

一种轻钢龙骨装配式复合墙板的防水性能试验研究

张慧洁¹, 胡晨¹, 孙帆¹, 王逸飞^{2*}, 常治国²

(1. 国网安徽省电力有限公司经济技术研究院, 合肥 230022;

2. 上海同磊土木工程技术有限公司, 上海 200433)

摘要: 本文聚焦一种具有横向企口构造的轻钢龙骨装配式复合墙板, 展开防水性能试验研究。首先设计足尺试件, 开展风压下淋水试验, 参照相关标准采用稳定加压法, 模拟不同风荷载与风雨共同作用, 运用目测法、化学试纸法观测墙体本身水密性; 之后针对不同企口间隙的墙板进行淋水试验, 运用目测法、化学试纸法和红外热成像法观测横缝渗漏情况。试验结果显示: 该复合墙板水密性能优良, 水密性能指标达3000 Pa, 满足相关标准要求; 横缝间隙影响墙面渗漏, 间隙宜控制在2 mm以下; 红外热成像检测法能有效判断墙板拼缝是否渗漏, 当横缝与周围墙板温差大于2.5 °C时可判断渗漏, 且与其他检测方法结果吻合。本研究为完善复合墙板构造设计提供了试验依据。

关键词: 轻钢龙骨装配式复合墙板; 构造设计; 防水性能; 试验研究

中图分类号: TU57

文献标志码: A

文章编号: 1671-9379(2025)10-0041-08

DOI: 10.13969/j.jzgjgz.20240807001

Experimental Study on Waterproof Performance of a New Light Steel Keel Prefabricated Composite Wall Panel

ZHANG Huijie¹, HU Chen¹, SUN Fan¹, WANG Yifei^{2*}, CHANG Zhiguo²

(1. State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd. Economic and Technical Research Institute, Hefei 230022, China;

2. Shanghai Tonglei Civil Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 200433, China)

*Corresponding author: 297752947@qq.com

Abstract: This paper presents an experimental study of the waterproof performance of a light steel keel prefabricated composite wall panel with a horizontal tongue-and-groove structure. Full-scale specimens were designed, and water spray tests under wind pressure were carried out. The stable pressurization method was adopted following relevant standards to simulate different wind loads and the combined action of wind and rain. Visual inspection and chemical test paper method were used to observe the water tightness of the wall itself. Water spray tests were conducted on wall panels with different tongue-and-groove clearances, and visual inspection, chemical test paper method, and infrared thermography were used to observe the leakage at the cross joints. The test results show that the composite wall panel has excellent water tightness, with a water tightness performance index reaching 3000 Pa, meeting the requirements of relevant standards. The clearance of the cross joints affects the leakage of the wall surface, and the clearance should be controlled below 2 mm. The infrared thermography detection method can effectively determine the leakage of the

收稿日期: 2024-08-07

基金项目: 国网安徽经研院2023年装配式变电站围护体系抗渗性能提升及综合治理方法应用项目(B61209230016)

作者简介:

张慧洁(1991—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事变电工程设计及施工技术方面的研究。E-mail: 844697045@qq.com。

胡晨(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事变电工程设计及施工技术方面的研究。

通信作者:

王逸飞(1998—), 男, 硕士, 主要从事装配式建筑方面的研究。E-mail: 297752947@qq.com。

wall panel joints. When the temperature difference between the cross joints and the surrounding wall panels is greater than 2.5 °C, leakage can be detected, and the results are consistent with those of other detection methods. The research provides an experimental basis for improving the structural design of composite wall panels.

Keywords: light steel keel prefabricated composite wall panel; structural design; waterproof performance; experimental study

轻钢龙骨复合墙板是近年来出现的新型装配式墙板,在应用实践中,这类墙板在长期受到雨水侵蚀后常出现墙皮开裂、板材脱落、门窗锈蚀等一系列问题(图1),严重影响了建筑物的正常使用,甚至产生了结构安全问题。

轻钢龙骨装配式复合墙板在生产、安装过程中存在大量接缝,接缝处的防水设计是确保墙板具有优良防水性能的关键,接缝处产生渗漏的原因可能是材料因环境作用而老化破损、结构变形导致接缝处开裂等^[1]。目前常采用三种防水措施:材料防水、构造防水和结构防水^[2-4]。材料防水是指采用防水材料嵌填渗漏路径以实现防水的方法,比如在接缝处设置密封胶、防水砂浆等。构造防水是指采用构造形态的方式进行防水,例如设置企口、减压腔或排水通道等措施。结构防水主要应用于装配式混凝土建筑。密封材料耐久性能差、接缝宽度过大、构造防水排水措施不合理、防水施工质量差等都可能造成装配式复合墙板的渗水和漏水^[5]。



