

轻钢结构临建房屋静力性能试验研究

张 铮^{1,2}, 蔡雪峰^{1,2}, 马永超¹, 周继忠¹

(1. 福建工程学院土木工程学院, 福建 福州 350118; 2. 福建省土木工程新技术与信息化重点实验室, 福建 福州 350118)

摘要: 进行了轻钢结构临建房屋骨架结构和整体结构在风荷载作用下的静力试验, 对这两个结构的受力性能和变形性能作了考察. 利用一种新的分配梁体系对结构施加水平荷载, 较好地模拟了均布风荷载的作用, 并得到了结构的侧移变化情况和荷载-应力曲线. 通过对比整体结构与骨架结构在侧移和应力两方面的差别, 发现墙面板的存在可以较大地改善水平荷载作用下结构的受力性能并显著提高其整体刚度. 对轻钢结构临建房屋在水平风荷载作用下的静力性能进行了总结和讨论.

关键词: 轻钢结构临建房屋; 骨架结构; 整体结构; 静力试验; 风荷载

中图分类号: TU392.5

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2015)04-0531-7

Experimental research on the static behaviors of light steel structure temporary buildings

ZHANG Zheng^{1,2}, CAI Xuefeng^{1,2}, MA Yongchao¹, ZHOU Jizhong¹

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China; 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Advanced Technology and Informatization in Civil Engineering, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Static tests were conducted on frame structure and integral structure of light steel temporary buildings under wind load. Mechanical behaviors and the deformation performances of the structures were investigated. A new kind of system of load distribution beams was applied, which imposed the horizontal loads and simulated the uniformly distributed wind load. The load-displacement curves of the columns, as well as the strains of the columns and the wall panels, were measured and obtained. The test results of the integral structure and the frame structure were compared, to indicate that the presence of wall panels may enhance the overall stiffness of the structures significantly. The performances of the light steel temporary buildings under wind load are summarized and discussed.

Key words: light steel structure temporary building; frame structure; integral structure; static test; wind load

轻钢结构临建房屋是工程建设施工现场常用的一种临时建筑, 亦称轻钢活动房^[1], 其具有结构简单、自重轻、建造速度快、成本低、可周转使用等特点, 目前已广泛应用于临时办公、住宿、抗震救灾、旅游等方面^[2]. 随着我国社会经济的快速发展, 对轻钢结构临建房屋的需求量也大大增加. 然而, 目前对于轻钢结构临建房屋的力学性能和作用机理缺乏较详细的试验研究^[3], 相关研究主要集中在铝合金活动房和集装箱房^[4-6], 同时也没有针对轻钢结构临建房屋的结构设计和施工技术的相关规范和标准, 与该类结构大量使用的现状很不相符, 存在较大的安全隐患.

为了深入了解轻钢结构临建房屋的受力性能, 开展该类结构的足尺实物在水平荷载作用下的试验研究. 由于轻钢结构临建房屋的自重较小, 使得地震作用对其产生的影响较小, 而风荷载对其产生的影响则较为显著, 考虑到这一特点, 分别进行等

效风荷载作用下轻钢结构临建房屋骨架结构试验以及安装围护结构后的整体结构试验, 以考察该类结构的力学性能和抗侧移能力. 通过对比骨架结构与整体结构试验结果在构件应力和整体变形两方面的差别, 进一步分析在水平风荷载作用下墙面板对该类结构受力情况和整体刚度的影响.

1 结构体系简介

鉴于目前对于轻钢结构临建房屋这类采用插板连接的结构体系还没有足够的经验和理论作为参考, 为了更好地掌握其力学性能, 本文进行了足尺试验研究, 试验对象采用了市场上常见的单层轻钢结构临建房屋.

1.1 房屋的组成及传力途径

轻钢结构临建房屋由轻钢结构骨架和聚苯乙烯夹芯复合板拼装而成, 采用无损耗连接方式及互换性标准构件, 可以做到重复拆装. 在建造中, 首

先进行骨架结构的安装,之后在骨架结构上安装墙面板和屋面板.骨架结构主要由基础梁、立柱、圈梁、屋架、檩条以及斜撑组成.风荷载通过墙面板和屋面板传递到骨架结构上,并最终传给基础.试验采用的实物模型如图1所示.骨架结构的平面尺寸及各组成部分的布置情况如图2所示.

