

文章编号:1671-6833(2014)03-0098-04

豫中传统石砌房屋典型质量病害成因机理分析

童丽萍, 时 超

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要:以荥阳市高山镇石涧沟村抬梁式屋架石墙承重的传统石砌房屋为对象,通过数值模拟方法了解典型质量病害的成因机理.研究表明:纵、横墙水平向外侧移不同,且连接处剪应力最大,拉结薄弱引起纵横墙连接处竖向裂缝产生;山墙中下部平面外变形最大,与前纵墙连接处石块首先向外凸出,进而导致山墙鼓曲;中间两根檩条承担屋盖重量时其下山墙受力最大,易使石墙应力集中产生局压裂缝.并简要提出合理的治理措施,为传统石砌房屋的修缮和安全性提升提供技术支持.

关键词:传统石砌房屋;数值模拟;质量病害机理

中图分类号: TU363 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.03.024

0 引言

传统石砌房屋是传统民居主要代表形式之一,具有易于就地取材、抗压强度高、结构使用寿命长等优势,目前在农村山地地区广泛留存.荥阳市高山镇石涧沟村是河南省石结构相对集中地区之一,现存 50 年以上历史的石砌民居近 30 余栋,是研究中原地区石结构形式的活样本.石涧沟村位于荥阳西 26 公里,三面环山,中为盆地,最有特色的就是坐落在依山倾斜的缓坡上用卵石砌筑的传统石砌房屋.然而,由于历史年代久远,石砌房屋出现了质量问题,表现为墙体局部鼓曲、纵横墙连接处裂缝、檩下局压裂缝、墙体中部裂缝、屋架连接松动、墙面剥落风蚀等.病害多是在正常使用情况下发生的,严重影响了房屋居住舒适性和结构安全性.目前,针对传统石砌民居建筑形态及营造技术方面多有阐述^[1],但对于房屋的受力变形及病害发生机理方面少有研究.

为了保护和修缮传统石砌民居,提升其安全性,荥阳市文物保护中心特委托本课题组对现存石砌房屋进行质量鉴定,分析结构的受力变形特点.通过调研全面整理了石涧沟村石砌房屋的质量病害,建立典型传统石砌房屋整体模型,采用有限元法探究病害机理,为提出合理的修缮措施提供技术支持.

1 传统石砌房屋构造特点

1.1 石砌房屋类型

可分为两种类型:①石材砌筑,图 1(a),墙体以卵石为主砌筑,卵石圆滑,大小不定,墙面凸凹不平,石块挤压垒砌;②砖石混合砌筑,图 1(b),外墙转角处采用砖柱,解决了卵石在转角处砌筑搭接困难的问题.



(a) 石材砌筑房屋

(b) 砖石混合砌筑房屋

图 1 石砌房屋类型

Fig. 1 The type of stone house

1.2 石砌房屋结构特点

仅以石材砌筑房屋类型为主,房屋为五檩抬梁式屋架石砌墙体承重结构,梁檩直接搭置在墙体上.结构竖向的传力途径为:①屋面荷载→檩条→石砌山墙→基础;②屋面荷载→檩条→三架梁、五架梁→石砌纵墙→基础.

五根檩条中最下两根和抬梁木屋架搭置在纵墙上,纵墙为主要的竖向及水平向承重构件.并

收稿日期:2013-11-07;修订日期:2013-12-10

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划课题(2013BAL01B04);郑州市科技领军人才计划项目(10LJRC186)

作者简介:童丽萍(1960-)女,陕西周至人,郑州大学教授,博士,博士生导师,主要从事村镇住宅结构性能及病害治理研究, E-mail: tongliping@zzu.edu.cn.

且,房屋无内横墙,横向抗侧刚度小,抵抗横向变形的能力弱。

房屋室内采用木梁和木楼板进行分层,木楼梯连接。木楼板铺搭在木梁上,与石墙的嵌固长度短,对四周墙体的约束弱。

2 分析模型的建立

2.1 分析模型尺寸

根据调研资料整理,取典型二层石砌房屋,总长 9.6 m,总宽 5.1 m,总高 7.2 m,墙厚 600 mm。房屋底层平面图和 1-1 剖面图如图 2、3 所示,门洞 M1 尺寸 1.2 m×2.4 m,大窗洞 C1 尺寸 0.9 m×0.9 m,小窗洞 C2 尺寸 0.45 m×0.75 m。

