

张兴刚, 闫秋羽, 陈鹏, 等. 基于振动法的建筑墙体装饰抗震裂综合设计研究[J]. 地震工程学报, 2019, 41(6): 1499-1505. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1499

ZHANG Xinggang, YAN Qiuyu, CHEN Peng, et al. Synthetic Design of Anti-seismic Cracking of Building Wall Decoration Based on the Vibration Method[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(6): 1499-1505. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1499

基于振动法的建筑墙体装饰抗震裂综合设计研究

张兴刚¹, 闫秋羽², 陈鹏¹, 王志强¹, 杨政¹, 姜荣斌¹

(1. 泰州职业技术学院, 江苏 泰州 225300; 2. 常州大学怀德学院, 江苏 靖江 213016)

摘要: 为了解决传统建筑墙体装饰抗震裂设计方法中存在稳定性较差、强度折减系数较低的问题, 提出了一种基于振动法的建筑墙体装饰抗震裂综合设计方法。分析建筑墙体结构, 构建面向数据提取的建筑墙体结构对象模型, 根据建筑墙体装饰抗震裂设防的具体要求, 以建筑底部框架抗震墙结构为基础, 制定出墙体装饰抗震加固设计基本方法。结合具体施工方法, 综合考虑了底部框架抗震墙结构的刚度、强度以及延性的影响, 实现了建筑墙体装饰的抗震裂设计。实验结果显示, 该方法的稳定性比传统方法提高 2%, 且在不同密度条件下, 最大应力和强度折减系数均远大于对比方法, 充分说明了加固后能够保证建筑墙体装饰具有较好的抗震裂能力。

关键词: 振动法; 建筑墙体; 装饰; 抗震裂; 设计

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2019)06-1499-07

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2019.06.1499

Synthetic Design of Anti-seismic Cracking of Building Wall Decoration Based on the Vibration Method

ZHANG Xinggang¹, YAN Qiuyu², CHEN Peng¹, WANG Zhiqiang¹,
YANG Zheng¹, JIANG Rongbin¹

(1. Taizhou Polytechnic College, Taizhou 225300, Jiangsu, China;

2. Changzhou University Huaide College, Jingjiang 213016, Jiangsu, China)

Abstract: To solve the problem of traditional anti-seismic crack design for building wall decoration, i.e., poor stability and a low strength reduction coefficient, a comprehensive seismic design method for building wall decoration based on the vibration method is proposed. Based on analysis of the structure of the wall used in this study, the seismic conceptual design of the building wall was carried out, and a wall structure model, oriented to data extracted, was constructed. According to the specific requirements of anti-seismic crack fortification for building wall decorations, and on the basis of an anti-seismic frame wall structure at the building bottom, the basic design method for the seismic reinforcement of wall decoration was developed. Combined with specific construction methods,

收稿日期: 2019-10-13

基金项目: 泰州职业技术学院院级重点课题(TZYKYZD-18-4); 国家自然科学基金青年基金(61503050)

第一作者简介: 张兴刚(1985-), 男, 江苏东海人, 硕士, 讲师, 研究方向: 室内设计, 建筑 BIM 技术室内装饰设计。

E-mail: tty0927@163.com。

the influences of stiffness, strength, and ductility of the wall structure were comprehensively considered, and the seismic cracking design of the wall decoration developed. Experimental results showed that the stability of the proposed method was 2% greater than that of the traditional method; under different densities, the maximum stress and strength reduction factors were much larger than those in the comparative method. This study fully demonstrated that, after reinforcement, improved resistance to shattering of the building wall decoration could be ensured.

