

复合防火自保温外模板抗折性能试验研究

郑贤贤¹,王二成^{1,2*},张京军¹,李传浩¹,李冲¹,赵阳¹

(1. 河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038;2. 河北省装配式结构工程技术研究中心,河北 邯郸 056038)

摘要: 为研究复合防火自保温外模板的抗折性能,对6个复合防火自保温外模板试件进行抗折试验,分析试件的破坏形态、受力性能、抗折强度以及抗折强度与弹性模量之间的相关性。结果表明:复合防火自保温外模板的破坏形态均表现为底部跨中砂浆层开裂,裂缝方向垂直于模板纵轴线且贯穿整个宽度;各试件的荷载-跨中位移曲线变化规律基本一致,最大荷载、抗折强度和弹性模量的均值分别为846.34 N、2.59 MPa、5 125 MPa,满足相应规范的要求,具有良好的抗折性能;复合防火自保温外模板的抗折强度与弹性模量在0.01水平上,相关系数 $R=0.972\ 5$,具有较强的线性相关性。

关键词: 复合防火自保温外模板;抗折性能;试验研究;弹性模量;抗折强度

中图分类号: TU545

文献标识码: A

Experimental Study on Flexural Behavior of External Formwork with Composite Fireproof and Self-insulation

ZHENG Xianxian¹, WANG Ercheng^{1,2*}, ZHANG Jingjun¹, LI Chuanhao¹, LI Chong¹, ZHAO Yang¹

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038, China;

2. Hebei Prefabricated Concrete Structure Technology Research Center, Handan, Hebei 056038, China)

Abstract: In order to study the flexural behavior of external formwork with composite fireproof and self-insulation, six specimens were tested under loading. The failure modes, mechanical properties, flexural strength and the correlation between flexural strength and elastic modulus of specimens were analyzed. The test results show that the failure patterns of external formwork with composite fireproof and self-insulation are all manifested as cracks in the middle span mortar layer at the bottom, and the crack direction is perpendicular to the longitudinal axis of formwork and runs through the whole width. The load-displacement curves of the specimens were basically consistent, and the average values of the maximum load, flexural strength and elastic modulus are 846.34 N, 2.59 MPa and 5 125 MPa, respectively, which meets the requirements of the requirements of the corresponding specifications and have good flexural behavior. The flexural strength and the elastic modulus of the external formwork with composite fireproof and self-insulation are at the 0.01 level ($R=0.972\ 5$), showing a strong linear correlation.

Key words: external formwork with composite fireproof and self-insulation; flexural behavior; experimental study; elastic modulus; flexural strength

为贯彻落实国家建筑节能政策,推进建筑节能与结构一体化技术的发展和运用,研发了一种新型复合防火自保温外模板。该模板具有保温、隔热、免拆除、可与墙体和装饰面层紧密集合等优点,并且采用无机防火保温板作为保温材料,其燃

烧性能达到A级,弥补了EPS模块保温免拆模板和XPS复合保温免拆模板燃烧性能的不足,完全适用于防火要求较高的建筑^[1]。目前,国内外对保温免拆模板已有大量相关试验与理论研究。何栋梁等^[2]对自然状态、标准状态和浸水24 h状态

收稿日期:2020-04-27

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(F2017402182)

作者简介:郑贤贤(1994-),女,山东济宁人,硕士研究生,研究方向为建筑结构抗震。

* 通讯作者:王二成(1981-),男,河北邯郸人,博士,副教授,主要从事装配式结构抗震方面的研究。

下的植物纤维保温免拆模板进行了抗折强度试验研究。卢健等^[3]制备了以铁尾矿为主要原材料的自保温免拆模板,并对其耐久性和粘结性能进行了试验研究。李晓光等^[4]对岩棉复合型(RWC)保温免拆模板的热工性能和抗弯性能进行了试验研究。刘元珍等^[5]研发的玻化微珠保温模板,具有良好的保温、隔热、耐老化性能,是一种轻型保温免拆模板。Biswas K 等^[6]对含低成本真空绝缘芯的复合泡沫真空保温板进行了热工性能测试和评估。吴志敏等^[7-12]对保温免拆模板的物理性能进行了深入研究,并取得了丰硕的成果。但目前,对保温免拆模板抗折性能方面的研究相对较少。