1.2 组成构件及其连接构造

轻钢结构临建房屋的构件均由冷弯薄壁内卷边C型钢组成.立柱由两根冷弯薄壁内卷边C型钢通过电阻点焊组合而成,立柱的截面形状根据所处位置的不同而有所不同,在确定立柱截面的时候主要考虑了墙面板与立柱的连接构造问题,从而为墙面板的安装预留了空间.各构件的截面形状和尺寸如图3所示.

两根立柱之间的墙体由若干块墙面板组成,墙面板直接插在柱截面的卡槽中,之后再用电阻点焊进行嵌缝固定处理.墙面板均为50 mm厚的彩钢夹芯板,其内外表层均为0.326 mm厚的Q235彩钢板,中间层为聚苯乙烯夹芯层.墙面板与立柱的实际连接方式和安装示意图如图4所示.



图1 试验实物模型
Fig.1 Test physical model

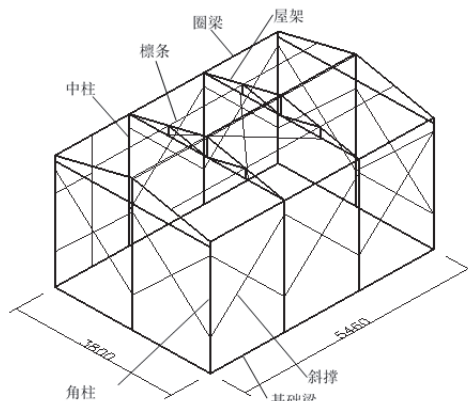


图2 骨架结构
Fig.2 Frame structure

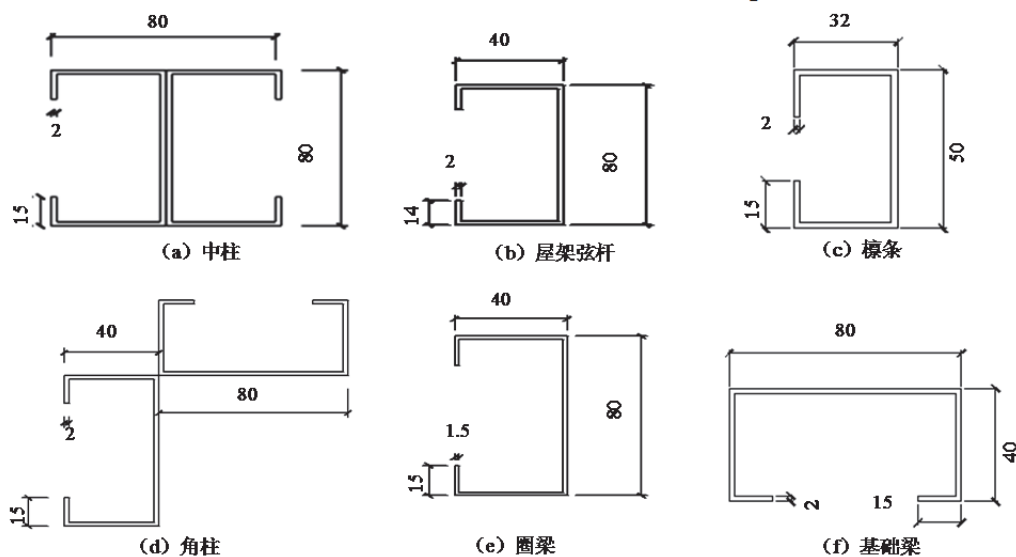


图3 各种构件的截面形状及尺寸
Fig.3 Sections and sizes of members

2 骨架结构试验

2.1 试验概况

此次试验在福建工程学院土木工程综合实验中心进行.骨架结构试验是通过多点加载来模拟均布荷载的施加,千斤顶所施加的荷载通过分配梁系统施加到预先确定的加载点上.一般的分配梁系统中各分配梁是采用铰链进行连接的,通过施加水平推力来进行荷载的施加,这种连接方式会对分配梁

的位移产生约束而影响荷载的施加.为了避免这种情况发生,此次试验采用了柔性连接,即用一定长度的钢丝绳进行连接,在各级分配梁之间预留空间来满足构件的位移,同时通过施加水平拉力来进行荷载的施加.

