

# 减隔震技术在高层结构抗震设计中的应用分析

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】**：高层建筑在地震作用下易受周期放大、层间变形集中及附属构件损伤等多重因素影响，单纯依赖传统抗震设计，已难充分满足安全保障、功能维持与震后修复的综合要求。减隔震技术依托隔离地震能量输入、增强结构耗能能力与优化动力响应路径，可在控制结构位移、减轻构件损伤、提升整体韧性方面形成较为显著的工程效果。围绕高层结构抗震设计需求，对减震与隔震技术的适用条件、设计重点及实施价值加以梳理后可见，科学配置减隔震体系，不仅有助于提升结构安全储备，也可兼顾功能连续性与全寿命周期经济性，由此为高层建筑抗震设计优化提供更具现实意义的技术支撑。

**【关键词】**：高层结构；抗震设计；减隔震技术；结构控制；工程应用

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.047

随着城市建设持续向高密度、高强度方向推进，高层建筑数量不断增加，其结构体系更复杂、使用功能更集中，地震环境下所承受的风险也随之凸显。相较于一般建筑，高层结构在侧向响应、振动放大及损伤扩散方面更具敏感性，一旦设计控制不足，不仅主体安全承压，围护系统、机电设施及后续使用功能也容易同步受损。传统抗震方法强调承载与延性储备，这一思路仍具基础意义，但面对更高层级的安全要求和更严格的震后可恢复需求，仅靠常规设防已显不足，借助减隔震技术重构结构受震方式、改善整体受力状态，已成为高层抗震设计不断深化中的重要趋势。

## 1 高层结构抗震设计中的减隔震技术应用基础

### 1.1 高层结构抗震设计的受力特征与控制需求

相较于一般建筑，高层结构自振周期更长、侧向位移更敏感，地震作用下往往更容易出现层间变形集中、扭转响应放大与薄弱部位损伤累积等现象。随着建筑高度提升，结构安全已不再只是承载层面的校核问题，围护系统、机电设备以及使用功能的连续性，同样被纳入抗震设计目标之中<sup>[1]</sup>。也正因如此，单靠传统“抗”的思路已显局促，依托更主动的响应控制手段，对位移、加速度和能量传递过程加以优化，已成为高层结构抗震设计不断深化的重要方向。

### 1.2 减震与隔震技术在高层结构中的适配价值

减震技术重在增强结构耗能能力，借助阻尼装置削减层间响应，对高层结构中位移突出的部位具有较强适应性；隔震技术则重在削弱地震能量输入，依托隔震层调整整体动力特性，从源头减轻上部结构受震程度。二者虽路径不同，却都指向同

一目标，即在保证主体安全的同时，进一步提升结构韧性、降低震后修复压力。对高层建筑而言，减隔震技术的意义不仅体现在抗震性能提升上，更体现在功能保障、经济控制与综合效益优化上，这也使其逐渐由补充性手段转向高层抗震设计中的关键技术选择。

## 2 减隔震技术在高层结构抗震设计中的关键设计内容

### 2.1 减震装置选型与结构响应匹配

高层结构是否能够借助减震技术实现稳定、有效、可持续的抗震控制，关键并不在装置数量多少，而在装置性能与结构动力特征是否形成精准匹配<sup>[2]</sup>。高层建筑自振周期较长，楼层侧移分布不均，局部加强层、转换层、避难层等部位往往伴随刚度突变与内力重分配，若仍沿用经验化布置思路，极易出现控制范围分散、局部增刚过度、耗能效率不足等问题。因而在设计中，应依托结构模态分析、层间位移响应和能量分布特征，对黏滞阻尼器、屈曲约束支撑、摩擦阻尼器等装置进行差异化配置，使装置既参与整体控制，又不过度扰动原有受力路径，这样形成的减震体系，稳定性更强，经济性也更容易体现。以某沿海地区一栋框架—核心筒办公高层为例，项目初始设计采用常规抗震加强方式，虽满足规范限值，但在罕遇地震工况下，中上部层间位移峰值仍偏大，幕墙节点和机电支架面临较高风险。设计团队在复核动力响应后，并未简单增加构件截面，而是将黏滞阻尼器集中布置于位移响应显著的中高区连梁与外围支撑跨间，同时对局部薄弱层进行刚度协调，借助“重点耗能、整体平衡”的思路，显著降低了峰值位移与局部内力集中现象。工程后评估显示，该方案不仅提升了主体抗震冗余度，

