

Research on Low-Strength Joint Mortar Replaced by High-Strength Materials to Increase Carrying Capacities of Existing Brick Walls

Li Pan

Institute of Building Structures, China Academy of Building Research, Beijing
Email: panlicabr@163.com

Received: Mar. 6th, 2015; accepted: Mar. 18th, 2015; published: Mar. 26th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

For most of early brick structures, due to strength insufficient of mortar joints in their walls, it is the major defect that compression capacity and shear capacity of the walls are clear lower than the requirement of current design code, so the long-term and safe use of them may not be determined. Research shows that the wall capacities can be added obviously and the seismic performance of brick structures including the detective walls can be improved jointly, in way of increasing average conversion strength of the mortar joints, from outer part of low strength joint mortar replaced by high strength materials. Based on Code for Design of Masonry Structures GB 50003-2011, the wall reinforcement method is analyzed deeply, the replace depth of low strength mortar joints is proposed, the suitable conditions and construction requirements are explained, the application example is given in this paper. As the complement of current similar techniques and the reference to reinforcement design and construction of masonry structures, the new method is easy to use, and also can meet some special needs of these brick structures to be reinforced.

Keywords

Masonry Structure, Mortar Joint of Brick Wall, High-Strength Replacement Materials, Cementitious Grout, Polymer-Modified Mortar, Average Conversion Strength, Compression Strength and Shear Strength, Carrying Capacity of Brick Wall, Integrity of Masonry Structures

高强材料置换低强灰缝提高砖砌墙体承载力的研究

潘立

中国建筑科学研究院建筑结构研究所，北京
Email: panlicabr@163.com

收稿日期：2015年3月6日；录用日期：2015年3月18日；发布日期：2015年3月26日

摘要

国内早年建造的大量砖混结构中，相对现行相关规范要求，墙体因灰缝砂浆抗压强度过低导致受压与抗剪承载力明显不足为主要缺陷，对其继续长期安全使用有不利影响。研究表明，用高强材料置换这些墙体各灰缝的部分低强砂浆，提高灰缝砂浆的折算平均强度，可显著增大墙砌体的受压与抗剪承载力，以此改善整体结构的抗震性能。基于《砌体结构设计规范》GB 50003-2011，对该砖墙加固方法进行了深入分析，提出了墙体截面低强灰缝置换深度的计算方法，说明了该方法的适用条件与构造要求，给出了加固设计算例。用高强材料置换低强灰缝加固墙体简便易行，能较好满足加固工程中一些特定需求，可作为现有砌体加固技术的补充供砖混结构加固设计与施工参考。

关键词

砖混结构，砖墙灰缝砂浆，高强置换材料，水泥基灌浆料，聚合物砂浆，折算平均强度，承压与抗剪强度，砌体承载力，结构整体性

1. 引言

为保护城市历史风貌，早年建造且遗留至今的大量老旧砖混结构需要定期检查维护、长期保留，其中大部分在确保结构安全条件下，还将继续正常使用。调查表明，因历史原因，这些砖混结构中砖墙灰缝砂浆的抗压强度普遍较低，其中部分墙体灰缝砂浆强度严重不足，导致这些墙体的承压与抗剪承载力及所在结构的安全度与抗震性能，不满足现行相关设计规范与正常使用要求。

对这些因灰缝强度缺陷导致砖砌墙体承载力不足的情况，目前通常依据文献[1]，较多在墙体单侧或两侧外包 80~120 mm 厚配筋混凝土贴墙进行加固。该方法虽可较大幅度提高被加固墙体的受压与抗剪承载力，但存在以下问题：加固贴墙位于室内时将减少使用面积；为避免整体结构抗侧刚度不均匀，常需对称或均匀增设较多贴墙；为防止多层结构层间刚度突变，与下部加固墙体对应且承载力满足要求的上层墙体须连带加固；贴墙内竖向配筋锚入原结构或穿越楼板施工较困难；现场湿作业工作量较大、工期较长；无法保留砌体原状外观。

为避免配筋混凝土贴墙加固砖墙的上述问题，对有灰缝强度缺陷的砖墙砌体，建议有条件改用高强材料置换灰缝部分低强砂浆、增大砌体受压与抗剪承载力的新方法。基于《砌体结构设计规范》GB 50003-2011，对该加固方法进行了技术分析。根据截面平衡原理，列出了砌体低强灰缝置换深度计算式。结合加固工程实际，提出了相关适用条件与构造要求。为便于理解与应用置换灰缝加固砖墙方法，给出了置换灰缝最小

