

C型连续檩条的可行性研究

俞广东^{1,2}, 夏军武¹, 袁浩文¹, 叶灏彬¹

(1. 中国矿业大学力建学院, 江苏 徐州 221008; 2. 江苏建筑职业技术学院建筑工程技术学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 从理论分析与实验研究两方面对 C 型连续檩条的可行性进行了研究, 提出了 C 型连续檩条的计算模型和计算方法. 并以一工程设计实例论证了 C 型连续檩条的经济性, 进一步说明了 C 型连续檩条的应用价值.

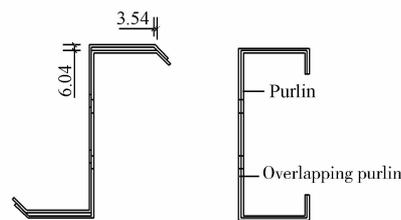
关键词: C 型连续檩条; 分析模型; 实验研究

中图分类号: TU 392.5; TU 231

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2013)06-0813-04

连续檩条相比简支檩条最大弯矩可减少 15%~30%^[1-3], 且变形也大大减少. 实际工程中 Z 型连续檩条得到了大量应用, 但由于檩条的厚度及斜卷边的影响, 往往使得在搭接区螺栓孔错位; 屋面板在搭接区不平整; 墙面窗户上下的檩条影响窗户的开启和泛水板设置困难, 如图 1(a). 为解决上述问题, 本文提出了对 C 型檩条在支座处做嵌套搭接处理, 如图 1(b), 将简支 C 型檩条处理成连续檩条. 并进而对 C 型连续檩条金属建筑系统中的可行性进行了研究.



(a) Z 型檩条搭接示意图 (b) C 型檩条搭接示意图

图 1 Z 型、C 型檩条搭接示意图

Fig. 1 The sketches of 'Z' Purlins overlap and 'C' Purlins overlap

1 C 型连续檩条的数值分析

1.1 分析模型

C 型连续檩条是在跨间布置一根 C 型檩条, 支座处另布置一根 C 型檩条与跨间檩条嵌套搭接, 搭接长度在端跨取 $0.15L$, 其他跨取 $0.1L$ (L 为檩条跨度). 搭接檩条的端部用螺栓与跨间檩条连接. 在刚架的檩托处将跨间檩条、搭接檩条通过螺栓连接在檩托板上. 如图 2(a) 所示.

分析时, 将檩条与檩托板的螺栓连接, 简化为铰支座; 工程实践中搭接檩条端部与跨间檩条的连接常采用普通螺栓连接, 不能保证接触面的摩擦力, 因此简化为链杆, 用来真实反映 C 型连续檩条的受力和变形状况. 链杆轴力就是螺栓承担的剪力, 用于螺栓设计. 计算模型简图如图 2(b) 所示.

1.2 计算分析

计算分析采用 ANSYS 有限元程序, 檩条采用 BEAM3 单元, 链杆采用 LINK1 单元. 计算时, 近似取搭接檩条与跨间檩条的截面面积、惯性矩相同. 图 3 为三跨 C 型连续檩条在均布荷载 w 作用下弹性阶段的计算结果直至最后发生弯扭屈曲.

通过分析可以发现: (1) 支座处弯矩较大. 由于搭接檩条与跨间檩条间采用了螺栓连接, 在螺栓连接处搭接檩条与跨间檩条的挠度变形理论上是一致的. 搭接檩条的端部受到螺栓的向下的剪力作用, 从而

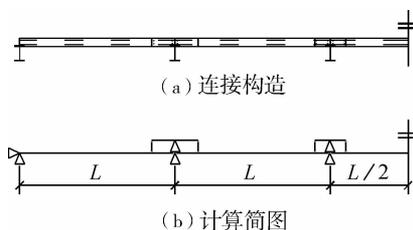


图 2 连接构造与计算简图

Fig. 2 Connection construction and sketch of calculation

收稿日期: 2013-06-07 修改稿日期: 2013-11-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51274192)

作者简介: 俞广东 (1971-), 男, 江苏兴化人, 讲师, 博士研究生, 主要从事结构工程、钢结构的教学与科研.

