

# 蒙皮体中不同连接类型的抗剪性能对比分析

赵海凤

(浙江建设职业技术学院, 浙江 杭州 311231)

**摘 要:**连接件是影响蒙皮体抗剪性能的重要因素. 对国内常用的压型钢板类型采用自攻螺栓连接和焊缝连接的受力蒙皮体进行了抗剪试验, 分析自攻螺栓连接和焊缝连接受力蒙皮体的破坏形式及抗剪性能, 通过数据对比, 提出自攻螺栓连接和焊缝连接对蒙皮抗剪性能的影响差异.

**关键词:**蒙皮体; 连接件; 自攻螺丝; 焊接连接

**中图分类号:** TU317

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2012)06-0829-07

轻钢结构施工速度快, 生产周期短、经济效益好、抗震性能佳、有利环保等众多优点, 在工业厂房甚至住宅建筑中得到了广泛应用<sup>[1]</sup>. 欧美国家从 20 世纪 40 年代, 就开始对轻钢建筑中的围护体系(屋面板、墙面板等)的蒙皮效应进行了研究. 我国该方面研究较晚, 始于 20 世纪 80 年代<sup>[2]</sup>. 影响围护结构的蒙皮效应的因素有屋面坡度, 板型和厚度, 檩条的种类和间距, 连接件的类型和连接形式, 荷载类型, 结构高度, 蒙皮上开口位置和大小等. 连接件的类型和连接形式对蒙皮效应的发挥尤为重要<sup>[3]</sup>. 本文对我国近年来常用的压型钢板组合蒙皮体进行了抗剪性能试验, 对按常规做法采用自攻螺丝连接和焊缝连接的组合蒙皮体抗剪性能进行对比分析.

## 1 蒙皮体试验目的

蒙皮效应的强弱与蒙皮板与蒙皮板间的连接类型、蒙皮板与其周边结构构件的连接类型有关. 上世纪 90 年代, 美籍华人教授于炜文对冷成型钢结构设计进行了大量试验研究, 其中包括一些受力蒙皮体设计计算方法. 经大量的理论研究和试验分析<sup>[4]</sup>发现指出螺栓连接、金属螺钉连接、铆钉连接等机械连接件质量比焊接连接质量要容易保证. 本文对自攻螺丝钉连接与焊缝连接的蒙皮体性能及破坏形式进行分析.

## 2 蒙皮体试验设计

### 2.1 试验框架

试验框架通常采用悬臂、两跨、三跨, 本试验采用悬臂框架, 悬臂试验框架平面图见图 1<sup>[5]</sup>.

参考美国《轻钢蒙皮设计》和“欧洲建议”关于剪力蒙皮试验和设计的建议, 本试验采用 4 块压型钢板组成蒙皮体<sup>[6]</sup>, 试件尺寸为 4 200 mm×3 000 mm, 试验框架为横梁(H 型钢)和连接在横梁上的檩条(C 型钢)组成, 檩条选用 Q235 的 HW100×100 的宽翼缘型钢, 檩条选用 Q235 的 100×50×20×2.5 的 C 型钢, 剪力蒙皮板采用 HV-248 型和 V-840 型压型钢板, 试件压型钢板见图 2. 考虑到试验试件尺寸较大, 不适宜做垂直方向的加载试验, 所以试验中仅考虑了加载方向平行于压型钢板跨度方向.

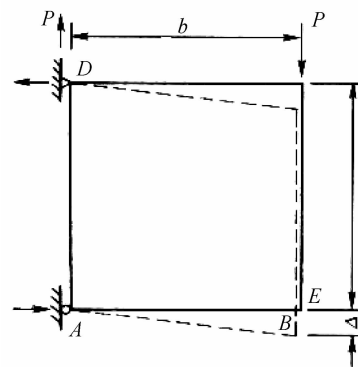


图 1 悬臂试验框架平面图

Fig. 1 The plan of cantilever skin body

收稿日期: 2012-06-12 修改稿日期: 2012-11-18

基金项目: 建设职业技术学院院级课题(201201)

作者简介: 赵海凤(1980-), 女, 天津人, 硕士, 讲师, 主要从事钢结构研究.

