

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2016.02.008



页岩烧结保温砌块砌体基本力学性能试验研究

王鹏,白国良,吴健,刘亚

(西安建筑科技大学 土木工程学院,西安 710055)

摘要:通过对页岩烧结保温砌块砌体轴心抗压、沿通缝抗剪、剪压复合抗剪性能试验研究,分析其破坏特征和破坏机理。试验结果表明:页岩烧结保温砌块砌体受压破坏时,在竖向灰缝附近形成主裂缝,接近极限荷载时砌体出现表皮剥落现象;沿通缝抗剪破坏模式主要为单剪破坏,脆性明显;剪压破坏有剪磨、剪压和斜压 3 种类型;实测轴心抗压强度平均值高于规范值,沿通缝抗剪强度、复合抗剪强度平均值低于计算值,并分别给出砌体轴心抗压强度平均值、抗剪、剪压复合受力抗剪强度平均值建议公式;剪压复合抗剪强度随着压应力的增大而增大;建立了页岩烧结保温砌块砌体受压应力-应变关系表达式;给出该类砌块的弹性模量和泊松比的建议值。

关键词:页岩烧结保温砌块;轴心抗压;沿通缝抗剪;剪压复合受力;应力-应变关系

中图分类号:TU362 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2016)02-0060-09

Experimental analysis of basic mechanical properties of shale fired heat-insulation block masonry

Wang Peng, Bai Guoliang, Wu Jian, Liu Ya

(School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: Experiments on axial compressive property, shear performance along horizontal bed joint and behavior under combined compressive and shear loadings were carried out to study the failure characteristics and failure mechanism of the shale fired heat-insulation block masonry. The results showed that the main cracks were formed nearby the vertical mortar joint when shale fired heat-insulation block were failed under axial compressive and the skin of masonry were fallen close to ultimate load. The main failure pattern of shear along horizontal bed joint of masonry was mainly single shear failure and its failure was obvious brittle failure. There were shear friction failure, shear compression failure and diagonal compression failure under combined compressive and shear loadings. Test average result of axial compressive strength was higher than code values; the average result of shear along horizontal bed joint and shear under combined compressive and shear loadings were lower than calculating values and the formula for were established separately.

收稿日期:2015-11-05

基金项目:国家科技支撑课题合作单位项目(2012BAJ19B04-02);陕西省社发重点项目(2015KTZDSF03-05-01);陕西省科技统筹创新工程重点实验室(后补助)项目(2014SZS04-Z01);西安市工业应用技术研发(高校院所技术转移推进)项目(CXY1426)

作者简介:王鹏(1990-),男,主要从事砌体结构、组合结构研究,(E-mail)wang070319@163.com

Received:2015-11-05

Foundation item: Project of National S&T Support Project Cooperation Unit(No. 2012BAJ19B04-02); Project of Social Development of Shaanxi Province (No. 2015KTZDSF03-05-01); Key Laboratory of Science and Technology Innovation Project of Shaanxi Province (Post Subsidy) (No. 2014SZS04-Z01); Industrial Application Technology Research and Development of Xi'an (University Institute of Technology Transfer Promotion) Project(No. CXY1426)

Author brief: Wang Peng (1990-), main research interests: masonry structure and composite structure, (E-mail) wang070319@163.com.

The strength of shear under combined compressive and shear loading increased with increasing axial pressure. The calculation formula of stress-strain relation of shale fired heat-insulation block masonry was established. Poisson ratio and elastic modulus of shale fired heat-insulation block masonry was proposed.

Keywords: shale fired heat-insulation block; axial compressive; shear along horizontal bed joint; shear-compression correlation; stress-strain relation

目前,砌体结构占据着中国村镇建筑的绝大部分份额。随着城镇化的不断推进,房屋建筑的缺口仍需要砌体结构来填补。但传统的粘土砖需要耗费大量的土地资源和宝贵能源并且污染环境。随着中国禁粘、禁实政策的逐步实施以及墙体材料改革的推进,一批代替粘土砖的新型墙体材料在市场上涌现,如混凝土空心砖、混凝土多孔砖(砌块)、页岩多孔砖(砌块)等等。

对于新型墙体材料的研究比较多样,如:Chikhi等^[1]利用枣椰树的纤维制造墙体材料,并对其力学性能和热工性能进行研究;Binici等^[2]利用土耳其丰富的向日葵秸秆和纺织废料制造面砖到达墙体保温隔热的目的;Wongkeo等^[3]以电厂炉渣代替沙子制作混凝土砌块并研究其抗压、抗弯和隔热性能;Sousa等^[4]对一种新型的混凝土砌块进行了力学性能和隔热性能的研究。

