

文章编号:2095-7386(2016)02-0062-05

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2016.02.011

稻壳砂浆性能试验研究

李 坦, 刘肖凡, 商海星, 赵 炎

(武汉轻工大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430023)

摘 要:为研究稻壳对砂浆性能的影响,分别用不同掺量稻壳等体积替代沙子制备标准试块,测定抗压强度、抗折强度和导热系数。结果表明:能提高砂浆强度,稻壳掺量为45%,抗压强度和抗折强度最大;微观分析表明稻壳表面凹凸不平的特性有助于增强稻壳与水泥水化产物的紧密黏结,使稻壳砂浆强度有一定提高;稻壳的掺入降低砂浆导热系数,稻壳掺量为50%时导热系数最小。

关键词:稻壳;砂浆;抗压强度;抗折强度;导热系数

中图分类号: TU 528

文献标识码: A

The experimental study on the mechanical properties of rice husk mortar

LI Tan, LIU Xiao-fan, SHANG Hai-xing, ZHAO Yan

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: This paper explores the effects of rice hull on mortar. Different dosage of rice hull replacing the same volume of sand preparation of standard test pieces to test the compressive strength and rupture strength and thermal conductivity. The result is that the rice hull can improve the strength and 45% is especially obvious; microscopic analysis shows that the characteristics of rice husk uneven surface can enhance the bond of rice husk and cement hydration products, improving the strength of rice husk mortar; the rice hull can reduce the thermal conductivity and 50% is especially obvious.

Key words: rice husk; mortar; compressive strength; flexural strength; thermal conductivity

1 引言

稻谷加工成大米后,留下大量稻壳,其重量约为稻谷总重量的 $1/5$ ^[1]。全球稻谷每年产量约5亿吨,我国产量位居世界首位,约2亿吨,可产生4 000万吨稻壳^[2]。目前稻壳的处理有两个途径,一是作为燃料,燃烧既造成环境污染又浪费大量资源;二是直接堆放田间作为肥料,稻壳的表面木质素排列整齐密实,将纤维组织紧紧包围,使其不易发酵腐烂。

这两种方法对稻壳的利用率都很低。稻壳质量较轻,保温性能较好且耐腐蚀能力强,吸水后体积无变化,易于压实,有利于拌合均匀和提高混合料的密实度^[3]。将稻壳作为一种绿色建筑材料进行研究与应用具有一定的价值。

早在20世纪80年代开始,交通部公路科学研究所的高汉忠^[4]等人通过在水泥砂浆中掺入稻壳后制成了稻壳水泥混凝土,研究表明稻壳混凝土导热系数为 $0.23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;抗压强度为8—15

收稿日期:2016-03-17

作者简介:李坦(1989-),男,硕士研究生,E-mail:1009823446@qq.com.

通信作者:刘肖凡(1981-),男,副教授,E-mail:534798@qq.com.

MPa, 抗折强度为 2—6 MPa。沈阳建筑大学的田悦^[5]等研究了稻壳粉对 C30 混凝土性能的影响, 研究表明稻壳粉掺量可以显著提高混凝土后期强度。哈尔滨工业大学的陈睿^[6]用稻壳、砂、水泥、粉煤灰、水为原材料制备的稻壳砂浆新型墙体材料, 其密度约为水泥的 50%, 与水泥砂浆相比较, 其抗压强度和抗折强度均有一定提高。笔者直接用水泥、原状稻壳、砂和水经过特定拌制成型工艺制备稻壳砂浆; 以稻壳等体积替代砂为变量, 通过测定强度和导热系数优选出最佳配合比。

2 试验材料和方法

2.1 原材料

水泥为 P·O42.5 级普通硅酸盐水泥。水为普通自来水。砂为级配良好、粒径为 0—2.5 mm 的工程用砂。稻壳为除尘后的原状稻壳, 其堆积密度为 93—160 kg/m³, 本次试验测定为 100 kg/m³。