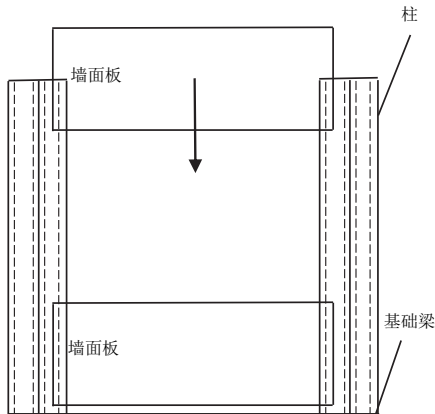
骨架结构试验的分配梁系统由四级分配梁组成,如图5所示,迎风面与背风面采用同样的分配梁系统.

由于没有墙面板的存在,所以骨架结构试验的

加载点均匀布置在各立柱上, 如图 6 所示。



(a) 墙面板与立柱的实际连接构造



(b) 墙面板安装示意图

图 4 墙面板与立柱的连接

Fig.4 Connection between wall panels and columns

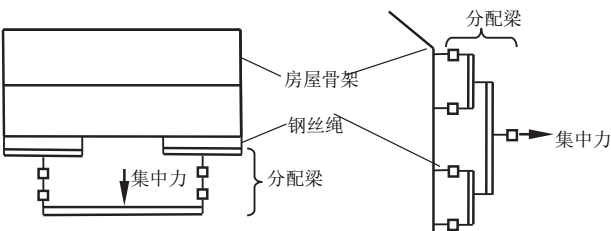


图 5 骨架结构试验分配梁系统

Fig.5 Distributive beam system of frame structure test

结构迎风面和背风面的荷载分布由风载体型系数确定。根据《建筑结构荷载规范》GB50009-2012^[7]中的规定,可以得到该结构体系在风荷载作用下迎风面和背风面的风载体型系数,即迎风面为+0.8、背风面为-0.5。由于屋面风吸力占比更大一些,对房屋侧移还起较为有限的有利作用,所以没有施加屋面荷载。

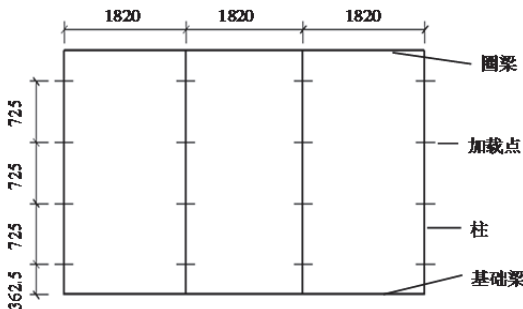


图 6 骨架结构试验加载点布置 (单位: mm)

Fig.6 Locations of load points of frame structure/mm

在进行正式加载之前, 首先进行预加载 (预载值为 0.05 kN/m^2), 以使试件进入正常工作状态并检验试验装置的有效性。正式加载共分 4 级, 分别为 0.08 kN/m^2 、 0.15 kN/m^2 、 0.30 kN/m^2 和 0.40 kN/m^2 。每级荷载达到后均持荷 3 分钟, 同时进行数据的采集、记录, 接着施加下一级荷载。

根据轻钢结构临建房屋的受力特点, 在结构受力变形的关键位置布置测点。在迎风面和背风面各立柱的顶端共设置了 8 个水平向的位移计, 如图 7 所示。

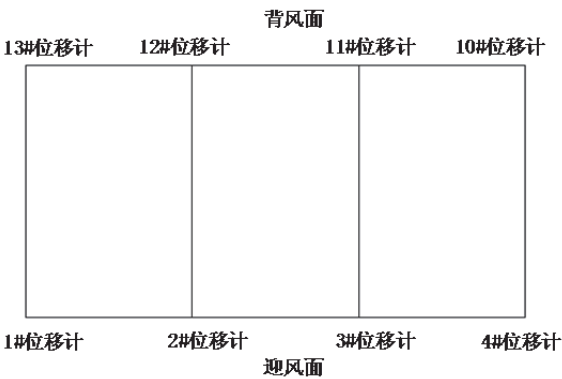


图 7 位移计布置及编号

Fig.7 Locations and numbers of displacement meters

由于结构具有一定的对称性, 只对一半结构进行了应变测点的设置。共在 5 根立柱的柱顶、柱底、柱中点和斜撑连接处布置了应变片, 各立柱的编号 (Z1—Z5) 如图 8 所示。Z1、Z3、Z5 的应变片在截面上的位置如图 9(a)图所示, Z2 如图 9(b)所示, Z4 如图 9(c)图所示; 各立柱竖向内外两侧应变片的位置如图 9(e)所示。

