

数字智能技术对砌体结构缺陷修复的优化策略

文 / 黄志彬 第二工程代建管理办公室

摘要：随着科学进展，DeepSeek 等数字智能技术越来越多应用在包括建筑技术在内的现代技术中。同时，以砌体结构为常见形式的老旧建筑，也因时间的推移面临结构材料老化、破损等影响安全的缺陷和适应性的改造等问题，让既有建筑砌体结构缺陷的修复改造有现实的迫切需要。本文从砌体结构缺陷修复问题出发，结合数字智能技术，从前期的缺陷检测评估、缺陷修复方案、修复材料的优化选取、施工工艺及质量控制、缺陷修护后期维护跟踪等方面，提出了应用数字智能技术优化修复措施整体思路。为今后砌体结构的修复工作的数字智能技术应用提供了技术参考，以达到通过全方位的科学措施最优化修复砌体结构和保障建筑长期使用的预期目的。

关键词：砌体结构；数字智能技术；缺陷修复；加固改造；高新技术；优化辅助

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.018

引言

在现代建筑中，砌体结构以其良好的稳定性和抗压能力，广泛应用于各类建筑中。然而，随着时间的推移，无论是由于环境因素、施工质量问题，还是日常使用中过重的负荷或意外的损伤，都会令砌体结构材料面临着老化和破损的挑战，从而使砌体结构缺陷成为建筑维护中的难题。同时随着科学技术发展，DeepSeek 等数字智能技术越来越多应用在包括建筑技术在内的现代技术中。对于那些需要修复砌体结构的既有建筑，修复不仅仅是为了恢复其外观，更重要的是恢复其结构的安全性和稳定性，这对于延长建筑的使用寿命和适应时代变迁的调整改造至关重要，而借助数字智能技术等工具，能更好更优地辅助既有建筑的砌体结构修复。本文将提高砌体结构缺陷的修复质量和效果稳定性角度，探讨如何结合数字智能技术，优化砌体结构缺陷的修复与改进措施，选取合理的修复手段，提升建筑的耐久性和安全性，并为今后的建筑修复改造工作提供有力支持。

一、数字智能技术优化砌体结构缺陷修复的整体应用策略

（一）既有建筑砌体结构的现状及缺陷修复的意义

由于大多城市历史建筑均采用砌体结构，这些历史建筑饱经城市历史的风霜洗礼，砖墙结构在较长的时间尺度内给建筑结构以稳定的力学支撑作用。随着时间推移，因建筑使用强度、环境气候、材料自身老化等因素的存在，砖墙结构不可避免地出现了一系列问题。而在当下，伴随城市发展带来的旧建筑更新改造需求，砌体结构的修复成为建筑维护与更新过程中的关键难点。城市的容颜和建筑的身价都藏在那些被历史烟尘包裹起来的硬骨头上，砌体结构的修复成了历史建筑更新过程中的关键环节。

砌体结构的修缮不仅只是单个建筑的修缮工作，还关系着历史的传承和文化保存。一幢具有历史意义的建筑，它拥有属于以往的历史记忆和时代特征。如果不对

建筑进行及时修复，则其可能存在着倒塌隐患，不再拥有本身的建筑价值，所以砌体结构的修缮是十分有意义的，采用合理的修缮方法，在恢复建筑安全性的同时，保留建筑的特色及自身建筑历史价值，对未来的建筑保存和文化遗产有着极强的推动作用。

（二）砌体结构缺陷修复优化数字智能技术的整体思路

数字智能技术在砌体结构的缺陷修复中具有巨大潜力，可搭建数字智能平台，从前期检测评估分析、缺陷修复方案优化、修复材料匹配优化、施工质量及工艺优化、后期维护监测等五个方面建立模块，应用人工智能进行优化。在前期检测评估分析模块中，组建砌体结构既有建筑缺陷类型库，通过数字智能技术对砌体结构裂缝、变形等缺陷数据采集，进行缺陷成因分析及识别；在缺陷修复方案优化模块中，组建不同类型缺陷修复方案库，通过 BIM 技术建模分析进行优化选取；在修复材料匹配优化模块中，组建砌体结构既有建筑缺陷修复材料库，针对不同的缺陷所处环境、缺陷类型和施工工艺等情况，通过智能技术优化选取修复所需材料；在施工质量及工艺优化模块中，通过数字智能技术优化施工工艺和施工管控程序，推荐智能设备辅助施工和监控施工质量；在缺陷修护后期维护监测模块中，通过数字智能技术建立长期监测和预警系统，优化砌体结构的使用方式，确保砌体结构长期安全。

二、数字智能技术对砌体结构缺陷修复前期检测评估

（一）砌体结构常见缺陷的主要类型

砌体结构出现的缺陷类型较多，有结构性病害，也有非结构性病害。结构性病害是对砌体结构自身承载能力有不良影响的缺陷或损伤，是最为主要的砌体结构缺陷，威胁建筑主体结构稳定性、安全性和耐久性。而非结构性病害通常不会对结构的承载能力产生直接影响，但会影响建筑物的正常使用功能和外观。