2.2 试验设计

2.2.1 配合比设计

试验以稻壳掺量为变量。稻壳掺量为等体积替代砂的用量, 设计 8 种不同配合比的试样进行试验。稻壳砂浆各材料质量配合比见表 1。

表 1 稻壳砂浆各材料质量配合比 / (kg/m³)

试样编号	水	水泥	砂	稻壳
A0	300	212	1 540	0
A1	300	212	1 386	10
A2	300	212	1 232	20
A3	300	212	1 078	30
A4	300	212	1 001	35
A5	300	212	924	40
A6	300	212	847	45
A7	300	212	770	50

2.2.2 试件制作工艺及养护

考虑到稻壳轻质吸水特性, 先将稻壳和工程砂搅拌 60 s 使其充分均匀混合, 然后加入水泥和 70% 的水搅拌 120 s, 最后倒入剩下 30% 的水搅拌 60 s, 搅拌结束后分三层铺满试件模具, 用振捣棒逐层轻微插捣 20—40 s, 抹平后用双手轻微振动 20 次后静置 48 h。这样的搅拌成型工艺可以有效避免稻壳搅拌不均匀及上浮现象。静置结束后拆除模具并放入温度 (20 ± 2) °C、湿度 95% 以上的标准养护室中, 养护至规定龄期。进行抗压强度、抗折强度试验的试件分别养护 7 d 和 28 d 后进行强度试验; 测定导热系数试验的试件养护 26 d 拿出养护室, 擦干表面并

放入温度 (60 ± 5) °C 的烘烤箱 48 h, 烘干至恒质进行导热系数的测定。

2.2.3 测定方法

依据相关标准规范^[7-10]对稻壳砂浆进行抗压强度和抗折强度试验。抗压强度试验确定试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm, 试件如图 1 所示。抗折强度试验确定试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 400 mm, 试件如图 2 所示。抗压强度和抗折强度试验每组均为三个试块, 结果取三个测值的算术平均值。

依据标准规范^[11]进行稻壳砂浆导热系数测定, 确定试件尺寸为 300 mm × 300 mm × 30 mm, 每组两个试块, 试件如图 3 所示。



图 1 抗压强度试验试件



图 2 抗折强度试验试件

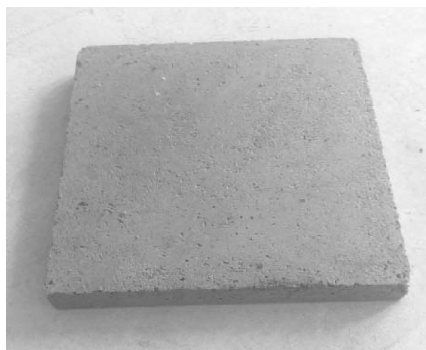


图 3 导热系数试验试件

3 试验结果分析

3.1 稻壳砂浆强度的测定及结果分析

7 d 和 28 d 试件实测抗压强度和抗折强度如表 2 所示。

图 4 表示养护 7 d 和 28 d 稻壳砂浆抗压强度变化规律,图 5 表示养护 7 d 和 28 d 稻壳砂浆抗折强度变化规律。由图 4 和图 5 可知,各龄期稻壳砂浆抗压强度和抗折强度变化趋势一样;稻壳掺量在 0%—20% 范围内,养护龄期为 7 d 和 28 d 稻壳砂浆强度均先降低后增大,随着稻壳掺量增加,7 d 龄期稻壳砂浆强度由于养护时间不足未出现明显变化,28 d 龄期稻壳砂浆强度不断增加,说明稻壳掺量大于 20% 时,其对砂浆早期强度无影响,对砂浆后期强度的提高有较大促进作用;当稻壳掺量达到 45% 时,稻壳砂浆的强度基本无明显变化,甚至出现小幅下降现象,说明稻壳掺入量大于 45% 时,其对砂浆强度提高的促进作用在减弱。

