

建筑结构隔震与减震设计问题分析与措施探讨

文 / 郭凯 西安基准方中建筑设计有限公司

高卫欣 西安建筑科大工程技术有限公司

摘要: 随着抗震立法驱动“两区”“八类”空间扩容,行业需求正处于蓄力突破期,市场规模迎来扩张的确定性不断增强。近几年,我国局部地区经常会出现地震情况,基于此,相关人员在设计建筑结构时侧重考虑抗震性能,通过提升建筑设施的抗震性,在施工期间增设隔震、减震举措,当地震情况产生时能够减少对建筑设施的破坏影响。当前所采取的隔震、减震技术更加安全、可靠,同时能减少成本,有效保护建筑结构本身,提升建筑物的抗震水平。

关键词: 建筑结构; 隔震减震; 设计问题; 优化措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.104

引言

隔震与减震设计是通过科学的手段,减少地震或其他振动源对建筑结构的直接影响,以保护建筑物及其内部的人和物品,随着科技的进步,我们对地震动力学的理解不断深入,设计出的隔震减震系统也日益完善。建筑结构的隔震与减震设计并非一蹴而就,而是需要考虑诸多因素,如地震动参数、建筑结构特性、场地条件、经济成本等,需要设计师具备深厚的理论知识和丰富的实践经验。同时,随着新材料、新技术的不断涌现,如何将这些创新融入隔震与减震设计中,也是未来建筑科学需要持续探索的重要课题。

一、建筑结构隔震与减震的定义

建筑结构隔震,简单来说,就是在建筑物的基础和上部结构之间设置隔震层,以隔离地震波直接传递到建筑主体。这一概念源于19世纪,但真正得到广泛应用是在20世纪中叶,尤其是自1960年代日本首次在大型建筑中采用隔震技术以来。隔震层通常由橡胶、铅芯或其他具有高阻尼特性的材料制成,能够在地震发生时允许上部结构“浮动”,从而显著降低地震对建筑的破坏。而建筑结构减震,是在不设置物理隔震层的情况下,通过在主体结构之间设计特殊的结构系统或装置,如阻尼器,来消耗地震能量,减少地震对建筑结构的冲击。减震技术强调的是能量的转化和分散,而非物理隔离。例如,金属剪切型阻尼器会在地震中产生与地震波相反的振动,从而减少对主体结构的影响。这两种技术在实际应用中往往相辅相成,共同构建起一个全面的抗震保护体系。据统计,采用隔震减震技术的建筑在地震中的破坏程度可以降低40%-80%,极大地提高了建筑的抗震性能和人员的生存概率。以2011年日本东北部的大地震为例,东京的许多建筑,包括世界上最大的隔震建筑——47层的东京晴空塔,都成功地抵御了地震的冲击。这在很大程度上得益于日本在建筑设计中广泛采用的隔震减震技术。

二、建筑结构隔震与减震设计的重要性

首先,隔震设计通过在建筑结构和地基之间设置隔

震层,如橡胶垫或铅芯层,来隔离地震波的直接传递。这种“软垫”可以大大降低地震能量传递到建筑主体,从而显著降低地震对建筑的破坏程度。例如,1995年日本神户大地震中,采用隔震技术的建筑受损程度远低于未采用的建筑,充分证明了隔震设计的有效性。其次,减震设计则是在建筑结构内部采用各种减震装置,如阻尼器,来消耗地震能量,减少结构的振动。这些装置可以在地震发生时“主动”工作,通过改变结构的振动模式,降低结构的共振效应,从而保护建筑免受严重破坏。

全球范围内,许多标志性建筑都采用了隔震与减震设计。例如,美国洛杉矶的联邦银行大楼安装了世界上最大的液态阻尼器,可以有效抵抗强风和地震的影响。再如,我国的深圳平安金融中心也采用了类似的减震系统,确保了在极端条件下的结构安全。

