

以岩棉为芯材的 SIPs 力学性能试验研究

杜 强,卫 婧,吕 晶,王 宁

(长安大学 建筑工程学院,陕西 西安 710061)

摘 要:为了研究以岩棉为芯材的结构保温板(SIPs)力学性能及不同芯材厚度对其力学性能的影响,以定向刨花板(OSB)为面板,分别对 3 种不同芯材厚度的 SIPs 进行了抗拉、抗压和双剪切试验,得到了 SIPs 中不同厚度岩棉芯材的抗拉、抗压和抗剪强度与相应的应力应变曲线,并对其破坏形态进行了分析。研究表明:岩棉芯材试件受拉、受剪开裂后,强度不会立刻丧失,而是逐渐降低,直至试件被完全破坏;在抗压试验中,随着荷载的增加,试件产生明显的压缩变形,当变形达到 50%后卸载,试件有一定的回弹,但抗压能力基本丧失;不同芯材厚度对试件强度影响不同,随着芯材厚度的增加,试件的抗拉、抗剪强度有所降低,且随着厚度的增加边际减弱效果递减;当芯材厚度由 50 mm 增至 60 mm 时,抗拉、抗剪强度分别减少了 0.8 kPa 和 14.46 kPa;当芯材厚度由 60 mm 增至 150 mm 时,抗拉、抗剪强度分别减少了 1.63 kPa 和 7.1 kPa;而抗压强度随着芯材厚度的增加先增大后减小。以岩棉为芯材的 SIP 结构具有一定的承载能力,结合其良好的防火性能与耐久性能,在工程应用中可根据受力要求选用。

关键词:土木工程;结构保温板;岩棉;力学性能;试验研究

中图分类号:TU502.6

文献标志码:A

Experiment on mechanical properties of rock wool cored SIPs

DU Qiang, WEI Jing, LU Jing, WANG Ning

(School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: In order to investigate the mechanical properties of rock wool cored structural insulated panels (SIPs) and the effect of various thicknesses on its mechanical properties, this paper conducted the tensile, compressive and double shear tests on three different thickness SIPs respectively by taking oriented strand board (OSB) as faceplate. The mechanical strength and corresponding stress-strain curves were obtained in this study and failure mode were analyzed. The results show that the strength decreases gradually after cracking under tension and shear load until the failure of specimens. In compressive test, the obvious compression deformation can be observed with the load increasing, and springback occurs after unloading at the deformation degree by 50%. The increase of thickness lead to the reduction of tensile and shear strength. Meanwhile, the marginal effect diminishes. When the thickness increases from 50 mm to 60 mm, the tensile and shear strength decrease by 0.8 kPa and 14.46 kPa, respectively. When the thickness is enhanced from 60 mm to 150 mm, the tensile and shear strength reduce by 1.63 kPa

收稿日期:2016-01-20

基金项目:陕西省科技计划项目(2013KW13-01,2016JM5044);陕西省住房城乡建设科技科研开发计划项目(JQ201501);西安市建设科技计划项目(SJW2015-13,SJW2015-25);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2014G2280013,310828151065)

作者简介:杜 强(1981-),男,河南洛阳人,副教授,工学博士,E-mail:Q. Du@chd.edu.cn。

and 7.1 kPa, respectively. The compressive strength climbs up first and declines afterwards with thickness increasing. Rock wool cored SIPs system can be considered in engineering application for its load-bearing ability according to the structural requirements and its advantageous performance on fire resistance and durability. 3 tabs, 6 figs, 18 refs.