Keywords: vibration method; building wall; decoration; seismic cracking; design

0 引言

地球上几乎每天都有地震的发生,较为强烈的地震会使房屋、厂房、桥梁等受到严重的损坏^[1]。虽然大地震在全球发生机率较小,但是一旦发生,就会造成巨大的损失^[2]。

地震属于随机事件,具有一定的复杂性和不确定性,准确预测地震对建筑墙体的破坏参数和特性,是十分艰难的工作。为了提升墙体质量,在墙体设计时采用水泥与碎石作为主要材料提升墙体的稳定性,预防建筑墙体震裂。目前,相关学者已针对这方面展开了研究,认为做好建筑墙体的防震设计是减轻建筑物损害最直接、有效的途径^[3]。在建筑物墙面抗裂设计中方法很多,例如文献[4]提出一种加气砌块墙单开口挂片抗裂施工方法,对加气砌块墙的墙面的两侧增加单开口挂片,以地心引力施加向下压力,从而增加墙体之间的紧实程度。通过计算建筑物装饰的承载力、刚度等值,增加建筑物墙体的混凝土强度。但是该方法的承载指数较低,导致该方法设计下的建筑墙体抗震裂性能较差。文献[5]提出填充墙体墙面防裂施工方法,采用位移方法进行建筑墙体的预应力控制,并结合钢筋阻滞作用的挡水建筑物进行剪力墙设计,通过填充方法增加墙体混凝土强度。该方法加入了剪力墙设计,但是由于剪力墙的刚度值偏低,造成所设计墙体抗震裂稳定性较差。

针对上述方法存在的问题,本文提出了一种基于振动法的建筑墙体装饰抗震裂设计方法。通过分析墙体组成结构,进行墙体抗震概念设计。通过振动力对墙体强度进行加固,以底部框架抗震墙结构为基础,制定出墙体装饰抗震加固设计方法,考虑了建筑墙体抗震墙结构的刚度、强度以及延性的影响,实现了建筑墙体装饰的抗震裂设计。通过实验得出,采用本文方法加固后能够保证建筑墙体装饰的抗震裂能力。

1 基于振动法的墙体装饰抗震裂设计

1.1 墙体抗震概念设计

为了对建筑墙体装饰进行抗震裂设计,可以通过加强建筑墙体结构,间接的加强墙面装饰的强度,本文在这一理念的基础上进行墙体抗震裂设计,提出了基于振动法的建筑墙体装饰抗震裂综合设计方法。振动法是建筑中常见的一种加固方法,它在墙体建筑中具有重要作用,通过在桩上增加振动锤,由振动锤旋转产生振动力,增加自上而下的压力,从而墙体中空气缝隙减少,在振动力的作用下增加墙体抗裂性能。现阶段与振动法相关的理论有很多,例如:共振理论、内摩擦减小理论、反复荷载理论、“液化”理论、交变剪应变理论等。这些方法大都是通过共振作用实现建筑墙体缝隙压实,但是影响墙体压实效果的因素较多,仅依靠这些理论还不能对墙体裂缝原因进行较为全面的分析与论述。为了获得较好的防震裂效果,本文采用振动法对墙体装饰抗震裂进行设计,在设计过程中,需要遵循以下原则:

(1) 增强安全意识,提高警惕。建筑物结构设计具有一定的复杂性和多变性。在设计阶段需要对建筑物墙体结构的实际特征进行精确计算^[6]。

(2) 建筑物的内力位移,通过不同的计算方法,能够计算出不同建筑墙体在地震中的内力位移,需通过对建筑物的内部结构进行具体分析。

(3) 建筑物墙体的整体连接性设计阶段,特征不同的建筑物墙体装饰结构在连接的过程中,抗震能力大小也不同。

对于建筑墙体装饰抗震裂工程的设计,一定要注意建筑墙体的刚度,若想要达到理想的刚度,就必须加强建筑物柱子、墙壁等施工环节,在上述基础上,选择相应的建筑材料,合理、有效地保证建筑墙体装饰抗震性。另一方面,地震过程中还需要保证建筑处于非弹性状态,使其抗震裂性能增加。在研究的过程中,将整个建筑物的承受能力、结构等作为

前提和基础,对其进行精确的计算和设计,使其具有较好的预测作用,将地震期间所发生的非弹性反射位置进行重新设计,在最后的設計环节中,对建筑物整体结构进行优化,进一步提升建筑墙体装饰抗震裂能力。

在建筑墙体装饰抗震裂设计中,还需要考虑建筑墙体本身存在的弱点,在具体的设计过程中,需要对其加以重视,增强其薄弱环节,避免在地震发生后,其薄弱环节出现裂缝、坍塌等现象,影响建筑墙体整体抗震效果。