在中国,运用河道淤泥^[5]、工业废渣^[6]等制作多孔砖,但此类多孔砖保温隔热性能无法满足节能标准的要求。谢厚礼等^[7]通过对烧结页岩空心砌块热工性能的研究得出该类砌块可以满足节能65%的要求;白国良等^[8-10]对新疆产大尺寸页岩烧结保温砌块进行了力学性能和热工性能的研究,并得出该类砌块可以作为承重墙和热工性能优于其他多孔砖的结论。中国页岩资源丰富,以页岩为主要材料制作的页岩烧结保温砌块尺寸大、孔洞率高,具有节土、节能、保温隔热等优点,并且可以组成墙体自保温体系,但对其力学性能的研究刚刚起步。

本文拟通过对页岩烧结保温砌块砌体轴心抗压、沿通缝抗剪、剪压复合抗剪性能试验研究,掌握其受压、受剪破坏特征,建立该类砌块砌体受压应力-应变关系表达式,拟合该类砌块砌体轴心抗压平均值、沿通缝抗剪强度、剪压复合受力抗剪强度计算公式,计算其弹性模量和泊松比,为页岩烧结保温砌块的推广应用提供参考。

1 试验概况

1.1 试验材料

试验采用的页岩烧结保温砌块规格为240 mm×

200 mm×190 mm,孔型为矩形,孔洞率为50%,设计抗压强度为5 MPa,见图1。从制作砌体试件的备用砌块中随机选取10块进行砌块抗压试验,最后以算术平均值作为砌块的实际抗压强度,由表1可知该类砌块达到MU5。

表1 页岩烧结保温砌块抗压强度实测值
Table 1 Testing data of compressive strength

of shale fired heat-insulation block		MPa
序号	抗压强度 f	抗压强度平均值 f_m
f_1	6.84	5.55
f_2	6.08	
f_3	4.69	
f_4	5.98	
f_5	6.07	
f_6	5.24	
f_7	6.53	
f_8	4.43	
f_9	5.10	
f_{10}	4.53	

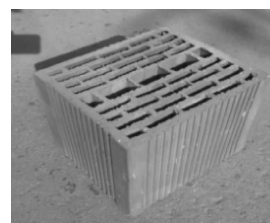


图1 页岩烧结保温砌块外形

Fig. 1 The profile of shale fired heat-insulation block

试验制作6个砂浆立方体抗压试块以测定其实际抗压强度,见图2。以试块实测值算术平均值的1.3倍作为试件的砂浆立方体抗压强度平均值,由表2可知配置砂浆满足试验要求。

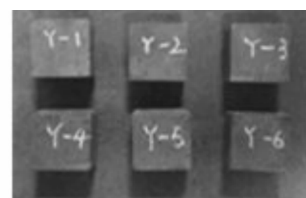


图2 砂浆立方抗压试件

Fig. 2 The cube compressive specimens of mortar

表 2 砂浆立方体抗压强度实测值

Table 2 Testing data of the compressive strength of mortar cube MPa

序号	抗压强度 f	抗压强度平均值 f_m
f_1	3.80	
f_2	3.95	
f_3	4.76	5.40
f_4	3.71	
f_5	4.30	
f_6	4.39	

1.2 试件设计与制作

由于《砌体基本力学性能试验方法标准》(GB/T 50129—2011)^[11](简称试验标准)未明确给出测量此类砌块基本力学性能的试件设计形式,试件参考小型混凝土砌块进行设计,取试件厚度为砌块厚度,宽度为 2 块砌块加灰缝厚度,高度为五皮砌块加灰缝厚度,截面尺寸为 410 mm×240 mm×990 mm,试验共设计 10 个页岩烧结保温砌块轴心受压砌体试件,分别编为 KY-1~KY10。抗剪、剪压试件采用三皮砌块组成的双剪试件,截面尺寸均为 410 mm×240 mm×590 mm。试验设计 10 个抗剪试件,分别编为 KJ1~KJ10。

对于剪压试件,考虑页岩烧结保温砌块空洞率高、自重较轻,砌体轴压比较小等特点,为研究页岩烧结保温砌块砌体在不同压应力下的抗剪性能及变化规律,根据不同压应力的分级,将试件划分为 3 组,每组 6 个,共 18 个剪压复合受力试件,设计压应力分别为 0.1、0.2、0.3 MPa,分别编为 JY1-1~JY1-6、JY2-1~JY2-6、JY3-1~JY3-6。

所有试件均砌筑在用细沙垫平的光面模板上,在模板上铺抹砂浆后开始砌筑。砌筑过程中严格执行先放线再砌筑的要求,每皮砌块砌筑时均用水平尺测量以保证水平度。为减小试验值受工人技术水平和试验条件的影响,所有试件均有一名中等技术水平的工人砌筑完成。抗压、抗剪及剪压复合受力试件砌筑方式及尺寸见图 3、4。