三、建筑结构隔震与减震设计的原理

隔震设计的基本理念是通过在建筑物与地基之间设置隔震层,将地震波的直接冲击与建筑主体隔离开,从而减少地震能量向上传递。这一理念最早可以追溯到17世纪日本的木制建筑,其中的“浮动基础”设计就是早期的隔震技术。现代隔震技术则更加先进,如橡胶隔震垫、滑动隔震系统等,能够有效吸收和分散地震能量。减震设计则是在建筑结构内部引入减震装置,通过消耗或转换地震能量,降低结构的振动幅度。常见的减震装置包括阻尼器、能量耗散器等。这些装置在地震发生时如同建筑物的“减震器”,能够显著降低结构的地震响应。

在实际设计中,隔震与减震技术通常结合使用,形成综合隔震减震系统。这种系统能够根据地震波的特性,动态调整其隔震和减震性能,提供最优的抗震保护。例如,2011年日本福岛地震中,许多采用了隔震减震技术的建筑,如东京的420米高的天空树,虽然经历了强烈的地震,但其结构损伤极小,人员伤亡也大大降低。

四、建筑结构隔震与减震设计的主要问题

首先,建筑结构的隔震设计主要是通过

基础和上部结构之间设置隔震层，以隔离地震波对上部结构的直接冲击。这种设计方法可以显著降低地震动对建筑物的影响，保护内部设施和人员的安全。例如，日本作为一个地震多发的国家，其在建筑设计中广泛应用了隔震技术，有效减少了地震灾害的损失。其次，减震设计则是通过在建筑物内部安装各种减震装置，如阻尼器、弹簧等，以消耗地震能量，减少地震动对建筑物的振动影响。这种设计方法可以与隔震设计相结合，形成一个综合的抗震系统，提高建筑物的抗震性能。然而，隔震与减震设计也面临着一些挑战。例如，如何在满足隔震和减震效果的同时，保证建筑物的使用功能和空间布局不受影响，是一个需要精细平衡的问题。此外，隔震与减震设备的选型、设计、制造和安装都需要高精度的技术支持，这对设计者和施工者都提出了较高的要求。

五、建筑结构隔震与减震设计策略

（一）层间隔震措施

层间隔震作为一种新型的隔震结构，在结构抗震设计中具有重要的应用价值。层间隔震一般设置在高层建筑上部，但楼层的改变对地震波的减震效果无明显影响。由于地震波在建筑结构中传播时会产生巨大的能量，如果没有采取相应的减震措施，建筑物很容易发生严重的损坏和崩塌。层间隔震技术通过在建筑结构中设置耗能减震设施，可以有效地减弱地震波的影响，保护建筑物的安全性和稳定性。

（二）隔震产品迭代

建筑结构的隔震与减震产品迭代是一个持续的、创新的过程，旨在不断提升建筑的安全性和耐久性。在新材料的研发方面，橡胶隔震垫这一早期的代表，已经逐步被更先进的高分子复合材料所取代，这些新材料不仅具有更出色的耐腐蚀、抗老化性能，而且在柔韧性和恢复力上都有显著提升，能更好地适应复杂的地震环境。

技术创新层面，从传统的被动隔震技术，如设置橡胶垫或铅芯阻尼器，到现在的主动控制技术，如使用电涡流阻尼器或磁流变阻尼器，能够实时、动态地调整其阻尼性能，以最大限度地减少地震对建筑结构的影响。更进一步，智能隔震系统结合了物联网传感器、云计算和机器学习等先进技术，能够预测地震行为，实现对建筑振动的精确控制，极大地提高了隔震效率和效果。

在设计优化上，早期的隔震设计可能过于简单，主要通过增加隔震层来降低结构的基频，但现代设计更注重建筑的使用舒适性，如采用多层次、多自由度的隔震设计，以减少地震引起的室内晃动，同时考虑灾后快速恢复功能，使建筑能在地震后尽快恢复正常运营。

系统集成是另一个重要的迭代方向，这包括对结构-隔震层-地基整个系统的全面优化，以及隔震、减震、能量耗散等多种技术的协同应用，以实现整体隔震性能的最优化。例如，通过精细的数值模拟和实验验证，可以找到最佳的隔震系统参数，以最小的隔震成本

