

菱镁轻质墙板在水平荷载作用下的试验研究

孙跃东^{1,2}, 王康^{1,2}, 赵建超^{1,2}

(1. 山东科技大学 山东省土木工程防灾重点实验室, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 土木工程与建筑学院, 山东 青岛 266590)

摘要:采用3 300 mm×4 500 mm的足尺现浇混凝土框架内嵌菱镁轻质墙板,内嵌墙板考虑未开洞和开洞两种情况,通过施加水平荷载来模拟风荷载,研究菱镁轻质墙板在不同高度处风荷载作用下的破坏形态和受力性能。试验表明:在水平荷载作用下,菱镁轻质墙板具有良好的受力性能和变形能力,能够满足作为外墙使用所需的强度和变形能力,用作高度100 m以内的建筑物外墙是可行的。采用有限元分析程序ANSYS进行数值模拟,数值模拟和试验结果吻合较好。

关键词:菱镁轻质墙板;水平荷载;风荷载;位移;数值模拟

中图分类号:TU317

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)01-0086-06

Experimental Study on Magnesium Lightweight Wallboard Under Horizontal Load

Sun Yuedong^{1,2}, Wang Kang^{1,2}, Zhao Jianchao^{1,2}

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Mitigation,

Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 2. College of

Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: A 3 300 mm×4 500 mm full-scale cast-in-situ concrete frame embedded by magnesium lightweight wallboard was designed for this study. The two cases of embedded wallboard with and without opening were respectively considered. Horizontal load was applied to simulate the wind load, and the cracking and ultimate bearing capacity of magnesium lightweight wallboard under wind load at different heights was experimented. The test shows that magnesium lightweight wallboard has good mechanical properties and deformation capacity under the horizontal loads. This can meet the strength and deformation requirement of the exterior wall of the buildings. The feasibility of the magnesium lightweight wallboard used as external wall of buildings within 100 m was proved. The finite element analysis program ANSYS was established to analyze the distribution of internal force and displacement, and the simulation value and experiment value proves to agree well with each other.

Key words: magnesium lightweight wallboard; horizontal load; wind load; displacement; numerical modeling

菱镁轻质墙板具有轻质、隔音、隔热、绿色环保等优点,广泛应用于建筑物内隔墙,作为外墙使用的较少。目前研究较多的是轻质墙板对框架结构受力性能的影响,对轻质墙板本身承受水平荷载(如风荷载)的研究较少。李九阳等^[1]对夹芯复合墙板在水平荷载作用下的变形进行了有限元分析,结果表明新型复合墙板在水平荷载作用下的变形主要与墙板截面尺寸等有关,其中墙板厚度的影响最大;徐明霞等^[2]研究了均布荷载作用下复合墙板的计算方法,给出了复合墙板在水平均布荷载作用下的破坏模式和内力计算的简化公式。

如果菱镁轻质墙板作为外墙使用,除了需要满足耐久性和保温性能外,还要考虑风荷载的作用。为了探讨菱镁轻质墙板作为外墙在风荷载作用下的受力性能和变形能力,采用3 300 mm×4 500 mm的足尺现浇

收稿日期:2014-05-07

作者简介:孙跃东(1962—),男,山东梁山人,教授,博士,主要从事混凝土结构理论与应用方面的研究。

E-mail:sunydl236@126.com

混凝土框架内嵌菱镁轻质墙板,内嵌墙板考虑了未开洞和开洞两种情况。通过施加水平荷载来模拟风荷载,研究菱镁轻质墙板在水平均布荷载作用下的破坏形态和受力性能。用 ANSYS 有限元软件进行数值模拟,并对试验结果和数值模拟结果进行对比分析。

1 试验研究

1.1 试件设计

试验采用 1:1 现浇混凝土框架,框架内部镶嵌 7 块菱镁轻质墙板,板与板之间使用砌筑砂浆连接,上下两端用 U 型卡和单角钢与框架梁固定,框架基本结构尺寸见图 1。试验墙板采用青岛亿新达轻质墙板厂生产的菱镁轻质墙板,规格为 3 300 mm×600 mm×120 mm。菱镁轻质墙板的主要物理力学性能指标见表 1。

为了研究建筑物外墙开窗对墙板受力性能的影响,试验考虑了墙板未开洞和开洞两种情况,墙板开洞考虑了三种不同大小的洞口,洞口均位于墙板的中间位置,墙板编号和洞口尺寸见表 2。其中 W 为未开洞墙板,W1,W2 和 W3 为不同洞口尺寸的墙板。