复合防火自保温外模板作为一种集防火、保温、免拆除等特点为一身的新型建筑模板,操作简便,只需安装无需拆卸,因此模板本身需要具有一定的抗折强度以保证在运输和施工过程中的受损要求。为研究复合防火自保温外模板的抗折性能,本文对 6 个复合防火自保温外模板试件进行抗折试验,分析试件的破坏形态、受力性能、抗折强度以及抗折强度与弹性模量之间的相关性,为复合防火自保温外模板的工程应用和推广提供一定参考价值。

1 试验材料

对 6 个复合防火自保温外模板试件进行抗折试验,编号分别为 B-1—B-6。试件截面标准尺寸为 1 200 mm×100 mm×70 mm。试件宽度在试件长边中心位置处测量;厚度在试件长边的两端距离端部 100 mm 处测量,计算时取两点算术平均值,试件具体尺寸如表 1 所示。本次试验所用复合防火自保温外模板是以 A 级无机防火保温板为芯材,表面布置耐碱玻璃纤维网格布、粘结砂浆层和抗裂砂浆层,经一次辊压成型的新建建筑外墙保温产品。该复合防火自保温外模板的多层构造设计形式为:无机防火保温板为芯材,保温板外表面依次设置外第一道耐碱玻璃纤维网格布、外粘结砂浆层和抗裂砂浆层;内表面依次设置内第一道耐碱玻璃纤维网格布、内粘结砂浆层。其中,内、外粘结砂浆层和抗裂砂浆层中分别夹有内第二道耐碱玻璃纤维网格布、外第二道耐碱玻璃纤维网格布和外第三道耐碱玻璃纤维网格布。复合防火自保温外模板的详细构造如图 1 所示。本次试验研究所用的复合防火自保温外模板的主要性能指

标见表 2。

表 1 试件尺寸

Tab. 1 Specimen dimension

试件 编号	支座跨距 l_1 /mm	试件宽度 b /mm	试件厚度/mm		
			t_1	t_2	$\bar{t}$
B-1	1 000	100.02	70.02	70.02	70.02
B-2	1 000	100.08	70.00	70.04	70.02
B-3	1 000	100.02	70.08	70.04	70.06
B-4	1 000	100.10	70.02	69.98	70.00
B-5	1 000	100.08	70.02	70.06	70.04
B-6	1 000	100.04	70.06	70.10	70.08

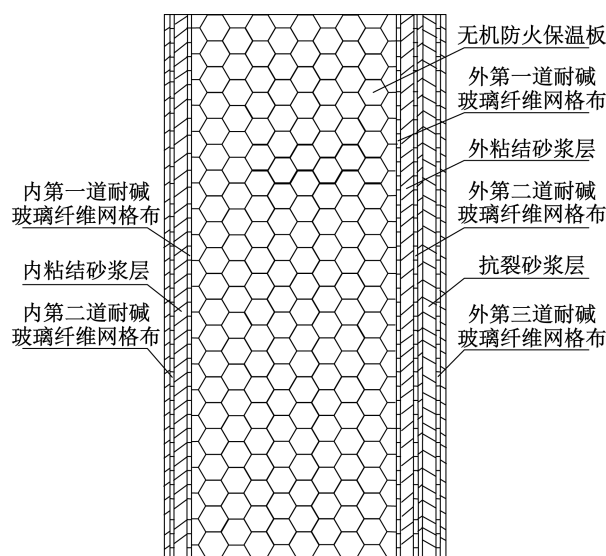


图 1 试件构造详图

Fig. 1 Specimen construction details

2 试验方法

2.1 加载装置与加载制度

试验所用设备为微机控制电子万能试验机(型号:WDW10)。抗折强度及弹性模量的测定依据 GB/T 17657—2013^[13]进行,采用三点测试法。其测试原理是通过在两点支撑的试件中部施加载荷来进行三点弯曲的抗折强度和弹性模量的测定。试验时直径为 30 mm 的两支承辊的跨距调节为 1 000 mm,将模板与现浇混凝土接触面朝上平放在支承辊上,并使支承辊垂直于该模板长轴方向。为了确保在复合防火自保温外模板整个宽度方向施加竖向荷载,试验所用加荷辊的长度应与该模板宽度相同。将加荷辊与支承辊平行放置,并使加荷辊与试件中心线重合。加荷辊与支承辊直径相同、宽度相同。试验加载装置如图 2 所示。