2.2 试验试件

本试验共设计了 6 组试件,采用不同连接件、连接间距,以测定各因素对蒙皮体性能的影响.

试验试件采用四块压型钢板与试验框架连接,试件连接分自攻螺丝连接和焊缝连接两种情况:第一种情况为压型钢板板连接、板框连接、板檩连接采用自攻螺丝连,压型钢板与檩条和板框间的连接选用  $\varphi 6$  自攻螺丝钉,板板接缝处的连接选用  $\varphi 5.0$  的拉铆钉连接;第二种情况为压型钢板板连接、板框连接、板檩连接采用焊缝连接,板框、板檩焊缝采用点焊,板板焊缝采用卷边焊,焊条采用 E43 型手工焊条,焊接方法见图 3. 框架横梁(椽)与檩条的连接方式采用工程中常用的檩托及普通螺栓(2M6)连接.

试件 1:压型板采用 HV-248 型,板与檩条的连接采用隔波连接,板与板的接缝在檩条处设置自攻螺丝连接,檩条间的板接缝处不设连接件连接.

试件 2:压型板采用 HV-248 型,板与檩条的连接采用每波连接,板与板的接缝在檩条处设置自攻螺丝连接,檩条间板接缝处不设连接件连接.

试件 3:压型板采用 HV-248 型,板与檩条的连接采用每波连接,板与板的接缝在檩条处设置自攻螺丝连接,檩条间板接缝设置  $\varphi 5.0$  拉铆钉连接.

试件 4:压型板采用 V-840 型,板与檩条的连接采用隔波连接,板与板的接缝仅在檩条处设置自攻螺丝连接,檩条间的板接缝不设连接件连接

试件 5:压型板采用 HV-248 型,板与檩条的连接采用每波焊接连接,板与板的接缝在檩条处设置焊缝连接,檩条间板接缝处不设连接件连接.

试件 6:压型板采用 HV-248 型,板与檩条的连接采用每波焊接连接,板与板的接缝在檩条处设置焊缝连接,檩条间板接缝处设置焊缝连接.

具体试件参考数见表 1.

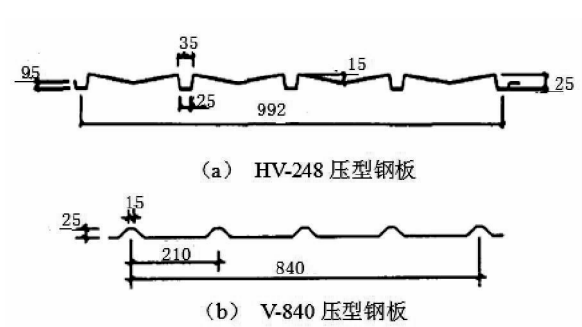


图 2 压型钢板尺寸  
Fig. 2 The profiled sheet

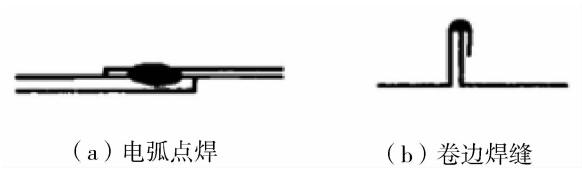


图 3 焊接方法  
Fig. 3 Welding method

表 1 蒙皮体试件设计参数

Tab. 1 Design parameters of the specimen body skin

试件编号	板型	檩距/mm	连接类型		连接间距/mm		试件尺寸
			板檩	板板	板檩	板板	
1	HV-248	1 500	自攻螺丝	拉铆钉	496	1 500	4 200×3 000
2	HV-248	1 500	自攻螺丝	拉铆钉	248	1 500	4 200×3 000
3	HV-248	1 500	自攻螺丝	拉铆钉	248	750	4 200×3 000
4	V-840	1 500	自攻螺丝	拉铆钉	210	750	4 200×3 000
5	HV-248	1 500	焊缝连接	焊缝连接	248	1 500	4 200×3 000
6	HV-248	1 500	焊缝连接	焊缝连接	248	750	4 200×3 000

2.3 加载与量测

本试验采用蒙皮试件卧式加载的方案,水平加载. 水平加载装置由液压千斤顶和水平反力架共同组成,液压千斤顶量程为 200 kN,用千斤顶水平加载于框架点,使剪力蒙皮平面内受荷. 加载方案见图 4.