1.3 试验装置与试验方案

1.3.1 砌体受压试验 试验在 YAW-5000 型微机控制电液伺服压力试验机上进行。根据《试验标准》的规定,在抗压试件 2 个宽面的竖向中线上分别布置千分表,测量试件的纵向变形,测点跨越一个块体和两条灰缝,测点间的距离为 400 mm。在宽面的水平中线上分别布置千分表,测量横向变形,测点跨越

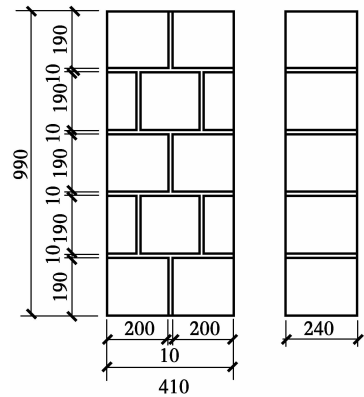


图 3 轴心抗压试件示意图

Fig. 3 The sketch map of axial compressive specimens

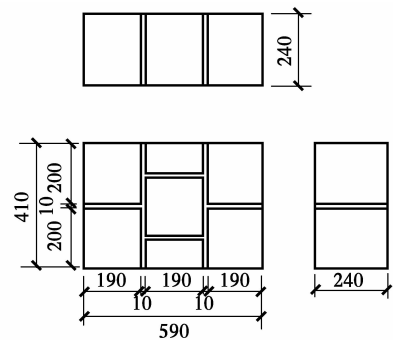


图 4 抗剪试件示意图

Fig. 4 The sketch map of shear specimens

一条竖向灰缝,距离为 300 mm,试验装置及加载图示见图 5。

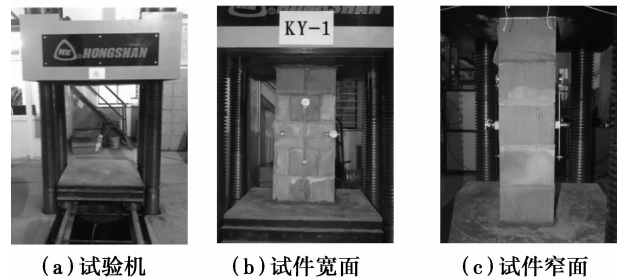


图 5 试验加载装置及轴心抗压试件

Fig. 5 The experimental engine and the axial compressive specimens

加载采取物理对中,分级均匀施加荷载的方法。试件安装就位后,预加载 5% 预估破坏荷载值以检查仪表的灵敏性和安装的牢固性;在 5%~20% 预估破坏荷载值区间内反复预压 3~5 次,确保两侧轴向变形的相对误差不超过 10%;预压结束后卸载并记录仪表初始读数,开始逐级加载并测量、记录变形值;加载至破坏荷载的 80% 时,拆除仪表并连续加

载直至破坏,记录破坏荷载值及破坏现象。

1.3.2 砌体抗剪试验 抗剪试验与抗压试验在同一试验机上进行,试验加载示意图 6。将试件的... 中心线与试验机的上下板轴线重合,在承载面铺垫钢板并用湿沙找平,使受力面与加载板紧密接触并... 确保受力方向与灰缝平行。加载过程中保证匀速连续加载,避免冲击,使试件在 1~3 min 内破坏,当有一个受剪面被剪坏时即认为试件破坏,记录试件破坏特征和破坏荷载值。

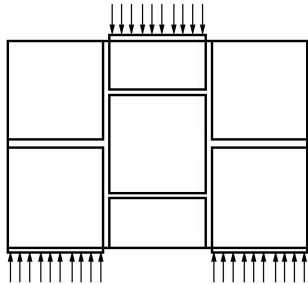


图 6 抗剪试件加载示意图

Fig. 6 The sketch map of shear specimen under shear

1.3.3 砌体剪压复合受力试验 剪压复合受力试验采用图 7 加载装置施加横向压应力,由压力试验机施加剪力。将加载装置放置在试验机下底板;将试件的... 中心线与试验机上下底板轴线重合;调整加载装置使千斤顶中心与试件中心重合;在承压面加... 设钢板保证试件受力均匀;通过千斤顶施加设计压... 应力;通过试验机匀速加载竖向剪力;当出现一个受... 剪面被剪坏或者砌体被压坏视为试件破坏,记录最... 大破坏荷载及破坏现象。

