

# 灰浆配合比对小停泥砖砌体抗压性能的影响研究

Experimental Study on the Influence of Mortar Mix Ratios on the Compressive Strength of Brick Masonry Walls

周晓依<sup>1,2</sup>, 要雄豪<sup>1,2</sup>, 贾广润<sup>1,2</sup>, 何跃<sup>1,2</sup>, 邓海<sup>1,2</sup>, 郁君虹<sup>1,2</sup>

- (1. 石家庄铁道大学 道路与铁道工程安全保障省部共建教育部重点实验室, 石家庄 050043;  
2. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 石家庄 050043)

**摘要:**为了研究古建筑修复中灰浆配合比对小停泥砖砌体力学性能的影响, 对小停泥砖以及5种配合比灰浆制作的砖砌体试件进行了抗压强度影响的研究。结果表明:以纯石灰作为灰浆的抗压强度最低,加入糯米浆、黄土和水泥等成分对灰浆抗压强度有提升效果;配合比为1:1:1的石灰水泥黄土灰浆的抗压强度最高,达到15.97 MPa;在砖砌体的抗压强度表现上,也呈现出类似的趋势,即以纯石灰灰浆砌筑的砖砌体抗压强度最低,而使用1:1:1石灰水泥黄土灰浆砌筑的砖砌体抗压强度最高,较纯石灰灰浆砌筑的砖砌体提高了约30.53%。研究成果可为古建筑修复中砖砌体结构的力学性能评估和加固提供参考。

**关键词:**灰浆配合比;古建筑修复;砖砌体;抗压强度

**中图分类号:**TU362      **文献标志码:**A      **文章编号:**1005-8249(2025)06-0135-05

**DOI:**10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.06.023

ZHOU Xiaoyi<sup>1,2</sup>, YAO Xionghao<sup>1,2</sup>, JIA Guangrun<sup>1,2</sup>, HE Yue<sup>1,2</sup>, DENG Hai<sup>1,2</sup>, HUAN Junhong<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Roads and Railway Engineering Safety Control, Shijiazhuang Tiedao University, Ministry of Education, Shijiazhuang 050043, China;

2. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** In order to study the influence of mortar with mix ratio on the mechanical properties of brick masonry walls, the compressive strength of small stop mud bricks and brick masonry specimens made of five different mix mortars was measured. The results showed that the compressive strength of pure lime as mortar was the lowest, while the addition of glutinous rice slurry, loess and cement had an effect on the compressive strength of mortar. Among them, the compressive strength of lime cement loess mortar with a mix ratio of 1:1:1 exhibited the highest, reaching 15.97 MPa. In terms of the compressive strength performance of brick masonry, a similar trend is also presented, that is, the compressive strength of brick masonry built with pure lime mortar is the lowest, while the compressive strength of brick masonry built with 1:1:1 lime cement loess slurry masonry is the highest, which is about 30.53% higher than that of brick masonry made of pure lime mortar. This study provides a reference for evaluating and reinforcing brick masonry structures based on mechanical performance analysis.

**Key words:** mortar mixing ratio; ancient architecture restoration; brick masonry; compressive strength

作者简介:周晓依(1999—),女,硕士研究生,研究方向:古建筑结构抗震。

通信作者:郁君虹(1989—),女,博士,讲师,硕士研究生导师,研究方向:工程结构抗震。

收稿日期:2025-02-11

## 建筑结构

### 0 引言

砖砌体的抗压强度是衡量其结构性能的重要指标之一，直接关系到建筑物的安全性和耐久性。而在古建筑修复过程中，砖砌体作为常见的结构形式，其力学性能的研究直接影响到修复效果和古建筑的长久保存。因此，近年来，众多国内外学者对砖砌体的力学性能进行了大量的研究。

