

砌体结构抗震性能研究及加固技术探讨：基于砌筑砂浆、结构层数和抗震墙厚度的分析

刘同军

铁汉生态建设有限公司，深圳市宝安区，518100；

摘要：砌体结构是我国建筑结构的主要类型之一，我国有着丰富的砌体结构，然而其抗震性能却并不尽如人意。基于砌筑砂浆、结构层数和抗震墙厚度这三个方面的分析，通过建立三维模型，对比了不同层数砌体结构在地震作用下的破坏形式和受力特点。然后根据对某砌体结构进行加固案例分析，针对其抗震性能不满足要求的情况，分别采用了不同加固方法进行加固实验。最后将实验结果与案例分析进行对比，验证了采用基于砌筑砂浆加固技术对砌体结构进行加固的可行性。本研究为今后砌体结构抗震性能研究提供了一定的理论基础和参考依据，也为砌体结构抗震性能的提高提供了一定的解决方案。

关键词：砌体结构；抗震性能；加固技术；砌筑砂浆；结构层数；抗震墙厚度

DOI：10.69979/3029-2727.25.02.043

引言

我国的砌体结构是建筑结构的主要类型之一，在建筑领域占有重要地位。由于传统砌体材料强度低、抗拉、抗压能力弱、整体性差，在地震作用下容易发生破坏，对其抗震性能进行研究具有重要意义。近年来，国内外学者对砌体结构进行了大量研究，并提出了很多加固方法。目前国内外学者对砌体结构的抗震性能研究主要集中在地震作用下不同结构构件的破坏形式及受力特点、抗震墙厚度及砌筑砂浆强度对抗震性能的影响等方面。本文主要针对不同结构层数的砌体结构进行抗震性能分析，并通过试验和有限元模拟等方法对不同结构层数的砌体结构进行抗震性能研究，并提出了一些加固建议。

1 砌体结构抗震性能研究

1.1 砌体结构的定义和特点

砌体结构是用块料、砂浆或混合材料作为主要的承重材料，以砖、石等块体作为主要承重构件，并承受由上而下或由水平方向传递的荷载的结构。砌体结构具有整体性好、承载力高、造价低廉等特点。在房屋建筑中，砌体结构用砖或砌块砌筑墙体，墙内填砂浆或砂浆与砖石间填充混合材料，形成的整体性好。用块料和砂浆砌筑墙体，其抗剪强度高，抗变形能力强，且构造简单，施工方便，造价较低。砌体结构具有一定的承载能力和变形能力。在地震区，砌体结构所能提供的抗侧力作用

较小，但砌体具有较好的整体性和延性，是抗震能力较好的结构形式之一。砌体结构的抗震性能主要取决于砌体材料的强度、延性和耗能能力。随着砌筑砂浆强度等级的提高，砌体结构的抗剪强度也相应提高，抗震性能提高。砌体结构在地震作用下主要破坏形式有：弯曲破坏、斜向裂缝破坏和剪切破坏。墙体开裂后，在重力荷载作用下，会产生水平剪力、弯矩和扭矩，导致砌体开裂；若地震强度较大，则会发生倒塌现象。墙体开裂后，墙体承载力降低，不能满足正常使用要求；若墙体存在较大的裂缝，会导致砂浆与砌体间黏结力下降，使砌体失去整体性，导致抗震性能变差；若墙体存在较大的剪切裂缝，会导致砌块材料强度下降，甚至坍塌。

1.2 砌体结构的抗震性能评价方法

根据国内外对砌体结构的抗震性能评价方法，主要可以分为两类，一类是基于强度折减的方法，如美国的 AIM 和 SDOF 方法，我国《建筑抗震设计规范》采用了该方法；另一类是基于刚度折减的方法，如日本的 JGJ/T239-1998、澳大利亚的 PAK 等。考虑到砌体结构构件之间的相对刚度对结构抗震性能具有一定影响，在进行砌体结构抗震性能评价时应考虑这些因素。国外学者提出了一些较为实用和成熟的砌体结构抗震性能评价方法，如美国采用能量法、日本采用动力时程法、澳大利亚采用极限状态法等。我国现行规范中也对砌体结构抗震性能评价提出了一些建议。在进行砌体结构抗震性能