深度算例。综合分析表明，该加固方法简便实用，综合性价比较高，是加固低强灰缝砖墙的一种有效手段。

2. 加固方法概述

用高强材料置换低强灰缝加固砖墙的目标如下：提高灰缝砂浆的折算平均抗压强度，增大砌体受压承载力；利用置换材料的良好粘结作用，增大墙体抗剪承载力；通过增加墙体的整体性，改善其所在结构的整体性。

为尽量减小灰缝剔除与置换深度，宜采用较高强度的灰缝置换材料，但需控制灰缝砂浆折算平均抗压强度不大于砖的抗压强度。高强置换材料宜优选水泥基灌浆料[2]，也可使用聚合物砂浆[3]或高强水泥砂浆。

墙体加固后，各层灰缝砂浆由外侧高强置换部分与中间低强保留部分组成，两者形成组合截面，协调变形、共同工作，设计取组合截面的折算平均抗压强度。灰缝的置换体积不小于剔除量，应避免出现新的不密实缺陷。为防止被加固墙体在施工期间出现过大变形，应预先根据墙体实际内力核算“残缺灰缝砌体”的抗压强度设计值是否满足安全度要求，否则须分段、分侧施工，或通过卸荷减小墙体内力。

被加固墙体的砖与砂浆强度等级根据结构检测确定，置换材料强度根据同条件试块抗压试验确定[4]，被加固砖砌体的抗压强度设计值根据文献[5]第 3.2.1 条确定，见表 1，或依据同条件多组试件的抗压试验确定，抗剪强度设计值根据文献[5]第 3.2.2 条确定。

置换填补灰缝前，应充分润湿被加固墙面外露的缝槽，以避免置换材料因拌合水损失过多而影响硬化。置换填补灰缝后，应保持墙体加固面连续保湿养护 3~5 天。

分析表明，砖墙的受压与抗剪承载力及整体性，与砌体的水平和竖向灰缝砂浆强度和密实度有较大关系，水平灰缝直接承受压应力与剪应力，且与砖的粘结面积较大，对砌体性能的影响大于竖向灰缝，是置换灰缝砂浆加固墙体的重点部位，所述灰缝指墙侧面计算深度范围内的所有水平与竖向灰缝。

对建于不同年代的老旧砖混结构，墙体灰缝厚度通常为 5~10 mm，外露灰缝普遍有剥落，典型情况见图 1。这些灰缝因材料强度较低，施工时人工剔缝即可，如使用手持电动工具则效率更高。填补砌体

Table 1. Design value of compressive strength in code for solid or porous brick masonry (MPa)
表 1. 烧结普通砖和烧结多孔砖砌体的抗压强度设计值(MPa)

砖强度等级	砂浆折算平均强度等级					砂浆强度
	M15	M10	M7.5	M5	M2.5	
MU30	3.94	3.27	2.93	2.59	2.26	1.15
MU25	3.60	2.98	2.68	2.37	2.06	1.05
MU20	3.22	2.67	2.39	2.12	1.84	0.94
MU15	2.79	2.31	2.07	1.83	1.60	0.82
MU10	-	1.89	1.69	1.50	1.30	0.67



Figure 1. Old brick wall and its mortar joints
图 1. 老旧砖墙及其灰缝

灰缝施工相对较困难,需仔细控制置换材料的稠度,用托灰板和细铁棍拨条手工操作(类似墙面勾缝施工),逐段、逐缝碾压填实。

3. 灰缝置换深度计算

设被加固砖墙砌体的截面宽度为 b_w , 低强灰缝砂浆的抗压强度设计值为 f_{ml} , 高强置换材料的抗压强度设计值为 f_{mh} , 水平灰缝置换总深度为 b_{mh} , 限 $50 \text{ mm} < b_{mh} \leq 0.5b_w$, 砌体加固后的灰缝折算平均抗压强度设计值为 $\overline{f_m}$, 限 $f_{ml} < \overline{f_m} < f_{mh}$, 根据平衡条件可列出,

$$b_w \overline{f_m} = (b_w - b_{mh}) f_{ml} + \varphi_d b_{mh} f_{mh} \quad (1)$$

式中 $\varphi_d = 0.8 \sim 1.0$, 为置换灰缝密实度折减系数。由式(1)可得到以下不等式,

$$b_{mh} \geq b_w \frac{\overline{f_m} - f_{ml}}{\varphi_d f_{mh} - f_{ml}} \quad (2)$$

如 f_{ml} 过小而忽略不计, 式(2)可重记为,

$$b_{mh} \geq \frac{b_w \overline{f_m}}{\varphi_d f_{mh}} \quad (3)$$

f_{ml} 由砂浆强度回弹仪或其它方法测定; f_{mh} 由试块抗压试验测定; 砖的强度等级根据现场取样检测确定。为尽量减小墙体灰缝砂浆的置换深度, 砖强度等级为 MU15~MU30 时, 按 M15 砂浆强度取 $\overline{f_m} = 15 \text{ MPa}$; 砖强度等级为 MU10 时, 按 M10 砂浆强度取 $\overline{f_m} = 10 \text{ MPa}$ 。已知被加固墙体的砖与灰缝砂浆强度等级后, 由表 1 可确定其砌体抗压强度设计值。