表 2 各龄期试件抗压强度和抗折强度值 /MPa

试样编号	7 d 抗压强度	28 d 抗压强度	7 d 抗折强度	28 d 抗折强度
A0	2.52	3.85	0.52	1.00
A1	1.75	3.58	0.27	0.86
A2	2.01	3.69	0.48	0.90
A3	2.48	4.09	0.53	1.24
A4	2.49	4.98	0.55	1.32
A5	2.51	5.35	0.55	1.48
A6	2.52	5.48	0.56	1.62
A7	2.48	5.41	0.53	1.56

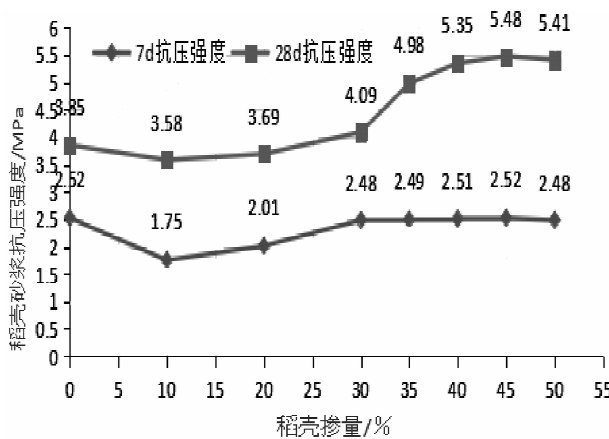


图 4 不同龄期稻壳砂浆抗压强度变化规律

各组稻壳砂浆试件 28 d 强度表现为:抗压强度 $A6 > A7 > A5 > A4 > A3 > A0 > A2 > A1$,抗折强度 $A6 > A7 > A5 > A4 > A3 > A0 > A2 > A1$ 。由此可得出:

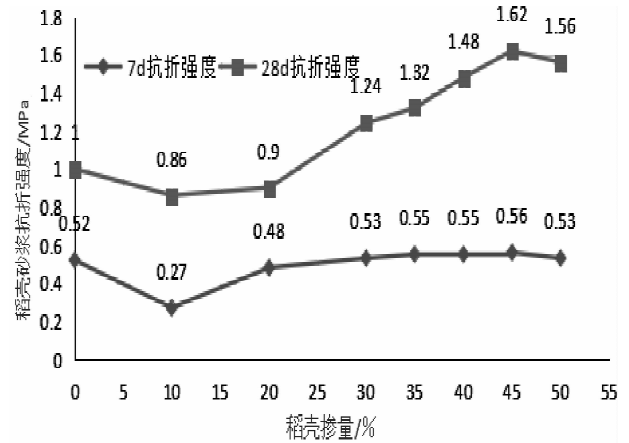


图 5 不同龄期稻壳砂浆抗折强度变化规律

试件 A6 也即是稻壳掺量为 45% 时,制备砂浆抗压强度及抗折强度最大且较纯砂浆抗压强度、抗折强度有明显提高。出现这种变化原因是稻壳的吸水率较大达到 100% 且吸水后体积无变化,早期对强度影响不大,但后期水化过程中水分不断释放使水化反应更彻底,稻壳砂浆强度有一定提高。