夏倩等<sup>[1]</sup>系统总结了古砖、传统灰浆的制备工艺和材料性能，归纳了古砖、传统灰浆和古砖砌体基本力学性能及其测试方法，对比分析了单砖和砌体抗压强度的差异，并指出了古建筑砌体材料力学性能研究现状。刘超<sup>[2]</sup>采用试块法和回弹法，对不同成分古建筑砌筑灰浆进行抗压强度对比分析，并利用场发射扫描电镜进行了微观分析。Rahgozar 等<sup>[3]</sup>通过试验与数值分析的方法，深入探讨了古代砂浆（包括泥土、石灰-泥土和石灰-砂）砖砌体的平面内单调响应特性。汤永净等<sup>[4]</sup>则通过试验模拟自然风化作用，分析了不同饱水度和冻融次数对砖、灰浆和砌体抗压、抗剪强度的影响，提出了古代砖砌体构件风化程度评定标准，指出砖砌体的抗压强度与灰浆的强度、砖与灰浆之间的黏结性能以及砌体的整体性能密切相关。陈大川等<sup>[5]</sup>、巴鹏鹏等<sup>[6]</sup>研究了砂浆厚度对砖砌体抗压强度的影响。丁伟<sup>[7]</sup>试验研究表明以传统灰浆为粘结材料的手工青砖砌体的弯曲抗拉破坏特征明显，其弯曲抗拉强度显著低于具有相同砂浆强度的以现代砂浆为粘结材料的烧结普通砖砌体。Gul 等<sup>[8]</sup>开发了一种无需养护的新型砂浆，利用当地可用的材料调整配比确定了新型砂浆的最佳配方，使用该新型砂浆建造的砖砌体性能与养护 28 d 的传统砂浆砖砌体相当，但明显优于仅养护 3 d 的传统砂浆砖砌体。然而，由于年代久远、设计标准低、施工质量参差不齐以及自然灾害等因素，许多砖砌体结构面临着抗震性能不足的问题。Mislav 等<sup>[9]</sup>对无筋砖砌体（URM）结构进行了单剪、双剪和剪切试验，得出其力学性能受到多种因素的影响，包括材料退化、缺乏维护和不符合现代抗震规范的结构设计。张风亮等<sup>[10]</sup>通过拟静力试验，研究了聚丙烯网聚合物砂浆面层加固砖砌体墙的抗震性能，提出了加固墙体的受剪承载力计算方

法。另外，一些学者对低强度砂浆砖砌体、高温后烧结普通砖砌体、受侵蚀砖砌体和考虑现浇楼板影响的砖砌墙体等特定条件下的抗震性能进行了研究<sup>[11-15]</sup>，为砖砌体结构的性能评估和加固提供了重要依据。

综上所述，近年来，虽然国内外学者在砖砌体结构的力学性能和抗震性能方面取得了一定的进展，但针对不同灰浆抗压强度对砖砌体抗压性能影响的研究仍然较为稀少。因此，通过对五种砌筑灰浆砌筑的小停泥砖砌体进行抗压强度试验，探讨不同灰浆成分对小停泥砖砌体抗压强度的影响。研究成果可为古建筑修复中砖砌体结构的力学性能评估和加固提供参考。

### 1 试验材料与方法

#### 1.1 灰浆配合比

试验所用的砖为小停泥砖，制作了 10 个砖试件，按照缩尺比例为 1:2 对小停泥砖进行加工切割，缩尺后的砖尺寸为 75 mm × 75 mm × 60 mm。砌筑灰浆采用 5 种灰浆，灰浆的成分和配合比见表 1。制作过程中，熟石灰粉、土和砂要反复过细筛后方可使用，糯米浆为水质量的 3%，煮到沸腾调匀待用。

表 1 砌筑灰浆制作配合比  
Table 1 Mortar mix ratio for masonry construction

| 纯石灰              | 石灰、糯米浆 | 石灰、黄土 | 石灰、水泥 | 石灰、水泥、黄土 |
|------------------|--------|-------|-------|----------|
| 1 土:砂:石灰 = 5:2:3 |        | 1:1   | 1:1   | 1:1:1    |

#### 1.2 试验方法

##### 1.2.1 单块砖抗压强度试验

采用非成型制样方法。将 1 个试件从中锯成两半，两个半块砖用于叠合部分的长度不得小于 100 mm，即为抗压强度试件。非成型制样不需养护，试件气干状态直接进行试验。

