

砌体结构的抗震性能分析及加固措施研究

范志伟 张娟娟

山东普泰工程检测鉴定有限公司

摘要：砌体结构是地震频发地区一种传统建筑形式，其抗震受到了严重挑战。文章先对砌体结构进行概念界定，总结出砌体结构特点。然后，从抗震性能上对砌体结构进行承载能力、变形能力及延性分析。指出现有抗震加固技术的局限性，成本和经济性的考虑，施工技术的挑战，美观和加固的兼顾。最后提出从材料选择，技术创新，施工质量控制以及性能评估和监控等方面进行抗震加固的系列策略，目的是为砌体结构抗震加固提供借鉴。

关键词：砌体结构；抗震性能；承载能力

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.028

引言

砌体结构具有施工方便，造价低廉等优点，已被世界各国广泛采用。但地震中砌体结构抗震性能常常是限制结构安全的一个关键因素。近年来，由于地震灾害频繁发生，砌体结构抗震加固已引起人们的普遍重视。本论文研究目的是对砌体结构抗震性能进行分析，并探索有效的抗震加固措施，从而为砌体结构抗震能力的提升提供科学依据。

一、砌体结构的定义和特点

砌体结构是建筑结构中普遍采用的形式之一，它主要是以砌块，砖块或者石块为原料，按一定的方式进行砌筑。它的特点是：施工方便，取材容易，造价低廉，又有一定抗压，抗拉，抗剪等特性。但砌体结构抗震性能面临着一些挑战，主要表现为受力性能差，易受地震作用和延性低。

二、砌体结构的抗震具体性能

（一）砌体结构的抗震承载能力

砌体结构抗震承载能力，是指砌体结构在地震中抵抗外界力量作用的能力。砌体结构一般是以砖，石或者混凝土砌块为主要材料组成，抗震承载能力受材料强度，连接方式和结构整体设计诸多因素影响。砌体结构中材料的强度是决定砌体结构抗震承载能力大小的关键之一。砖块，石块或混凝土砌块抗压，抗拉，抗剪强度指标的高低，直接决定着地震时结构抗震性能的优劣。采用合理的材料选择及制作工艺可提高砌体抗压，抗拉及其他强度，进而加强砌体抗震承载能力。砌体结构连接方式对于结构的抗震承载能力同样有显著影响。合理的连接方式能够加强砌体结构整体刚度与稳定性，改善砌体结构地震抗震性能。如将钢筋混凝土框架和砌体填充墙相结合，能有效地提高整体刚度和抗震承载能力。砌体结构整体设计同样影响着它的抗震承载能力。结构

布局合理，墙体厚度大，柱和梁布置等设计参数对结构抗震性能均有影响。如图1：



（二）砌体结构的抗震变形能力

结构在地震作用下会产生形变，抗震形变能力反映出结构经受形变后的稳定性与延性。砌体结构材料特性对于结构抗震变形能力具有重要的影响。砌体材料一般都有一定延性，当承受外部力量时，能产生一定变形，不会马上失效。所以合理地选用延性较好的砌体材料能改善结构抗震变形能力。在抗震变形能力方面，结构的设计和构造同样具有重要的作用。比如，设计时采取合理的结构形式与墙体布局能够加强结构整体的稳定性与延性以及抗震变形能力等。另外，通过在结构设计中实施特定的抗震措施，例如增设伸缩缝和加固连接点，也可以显著增强结构的抗震变形性能。

（三）砌体结构的抗震延性分析

砌体结构延性与材料自身性质关系密切。一般情况下，延性更好的材料在地震中可以产生更大的形变，不会失稳破坏。对砌体结构来说，砖块，石头和混凝土都有一定延性，但是与钢材和其他金属材料相比延性差。所以在对砌体结构进行设计时，必须要对材料延性特性进行考虑，并通过对结构进行合理布置与设计，同时对节点进行强化，从而提升结构整体延性。构造的设计参数，构造形式等因素对砌体结构抗震延性亦有一定的影响。如采用合理墙体厚度，开间比以及柱和梁布置方式等设计参数均能改善结构抗震延性。另外，通过使用特定的结构设计，例如剪力墙结构或框架结构等，能够显著提升结构的整体稳定性和延展性。此外，针对砌体结构来说，其抗震延性还受到合理连接方式以及构造措施的影响。如采用柔性连接方式，设置伸缩缝和加固节点都能增强结构抗震延性，从而使结构在地震中能产生一定的变形且不会出现损伤。抗震延性分析也需考虑震后结构动力响应特征。