在搭接檩条的中部产生了弯矩作用;同时跨间檩条在螺栓连接位置也受到螺栓向上的作用力,使得跨间檩条跨中弯矩减少。(2)为使跨间檩条与搭接檩条的材料性能得到充分发挥,保证经济性效果,搭接檩条的长度当以使搭接檩条与跨间檩条弯矩相当为宜。经计算处理比较,搭接长度在端部应取 $0.12L$,在中部应取 $0.10L$ 。(3)跨间檩条在螺栓连接位置由于受到螺栓向上的反作用力,使得挠度减少。这对于工程实践中,荷载较大,檩条受变形控制的情况具有很好的应用价值,按(2)所述的搭接长度进行计算,发现相较简支檩条端跨挠度减少了 15%,中间跨挠度减少了 31%。(4)在等跨情况下,端跨跨中弯矩比中间跨跨中弯矩要大 32%。为使材料规格统一,方便施工,同时,又使材料性能充分发挥,不致浪费,宜采用不等跨布置的方式。计算发现:当端跨跨度取中间跨跨度的 81%时,端跨跨中弯矩与中间跨跨中弯矩相当;当端跨跨度取中间跨跨度的 66%时,端跨跨中挠度与中间跨跨中挠度相当。鉴于此,建议当受强度控制时宜将端跨跨度取中间跨跨度的 81%;当受挠度变形控制时宜将端跨跨度取中间跨跨度的 66%。(5)采用搭接模型计算出的弯矩、挠度与连续梁模型的计算结果形态非常接近。图 4 为按《建筑结构静力计算实用手册》^[4] 计算得到的五跨连续梁的弯矩图和挠度图。若将连续梁的支座处弯矩和挠度作一些处理,完全可以作为搭接模型的近似计算方法。(6)连续檩条在竖向力作用下,支座正弯矩区域,由于屋面板或屋面板加上层拉条系统,可以约束上翼缘的侧向位移和扭转,无需验算其稳定性;而支座负弯矩区域(图 5 中的 L_0) 大部都在搭接区内,檩条为双檩条刚度,同时檩条下翼缘受到檩托板对其下翼缘的侧向约束,能防止受压下翼缘的侧向位移和扭转,因此,也不需要验算其稳定性。风吸力作用下弯矩图与竖向活荷载作用方向相反,对于跨中段,下翼缘受压,此时因失去屋面板的约束作用,必须进行整体稳定验算;而在支座区域,上翼缘受压,有屋面板或屋面板加上层拉条系统,可以约束上翼缘的侧向位移和扭转,无需验算整体稳定性。因此 C 型连续檩条只需考虑竖向活荷载和风吸力作用下的跨中处的强度验算;稳定验算则只考虑风吸力作用下跨中下翼缘反弯点之间的受压区。

工程实践中,螺栓连接部位可能会有一些错动,这会使跨中弯矩和挠度有一定的增加,这种影响对于跨间檩条而言是不利因素,为考查这种影响因素,进行了足尺试验。

2 试验研究

为验证 C 型连续檩条的工作状态的可行性,进行了 C 型连续檩条试验。

2.1 试验设计

试验对象为两跨连续梁,分三组进行,檩条采用 C 型檩条,规格为 $C118 \times 50 \times 20 \times 2.2$,套管采用 $C126 \times 56 \times 23 \times 2.2$,材质为 Q235B,连续两跨,每跨 6 m。搭接长度为 900 mm,即 $0.15L$ (L : 跨度)。套管与 C 型檩条之间预留 2 mm 空隙,以方便试验安装,C 型檩条与套管的连接采用普通螺栓连接,螺栓直径为 6 mm,螺栓孔直径为 7 mm。在 C 型檩条的端部,套管的中部用普通螺栓将构件固定于支座上,支座点焊于承台上。实验设计简图如图 5 所示。

在跨中部位设置了千斤顶,千斤顶反向顶在反力架上。千斤顶与构件之间放置了压力传感器,用于测量千斤顶所施加的荷载。位移计分别放置于在支座及跨中部位,计 5 个,用于测量 C 型连续檩条荷载施加后的挠度。在跨中及中间支座部位各设置三组应变片,用于测量应力。为模拟实际工况下拉条对檩条的侧向约束,在跨中部位设置了 U 型槽,防止构件过早侧向失稳(如图 6 所示)。