表 2 复合防火自保温外模板基本性能指标

Tab. 2 Basic performance index of external formwork with composite fireproof and self-insulation		
检测项目	标准要求	检测结果
抗风荷载性能	不小于工程风荷载设计值	6.0 kPa 下未见破坏
抗冲击性(单层网)	首层墙面以及门窗等易受碰撞部位:10 J 级;二层以上墙面等不易受碰撞部位:3 J 级	3 J
吸水量/(kg·m ⁻²)	≤1.0	0.5
耐冻融性能(30 次)	30 次冻融循环后保护层无空鼓、脱落,无渗水裂缝	2 h 试样冻融循环 30 次后,系统未出现空鼓、脱落,未发生裂缝现象
抹面层不透水性	2 h 不透水	2 h 试样内侧未出现水渍
耐候性	不得出现饰面层起泡或剥落、保护层空鼓或脱落等破坏,不得产生渗水裂缝	饰面层未出现起泡或剥落、保护层未出现空鼓和脱落等破坏,未产生渗水裂缝

在试验过程中加荷辊以 0.125 mm/s 的速率匀速加载,直至试件断裂为止。记录试件破坏时的荷载值、断裂形式以及最大挠度。

2.2 测点布置与量测内容

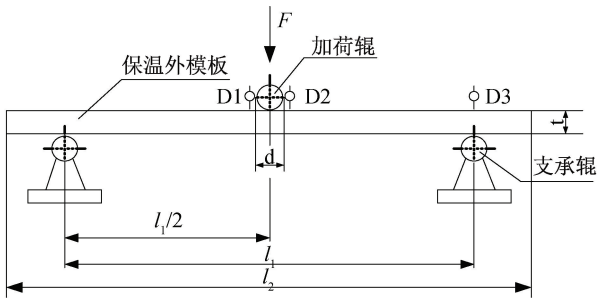
百分表布置如图 2 所示。在加荷辊两侧各布置一个百分表,编号分别为 D1、D2,用于测量试件跨中位置处的竖向位移;在试件一端支承辊上方布置一个百分表,编号为 D3,用于记录支承辊处的沉降。在荷载作用下试件的跨中总位移等于跨中竖向位移减去支承辊处的沉降值。试验前需检查百分表是否能够正常工作,并通过磁力表座将百分表固定。

3 试验结果及分析

3.1 试验现象及破坏形态

复合防火自保温外模板的破坏过程可以分为弹性工作阶段和裂缝发展阶段。试件 B-1—B-6 的破坏现象基本一致。加载初期,试件处于弹性工作阶段,试件所受荷载随着跨中挠度的增加而增加,表面没有任何明显变化;加载至接近极限荷载时,试件底部跨中砂浆层出现细微裂缝,如图 3(a)所示;此后,试件进入裂缝发展阶段,裂缝逐渐向上延伸、变宽形成主裂缝,并在主裂缝的两侧一定范围内出现几条与其平行的次裂缝,裂缝方向垂直于模板纵轴线且贯穿整个宽度,如图 3(b)所示;继续加载,试件沿主裂缝发生断裂,如图 3(c)所示,加载结束。在整个加载过程中,复合防火自保温外模板跨中挠度较大,两端及其它位置无任何损伤。

复合防火自保温外模板破坏时砂浆层断裂且耐碱玻璃纤维网格布连接在一起。从试验现象可以看出:复合防火自保温外模板出现主裂缝之后,



(a) 加载装置示意图



(b) 加载现场

图 2 加载装置与百分表布置

Fig. 2 Loading device and dial indicator arrangement

试件没有立即丧失承载能力。说明:复合防火自保温外模板外侧布置的三层耐碱玻璃纤维网格布可以起到内力传递和内力重分布作用,有效地防止了模板发生脆性断裂。

3.2 试验结果分析

各试件的荷载-跨中位移($F-\Delta$)曲线如图 4 所示。从图中可以看出,6 个试件的荷载-跨中位移曲线变化规律基本一致。在加载初期,试件的荷载-位移曲线基本呈线性变化,曲线斜率比较

