

新型减隔震装置在结构抗震加固中的工程实践分析

刘涛 王小娜

河北建筑设计研究院有限责任公司 河北 石家庄 050011

【摘要】：在既有建筑抗震能力提升需求持续增长、工程加固方式不断迭代的背景下，新型减隔震装置因耗能效率较高、构造适应性较强、施工扰动相对较小，正逐步成为结构抗震加固中的重要技术选择。围绕其在工程实践中的应用展开分析，可见其不仅能够削减地震输入、改善结构动力响应，亦可在控制层间位移、缓解构件受力集中、提升震后功能保持能力等方面发挥积极作用。结合装置类型、受力机理、选型布置、施工安装及性能评估等内容加以梳理，有助于进一步明确其工程适用条件与实施要点，并为既有结构抗震加固技术优化提供参考。

【关键词】：新型减隔震装置；结构抗震加固；工程实践；动力响应；抗震性能

DOI:10.12417/2811-0528.26.13.077

震害经验反复表明，结构失效并非仅由强度不足所致，动力响应失控、耗能路径单一以及薄弱部位过早损伤，同样是引发严重破坏的重要原因；随着城市存量建筑规模持续扩大，学校、医院、交通设施及综合公共建筑对抗震安全与功能连续性的要求愈发突出，单纯依赖增大截面、外包加固或局部补强的传统方式，已难完全适应复杂条件下的加固需求。相比之下，借助响应调控改善整体受力状态的新型减隔震装置，更具现实针对性，其工程价值正在既有结构更新改造中不断显现。

1 结构抗震加固中引入新型减隔震装置的现实基础

1.1 既有结构抗震需求的变化推动加固理念更新

随着城市建设由增量扩张逐步转向存量优化，既有建筑的安全维护已不再局限于局部修补或单纯补强，更多时候，面对的是使用年限延长、功能标准提升以及设防要求更新所带来的综合性加固任务。学校、医院、交通枢纽及大型公共建筑在地震条件下面临的风险，不仅体现为结构是否失稳，更体现为震后能否维持基本使用功能、能否减少修复成本、能否控制次生损伤，由此，抗震加固的关注重点也在悄然变化——由单纯提高承载力，转向兼顾延性改善、响应控制与韧性提升^[1]。新型减隔震装置恰是在这一转向之中显示出独特优势，其并不依附于“加厚、加大、加重”的传统思路，而是借助耗能、隔震与调频等方式，主动削弱地震作用对主体结构的不利影响，使加固行为从被动承受走向主动调控，技术路径更柔性，工程适应性也更强。

1.2 传统加固局限日益显现，新型装置的工程价值持续凸显

传统抗震加固方法在不少工程中仍具有稳定作用，这一点

毋庸置疑，不过在复杂既有结构中，其局限也逐渐清晰：增大截面会压缩使用空间，附加支撑可能改变原有受力体系，湿作业偏多则易拉长工期、干扰运营，尤其对需要边使用边加固的建筑而言，施工组织压力往往较大。相比之下，新型减隔震装置更强调体系协同，其价值不只在降低层间位移和加速度反应，更在于能够在较少破坏原结构的前提下，改善整体受力状态，缓解关键部位的应力集中，提升震后可恢复性。也正因为如此，这类装置在工程实践中逐步获得认可，既可作为传统加固方式的重要补充，也可在某些条件下成为主导性技术选择；随着材料性能、连接工艺与分析手段不断成熟，将其引入结构抗震加固，已不只是技术尝试，更是一种面向高质量建设与高韧性治理的现实回应。

2 新型减隔震装置在结构抗震加固中的技术体系与实施重点

2.1 新型减隔震装置的类型特征及其受力机理

用于结构抗震加固的新型减隔震装置，虽在构造形式、材料组成与工作方式上各不相同，但其核心目标较为一致，即在地震作用传递过程中重构结构响应路径，使原本集中于梁柱节点、薄弱层和易损构件的地震能量得到分散、耗减或延迟释放。依托这一目标，当前工程中较常见的装置大致可归为阻尼耗能类、隔震支座类以及复合协同类三种类型。阻尼耗能类装置更适用于上部结构振动控制，其优势在于布置灵活、构造适配性较强，能够在层间位移形成过程中持续吸收振动能量，进而削弱层间变形与内力峰值^[2]；隔震支座类装置则多应用于基础或下部结构部位，借助延长结构自振周期、降低地震输入强度的方式，使上部结构处于更平缓的受力状态，对重要公共建筑