按照 GB/T 2542—2012《砌墙砖试验方法》对砖试件进行抗压强度试验。加载速度以 2~6 kN/s 为宜，直至试件破坏为止，记录最大破坏荷载。

##### 1.2.2 灰浆抗压强度试验

采用立方体试件，规格尺寸为 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm。从搅拌加水开始计时，标准养护龄期为 28 d。试验依据 JGJ/T 70—2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》进行。

### 1.2.3 砖砌体抗压强度试验

采用小停泥砖以及5种砌筑灰浆制作尺寸为 $200\text{ mm} \times 120\text{ mm} \times 415\text{ mm}$ (长×宽×高)的砖砌体试件,共5组,每组9个试件。所有试件均在室内温度 $15\sim20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下养护28 d。采用GB/T 50129—2011《砌体基本性能试验方法标准》对砖砌体试件进行抗压强度试验。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 单块砖抗压强度

在试验加载初期,砖试件外观无明显变化。随着压力的增加,砖体开始出现细微的裂纹,这些裂纹逐渐扩展并伴随劈裂的响声。当施加的压力达到砖块的极限承载能力时,砖体的侧面开始破碎脱落,发出清脆的破碎声,裂缝迅速扩展并贯通整个砖体。单块砖平均抗压强度为9.34 MPa,结果如图1所示。

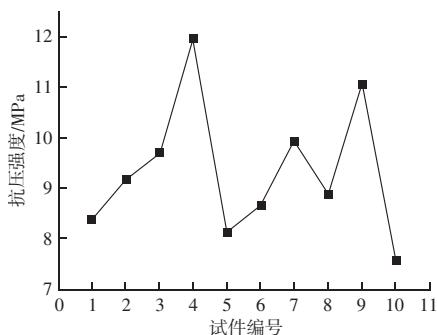


图1 单块砖试件抗压强度

Fig. 1 Compressive strength of single brick specimens

### 2.2 灰浆抗压强度测试结果

如图2所示,5种砌筑灰浆的平均抗压强度存在显著差异。以纯石灰作为灰浆的平均抗压强度为0.61 MPa,较低。这可能因石灰的粘结力相对较弱,本身强度不高,限制了灰浆抗压强度。加入糯米浆的石灰灰浆平均抗压强度提升至1.47 MPa,但提升幅度有限,可能是因为糯米浆在硬化过程中未能充分形成高强度的结构。石灰黄土浆的平均抗压强度为0.97 MPa,略高于纯石灰灰浆,黄土的加入可能在一定程度上改善了灰浆的骨料性能,但黄土本身的强度有限,因此提升效果并不显著。相较之下,配合比为1:1的石灰水泥灰浆平均抗压强度为10.87 MPa,大约是纯石灰灰浆的8倍,灰浆强度大幅度提升。水泥作为高强度粘结材料,硬化后能有

效抵抗外部压力,极大提升了灰浆的抗压能力。石灰水泥黄土浆平均抗压强度较纯石灰灰浆提升最高,达到15.97 MPa。这种组合有效利用了水泥的高强度粘结力和黄土作为骨料的增强效果,共同提升了灰浆的抗压性能。

