

文章编号:1005-0523(2019)05-0097-05

# 自攻螺钉式金属屋面板抗风揭试验研究

黄宏<sup>1</sup>,陈杰<sup>1</sup>,陈友泉<sup>2</sup>,陈梦成<sup>1</sup>

(1.华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013;2.杭萧钢构(江西)有限公司,江西 南昌 330013)

**摘要:**采用空气加压的方式模拟风荷载,进行了3组自攻螺钉式屋面板抗风承载力试验,考察了屋面板材料强度和固定位置对自攻螺钉式屋面板的抗风承载能力的影响。试验结果表明随着金属屋面板的强度提高,自攻螺钉式金属屋面板的抗风承载能力显著提高,而自攻螺钉的位置(钉在波峰和波谷四分之一处)对屋面板系统抗风揭承载能力影响不大;当自攻螺钉钉在波峰处时,其抗风承载力按规范中自攻螺钉钉在波谷四分之一处公式计算偏于安全。

**关键词:**工程材料;抗风承载力;试验研究;金属屋面板

**中图分类号:**TU391

**文献标志码:**A

近年来,大跨度的钢结构金属屋面板系统结构在生活中应用非常广泛,如机场、火车站和体育场的屋面系统。这种大跨度的金属屋面板在大风作用下脱落也是时有发生,严重威胁人民的生命财产。因此,对这种大跨度的钢结构屋面系统的抗风研究显得尤为重要。

目前,国内外对大跨度屋面板系统抗风性能研究的试验方式主要有堆载法和空气加压法。陈以一等<sup>[1]</sup>进行了6组卡扣式CLP型屋面板抗风承载力试验,试验结果表明可以通过设置一个安全系数来防止屋面板上的卡扣与屋面板连接处承载力的离散性。王海涛和王静峰<sup>[2]</sup>共进行了6个屋面板和2个吊顶板的抗风试验,试验结果表明通过合理的加固方式来提高金属屋面板的抗风承载能力。于敬海等<sup>[3]</sup>进行3组试验,主要研究金属屋面板系统的抗风承载能力,并将屋面板系统抗风破坏的过程分成3个阶段(前期、后期及破坏阶段)。以上3个抗风试验都是采用堆载的方式来模拟风荷载,由于在堆载沙袋或铁块的过程中,沙袋之间存在的空隙和产生的摩擦角可能导致屋面板受力不均,而与真实的风荷载作用相差较大。孙成疆<sup>[4]</sup>用空气加压的方式模拟风荷载,进行了4组试验,研究了自攻螺钉的拔脱力。Baskaran等<sup>[5]</sup>运用空气加压法来模拟风荷载,其加载的压力最大值可达10 kPa,试验目的主要是研究动态的风荷载对屋面板的影响。魏云波等<sup>[6]</sup>根据实际的工程项目设计试件,采用空气加压的方式来模拟风荷载,进行了4组金属屋面板的抗风试验,试验结果可用来判定金属屋面板抗风性能设计的合理性。秦国鹏等<sup>[7]</sup>采用空气加压的加载方式共进行了两组试验,主要研究风荷载作用下金属屋面板的破坏机理,试验的结果表明加强夹具使金属屋面板的抗风承载能力有较大的提高。综合以上文献可知,空气加压的方式比堆载的方式更接近于真实的风荷载。

采用空气加压的方法模拟风荷载,进行了3组金属屋面板抗风揭试验,目的是研究自攻螺钉位置(钉在波峰或波谷)和屋面板材料的强度对金属屋面板抗风承载能力的影响,最后采用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018-2002)<sup>[8]</sup>对试件的抗风承载力进行计算。

收稿日期:2019-03-16

基金项目:国家自然科学基金项目(51378206)

作者简介:黄宏(1977—),女,教授,博士,研究方向为钢结构设计理论与工程应用。

通讯作者:陈杰(1992—),男,硕士研究生,研究方向为钢结构设计理论与工程应用。

## 1 试验概况

### 1.1 试件设计

试验总共设计了3组自攻螺钉式金属屋面板试件,试件信息如表1所示。自攻螺钉式屋面板采用HXY-980型压型钢板(如图1),檩条尺寸为C700×70 mm×20 mm×2 mm。檩条之间的间距依次为300,1 200,1 500,1 500,1 500,1 200,300 mm。试件的安装顺序如下:将檩条安装在试验台上(试验台的尺寸是7 500 mm×4 500 mm),铺好薄膜,再将屋面板盖在薄膜上,最后用自攻螺钉将屋面板固定在试验台上。

表1 试件详细参数  
Tab.1 Detailed specimen parameters

试件编号	固定位置	板宽/mm	厚度/mm	材质
A-G-345	波谷	980	0.4	Q345
A-F-345	波峰	980	0.4	Q345
B-F-235	波峰	980	0.4	Q235