建筑墙体装饰抗震裂工程中,设计环节是重点,要充分结合建筑墙体整体布局、结构进行综合、有效地设计。因此,采用振动法对建筑墙体部分进行设计,并对设计后墙体的抗震性能进行研究。具体设计如下:

(1) 建筑物结构选型

在设计建筑物结构之前,通过对结构抗震概念设计的介绍,正确选择建筑墙体的形状,使建筑物墙体装饰结构布置的尽可能合理。经过具体的实验验证可知,在发生地震时,侧向刚度不规则的建筑墙体最容易受到破坏,且建筑物的高度越高,所受到的地震力就越大,墙体裂痕就越大。因此规定了不同结构体系使用范围内的建筑墙体最大高度。

(2) 建筑物场地选择

选取合适的建筑物场地十分重要。建筑墙体的变形,是由于地表变形传递给建筑物的基层引起的,上述一系列的破坏过程是经过一系列的力传递造成的^[7]。

(3) 防震缝的设计

防震缝的抗震设计中:将建筑墙体划分为若干个单一的单元,将其两侧上方结构全部分开,降低建筑物的设计难度,增加其可靠性。

(4) 建筑墙体稳定性加固设计

通过水泥稳定碎石力学特性,利用水泥与碎石混合,通过增加墙体的硬度,增加墙体的稳定性。

1.2 基于振动法的抗震裂加固设计

建筑墙体裂缝一般是由碎石水泥结构不稳定造成,通过振动法减少水泥与碎石之间的空隙,增加建筑墙体的密度,实现建筑墙体装饰抗震裂加固设计。地震区建筑墙体的刚度、延性、强度是最为重要的三个结构特征。传统加固方法只是单一的考虑建筑墙体结构的强度,而实际上,对于不同的建筑墙体刚度、延性也是十分重要的。针对框架抗震墙来说,在

遇到较大的地震时,刚度往往起重要作用^[8]。主要是因为该类建筑墙体随时都有可能出刚度突变,而突变交接处的楼层在地震作用下往往是最薄弱的环节,使得建筑物墙体出现裂缝。楼层附近的承重墙、承重柱等会因为内力而发生突变。以下给出具体的研究过程:

(1) 侧移刚度比分析

建筑墙体的抗震裂不仅与墙体结构的稳定性相关,同时房屋的质量、刚度、墙体延性及结构层间屈服强度系数都存在一定的关系,对这些参数进行优化,能够获得最佳抗震裂效果。通过振动法压缩水泥与碎石之间的空隙,有效提升墙体密度;然后通过侧移刚度比进行控制,降低振动法带来的底层弹性位移及墙体形变,降低建筑墙体的损坏程度,综合性的提升建筑承载力及抗震裂效果。通常情况下,在建筑结构纵横两个方向上布置抗震墙,并将建筑结构第二层与底层的侧移刚度比设定在一个合理的范围内,避免结构各层刚度突变,造成最底层应变集中、变形集中而受到破坏。侧移刚度比的计算式为:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\sum k_{w2}}{\sum k_f + \sum k_{cw} + \sum k_{bw}} \quad (1)$$

式中: K_1 、 K_2 分别代表建筑物结构最底层以及第二层的侧移刚度; k_f 代表建筑结构底层框架; k_{cw} 代表混凝土抗震墙; k_{bw} 代表建筑物底层框架; k_{w2} 代表第二层建筑物的侧移刚度。

抗震的主要目的是预防在较大地震发生时,建筑结构出现倒塌现象。根据地震灾害调查表显示,倒塌是从抗震墙最薄弱的环节开始的,抗震墙设置过多时,第二层通常为薄弱层。建筑物墙体抗震加固方法主要是根据侧移刚度比的计算来决定所需要的抗震墙数量,以及柱截面需要增加的具体尺寸。大量的数据调查结果显示,建议将建筑物第二层与底层的数量比设定在 1.5 左右。这样,事先设定好一个较优值,使建筑墙体各层之间的极剪力系数均匀分布,能够很简单的确定抗震墙的数量和柱截面面积的尺寸,经过建筑墙体抗震加固以后,建筑墙体结构的框架和抗震墙能够更好地发挥变形及耗能能力^[9-11],建筑墙体受到的损坏也较轻。