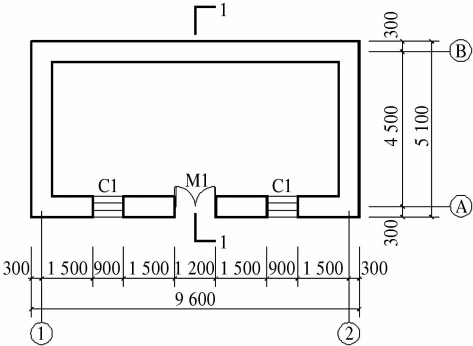


图2 房屋底层平面图

Fig. 2 The first floor plane of stone house

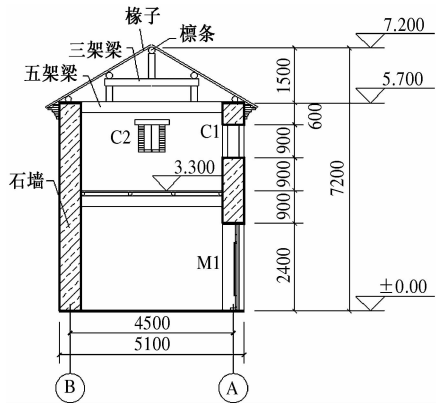


图3 房屋 1-1 剖面图

Fig. 3 Section 1-1 of stone house

2.2 屋盖荷载取值

该地区石砌房屋屋盖做法如图 4 所示。将整个屋盖的荷载转换为椽子的等效密度^[2]施加在椽子上。屋盖重量大,重力荷载为控制荷载,对结构性能影响显著,故取值^[3]考虑屋面各构造层自重和雪荷载的组合:小青瓦屋面 1 kN/m²;草泥灰 0.96 kN/m²;望砖 0.36 kN/m²;雪荷载 0.3 kN/m²。计算出屋面荷载组合值为 2.62 kN/m²。椽子

直径 50 mm,长度 2.7 m,共 58 根。根据质量等效原则得椽子等效密度为

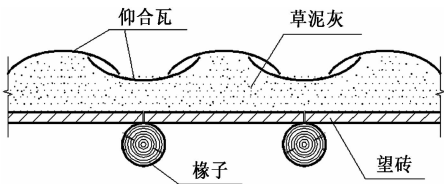


图4 房屋屋盖做法示意图

Fig. 4 The way of making a roof for stone house

$$\rho_{eq} = \frac{Aq_1}{nV} + q_2 = 43\ 100.9\ (\text{kg/m}^3)$$

式中: A 表示屋盖水平投影面积, m^2 ; q_1 表示屋面荷载, kN/m^2 ; n 、 V 表示椽子个数和每根椽子体积; q_2 表示椽子木料荷载。

2.3 参数取值及有限元模型的建立

石墙质量密度取 2 450 kg/m³,弹性模量为 2.25×10⁹ Pa,泊松比为 0.2^[4],木材考虑了各向异性,顺纹弹性模量 9×10⁹ Pa,泊松比 0.3,其他方向弹性模量和剪变模量按经验数据推导取值^[5]。采用 Marc 分析软件,其单元类型^[6]计算精度高,求解方便。石墙采用 3D SHELL 75 号单元,木材采用 3D ELASTIC BEAM 98 号单元,几何特性参数均根据模型尺寸取值。假定墙体与木屋架连接位置、房屋底部与基础之间不存在相对位移,椽子和檩条之间变形协调。建立石砌房屋正常使用情况下有限元模型如图 5 所示。

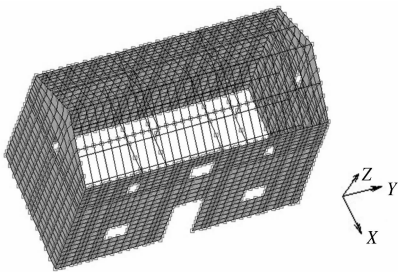


图5 石砌房屋有限元模型

Fig. 5 A model of finite element for stone house

3 典型质量病害机理分析

3.1 纵横墙连接处裂缝

石砌墙体 X 向 Y 向位移见图 6(a)、6(b)。传统石砌房屋墙体 X 向位移主要表现为纵墙平面外变形,薄弱区在前纵墙顶部窗洞口上方,且变形值整体上大于 Y 向山墙平面外变形,即房屋横向变形比纵向变形大,横向刚度弱,纵横墙连接处 X 向和 Y 向水平向外变形不同。另外,房屋剪应力

云图见图 6(c), 纵横墙连接处剪应力值最大, 达到 84 kPa, 加上该部位纵向和横向水平向外变形不一致, 纵横墙连接处易开裂形成竖向裂缝, 见图 7(a).