获得最大的减震效果。

此外，随着社会对环保和可持续性的关注增加，新型隔震产品在设计和制造过程中，更加注重材料的可回收性，降低生产过程中的能耗和碳排放，以实现绿色建筑的目标。新型隔震技术的每一次迭代，都是对人类生存环境的深度思考和对科技进步的积极回应，旨在为我们的城市构建更加安全、舒适、可持续的未来。

（三）合理选择建筑场地

在建筑工程中，抗震设计与施工阶段，我国已制定相关规范并进行了详细规定。在项目筹备与设计过程中，对于可能遭遇自然灾害的区域，应进行地质勘查，并对其地震风险进行评估。依据地勘报告，结构应实施相应的抗震设计，以确保建筑物具备良好的抗震性能。在选择建筑场地时，应避免将建筑物设立于软弱土壤或靠近地震断裂带等高风险区域。因此，在项目设计之前，需要结合水文实际情况和地勘结果开展全面调查。此外，为了减轻自然灾害对经济造成的损失，选址时要尽量确保场地及周边不存在不良的地质影响，从而使该地点适宜建设。

（四）液体阻尼器

液体阻尼器主要是利用液体在容器内流动时产生的阻力来消耗能量。当建筑结构在地震、风荷载等动力作用下发生振动时，与结构相连的液体阻尼器内部液体被迫流动。例如，常见的黏滞液体阻尼器，其内部填充有高黏度的液体（如硅油等），通过活塞或其他装置的运动带动液体在阻尼器的缸体中流动，液体分子间的内摩擦以及液体与阻尼器壁面之间的摩擦会将结构振动的机械能转化为热能散发出去，从而减小结构的振动响应。通常可设置在建筑结构的顶部、底部或层间等关键部位。在顶部设置时，如在高层建筑的屋顶机房或水箱间附近设置阻尼器，可以有效地控制结构的整体摇摆和扭转振动。在底部设置时，能对结构底部传来的地震或风振能量进行初步消耗和阻隔，减少向上部结构的传递。而层间设置则有助于减小相邻楼层之间的相对位移和振动传递，提高结构的层间稳定性。一般采用刚性连接或柔性连接方式与建筑结构相连。刚性连接能确保阻尼器与结构协同工作，准确传递力的作用，但可能会对结构局部产生较大的应力集中。柔性连接则可以在一定程度上缓冲阻尼器与结构之间的相互作用力，减少连接部位的损坏风险，但需要精确设计连接的刚度和阻尼特性，以保证阻尼器的减震效果得以充分发挥。在液体阻尼器安装前，需要进行严格的性能检测。同时，要进行疲劳试验，模拟阻尼器在长期反复荷载作用下的性能变化，确保其在设计使用寿命内能够稳定可靠地工作。在安装后，还需要定期对阻尼器的工作状态进行监测，如通过传感器测量阻尼器的实际位移、速度和阻尼力等参数，与设计值进行对比分析，及时发现可能存在的性能退化或故障问题。定期检查阻尼器的外观，查看是否有液体泄漏、连接部位松动或损坏等情况。对于液体阻尼器中

的液体介质，要按照规定的使用年限或性能指标变化情况进行更换或补充。同时，要维护好与阻尼器相连的传感器、控制系统等附属设备，确保整个减震系统的正常运行。



图1 液体阻尼器

（五）无黏结钢结构体系

无黏结钢结构体系是建筑中常用的一种减震措施，特别适用于高层建筑和桥梁等结构。这种结构体系采用特殊设计的支撑系统，将钢结构与混凝土结构分离，从而减少地震时的水平位移和摆动，提高建筑物的抗震性能。无黏结钢结构体系通过设置橡胶垫或滑动支座等减震装置，在地震发生时能够有效吸收地震产生的能量，降低结构受力程度，保护建筑物本身以及内部设备和人员的安全。这种减震措施可以在一定程度上增加建筑物的抗震能力，减少地震带来的损失，是一种有效且成熟的抗震技术之一。