用高强材料置换低强灰缝砂浆加固砖墙, 可求出砌体抗压强度设计值的相对增幅上限, 见表 2, 计算时对应 MU15~MU30 砖的墙体统一取灰缝砂浆折算平均抗压强度等级为 M15, 对应 MU10 砖的墙体取灰缝砂浆折算平均抗压强度等级为 M10。

由表 2 可知, 置换低强灰缝砂浆加固砖墙时, 原灰缝砂浆强度越低、砌体抗压强度设计值增幅越大, 但该相对增幅与砖的强度等级无明显关系。砖墙加固设计时, 如砌体抗压强度设计值相对增幅需超过表 2 中对应上限, 则表明仅置换低强灰缝不能满足要求, 此时应改用配筋混凝土贴墙或其它加固方法。对于被加固墙体, 竖向灰缝剔除置换深度宜同水平灰缝, 且应与置换水平灰缝同时施工。

4. 适用条件

由于文献[5]表 3.2.1-1 和表 3.2.1-3 中同条件砌体的抗压强度设计值相同, 用高强材料置换低强灰缝砂浆加固砖墙的方法不但适用烧结普通砖和烧结多孔砖砌体, 也适用蒸压灰砂普通砖和蒸压粉煤灰普通砖

Table 2. Maximum increment of compressive strength in design for solid or porous brick masonry (%)

表 2. 被加固烧结普通砖和烧结多孔砖砌体的抗压强度设计值相对增幅上限(%)

砖强度等级	原砂浆强度等级				原砂浆强度
	M10	M7.5	M5	M2.5	0
MU30	17.0	25.6	34.3	42.6	70.8
MU25	17.2	25.6	34.2	42.8	70.8
MU20	17.1	25.8	34.2	42.9	70.8
MU15	17.2	25.8	34.4	42.7	70.6
MU10	-	10.6	20.6	31.2	64.6

砌体，但仅适用因灰缝砂浆强度过低导致砌体抗压强度不满足墙体受压与抗剪要求的情况。

置换灰缝加固砖墙时，限原灰缝砂浆抗压强度为 0~10 MPa。为尽量减小灰缝剔除与置换量，灰缝置换材料抗压强度不宜小于 30 MPa，灰缝部分置换后的折算平均抗压强度不宜小于 10 MPa，且不大于砖的抗压强度。

提高砌体灰缝砂浆的折算平均抗压强度，虽有利于改善墙体所在结构的抗震性能，或对结构抗震构造缺陷有补偿作用，但整体结构加固设计仍应满足规范抗震构造要求[5] [6]。置换灰缝加固砖墙的方法不适用以下情况：墙体中砖的强度等级低于 MU10；灰缝砂浆的强度等级大于 M7.5；砌体抗压强度设计值相对增幅需大于表 2 上限；灰缝砂浆厚度 ≤ 5 mm；单侧墙面灰缝置换深度约 >10 倍灰缝厚度；施工现场无相应操作条件。

对于被加固墙体，单侧置换低强灰缝砂浆时，缝深较大可能使操作难度较高，宜尽量避免；两侧对称置换低强灰缝砂浆时，操作难度因缝深较小可明显降低，宜优先选用。

灰缝厚度越小或 b_{mh} 值越大，置换操作越困难，被填补的灰缝密实度越难保证。为此，当灰缝厚度较小或 b_{mh} 值较大时，为确保加固效果，宜取系数 φ_d 为较小值。

为保证加固施工安全，剔缝施工操作前，须按墙体截面最小宽度 $b_w - b_{mh}$ 与砖及灰缝砂浆实测抗压强度验算砌体承载力安全度。如不满足要求，可分段/分区施工，或在作业面增设墙体卸荷支撑。

研究表明，基于文献[5]，用高强材料置换低强灰缝加固砖墙的方法，同理可用于加固灰缝砂浆强度较低的混凝土普通砖和混凝土多孔砖砌体，单排孔混凝土砌块和轻集料混凝土砌块对孔砌筑砌体，双排孔或多排孔轻集料混凝土砌块砌体，及毛料石墙体，但上述适用条件需相应调整。

5. 加固计算例题

某待加固墙体的截面宽度为 240 mm，经检测，砖强度等级为 MU20，灰缝砂浆强度仅为 1.5 MPa。如选用 C60 水泥基灌浆料置换部分低强灰缝砂浆加固墙体，增大灰缝砂浆的折算平均强度等级至 M15，该墙体的受压与抗剪强度设计值才能满足结构加固设计要求，求算需置换墙体灰缝的总深度 b_{mh} ，并说明相关加固施工要求。