山墙处的圈梁以及柱间支撑上也布置了应变片。圈梁上的应变片布置在其两端和跨中, 如图 9(d)所示; 布置了应变片的柱间支撑的编号 (X1—X4) 如图 8 所示。

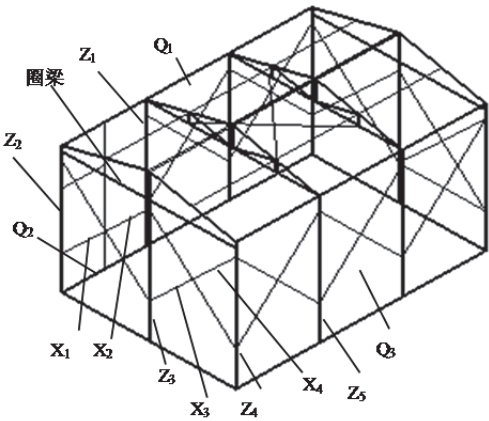


图 8 构件编号

Fig.8 Numbers of members

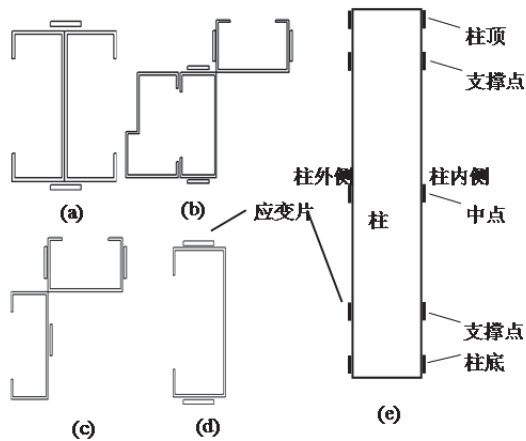


图9 应变片布置

Fig.9 Locations of strain gauges

2.2 试验现象

在加载过程中对骨架结构的变形情况进行了观察. 随着施加荷载的增大, 骨架结构的变形越来越明显, 柱顶的位移变化尤为明显, 中间两榀屋架处的立柱的侧向位移较山墙处立柱的位移大的多.

屋架在荷载作用下没有发生较明显的变形, 结合整体试验的数据分析可以认为屋架发生了整体平移.

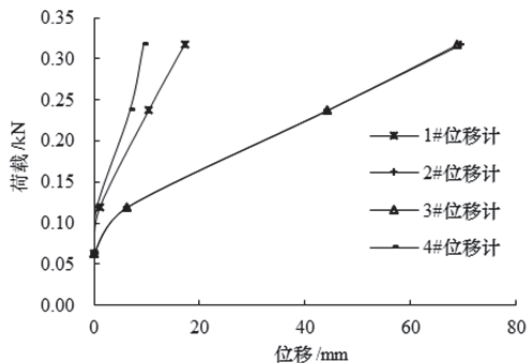
在 0.40 kN/m^2 荷载作用下, 立柱顶端发生了明显的侧移, 但迎风面和背风面的侧移差别较小. 立柱整体出现了顺着荷载作用方向的弯曲, 且个别立柱出现扭转变形. 檩条也发生了顺着荷载作用方向的明显弯曲.

在卸载之后骨架的变形消失, 回复到加载之前的状态, 说明结构发生的是弹性变形.

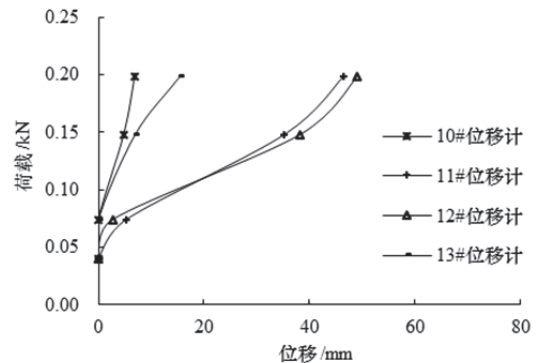
2.3 试验结果分析

柱顶各测点的荷载-位移曲线分别如图10所示.