表 1 菱镁轻质墙板主要物理力学性能指标^[3-4]

Tab. 1 The main physical and mechanical performance of magnesium lightweight wallboard

面密度/(kg/m ²)	软化系数	抗压强度/MPa	弹性模量/MPa	抗弯破坏荷载/板自重	抗冲击性能	吊挂力/N
≤110	≥0.8	7.61	4 840.2	6.87	≥8	≥1 000

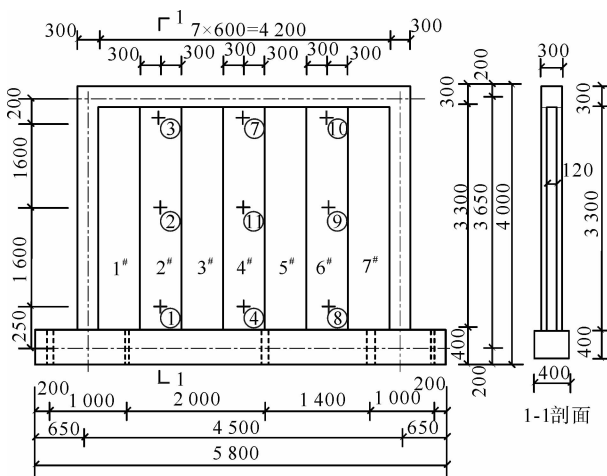
1.2 测点布置

为研究菱镁轻质墙板在水平荷载作用下的变形能力,在墙板不同位置布置位移测点,用于量测不同荷载作用下的水平位移。墙板 W 上共设置 9 个测点,测点位置见图 1。W1,W2 和 W3 墙板上共设置 10 个测点,墙板 W1 测点布置见图 2。试验采用的位移传感器型号为 YHD-50,静态采集仪型号为 DH3816。

表 2 菱镁轻质墙板的编号和开洞尺寸

Tab. 2 The number of magnesium lightweight wallboard and the hole size

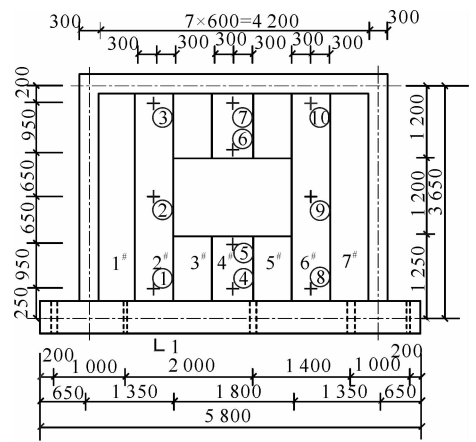
编号	W	W1	W2	W3
洞口尺寸/(mm×mm)	-	1 800×1 200	1 800×1 500	2 200×1 800



注: 1#~7#为墙板编号; ①~④、⑦~⑨为测点编号

图 1 框架和未开洞墙板(W)测点布置

Fig. 1 The framework and arrangement of monitoring points in W



注: 1#~7#为墙板编号; ①~⑩为测点编号

图 2 开洞墙板(W1)测点布置

Fig. 2 Arrangement of monitoring points in W1

1.3 试验荷载取值

试验模拟青岛市郊区环境,基本风压取 0.6 kN/m²,地面粗糙程度为 B 类。不同高度处风荷载标准值

按式(1)计算^[5]。

$$\omega_k = \beta_{gz} \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (1)$$

其中： ω_k —风荷载标准值，kPa； β_{gz} —风振系数； μ_s —局部风压体型系数，取 0.8； μ_z —风压高度变化系数； ω_0 —基本风压值，青岛地区 50 年一遇风压，取 0.6 kN/m²。