这些砌体结构缺陷的表现，有影响结构安全的基础不均匀沉降、梁板柱等结构开裂、崩损或露筋，不当使用造成梁板产生不良变形，也有非承重墙体胀缩变形或

材料老化引起开裂，内部疏松甚至孔洞等出现，以及依附于砌体的防水层破坏湿气侵入、装饰面层剥落、保温隔热层甚至门窗等构件的破坏并造成渗漏水等问题。

表 1 砌体结构常见缺陷类型及特征分析

缺陷类别	具体缺陷表现	对结构的影响
结构性病害 (核心缺陷)	1. 基础不均匀沉降 2. 梁板柱等主体结构开裂、崩损或露筋 3. 不当使用导致梁板产生不良变形	直接影响砌体结构自身承载能力，威胁建筑主体结构的安全性、安全性与耐久性，是引发结构安全隐患的主要原因
非结构性病害 (次要缺陷)	1. 非承重墙体因胀缩变形或材料老化出现开裂、内部疏松甚至孔洞 2. 依附于砌体的防水层破坏，导致湿气侵入、渗漏水 3. 装饰面层剥落，保温隔热层或门窗构件损坏	不直接影响结构承载能力，但会破坏建筑物的正常使用功能，损害外观完整性，长期忽视可能间接加剧结构损耗

(二) 砌体结构常见缺陷的成因种类

砌体结构的缺陷成因有很多，有前期结构质量不足、不合理使用的外力作用、不利的环境因素、材料老化以及自然灾害等各种因素作用。例如砌体结构裂缝缺陷主要由结构胀缩变形或材料老化引起的强度不足等因素导致；砌体结构变形缺陷则多因地基土体固结下沉、地下水运动导致基础不均匀沉降，或建筑使用不当造成结构疲劳及受力变形所致。但砌体结构的缺陷也可能是多种因素共同作用导致的。例如砌体结构外墙体开裂，有可能是室外温度差异导致墙体材料热胀冷缩变形，同时因前期施工质量不足导致墙体材料砖块间砂浆不饱满、砖与混凝土梁柱挂网措施不到位等，并结合墙体材料老化等诸多原因导致的。又例如砌体砖柱或砖墙不均匀沉降并开裂，有可能是不合理使用荷载作用、同时所处地基土因地下水异常而运动，或者前期基础下方填土压实施工质量不足在脱水固结作用下下沉等诸多因素共同导致的。环境因素影响的，还有过多过大的降水量或者洪水的侵蚀，使墙体受到潮气的作用，墙面涂料出现脱落现象，或者令以开裂的裂缝逐渐发展扩大。搭建数字智能平台的前期检测评估模块，可根据检测技术，收集砌体结构的环境数据、材料强度、材料弹性模量等数据，借助人工智能技术分析缺陷分析鉴别。

(三) 智能技术对砌体结构缺陷的识别及成因分析

砌体结构缺陷修复的检测评估包括对砌体结构缺陷的识别，以及缺陷成因分析。而砌体结构缺陷的识别是修复工作中的首要步骤，而识别缺陷的首要工作是将缺陷情况检测清楚。砌体结构可能因为长期的环境作用和材料老化，除了产生外露表现可见的缺陷，还会导致内部出现疏松、裂缝甚至孔洞等隐蔽缺陷。在实际检测过程中，可采用红外成像、声波探测等高精度的检测技术，有效识别难以发现的隐蔽缺陷。而搭建的数字智能平台中的前期检测评估分析模块，将采用裂缝检测仪、墙体管线扫描仪、激光测量仪等仪器对砌体结构缺陷尺寸和分布等的详细检测数据，按照构件、尺寸及形状、分布部位及附加情况等，进行智能分析评估结构缺陷程度和类型。

三、数字智能技术对砌体结构缺陷修复材料匹配的优化策略

砌体结构的修复与重建，材料的选择非常重要，它关系到修复效果的耐久性和可靠性，修复材料必须与原有砌体结构相适应。修复材料的选择需结合原砌体结构的材料性质及缺陷的种类、修复部位的使用条件（包括是否需要防水防潮、保温隔热等）、节能环保等方面综合考虑。