从图中曲线可以看出, 中柱的柱顶位移与山墙处立柱的柱顶位移的差别相当明显, 且有随着荷载增大而增大的趋势. 荷载—位移曲线基本呈现为线性关系.



(a) 迎风面



(b) 背风面

图10 骨架结构试验柱顶荷载-位移曲线

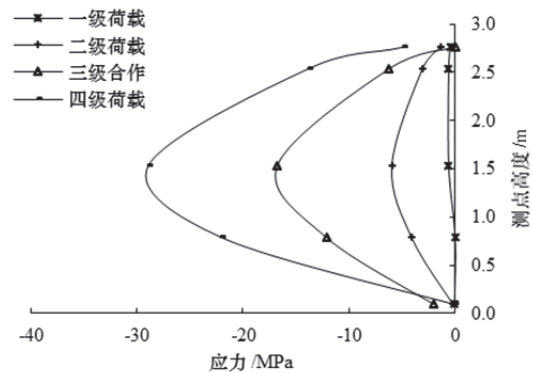
Fig.10 Load-displacement curves of top of columns of frame structure test

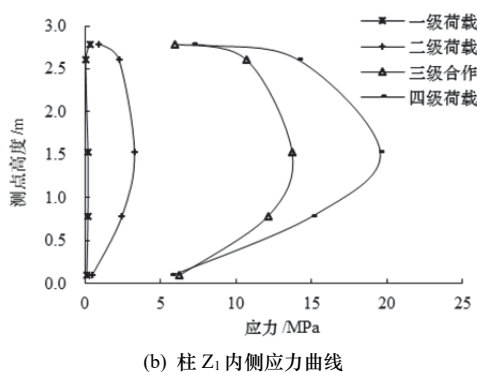
由于目前还没有专门针对轻钢结构临建房屋结构的设计规范, 参考《低层冷弯薄壁型钢结构房屋建筑技术规程》JGJ 227-2011^[8] (以下简称为“规程”) 来进行考察, 这两类房屋的结构、构件和连接都很接近. 该规程规定: 由水平风荷载标准值产生的层间位移与层高之比不应大于 $1/300$. 在骨架结构试验中, 柱顶的最大位移出现在迎风面中柱的柱顶, 柱顶最大位移与立柱高度之比为 $69.6 \text{ mm}/2900 \text{ mm} = 1/41.7$, 不满足规程对侧移的要求.

根据测得的布置在柱上的应变片的应变值, 可以得到柱内、外侧的应力分布曲线如图11所示.

迎风面和背风面的立柱上最大应力为 51.0 MPa , 仅为材料屈服强度的 21.7% , 说明立柱在 0.40 kN/m^2 的风压作用下满足强度要求.

斜向支撑在水平荷载作用下的应力值相对较大, 在骨架结构试验中最大拉应力值为 27.4 MPa , 在强度方面有较大的富余, 满足强度要求. 这说明斜向支撑在抵抗水平荷载作用时起到了很大的作用, 在水平荷载作用下起到拉结立柱的作用, 提高了骨架结构的整体性和侧向刚度.

(a) 柱 Z_1 外侧应力曲线



(b) 柱 Z₁ 内侧应力曲线

图 11 骨架结构试验柱应力分布曲线
Fig.11 Stress distribution curves of columns of frame structure test

3 整体结构试验

3.1 试验概况

同骨架结构试验一样,整体结构试验也是通过多点加载来模拟均布荷载的施加.但由于有墙面板的存在,所以加载点是均匀布置在墙面板上的.整体结构试验的分配梁系统由五级分配梁组成,迎风面与背风面采用同样的分配梁系统,如图 12 所示.墙面板上加载点的布置如图 13 所示.

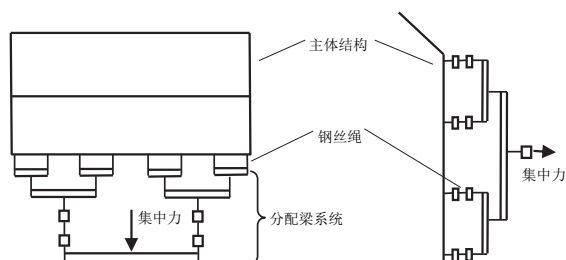


图 12 整体结构试验分配梁系统

Fig.12 Distributive beam system of integral structure test

在进行正式加载之前,也进行了预加载(预载值为 0.10 kN/m^2).正式加载共分 4 级,分别为 0.15 kN/m^2 、 0.40 kN/m^2 、 0.55 kN/m^2 和 0.70 kN/m^2 .

