

# 基于性能的既有砌体结构抗震加固优化设计方法研究

赵振华

云南高创人才服务有限公司 云南 昆明 650051

**摘要：**既有砌体结构抗震加固对保障安全意义重大。本文聚焦基于性能的加固优化设计，阐述核心目标与性能等级划分，分析设计核心要素，构建多目标优化模型等优化方法，提出完整优化设计流程。通过性能目标输入、初始方案设计、模型求解、性能验证与方案迭代等环节，实现加固成本、施工难度、结构性能综合最优，为既有砌体结构抗震加固提供科学设计指导。

**关键词：**既有砌体结构；抗震加固；性能目标；优化设计

引言：我国存在大量既有砌体结构，受当时设计水平与材料限制，抗震性能较弱。地震灾害频发，对既有砌体结构抗震加固提出更高要求。传统加固方法多侧重结构安全，忽视性能与成本综合考量。基于性能的抗震加固优化设计，能依据不同地震需求设定性能目标，合理分配资源，提升加固效果与经济性，对保障既有砌体结构在地震中的安全稳定具有重要意义。

## 1 基于性能的既有砌体结构抗震加固核心目标与性能等级

### 1.1 抗震加固的性能导向核心目标

在既有砌体结构抗震加固工作中，性能导向占据核心地位。这一导向的核心目标聚焦于提升结构在不同地震作用下的综合抗震能力，确保结构在遭遇地震时能最大程度保障人员生命安全，减少财产损失<sup>[1]</sup>。具体而言，要保证结构在小震作用下基本保持完好，各类使用功能不受影响，维持正常运转；在中震作用下，结构虽可能产生一定损伤，但经过简单修复便能恢复使用功能，避免因结构损坏导致长时间停用；在大震作用下，结构不发生倒塌，为人员疏散争取宝贵时间，降低地震灾害的严重程度。通过实现这些目标，使既有砌体结构在地震中的性能表现符合预期，适应不同地震风险区域的需求。

### 1.2 砌体结构抗震加固性能等级划分标准与量化指标

砌体结构抗震加固性能等级划分需依据科学合理的标准与量化指标。一般可分为4个等级，即基本完好、轻微损坏、中等损坏、严重损坏。基本完好等级下，结构构件无明显裂缝，位移等变形指标在规范允许范围内，具体位移限值可设定为层间位移角小于1/2500；轻微损坏等级时，构件出现细微裂缝，裂缝宽度小于0.1mm，位移略有增大，但不影响结构整体稳定性；中等损坏等级表现为构件裂缝扩展，裂缝宽度达到0.1-1mm，部分关键部位出现明显变形，需进行一定修复才能继续使用；严

重损坏等级则意味着结构构件出现严重破坏，裂缝宽度大于1mm，整体稳定性受到威胁，需进行大规模加固或重建。量化指标方面，可参考层间位移角、构件裂缝宽度、结构残余变形等参数，通过精确测量与计算，为性能等级划分提供客观依据。

### 1.3 不同性能等级下的抗震加固核心要求

针对不同性能等级，抗震加固有着不同核心要求。基本完好等级下，加固重点在于预防性维护，增强结构薄弱部位，提高结构整体韧性；轻微损坏等级时，需对裂缝进行修补处理，对变形较大构件进行加固，恢复结构正常使用功能；中等损坏等级下，要全面评估结构安全性，对受损严重构件进行更换或加固，确保结构承载能力；严重损坏等级时，需制定详细加固方案，可能涉及结构体系调整，采用高效加固技术，使结构重新满足抗震要求。

## 2 基于性能的既有砌体结构抗震加固设计核心要素

### 2.1 性能目标导向的加固方案选型原则

基于性能的既有砌体结构抗震加固，方案选型需紧密围绕预设性能目标展开。不同性能目标对结构在地震中的响应要求各异，选型时应综合考量地震作用强度、结构损伤程度及使用功能维持需求<sup>[2]</sup>。若性能目标设定为小震下结构基本无损，应优先选择对原结构干扰小、能增强结构整体性的加固方案，如增设构造柱与圈梁，通过约束墙体变形提升结构刚度，增设构造柱数量可根据结构规模确定，一般每5-8m设置一根。当中震下性能目标为结构可修复且使用功能部分保留时，可选用钢筋网砂浆面层加固，利用钢筋的抗拉作用与砂浆的粘结性能，提高墙体抗剪承载力与延性，钢筋网间距可设置为150-200mm。若大震下要求结构避免倒塌，则需采用预应力钢拉杆加固等能显著提升结构抗倒塌能力的方案，通过预应力降低结构应力水平，控制裂缝发展，预应力钢