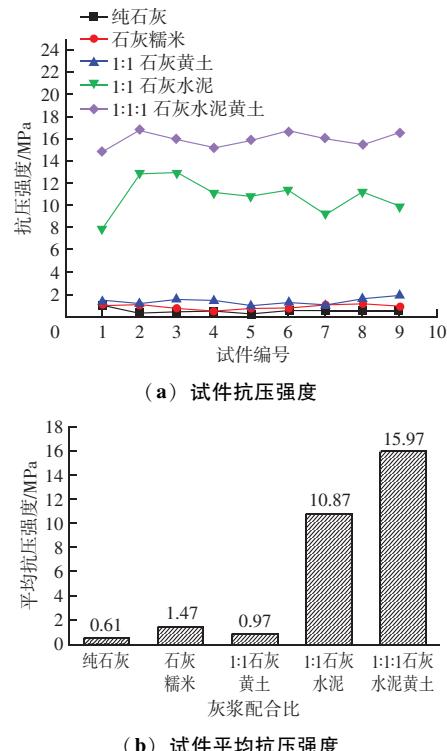


图2 不同配合比灰浆试件抗压强度

Fig. 2 Compressive strength of mortar specimens with different mix ratios

### 2.3 砖砌体抗压强度测试结果

如图3五种灰浆砌筑的砖砌体抗压强度试验结果所示,石灰糯米浆、1:1石灰黄土浆、1:1石灰水泥浆以及1:1:1石灰水泥黄土浆砌筑的砖砌体,其平均抗压强度分别为3.53、3.38、4.08和4.19 MPa,均高于纯石灰浆砌筑砖砌体的抗压强度。这可能是由于糯米浆的加入改善了灰浆的流动性和粘结性,增强了灰浆填充砖块间缝隙的能力,从而形成更加紧密的结构,提高了抗压强度;黄土的掺入则可能增加了灰浆的密实度和内摩擦力,也提高了抗压强度。然而,由于黄土的性质因地而异,其对抗压强度的影响也可能有所不同。水泥作为一种常用的无机胶凝材料,具有优异的粘结性和力学性能,其加入显著提升了灰浆的抗压强度,这是因为水泥水化后形成的硬化体具有较高的强度和耐久性,因此

## 建筑结构

1:1 石灰水泥浆砌筑的砖砌体在抗压性能上表现优异。1:1:1 石灰水泥黄土浆则结合了水泥和黄土的优点，形成了强度更高、耐久性更好的复合灰浆。水泥的硬化体为灰浆提供了强度骨架，而黄土的加入可能进一步改善了其密实度和内摩擦力，因此，使用 1:1:1 石灰水泥黄土浆砌筑的砖砌体抗压强度最高，比纯石灰灰浆砌筑的砖砌体提高了约 30.53%。

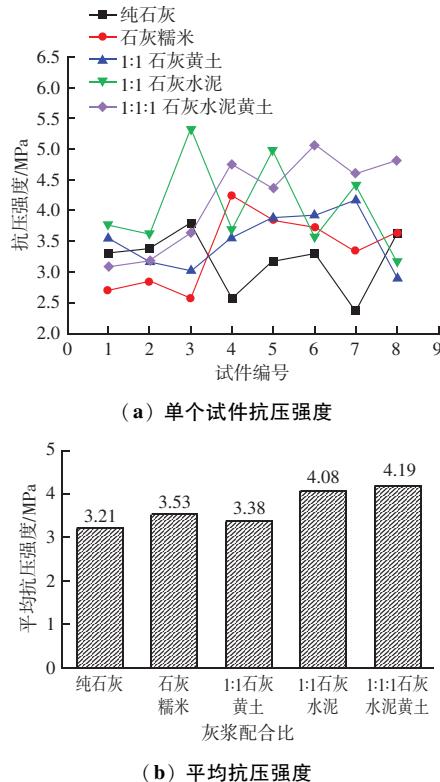


图 3 不同配合比灰浆砌筑的砖砌体试件抗压强度  
Fig. 3 Compressive strength of brick masonry specimens constructed with mortars of different mix ratios

## 3 结论

通过对 5 种砌筑灰浆和尺寸为 200 mm × 120 mm × 415 mm (长 × 宽 × 高) 的砖砌体试件进行抗压强度试验，分析了古建筑修复中不同配合比灰浆对小停泥砖砌体抗压强度的影响，得到以下主要结论：

(1) 在抗压强度试验中，小停泥砖试件初期外觀无明显变化。随着压力的增加，试件出现细微裂纹，并逐渐扩展。当达到极限承载力时，砖体侧面破碎脱落，裂缝贯穿整体。

(2) 不同配合比的灰浆抗压强度差异显著。以纯石灰作为灰浆时其抗压强度最低。加入糯米浆、

黄土和水泥等成分后，灰浆的抗压强度得到了不同程度的提高。其中，1:1:1 石灰水泥黄土浆的平均抗压强度最高。

(3) 砖砌体的抗压强度受灰浆配合比的影响显著。添加糯米浆、黄土和水泥等成分的灰浆砌筑的砖砌体抗压强度均有所提高。其中，使用 1:1:1 石灰水泥黄土浆砌筑的砖砌体抗压强度最高，比纯石灰灰浆砌筑提高了 30.53%。