图1 轻钢龙骨装配式复合墙板渗漏现象

Fig. 1 Leakage phenomena of light steel keel prefabricated composite wall panel

关于建筑物围护构件的防水性能,国内外的研究主要集中在玻璃幕墙系统和金属屋面系统。刘新等^[6]以压型金属板系统试件为例进行了水密性能试验方法研究,证实了其检测方法的可行性,并指出风荷载及其引起的变形是影响渗漏的重要因素。罗晓群等^[7]通过试验研究了大变形下直立锁边屋面系统足尺试件的水密性能,并对相关构造进行了精细化有限元分析,验证了该屋面系统具有适应柔性屋面结构大变形的变形能力和良好的水密性。关于装配式复合墙板的防水性能试验方法主要是

淋水试验,通过对外墙板接缝处进行持续喷淋,观察外墙的引排水和密封胶的封堵水状态,依据渗漏水情况对建筑物防水性能开展综合评估。红外热成像检测是一种基于温度的检测方法,其技术相对复杂、成本较高,但精度和效率也较高。其原理是通过仪器设备接受被测物体的红外辐射形成热图像,渗漏部位的温度通常低于墙体其他区域的温度,由此可有效地检测出渗漏部位^[8-9]。黄炎龙等^[10]进行了装配式建筑防水性能的淋水试验,指出当采用红外热成像法测得的墙体和水的温差大于5 °C时为建筑构件的漏点。

本文针对一种新型的具有横向企口的轻钢龙骨装配式复合墙板进行了防水性能的试验研究,设计了风荷载下的淋水试验装置,进行了墙体本身的水密性试验,针对不同尺寸的横向企口间隙采用红外热成像技术检测了墙板的渗漏情况。

1 新型轻钢龙骨装配式复合墙板的组成和墙板之间的连接构造

新型轻钢龙骨装配式复合墙板的构造示意如图2所示。墙板受力骨架由轻钢龙骨组成,内层面板将整个外墙系统封闭,并起到室内装饰的作用,内层面板采用硅酸钙板。外层面板从外到内依次为水泥纤维板、防水透气膜、硅酸钙板。硅酸钙板和金属连接件通过自攻螺钉固定在矩形龙骨上,防水透气膜满铺于硅酸钙板上,水泥纤维板通过Y形金属件固定。

轻钢龙骨复合墙板之间的横缝采用构造防水方式,在水泥纤维板上设置企口,如图3a)所示。竖缝采用材料防水方式,在竖缝之间采用改性硅酮耐候密封胶和发泡闭孔PE棒填充,如图3b)所示。

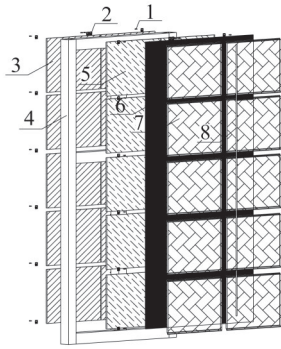
2 墙体水密性能试验

2.1 试件设计

图4为墙板的足尺试件,试件尺寸1440 mm×2300 mm,轻钢龙骨截面为150 mm×150 mm×4 mm的方钢管,采用Q355B钢。外层板从内到外依次采用12 mm厚硅酸钙板、防水透气膜和16 mm厚水泥纤维板,其中水泥纤维板划分为10块,每块尺寸为710 mm×460 mm。内层板采用纤维增强硅酸钙板。

2.2 试验方法

墙体本身的水密性试验参照现行国家标准《建筑幕



1—自攻螺钉; 2—金属连接件; 3—内层板; 4—轻钢龙骨; 5—硅酸钙板; 6—防水透气膜; 7—水泥纤维板; 8—PE棒及密封胶

图2 新型轻钢龙骨装配式复合墙板的构造示意图
Fig. 2 Structure diagram of new light steel keel prefabricated composite wall panel