三、砌体结构的抗震加固存在的挑战

（一）现有抗震加固技术的局限性

既有抗震加固技术对砌体结构存在着系列挑战与限制，可能影响加固效果与持久性。加固钢筋混凝土柱或者梁等传统加固方法可能并不完全适合砌体结构，由于其材料特性、构造形式等均有别于钢筋混凝土，所以可能需要为砌体结构制定特殊的加固方案。既有加固技术对维护原建筑外观及结构完整性提出了挑战。对历史建筑这种需保护原貌建筑而言，常规加固方法会对其外观造成损害，寻找既能确保加固效果又能确保建筑美观的加固技术是一项难题。既有抗震加固技术会出现施工困难，操作繁杂等情况，尤其对于砌体结构这一结构复杂体系，加固工作很有可能会对技术与专业知识提出较高要求，这并非都易于获取与运用。有些常规加固方法在实践中会出现安全隐患。

（二）抗震加固成本与经济性的考量

一些行之有效的抗震加固技术可能会比较昂贵，特别是在需要大规模施工或使用高性能材料时，加固成本极可能会大幅度上升，对于一些资源有限或经济条件较差的地区来说可能很难承受。鉴于砌体结构特殊性，传统抗震加固方法在使用过程中可能对设计及施工工艺定制化要求较高，同时也加大了造价。与此同时，加固工程也可能对建筑物的使用功能以及周期造成影响，使业主不能在加固过程中对建筑物进行正常利用，进而造成一定经济损失。需综合考虑结构加固维护费用。尽管抗震加固可以增强结构的抗震性能，但加固后的结构仍然需要定期维护和检查，以确保加固效果持久。在某些特定场合，选用不进行加固或者采用单纯的加固措施也许更具有经济性，特别是对某些老旧建筑或者已遭到严重破坏的建筑物，要彻底加固，其代价可能比拆除重建要大得多。故经济性考虑需兼顾结构实际状况及加固长期效益。

（三）抗震加固施工技术的挑战

抗震加固施工技术面临的挑战表现为技术水平，施工条件和工艺标准。砌体结构施工技术比较复杂，需兼顾墙体结构特殊性与材料不均匀性。在加固施工中，需采取合适的加固方法与技术来保证加固效果与施工质量。抗震加固施工过程中可能会遇到施工空间小，环境复杂的情况。尤其是城市中心或者较窄街区，由于施工条件有限，施工队伍及装备可能很难进场，这就加大了施工难度与风险，也影响了施工进度与施工质量。此外，抗震加固施工还涉及与既有建筑结构之间的密切联系，需考虑其稳定性及安全性。所以，要求施工人员必须要有高度的专业技能与经验来处理多种复杂施工场景与技术难点。抗震加固施工需满足有关技术标准与规范，但是现行技术标准不一定能完全适合砌体结构加固，所以有必要对有关标准进行深入研究与完善，使其更具规范性与可操作性。