## 参 考 文 献

- [1] 夏倩, 孙源清, 李琰君, 等. 中国古代砖砌体力学性能研究综述 [J]. 文物保护与考古科学, 2021, 33 (5): 113–124.
- [2] 刘超. 古建筑砌筑灰浆抗压强度试验研究 [J]. 华北地震科学, 2015, 33 (增刊1): 35–37.
- [3] RAHGOZAR A, HOSSEINI A. Experimental and numerical assessment of in-plane monotonic response of ancient mortar brick masonry [J]. Construction and Building Materials, 2017, 155892–909.
- [4] 汤永净, 赵红, 叶真华, 等. 古代砖砌体风化性能分析及风化程度评定 [J]. 土木建筑与环境工程, 2017, 39 (3): 67–74.
- [5] 陈大川, 王鼎伟, 施楚贤. 砂浆厚度对页岩多孔砖砌体抗压强度影响试验研究 [J]. 建筑结构, 2019, 49 (5): 27–31.
- [6] 巴鹏鹏, 王飞, 张洪超. 水泥砂浆面层加固砖砌体抗震性能研究 [J]. 低温建筑技术, 2024, 46 (3): 34–37.
- [7] 丁伟. 以传统灰浆为粘结材料的手工青砖砌体抗压性能试验研究 [J]. 建筑科学, 2020, 36 (11): 71–77.
- [8] GUL A, SHAHZADA K, ALAM B, et al. Innovative no-cure mortar for enhanced brick masonry performance: A mechanical properties analysis [J]. Construction and Building Materials, 2024, 451138659–45138659.
- [9] MISLAV S, LUKA L, DOMAGOJ D, et al. Experimental evaluation of unreinforced brick masonry mechanical properties by the flat-jack method – an extensive campaign in croatia [J]. International Journal of Architectural Heritage, 2024, 18 (4): 691–708.
- [10] 张风亮, 马东, 刘祖强, 等. 单面聚丙烯网聚合物砂浆加固砖砌体墙抗震性能试验研究 [J]. 建筑结构学报, 2024, 45 (12): 137–147.
- [11] 吴乐乐, 唐曹明, 罗开海, 等. 既有低强度砂浆砖砌体结构的抗震性能指标研究 [J]. 建筑结构, 2025, 55 (16): 133–139.
- [12] 陈再现, 孙凯林, 栾文芬, 等. 低强度砖砌体粘钢–聚合物砂浆加固抗震性能试验 [J]. 建筑结构学报, 2018, 39 (12): 153–158, 167.
- [13] 赵长勇, 高立堂, 崔文松. 高温后烧结普通砖砌体抗剪性能试验研究 [J]. 建筑结构, 2024, 54 (14): 125–132, 118.

- [14] 高润东, 张永群, 李向民. 砖砌体结构耐久性劣化与加固修复的抗震性能试验研究 [J]. 建筑结构, 2024, 54 (16): 151–158.

- [15] 张倚天, 解圆聪, 张望喜, 等. 考虑现浇楼板影响的砖砌墙体抗震性能研究 [J]. 重庆大学学报, 2023, 46 (4): 64–77.

(上接第 108 页)

- [5] 邹桂莲, 王华新, 方帅. 水泥稳定再生碎石路用性能研究 [J]. 公路工程, 2018, 43 (5): 28–32.
- [6] 杨三强, 陈康康, 全刚. 低等级道路建筑垃圾再生料力学性能研究 [J]. 公路, 2023, 68 (10): 300–306.
- [7] ZHI X, YANG T, ZHANG X, et al. Experimental study on the mechanical properties and permeability of cement – stabilized permeable recycle aggregate materials [J]. Sustainability, 2023, 15 (19): 14062.
- [8] 辛懿韬, 刘学义. 废旧无机水泥混合料再生利用性能研究 [J]. 公路, 2024, 69 (1): 329–335.
- [9] 李强, 温华梦, 李国芬, 等. 再生集料强化方法和掺量对水泥稳定碎石性能的影响 [J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18 (5): 1188–1195.
- [10] 田源, 牛冬瑜. 铣刨料掺量及掺配方式对再生水稳碎石路用性

- 能的影响 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2020, 40 (4): 39–49.