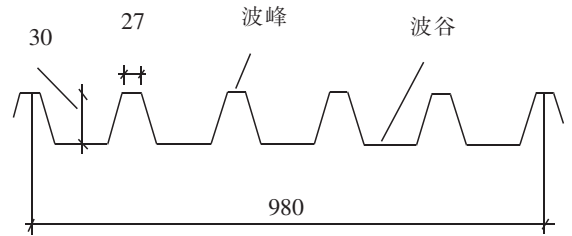


图1 HXY-980型屋面板截面图(单位:mm)  
Fig.1 Section diagram of HXY-980 roof panel(Unit:mm)

所有试件均由5块HXY-980屋面板拼接而成,屋面板的连接方式是由4块板首尾相连,第5块板叠在第4块板的第3个波峰处。试验的参数为屋面板的材料强度及固定位置。其中试件A-G-345和试件A-F-345的屋面板材料均是Q345,而试件B-F-235的屋面板材料是Q235。试件A-G-345是将自攻螺钉打在波谷处(如图1),只在相叠加的那个波峰处打上自攻螺钉。试件A-F-345和试件B-F-235是仅在波峰处(如图1)钉自攻螺钉。

### 1.2 材料性能

需要做材料性能试验的有檩条和HXY980屋面板。分别在同批次的檩条和屋面板上切割适量的材料,做成标准的试件进行拉伸试验,得出的材料性能结果如表2所示。

### 1.3 加载方式

本次试验的加载方式是空气加压法,采用的是自主研发的试验装置。试件安装在试验台(如图2)上,再通过鼓风机往试验台内鼓风,风荷载通过事先铺好的薄膜将压力均匀地传递给屋面板,鼓风机可以改变转速和频率,达到对试验台内的压力进行实时监测和控制。加载的方式为分级加载,0.04 kPa为一级,每一级静置的时间为2 min。在进行试验时,可通过气压测量器和鼓风机显示屏得到试验台内的气压。

表2 材料性能  
Tab.2 Material properties

试件	厚度/mm	极限强度/ MPa	弹性模量/ GPa
压型钢板 235	0.40	438	210
压型钢板 345	0.40	456	210
檩条	1.68	419	210

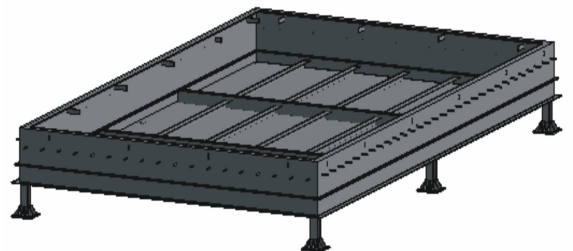
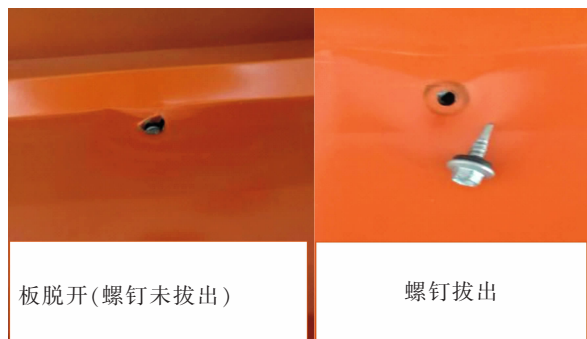


图2 试验台  
Fig.2 Test-bed

## 2 试验现象与分析

### 2.1 试件 A-G-345

试件 A-G-345 安装完毕后,试验台内的初始气压为 0.29 kPa,气压加载到 2.51 kPa 时,两声巨响,屋面板中间完全凸起,如图 3(a)。当气压加载到 3.83 kPa 时,连接处的自攻螺钉与屋面板发生局部的撕裂。自攻螺钉与屋面板连接处发生两种破坏形态,屋面板脱开后螺钉未拔出和螺钉拔出,现象如图 3(a)。此时,中间屋面板相互连接处完全脱开,如图 3(b),屋面板完全破坏,气压急剧降到 1.98 kPa,加载结束。