(2) 假设要保护建筑墙体在地震发生时不受到影响,则该建筑物具有足够的强度以及较强的承载能力。

(3) 为了减少对建筑结构的损伤以及建筑物倒

塌的可能性,需要增加墙体装饰的抗震裂性能。当发生较大的地震时,会使建筑墙体发生变形,建筑物墙体需要保证建筑物结构具有较好的抗侧能力,墙体结构必须要保持初期强度,所以建筑物墙体装饰结构需要具有一定的延性变形能力。延性破坏主要是指建筑墙体结构在一定的外力作用下,仍然能保留大部分的初始强度,随着弹塑性变形的缓慢累计,最终达到极限变形的破坏,这种破坏在前期会有明显的预兆,且破坏过程缓慢。

(4) 抗震墙的延性分析

在这种建筑结构中,所放置的抗震墙的高宽相对一般较小,在水平作用下造成较为典型的破坏。在这种情况下,通常通过设定抗震墙开设结构门洞来提高墙体的高宽之比。

为了确定建筑物底层框架柱具有足够的变形能力,柱截面尺寸需要满足如下条件:

$$N/A_c f_c < [\lambda_n] \quad (2)$$

式中: N 代表建筑物轴压力设计值; A_c 代表建筑物柱截面面积; f_c 代表混凝土抗压强度设计值; $[\lambda_n]$ 代表柱轴压比限值。

建筑物墙体装饰的构建是由建筑物实体的基本单元所组成的,通过建筑物墙体装饰的构建组合,能够实现建筑物空间表达。建筑施工图中的信息存在着较多的类型,需要采用不同的方法进行分步提取,此时,需要采用合适的方法提取建筑施工特征,适应数据提取以及管理的共同需要。所提方法研究了一种分专业、分空间层次的建筑物数据结构,它主要是为了强调描述对象信息及其完整性。上述方法支持数据从上到下进行提取,以方便针对不同的数据进行检验^[12-14]。

根据建筑施工特征利用建筑物设计阶段的参数设计优化模型和数据转换后的矢量模型两种方法进行数据存储,以确保建筑物在三维重构中的可视化。

模拟建筑物墙体装饰,其中 h_1 代表活荷载重力值系数,以下给出加固后墙体的质量计算式:

$$K_h = \frac{K_2}{A_c f_c} h_1 \quad (3)$$

利用式(3)给出地震土压力 $f(z)$ 以及竖向荷载分项系数 α 的计算式:

$$f(z) = k_h [h_1 - A_c] \quad (4)$$

$$\alpha = H_z \otimes T_x \quad (5)$$

式中: H_z 表示水平地震系数; T_x 表示地震土摩擦惯性力。

设定 β_i 代表加固后的建筑物墙体装饰综合抗震能力指数,则有:

$$\beta_i = \alpha \frac{H_z}{k_{w2}} \quad (6)$$

在底部框架抗震墙结构中,较为常用的抗震加固方法有:增加抗震墙、加强柱子等。

(1) 针对建筑时间较长、墙体较多的抗震墙砖房,通常都会采用价钱较低的建筑材料,增加墙体装饰的抗震裂性能。

(2) 针对墙体较少、规模较小、底层空间较小,且不能破坏其原有使用功能的建筑时,通常采用加固柱子和少量抗震墙的施工方法,该方法是一种较为常用的抗震裂加固方法,如果要提高柱子的强度及刚度,则需要在采用振动锤增加侧压力,以达到抗震裂的目的^[15-16]。

2 实验结果与分析

对建筑墙体装饰抗震裂效果进行检测,需要对其进行实验验证。为了提升实验的可操作性,将此问题转化为结构加强程度检测。本文通过加强建筑墙体的结构,间接的加强了墙面装饰的设计强度。利用第一章的加固设计方法,对墙体进行加固设计,在SATWE软件中输入相关的墙体参数,具体参数如下:墙体截面尺寸 $240 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$,墙高为 200 mm ,加固后墙体的质量为 480 kg ,竖向荷载分项系数 1.25 ,施加的 0.02 N/mm^2 的面荷载,活荷载重力代表值系数 0.5 ,计算实际强度折减系数,结果如图2(d)所示。