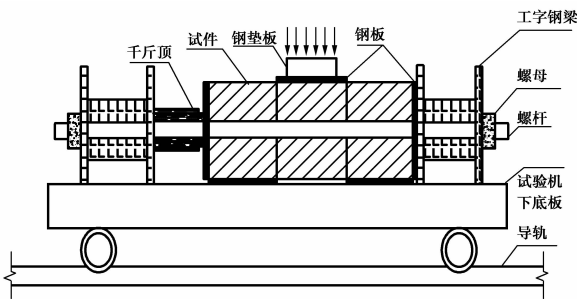


图 7 剪压装置

Fig. 7 The engine for specimen of shear-compression correlation

2 试验现象及试验结果

2.1 砌体抗压试验

页岩烧结保温砌块砌体轴心受压试验过程可分为 3 个阶段:

第 1 阶段:从开始加载到加至破坏荷载值 55% 左右时,试件处于弹性受力阶段,主要表现两宽面测量纵向变形的千分表读数呈线性增加,持荷时千分表读数保持稳定。

第 2 阶段:加载至破坏荷载的 55%~80% 时,裂缝首先在中间皮砌块竖向灰缝上部出现,横向和纵向变形呈现非线性增长,持荷时千分表指针仍缓慢移动。随着荷载的增加,时而听见砌体内发出“咯蹦”声,竖向中线附近出现新的细长裂缝,原有裂缝逐渐加宽并向上下发展。

第 3 阶段:继续加载,试件内部不断发出开裂声,裂缝充分发展,试件即将破坏。新裂缝几乎不再出现,原有裂缝迅速加宽延伸几乎贯穿整个砌体,最终在竖向灰缝附近形成贯通整个试件的主裂缝。当达到极限荷载时,压力读数显著下降,随着一声响动,砌体被分割为若干立柱,试件宣告破坏。

综合来看,试件的破坏形态有以下 3 类:多数试件在宽面竖向中线附近形成主裂缝,最终砌体被分割成若干立柱而破坏,属于典型的轴压破坏,见图 8 (a);由于砂浆与砌块变形性能差异及砂浆厚度不均匀等因素,个别试件发生偏压破坏,裂缝仍然首先在竖向灰缝上部出现,随着荷载的增加,裂缝斜向发展,破坏时形成对角裂缝,见图 8(b);个别试件由于砌块质量较差,初始裂缝在砌体上部集中,加载后裂缝沿初始裂缝开展,破坏时裂缝未能贯通整个砌体,砌体上部崩塌,见图 8(c)。后 2 类砌体破坏形态说明,砂浆层的均匀程度以及砌块质量的良好程度对于砌体的破坏形态有重要影响,故在砌筑过程中应保证砂浆厚度均匀,使用质量较好的砌块。整个试件的破坏过程,破坏时裂缝开展迅速,脆性较明显,试验结果见表 3,变异系数在合理区间内,试验数据可靠。

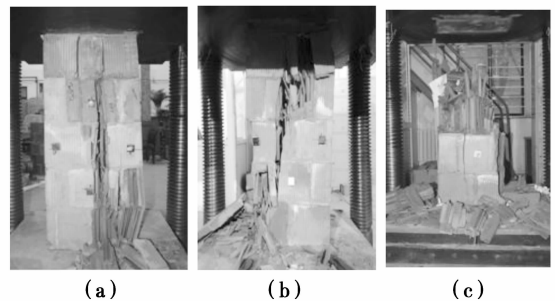


图 8 页岩烧结保温砌块砌体轴心受压破坏形态

Fig. 8 The failure mode of shale fired heat-insulation block masonry under axial compressive

表 3 页岩烧结保温砌块砌体轴心抗压强度试验值

Table 3 The testing data of shale fired heat-insulation block masonry under axial compressive

试件编号	截面面积 A/mm^2	开裂荷载 P_{cr}/kN	破坏荷载 P_u/kN	P_{cr}/P_u	抗压强度 实测值 f_{im}/MPa	抗压强度平 均值 f_m/MPa	变异系数/%
KY-1	98 400	280	376.46	0.74	3.83		
KY-2	98 378	200	288.68	0.69	2.93		
KY-3	98 164	230	421.26	0.55	4.29		
KY-4	98 087	200	380.61	0.53	3.88		
KY-5	99 051	200	360.86	0.55	3.64		
KY-6	97 528	190	335.53	0.57	3.44	3.33	19.2
KY-7	99 051	160	250.87	0.64	2.53		
KY-8	100 222	240	366.96	0.65	3.66		
KY-9	97 682	200	252.47	0.79	2.58		
KY-10	99 825	200	253.62	0.79	2.54		

2.2 砌体抗剪试验

试件濒临破坏时,砂浆层与砌块之间微微滑动,加载至极限荷载时,中间砌块沿灰缝迅速落下,试件被剪坏。试验的 10 个试件中有 2 个发生双剪破坏,其余均为单剪破坏。破坏面均为砂浆与砌块的接触面,未出现砂浆层被剪断的现象,销键较少且被剪断,典型破坏形态见图 7,试验结果见表 4,变异系数为 0.179,说明试验值可靠。