3.2 稻壳砂浆导热系数的测定及结果分析

由强度试验知试样 A6 强度最大,因此选取试样 A6 和对比组 A0、A5、A7 做导热系数试验,试验结果如图 6 所示。

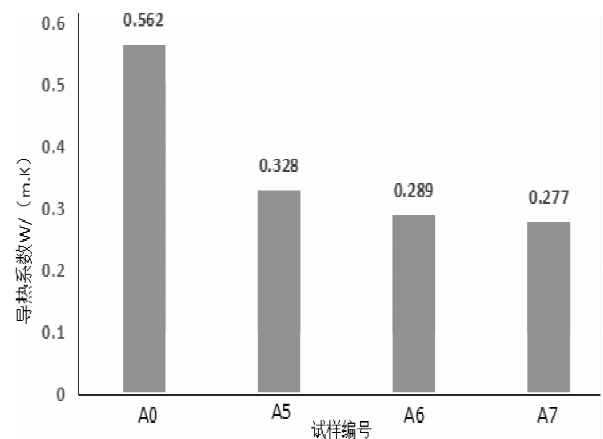


图 6 稻壳砂浆导热系数值

图 6 为稻壳砂浆各试件导热系数测定值。由图 6 知稻壳的掺入量越大,砂浆的导热系数越小,四种试样导热系数关系为 $A0 > A5 > A6 > A7$ 且满足 $A0 = 1.7A5 = 1.9A6 = 2.0A7$,说明加入稻壳可以降低砂浆导热系数,提高砂浆的保温性能。随着稻壳掺量的增加,砂浆导热系数降低的幅度越小,说明对导热系数而言稻壳掺量存在一个最优值,并非掺量越多性能越好。

稻壳砂浆的导热系数最小为 $0.277 \text{ W}/(\text{m} \cdot$

K), 远低于其他常见墙体材料导热系数, 如黏土多孔砖导热系数 $0.58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 普通红砖导热系数 $0.81 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 等。导热系数是衡量材料保温性能的重要标准, 稻壳的掺入使得砂浆导热系数减小, 保温性能提高, 当稻壳掺入量为 50% 时, 稻壳砂浆保温性能最好。

3.3 微观机理分析

图 7 为稻壳外表面结构, 图 8 为稻壳与砂浆接触界面。由图 7 和图 8 可知, 稻壳外表面凹凸不平, 均匀分布着锥形突起, 具有较大摩擦力和机械咬合力, 这种特性有助于稻壳与砂浆界面粘结牢固, 使得稻壳砂浆强度有所提高。

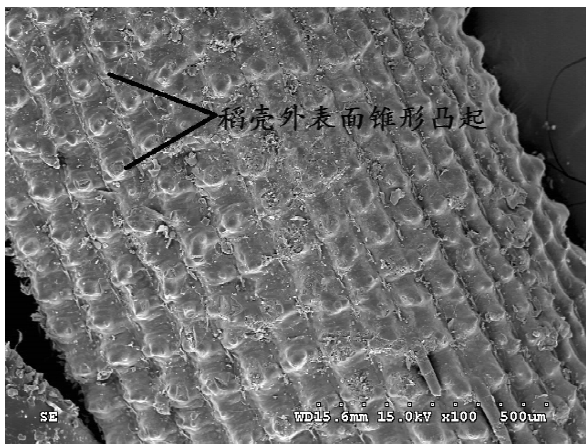


图 7 100 倍稻壳电镜扫描图片

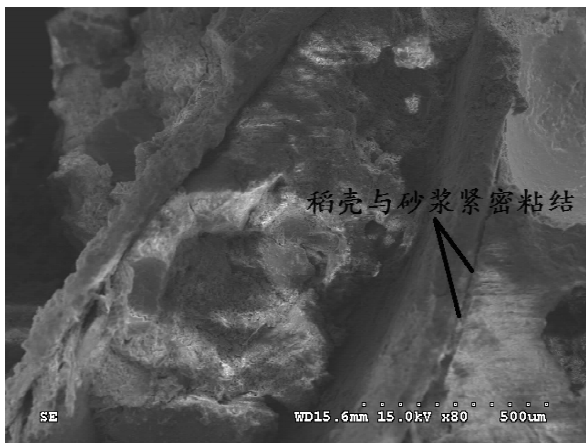


图 8 80 倍 A6 电镜扫描图片

图 9 为 A0 试件电镜扫描图, 图 10 为 A6 试件电镜扫描图。由图 9 可知纯砂浆 A0 内部结构较疏松, 由图 10 可知稻壳砂浆 A6 内部结构致密, 材料较细化, 这是因为水泥水化反应过程中稻壳不断释放水分促使水化反应更彻底, 水化产物与周围物质间粘结较为紧密, 整体性较好, 使得稻壳砂浆强度有所提高。