在试件加载前,首先按照 10%的预估荷载先加载( $10\% \times 20 = 2$  kN),然后再卸载. 卸载稳定之后再

重新开始逐级加载,由电子计算机操控加载和位移,每级加载为 2 kN,逐级加载直至试件破坏.每级荷载加载完毕并稳定之后,由电子计算机记录采集各个位移传感器和应变仪传输的数据.

为了测定逐级加载过程中蒙皮体抗剪性能的水平  $P-\Delta$  曲线,试验中在蒙皮体试件的四个角点处均布置位移计测量位移,量移均为 100 mm.为测定连接处的应力状态,试验中选择在有代表性的连接件周围贴上三向应变花.

试件整体水平放置,考虑到试验中压型钢板、檩条及框架横梁处于同侧,而加载位置位于框架端部,易使蒙皮体产生偏心.因此,在刚架 1/3 和 2/3 处分别设置了防翘起装置<sup>[7]</sup>,见图 5.

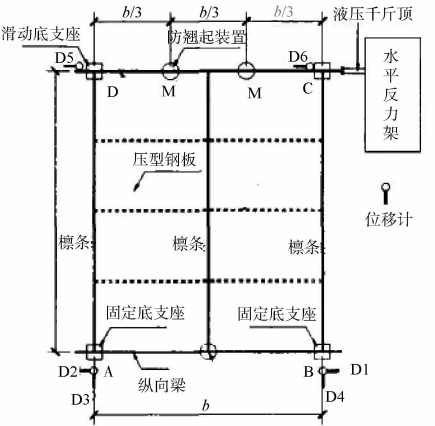


图 4 悬臂梁蒙皮试验加载方案  
Fig. 4 The cantilever beam experiment project of the skin diaphragms

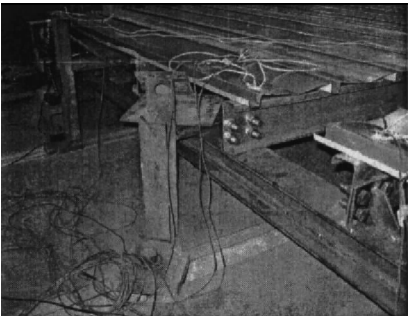


图 5 防翘起装置实物图  
Fig. 5 Anti-tilt device physical map

3 试验结果

3.1 试验结果

本试验共进行了 6 组试验,其中试件 1、试件 2、试件 5、试件 6 的的试验极限荷载,最大位移和破坏形式列于表 2.

表 2 蒙皮体试验结果  
Tab. 2 Test results of the body skin

试件	最大位移 /mm	极限荷载 /kN	破坏形式
1	72.3	11.07	压型钢板与横梁连接处的自攻螺丝钉剪断,檩条与横梁连接处焊缝破坏
2	51.7	13.84	板与板接缝处变形过大,压型板端部与檩条端部连接处板孔发生撕裂,板端局部翘曲失稳
5	30.6	9.23	压型钢板与横梁连接处焊缝拉裂,压型板端部与檩条端部连接处焊缝撕裂
6	31.4	10.9	压型钢板与横梁连接处焊缝拉裂,压型板端部与檩条端部连接处焊缝撕裂

试件抗剪性能试验中连接部位出现的破坏形式主要有四种<sup>[7]</sup>:第一种为压型板的连接件发生剪断破坏,两侧的压型钢板发生明显错动;第二种为压型板板孔受挤压拉长、撕裂,自攻螺丝产生不同程度的倾斜,板板接缝处的拉铆钉相继出现倾斜、拉断,板件间发生较大错动破坏;第三种为自攻螺丝钉受挤压发生倾斜、堆聚,板孔边承压起鼓,自攻螺丝产生起翘,板件整体失稳破坏;第四种为连接处焊缝被拉裂,板件翘起.破坏图片<sup>[7]</sup>见图 6、图 7、图 8、图 9.