**【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

也减少了附属构件加固成本,说明减震装置选型一旦与结构响应相耦合,其工程价值往往超出单纯的安全增量,而延伸至综合效益优化。

## 2.2 隔震体系设计与底部控制协调

相较于减震技术偏重结构内部耗能,隔震技术更强调对地震输入路径的前端调节,其核心在于借助隔震层延长结构周期、削减地震作用向上部结构的传递强度。对于高层建筑而言,这一技术并非不可应用,而是更需要系统审视。建筑越高,竖向荷载越复杂,倾覆效应、风振影响与隔震层大位移问题越应被充分考虑,因此隔震设计不能局限于支座选用,而应扩展至基础布置、地下空间、设备管线以及恢复性能等整体环节<sup>3</sup>。也就是说,真正有效的高层隔震,不是“底部加一层支座”这样简单,而是围绕整体稳定、位移容纳与功能延续建立起完整的控制逻辑。

在这一层面上,设计时通常需要将主要控制指标进行统筹,为便于比较,可将高层减隔震设计中的若干重点控制内容归纳如表1所示。

表1 高层结构减隔震设计关键控制内容对照表

控制内容	减震设计关注重点	隔震设计关注重点	工程意义
动力特性调节	增强耗能、削减响应峰值	延长周期、减少地震输入	改善整体抗震性能
位移控制	控制层间位移角	控制隔震层水平位移	降低结构与构件损伤
构造协调	装置与主体连接可靠	支座、管线与限位系统协调	提升系统稳定性
适用条件	适用性较强,适合新建与改造	对基础、规则性要求较高	明确技术选用边界
经济效果	投入适中,易分阶段优化	前期投入较高,长期收益明显	支撑全寿命周期决策

由表1可见,减震与隔震虽都服务于高层抗震性能提升,但二者控制重点并不重合,前者偏向结构内部调节,后者偏向输入端削弱,因此设计时更需要因项目而异,不能简单照搬。以西部某设防烈度较高地区的一栋医疗综合楼为例,项目兼具高层病房与重要救治功能,设计团队在方案比选阶段,对隔震支座承载能力、隔震层位移储备以及地下室管线柔性连接进行了联合论证,最终在裙房与主体衔接区域采用分区隔震和限位协调方案,使上部功能空间加速度响应得到有效控制。震后功能维持是该类建筑的重要目标,而这一目标的实现,恰恰说明隔震体系只有嵌入整体设计链条之中,才能真正释放其技术优

势。

## 2.3 减隔震体系与主体结构协同设计

减隔震技术的先进性,不应理解为对传统结构设计的替代,而更应视为对主体结构体系的优化增强。高层建筑一旦存在平面不规则、竖向刚度突变、抗侧力构件布置失衡等先天问题,即便设置了较高性能的减隔震装置,实际控制效果仍可能受到限制。也正因此,设计阶段更需要强调主体结构与控制体系的协同——借助结构布置优化为减隔震装置创造有效工作条件,再借助减隔震体系改善整体地震响应,由此形成“主体合理、控制有效、构造可靠”的三重支撑。这样的设计思路较之单点强化,更符合高层建筑复杂受力环境,也更有利于后续施工与运维管理。

某商业综合体项目的实践较具代表性。该项目塔楼高度较大,且中部设置多层转换空间,早期方案中由于转换区刚度突变明显,结构在模拟计算中出现响应集中。项目团队没有将问题简单归结为“加强构件”,而是同步调整核心筒开洞位置、优化外框支撑布置,并在转换层上下设置耗能装置,使主体受力的路径更顺畅、装置工作区更明确。调整后,地震作用下的层间变形分布趋于均衡,转换区内力峰值明显下降,局部节点构造也由此简化。这个例子表明,减隔震设计真正成熟的标志,不是某一装置参数多先进,而是其能否与主体结构形成同频共振式的协同关系,既补足结构短板,又放大整体韧性优势。

## 2.4 性能目标导向下的设计优化与工程实施

随着高层建筑抗震设计逐步由满足规范底线转向追求综合性能,减隔震技术的应用也在从“会不会用”走向“怎样用得更好”。这一转变的核心,在于将安全性、功能连续性、维修可恢复性与经济合理性纳入同一评价框架,进而推动设计目标更加清晰、技术路线更加细化。对普通办公高层而言,控制主体损伤和幕墙震害是重点;对医院、数据中心、应急指挥类高层而言,设备连续运行和震后快速恢复同样重要,由此决定了减隔震设计不能停留在标准化套用,而要面向不同功能需求进行差异化优化。