用所提方法对整体建筑设计后的墙面部分抗震性能与文献[4]提出加气砌块墙单开口挂片抗裂施工方法以及文献[5]提出填充墙墙体墙面防裂施工方法进行建筑墙面装饰抗震裂加固测试,将实际建筑物墙体的截面内力以及强度折减系数进行对比,其中截面面积的实际值为常数。具体的对比结果列于表1。

表1 不同方法最大应力对比结果

Table 1 Comparisons of maximum stress for different methods

密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	未加固	所提方法	文献[4]方法	文献[5]方法
0.2	100	115	98	109
0.4	90	98	91	96
0.6	98	107	100	110
0.8	91	97	92	95
1.0	88	89	76	85
1.2	84	90	83	90

为了更加直观的对比,将表 1 结果用图 1 表示。

综合分析表 1 与图 1 可知,3 种不同方法对截面内力计算结果不同,都能够提升最大应力。文献 [5] 提出填充墙体墙面防裂施工方法计算结果与本文方法都高出未加固最大应力值,文献 [4] 提出的加气砌块墙单开口挂片抗裂施工方法测出截面内力值稍低于这两种方法。相比来说,本文方法与文献 [5] 方法都能够提升最大应力计算结果,而本文方法在密度为 0.6 kg/m^3 时,最大应力提升效果最佳达到峰值。