试验施加的集中力按式(2)计算。

$$F = \omega_k A \quad (2)$$

其中： F —集中荷载标准值(取整数)，kN； A —菱镁轻质墙板的受风面面积，m²。

计算所得不同高度处风荷载标准值和墙板施加的水平力见表 3，其中 H 为风荷载的计算高度。

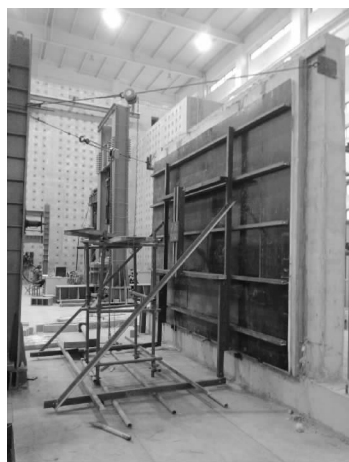
1.4 加载方式

为保证水平荷载均匀地施加在菱镁轻质墙板上，荷载采用分配梁施加。加载架由纵横交错的槽钢分配梁用螺栓连接组成，通过分配梁的五次分配，将集中荷载转换成水平布面荷载，试验加载装置见图 3。为减小由木质板不平整造成的试验误差，在木质板和菱镁轻质墙板之间粘贴一层泡沫板；在加载架的底部设置了滚动轴承，以减少加载架与地面之间的摩擦。加载方式采用手动千斤顶按照荷载由小到大分级加载，每级加载后静止 5 min，然后读取静态采集仪的数据，同时观察墙板裂缝的发展变化。

表 3 风荷载标准值 ω_k 和试验施加的水平集中力 F

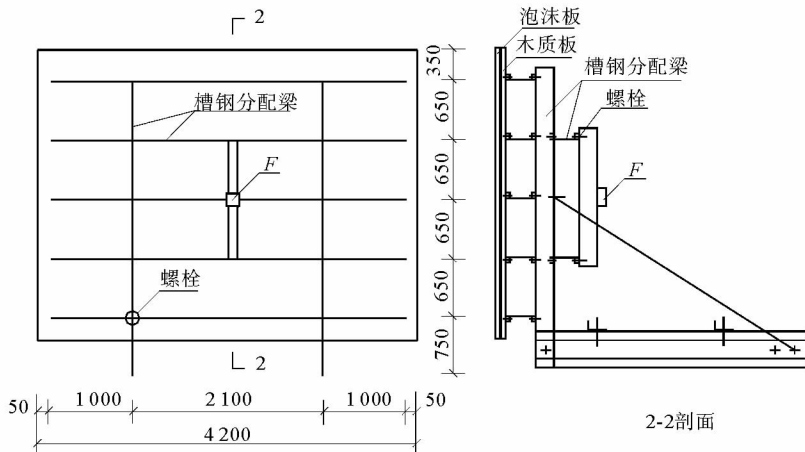
Tab. 3 Characteristic value of wind load (ω_k) and the level concentrated force (F)

序号	H/m	β_{gz}	μ_z	ω_k/kPa	F/kN
1	5	1.88	1.00	0.90	13
2	10	1.78	1.00	0.85	12
3	20	1.69	1.25	1.01	14
4	30	1.64	1.42	1.12	15
5	40	1.60	1.56	1.20	16
6	50	1.58	1.67	1.27	18
7	60	1.56	1.77	1.33	18
8	70	1.54	1.86	1.37	19
9	80	1.53	1.95	1.43	20
10	90	1.52	2.02	1.48	21
11	100	1.51	2.09	1.51	21
12	150	1.47	2.38	1.68	23



(a) 试验装置

(a) Test equipment



(b) 加载架

(b) Loading frame

图 3 试验加载装置

Fig. 3 Loading device

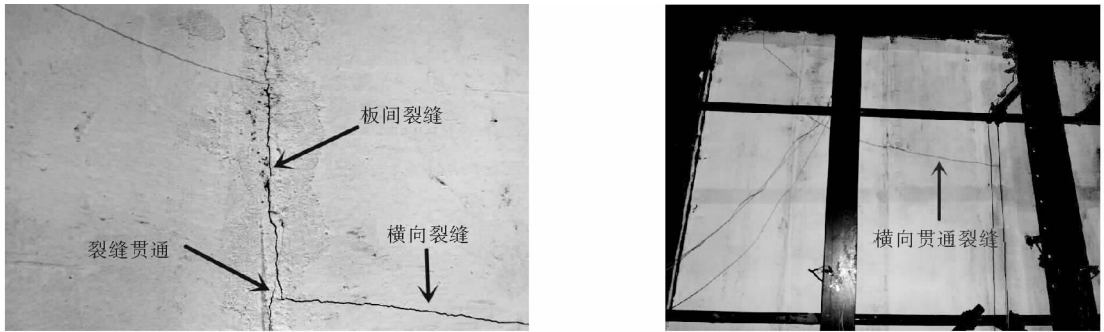
1.5 试验现象

当荷载较小时，所有墙板的水平位移都比较小，墙体没有开裂。对未开洞墙板(W)，荷载加载到 30 kN 时，2#板与 3#板的接缝处开始出现竖向裂缝，随后，5#板与 6#板的接缝处、1#板与 2#板的接缝处出现裂