- [11] 安新正, 郭永民, 张龙娇, 等. 再生粗骨料取代率及粒径对混凝土抗压性能影响试验研究 [J]. 河北工程大学学报 (自然科学版), 2024, 41 (2): 30–35.
- [12] 刘慈军, 吴子杨, 程书凯, 等. 再生细骨料对超高性能混凝土的力学与自收缩性能影响 [J]. 无机盐工业, 2024, 56 (9): 75–81.
- [13] 汪京. 废旧基层材料水泥稳定再生利用技术研究 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2016.
- [14] 郑甲佳, 张来君, 王曦辉, 等. 水泥稳定建筑固废再生集料抗冻性能研究 [J]. 中外公路, 2024, 44 (3): 95–103.
- [15] 兰雪江, 张翛, 王永宝, 等. 水泥稳定再生碎石物理力学性能研究进展 [J]. 材料导报, 2024, 38 (2): 69–80.

(上接第 134 页)

## 参 考 文 献

- [1] 梁新亚, 何飞龙, 李相坡, 等. 锈蚀钢筋强度及粘结性能研究进展 [J]. 建筑结构, 2022, 52 (增刊1): 1571–1575.
- [2] 莫齐伟, 商怀帅, 徐芹文. 加速锈蚀与持续荷载对钢筋混凝土粘结性能的影响 [J]. 建筑结构, 2021, 51 (14): 112–116, 93.
- [3] 陈宝春, 杨简, 吴香国, 等. UHPC 力学性能的多指标分级 [J]. 中国公路学报, 2021, 34 (8): 23–34.
- [4] 毛达岭, 刘立新, 范丽. HRB500 级钢筋粘结锚固性能的试验研究 [J]. 工业建筑, 2004 (12): 67–69, 90.
- [5] 徐有邻, 沈文都, 汪洪. 钢筋砼粘结锚固性能的试验研究 [J]. 建筑结构学报, 1994 (3): 26–37.
- [6] 宋泽鹏, 陆春华, 宣广宇, 等. 螺纹 CFRP 筋与混凝土粘结性能试验与理论计算 [J]. 建筑材料学报, 2021, 24 (4): 8–16.
- [7] 付瑞佳, 刘璐, 王亚楠, 等. 不锈钢筋混凝土粘结锚固性能试验研究 [J]. 建筑科学, 2019, 35 (11): 72–77, 142.
- [8] KHAKEFIDI S, GHALEHNOVI M, DEBRITO J. Bond behaviour of high – strength steel rebars in normal (NSC) and ultra – high performance concrete (UHPC) [J]. Journal of Building Engineering, 2021, 33: 101592.
- [9] 侍刚, 邵旭东, 高立强, 等. HRB400 钢筋与超高性能混凝土粘结性能试验研究 [J]. 桥梁建设, 2021, 51 (6): 61–67.

- [10] LAW D W, TANG D, MOLYNEAUX T K C, et al. Impact of crack width on bond: confined and unconfined rebar [J]. Materials and structures, 2011, 44: 1287–1296.
- [11] TARIQ F, BHARGAVA P. Post corrosion bond – slip models for super ductile steel with concrete [J]. Construction and Building Materials, 2021, 285: 122836.
- [12] ELIGEHAUS R, POPOV E P, BETERO V V. Local bond stress – slip relationships of deformed bars under generalized excitations [J]. Proceedings of the 7th European Conference on Earthquake Engineering, 1982, 4: 69–80.
- [13] HE Z J, CHEN Y, MA Y N, et al. The study on bond – slip constitutive model of steel – fiber high – strength recycled concrete [J]. Structures, 2021, 34: 2134–2150.
- [14] 李晓琴, 陈建飞, 陆勇, 等. 基于局部损伤混凝土模型的 FRP – 混凝土界面有限元分析研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2015, 47 (1): 62–65.
- [15] 袁晓辉, 卢哲安, 任志刚, 等. 无机聚合物混凝土 – 钢筋拉拔有限元分析 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2013, 45 (2): 209–215.
- [16] FU J Y, GE X, CHEN L, et al. Low – cycle fatigue behaviour of ribbed 1.4362 duplex stainless steel reinforcement [J]. Case Studies in Construction Materials, 2024, 20: e03218.