Key words: civil engineering; SIPs; rock wool; mechanical property; experimental study

0 引 言

结构保温板 (structural insulated panels, SIPs) 是一种由 2 片高性能面板粘合保温芯材组成的既发挥结构功能又具有保温功效的夹芯复合板材。由于其具有较高的强重比、良好的热工性能、施工的便捷性、可重复使用等方面的优势,已在欧美等国家得到广泛应用,并形成了相应的标准和图集。在中国大力倡导低碳发展与建筑工业化的背景下,作为一种低碳、节能、环保的新型建筑材料,SIPs 建筑体系逐步受到关注^[1-2]。

早在 20 世纪 30 年代,位于美国威斯康星州的美国森林实验室就对夹芯板展开了研究,发展至今,国外学者已对 SIPs 进行了一系列理论和试验研究,如 SIP 墙体在单调循环侧向、同心及偏心、爆炸荷载等荷载形式作用下的破坏模式,由飓风等自然灾害所卷起的碎片对 SIP 建筑外围护结构的影响,SIP 墙体抗侧压性能与洞口(窗户、门洞等)尺寸之间的关系等^[3-6]。以上学者均以全尺寸整体构件为研究对象,探讨了 SIPs 的整体结构性能。中国学者则主要以对聚苯乙烯(EPS)等有机保温材料为芯材的 SIPs 进行了保温、抗弯、抗剪、抗压、抗侧压和抗震等性能研究,表明其具有较好的力学性能与热工性能^[7-9]。然而,EPS 等有机保温材料的防火性能最高仅能达到 B1 级,且在大火作用下,面材强度未丧失前 EPS 芯材已部分融化,导致承载力降低,给以该类有机保温材料为芯材的 SIPs 应用埋下一定安全隐患^[10-11]。在 2015 年 5 月实施的《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014)中,对防火等级低于 A 级的保温材料应用范围进行了限制,以传统有机保温材料为芯材的 SIPs 也因此受限。相比较而言,岩棉作为一种有机材料,具有良好的防火性能,可达到 A 级防火标准,同时,其具有重度轻、隔音隔热性能好、使用周期长等优点,是一种理想的 SIPs 芯材^[12-13]。

SIP 材料的基本力学性能会显著影响 SIP 结构受力性能,而以岩棉为芯材 SIPs 力学性能的相关研究却鲜有报道。在实际应用中,不同节能设计会影响保温材料(芯材)厚度的选取,而芯材厚度会

对构件力学性能产生显著影响^[14]。为此,本文采用不同厚度岩棉为芯材,并以平整度好、不易产生翘曲的 OSB 板为面材,研究该体系 SIPs 抗拉、抗压和双剪切等力学性能。

1 试 验

1.1 试件设计

试件由面材、芯材及黏结面材与芯材的粘结剂组成。所选用 OSB 板的相关性能参数见表 1,芯材选用 50、60、150 mm 这 3 种厚度的岩棉板,重度 140 kg/m³,性能符合《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》(GB/T 11835—2007)要求^[15]。粘结剂选用 PU 胶,具有较高的粘结强度,可确保试件不会在粘结处破坏。

表 1 OSB 板相关性能参数
Tab. 1 Performance parameters of OSB

厚度/mm	长度方向静曲强度/MPa	宽度方向静曲强度/MPa	内结合强度/MPa
12	28	15	0.45

抗压、抗拉与双剪切试验分别依据 BS EN 1607—1997^[16]、BS EN 826—1996^[17]、BS EN 12090—1997^[18]的相关规定进行,试件编号、尺寸及数量见表 2。

表 2 试件编号、尺寸及数量
Tab. 2 Serial number, dimension and quantity of testing specimens

编号	长/mm	宽/mm	厚度/mm	数量
YT50	200	200	50	3
YT60	200	200	60	3
YT150	200	200	150	3
YC50	200	200	50	3
YC60	200	200	60	3
YC150	200	200	150	3
YS50	200	200	50	6
YS60	200	200	60	6
YS150	200	200	150	6

注:编号中 Y 代表岩棉芯材;T 代表抗拉(tensile);C 代表抗压(compression);S 代表剪切(shear);数字代表试件厚度(mm),其中,2 个双剪切试件构成 1 个试件组。