表 4 页岩烧结保温砌块砌体抗剪强度试验结果

Table 4 The testing data of shale fired heat-insulation block masonry under shear

试件 编号	单个受 剪面 积 A/mm^2	破坏荷 载 P_u/kN	实测值 $f_{v,i}/\text{MPa}$	平均值 $f_{v,m}/\text{MPa}$	变异系 数/%
KJ-1	98 229	35.03	0.18		
KJ-2	97 990	34.68	0.18		
KJ-3	98 160	35.00	0.18		
KJ-4	97 920	27.84	0.14		
KJ-5	98 160	33.24	0.17		
KJ-6	98 640	34.65	0.18	0.18	17.9
KJ-7	97 990	43.62	0.22		
KJ-8	98 810	50.32	0.25		
KJ-9	98 160	29.69	0.15		
KJ-10	98 160	36.48	0.19		

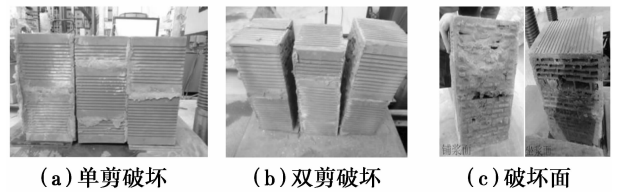


图 9 页岩烧结保温砌块砌体受剪破坏形态

Fig. 9 The failure mode of shale fired heat-insulation block masonry under shear

2.3 剪压复合受力试验

随着横向压应力的增加,剪切破坏形态依次为剪磨、剪压、斜压^[12]。当轴向压应力为 0.1 MPa 时,随着剪力的增加,中间皮试块沿着竖向灰缝发生滑动,最终破坏现象类似于沿通缝抗剪试验,属于剪磨破坏,破坏形态见图 10(a)。当轴压力为 0.2 MPa 时,中间皮上部砌块外表皮剥落,在两侧砌块上部形成约 45° 方向斜裂缝,具有剪压的特征,见图 10(b)、10(c)。当轴压力为 0.3 MPa 时,试件中间皮砌块外表皮大量剥落,在两侧砌块形成水平向裂缝,破坏时三皮砌块上部均被压碎,具有斜压破坏的特征,见图 10(d)、10(e)。实测抗剪强度见表 5,变异系数在合理区间内,说明本次试验值可取。

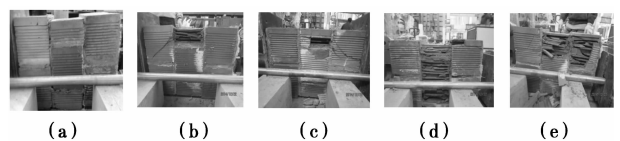


图 10 剪压复合受力破坏形态

Fig. 10 The failure mode of shale fired heat-insulation block masonry under shear-compression correlation

表 5 页岩烧结保温砌块砌体剪压复合抗剪强度实测值

Table 5 Testing data of shale fired heat-insulation block masonry under shear-compression correlation

试件 编号	压应力/ MPa	单个受剪面 面积/mm ²	破坏荷载/kN	抗剪强度/MPa	抗剪强度平 均值/MPa	变异系数/%
JY1-1	0.1	98 400	53.25	0.271	0.246	15.70
JY1-2		97 990	55.45	0.283		
JY1-3		98 160	41.83	0.213		
JY1-4		97 751	51.70	0.264		
JY1-5		98 400	36.25	0.184		
JY1-6		98 400	51.61	0.262		
JY2-1	0.2	97 751	75.22	0.385	0.303	15.50
JY2-2		98 810	65.78	0.333		
JY2-3		98 160	55.06	0.280		
JY2-4		97 751	53.25	0.272		
JY2-5		98 160	51.29	0.261		
JY2-6		98 400	56.41	0.287		
JY3-1	0.3	97 990	68.62	0.350	0.320	18.38
JY3-2		98 400	61.41	0.312		
JY3-3		98 160	57.20	0.291		
JY3-4		97 990	44.93	0.229		
JY3-5		98 160	79.40	0.404		
JY3-6		98 160	65.26	0.330		

3 试验结果分析

3.1 砌体抗压强度

《砌体结构设计规范》(GB 5003—2011)^[13] (以下简称规范)给出的砌体轴心抗压强度平均值计算公式

$$f_m = k_1 f_1^\alpha (1 + 0.07 f_2) k_2 \quad (1)$$

式中: f_m 为砌体轴心抗压强度的平均值, MPa; k_1 为与块体种类有关的参数; k_2 为与砂浆强度有关的参数, $k_2 = 1$; f_1 为块体的抗压强度平均值, MPa; f_2 为砂浆抗压强度平均值, MPa; α 为与块体高度及砌体类别有关的参数。