(a) 屋面板与螺钉脱开



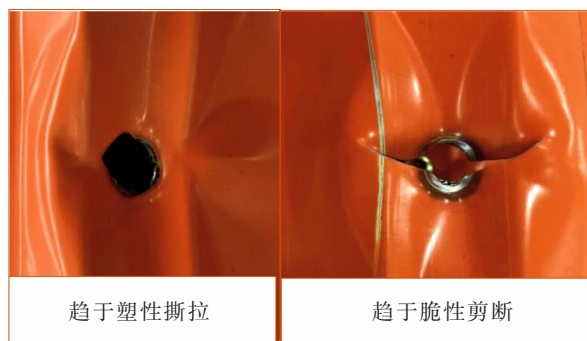
(b) 屋面板掀起

图 3 试件 A-G-345 破坏模式

Fig.3 Failure mode of specimen A-G-345

### 2.2 试件 A-F-345

试件 A-F-345 安装好后,测得试验台内初始气压为 0.22 kPa,气压加载到 2.44 kPa 时,屋面板持续鼓起,并连续发出响声。当气压加载到 3.41 kPa 时,自攻螺钉断裂了一个,荷载继续增大,加载到 3.86 kPa 时,屋面板屈服,自攻螺钉与屋面板发生局部撕裂,破坏的形态如图 4(a)。试验台内气压急剧下降,屋面板纵向边上的连接处完全脱开,如图 4(b)。试验结束后,檩条屈曲并向上拱起。



(a) 螺钉孔撕裂



(b) 试件破坏

图 4 试件 A-F-345 破坏模式

Fig.4 Failure mode of specimen A-F-345

### 2.3 试件 B-F-235

试件 B-F-235 的初始气压为 0.25 kPa,气压加载到 2.72 kPa,发出巨响,屋面板鼓起。继续加载至 2.98 kPa,有自攻螺钉脱出并伴随着巨响。当气压加载至 3.28 kPa 时,发出巨响,屋面板发生局部屈服,自攻螺钉与屋面板发生局部撕裂,破坏的形态如图 5(a)。试验台内气压急剧下降到 1.72 kPa,屋面板完全破坏,纵向边上的连接处完全脱开,如图 5(b)。

### 2.4 试验现象分析

试件 A-G-345 与试件 A-F-345 的抗风极限承载力相差不多,对比试件 A-F-345 与试件 B-F-235,可

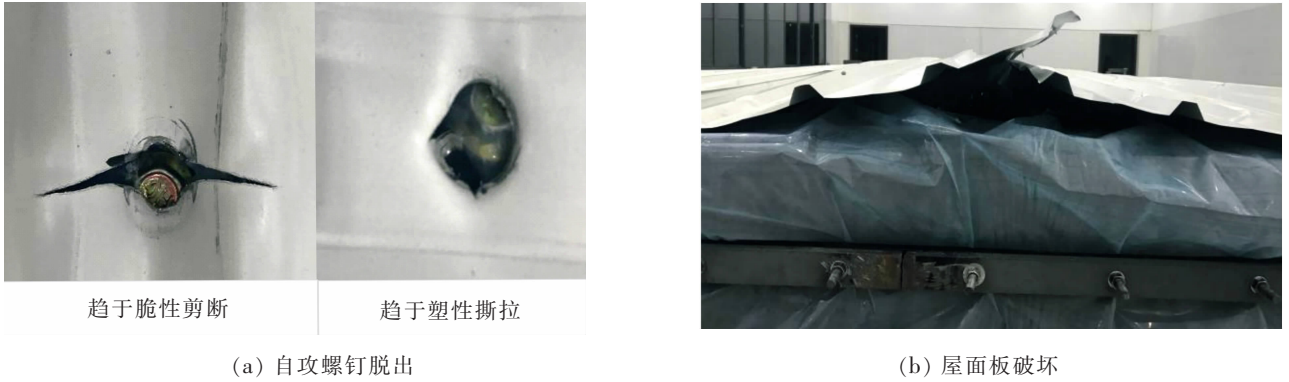


图5 试件B-F-235破坏模式  
Fig.5 Failure mode of specimen B-F-235

知屋面板材料的强度对抗风极限承载力影响较大。对比3组试件的破坏形态后,可以总结出:当将自攻螺钉在波谷处时,试件破坏的位置主要在中部,自攻螺钉与屋面板连接处主要发生两种破坏形态,屋面板脱开后螺钉未拔出和螺钉拔出;将自攻螺钉钉在波峰处时,试件破坏的位置主要在纵向的两边,自攻螺钉与屋面板连接处主要发生两种破坏形态,趋于塑性撕拉和趋于脆性剪断。

### 3 试件抗风承载力的计算比较

#### 3.1 试件抗风承载力计算公式

自攻螺钉式屋面板的抗风承载力计算主要按照《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018-2002),规范中规定压型钢板与冷弯型钢构件连接的自攻螺钉所受的拉应力应当不大于公式(1)所计算的抗拉承载力计算值。故取公式(1)计算出的一个自攻螺钉抗拉承载力为其屋面板的抗风揭极限承载力。其中,当自攻螺钉的位置在压型钢板波谷的一个二分点时,抗拉承载力设计值按公式(1)计算;当自攻螺钉的位置在压型钢板波谷的一个四分点时,抗拉承载力设计值用公式(1)计算时需要乘以折减系数0.9。

$$N_f^d = 0.75 t_c d f \quad (1)$$

式中: $N_f^d$ 表示抗拉承载力设计值,N; $t$ 为钢板(靠近自攻螺钉头侧)厚度,mm; $f$ 为基材的抗拉强度设计值,N/mm<sup>2</sup>; $d$ 为自攻螺钉的直径,mm; $t_c$ 为打入基材的深度,mm。