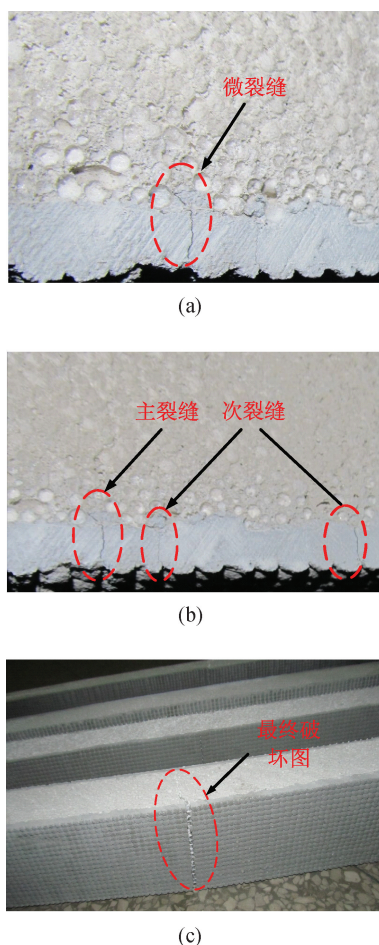
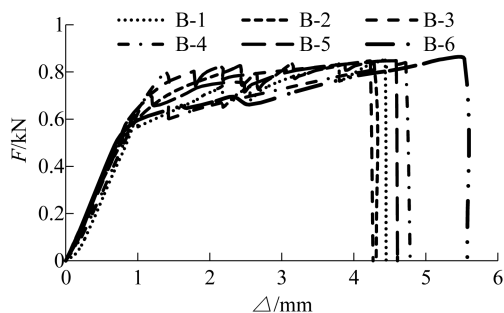


图3 试件破坏形态

Fig. 3 Failure patterns of specimens

大,此时的底部砂浆层处于弹性工作阶段;随后,曲线出现微小的波动,其原因是随着挠度的逐渐增大,加荷辊挤压复合防火自保温外模板上表面接触部位的粘结砂浆层,使之出现少量碎屑;继续加载,试件所受荷载增长变缓,曲线斜率变小,荷载-位移曲线再次出现微小波动,其原因是试件底部跨中出现第一条贯穿模板宽度方向的细微裂缝,部分砂浆层退出工作,此时试件进入裂缝发展阶段;最大荷载之后,荷载-位移曲线骤降,说明底部砂浆层发生断裂,试件丧失承载能力。

图4 试件荷载-跨中位移($F-\Delta$)曲线Fig. 4 Load-displacement curves of specimens at mid-span position($F-\Delta$)

4 抗折强度和弹性模量

4.1 抗折强度和弹性模量计算

抗折强度和弹性模量是建筑外墙保温板用材重要的力学性能指标。依据规范[13],复合防火自保温外模板的抗折强度 σ_b 计算公式如下所示:

$$\sigma_b = \frac{3F_{\max}l_1}{2bt^2} \quad (1)$$

式(1)中: σ_b 为试件的抗折强度; $F_{\max}$ 为试件破坏时最大荷载; l_1 为两支座间距离; b 为试件宽度; t 为试件厚度。

复合防火自保温外模板的弹性模量 E_b 计算公式如下所示:

$$E_b = \frac{l_1^3}{4bt^3} \times \frac{F_2 - F_1}{a_2 - a_1} \quad (2)$$

式(2)中: E_b 为试件的弹性模量; F_2-F_1 为荷载-位移曲线中直线段内荷载的增加量; a_2-a_1 为试件中部变形的增加量,即在力 $F_2 \sim F_1$ 区间试件变形量。

各试件破坏时的最大荷载、抗折强度和弹性模量如表3所示。

表3 试验结果

Tab. 3 Test results

试件 编号	最大荷载 $F_{\max}/N$	抗折强度 σ_b/MPa	弹性模量 E_b/MPa
B-1	850.17	2.60	5 251
B-2	836.94	2.56	4 727
B-3	847.04	2.59	5 104
B-4	839.26	2.57	4 927
B-5	848.49	2.59	5 265
B-6	856.11	2.61	5 473

由表3数据可得:复合防火自保温外模板的抗折强度与弹性模量的均值分别为2.59、5 125 MPa,满足规范DB43/T 1080—2015^[14]的要求,具有良好的抗折性能。