采用 3 种方法对强度折减系数进行计算,上图中颜色由蓝变橘,代表强度折减系数从 700~1 200,在图片中以颜色表示强度折减系数大小,对图 2 进

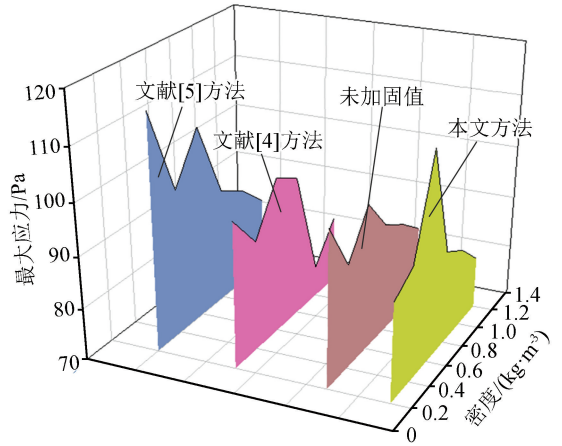


图 1 最大应力对比图

Fig.1 Contrast chart of maximum stress

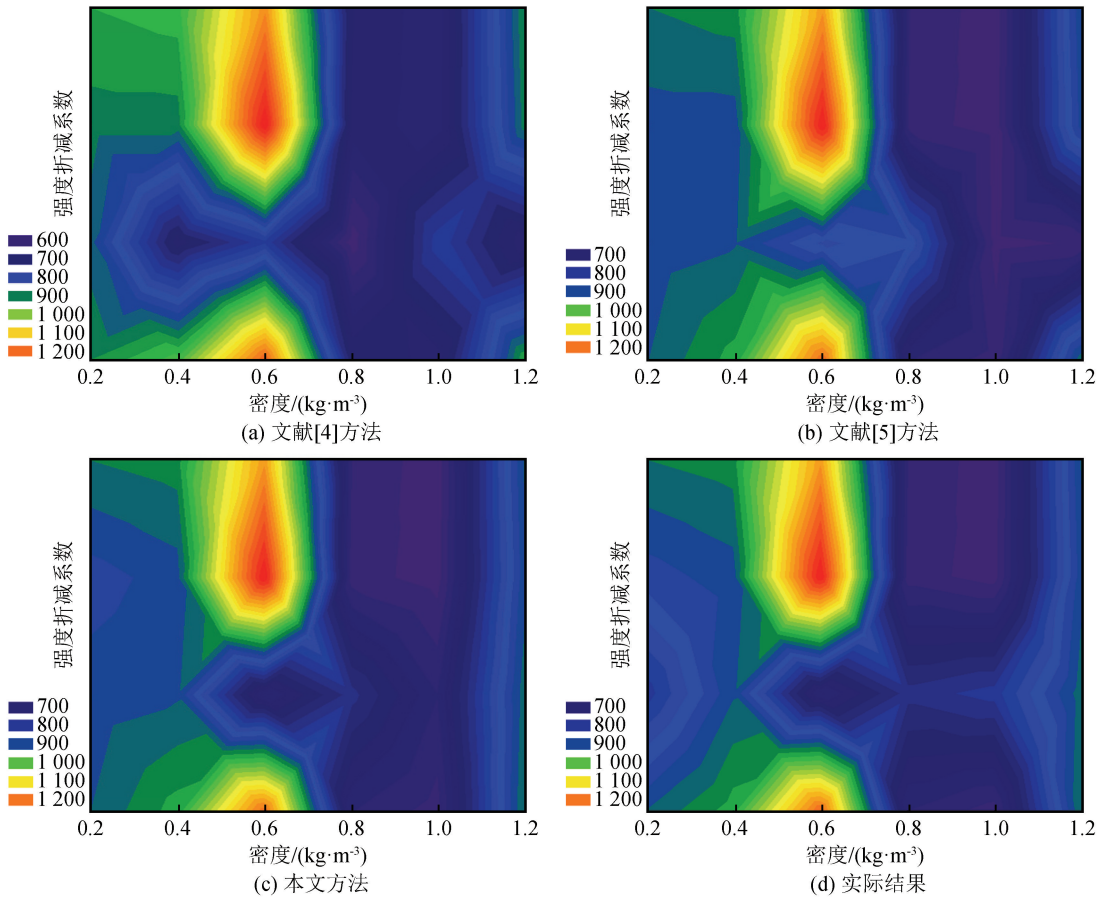


图 2 三种不同方法对强度折减系数的计算结果

Fig.2 Calculation results of the strength reduction coefficient with three different methods

行具体分析,本文方法与文献[4]的加气砌块墙单开口挂片抗裂施工方法能够获得较为准确的折减系数,而文献[5]方法对强度折减系数计算与实际值差距稍大,对强度折减系数的计算没有文献[4]与本文方法准确。对上述实验数据及图片综合分析可知,本文方法能够在有效提升截面最大应力准确的前提

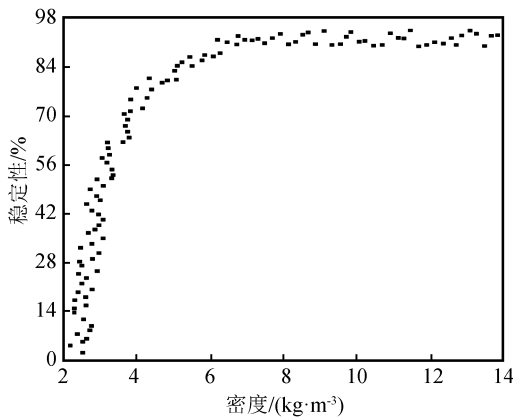
下,同时兼顾对强度折减系数计算,综合性能较好。其主要原因在于,本文方法通过碎石与水泥混合,通过垂直振动,减小碎石与水泥之间的缝隙,能够有效抑制裂缝的产生,在传统方法的基础上,与有限元方法相结合,构建一种新的建筑墙体防震裂加固设计方法。通过上述实验数据,充分验证了所提方法的

综合性能较好。

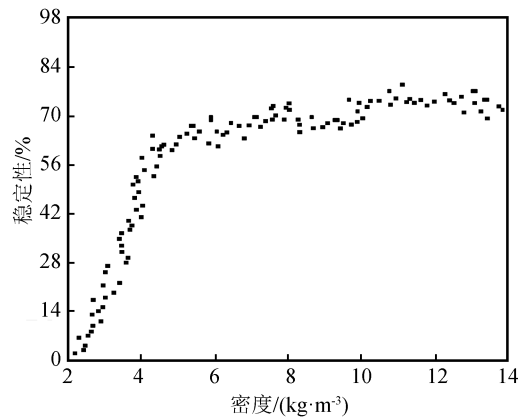
分别利用所提方法与文献[4]的加气砌块墙单开口挂片抗裂施工方法以及文献[5]提出填充墙墙体