由于《规范》未给出该类砌块的抗压强度平均值计算公式,故按照烧结普通砖、烧结多孔砖 ($k_1 = 0.78, \alpha = 0.5$) 和混凝土砌块 ($k_1 = 0.46, \alpha = 0.9$) 分别计算该类砌块砌体的抗压强度平均值,计算结果见表 6,其中 f_{m1} 是按烧结普通砖、烧结多孔砖计算值, f_{m2} 是按混凝土砌块计算值, f'_m 为本次试验实测值。

由表 6 可知,试验测得砌体抗压强度值均高于按烧结普通砖、烧结多孔砖和混凝土砌块的计算值。这主要因为砌块的高度比普通烧结砖高,提高了砌

体的抗弯、剪、拉等应力的能力,进而提高砌体强度,另外砌块强度与砂浆强度较接近,砌体整体性好。

表 6 与普通砌体抗压强度比较

Table 6 Comparison of compressive strength of common masonry

类别	f_{m1}	f_{m2}	f'_m	f_m
抗压强度/MPa	2.53	2.94	3.33	3.28

根据试验数据,并考虑页岩烧结保温砌块的高度与混凝土砌块的高度相当,建议 α 取 0.9,对数据回归拟合分析得 $k_1 = 0.51$,得出针对该类砌块砌体抗压强度平均值计算表达式(2)。以 f_m 表示计算值,由表 6 可知,理论值与实测值吻合较好,说明式(2)可作为页岩烧结保温砌块抗压强度平均值的计算公式:

$$f_m = 0.51 f_1^{0.9} (1 + 0.07 f_2) \quad (2)$$

3.2 受压应力-应变曲线

根据试验结果拟合页岩烧结保温砌块 KY-1~KY-10 试件归一化的应力-应变曲线如图 11 所示,其中 ϵ_0 为峰值压应变, σ_0 为峰值压应力。

根据文献[14]提出的抛物线型砌体本构关系模型,对页岩烧结保温砌块砌体应力-应变曲线进行

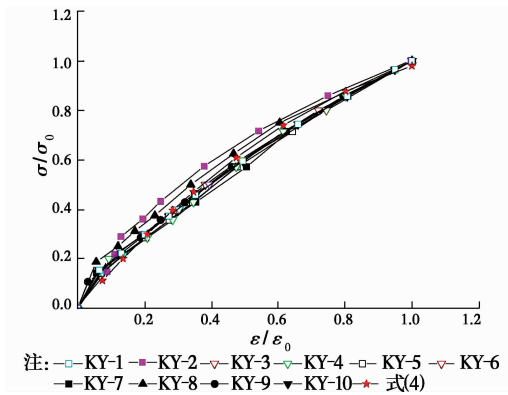


图 11 页岩烧结保温砌块砌体归一化应力-应变曲线

Fig. 11 Normalized stress-strain relation

拟合

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = A \frac{\epsilon}{\epsilon_0} + B \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \quad (3)$$

式中: σ 为压应力, ϵ 为压应变, A 、 B 为待定参数。对试验数据进行拟合, 得出 $A=1.56$, $B=-0.58$, 这与

文献[10]中 21 排孔薄灰缝砌体受压应力-应变曲线接近, 即

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1.56 \frac{\epsilon}{\epsilon_0} - 0.58 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right)^2 \quad (4)$$

由图 11 可知, 式(4)计算值与试验结果吻合较好, 故建议式(4)作为页岩烧结保温砌块应力-应变表达式。

3.3 弹性模量和泊松比

实测弹性模量和泊松比见表 7。由表 7 可知, 实测的弹性模量和泊松比均比规范值大, 因为砌体在轴向荷载下的压缩变形主要是水平灰缝的压缩变形。页岩烧结保温砌块的高度比普通烧结砖高出许多(190:53), 同等砌体高度下减少了砌体的水平灰缝厚度, 使砌体的整体轴向变形较小, 而砌体的轴心抗压强度与普通烧结砖相当或略高, 故而使得弹性模量和泊松比增大。

表 7 页岩烧结保温砌块砌体弹性模量和泊松比实测值

Table 7 The testing data of elastic modulus and poisson ration

试件 编号	弹性模量/ ($N \cdot mm^{-2}$)	平均值/ ($N \cdot mm^{-2}$)	规范值/ ($N \cdot mm^{-2}$)	泊松比	平均值	规范值
KY-1	8 755			0.15		
KY-2	9 418			0.13		
KY-3	7 971			0.25		
KY-4	5 888			0.21		
KY-5	9 590			0.14		
KY-6	6 907	8 595	6 096	0.17	0.19	0.15
KY-7	10 599			0.14		
KY-8	9 423			0.17		
KY-9	8 339			0.22		
KY-10	9 065			0.32		