【作者简介】姓名：刘涛；性别：男；民族：汉；出生年月：1988年8月；籍贯：河北省石家庄市；学历：本科；职称：高级工程师；研究方向：建筑结构抗震、减隔震、钢结构

和功能要求较高的既有设施尤其价值；复合协同类装置则体现出更鲜明的技术进步特征，在耗能、复位、限位和适应多工况响应等方面具有更强的整合能力，适合复杂结构和高标准加固场景。

2.2 抗震加固设计中装置选型与布置的关键逻辑

新型减隔震装置能否在加固工程中真正产生预期成效，决定性环节往往不在施工末端，而在设计前期的方案论证阶段。既有结构与新建设计不同，其基础条件更复杂，材料老化程度、构件损伤状况、结构规则性、使用功能限制以及可施工空间，都会直接影响装置选型与布置思路；若忽视这些现实约束，即便装置性能先进，也可能因配置失衡而难以形成理想效果。

从布置原则来看，较为关键的一点，在于避免局部强化与整体失衡并存。装置若过于集中地布置于某一层或某一区域，虽可能在局部形成显著耗能效果，却也可能引起刚度突变与变形不均，进而诱发新的薄弱环节；相反，布置过于分散，又容易造成控制效率不足、投资效益偏低。由此，装置配置应更多强调“结构整体响应的优化”，而非单一指标的降低。对于层间位移较大的框架结构，宜强化阻尼装置在关键楼层与易损部位的配置；对于功能连续性要求较高、设备敏感性较强的建筑，则更重视隔震体系对输入地震能量的削弱作用；若面对的是不规则结构或既有损伤较复杂的工程，则借助复合控制装置形成多层次响应调节机制，往往更具现实优势。

2.3 工程实施中的安装控制与性能保障重点

设计方案的科学性，若不能在施工环节中被完整落实，其技术优势便难以真正转化为工程成效。新型减隔震装置的实施，较传统加固方式更强调精度控制、节点协同与全过程管理，其原因在于，装置工作状态对安装位置、连接质量和受力边界极为敏感，稍有偏差，便可能使理论计算与实际响应之间出现明显落差。基于此，工程实施中必须把安装控制视作抗震加固成败的重要一环，而不能将其简单理解为设备安装或构件拼接。

在具体实施过程中，装置进场后的性能复核尤为关键。材料性能、出厂参数、阻尼特征、支座刚度及连接构件质量，均应与设计要求保持一致，必要时还需结合工程条件进行抽检与复验，以避免因制造偏差或运输损伤影响后续使用效果。进入现场安装阶段后，节点部位的定位精度、预埋构件的轴线控制、连接件的受力对中以及周边构件的兼容处理，都应纳入重点监管范围。对既有结构而言，局部拆除、植筋锚固、节点加密及安装空间调整往往同时存在，若现场组织不当，不仅会影响装置受力传递，还可能对原结构造成二次扰动。由此可见，施工控制的重点并不只是“装上去”，而是“装得准、连得稳、协

同好”。

3 新型减隔震装置工程实践成效及抗震加固优化方向

3.1 工程实践中抗震性能提升的主要表现

从既有工程应用效果看，新型减隔震装置的价值，并不只体现在某一项单独指标的改善上，更重要的，是其对结构整体抗震表现的系统性提升^[3]。当地震作用输入后，借助装置对能量传递路径的重构，结构层间位移峰值往往得到明显抑制，构件内力分布趋于均衡，节点区应力集中状况有所缓和，原本容易出现脆性破坏的位置，也因此获得更高的安全储备；与此同时，楼层加速度响应的下降，还能够减轻非结构构件、机电设备及附属设施的震害风险，这对于医院、学校、交通枢纽及数据中心等功能敏感型建筑而言，意义尤为突出。换言之，减隔震装置带来的并非局部修补式改善，而是从“主体结构安全”向“建筑功能延续”延伸的性能升级。

在一些既有框架—剪力墙结构改造项目中，这一优势表现得较为典型。以某地震设防要求较高地区的一栋综合门诊楼加固工程为例，原结构建成时间较早，虽经初步检测并未出现严重承载缺陷，但层间刚度分布不均、设备荷载增加以及使用功能升级，使其抗震储备明显不足。项目团队依托动力分析结果，在中下部关键楼层布置黏滞阻尼装置，同时对局部节点实施必要补强，由此形成“局部增强+整体耗能”的协同加固体系。加固完成后，经模拟复核与现场振动测试，结构层间位移响应显著减小，机房区域设备支撑受力更趋平稳，建筑在满足抗震安全需求的同时，也保留了原有诊疗功能布局。此类工程说明，新型减隔震装置的积极意义，不在于替代所有传统手段，而在于借助更合理的控制思路，使既有结构在较小改动条件下实现更高水平的性能跃升。