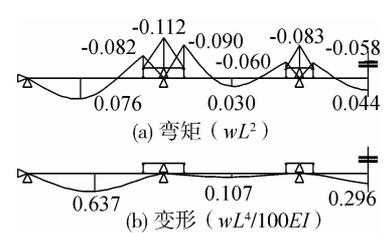


图 3 均布荷载作用下三跨 C 型连续檩条计算结果

Fig. 3 Calculation result of three spans continuous 'C' purlin under uniform load

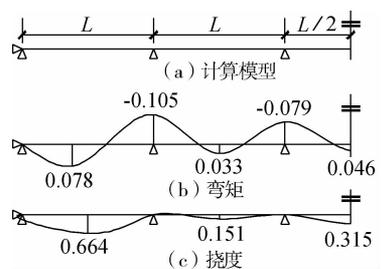
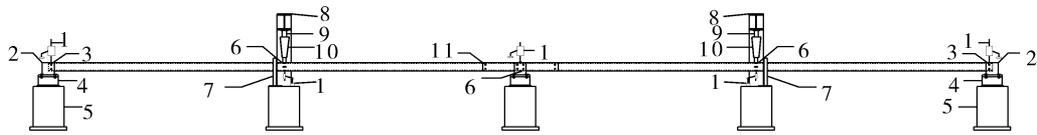


图 4 均布荷载作用下五跨连续梁计算结果

Fig. 4 Calculation result of five spans continuous 'C' purlin under uniform load



1—位移计;2—端板;3—螺栓;4—支座;5—承台;6—应变片;7—U型槽;8—反力架;9—压力传感器;10—千斤顶;11—C型套管

图 5 试验简图

Fig. 5 Experimental sketch

2.2 试验加载

为实验方便拟在跨中部位用千斤顶施加集中荷载,加载采用分级同步加载,每级 0.5 kN,试验加载现场图如图 7 所示。

2.3 试验结果

根据试验结果,将各荷载级下跨间檩条中部实测挠度和理论计算挠度绘制成荷载-挠度曲线图,如图 8 所示。

2.4 试验分析

(1)连续檩条跨中弯矩比简直檩条明显减少,减少幅度约为 30%;搭接檩条的跨中承受了比较大的弯矩,且试验结果与计算结果是吻合的,两者相差约 3%。这说明搭接模型与实际工作情况是接近一致的,建立的搭接模型是可靠的。(2)试验过程中,搭接檩条与跨间檩条的荷载与弯矩在到达承载力极限之前存在着正比例关系,说明试验中螺栓的传力是可靠的,没有发生错动。这是因为檩条承受的是均布荷载,且荷载较小(工程实践中,此种檩条主要应用于轻型屋面系统,实际承受的荷载也较小),螺栓承受的剪力也较小,尚不足以使其错动。另一方面,搭接檩条与檩条采用了双螺栓连接,这也是避免了螺栓错动的原因之一。

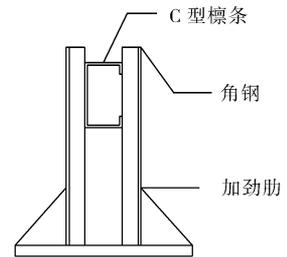


图 6 U型槽示意图
Fig. 6 U member



图 7 试验加载现场

Fig. 7 Experiment loading in lab

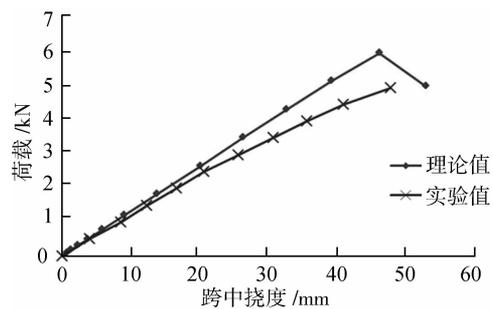


图 8 跨中荷载-挠度曲线图

Fig. 8 Load-deflection curve in mid-span

(3)试验测得挠度值较之实际模型理论计算挠度值大,约为 1.1~1.2 的关系。这是因为计算分析时采用了构件理论截面厚度,而实际构件截面厚度与理论厚度存在着下公差,所以实测挠度较之理论挠度要大。但荷载与挠度在到达承载力极限之前仍然存在着成正比例关系,这从另一方面说明试验中螺栓没有发生错动。(4)理论分析得到的承载力极限对应的挠度变形约为 $L/100$,亦即 60 mm。而按现行的《钢结构设计规范》的规定,檩条的变形容许值为 $L/200$,亦即 30 mm。试验中此时的变形仍处于弹性阶段,远远未达到塑性变形。即使按(3)所述,将挠度乘以 1.1~1.2,此时的变形仍处于弹性阶段。因此,工程实践若按弹性设计法进行设计,其安全性是足以保证的。