1.2 抗拉试验

试验加载设备为微控万能试验机,加载速度为

3 mm/min。抗拉试验依据 BS EN 1607—1997 进行,将制备好的试件置于试验机上,匀速加载,试件随荷载的增大产生明显的拉伸变形,并伴有岩棉内部纤维被撕裂;随着荷载的继续增长,试件底部边沿处岩棉首先被撕开,荷载达到峰值随后逐步降低,裂缝继续延展增大,直至岩棉全部被撕开,试件破坏,试验结束。加载前后试件形态对比如图 1 所示。

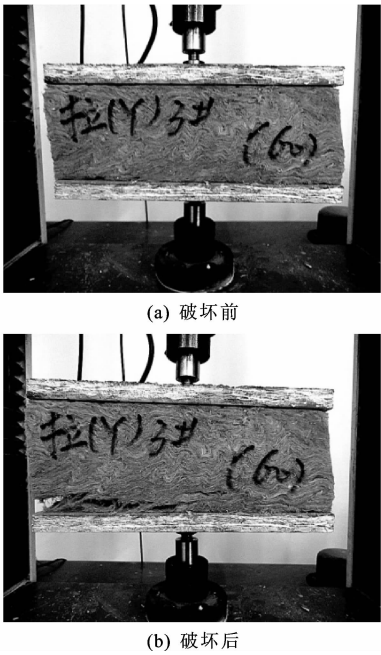


图 1 抗拉试验前后试件形态对比

Fig. 1 Comparison of form of specimen before and after tensile test

1.3 抗压试验

抗压试验依据 BS EN 826—1996 进行,将制备好的试件置于试验机上,匀速加载,试件随荷载的增大逐渐产生明显的压缩变形;预先规定当变形达到 50%后,停止加载,试验结束;卸载后试件有一定的回弹,但抗压能力基本丧失。加载前后试件形态对比如图 2 所示。

1.4 双剪切试验

双剪切试验依据 BS EN 12090—1997 进行,需要在试验机上增加双剪切试验辅助底座。开始加载后,试件组中部与 T 型板相连的部位首先被提起,试件另两侧由于被固定在双剪切底座上,试件组由中部拱起,并产生裂缝,荷载达到峰值;随着荷载持续增大,T 型板两侧的裂缝开展,荷载缓慢降低,最终岩棉被全部撕裂,T 型板连带被撕裂的岩棉被整体提出,试件破坏,试验结束。加载前后形态对比如图 3 所示。