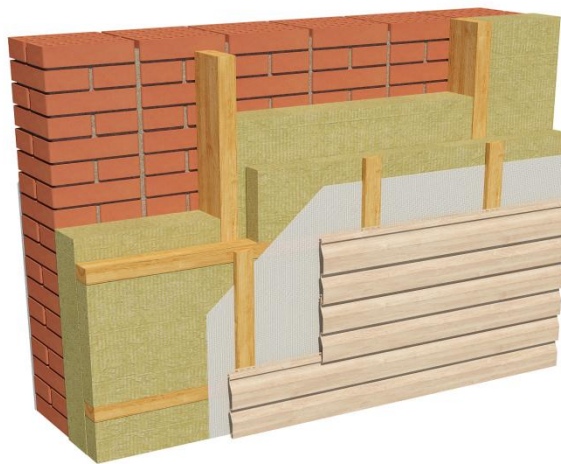
（四）抗震加固与结构美观的平衡

传统抗震加固方法会对建筑物外观及原有建筑风格造成影响，损害其美感及历史特色。如何最大限度地减少对建筑外观造成影响而又能加固结构是需要认真思考的。既有抗震加固材料及工艺可能很难融入建筑物设计风格。有些加固材料在色彩，纹理等方面可能和原建筑材料有出入，加固施工有可能破坏原建筑表面装饰而造成结构和外观的不和谐，从而影响建筑的整体美观。认为抗震加固工程有可能要经过较长的工期，在施工期围挡，脚手架及其他设施还会对建筑物外观及周边环境产生影响。如何最大限度地减少施工时对周围环境影响和维护建筑整体美观性是我们全面思考的。抗震加固和结构美观兼顾，也需兼顾加固效果与建筑安全。

四、砌体结构的抗震加固实施策略

（一）抗震加固材料的选择与应用

砌体结构在进行抗震加固时，应考虑材料是否适用可靠。尽管传统的抗震加固材料，如钢筋和混凝土，依然是首选，但考虑到砌体结构的独特性，材料的选择需要更为细致。例如对受力较轻的砌体墙体可选择高强度胶黏剂或者专用砂浆来增强，对承重墙体要求采用更结实耐用的钢筋混凝土和其他材料。还应兼顾材料适用性与环保性。选用抗震加固材料时需综合考虑其环境效应和建成后长期作用。优先选用环保型材料，在保证材料稳定性与耐久性的前提下，最大限度地降低对周边环境的污染与影响，从而保证加固效果持久。此外，在抗震加固材料选用时还应综合考虑成本及施工难度。尽管某些高性能抗震加固材料也许效果显著，但是造价昂贵且施工难度大，未必适合所有加固项目。如图2：



（二）抗震加固技术的创新与应用

伴随着科学技术的日益进步，抗震加固技术得到了创新与运用。新的加固技术层出不穷，例如碳纤维加固技术和钢结构加固技术。这些新技术能较好地适应砌体结构加固需要，且施工便捷，加固效果良好，对原结构冲击较小，在抗震加固工程得到了广泛的应用。数字

化技术的运用，也给抗震加固带来了一种新思路。通过构建建筑结构数字模型能够准确地分析与评价结构，并为抗震加固方案提供科学依据。与此同时，数字化技术也能够对施工过程进行监测与管理，从而提高施工效率与施工质量。材料科学的发展，也对抗震加固技术创新起到支持作用。新的抗震加固材料也在不断地被研发与使用，其强度较高，耐久性较好，造价低廉，能较好地适应各种加固需求。例如：在2011年日本东北部大地震后，日本建筑界对既有建筑的抗震加固技术进行了深入研究和广泛应用。以东京一座建于1970年代的10层钢筋混凝土办公楼为例，该建筑在震后出现了裂缝和结构损伤。为了提升其抗震能力，采用了碳纤维加固技术。具体案例中，工程师们围绕办公楼的关键支撑柱，使用碳纤维带进行加固。碳纤维带具有高强度、轻质和耐腐蚀的特性，能够显著提高结构的抗拉和抗压能力。加固工程完成后，通过地震模拟测试，该建筑的抗震性能提升了约50%，能够承受相当于8级地震的冲击。此外，通过数字化技术，工程师们建立了办公楼的数字化模型，对加固前后的结构进行了模拟分析。这一过程不仅提高了加固方案的科学性和准确性，还通过监控系统实时跟踪了加固过程中的数据，确保了施工质量和效率。加固工程于2013年完成，耗资约10亿日元。虽然初期投资较大，但由于碳纤维材料的耐久性和维护成本低，预计该办公楼在未来几十年内无须再次加固，从而节省了长期的维护成本。如表1：