解：已知 $b_w = 240$ mm， $f_{m1} = 1.5$ MPa， $f_{mh} = 60$ MPa， $\overline{f_m} = 15$ MPa，取折减系数 $\varphi_d = 1.0$ ，由式(2)可求出需置换砌体灰缝砂浆总深度 $b_{mh} \geq 55$ mm。如忽略低强灰缝砂浆的作用，由式(3)可算出 $b_{mh} \geq 60$ mm。对于被加固墙体，宜从两侧面置换部分低强灰缝砂浆，剔缝与置换最小深度各为 30 mm。

为便于对比，对该待加固墙体，选择不同强度灰缝置换材料及不同 φ_d 值，可求出对应的低强灰缝砂浆置换总深度，结果见表 3。

6. 分析与结论

对于被加固砖墙，如果置换灰缝加固前无卸荷，完成加固后，在新增轴压荷载作用下，各灰缝组合截面中部低强保留部分的初始应力必大于外侧高强置换部分的应力，其程度随新增荷载与置换截面的大小而增减。伴随作用被加固墙体的荷载逐渐增大，灰缝保留截面先于置换截面出现较大变形，两者的荷载效应分配比例自行调整(内力重分布)，使新增荷载效应更多分配于置换截面，导致置换截面应力快速增加并超过保留截面应力。剔缝施工前被加固墙体的卸荷程度越高，灰缝保留截面先于置换截面进入破损状态越晚，但无论墙体卸荷程度如何，均不至改变承载能力极限状态下灰缝置换截面与保留截面的荷载效应分配关系。

研究发现，置换灰缝加固墙体施工后，基于灰缝组合截面的协调变形，被加固墙体的受压与抗剪承载力与加固施工前是否卸荷无关。被加固墙体在施工时有无卸荷，或是否完全卸荷，只影响灰缝组合截

Table 3. Minimum replacement depth b_{mh} (mm) of low joint mortar in masonry to be reinforced
表 3. 待加固墙体的低强灰缝砂浆最小置换深度 b_{mh} (mm)

置换材料 f_{mh} (MPa)	按式(2)计算			按式(3)计算		
	$\varphi_d = 1.0$	$\varphi_d = 0.9$	$\varphi_d = 0.8$	$\varphi_d = 1.0$	$\varphi_d = 0.9$	$\varphi_d = 0.8$
60	55	62	70	60	67	75
55	61	68	76	65	73	82
50	67	74	84	72	80	90
45	74	83	94	80	89	100
40	84	94	106	90	100	113
35	97	108	122	103	114	129
30	114	127	144	120	133	150

注：墙体两侧对称置换低强灰缝砂浆的深度需不小于表中数据的一半。

面的初始应力差及变化调整过程，不改变灰缝组合截面的折算平均强度和极限承载力。置换灰缝加固墙体时利用此结果，可简化卸荷过程、降低加固成本。

综上所述可得以下结论：

- 1) 基于现有同类试验和表 1，用高强材料置换砖墙各灰缝的外侧部分低强砂浆，可有效增大墙体的受压与抗剪承载力，改善墙体自身至其所在结构的整体性。
- 2) 基于文献[5]置换灰缝加固砖墙时，限砖的强度等级不小于 MU10，砂浆强度等级不大于 M7.5，砌体抗压强度设计值的相对增幅需求小于表 2 上限。
- 3) 置换低强灰缝砂浆加固砖墙时，应控制组合灰缝的砂浆折算平均抗压强度不大于砖的抗压强度。
- 4) 为确保砖墙加固施工安全，剔缝操作前，须按墙体截面宽度 $b_w - b_{mh}$ 与砖及灰缝砂浆的实测抗压强度，按实际作用荷载复核砌体承载力安全度。
- 5) 宜尽量在砌体两侧置换低强灰缝砂浆，置换灰缝总深度不小于计算值 b_{mh} ，且不大于 $0.5b_w$ 。

参考文献 (References)

- [1] (2011) GB50702-2011 砌体结构加固设计规范. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [2] (2008) GB/T 50448-2008 水泥基灌浆材料应用技术规程. 中国计划出版社, 北京.
- [3] (2010) JG/T 289-2010 混凝土结构加固用聚合物砂浆. 中国标准出版社, 北京.
- [4] (2009) JGJ/T 70-2009 建筑砂浆基本性能试验方法标准. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [5] (2011) GB 50003-2011 砌体结构设计规范. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [6] (2010) GB 50011-2010 建筑抗震设计规范. 中国建筑工业出版社, 北京.