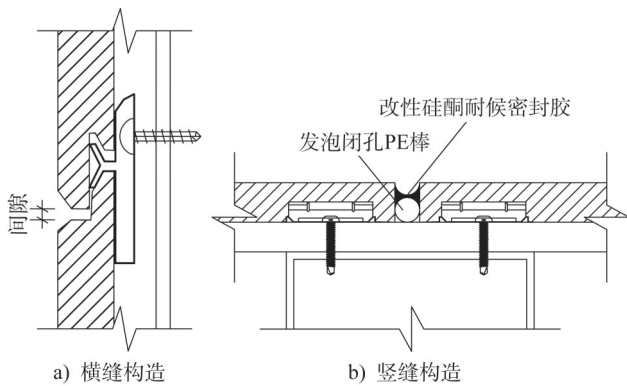


图3 墙板横缝和竖缝构造

Fig. 3 Construction of horizontal and vertical joints in wall panel

墙气密、水密、抗风压性能检测方法》(GB/T 15227—2019)^[11]规定的检测方法,采用稳定加压法,利用供压装置使墙板外层板两侧形成稳定压力差,模拟墙体试件受到不同风荷载作用时的状态。在施压的同时向试件室外侧淋水,模拟试件受到风雨同时作用。根据现行国家标准《建筑气候区划标准》(GB 50178—1993)^[12]中的规定,热带风暴和台风多发地区的水密性能指标按式(1)进行

表1 稳定加压顺序表

Table 1 Stable pressurization sequence table

加压顺序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
检测压力差/Pa	0	250	350	500	700	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
持续时间/min	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5

2.3 试验装置和测试方法

试验装置如图6所示,由试件、支座、淋水装置、供压装置、测量装置和检测装置组成。淋水装置包括水池、水管、喷嘴、方管支架和水泵,共设置5排15个喷嘴,喷嘴孔

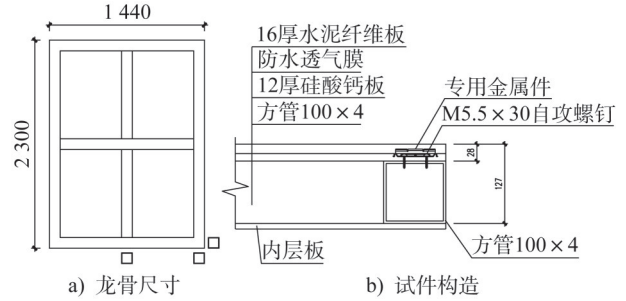


图4 墙板试件示意图(单位:mm)

Fig. 4 Schematic diagram of the wall panel specimen (unit: mm)

计算与设计:

$$P = 1\,000\mu_z\mu_cw_0 \quad (1)$$

式中: P 为水密性能指标; μ_z 为风压高度变化系数; μ_c 为风力系数; w_0 为基本风压。以上海地区高层建筑在50 m高度处为例,按照最不利地面粗糙度类别考虑,水密性能指标 $P=1\,340$ Pa。本次试验 $P_{\max}=3\,000$ Pa,是设计水密性能指标的2倍多。

试验首先进行预备加压,施加3个500 Pa的压力脉冲;然后,试件表面均匀淋水,淋水量为 $3\text{ L}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{min})^{-1}$,在淋水同时逐级施加稳定压力,加压顺序如表1和图5所示。试验过程中观察并记录各阶段墙板室内侧渗漏情况。

