字梁的挠度分析计算理论,可用于线性段内 U 挠度的分析和计算;而非线性段内 U 的挠度计算方法需另作研究。

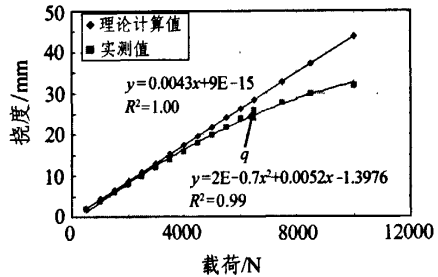


图 7 U 整梁挠度理论计算值与实测值的对比

Fig. 7 Comparison of measured and predicted deflection

3 结论

1) 钢质工字梁的静态弯曲性能的正应力和挠度的理论计算公式,可直接应用于木质工字梁弹性范围内的整梁正应力和整梁挠度的计算和相关分析。

2) 在木质工字梁整梁静态弯曲性能的分析计算时,应注意到木质工字梁上翼缘压缩特性和下翼缘拉伸特性的差异。

志谢:感谢西南林学院姚顺忠、张庆文、徐忠勇、孙毅等老师,及唐荣燕、李良、冯琦及李媛媛同学的帮助和参与。

参考文献:

- [1] Robert J Leichti, Robert H Falk, Theodore L Laufenberg. Prefabricated wood composite I-beams: A literature review[J]. Wood and Fiber Science, 1990, 2(1), 62-79.
- [2] 北京科技大学. 工程力学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- [3] ASTM D6055-04. Standard specification for establishing and monitoring structural capacities of prefabricated wood I-joists [S]. American Society for Testing and Materials, 2004:23.

(责任编辑 鲍加芬)