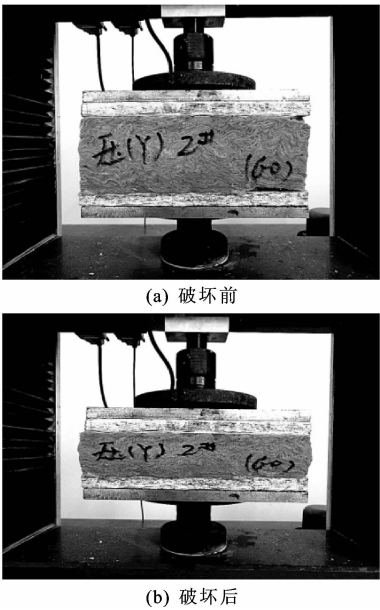


图 2 抗压试验前后试件形态对比

Fig. 2 Comparison of form of specimen before and after compressive test

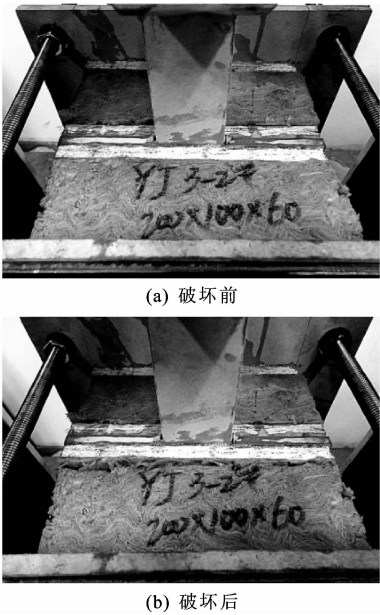


图 3 双剪切试验前后形态对比

Fig. 3 Comparison of form of specimen before and after double shear test

2 力学性能试验结果

在试验中,由于 OSB 板变形相对较小,因此仅考虑芯材变形。分别取抗拉和双剪切试件的应力峰值平均值为抗拉和抗剪强度,取抗压试件 10%应变时的应力平均值为抗压强度。抗拉、抗压和双剪切应力-应变曲线如下页图 4~图 6 所示。3 种厚度试件平均应力值及应变如下页表 3 所示。