体墙面防裂施工方法进行强度测试,对比不同方法的抗震裂稳定性,结果如图3所示。

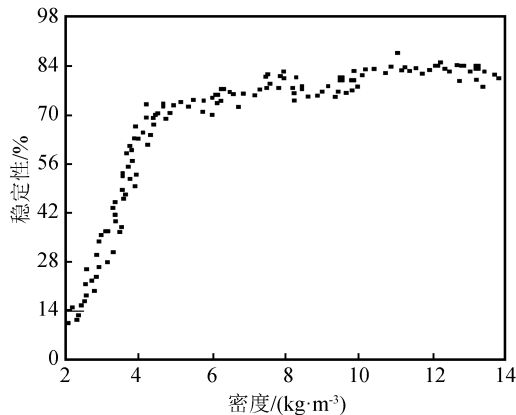
采用本文所提方法能够对建筑墙面进行防震裂



(a) 所提方法的稳定性



(b) 文献[4]方法的稳定性



(c) 文献[5]方法的稳定性

图3 3种方法的稳定性

Fig.3 Stability of the three methods

设计,对墙体进行稳定性研究,与文献[4-5]两种方法对比,并通过分析图1~图3可知,所提方法的抗震裂稳定性较文献[4]的加气砌块墙单开口挂片抗裂施工方法和文献[5]的填充墙墙体墙面防裂施工方法稍高。具体的实验结果对比验证了所提方法具有较好的抗震裂性能。

3 结语

针对传统方法存在的一系列问题,本文通过对建筑墙体结构进行加固设计,从而提升墙面的防震裂效果,以改变内部结构着手,从而改变墙体表面防震裂性能,就此提出了一种基于振动法的建筑墙体装饰抗震裂设计方法。就强度折减系数与墙面稳定性两个方面来考察墙面的防震裂效果,通过与两种传统方法的抗震裂性能进行比较,得出实验结论。结果表明,所提方法能够稍增加建筑墙体装饰的抗

震承载能力,且经过改进后的墙体装饰抗震裂能力有进一步提高。但是本文方法还需要在实际生活中加以验证。

参考文献(References)

- [1] 刘学春,周小俊,张译文.外挂整体装配式墙体及连接抗震性能研究[J].工业建筑,2017,47(7):34-39.
LIU Xuechun, ZHOU Xiaojun, ZHANG Yiwen. Experimental Study of Seismic Performance of Integralassembled Cladding Panels and Connections[J]. Industrial Construction, 2017, 47(7):34-39.
- [2] 吴耀华,岳清瑞,曾滨,等.工业建筑装配式围护墙结构的抗震设计研究[J].工业建筑,2017,47(4):166-169.
WU Yaohua, YUE Qingrui, ZENG Bin, et al. Research on Seismic Design of Prefabricated Enclosure Wall for Industrial Buildings[J]. Industrial Construction, 2017, 47(4):166-169.
- [3] 刘宏波,曹万林,乔崎云,等.框架内填带洞单排配筋墙体结构抗震试验[J].哈尔滨工业大学学报,2018,50(6):56-63.