通过试验印证了理论计算模型是正确的,与实际工作状况较吻合,可以用弹性设计法进行实际工程设计。同时也试验证实了双螺栓连接的方式是可靠地,可以避免螺栓错动。

3 工程实例分析

根据试验获得的相关数据,按《冷弯薄型钢钢结构技术规范》^[3]进行工程计算。

采用图3所示五跨连续搭接檩条,檩条跨度9 m,檩条间距1.5 m,屋面坡度5%,檩条之间上翼缘附近设置两道拉条作为檩条的侧向支撑点,钢材为Q345,屋面板、保温棉和檩条自重(含拉条)合计标准值为0.15 kN/m²,可变荷载为0.5 kN/m²,基本风压0.35 kN/m²,风载体型系数为-1.4,高度系数为1.4。

表1列举了在荷载、檩距等其他条件相同的情况下,简支檩条、Z型连续檩条和C型连续檩条三种构造形式下所需截面以及单位面积的用钢量。

从表1可以看出C型连续檩条用钢量相比简支檩条要“节约”很多,与Z型连续檩条基本持平,考虑到C型连续檩条搭接方便,尤其是在墙面檩条中应用C型连续檩条可以方便窗户的留设,C型连续檩条在金属建筑系统中应予以推广应用。

表1 三种构造方式所需截面和单位用量

Tab.1 The section and steel quantity of three conformation form

构造形式	截面规格	用钢量 /kg·m ⁻²	折算量
简支檩条	C280/85/25/3.0	7.129	1.36
Z型连续檩条	Z200/70/20/2.5	5.282	1.01
C型连续檩条	C200/70/20/2.5	5.232	1.00

4 结 语

(1)通过计算分析和试验证实了C型连续檩条的搭接檩条可以承受弯矩,且螺栓传力可靠,C型连续檩条是可行的。(2)C型连续檩条计算时,可以将螺栓假定为链杆,建立模型进行计算。链杆的轴力即是螺栓承受的剪力。(3)C型连续檩条在工程实践中可按弹性设计法进行设计。其计算所得的挠度应考虑截面下公差的影响,宜将结果乘以1.2的系数,以控制挠度变形。(4)C型连续檩条的用钢量指标较低,方便施工,应予推广。

参考文献 References

- [1] CECS102:2002 门式刚架轻型房屋钢结构技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2002.
CECS102:2012 Technical specification for steel structure of light-weight building with gabled frames[S]. Beijing: China Planning Press, 2002.
- [2] 孙冬明,夏军武,蒋 龙. 连续檩条在金属建筑系统中应用的可行性[J] 建筑结构,2008,38(3):76-80.
SUN Dong-ming, XIA Jun-wu, JIANG Long. Feasibility of the Application of the Continuous Purlins in Metal Building System[J]. Building Structure, 2008, 38(3):76-80.
- [3] 魏潮文,弓晓芸,陈友良. 轻型房屋钢结构应用技术手册[M] 北京:中国建筑工业出版社,2005.
WEI Chao-wen, GONG Xiao-yun, CHEN You-liang. Light Steel Structure Application Technology Handbook [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2005.
- [4] 浙江大学. 建筑结构静力计算实用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
Zhejiang University. Practical Handbook of Static Calculation of Building Structure[M]. Beijing: China Building Industry Press, 2009.
- [5] GB50018-2002 冷弯薄型钢钢结构技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
GB50018-2002 Technical code of cold-formed thin-wall steel structures[S]. Beijing: China Planning Press, 2003.

The study of feasibility of continuous ‘C’ purlins

YU Guang-dong^{1,2}, XIA Jun-wu¹, YUAN Hao-wen¹, YE Hao-heng¹

(1. School of Mechanics and Civil Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;
2. School of Civil Engineering, Jiangsu Institute of Architectural Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: A feasibility study of continuous “C” purlins with the theoretical and experimental method is carried out putting forward the calculation model and method of continuous “C” purlins. And the “economics” of continuous “C” purlins is proved by an engineering design, which further expounds the application value of continuous “C” purlins.

Key words: continuous “C” purlins; analytic model; experimental research