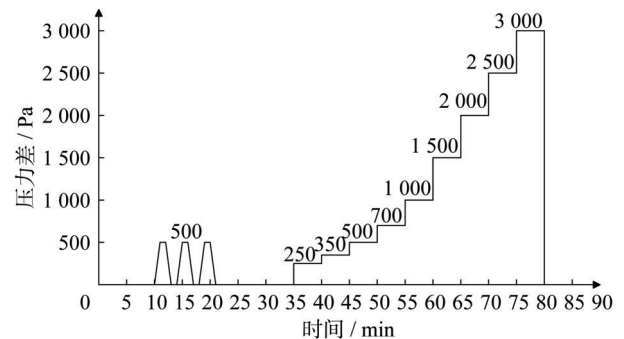


图5 加压顺序示意图

Fig. 5 Schematic diagram of pressurization sequence

径为0.8 mm,间距500 mm,距离试件约550 mm。供压装置包括供风设备、压力控制装置,在墙板室内侧安装硅酸钙板,形成密闭空间,并通过供风设备产生负压。

测量装置包括差压计、空气流量测量装置、水流量

计。试件室内侧硅酸钙板设置可开关的洞口以方便观测。采用目测法和化学试纸法观察墙板渗漏情况。化学

试纸法即在试件内表面搭接缝贴化学试纸,化学试纸遇水由蓝色转变为淡红色,则表示渗漏。

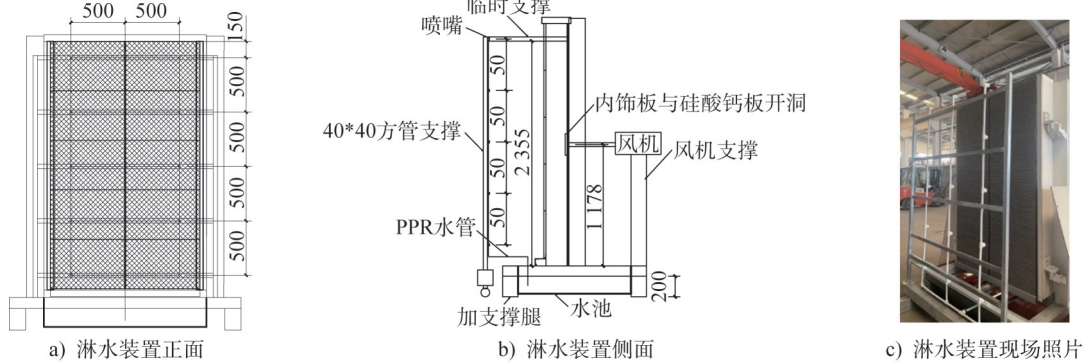


图6 淋水装置示意图(单位:mm)

Fig. 6 Schematic diagram of the sprinkler device (unit:mm)

2.4 试验结果

试验结果如表2所示,模拟风压最大达到3 000 Pa。在各级风压下,通过目测试件室内侧未发现明显渗漏现象,化学试纸颜色无变化。淋水结束后拆除外层板,纤维水泥板接缝和防水透气膜处均未见渗水,如图7所示。结果表明复合墙板具有良好的水密性能,在淋水量为 $3 L \cdot (m^2 \cdot min)^{-1}$ 、承受3 000 Pa以上风压的情况下,无渗漏情况发生,墙体水密性指标满足现行国家标准《建筑气候区划标准》(GB 50178—1993)^[12]的规定。

表2 各级风荷载下试件渗漏情况

Table 2 Leakage of specimen under wind load at all levels

检测压力差/Pa	时间/min	现象	化学试纸变化情况
0~500	0~25	无渗漏	无变化
0	25~35	无渗漏	无变化
250	35~40	无渗漏	无变化
350	40~45	无渗漏	无变化
500	45~50	无渗漏	无变化
700	50~55	无渗漏	无变化
1 000	55~60	无渗漏	无变化
1 500	60~65	无渗漏	无变化
2 000	65~70	无渗漏	无变化
2 500	70~75	无渗漏	无变化
3 000	75~80	无渗漏	无变化



图7 试验现象

Fig. 7 Test phenomena

3 不同间隙尺寸下墙面横缝渗漏的试验研究

构造防水是影响墙板防水性能的重要因素。轻钢龙骨复合墙板的横缝采用企口形式进行防水设计,企口间隙尺寸的不同会对墙体的防水性能产生影响。为了定量分析这一影响,采用前述淋水试验装置对不同间隙尺寸的墙面进行了水密性检测。

3.1 试件设计

试件构造如图8所示,对轻钢龙骨复合墙板构造做简化处理,水泥纤维板竖缝采取材料防水措施,横缝企口连接则未采取堵缝措施,重点关注企口构造的防水性能。

墙面安装如图9所示,其中图9a)为墙板横缝企口连接示意图,图9b)为5种不同的墙板之间横缝间距S0、S2、S3、S4、S5的分布,间距尺寸如表3所示,其中S0表示横缝之间无间隙。

3.2 试验方法

试验装置同图6,共进行三次淋水,每次淋水时间间隔1天,使墙板充分干燥。淋水流量、水压及淋水时间如表4所示。第一次、第二次淋水喷嘴孔径为1.2 mm,第三次淋水使用单个喷嘴,孔径为2.0 mm,并用单根管道连接至水泵,具体淋水参数见表4。

3.3 测试方法

同时采用目测法、化学试纸法和红外热成像法观察

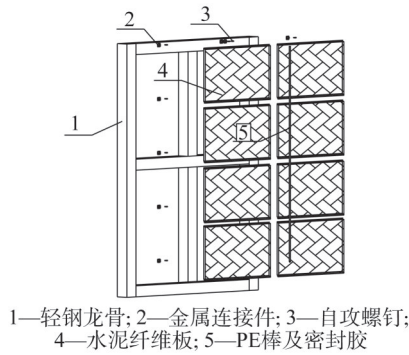


图8 试件构造示意图

Fig. 8 Schematic diagram of specimen construction

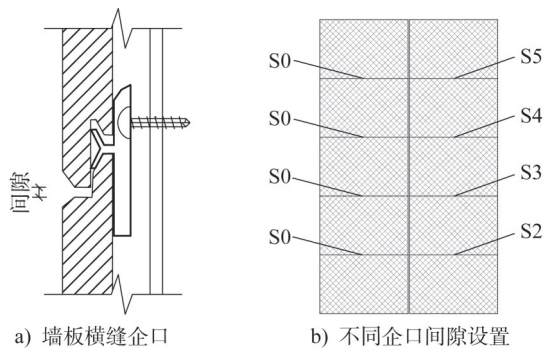


图9 试件横缝企口间隙设置示意图

Fig. 9 Schematic diagram of the groove clearance of the transverse seams of the specimen