缝;当荷载增加到 35 kN 时,4# 板体中部出现水平裂缝;随着荷载的增加,其他板陆续出现裂缝;加载到 45 kN 时,墙板裂缝从中部斜向贯通到顶部,水平方向上形成贯通 2#~6# 板的水平裂缝,裂缝分布的具体情况见图 4(a)和(b),图 4(b)中数据为墙板相应部位开裂时的荷载值,单位为 kN。

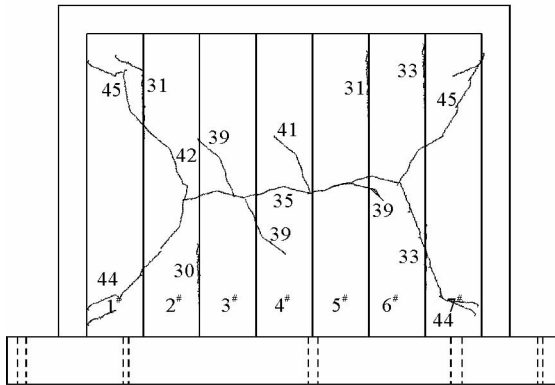
对开洞墙板(以 W1 为例),当荷载加载到 24 kN 时,首先在 2# 和 3# 板之间的接缝处出现裂缝;随后,其他相邻板之间的接缝处也陆续出现裂缝;荷载增加到 27 kN 时,4# 板体出现由洞口边缘处向远离洞口发展的斜裂缝;加载到 28 kN 时,洞口角部开始出现裂缝;当加载到 41 kN 时墙板突然破坏,裂缝开展的具体情况见图 4(c)。

未开洞墙板和开洞墙板临近破坏荷载时位移计急剧增大,整个破坏过程没有明显预兆,属于脆性破坏。



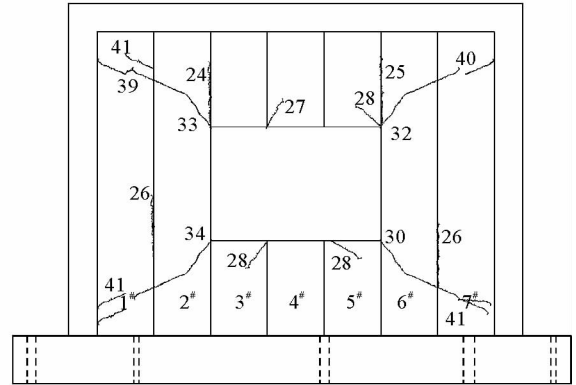
(a) 菱镁轻质墙板裂缝

(a) Cracks of magnesium lightweight wallboard



(b) 墙板W的裂缝开展(单位: kN)

(b) Cracks development of magnesium lightweight wallboard in W



(c) 墙板W1的裂缝开展(单位: kN)

(c) Cracks development of magnesium lightweight wallboard in W1

图 4 菱镁轻质墙板裂缝的开展

Fig. 4 Cracks development of Magnesium lightweight wallboard

1.6 荷载位移曲线

根据试验测得的荷载和不同测点的水平位移值,绘制出墙板的荷载-位移曲线(以 W 和 W1 为例)见图 5。从图 5 可知,在水平荷载作用下,菱镁轻质墙板的位移随荷载的增加而增大。当荷载小于 24 kN 时,荷载-位移曲线基本成线性关系;开裂以后,位移增加的速度明显加快;墙板跨中部测点的位移明显大于其他部位测点的位移;开洞对远离洞口的测点影响较小。

1.7 特征荷载和特征位移

根据试验得出的开裂荷载、开裂位移、破坏荷载和破坏位移列于表 4。定义 α 为开洞墙板与未开洞墙板特征荷载的比值, β 为延性系数(破坏位移与开裂位移的比值),各墙板的延性系数见表 4。从表 4 可知,未开洞墙板的开裂荷载和破坏荷载最大,延性也较好;随着墙板开洞尺寸的加大,开裂荷载和破坏荷载逐渐减小,