传统石砌房屋外墙转角处采用卵石砌筑时, 施工搭接不方便, 难以保证纵横墙连接的整体性, 且纵横墙之间缺乏有效拉结措施, 房屋正常使用过程中易在纵横墙连接部位产生竖向裂缝, 与分析结果相符. 该病害会严重削弱墙体的稳定性, 最终会使纵横两方向墙体脱离、房屋倒塌. 针对该病害, 可在墙体四周布置外加约束体系, 例如在房屋纵横墙连接处的四周用受力角钢包裹, 角钢之间用平拉筋拉紧, 通过对平拉筋施加预应力的方式, 使角钢约束纵横墙连接处的水平变形, 增强纵横墙之间的拉结, 此方法可以对石墙形成套箍作用, 防止竖向裂缝的产生与已产生裂缝的继续发展.

3.2 山墙鼓曲

根据数值分析结果, 取墙体 Y 向位移 (即山墙平面外变形) 如图 6(b), 水平 Y 向最大变形发生在墙体中下部, 位置大约在距地面 2.1 m 处. 墙体上部受到屋盖和檩条的约束, 底部受到基础的约束, 木楼板对墙体约束较小, 故墙体中下部水平向外侧移较大.

并且, 山墙与前纵墙连接处最大变形值比山

墙与后纵墙连接处最大变形值大, 山墙因前纵墙拉结薄弱易使该部位石块首先向外凸出, 逐渐引起向其它部位发展的大面积鼓曲.

石墙抗压性能好, 但抗拉、抗剪性能弱, 抗弯强度对于墙体破坏的影响不可忽略^[7], 山墙部位高厚比较大, 抗侧移刚度差, 若纵横墙没有合理的构造拉结措施, 不能很好地约束墙体在平面外的变形, 在山墙水平向外侧移变形最大位置处就会发生鼓曲现象.

因此, 墙体鼓曲病害如图 7(b) 所示, 多发生在卵石山墙的中下部, 造成墙体向外倾闪, 这一问题不仅影响房屋美观, 长期下去鼓曲的石块还会加大向外凸出的倾斜度, 达到一定程度时势必造成山墙倒塌, 房屋整体失稳而破坏. 针对该病害, 可在外墙转角处和山墙部位设置上下贯通的竖向扶壁柱, 保证与加固墙体紧密连接, 增加墙体稳定性, 防止墙体鼓曲现象发生.

3.3 檩下局压裂缝

数值模拟分析房屋山尖顶部应力值见图 8, 峰值点为檩条与山墙的连接处, 屋架沿纵墙方向布置五根檩条, 中间两根檩条下墙体应力值较大, 最上面檩条下受力反而较小, 说明屋盖重量主要由中间两根檩条承担, 局压裂缝见图 7(c), 易在中间两根檩条下的墙体产生, 与实际情况相符.

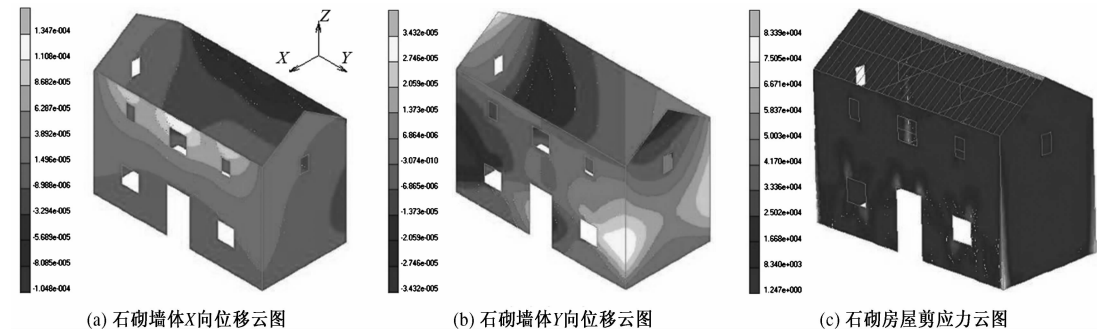


图 6 传统石砌房屋位移云图和剪应力云图
Fig. 6 Displacements and shear stress of traditional stone house