表3 试件横缝编号

Table 3 The number of the transverse seams of the specimen

编号	S0	S2	S3	S4	S5
间隙尺寸/mm	0	2	3	4	5

表4 试验淋水参数

Table 4 Test watering parameters

淋水序号	喷嘴数量	水流量/ $L \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$	水压/kPa	淋水时间/ min
1	15	5.7	300	5
2	15	6.4	370	70
3	1	9.4	430	80

并记录不同淋水量和淋水时间下墙板的渗漏情况。热成像仪接收被测物的红外辐射形成热图像,用颜色表示温度高低,红色表示高温,蓝色表示低温,黄色、绿色表示中间值。由于水比墙体温度低并且水的比热容较大,因此渗漏部位相对周围墙体存在温度差。参考热图像可判别渗漏部位和渗漏程度。本文试验采用的红外热成像仪型号为Fluke Ti401,分辨率 640×480 ,热灵敏度 0.075°C ,

在距离试件5 m和1 m处拍摄。



图10 红外热成像照片拍摄

Fig. 10 Infrared thermal imaging photo shooting

3.4 试验结果

(1) 第一次淋水

淋水共持续5 min,淋水量为 $5.7 L \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$,淋水过程中试件室内侧无可观测的水流。化学试纸颜色变化情况如表5所示。

表5 第一次淋水试验化学试纸变化情况

Table 5 Changes in the chemical test paper during the first water spray test

时间	S5	S4	S3	S2	S0
1 min	无变化	无变化	无变化	无变化	无变化
2 min	逐渐变红	无变化	无变化	无变化	无变化
3 min	变红	逐渐变红	无变化	无变化	无变化
4 min	变红	变红	无变化	无变化	无变化
5 min	变红	变红	无变化	无变化	无变化

图11为每隔1 min拍摄的5 min内6幅热成像照片,图12给出了每分钟墙板横缝与墙体的温度差。通过分析试件各部位墙板及横缝温度可知,随着淋水的进行,试件室内侧温度整体下降,5 min平均下降 4.5°C ,横缝处温度下降较为明显。

对比图12和表5可知,当横缝与周围墙板的温差大于 2.5°C 时,可认为水分已进入横缝内部,表明发生了渗漏。试验结果表明,企口间隙对渗漏有显著影响。具体来说,当企口间隙达到5 mm(S5)时,墙板在2 min内发生渗漏;当企口间隙为3 mm(S3)时,墙板在5 min内发生渗漏;而当企口间隙小于或等于2 mm(S2、S0)时,5 min内未发生渗漏。因此,企口间隙越大,渗漏的可能性越高。

根据现行国家标准《建筑幕墙》(GB 21086—2007)^[13]附录D中的现场淋水试验方法,规定采用水压为200 kPa至235 kPa的喷嘴对幕墙表面的待测接缝进行连续往复喷水5 min,并观察是否发生渗漏。本次试验