延性逐渐降低。和未开洞墙体相比,开洞墙板的开裂荷载降低 23%~40%,破坏荷载降低 9%~33%。未开洞墙板的延性系数为 2.21,表明菱镁轻质墙板虽然为脆性材料和脆性破坏,但仍然具有一定的延性。

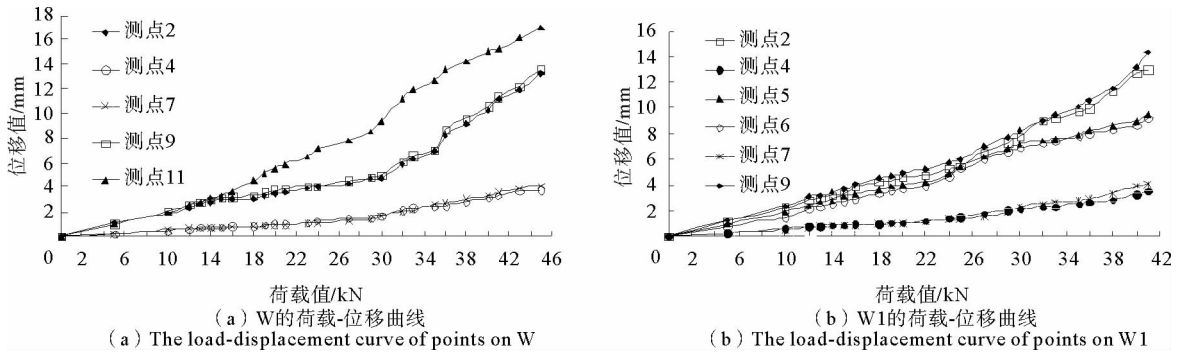


图 5 菱镁轻质墙板荷载-位移曲线

Fig. 5 The load-displacement curve of points on magnesium lightweight wallboard

表 4 特征荷载和特征位移

Tab. 4 The characteristic loads and characteristic displacements

试件编号	开裂荷载		破坏荷载		开裂位移/mm	破坏位移/mm	β
	试验值/kN	α	试验值/kN	α			
W	35	1.00	45	1.00	7.03	15.56	2.21
W1	27	0.77	41	0.91	6.95	14.43	2.08
W2	25	0.71	37	0.82	6.85	12.69	1.85
W3	21	0.60	30	0.67	6.63	11.48	1.73

2 ANSYS 有限元数值模拟

2.1 有限元模型假定

1) 在风荷载作用下,墙板基本处于弹性状态,可按各向同性材料处理^[1]。

2) 菱镁轻质墙板作为外围护体系,在竖直方向上只考虑自重,在水平方向上只考虑风荷载,不考虑其他荷载(如地震荷载、偶然荷载)的作用。

3) 菱镁轻质墙板内嵌于框架中,与上下梁翼缘连接处由角钢固定,模型建立时,连接的上下边界处简化为固结。

4) 板与板之间采用砌筑砂浆连接,承受相同的均布荷载,又由于墙板在水平荷载作用下的位移值较小,可认为板之间可以协同工作,不考虑板之间的摩擦。

2.2 计算模型和单元选取

菱镁轻质墙板采用 Solid65 实体单元,弹性模量取 4 840.2 MPa^[3]。模型尺寸按照墙板实际大小建立,并考虑了四种不同开洞尺寸。单元尺寸最大为 50 mm,最小为 20 mm,尺寸比例控制在 3 : 1 范围内,单元均采用六面体,采用位移收敛准则,收敛精度取 5%,水平方向上,在墙板表面施加面荷载来模拟风荷载,分 12 步施加^[6-8],施加荷载的大小见表 3。

2.3 计算结果

开洞菱镁轻质墙板 W1 测点 9 的位移计算结果和试验结果见图 6,菱镁轻质墙板水平破坏荷载下位移分布云图见图 7。从图 6 可以看出,墙板的计算位移随着荷载的增大而增大,荷载较小时基本呈线性变化;计算曲线与试验曲线的变化趋势基本相同,数值相差不大。特征荷载与特征位移的计算值和试验值见表 5。