在整体结构试验中,立柱上的位移计和应变片的设置与骨架结构试验一致.为考察墙面板的受力情况,在 Q₁、Q₂ 和 Q₃ 三面墙体(见图 8)上布设了应变片.这里需要说明的是,两根立柱之间的每一面墙体都是由三块墙面板组成的,在每一块墙面板中心位置的内外两侧均设置了应变片.

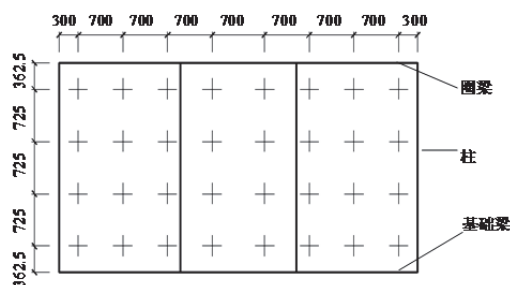


图 13 整体结构试验加载点布置(单位: mm)

Fig.13 Locations of load points of integral structure/mm

3.2 试验现象

在加载过程中对整体结构的变形情况进行了观察.随着施加荷载的增大,房屋整体结构的变形越来越大,但相对骨架结构明显变形较小.

在 0.70 kN/m^2 荷载作用下,墙面板发生明显的凹陷,房屋整体顺着荷载作用方向发生倾斜,立柱与檩条在荷载作用下发生了一定的弯曲.

在卸载之后结构的变形消失,恢复到加载之前的状态,说明整体结构发生的是弹性变形.

3.3 试验结果分析

迎风面和背风面柱顶各测点的荷载-位移曲线分别如图 14(a)、图 14(b)所示.

从图中曲线可以看出随着荷载的增加,迎风面和背风面各柱柱顶的位移呈线性增加的趋势,这在一定程度上说明了柱在荷载的作用下处于弹性阶段.此外,山墙处的抗侧移刚度较中间屋架的抗侧移刚度大.

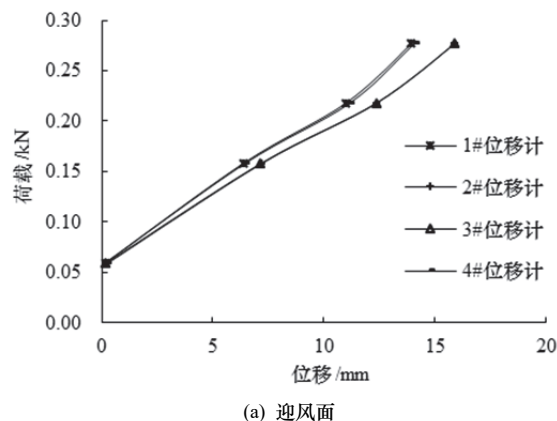
整体结构试验中柱顶最大位移与立柱高度之比为 $15.9 \text{ mm}/2900 \text{ mm} = 1/182$,仍不能满足规程 $1/300$ 的变形要求.

根据测得的布置在柱上的应变片的应变值,可以得到柱内、外侧的应力分布曲线如图 15 所示.

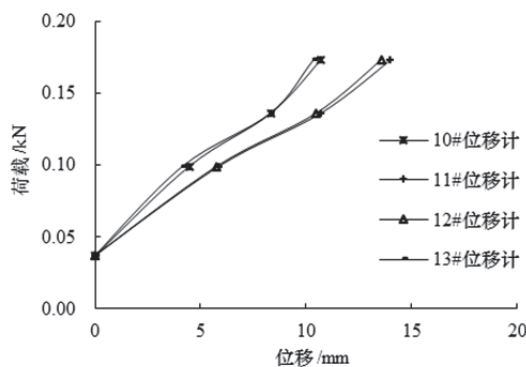
迎风面和背风面的立柱的最大应力为 66.5 MPa ,仅为材料屈服强度的 28.3% ,说明立柱在 0.70 kN/m^2 的风压作用下满足强度要求.

墙面板最大应力为 8.10 MPa ,出现在迎风面 Q1 板外侧彩钢板 1.5 m 高处,该值仅为材料屈服强度的 3.4% ,说明墙面板满足强度要求.