4.2 抗折强度和弹性模量分析

为探求复合防火自保温外模板的抗折强度与弹性模量之间的相关性,对6个试件的抗折强度与弹性模量进行线性回归分析。 σ_b 与 E_b 的回归曲线如图5所示,得到线性回归方程: $\sigma_b = 0.068E_b + 2.2383$,其相关系数 $R = 0.9725 > R_{4,0.01} = 0.917$,因此复合防火自保温外模板的抗折强度与弹性模量之间在0.01水平上具有较强的线性相关性。

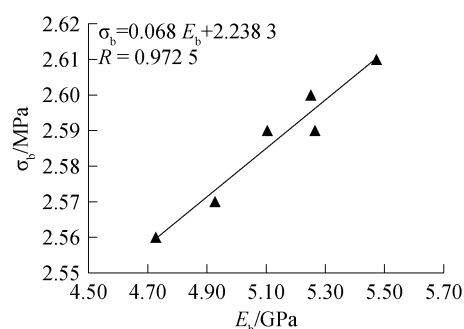


图5 抗折强度与弹性模量的相关性

Fig.5 Correlation between flexural strength and elastic modulus

5 结论

本文通过对6个复合防火自保温外模板试件进行抗折试验和分析,得出以下结论:

1)复合防火自保温外模板破坏时砂浆层断裂且耐碱玻璃纤维网格布连接在一起,试件没有立即丧失承载能力。说明:耐碱玻璃纤维网格布可以起到内力传递和内力重分布作用,防止模板发生脆性断裂。

2)各试件的荷载-跨中位移曲线变化规律基本一致,最大荷载、抗折强度和弹性模量的均值分别为846.34 N、2.59 MPa、5 125 MPa,满足相应规范的要求,说明复合防火自保温外模板具有良好的抗折性能。

3)复合防火自保温外模板的抗折强度与弹性模量在0.01水平上,相关系数 $R=0.9725$,具有较强的线性相关性。

参考文献:

- [1] GB 50016—2014,建筑设计防火规范[S].
- [2] 何栋梁,杨伟军,成彦惠. 植物纤维保温免拆模板抗折强度试验研究[J]. 硅酸盐通报,2019,38(3): 872-877.
- [3] 卢健,李汇,蒋佑松,等. 铁尾矿制备自保温免拆模板及其性能研究[J]. 施工技术,2018,47(02): 50-53+102.
- [4] 李晓光,刘谨谨,裴秀卫,等. 岩棉复合型保温模板的设计及其性能分析[J]. 硅酸盐通报,2019,38(5): 1597-1603.
- [5] 刘元珍,李珠,苏冬媛. 玻化微珠保温板免拆墙模体系模板设计[J]. 新型建筑材料,2008(04): 59-62.
- [6] BISWAS K, DESJARLAIS A, SMITH D, et al. Development and Thermal Performance Verification of Composite Insulation Boards Containing Foam-encapsulated Vacuum Insulation Panels[J]. Applied energy, 2018, 228: 1159-1172.
- [7] 吴志敏,李明,黄伟,等. 木丝水泥板作为免拆模板及保温材料的应用技术研究[J]. 新型建筑材料,2014,41(7): 1-5.
- [8] 吴志敏,王书喜,陈龙,等. 一种保温免拆模板的开发及其工程应用[J]. 新型建筑材料,2018,45(8): 121-124.
- [9] 赵敏,高艳伟,王腾. EPS外墙外保温板的粘结性能试验研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2017,42(1): 52-59.
- [10] 宋长友,刘祥枝. EPS板和XPS板薄抹灰外保温系统综合对比分析[J]. 建筑节能,2014,42(1): 28-33.
- [11] KIRSCH A, OSTENDORF K, EURING M. Improvements in the Production of Wood Fiber Insulation Boards Using Hot-air/Hot-steam Process[J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2018, 76(4): 1233-1240.
- [12] KAIN G, LIENBACHER B, BARBU M C, et al. Evaluation of Relationships Between Particle Orientation and Thermal Conductivity in Bark Insulation Board by Means of CT and Discrete Modeling[J]. Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation, 2016, 6: 21-29.
- [13] GB/T 17657—2013,人造板及饰面人造板理化性能试验方法[S].
- [14] DB43/T 1080—2015,建筑用保温免拆模板[S].

(责任编辑 周雪梅)