- LIU Hongbo, CAO Wanlin, QIAO Qiyun, et al. Experimental Study on Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Infilled Single Row of Steel Bars Shear Wall with Openings[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2018, 50(6): 56-63.
- [4] 姜吉坤, 周东明, 刘新杰. 加气砌块墙单开口挂片抗裂系统施工技术[J]. 施工技术, 2018, 47(20): 60-62.
- JIANG Jikun, ZHOU Dongming, LIU Xinjie. Construction Technology of Single Opening Hanging Piece Anti-cracking System for Aerated Concrete Block Wall [J]. Construction Technology, 2018, 47(20): 60-62.
- [5] 陈天骄. 填充墙体墙面防裂施工技术 方案编制与审核要点 [J]. 安徽建筑, 2019(2): 102-104.
- CHEN Tianjiao. Key Points for Compilation and Review of Anti-cracking Construction Scheme for Infilled Wall Walls [J]. Anhui Architecture, 2019(2): 102-104.
- [6] 史庆轩, 王斌, 何伟锋, 等. 带翼缘钢筋混凝土剪力墙抗震性能试验研究 [J]. 建筑结构学报, 2017, 38(1): 106-115.
- SHI Qingxuan, WANG Bin, HE Weifeng, et al. Experimental Research on Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls with Flange [J]. Journal of Building Structures, 2017, 38(1): 106-115.
- [7] 崔成臣, 黄强, 李东彬, 等. 异形截面轻钢 EPS 混凝土剪力墙抗震性能试验研究 [J]. 建筑科学, 2016, 32(3): 40-45.
- CUI Chengchen, HUANG Qiang, LI Dongbin, et al. Experimental Study on Seismic Behavior of Light Gauge Steel Reinforced EPS Concrete Shear Walls With Irregular Section [J]. Building Science, 2016, 32(3): 40-45.
- [8] 魏文晖, 徐沛韬, 高湛, 等. 框架-嵌入式墙体结构抗震性能试验研究与有限元分析 [J]. 建筑结构学报, 2017, 38(5): 92-99.
- WEI Wenhui, XU Peitao, GAO Zhan, et al. Experimental and Analytical Study on Seismic Performance of Frame-embedded Walls [J]. Journal of Building Structures, 2017, 38(5): 92-99.
- [9] 武胜, 韩彪. 新型腹板开孔 HF1 轻钢龙骨复合墙体传热性能研究 [J]. 太原理工大学学报, 2017, 48(06): 984-990.
- WU Sheng, HAN Biao. Heat Transfer Performance Analysis of Slotted Light Steel-Framed HF1 Composite Wall [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2017, 48(06): 984-990.
- [10] 杨记芳. 大直径盾构隧道施工对高层建筑及桩基影响数值分析 [J]. 太原理工大学学报, 2017, 48(05): 772-777.
- YANG Jifang. Numerical Analysis on Pile Foundations' Settlement in Large Diameter Shield Tunnel Construction [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2017, 48(05): 772-777.
- [11] 吴帮, 申波, 马克俭, 等. U 形钢板-混凝土组合空腹夹层板在多遇地震作用下的抗震性能分析 [J]. 贵州大学学报 (自然科学版), 2016, 33(2): 117-122.
- WU Bang, SHEN Bo, MA Kejian, et al. Analysis on Seismic Behavior of U-shaped Steel Plate-Concrete Composite Openweb Sandwich Slab Structure under the Frequent Seismic Action [J]. Journal of Guizhou University (Natural Science), 2016, 33(2): 117-122.
- [12] 田甜, 邱文亮, 张哲. 混合桥墩抗震性能试验研究 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2017, 45(6): 528-534.
- TIAN Tian, QIU Wenliang, ZHANG Zhe. Experimental Study on the Seismic Behavior of Hybrid Bridge Column [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(6): 528-534.
- [13] 陈立伟. 核安全相关边坡与一般边坡挡土墙抗震稳定性验算对比分析 [J]. 地质力学学报, 2015, 21(4): 527-535.
- CHEN Liwei. Comparative Analysis of the Retaining Wall Seismic Stability of Nuclear Safety Related Slope and Common Slope [J]. Journal of Geomechanics, 2015, 21(4): 527-535.
- [14] 钟登华, 刘肖军, 佟大威, 等. 考虑施工质量影响的碾压混凝土坝地震动力响应 [J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2019, 47(3): 112-117.
- ZHONG Denghua, LIU Xiaojun, TONG Dawei, et al. Study on Seismic Responses of RCC Dams Consider Influences of Construction Quality [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(3): 112-117.
- [15] 罗海燕, 杨双锁, 王磊, 等. 地连墙插入比对深基坑稳定性影响的数值模拟研究 [J]. 太原理工大学学报, 2016, 47(4): 455-459.
- LUO Haiyan, YANG Shuangshuo, WANG Lei, et al. Numerical Simulation Study on the Influence of the Earth Wall Insertion Ratio on the Stability of Deep Foundation Pit [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2016, 47(4): 455-459.
- [16] 刘蕾, 刘雪玲, 周金喜. 地裂缝与斜交地铁隧道动力响应数值分析 [J]. 地质力学学报, 2018, 24(2): 451-456.
- LIU Lei, LIU Xueling, ZHOU Jinxi. Numerical Analysis on Dynamic Response of the Oblique Metro Tunnel in Ground Fissure Area [J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24(2): 451-456.