拉杆直径可根据结构受力计算确定,一般不小于16mm。选型过程还应兼顾施工可行性、经济性及对周边环境影响,确保加固方案在实现性能目标的同时具备可操作性。

### 2.2 加固材料的性能适配性选择方法

加固材料性能适配性是保障加固效果的关键。砌体结构加固材料需与原结构材料力学性能相匹配,避免因性能差异导致应力集中或加固失效。对于强度较低的原砌体结构,加固材料应具备较高强度与良好粘结性能,如高强水泥砂浆强度等级不低于M15,碳纤维布抗拉强度不低于3000MPa,以有效提升结构承载力。若原结构变形能力不足,加固材料应具有较好延性,如高延性混凝土,其多裂缝开展特性可增强结构耗能能力。此外,加固材料耐久性需与结构使用年限相适应,在潮湿、腐蚀等恶劣环境下,应选用耐水、耐腐蚀材料,如环氧树脂类粘结剂。选择时还需考虑材料施工工艺与原结构兼容性,确保施工过程简便、质量可靠。

### 2.3 关键受力构件的加固构造设计要点

关键受力构件加固构造设计直接影响结构抗震性能。墙体作为主要抗侧力构件,加固时应注重与原墙体可靠连接,如钢筋网砂浆面层加固时,钢筋网应通过锚筋与原墙体有效锚固,锚筋间距可设置为300-500mm,锚筋长度根据墙体厚度与受力情况确定,一般不小于200mm。构造柱与圈梁加固时,构造柱应伸入基础或地圈梁,与圈梁形成封闭框架,增强结构整体性,构造柱截面尺寸不宜小于240mm×240mm,配筋率不应小于0.6%。梁、板等水平构件加固时,需保证加固层与原构件协同工作,如粘贴碳纤维布加固梁时,碳纤维布应沿梁轴线方向粘贴,端部设置U型箍锚固,U型箍间距不宜大于200mm,防止剥离破坏。

### 2.4 整体结构抗震协同性加固设计要求

整体结构抗震协同性要求加固后各构件能共同抵抗地震作用。加固设计应避免出现薄弱部位,确保地震力在结构中合理传递。对于不规则砌体结构,需通过加固调整结构刚度分布,减小扭转效应。加固后结构应具备多道抗震防线,如增设耗能支撑或减震装置,当地震作用超过第一道防线承载能力时,后续防线能继续发挥作用,延缓结构破坏。同时加固设计应考虑结构与地基基础的协同工作,避免因地基不均匀沉降导致加固效果降低。

## 3 既有砌体结构抗震加固优化设计核心方法

### 3.1 基于性能目标的加固方案多目标优化模型构建

既有砌体结构抗震加固需满足不同性能目标,构建多目标优化模型是关键。该模型以性能目标为核心驱

动,综合考虑加固成本、结构安全性、施工便捷性等多个目标。加固成本涵盖材料费用、人工费用及施工设备费用等,需在保证性能达标前提下尽可能降低<sup>[3]</sup>。结构安全性通过结构在地震作用下的响应指标体现,如层间位移角、构件应力水平等,需确保在不同地震强度下满足相应性能等级要求。施工便捷性则涉及施工周期、对周边环境的影响等因素。通过建立多目标函数,将各目标量化并赋予不同权重,利用优化算法寻找各目标间的平衡点,从而得到最优加固方案,实现性能与成本、施工等多方面的综合最优。

### 3.2 加固材料用量优化设计方法

加固材料用量直接影响加固效果与成本。优化设计时,需依据结构受力分析与性能要求确定材料用量范围。对于钢筋网砂浆面层加固,先通过结构计算确定墙体所需抗剪承载力提升值,再结合钢筋与砂浆力学性能,计算钢筋直径、间距及砂浆厚度等参数,在满足承载力要求前提下,尽量减少材料用量。对于粘贴碳纤维布加固,根据构件受力情况确定碳纤维布层数与粘贴长度,避免过度加固造成材料浪费。

### 3.3 加固构造参数优化设计方法

加固构造参数对结构抗震性能影响显著。以构造柱与圈梁加固为例,构造柱间距、截面尺寸及配筋率等参数需优化。通过有限元分析,研究不同参数组合下结构刚度、承载力及变形能力变化规律,确定最优参数。构造柱间距优化范围可在4-6m之间,截面尺寸优化后可在240mm×240mm-300mm×300mm之间,配筋率优化后可在0.6%-1.0%之间。对于钢筋网砂浆面层加固,钢筋网网格尺寸、锚筋间距等参数也需优化,钢筋网网格尺寸优化后可在150mm×150mm-200mm×200mm之间,锚筋间距优化后可在300mm-400mm之间,确保钢筋网与原墙体有效协同工作,提高加固效果。