3.4 抗剪强度

根据《规范》, 砌体沿通缝抗剪强度平均值计算公式为

$$f_{v,m} = k_5 \sqrt{f_2} \quad (5)$$

式中: $f_{v,m}$ 为砌体抗剪强度平均值; k_5 为与砌体种类有关的系数。表 8 给出了按照烧结普通砖、烧结多孔砖计算的抗剪强度平均值。其中 f_{v1} 代表按烧结普通砖、烧结多孔砖计算值; $f'_{v,m}$ 为本次实测值。

由表 8 可以看出, 实测值比规范计算值小, 这是因为页岩烧结保温砌块孔洞率较高, 致使有效受剪

面积较小; 单剪破坏占的比例较大, 砌体受剪强度没有得到充分发挥; 销键作用不明显。

根据实测数据, 通过拟合回归分析得出适合页岩烧结保温砌块砌体沿通缝抗剪强度平均值计算公式(6)。以 $f_{v,m}$ 表示计算结果并与实测结果相比, 由表 8 可知, 理论值与实测值吻合, 说明本文给出的公式(6)可用于计算页岩烧结保温砌块沿通缝抗剪强度平均值

$$f_{v,m} = 0.08 \sqrt{f_2} \quad (6)$$

表 8 与普通砌体抗剪强度比较

Table 8 Comparison of shear strength of common masonry

类别	f_{v1}	$f'_{v,m}$	$f_{v,m}$
抗剪强度/MPa	0.29	0.18	0.18

对于剪压复合受力试验,砌体的抗剪强度因轴向压力的存在而增强,并且随着轴压力的增大而增大。因为当轴压力增大时,砌块与砂浆之间的摩擦力增强,砂浆与砌块共同作用时砂浆的变形对砌块产生较大拉应力且销键的影响,使砌体抗剪强度增加^[15]。

剪压复合受力破坏形态中,剪摩破坏现象与烧结普通砖类似,破坏面为灰缝粘结处。横向压应力增大时,因页岩烧结保温砌块孔洞率较大,孔壁较薄,在剪压复合受力下,中间皮砌块处于双向受压状态,当砌块内主拉应力大于砌块抗主拉应力时,外表皮向不受约束的自由面膨胀而最终剥落,如图 10(b)、10(d)、10(e)。按照《规范》提出的剪压复合强度计算公式(3)~(7)计算页岩烧结保温砌块砌体抗剪强度,计算值明显小于实测值,见表 9。参照文献[16]提出的页岩烧结砖剪压复合抗剪强度计算公式(8),考虑页岩烧结保温砌块砌体轴压比较小,取式中 λ 为 0.9,即式(9)。由表 9 知,计算值与实测值较接近,故建议采用式(9)计算该类砌块砌体剪压复合受力抗剪强度。

规范式

$$\tau_m = f_v + \alpha\mu\sigma_0 \quad (7a)$$

$$\mu = 0.26 - 0.082 \frac{\sigma_0}{f_m} (r_G = 1.2) \quad (7b)$$

式中: f_v 为砌体纯剪抗剪强度; α 取 0.6; σ_0 为压应力; f_m 为砌体轴心抗压强度平均值。

文献[16]

$$\tau_m = \lambda[\eta\delta\tau_{ss} + (1 - \delta)(0.085f_m + \mu\sigma_0)] \quad (8a)$$

$$\mu = (0.83 - 0.7 \frac{\sigma_0}{f_m}) \quad (8b)$$

本文建议式

$$\tau_m = 0.9[\eta\delta\tau_{ss} + (1 - \delta)(0.085f_m + \mu\sigma_0)] \quad (9a)$$

$$\mu = (0.83 - 0.7 \frac{\sigma_0}{f_m}) \quad (9b)$$

式中: λ 为调整系数; η 为砂浆键有效率,矩形孔取 0.73,圆形孔取 0.75; δ 为砌块孔洞率; τ_{ss} 为砌体纯剪抗剪强度; σ_0 为压应力。

表 9 剪压复合受力抗剪强度计算值与实测值比较

Table 9 compare of testing and calculate data of shear strength under shear-compression correlation

公式来源	σ_0/f_m		
	0.03	0.06	0.09
规范式	0.195	0.211	0.225
建议式	0.222	0.257	0.290
实测值	0.246	0.303	0.320

4 结 论

1)页岩烧结保温砌块砌体受压时,受压过程分为弹性、弹塑性和塑性 3 个阶段;破坏时,在竖向灰缝附近形成主裂缝,接近破坏荷载时砌块出现表皮剥落现象;砌筑质量与砌块质量对砌体破坏形态有重要影响。