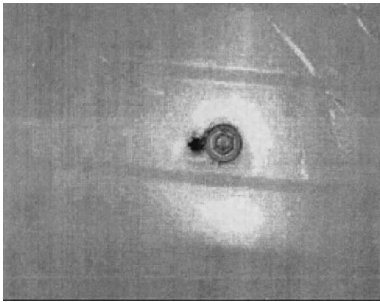


图 6 板缝处自攻螺丝钉撕裂破坏  
Fig. 6 Slab tearing at the destruction of self-tapping screws

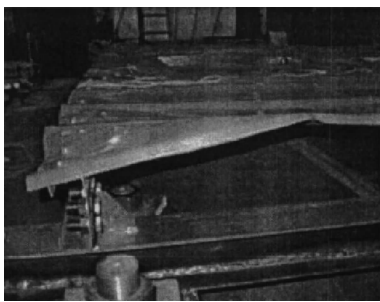


图 7 压型钢板角部翘曲破坏  
Fig. 7 Warping destruction of the pressure plate corner

试验中出现的破坏形式原因分析如下:

(1)板板接缝处拉铆钉倾斜、拉断,板件错动较大:原因在于板的不同部位受剪力大小不同,加载端部及其附近区域承担剪力较大,此处板之间会发生较大变形,产生较大的错位,剪力增大使板件间错动达到一定程度,板板接缝处拉铆钉会发生倾斜甚至拉断破坏.

(2)压型板与檩条处的连接件发生剪切破坏:原因在于板檩连接处产生的剪力比其他部位收到的剪力大,当连接件的抗剪强度低于压型钢板的抗剪强度时,就会在板檩连接处发生连接件剪断破坏。

(3)自攻螺丝起翘,板件整体失稳:原因在于蒙皮板件所受剪力达到极限抗剪强度,蒙皮变形严重,蒙皮板件发生整体屈曲破坏。



图8 压型钢板整体失稳

Fig. 8 Overall instability of pressure plate

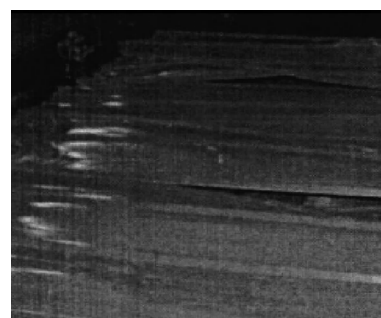


图9 压型钢板板焊缝拉裂

Fig. 9 Board weld crack of the pressure steel plate

(4)连接处焊缝拉断,板件起翘:原因在于焊缝连接强度性能不稳定,连接延性较差,荷载作用下焊缝破坏,板件翘起。

### 3.2 试验试件破坏过程

根据试验过程中试件加载受力直至变形破坏过程以及试验的抗剪性能试验曲线分析<sup>[8]</sup>,对比研究试件发现:

试件1的板与檩条的连接采用隔波连接,试验中首先以2 kN为荷载等级进行逐级加载,当逐步加载至6 kN时,试件1变形加大,荷载与位移不再成线性状态,施加载荷等级可减小至1 kN继续加载。当荷载增加到9 kN时,试件1发出“啪”的一声响,试件1位移明显增大,当继续加载至11 kN时,压型钢板与横梁连接处的自攻螺丝钉剪断,试件1发生破坏。

试件2的板与檩条的连接采用每波连接,试验中首先以2 kN为荷载等级进行逐级加载,当逐步加载至8 kN时,试件2变形加大,荷载与位移不再成线性状态,施加载荷等级可减小至1 kN继续加载。当荷载增加到12 kN时,试件1发出“啪”的一声响,试件2位移明显增大,当继续加载至13 kN时,压型钢板与横梁连接处的自攻螺丝钉剪断,试件2发生破坏。