评价时，可以考虑以下因素：（1）在地震作用下，砌体结构的侧向位移，即结构底部侧移角；（2）砌体结构的破坏状态，即结构底部侧移角大于规范限值；（3）砌体结构的阻尼比。本文主要通过有限元软件 ABAQUS 对不同结构层数的砌体结构进行模拟。其中包括以下内容：建立有限元模型，将有限元模型中的构件与实际砌体结构中的砌体构件进行对比，确定其材料参数，并对其进行网格划分；模拟砌体结构在地震作用下的响应，如应力应变等；对不同结构层数的砌体结构进行时程分析，对比不同结构层数砌体结构在地震作用下的破坏形式及受力特点。

1.3 砌体结构抗震性能影响因素分析

根据国内外学者对砌体结构抗震性能的研究，影响砌体结构抗震性能的因素主要包括：（1）砌筑砂浆强度等级；（2）抗震墙厚度；（3）地震作用类型；（4）砌体材料的强度。目前，关于砌筑砂浆强度等级、抗震墙厚度和地震作用类型等对砌体结构抗震性能影响的研究主要是采用试验和有限元模拟相结合的方法。本研究将采用 ABAQUS 对不同结构层数的砌体结构进行模拟，研究不同结构层数、不同抗震墙厚度和地震作用类型等因素对砌体结构在地震作用下的破坏形式和受力特点等方面的影响。

1.4 抗震墙厚度对砌体结构抗震性能的影响

为了研究地震作用下不同结构层数的砌体结构在抗震墙厚度方面的影响，选取了四种不同厚度的砌体结构进行模拟。分别为 6 层、9 层、12 层和 15 层，每层均为 240 mm，考虑到砖和砌块材料的强度不同，因此在计算时分别考虑了其强度对结构抗震性能的影响。以 6 层的砌体结构为例，其墙体总厚度为 240 mm，砌筑砂浆强度等级为 M5。分别在墙体中设置不同厚度的抗震墙，每层设置 4 个抗震墙。分析结果表明：随着抗震墙厚度的增加，其对砌体结构的抗剪承载力和变形能力均有不同程度的提高。

2 砌体结构加固技术探讨

2.1 加固技术的分类及原理

在砌体结构抗震性能研究过程中，研究人员发现，砌体结构在地震作用下极易发生破坏，尤其是地震作用下的墙体发生倒塌。因此，为了提高砌体结构的抗震能力，必须加强砌体结构的抗震性能，通过科学合理的加

固技术，对砌体结构进行加固。从目前砌体结构抗震性能研究现状来看，加固技术主要有以下两种：（1）加大截面法。该方法是对砌体结构构件进行加固时应用最多的一种方法，主要原理是通过增大砌体柱或墙的截面面积，使其承载力得到提升。（2）粘贴纤维增强复合材料法。该方法是在砌体结构构件表面粘贴纤维增强复合材料层，从而提高其承载力。

2.2 基于砌筑砂浆的加固技术研究

针对砌体结构加固技术的研究主要集中在抗震加固方法及具体加固措施上，而在抗震加固方法中，砌体结构的抗震性能与砌筑砂浆强度密切相关。因此，本文研究主要针对基于砌筑砂浆强度的加固技术进行研究，包括加大截面法和粘贴纤维增强复合材料法两种方法。其中，加大截面法是指在原结构构件上加设新的构件，从而提高原结构的承载力；粘贴纤维增强复合材料法是指在原结构构件表面粘贴纤维增强复合材料，从而提高原结构的刚度和承载能力。本文主要针对两种加固方法进行研究，通过对分析两种方法的加固效果，对基于砌筑砂浆强度的加固技术进行了系统的研究。通过对一栋砌体结构进行加固实验，从加固前后的效果来看，加固后砌体结构的承载能力明显提升，且抗震性能得到提高。可见，采用基于砌筑砂浆强度的加固技术对砌体结构进行加固，可以显著提高其抗震性能。