整体结构试验中斜向支撑的最大拉应力为 42.4 MPa ,其作用与在骨架结构试验中类似,较大地提高了整体结构的整体性和侧向刚度.



(a) 迎风面



(b) 背风面

图14 整体结构试验柱顶荷载-位移曲线

Fig.14 Load-displacement curves of top of columns of integral structure test

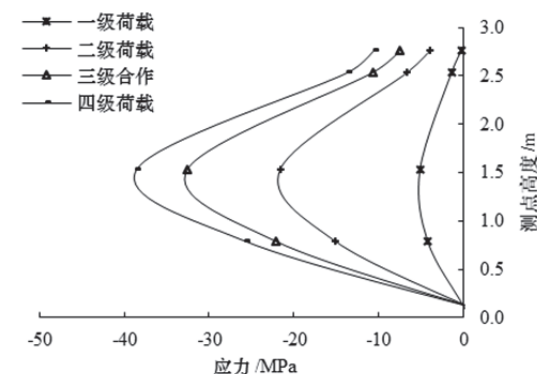
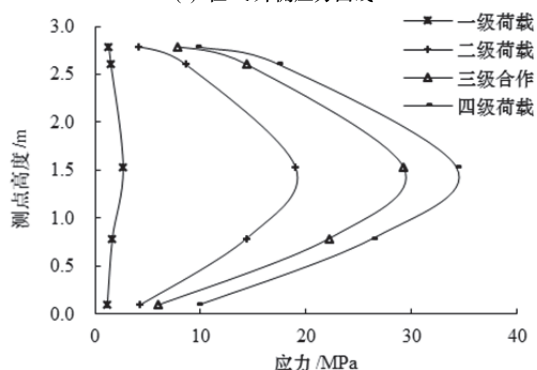
(a) 柱 Z₁ 外侧应力曲线(b) 柱 Z₁ 内侧应力曲线

图15 整体结构试验柱应力分布曲线

Fig.15 Stress distribution curves of columns of integral structure test

4 骨架与整体结构试验结果比较分析

根据对骨架结构试验及整体结构试验的分析结果,将两者在 0.40 kN/m^2 风压作用下的构件最大应力和最大水平位移进行比较,见表1。

表1 骨架结构与整体结构试验结果的比较

Tab.1 Comparison of test results between frame structure and integral structure

项目	骨架结构/ R_f	整体结构/ R_i	比较结果 $(R_i - R_f)/R_f$
构件最大应力/MPa	51.0	29.7	-41.8%
最大水平位移/mm	69.6	7.20	-89.6%

根据表1的比较结果可以看出:在水平荷载作

用下,与骨架结构相比,整体结构的最大水平位移减小了 89.6%,构件的最大应力也减小了 41.8%。说明在围护结构的作用下,构件的承载能力明显提高,且结构整体刚度也大大增强。

在设计时可以通过考虑围护结构对房屋承载力和刚度的有利作用,从而对结构进行优化设计,节约材料、降低造价。

同时可以发现,在水平荷载作用下,构件均未发生屈服,而最大水平位移超过容许位移的 44%。因此在设计过程中应重点考虑的因素是轻钢结构临建房屋的整体刚度。

5 结论

针对单层轻钢结构临建房屋进行了骨架结构试验与整体结构试验,通过对每一级荷载作用下结构的位移和应变数据的分析,得到两者的受力性能。对比骨架结构与整体结构在相同荷载作用下的试验结果,得出两者受力的差别和墙面板对结构的影响。经过分析得到以下几点结论和讨论:

(1) 试验中房屋骨架结构和整体结构的立柱最大应力分别为 51.0 MPa 和 66.5 MPa ,仅为材料屈服应力的 21.7%和 28.3%,能够满足强度要求;骨架结构和整体结构的最大水平位移分别为 69.6 mm ($H/41.7$) 和 15.9 mm ($H/182$),说明轻钢结构临建房屋的整体刚度较弱,骨架结构不宜单独使用。

(2) 在相同风压 (0.40 kN/m^2) 作用下,整体结构的构件最大应力较骨架结构减小了 41.8%,最大水平位移减小了 89.6%,说明墙面板与立柱产生协同作用,能够共同抵抗水平荷载,墙面板对提高结构的整体刚度起到了相当大的有利作用。

(下转第 548 页)