#### 3.2 试验值与规范计算值比较

由于目前规范中没有将自攻螺钉钉在波峰处时的计算公式;因此先按公式(1)计算试件A-F-345和试件B-F-235抗风揭极限承载力。屋面板抗风承载力计算值和试验值如表3,可以看出,将自攻螺钉钉在波峰和波谷(四分之一点)处,屋面板的抗风承载能力相差不大,但是提高屋面板材料的强度,其极限抗风承载力有明显提高。其中试件A-F-345和试件B-F-235的试验值均大用规范计算的抗风极限承载力值,所以将自攻螺钉钉在波峰时,按照规范计算的极限承载力值偏于安全;而将自攻螺钉钉在波谷时,可直接用《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018-2002)进行抗风揭设计时的极限承载力计算。

表3 屋面板系统的抗风揭极限承载力  
Tab.3 Ultimate bearing capacity of wind resistance for roof slab system

组号	A-G-345	A-F-345	B-F-235	kPa
试验值	3.83	3.85	3.28	
规范计算值	3.52	3.52	3.04	



## 4 结论

1) 自攻螺钉式金属屋面板在风揭作用下的主要破坏模式有:当自攻螺钉钉在波谷处时,试件破坏的位置主要在中部,自攻螺钉与屋面板连接处主要发生两种破坏形态(屋面板脱开后螺钉未拔出和螺钉拔出);将自攻螺钉钉在波峰处时,试件破坏的位置主要在纵向的两边,自攻螺钉与屋面板连接处主要发生两种破坏形态(趋于塑性撕拉和趋于脆性剪断)。

2) 将自攻螺钉钉在波峰和波谷(一个四分之一点)的自攻螺钉式金属屋面板抗风揭承载能力相差不大。

3) 随着金属屋面板的材料强度提高,自攻螺钉式金属屋面板的抗风承载能力显著增大。

4) 将自攻螺钉钉在波峰处时,其抗风承载力按《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB50018-2002)中自攻螺钉钉在波谷四分之一处公式计算偏于安全。

### 参考文献:

- [1] 陈以一,陈建兴,陈扬骥,等. CLP 屋面板抗风承载力试验研究[J]. 钢结构,2003,18(64):12-18.
- [2] 王海涛,王静峰. 大跨度空间结构金属屋面板抗风揭性能试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2016,39(1):115-120.
- [3] 于敬海,李路川,盖力,等. 直立锁边金属屋面系统抗风承载力节点试验研究[J]. 建筑结构,2015,45(17):83-86.
- [4] 孙成疆. 直立锁缝金属屋面系统在模拟极端暴风工况下抗风揭能力测试和分析[J]. 建筑结构,2011(S1):1438-1442.
- [5] BASKARAN A, MOLLETTI S, KO S, et al. Wind uplift performance of composite metal roof assemblies[J]. Journal of Architectural Engineering, 2012, 18(1):2-15.
- [6] 魏云波,侯兆新,张建军,等. 新加坡环球影城项目金属屋面系统设计及抗风吸能力试验研究[J]. 工业建筑,2012,42(9):34-38.
- [7] 秦国鹏,刘美思,刘毅,等. 金属屋面系统抗风揭性能的试验研究[J]. 钢结构,2016,31(3):26-28.
- [8] 湖北省发展计划委员会. GB50018-2002 冷弯薄壁型钢结构技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.

# Experimental Study on Wind Stripping Resistance of Self-Tapping Screw Roof Slab

Huang Hong<sup>1</sup>, Chen Jie<sup>1</sup>, Chen Youquan<sup>2</sup>, Chen Mengcheng<sup>1</sup>

(1.School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. HangXiao Steel Structure (Jiangxi) Co., Ltd., Nanchang 330013, China)

**Abstract:** Three groups of self-tapping screw roof slabs were tested to investigate the influence of material strength and fixed position of roof slabs on the wind resistance of self-tapping screw roof slabs. The test results show that with the increase of the strength of the metal roof panel, the wind resistance of the self-tapping screw-type metal roof panel increases significantly, while the location of the self-tapping screw (at a quarter of the peak and trough) has little effect on the wind resistance of the roof panel system; when the self-tapping screw is at the peak, the wind resistance of the self-tapping screw is at a quarter of the trough according to the code and the formula calculation is safe.

**Key words:** engineering material; wind bearing capacity; experimental investigations; metal roofing board