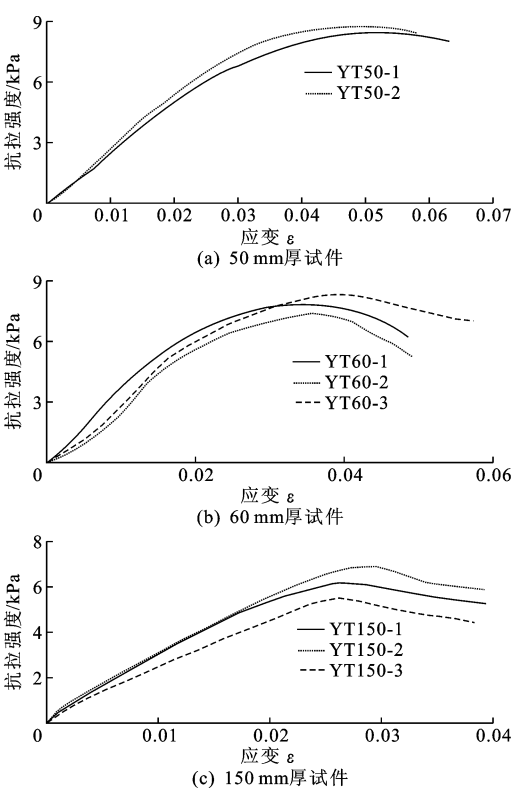


图 4 抗拉试验应力-应变曲线
Fig. 4 Tensile stress-strain curves

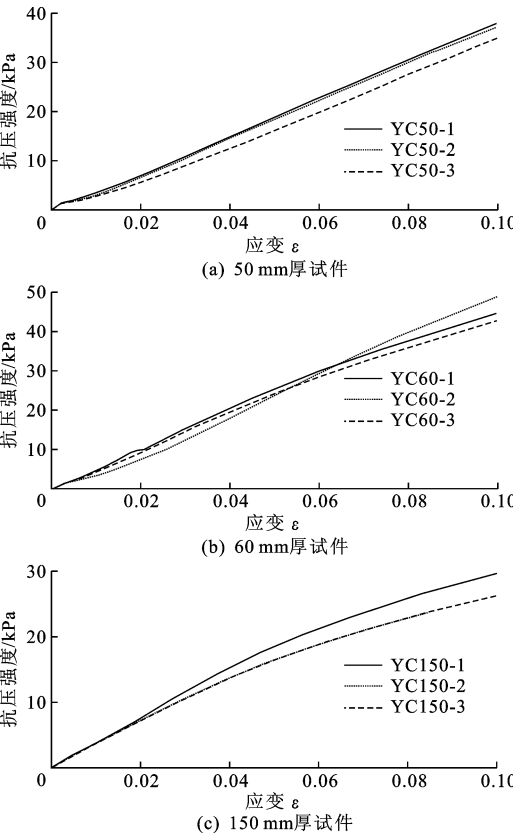


图 5 抗压试验应力-应变曲线
Fig. 5 Compressive stress-strain curves

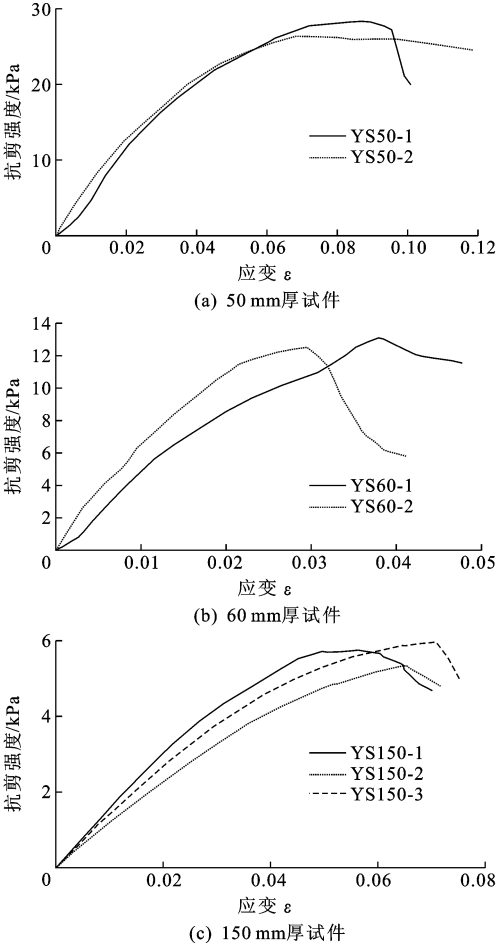


图 6 双剪切试验应力-应变曲线
Fig. 6 Double shear stress-strain curves

表 3 平均破坏应力值及应变

Tab. 3 Average failure stress and strain

试验	编号	YT50	YT60	YT150
	σ /kPa	8.64	7.84	6.21
抗拉	ϵ_m	0.044	0.040	0.027
	编号	YC50	YC60	YC150
抗压	$\sigma_{10\%}$ /kPa	36.98	45.51	27.63
	编号	YS50	YS60	YS150
双剪切	σ /kPa	27.25	12.79	5.69
	ϵ_m	0.090	0.034	0.064

注: σ 为应力; ϵ_m 为应变; $\sigma_{10\%}$ 为10%应变时的应力平均值。

3 分析与讨论

(1)由图 4 可知,岩棉芯材被拉裂后,抗拉强度不会立即丧失,而是逐渐降低,分析原因:初始弹性阶段,岩棉内部纤维未发生破坏;随着荷载的不断增大,内部纤维开始陆续被撕裂、拉断,抗拉强度开始减弱,直至试件被完全破坏,强度全部丧失。芯材抗拉强度随厚度的增加而明显减小(见表 3)。厚度从 50 mm 增至 60 mm,在厚度增加了 10 mm 的情况

下,强度值减小 0.8 kPa;从 60 mm 增至 150 mm 时,强度值减小 1.63 kPa,平均每 10 mm 减小 0.18 kPa,厚度的增加对其强度有一定的减弱效果,且随着厚度的增加边际减弱效果递减。

(2)由图 5 可知,抗压应力-应变曲线较为集中,且基本呈线性关系。随着岩棉厚度的增加,SIPs 抗压强度先增大再减小(见表 3),变化规律与试件厚度没有明显的线性关系。在压缩破坏后,岩棉有部分回弹,但已不具备承载力,主要原因是其内部多数纤维被挤压发生错位、受损及断裂等,原有内部结构遭到破坏,承载力因此丧失。

(3)由图 6 可知,岩棉芯材在双剪切破坏中,抗剪能力不会立即丧失而是逐渐减弱。岩棉在试件边角处开裂后,内部未被撕裂的岩棉纤维仍能够承受部分拉力,直到岩棉被全部撕裂,其强度才完全丧失。抗剪强度曲线有一定的离散性。由表 3 可得,随着试件厚度的增加,抗剪强度随之减小,厚度从 50 mm 增至 60 mm 时,强度值减小 14.46 kPa,从 60 mm 增至 150 mm 时,强度值减小 7.1 kPa,平均每 10 mm 减小 0.79 kPa,厚度的增加对其强度有一定减弱效果,且随着厚度的增加边际减弱效果递减。