试件5的板与檩条的连接采用隔波连接,板檩、板缝均采用焊缝连接,试验中首先以2 kN为荷载等级进行逐级加载,当逐步加载至6 kN时,试件5有轻微变形,施加载荷等级可减小至1 kN继续加载。当荷载增加到9 kN时,试件5发出“啪”的一声响,压型钢板与横梁连接处焊缝拉裂,压型板端部与檩条端部连接处焊缝撕裂。

试件6与试件5的破坏过程基本相似,不再赘述。

### 3.3 蒙皮体的试验曲线

根据试验过程,所得同步试验试件的位移—极限荷载曲线如图10所示。

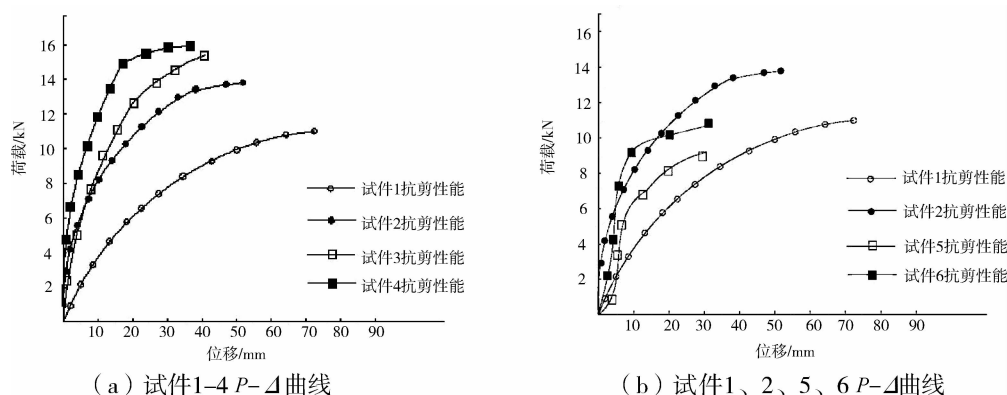


图10 蒙皮体试件的抗剪性能试验结果

Fig. 10 The body skin shear behavior of specimen results

根据试件抗剪性能的  $P-\Delta$  曲线可发现:

试件 2 的极限荷载高于试件 1 的极限荷载,可见,板檩隔波连接的抗剪性能低于板檩每波连接的抗剪性能。

试件 6 的极限荷载高于试件 5 的极限荷载,但二者极限荷载均低于试件 1 和试件 2 的极限荷载,且二试件破坏时极限位移也较低,属于脆性破坏。

## 4 结 论

从本试验结果和试件破坏分析中可得出下列几点结论:

(1)蒙皮体抗剪强度和抗剪刚度不仅受连接件类型(螺栓连接、铆钉连接、焊接)影响,而且还受连接件布置和间距的影响。

(2)对比试件 1 和试件 2 可知:试件 1 的连接件数量少于试件 2,试件 1 的自攻螺丝钉抗剪强度低于板的抗剪强度,螺杆发生剪断,周围金属撕裂破坏;试件 2 的自攻螺丝钉抗剪强度高于板的抗剪强度,螺杆没有剪断,连接件处板撕裂,发生局部弹性屈曲破坏。可见,蒙皮体的连接件数量增加,而且布置位置恰当,抗剪强度和刚度将大幅提高。

(3)对比试件 1 和试件 2 的试验性能曲线及破坏形态可知:自攻螺丝钉及铆钉作为连接件,蒙皮体的抗剪性能变化稳定;对比试件 5 和试件 6 的试验性能曲线及破坏形态可知:焊缝连接时,蒙皮体抗剪性能变化大,不确定,达到极限荷载时,极限位移很小(试件 5,极限荷载:9.23 kN,极限位移 30.6 mm;试件 6 极限荷载:10.9 kN,极限位移 31.4 mm)。分析可知,自攻螺丝钉、拉铆钉等连接件的连接性能比焊接连接易于保证,抗剪性能稳定,自攻螺丝钉连接的蒙皮板比焊接连接的蒙皮板抗剪系数约高 10% 以上。