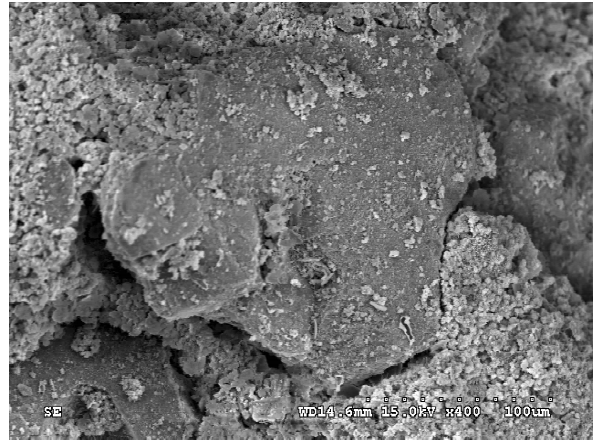


图 9 400 倍 A0 电镜扫描图片

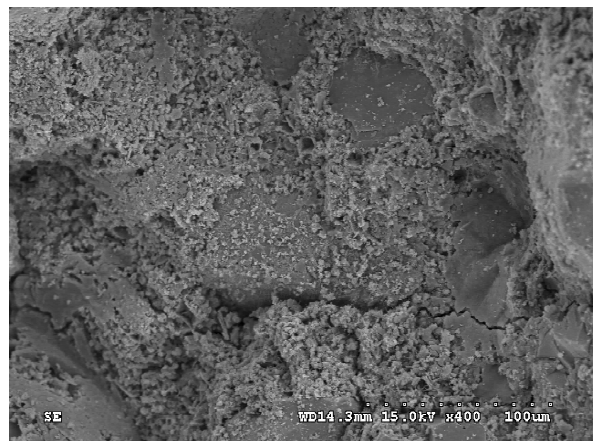


图 10 400 倍 A6 电镜扫描图片

稻壳导热系数较小为 $0.06 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [12], 由图 6 知纯砂浆导热系数为 $0.562 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 稻壳掺入砂浆均匀混合成稻壳砂浆, 导热系数较纯砂浆导热系数会有所降低; 原状稻壳因其壳状结构, 均匀分布在砂浆中部分稻壳会形成闭合的空腔, 空腔内的空气导热系数很低, 进而降低稻壳砂浆的导热系数。

4 结论

(1) 稻壳替代砂的体积在 10%—50% 范围内, 对砂浆早期的抗压强度、抗折强度影响不大, 后期影响比较显著。

(2) 稻壳替代砂的体积 45% 时, 制备砂浆抗压强度和抗折强度最大且较纯砂浆强度有一定提高, 说明掺入适量稻壳可以提高砂浆强度。

(3) 稻壳吸水率高但吸水后体积无变化, 水化过程中水分不断释放使水化反应更彻底, 且外表面凹凸不平, 均匀分布着锥形突起, 有助于增强稻壳与水泥水化产物的粘结, 提高砂浆的强度。

(4)掺入稻壳后,砂浆导热系数均小于纯砂浆导热系数,说明掺入稻壳可以提高砂浆保温性能,尤其掺入量为 50% 时效果最佳。

(5)综合稻壳砂浆抗压强度、抗折强度和导热系数的测定值,取稻壳掺入量为 45% 时砂浆强度和保温性能最佳,符合实际应用。

参考文献:

- [1] 张朝晖, 姜宗科. 稻壳、稻壳灰水泥混凝土的研究现状[J]. 陕西农业科学, 2010(6): 124-126.
- [2] 王英, 陈睿, 闫凯, 等. 新型稻壳砂浆轻质节能复合墙板[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(10): 14-17.
- [3] 宋长友, 黄振利, 陈丹林, 等. 岩棉外墙外保温系统技术研究与应用[J]. 建筑科学, 2008, 24(2): 84-85.
- [4] 高汉忠, 叶慧海, 等. 稻壳水泥混凝土保温材料[J]. 新型建筑材料, 1996(12): 18-20.
- [5] 田悦. 稻壳粉对 C30 混凝土性能影响的试验研究[J]. 混凝土, 2006(12): 63-64.
- [6] 陈睿. 稻壳砂浆轻质节能复合墙板的研究与应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [7] JGJ/T70-2009, 建筑砂浆基本性能试验方法标准[S].
- [8] JGJ 98-2000, 砌筑砂浆配合比设计规程[S].
- [9] GB/T11969-2008, 蒸压加气混凝土性能试验方法[S].
- [10] GB/T50107-2010, 混凝土强度检验评定标准[S].
- [11] GB/10294, 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定[S].
- [12] GB50 176-93, 民用建筑热工设计规范[S].
- [8] Kesmir C, Nussbaum A K, Schild H, et al. Prediction of proteasome cleavage motifs by neural networks[J]. Protein Eng, 2002, 15(4): 287-296.
- [9] 叶娟, 张舒林, 刘文第. 结核分枝杆菌 RD12 区 T 细胞表位分布情况预测及分析[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2014(01): 7-12.
- [10] Lewinsohn DM, Swarbrick GM, Cansler ME, et al. Human CD8 T cell antigens /epitopes identified by a proteomic peptide library[J]. PLoS One, 2013, 8(6): e67016.
- [11] 董毅, 吴利先. T 细胞免疫在抗结核杆菌感染中的研究进展[J]. 现代生物医学进展, 2014(18): 3593-3595.
- [12] Daniela Santoro Rosa, Susan Pereira Ribeiro, Edecio Cunha-Neto. CD4⁺ T Cell Epitope Discovery and Rational Vaccine Design[J]. Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis, 2010, 2: 121-130.
- [13] Wang Xin-jing, Cao Zhi-hong, Jiang Jing, et al. Elevated expression of Tim-3 on CD8 T cells correlates with disease severity of pulmonary tuberculosis[J]. Journal of Infection, 2011, 4: 292-300.
- [14] Oldstone M B. The role of cytotoxic T lymphocytes in infectious disease: history, criteria, and state of the art[J]. Curr Top Microbiol Immunol, 1994, 189: 1-8.
- [15] 崔中锋, 史继静, 王勇明. HIV 感染合并肺结核患者 CD4⁺ T 细胞计数与胸部影像特征的相关性研究[J]. 医药论坛杂志, 2011(15): 36-37.
- [16] 毛冬婷, 罗燕芬, 曹开源, 等. 结核感染中 PD-1 调节 CD8⁺ T 细胞免疫应答的研究[J]. 热带医学杂志, 2015(05): 587-591.
- [17] Nobuhiro Nakamoto, David E Kaplan, Jennifer Coleclough, et al. Functional Restoration of HCV -Specific CD8 T Cells by PD-1 Blockade Is Defined by PD-1 Expression and Compartmentalization [J]. Gastroenterology, 2008(7): 1927-1937.
- [18] Li Fan, Yang Di, Wang Yi-qin, et al. Identification and modification of an HLA-A * 0201-restricted cytotoxic T lymphocyte epitope from Ran antigen[J]. Cancer Immunology, Immunotherapy, 2009(12): 2039-2049.
- [19] Grotzke J E, Lewinsohn D M. Role of CD8⁺ T lymphocytes in control of Mycobacterium tuberculosis infection[J]. Microbes Infect, 2005, 7(4): 776-788.

(上接第 39 页)