（六）地基隔震措施

基础位于建筑物与地震能量之间的夹层中，与地面直接接触。在地震发生时，基础的作用是将能量转移至地下，减少地震波对建筑物的影响。近年来，随着科技的发展，设计人员开始注重基础材料的选择。地基成为减轻地震波对建筑物破坏的关键结构。隔震材料的使用可以降低工程成本，提高建筑物和地基在地震发生时的滑动效率，达到减震的目的。然而，高频振动会对垫层材料造成磨损，使垫层中的砂粒不断排出，增强地面与建筑物之间的摩擦，导致接触区出现裂缝。为了解决这个问题，现在常用的垫层材料是层压橡胶，大大提高了建筑的减震能力。叠层橡胶中加入局部钢板，有效地将钢板和橡胶结合在一起，成为优秀的减震设备。

（七）悬挂隔震措施

在现实的建筑结构中，实行悬挂隔震处理模式，具体方式为悬挂建筑物的整体结构，或者悬挂其部分结构，当地震灾害出现时，其能量没有办法全部传输，悬

挂结构所受的影响减小，在整体建筑结构中减少对安全性的影响，抗震作用明显。此项技术适用性并不广泛，更多应用在大规模的钢结构中，此结构包括主框架、子框架两部分，从整体悬挂体系来看，利用锁链工具，将子框架悬吊在主框架结构处，地震灾害出现后，在地壳运动带动下主框架也会持续摆动，地震能量开始大范围传递，当波及到吊杆、锁链等位置时，能量有所减弱，基本上不会影响子结构，建筑整体结构也会更加稳定。

（八）防震缝设计

防震缝是在建筑构件之间设置的一定宽度间隙，用于避免因地基沉降或其他因素导致相邻构件间出现过大的相对位移。在合理的位置设立防震缝，可以有效降低局部应力集中现象，提高整体稳定性。此外，在确定防震缝宽度时，应充分考虑可能发生的变形量，以确保其功能发挥良好。为了优化防震缝效果，还可采用柔性填充材料，如聚氨酯泡沫或硅酮密封胶，这样不仅可以提供足够的弹性以适应变形，还能有效阻挡水分渗入。同时，在施工阶段，要特别注意接头处理及密封措施，以避免后续因水侵蚀造成的问题。因此，加强现场管理也是保障防灾效果的重要环节之一。

结束语

综上所述，在我国社会经济快速发展、建筑工程建设规模越来越大的背景下，针对建筑工程结构的抗震设计备受重视。目前，传统理念和技术条件下的建筑隔震减震技术措施存在一定的不足，尤其无法适应如今规模化、功能多样化的高层建筑需求。为此，在建筑结构设计时，应当充分结合建筑整体开发建设要求，在满足功能性、经济性的同时，合理采用弹簧缓震、液体阻尼器及谐振质量阻尼器等现代技术，有效提升建筑结构的隔震减震性能，为更好发挥建筑功能、保证建筑安全打下可靠基础。

参考文献

- [1] 隋英杰. 建筑结构设计中的隔震减震设计研究[J]. 新城建科技, 2024, 33(09): 88-90.
- [2] 董丽萍. 建筑结构设计隔震减震技术探讨[J]. 居业, 2024, (06): 94-96.
- [3] 潘红艳. 浅析建筑结构设计中的隔震减震策略[J]. 建材发展导向, 2024, 22(11): 53-55.
- [4] 蔡宁宁, 李月. 建筑结构设计中的隔震减震设计研究[J]. 居舍, 2024, (16): 144-146.
- [5] 陆旭东. 建筑结构隔震与减震设计问题分析与措施探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (14): 55-57.
- [6] 续墨州. 浅析建筑结构设计中的隔震减震策略[J]. 建材发展导向, 2024, 22(09): 54-56.
- [7] 李泽鑫, 刘传浩. 建筑结构设计中的隔震减震措施研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (24): 10-12.