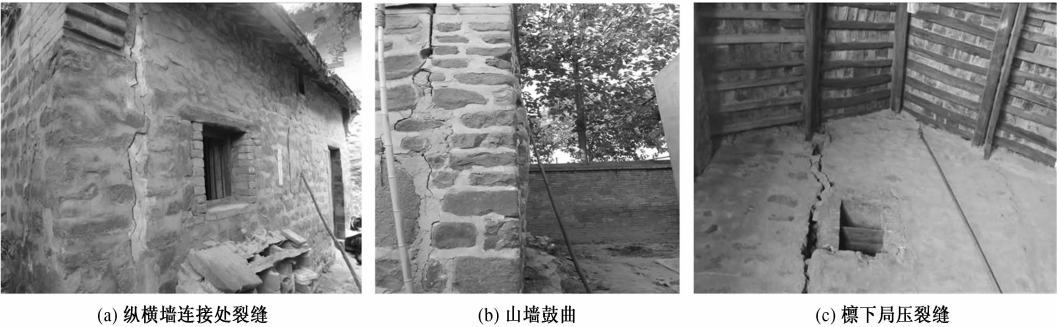


图 7 传统石砌房屋典型质量病害
Fig. 7 The typical diseases of traditional stone house

该病害在传统石砌房屋中比较常见,裂缝主要表现为向下发展,呈上宽下窄的特点.檩条直接搁置在墙体上,与墙体接触面积很小,往往在接触处产生应力集中区,竖向压应力和横向拉应力共同作用,墙体受力过大而开裂.因此局压裂缝属于受力裂缝,会严重破坏石墙的结构性能.针对该病害,可在木构架与墙体连接处设置木垫板或垫块,增大受力面积,防止局压应力集中使墙体开裂.

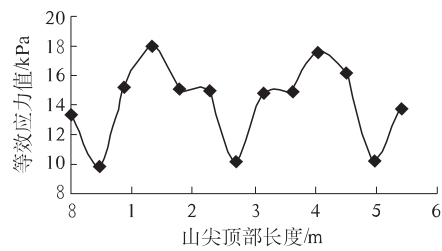


图 8 房屋山尖顶部等效应力值

Fig. 8 Equivalent stress on the top of transversal wall

4 结论

荥阳市石洞沟传统石砌房屋是河南石砌民居典型代表,为对其进行保护修缮,运用数值模拟方法探究典型质量病害的成因机理,提出合理措施很有必要.

(1)纵横墙连接处剪应力最大,且纵、横向水平变形不同,墙体拉结薄弱,易形成竖向裂缝,可以采用外加角钢加强纵横墙的拉结对转角处墙体

进行加固.

(2)山墙中下部平面外变形最大,并且与纵墙相连一侧的石块首先凸出,进而引起墙体的大面积鼓曲,可以通过设置竖向扶壁柱对山墙进行加固.

(3)墙体承受屋盖重量时,中间檩条下石墙受力较大,易因局压应力集中而开裂,可设置垫块防止病害产生.

参考文献:

[1] 左满常,渠淘,王放.河南民居[M].北京:中国建筑工业出版社,2012:136-145.

[2] 童丽萍,张琰鑫.农村夯土类建筑地震反应分析[J].世界地震工程,2009,25(2):36-40.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50009—2012,建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[4] 刘立新.砌体结构[M].3版.武汉:武汉理工大学出版社,2007:17-19.

[5] 中华人民共和国建设部. GB 50005—2003,木结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2006.

[6] 陈火红,杨剑,薛小香,等. Marc 有限元实例教程[M].北京:机械工业出版社,2007:128-139.

[7] VENU MADHAVA RAO K, VENKATARAMA REDDY B V, JAGADISH K S. Strength characteristics of stone masonry [J]. Materials and Structures, 1997, 30(5):233-237.

Mechanism Analysis of Typical Diseases of Traditional Stone Houses
in Central Subregion of Henan Province

TONG Li-ping, SHI Chao

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Traditional stone houses in the Shidonggou village of Gaoshan in Xingyang city have a unique building style. This paper takes the typical traditional stone house as the object, understands the mechanism of the typical disease through the numerical simulation method. The results show that the maximum out-of-plane deformation occurs in the middle and bottom part of the transversal wall, stones protrude first with the longitudinal wall joint, leading to extrusion on the transversal wall; the horizontal displacements of stone wall are different, with the largest shear stress, leading to cracks between the joint of longitudinal and transversal wall; the transversal walls under the middle purlin have the largest stress when bearing the weight of the roof, easy to produce local bearing cracks. The paper proposes reasonable treatment measures and provides technical support for repair and safety of ascension to this stone houses.

Key words: traditional stone house; numerical simulation; mechanism of typical disease