(一) 修复材料的种类及匹配选择

施工中选用合理的修补材料应结合被修复对象的使用环境和被修复结构体负荷情况，还要结合所修复既有建筑的原始材料，从而选取与之相匹配的合适的修补材料，这样才能修复的建筑具备长久、良好的耐久性，从而能在结构性能上得到提升。例如，对于具备潮湿情况下的建筑物，传统的水泥材料在一些环境尤其是潮湿或者腐蚀环境中并不适用，应考虑使用更耐久材料，例如环氧树脂（如图 1 所示）、聚合物水泥等^[3]，它们都具备较好的防渗透性、附着性，并保证修补长期性稳定。选择耐久性、耐候性的抗水性强、耐冻、不易腐的修复材料，可以让长期处在外部环境下的砌体结构避免气候变化所带来的不良影响。在干旱或极低低温的区域，材料膨胀收缩的特性是砌体结构修复应重点考虑的内容。所以建筑砌体结构的修复材料选取时，应选用相当延性的材料，避免在温差变化的环境下给建筑砌体带来较大的伤害，如选取聚合物水泥砂浆，能够有效改变材料膨胀与收缩对建筑修复的影响。对有盐雾的沿海环境、有酸性气体的特殊环境等，优先考虑选择具有耐盐碱耐酸碱的材料，如防腐抗水性较好的无机涂层材料；并在修复完成后对修复结构增加抗紫外线或氧化的防护层，能够增强修复结构的耐候性，以此增加修复结构的使用寿命。对受力较高的结构体采用钢筋或碳纤维复合材料等修补材料，较好增强结构体承载能力。除此之外对于地震频发地区，修复材料抗疲劳的弹性和韧性也非常重

要。振动会造成修复材料损伤或剥落，所以应该采取具有高强度延展性的修复材料，这样能增强结构的抗震能力。建筑物周边植被覆盖度和地下水深度也会对修复材料的持久性产生影响。



图1 环氧树脂材料

对于材料的选取的优化，应该是在对所要修补的结构体分析后，尽量不是选择单一的材料，而是要根据具体情况综合选用，以使所修建的结构体能够发挥最大效用。

（二）数字智能技术对砌体结构缺陷修复材料匹配的优化

搭建的数字智能平台中的缺陷修复材料匹配优化模块，根据砌体结构缺陷修复方案，并结合施工环境和修复效果，进行性价比智能分析，最终确认修复方案。例如：砌体结构混凝土楼板开裂采用灌浆修补并粘贴碳纤维布加固修复方案→处于有盐雾海边城市→尽量不常用钢结构甚至钢筋加固、灌浆料采用优先考虑选择具有耐盐碱耐酸碱的材料→造价分析并确定修复材料。

四、数字智能技术对砌体结构缺陷修复施工工艺的优化策略

施工管理和质量控制在砌体结构修复中起着至关重要的作用。修复工作要求高精度的施工技术和严格的质量控制，任何一个环节的疏忽都可能影响修复效果和结构的安全性。因此，在施工过程中，必须制定详尽的施工计划，并严格按照计划进行施工。在施工管理方面，应确保施工队伍具备专业的技术水平和经验，操作人员必须经过严格的培训，了解修复技术和施工流程。对于

每一项修复工作，应制定详细的技术要求，并进行现场监督，确保施工过程严格按照标准操作。材料的采购和储存也需要严格把关。所有修复材料在使用前必须进行验收，确保其质量符合相关要求，并妥善保管，避免受潮、变质等问题。在施工质量控制方面，要对每一项施工环节进行监控，确保材料的配比、施工方法和操作细节符合要求。所以合理优化施工工艺十分重要。修补施工人员的素质直接影响了施工质量，准确的施工方法则可以规避二次地对原结构的破坏^[5]。

搭建的数字智能平台中的缺陷修复施工工艺优化模块，就是一方面明确修建过程中需要控制修补施工顺序、施工精确性、修补材料配合比、修补时的施工温湿度，从而降低由于施工不当而导致修补材料性能未得到良好发挥的因素；另一方面在工艺选择上考虑创新工艺的应用，如无损修补技术、3D打印技术、建造机器人应用技术等，可以提高修复效率和精度。这样，除了传统施工方法外，可以以及借助智能技术，分析优选施工工艺，介入严格的施工管理和质量控制，可以大大提高砌体结构修复的效果，确保结构的安全和耐用性。

结语

砌体结构缺陷修复是一个复杂的系统工程，涉及材料、技术、施工以及长期维护等多个方面。通过数字智能技术搭建平台与构建模块，对砌体结构缺陷的精准识别、优化修复方法和材料匹配、监管施工工艺并监测维护等科学应用，让建筑物的使用功能和安全性可以得到有效保障。未来，伴随着智能技术蓬勃发展的同时，建筑材料和建筑技术的不断进步，砌体结构的修复将变得更加高效与可持续。通过全面提升修复工作的质量和效果，才能确保建筑物在百年之后依旧稳固屹立于人们身边，承载历史与文化的深厚内涵。

参考文献

- [1] 张伟，李强．砌体结构修复与加固技术的研究进展[J]．建筑工程技术与设计，2020，16(12):45-47.
- [2] 王凯，刘敏．砌体结构缺陷的成因分析与修复方法[J]．施工技术，2019，48(9):33-35.
- [3] 周立波，张强．城市旧建筑砌体结构修复的技术与措施[J]．城市建筑，2021，38(5):112-114.
- [4] 孙鹏，张婷．砌体结构常见缺陷及其修复措施的研究[J]．工程建设与设计，2020，41(4):77-80.
- [5] 高峰，赵云．砌体结构的修复与加固技术探讨[J]．现代建筑材料，2022，28(6):98-100.
- [6] 陈昊，李红．既有砌体结构改造与加固技术的应用分析[J]．建筑与文化，2019，35(3):58-60.