由表 5 可知,菱镁轻质墙板开裂荷载、破坏荷载、开裂位移、破坏位移和延性系数的计算值和试验值变化趋势相同,且相差不大。表明本文采用的 ANSYS 有限元模型,参数选取合理,计算数据准确,用 ANSYS 有限元分析软件能够较准确地模拟菱镁轻质墙板在水平荷载作用下的受力性能和变形能力。

3 结论

1)水平荷载作用下,未开洞与开洞菱镁轻质墙板的破坏属于脆性破坏。未开洞墙板的极限承载力

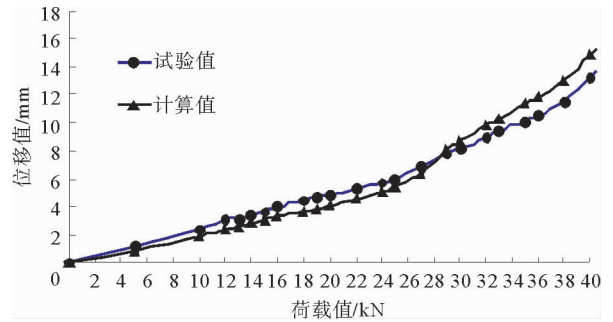


图 6 W1 测点 9 的位移

Fig. 6 The displacement of point 9 on W1

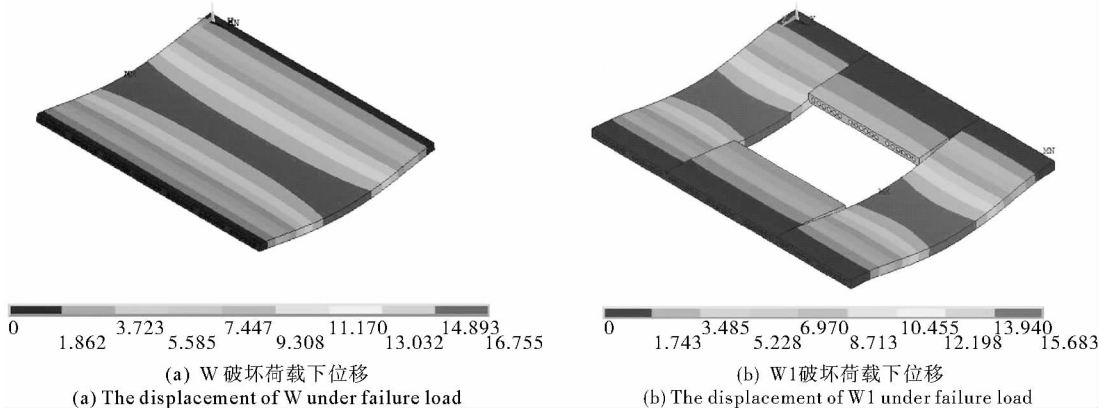


图 7 菱镁轻质墙板破坏荷载下位移分布云图

Fig. 7 Displacement contour of magnesium lightweight wallboard under failure load

表 5 试验值与计算值对比

Tab. 5 Comparisons between test results and calculate results

试件编号	开裂荷载/kN		破坏荷载/kN		开裂位移/mm		破坏位移/mm		延性系数	
	试验值	计算值	试验值	计算值	试验值	计算值	试验值	计算值	试验值	计算值
W	35	38	45	48	7.03	8.63	15.56	16.72	2.21	1.94
W1	27	29	41	43	6.95	8.22	14.43	15.68	2.08	1.91
W2	25	26	37	40	6.85	7.87	12.69	13.56	1.85	1.73
W3	21	23	30	35	6.63	7.63	11.48	12.22	1.73	1.60

要大于开洞墙板的极限承载力;开洞对墙板的受力性能有影响,随着开洞面积的增加,开裂荷载和破坏荷载降低,且位移增大,延性系数减小。

2)在水平荷载作用下,菱镁轻质墙板具有良好的受力性能和变形能力,能够满足作为外墙使用所需的强度和变形,可以作为高度不超过 100 m 的建筑物外墙使用。

3)计算结果和试验数据拟合较好,表明用 ANSYS 有限元能够较好的模拟菱镁轻质墙板的受力和变形性能。

4)本文仅研究了菱镁轻质墙板在水平荷载作用下的受力和变形性能,未考虑墙板表面的粘贴网格布、抹防裂砂浆和保温层对墙板受力和变形性能的影响。此外,菱镁轻质墙板作为外墙所需的耐久性、隔声、保温隔热性能有待进一步研究。