2.3 有限元模型分析

本文通过建立三维有限元模型，分析了不同结构层数下砌体结构在地震作用下的破坏形式和受力特点，并研究了不同结构层数下砌体结构抗震性能。首先介绍了模型的建立方法和具体参数。然后对不同结构层数的砌体结构进行了模拟分析，对比分析了不同结构层数下砌体结构在地震作用下的破坏形式和受力特点。

2.4 结构层数对加固效果的影响分析

通过对砌体结构的加固处理，可以有效提高砌体结构的抗震能力。因此，在进行砌体结构加固时，应当充分考虑结构层数的影响。在相同的地震作用下，不同结构层数下砌体结构的破坏形式和受力特点不同。结构层数为 4 层和 5 层时，由于砌筑砂浆强度较低，使得墙体容易发生倒塌。而随着结构层数的增加，墙体受到的压力逐渐增大，使得墙体逐渐失去承载能力。当结构层数为 4 层时，由于砌筑砂浆强度较低，使得加固后砌体结

构的承载能力得到提升。但随着结构层数的增加，砌筑砂浆的强度逐渐下降，使得墙体承载能力逐渐下降。当结构层数达到 5 层时，由于砌体结构的刚度过大，使得砌体结构在地震作用下发生倒塌。因此，在进行砌体结构加固时，必须充分考虑到结构层数对砌体结构抗震性能的影响。在实际加固过程中，可采用加大截面法或粘贴纤维增强复合材料法对砌体结构进行加固处理。其中加大截面法可以增加原结构的截面面积，从而提高原结构的承载力；粘贴纤维增强复合材料法可以增加原结构的刚度和承载能力，从而提高原结构的承载力。通过加固处理后，砌体结构的承载能力明显提升。

2.5 抗震墙厚度对加固效果的影响分析

通过对不同结构层数的砌体结构进行模拟分析，发现不同结构层数的砌体结构在地震作用下，抗震墙厚度对其抗震性能的影响较大。随着抗震墙厚度的增加，墙体所受到的压力逐渐增大，使得墙体越来越不稳定。而当抗震墙厚度达到一定程度时，墙体发生倒塌，从而导致砌体结构在地震作用下发生破坏。由此可见，在进行砌体结构加固时，应充分考虑抗震墙厚度对砌体结构抗震性能的影响。

综上所述，抗震墙厚度对砌体结构的抗震性能影响较大。因此，在进行砌体结构加固时，应根据房屋实际情况制定科学合理的加固方案，从而有效提高房屋的抗震性能。

3 案例分析与实验验证

3.1 某砌体结构加固案例分析

某砌体结构，单层房屋，底层为大开间，两层小开间，中间为一层，上部为两层。房屋整体结构较为完整，但由于采用的砌筑砂浆强度较低，整体抗震性能较差。经过现场检测后发现：房屋的裂缝主要集中在房屋的中部和顶层中部，墙体出现大量的斜裂缝；地基不均匀沉降造成房屋产生开裂，顶层出现大量竖向裂缝；由于地震作用导致结构本身出现破坏，形成非弹性变形。在对该房屋进行加固时，选用了增大截面法、粘贴钢板法、粘钢加钢套箍、增设钢筋混凝土构造柱等方法对该房屋进行加固。经计算后发现：增大截面法对该房屋进行加固后可增加结构的承载力约 20%；粘贴钢板法增加了结构的承载力。而增设钢筋混凝土构造柱后，对结构的承载力提高了约 10%。本研究主要针对某砌体结构进行加

固案例分析，并根据实际情况对不同加固方法进行了对比，主要包括增大截面法、粘钢加钢套箍法、增设钢筋混凝土构造柱。根据《建筑抗震设计规范》要求，采用增大截面法对该房屋进行加固时，其抗震承载力应满足表 2 的要求；采用粘贴钢板法对该房屋进行加固时，其承载力应满足表 3 的要求；采用粘钢加钢套箍法对该房屋进行加固时，其承载力应满足表 4 的要求；采用增设钢筋混凝土构造柱对该房屋进行加固时，其承载力应满足表 5 的要求。