### 3.4 基于结构力学特性的加固布置优化策略

根据结构力学特性进行加固布置可提升加固效率。对于受力复杂部位,如墙体交接处、门窗洞口周边,应重点加固,增强局部承载力与整体性。对于结构刚度突变部位,通过合理布置加固构件,调整刚度分布,减小地震作用下应力集中。同时应考虑结构动力特性,避免加固后结构自振周期与地震波卓越周期接近,防止共振现象发生。

### 3.5 优化设计中的性能验证方法

优化设计完成后,需对加固后结构性能进行验证。采用数值模拟方法,建立精细有限元模型,输入不同地震波进行动力时程分析,获取结构位移、应力等响应

数据,评估结构是否满足性能目标。进行动力时程分析时,选取的地震波数量不少于3条,分析时间步长不大于0.01s。理论推导方面,依据结构力学原理,推导加固后结构承载力、刚度等计算公式,验证数值模拟结果合理性,理论计算值与数值模拟值误差应控制在10%以内。此外,还可进行小比例模型试验,模型缩尺比例可设定为1:10-1:20,直观观察结构在模拟地震作用下的破坏模式与性能表现,为优化设计提供可靠依据。

#### 4 基于性能的抗震加固优化设计流程构建

##### 4.1 性能目标输入与约束条件界定环节

在既有砌体结构抗震加固优化设计起始阶段,需精准输入性能目标。这涵盖结构在不同地震强度下的损伤程度、使用功能维持状况等要求。例如,明确小震下结构基本无损且正常使用,中震后可修复并部分保留使用功能,大震时避免倒塌<sup>[4]</sup>。同时需明确界定约束条件,包括加固成本上限、施工周期限制、材料性能要求及周边环境影响等。成本约束确保加固工程经济可行,施工周期约束保障工程按时完成,材料性能约束保证加固质量,环境影响约束则体现绿色设计理念。

##### 4.2 初始加固方案设计环节

依据输入的性能目标与界定的约束条件,着手开展初始加固方案设计。设计人员凭借专业知识和丰富经验,结合既有砌体结构特点,提出多种可行的加固方案。这些方案可能涉及不同加固方法的组合运用,如增设构造柱与圈梁以增强结构整体性,采用钢筋网砂浆面层提高墙体抗剪承载力,粘贴碳纤维布提升构件延性等。每种方案都需初步估算所需材料种类与数量、施工工艺难度以及大致成本,为后续优化提供基础参考。

##### 4.3 优化模型建立与求解环节

基于初始加固方案,建立多目标优化模型。该模型将加固成本、结构安全性、施工便捷性等作为目标函数,把性能目标与约束条件转化为数学表达式。运用先进的优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,对模型进

行求解。通过不断迭代计算,在满足各项约束条件的前提下,寻找使目标函数达到最优的解,从而得到一组优化后的加固参数。

##### 4.4 性能验证与方案迭代环节

对优化后的加固方案进行性能验证。借助数值模拟软件,建立精细的有限元模型,输入不同地震波进行动力时程分析,获取结构位移、应力等响应数据,评估方案是否满足性能目标。若不满足,深入分析原因,调整优化参数,重新进行优化求解与性能验证,经过多轮迭代,直至方案达到预期性能要求。

##### 4.5 最终优化方案确定环节

经过多轮性能验证与方案迭代,确定最终优化方案。该方案在满足性能目标与约束条件的基础上,实现了加固成本、施工难度、结构性能等多方面的综合最优,为既有砌体结构抗震加固提供了科学合理、切实可行的设计指导。

#### 结束语

基于性能的既有砌体结构抗震加固优化设计方法,通过构建完整流程,从性能目标设定到最终方案确定,综合考虑多方面因素,实现加固工程综合最优。该方法为既有砌体结构抗震加固提供了科学、系统的设计思路,有助于提升既有砌体结构抗震能力,保障人员生命与财产安全,在实际工程应用中具有重要价值。

#### 参考文献

- [1]姬文婷.多层砌体结构加固改造后抗震性能探析[J].建筑与装饰,2025(12):123-125.
- [2]张杰明,周婧婷,占宗霖,等.砌体结构抗震加固研究进展[J].土木工程,2025,14(4):906-914.
- [3]刘伟.既有砌体结构建筑安全性检测及加固设计[J].大众标准化,2024(6):178-180.
- [4]万桂林.关于房屋建筑工程砌体结构的加固施工[J].新材料·新装饰,2023,5(21):159-162.