中,当企口间隙小于2 mm时,5分钟内幕墙表面的待测接缝未发生渗漏。

因此,建议将轻钢龙骨复合墙板的横缝间隙控制在2 mm以下,以符合《建筑幕墙》(GB 21086—2007)^[13]中的相关要求。

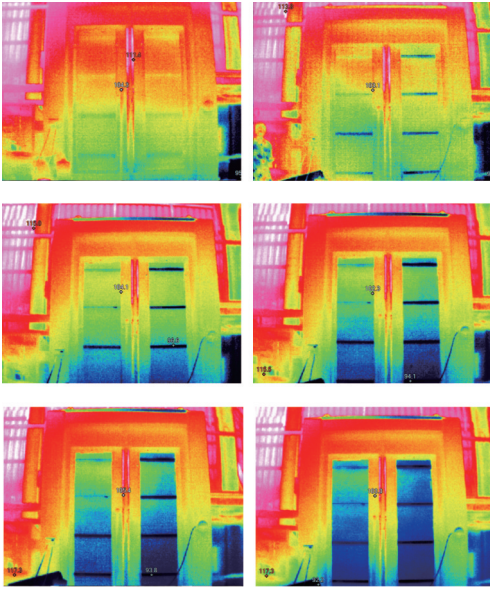


图 11 第一次淋水试验试件的热成像照片

Fig. 11 Thermal imaging photos of the specimen during the first water spray test

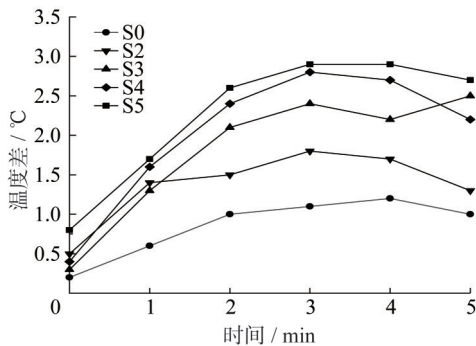


图 12 墙板横缝与墙体温度差

Fig. 12 Temperature difference between wall panel transverse seams and wall

(2) 第二次淋水

淋水共持续70 min,淋水量为 $6.4 \text{ L} \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$,试件室内侧无可观测的水流。S5中化学试纸在2 min后变红,S0中化学试纸在35 min后逐渐变红。0~40 min每间隔5 min、40~70 min每间隔10 min用红外热成像仪对试件室内侧和横缝S5、S0拍摄热成像照片,如图13所示。试件室内侧温度70 min平均下降 $4.9 \text{ }^\circ\text{C}$,10 min内温度下降幅度较大,10 min后温度趋于稳定。S5、S0相对周围墙板温差如图14所示,5 min时,S5与周围墙板温差达到

最大值 $3.5 \text{ }^\circ\text{C}$,此时已经发生渗漏;5 min内最大温差大于第一次淋水,表明淋水量对墙板渗漏有较大影响;5 min后温差下降,保持在 $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右并缓慢增长。S0与墙板温差一直保持缓慢增长,35 min时达 $2.5 \text{ }^\circ\text{C}$,70 min达到最大值 $3.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。对比第一次淋水,S5与周围墙板温差最大值更大,原因是第二次淋水时的水流量更大。

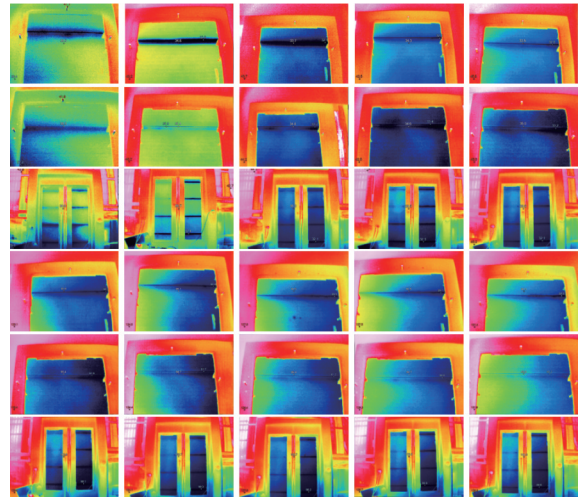


图 13 第二次淋水试验试件的热成像照片

Fig. 13 Thermal imaging photos of the specimen during the second water spray test

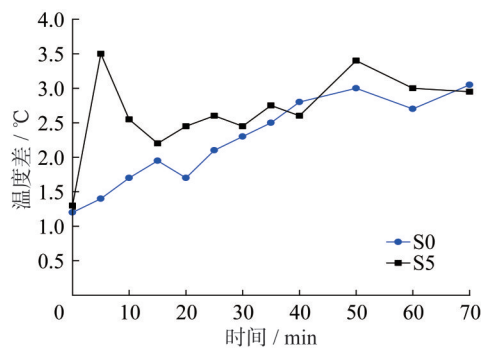


图 14 S0、S5与墙体温度差

Fig. 14 The temperature difference between S0, S5 and wall

(3) 第三次淋水

淋水共持续80 min,淋水量为 $9.4 \text{ L} \cdot (\text{min} \cdot \text{m}^2)^{-1}$,试件室内侧无可观测的水流。S4、S5中化学试纸在1 min后变红。0~5 min每间隔1 min、5~40 min每间隔5 min、40~80 min每间隔10 min用红外热成像仪拍摄,如图15所示。试件室内侧温度70 min平均下降 $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$,15 min内温度下降幅度较大,15 min后温度趋于稳定。S4、S5相对周围墙板温差如图16所示,1 min时,S5与周围墙板温差达到最大值 $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$,S4与周围墙板温差达到最大值 $4.5 \text{ }^\circ\text{C}$,此时已经发生渗漏;5 min后温差下降,保持在