表1 抗震加固技术概览及其应用实例、成本与效益分析

技术类型	特点	应用实例	成本与效益
碳纤维加固技术	高强度、轻质、耐腐蚀	1970年代东京10层钢筋混凝土办公楼加固	初期投资10亿日元，长期节省维护成本，抗震性能提升约50%
钢结构加固技术	—	—	—
数字化技术	提高科学性和准确性，实时监控	东京办公楼数字化模型和加固过程监控	提高施工效率与质量，长期节省维护成本
新抗震材料	强度高、耐久性好、造价低廉	—	适应各种加固需求，性能提升，成本效益

(三) 抗震加固施工过程的质量控制

抗震加固施工中的质量控制，是保证加固效果，保证工程安全至关重要的环节。有必要制定一套完整的施工方案及质量控制计划。施工前应结合结构实际情况及加固要求制定周密的施工方案、明确施工中需重点控制节点及质量指标。施工现场要严格执行有关标准、规范，做好组织管理工作。在施工期间，要有专业技术人员监督、指导，保证施工操作达到要求，发现问题及时解决。在施工中材料的选择与运用，也是质量控制中非常重要的一环。要严格按材料规格、要求选择、使用、

检查、验收，保证质量达到要求。同时施工现场要建立物料使用台账，记录并追踪物料来源及用途，实现施工质量追溯与评价。在建设期间，需加强施工人员培训与管理工作。施工人员要有相关技术与经验，并且要经过相关培训，掌握施工规范与要求，严格执行施工方案。

(四) 抗震加固后的性能评估与监测

抗震加固后性能评估及监测，需制定一套完整的监测体系及方案。针对加固结构特点及施工要求确定了监测参数及方法，选择了适宜的监测设备及手段，设置了监测点位及网络，保证了结构性能得到综合监控。还应对加固后的结构作定期的性能评估与监控。定期测试被加固结构的静，动态性能，如承载能力，变形，振动特性，以评价加固效果及结构的安全性。与此同时，还应结合实际情况与需求，对其进行长时间的监控与追踪，及时发现并解决其性能变化与存在的问题，保证其稳定性与安全性。此外，对监测数据进行收集，分析及处理是性能评估及监测中至关重要的环节。监测数据采集要准确、可靠，并采取适当监测设备、技术手段保证数据真实有效。及时分析处理监测数据，发现存在的异常现象及问题，并及时采取相关措施及处理办法，确保结构安全稳定运行。强化监测结果运用和管理。监测结果要及时向有关部门及人员反馈，为结构维护与管理提供依据，并对管理措施及时进行调整与优化。

结束语

对砌体结构进行抗震加固，是保证砌体结构安全服役的重要环节。通过本文分析可以看出：选用适宜的加固材料，采取创新加固技术，严格控制施工质量和不断地性能评估和监控是增强砌体结构抗震性能至关重要的。

参考文献

[1] 郭丽, 李琪, 王小玲, 梁文文, 熊言斌. 圈梁对砌体结构抗震性能影响研究[J]. 四川水泥, 2021, (11): 247-248.

[2] 张永兵, 郭新华, 朱腾飞, 郝西见. 新型砌体填充墙RC框架结构抗震性能研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2021, 46(05): 1166-1176.

[3] 林拥军, 陈皓, 周畅, 杨敏润, 罗展. 山区多层脱开式接坡掉层砌体结构抗震性能研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2021, 43(05): 49-57.

[4] 赵文洋. 江西村镇老旧砌体结构抗震性能分析及加固对策研究[D]. 南昌大学, 2021.

[5] 江道锴. 福建省镇(乡)村石砌体结构房屋抗震性能分析及加固处理研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2020, 42(03): 157-163+14.

[6] 刘舟洋. 超限底部框架—抗震墙砌体结构抗震性能分析及加固研究[D]. 成都理工大学, 2018.