## 3 减隔震技术在高层结构抗震设计中的应用价值与优化方向

### 3.1 减隔震技术推动高层结构抗震目标由单一安全转向综合性能提升

在高层结构抗震设计体系中,减隔震技术的意义已不再局限于降低内力与控制位移,更深层的价值,在于其促使抗震目标由传统的承载安全导向,逐步转入安全性、功能性与恢复性并重的综合性能导向。高层建筑体量大、功能复合度高,一旦

遭遇强震,真正影响城市运行的,并非仅是主体结构是否失稳,还包括外围护系统是否完整、机电设备是否可用、核心功能是否能够维持。借助减震构件耗散地震能量,或依托隔震层削弱输入效应,结构在地震中的响应路径得以被重新调节,由此不仅主体受损程度得以下降,非结构构件和附属系统的保护水平也同步提高。由“抗住地震”走向“保持可用”,再延伸至“震后可修、恢复较快”,正是现代高层抗震设计不断深化的重要体现,而减隔震技术,恰恰为这种转变提供了可靠支撑。

### 3.2 减隔震技术有助于实现高层建筑全寿命周期效益优化

抗震设计若只关注初始建造阶段的造价控制,往往容易忽视震后修复、停用损失与运营中断所带来的更大代价。高层建筑特别是公共服务建筑、商务综合体及高价值办公设施,对连续使用和震后快速恢复有着更高要求,因此评价减隔震技术,不能仅以构造投入多少作为判断依据,还应将其放在全寿命周期视角下加以衡量<sup>[4]</sup>。合理配置减隔震体系后,结构损伤等级降低,附属设施更不易失效,维护成本、修复成本以及间接经济损失也随之下降,设计中的经济性因而不再体现为单一压缩投资,而体现为长期运行的稳定收益。随着性能化设计理念持续深化,高层结构抗震设计已逐渐形成一种更为积极的技术取向,即在保障安全的基础上兼顾运行效率、使用价值与投资回报,减隔震技术在这一过程中所发挥的,正是连接工程安全与经济合理性的桥梁作用。

### 参考文献:

- [1] 徐宁.简述高层建筑结构设计要点[J].居舍,2020,(05):107+113.
- [2] 郭远翔,刘璐瑶.高烈度区框-筒结构组合减隔震抗震性能研究[J].工程抗震与加固改造,2024,46(05):71-79+52.
- [3] 王军海.高烈度区减隔震技术对高层钢结构抗震性能影响研究[J].住宅产业,2023,(05):87-89+93.
- [4] 罗斌,袁拴龙,张海亮.高层钢结构高烈度区减隔震技术对抗震性能影响研究[J].建筑技术开发,2022,49(12):4-8.

### 3.3 减隔震技术未来应朝着系统协同与精细优化方向持续深化

面向高层建筑不断提升的安全标准与功能需求,减隔震技术的应用也需要由单项装置配置走向系统协同优化。更具前瞻性的设计思路,应将减隔震体系与结构选型、构件布置、节点构造、机电系统、运维监测纳入统一框架之中,使其在方案阶段便完成多专业协同,而非后期附加。随着数字化建模、结构健康监测和智能传感技术不断成熟,减隔震系统的性能识别、状态跟踪与维护评估也具备了更扎实的技术条件,这意味着未来的高层抗震设计,不只是“设计完成即结束”,而是逐步走向设计、实施、运行、评估相衔接的全过程控制。由此形成的,不仅是一套更稳定的结构抗震机制,也是一种更符合现代工程发展趋势的技术治理方式。对于高层结构而言,减隔震技术的深入应用,将持续推动抗震设计由经验导向向数据支撑、由局部改进向整体优化演进,其发展前景积极而明确。

### 4 结语

面向高层建筑不断提升的安全标准与功能要求,减隔震技术所承载的,已不仅是抗震构造层面的改良,更是结构设计理念、工程价值判断与城市韧性建设方式的同步更新。真正有效的抗震设计,不应止步于满足规范,更应着眼于风险削减、功能延续与长期效益的协调统一;随着技术体系持续成熟、设计协同不断深化,减隔震技术将在高层结构中释放出更稳定也更长远的工程价值,并为现代建筑安全品质的提升提供更坚实的支撑。