2.5℃左右。对比前两次淋水,横缝与周围墙板温度差相对大小可反映渗漏程度。

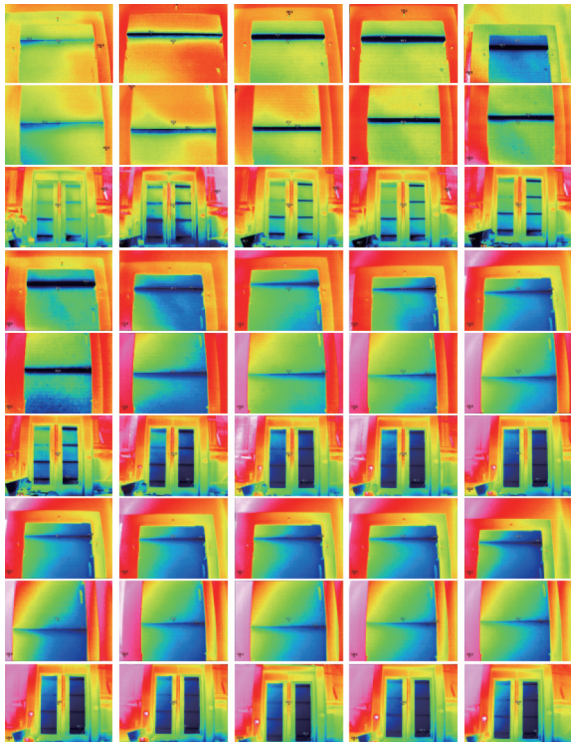


图 15 第三次淋水试验试件的热成像照片

Fig. 15 Thermal imaging photos of the specimen during the third water spray test

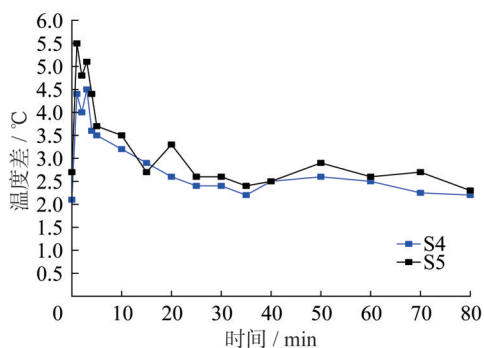


图 16 S4、S5与墙体温度差

Fig. 16 The temperature difference between S4, S5 and wall

5 结论

通过以上足尺试件风压下淋水试验和不同企口间隙的墙板淋水试验研究,可以得到如下结论:

(1) 水密性能试验研究表明,新型轻钢龙骨装配式复合墙板自身在风荷载下具有良好的水密性能,水密性能指标达 3 000 Pa,满足现行国家标准《建筑气候区划标准》(GB 50178—1993)^[12]对热带风暴和台风多发地区的水密性能指标的要求。

(2) 红外热成像检测方法可以有效判断墙板拼缝的渗漏。在本文试验条件下,当横缝与周围墙板温度差大于 2.5℃时,可判断拼缝已发生渗漏。红外热成像检测方法与化学试纸法、目测法结果吻合。

(3) 带横向企口的新型轻钢龙骨装配式复合墙板的水密性能受横缝间隙大小的影响较大。实际工程中,应确保墙板的安装精度,控制变形量,以保证横缝间隙在使用过程中保持在合理范围内。结合相关规范的要求和试验结果,墙面横缝间隙应控制在 2 mm 以下,以确保良好的防水性能。

参考文献:

- [1] 徐洪涛,张起维,刘星,等.建筑外墙防水理论研究[J].墙材革新与建筑节能,2019(12):3-11. DOI: 10.19801/j.cnki.1006-9135.2019.12.001.
XU Hongtao, ZHANG Qiwei, LIU Xing, et al. Theoretical study on waterproofing of building exterior walls [J]. Construction Wall Innovation & Building Energy-Saving, 2019 (12) : 3-11. DOI: 10.19801/j. cnki. 1006-9135. 2019.12.001.(in Chinese)
- [2] 杨霞,仲小亮.预制装配式建筑外墙防水密封现状及存在的问题[J].中国建筑防水,2016(12):16-18. DOI: 10.15901/j.cnki.1007-497x.2016.12.005.
YANG Xia, ZHONG Xiaoliang. Current situation and existing problems of waterproofing and sealing for prefabricated building external walls[J]. China Building Waterproofing, 2016(12): 16-18. DOI: 10.15901/j.cnki.1007-497x.2016.12.005.(in Chinese)
- [3] 屠军钢,康子健,田堃.浅谈装配式建筑外墙板接缝密封胶的选择[J].中国建筑防水,2017(22):27-29. DOI: 10.15901/j.cnki.1007-497x.2017.22.007.
TU Jungang, KANG Zijian, TIAN Kun. Brief discussion on sealant selection for external panel joint of assembled building [J]. China Building Waterproofing, 2017(22): 27-29. DOI: 10.15901/j.cnki.1007-497x.2017.22.007.(in Chinese)
- [4] 刘和鑫,王睿,张建民.装配式单层无保温外墙板接缝防水分析及改进措施研究[J].中国建筑防水,2019(1):33-38. DOI: 10.15901/j.cnki.1007-497x.2019.01.009.
LIU Hexin, WANG Rui, ZHANG Jianmin. Waterproofing analysis and improvement measures study for joints of prefabricated single layer external wall panel without insulation[J]. China Building Waterproofing, 2019(1): 33-38. DOI: 10.15901/j. cnki. 1007-497x. 2019.01.009. (in Chinese)
- [5] 王赞.预制混凝土外挂墙板防水问题及解决方案[J].建筑结构,2022,52(增刊1):1819-1822. DOI: 10.19701/j.jzjg.22S1103.
WANG Zan. Waterproofness problems and measures of precast concrete facade panel[J]. Building Structure, 2022, 52(Suppl.1): 1819-1822. DOI: 10.19701/j.jzjg.22S1103.(in Chinese)

- Chinese)
- [6] 刘新, 吴双九, 王禄, 等. 建筑压型金属板围护系统水密性能试验方法[J]. 工业建筑, 2016, 46(8): 127-129. DOI: 10.13204/j.gyjz201608026.
LIU Xin, WU Shuangjiu, WANG Lu, et al. Water penetration test method of exterior profiled sheet metal systems of buildings[J]. Industrial Construction, 2016, 46(8): 127-129. DOI: 10.13204/j.gyjz201608026. (in Chinese)
- [7] 罗晓群, 张锦东, 杨彬. 大变形下直立锁边屋面系统的水密性研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2019, 46(7): 45-54. DOI: 10.16339/j.cnki.hdxzbkb.2019.07.006.
LUO Xiaqun, ZHANG Jindong, YANG Bin. Research on water tightness of standing seam roof system under large deformation [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2019, 46(7): 45-54. DOI: 10.16339/j.cnki.hdxzbkb.2019.07.006. (in Chinese)
- [8] 庞森, 王长军, 王健, 等. 工程渗漏检测技术研究进展及展望[J]. 工业建筑, 2023, 53(增刊2): 883-888.
PANG Sen, WANG Changjun, WANG Jian, et al. Research progress and prospect of engineering leakage detection technology [J]. Industrial Construction, 2023, 53 (Suppl.2): 883-888. (in Chinese)
- [9] 杨晓虹, 许国东, 李天艳, 等. 红外热像技术在建筑渗漏检测中的应用[J]. 工程质量, 2010, 28(5): 24-26.
YANG Xiaohong, XU Guodong, LI Tianyan, et al. Infrared thermograph technology applied in detecting building moisture [J]. Construction Quality, 2010, 28(5): 24-26. (in Chinese)
- [10] 黄炎龙, 孙晋. 基于静态压差法的装配式建筑防水性能检测研究[J]. 新型建筑材料, 2019, 46(1): 124-127.
HUANG Yanlong, SUN Jin. Research on waterproof performance detection of prefabricated building based on static differential pressure method [J]. New Building Materials, 2019, 46(1): 124-127. (in Chinese)
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 建筑幕墙气密、水密、抗风压性能检测方法: GB/T 15227—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration. Test Method of Air Permeability, Waterlightness, Wind Load Resistance Performance for Curtain Walls: GB/T 15227—2019 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2019. (in Chinese)
- [12] 国家技术监督局, 中华人民共和国建设部. 建筑气候区划标准: GB 50178—1993[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
National Bureau of Technical Supervision, Ministry of Construction of the People's Republic of China. Standard of Climate Regionalization for Architecture: GB 50178—1993 [S]. Beijing: China Planning Press, 1993. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 建筑幕墙: GB 21086—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, National Standardization Administration. Curtain Wall for Building: GB 21086—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. (in Chinese)