2)页岩烧结保温砌块砌体受剪时,具有明显的脆性特征;8 个试件出现单剪破坏,2 个出现双剪破坏。

3)剪压复合抗剪时,抗剪强度随着轴压力的增大而增大;试件破坏具有剪磨、剪压、斜压特征。

4)页岩烧结保温砌块抗压强度平均值高于规范值,沿通缝抗剪强度平均值低于计算值,剪压复合抗剪强度实测值高于规范值;建议的计算轴心抗压强度平均值、沿通缝抗剪强度、剪压复合受力抗剪强度公式理论值与实测值吻合较好。

5)根据抛物线型本构关系模型,拟合页岩烧结保温砌块砌体本构关系式,计算值与试验结果比较吻合,弹性模量与泊松比相对普通烧结砖较高,建议泊松比取值为 0.19。

参考文献:

[1] CHIKHI M, AGOUDJIL B, BOUDENNE A, et al. Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation[J]. Energy Build, 2013, 66:267-73.

[2] BINICI H, EKEN M, DOLAZ M, et al. An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk, textile waste and stubble fibres [J]. Constr Build Mater, 2014, 51:24-33.

[3] WONGKEO W, THONGSANITGARN P, PIMRAKSA K, et al. Compressive strength, flexural strength and thermal conductivity of autoclaved concrete block made using bottom ash as cement replacement materials [J]. Mater Design, 2012, 35:

- 434-9.
- [4] SOUSA LC, SOUSA H, CASTRO CF, et al. A new lightweight masonry block: thermal and mechanical performance [J]. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2014, 14:160-169.
- [5] 吴元昌, 朱基珍, 黄榜彪, 等. 城市污水污泥烧结页岩多孔砖砌体轴压试验[J]. *广西大学学报(自然科学版)*, 2014, 39(1):32-37.
WU Y C, ZHU J Z, HUANG B B, et al. Experimental research on axial compression of sludge sintered shale porous brick masonry [J]. *Journal of Guangxi University(Natural Science Edition)*, 2014, 39(1):32-37. (in Chinese)
- [6] 李忠献, 周晓洁, 夏多田, 等. 免蒸压免烧粉煤灰多孔砖砌体力学性能试验研究[J]. *地震工程与工程振动*, 2012, 32(3):92-98.
LI Z X, ZHOU X J, XIA D T, et al. Experimental study on mechanical properties of non-autoclaved and non-sintered fly-ash perforated brick masonry [J]. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2012, 32(3):92-98. (in Chinese)
- [7] 谢厚礼. 页岩烧结空心砖自保温系统研究与应用[D]. 重庆:重庆大学, 2012.
- [8] 白国良, 秦朝刚, 吴健, 等. 矩形孔页岩烧结保温砌块砌体基本力学性能试验研究[J]. *建筑结构*, 2015, 45(12):83-89.
BAI G L, QIN C G, WU J, et al. Experimental study on basic mechanical properties of shale fired heat-insulation block masonry[J]. *Building Structure*, 2015, 45(12):83-89. (in Chinese)
- [9] WU J, BAI G L, ZHAO H Y, et al. Mechanical and thermal tests of an innovative environment-friendly hollow block as self-insulation wall materials [J]. *Construction and Building Materials*, 2015, 93:342-349.
- [10] 白国良, 浮广明, 权宗刚, 等. 烧结保温空心砌块薄灰缝砌体基本力学性能试验研究[J]. *建筑结构学报*, 2013, 34(10):151-158.
BAI G L, FU G M, QUAN Z G, et al. Experimental study on basic mechanical properties of fired heat-insulation hollow block thin mortar joint masonry[J]. *Journal of Building Structures*, 2013, 34(10):151-158. (in Chinese)
- [11] 砌体基本力学性能试验方法标准:GB/T 50129—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.
- [12] SHIEH-BEYGI B, PIETRUSZCZAK S. Numerical analysis of structural masonry: mesoscale approach[J]. *Computers and Structures*, 2008, 86:1958-1973.
- [13] 砌体结构设计规范:GB 5003—2011[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.
- [14] POWELL B, HODGKINSON H R. Determination of stress-strain relationship of brickwork [M]. London: British Ceramic Research Association in Stoke on Trent, 1976:136-149.
- [15] 李英民, 韩军, 刘立平. ANSYS在砌体结构非线性有限元分析中的应用研究[J]. *重庆建筑大学学报*, 2006, 28(5):90-96, 105.
LI Y M, HAN J, LIU L P. Application of ANSYS to finite element analysis for nonlinear masonry structures [J]. *Journal of Chongqing Jianzhu University*, 2006, 28(5):90-96, 105. (in Chinese)
- [16] 汪涛. 多孔砖砌体剪-压复合受力通缝抗剪强度计算方法的提出与试验验证[D]. 广西柳州:广西科技大学, 2013.

(编辑 胡玲)