为更直观呈现其工程应用成效，可将常见提升维度概括如表1所示。

表1 新型减隔震装置在结构抗震加固中的主要成效表现

成效维度	具体表现	工程意义
动力响应控制	层间位移、顶点位移及楼层加速度减小	降低主体结构与附属系统震害风险
受力状态改善	构件内力重分布更均衡，节点应力集中减弱	保护薄弱部位，减少脆性破坏可能
功能保持能力提升	震后建筑可继续使用或较快恢复使用	适用于医院、学校、交通设施等功能敏感建筑

施工扰动 相对减轻	对原结构拆改量较小， 施工周期可控	有利于边使用边加固或 分阶段实施
综合效益 增强	安全、工期、维护和运 营损失之间更易取得 平衡	提升加固方案的全寿命 周期价值

(注:续表1)

从表1可以看出,新型减隔震装置的工程收益呈现出较强的复合性,其效益并非停留在结构层面,而是延伸至运维、管理与使用保障层面,这也正是其在当前结构加固实践中逐步获得更广泛认同的重要原因。

3.2 制约工程推广的现实问题与技术短板

应当看到,减隔震装置在工程实践中虽已展现出较强适应能力,但在推广过程中仍受到多方面因素制约,这些问题并不意味着技术本身存在根本缺陷,更多反映出其从“先进可用”走向“普遍适用”仍需进一步完善^[4]。较为突出的一个方面,在于设计深度与工程认知之间尚有落差。部分既有工程在加固前缺乏系统性的结构检测与动力特性识别,导致装置选型偏于经验化,参数匹配不够精细,结果便可能出现理论上有效、实际中一般的情况;同时,部分建设主体仍习惯于把加固理解为构件补强,对于依托响应控制改善整体性能的理念接受较慢,由此也影响了新型装置方案的前期论证与投资判断。

在复杂结构场景中,施工条件对装置实施效果的影响同样不容忽视。某老旧会展建筑改造工程中,设计阶段原计划采用隔震支座与局部阻尼装置联合加固,以降低大跨度屋盖与下部柱网在地震作用下的耦合响应。然而进入实施阶段后,受限于

基础空间不足、原构件局部偏位以及地下管线密集分布,部分装置安装位置被迫调整,若缺乏及时的复核分析,便容易导致控制路径偏离原设计意图。项目后续之所以仍取得较好效果,关键在于施工团队并未将设计视作静态成果,而是结合现场情况对节点连接方式、局部刚度补偿及施工顺序作出动态优化,并借助复核计算对装置参数进行再校准,最终实现了较为理想的结构响应控制。这个例子说明,制约工程推广的往往不是单一技术难题,而是设计、施工、监测与管理衔接不足所形成的系统短板;一旦多环节协同得到加强,原本看似棘手的问题,大多可以在工程层面获得有效化解。

3.3 面向高质量加固的应用完善路径

面向未来,新型减隔震装置在结构抗震加固中的应用,不宜停留于“有无使用”的层面,而应转向“如何更优使用”的层面,其核心,在于形成以结构性能目标为导向、以工程全周期管理为支撑、以技术协同创新为路径的高质量应用体系。从设计端看,应进一步强化既有结构现状识别与动力性能诊断,依托精细化建模、非线性分析和多工况校核,提高装置参数确定的针对性,使加固方案真正建立在“结构问题—控制需求—装置响应”这一闭环逻辑之上。

4 结语

在既有结构安全需求不断提升的背景下,减隔震装置所体现的,已不只是技术层面的更新,更是抗震加固理念由被动补强走向主动调控的深层转变;其价值在于兼顾安全、功能与效益,在复杂工程条件下释放更强的适应能力。随着设计精度、施工控制与运维体系持续完善,这一路径有望进一步融入韧性城市建设之中,使结构抗震加固由阶段性修补迈向更稳定、更长效的性能提升。

参考文献:

- [1] 宋炜德,王朝晖,赵弘博,等.国内外木结构建筑抗震研究进展[J].世界林业研究,2025,38(03):58-67..
- [2] 徐献清,王树涛.高层住宅建筑结构减隔震控制研究[J].居舍,2025,(21):162-165+177.
- [3] 白敬宁,何晓东,徐大桥,等.大跨桥梁减隔震装置及减震效应研究[J].建材世界,2024,45(06):62-65+96.
- [4] 睢海涛.近断层地震动作用下简支梁桥减隔震方法研究[J].西部交通科技,2024,(02):83-85+125.