通过对自攻螺丝钉连接和焊缝连接的蒙皮体的抗剪性能对比分析,在应用围护结构的蒙皮作用时,应选用延性好、强度高的连接件,不宜选用焊缝连接。

## 参考文献 References

- [1] 熊仲明. 基于经济性能的大跨度钢结构体系结构选型研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2009,41(3): 312-318.  
XIONG Zhong-ming. Scheme selection of long-span steel structure system under economical performance[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2009, 41(3): 312-318.
- [2] 张其林. 轻型门式刚架[M]. 济南:山东科学技术出版社,2004.  
ZHANG Qi-lin. Lightweight portal frame[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 2004.
- [3] AISI. Design of cold-formed steel diaphragms(Draft)[S]. 1981.
- [4] YU W W. Commentary on the 1996 Edition of the Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members[M]. Cold-Formed Steel Design Manual-Part VI. American Iron and Steel Institute, 1997.
- [5] MATTEIS G D. The effect of cladding panels in steel building under seismic actions[D]. Italy: University of Naples, 1998.
- [6] DAVIES, J M, BRYAN E R. Manual of Stressed Skin Diaphragm Design[M]. Granada Publishing, 1982.
- [7] 郑 瑾. 轻钢建筑围护体系蒙皮效应的试验及理论研究[D]. 上海:同济大学,2007.  
ZHENG Jin. Experimental and Theoretical Research on the Diaphragm Effects of the Cladding Systems of Light Gauge Steel Structures[D]. Shanghai: Tongji University, 2007.
- [8] 赵海凤. 蒙皮体中连接件的抗剪性能试验研究[J]. 西安建筑科技大学学报:自然科学版,2011,43(6):803-807.  
ZHAO Hai-feng. Experimental investigation on shear behaviour of stressed skin diaphragms connected by Connectors[J]. J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech.: Natural Science Edition, 2011, 43(6): 803-807.

## Experimental investigation on shear behavior of stressed skin diaphragms by different connection types

ZHAO Hai-feng

(Zhejiang College of Construction, Hangzhou 311231, China)

**Abstract:** The connecting piece is an important factor in shear performance. Shear behaviour of stressed skin diaphragms using profiled sheet connected by the self-tapping screws and weld connection was studied in this paper. The paper analyzed the effect of self-tapping screws and weld connection on the failure types of skin diaphragms and shear properties, and presented the conclusion of considering the effect of the self-tapping screw connections and weld connection for skin shear resistance difference by the comparison of the data.

**Key words:** *stressed skin diaphragm; connectors; self-tapping screw; weld connection*

---

**Biography:** ZHAO Hai-feng, Lecturer, Master's degree, Hangzhou 311231, P. R. China, Tel: 0086-13757196107, E-mail: jiaoanzhun-bei@163.com

---

(上接第 791 页)

## Failure characteristics and seismic performance analysis of longitudinal wall between windows of brick-concrete masonry classroom buildings with different structural measures

WU Hao, ZHAO Shi-chun, ZHANG Peng-bo, XU Hu

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** Five reduced-scale wall specimens were designed in order to investigate the influence of section size and reinforcement ratio of middle column on the failure characteristic and seismic performance of longitudinal wall between windows of brick-concrete school buildings. The failure characteristics, hysteretic behavior, deformability and stiffness degradation of each wall specimen were analyzed respectively. The results indicate that all specimens with different middle columns are characterized by shear failure. The specimen designed in accordance with the current code for seismic design generally exhibits good seismic performance where the structural column works well with brick masonry. Increasing section size of structural column can improve the energy dissipation, deformability and the crack distribution of specimen significantly. RC column decreases the energy dissipation and deformability of wall specimens in the highly nonlinear stage, although it can increase the stiffness and bearing capacity of wall specimen. Therefore, increasing the size of structural column properly can enhance the seismic performance and anti-collapse capacity of longitudinal walls between windows of brick-concrete masonry structure.

**Key words:** *brick-concrete masonry school building; longitudinal wall between windows; section size and reinforcement of structural column; failure mechanism; seismic performance*

---

**Biography:** WU Hao, Candidate for Ph. D., Chengdu 610031, P. R. China, Tel: 0086-28-87601178, E-mail: yong\_zhiwu@163.com