4 结 语

(1)芯材厚度的增加对 SIPs 的抗拉强度有一定减弱效果,且随着厚度的增加边际减弱效果递减。

(2)随着岩棉厚度的增加,SIPs 抗压强度先增大再减小。在压缩破坏后,岩棉有部分回弹,但已不具备承载力。

(3)随着芯材厚度的增加,SIPs 抗剪强度随之减小,且边际减弱效果递减。岩棉芯材在剪切破坏中,抗剪能力随着荷载的增加逐渐减弱。

(4)试验研究表明,以岩棉为芯材的 SIP 结构具有一定的承载能力,结合其良好的防火性能与耐久性能,在工程应用中可根据受力要求选用。

(5)本文主要对岩棉芯材沿材料叠加方向的力学性能进行了分析,未对垂直于材料叠加方向的力学性能进行探讨,因此可以在这一方面展开进一步的研究,这对以岩棉为芯材的 SIPs 在实际工程中的应用推广具有重要意义。

参考文献:

References:

- [1] 黄 伟,张振中,赵 冬,等.几种新型工业化住宅结构体系综述[J].工业建筑,2012,42(8):121-127.
HUANG Wei, ZHANG Zhen-zhong, ZHAO Dong, et al. Review of several new residential structural sys-

- tems of industrialized[J]. Industrial Construction, 2012,42(8):121-127. (in Chinese)
- [2] 严 帅,刘伟庆,陆伟东,等. SIP 板式结构住宅体系[J]. 新型建筑材料,2010(8):35-39.
YAN Shuai, LIU Wei-qing, LU Wei-dong, et al. Study on SIP slab structure residential system[J]. New Building Materials, 2010(8):35-39. (in Chinese)
- [3] TERENCE S, MEMARI A. In-plane monotonic and cyclic racking load testing of structural insulated panels[J]. Journal of Architectural Engineering, 2012,18(4):261-275.
- [4] MOUSA M A, UDDIN N. Global buckling of composite structural insulated wall panels[J]. Materials and Design, 2011,32(2):766-772.
- [5] CHEN W S, HAO H, CHEN S Y, et al. Performance of composite structural insulated panel with metal skin subjected to blast loading[J]. Materials and Design, 2015,84:194-203.
- [6] CHEN W S, HAO H. Experimental and numerical study of composite lightweight structural insulated panel with expanded polystyrene core against wind-borne debris impacts[J]. Materials and Design, 2014, 60:409-423.
- [7] 秦培成,查晓雄,于 航.挤塑材料本构关系及其在夹芯板中的应用[J]. 建筑材料学报,2008,11(2):167-171.
QIN Pei-cheng, ZHA Xiao-xiong, YU Hang. Study on constitutive relationship model of plastic extrusion foam material and its application in sandwich panels[J]. Journal of Building Materials, 2008,11(2):167-171. (in Chinese)
- [8] 宋新武,查晓雄.建筑用绝热金属面夹芯板抗弯承载力的试验研究[J].工业建筑,2011,41(3):9-15.
SONG Xin-wu, ZHA Xiao-xiong. Experimental study on the bending capacity of metal surface insulating sandwich panels[J]. Industrial Construction, 2011,41(3):9-15. (in Chinese)
- [9] 余 敏,查晓雄,阳 松,等.聚氨酯/挤塑夹芯板力学性能的有限元分析[J].哈尔滨工业大学学报,2008,40(12):1914-1918.
YU Min, ZHA Xiao-xiong, YANG Song, et al. Finite element analysis on mechanical properties of polyurethane and XPS sandwich panel[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008,40(12):1914-1918. (in Chinese)
- [10] HOPKIN D J, LENNON T, EL-RIMAWI J, et al. Full-scale natural fire tests on gypsum lined structural insulated panel (SIP) and engineered floor joist assemblies[J]. Fire Safety Journal, 2011, 46(8):528-542.