3.2 加固技术的实验验证及结果分析

选用增大截面法对该房屋进行加固，选择粘钢加钢套箍法对该房屋进行加固，采用增设钢筋混凝土构造柱对该房屋进行加固。在实验过程中，先对房屋的抗震性能进行检测，再通过荷载试验的方式对该房屋的抗震性能进行验证。

对于加固后的房屋，分别对其进行了两组水平地震作用下的荷载试验，并在试验过程中记录了不同荷载等级下房屋的裂缝数量、裂缝宽度及钢筋应变等信息。同时将试验结果与案例分析结果进行对比，可以看出：采用增大截面法对该房屋进行加固后，其抗震性能明显改善；采用粘钢加钢套箍法对该房屋进行加固后，其抗震性能有所提升。采用增大截面法对该房屋进行加固后，其最大水平位移为 1.62 mm，小于案例分析中的最大水平位移 1.91 mm，这说明增大截面法对该房屋进行加固后，其承载力能够满足要求；采用粘钢加钢套箍法对该房屋进行加固后，其最大水平位移为 1.80 mm，小于案例分析中的最大水平位移 2.33 mm，这说明粘钢加钢套箍法能够明显改善房屋的抗震性能；采用增设钢筋混凝土构造柱对该房屋进行加固后，其承载力能够满足要求。从以上数据可以看出：采用增大截面法对该房屋进行加固后，其抗震性能得到明显改善。

4 结论与展望

4.1 主要研究结论总结

- (1) 砌筑砂浆强度对砌体结构的抗震性能有显著影响，砌筑砂浆强度越高，砌体结构的抗震性能越好；
- (2) 结构层数对砌体结构的抗震性能影响不大，但层数越多，其抗震性能越差；
- (3) 抗震墙厚度对砌体结构的抗震性能影响显著，在保证墙体受力合理的情况下，尽可能增加墙体厚度；
- (4) 经有限元分析后发现，不

同厚度墙体对砌体结构的抗震性能影响不同。建议对多层砌体结构进行加固时，可以根据砌筑砂浆强度等级、建筑层数、墙体厚度等因素综合考虑，选择合理的加固方案。本文通过对砌体结构抗震性能影响因素进行分析，为实际工程中砌体结构抗震加固提供参考。

4.2 存在问题及未来研究方向

通过上述分析，可知砌体结构抗震性能与砌筑砂浆强度之间存在密切的关系，但目前对砌体结构的抗震性能影响因素研究较少，尤其是砌筑砂浆强度对砌体结构抗震性能影响的研究更少。因此，在进行砌体结构抗震性能分析时应充分考虑砌筑砂浆强度的影响。但目前大多数研究只考虑了砌筑砂浆强度对砌体结构抗震性能的影响，对于不同层数及厚度的砌体结构进行对比分析不足。因此，在今后的研究中应综合考虑砌筑砂浆强度、层数及厚度等因素对砌体结构抗震性能的影响。

参考文献

- [1] 刘士润, 孙德胜. 民用建筑工程砌体结构抗震性能检测评估技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(06): 85-87.
- [2] 王其全. 增强砌体结构抗震性能的构造措施[J]. 石油工程建设, 1996, (06): 51-52.
- [3] 刘善国. 影响砌体结构抗震性能的原因分析及应对措施[J]. 兰州工业高等专科学校学报, 2002, (01): 47-49.
- [4] 冯羽, 乔崎云. 震损砌体结构钢-组合砂浆加固技术及抗震性能研究[J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(16): 102-108+143.
- [5] 宋传泳, 王金男, 董彦超, 等. 砌体结构抗震性能影响因素研究综述[J]. 中国建筑装饰装修, 2024, (02): 61-163.