

Analysis of influence of lead rubber bearing on seismic performance of high-rise building

Hekai Liu¹ Min Zhu² Xianbo Chen³

1. MCC Construction Group Co., Ltd., Chongqing, 400084, China

2. Zhejiang Provincial Yijian Construction Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310013, China

3. Fujian Donglin Group, Quanzhou, Fujian, 362121, China.

Abstract

With the rapid development of urbanization, there are more and more high-rise buildings in cities. Considering the seismic performance of high-rise structures under earthquake, it is a very important research topic to carry out effective seismic design. Lead rubber bearing is a new structural form, which has been studied and applied in many fields at home and abroad. A new type of shock absorption system is proposed, that is, the isolation bearing is used to reduce the seismic wave propagation on the building and achieve the purpose of shock absorption. The research results of this project will lay a foundation for the seismic design and popularization of super tall buildings in China.

Keywords

Lead rubber bearing; high-rise building; seismic performance; seismic response

铅芯橡胶隔震支座对高层建筑抗震性能的影响分析

刘赫凯¹ 朱珉² 陈贤玻³

1. 中冶建工集团有限公司, 中国·重庆 400084

2. 浙江省一建建设集团有限公司, 中国·浙江 杭州 310013

3. 福建东霖集团, 中国·福建 泉州 362121

摘要

在城市化快速发展的背景下,城市中的高层建筑越来越多。考虑到高层结构在地震作用下的抗震性能,对其进行有效的抗震设计是一个十分重要的研究课题。铅芯橡胶隔震支座是一种新的结构形式,在国内外已有较多的研究和应用。提出了一种新型的减震体系,即采用隔震支座减小地震波在建筑物上的传播,达到减震的目的。本项目的研究成果将为我国超高层结构的抗震设计和推广奠定基础。

关键词

铅芯橡胶隔震支座;高层建筑;抗震性能;地震响应

1 引言

高层建筑因其高度、构造及使用功能的多样化,在强震作用下极易产生强烈的振动,对结构的安全性提出了严峻的挑战。如何提高高层建筑的地震反应能力,已成为工程界关注的热点问题。铅芯橡胶隔震支座是近几年发展起来的一项新技术,已引起工程界的广泛关注。这种结构可以有效地减小地震动对结构的作用,减小结构的振动效应。铅芯橡胶隔震支座能够有效降低结构的震害,提升建筑的抗震性能。

【基金项目】住房和城乡建设科学技术计划项目(项目编号:2025-K-62)。

【作者简介】刘赫凯(1980-),男,中国辽宁昌图人,博士,副高,从事建筑新材料,智能建造研究。

2 铅芯橡胶隔震支座的基本原理及应用背景

2.1 铅芯橡胶隔震支座的结构与工作原理

铅芯橡胶隔震支座是一种特殊的结构,它是一种以多层橡胶为核心的多层橡胶隔震支座,可以有效地隔绝地震波的传递,达到减震减震的目的。橡胶层具有良好的回弹力及较大的形变能力,既能吸收地震波,又能有效地隔绝地震波对结构的影响。为保证结构在地震作用下能抵抗结构的振动荷载,对橡胶支座的弹性模量及抗剪强度进行调整。铅芯具有较高的刚度、耗能能力,且铅芯具有较强的塑性变形能力,可有效地吸收地震波的能量,减小地震对结构的损伤。在强震发生时,隔震支座可以在地震波作用下,利用隔震支座的变形来消减上部结构的地震反应,减少结构的位移、加速度,减少结构地震损伤。其核心是对隔震支座进行软、硬组合,使隔震支座能够在各种地震动作用下起到较好的减震作用。

整体上,铅芯橡胶隔震支座充分发挥了橡胶的弹性与铅基耗能的双重优势,有望成为一种有效的隔震材料。

2.2 铅芯橡胶隔震支座的应用背景

随着我国高层建筑的日益增多,其抗震能力问题日益突出。特别是在多震区,传统的抗震设计方法很难有效地对强震造成的危害。铅芯橡胶隔震支座的问世,就是针对这种情况而提出的。采用隔震技术可以减少建筑物的震害,极大地提高了建筑物的安全。铅芯橡胶隔震支座是一种新的结构减震措施,目前已被大量采用。隔震支座是一种新型的隔震体系,它能有效地隔绝地基和上部结构的振动,有效地抑制了地震波的直接传入,降低了地震的冲击。该方法可有效减小建筑物在地震作用下的晃动和位移,防止由于过大的振动而导致建筑物的损坏和人身伤害。尤其在日本和美国等地震动较大的地区,铅芯橡胶隔震支座已经被广泛应用于高层建筑的抗震设计中。随着技术的日益成熟,以及建造经验的不断丰富,铅芯橡胶隔震支座的使用范围日益扩大,已覆盖住宅、商业建筑、公共服务等各类建筑,在现代建筑抗震设计中发挥着举足轻重的作用。

3 铅芯橡胶隔震支座对高层建筑抗震性能的提升作用

3.1 减小地震波对建筑物的传递

铅芯橡胶隔震支座能有效地隔绝地基和地基,可有效降低地震波向结构的直接传导。地震波往往会使建筑物产生强烈的振动,使建筑物产生较大的位移、加速度,进而加大建筑物破坏的危险。铅芯橡胶隔震支座的主要功能是吸收地震波的能量,并利用其自身的变形及铅芯的能量耗散来减小其对地震动的影响。这样既可以减小高层建筑的地震振幅,又可以有效地避免地震对主要结构的影响。工程实践表明,与未采用隔震结构相比,含铅橡胶隔震结构的抗震性能明显优于无隔震结构。这一特点可有效提高高层结构的抗震稳定性,大大减小地震对建筑物的破坏作用。

3.2 降低建筑物的位移和加速度响应

在强震下,高层建筑常产生较大的水平和竖向位移,特别是在强震下,会产生较大幅度的摆动,严重时甚至会引起结构的倾斜、坍塌。铅芯橡胶隔震支座具有良好的回弹力及吸能性能,可有效减小结构在地震作用下的位移及加速度反应。结构中的橡胶夹层具有较好的弹性,既能通过侧向变形来吸收地震能量,又能在较大地震动下产生塑性变形,从而进一步减小结构的地震反应。在此基础上,提出了一种新型的抗震设计方法。隔震支座可以有效地减小结构的变形、加速度,从而提高结构的抗震性能,降低震后维护与重建的费用。

3.3 提高建筑结构的抗震韧性和耐久性

铅芯橡胶隔震支座以提高结构的延性与耐久性能为目标,进行结构减震设计。高层建筑因其质量大、高度大等特

点,在地震作用下会发生很大的受力变形。长时间的振动会引起建材的疲劳,从而提高建筑物的破坏几率。铅芯橡胶隔震支座可有效隔绝上部结构的地震能量,同时利用橡胶层自身的弹性和铅芯的耗能特性,减小地震对结构的冲击。该隔震支座既能在较短的时间内有效地减震,又能在长期服役期间保持良好的隔振效果。铅芯橡胶隔震支座具有良好的韧性与耐久性能,可有效抵御多重地震作用下的结构破坏,降低强震对结构的破坏。所以,这一技术不仅可以提高建筑物的抗震性能,而且可以大大提高建筑物的使用年限,降低维修费用。

3.4 降低建筑物使用过程中的震后损伤风险

强震后高层结构的震害问题备受关注,特别是对重点工程、公共设施等,震后重建与安全性问题尤为突出。铅芯橡胶隔震支座可有效隔绝地震动,减小结构震后破坏的危险。含铅橡胶隔震支座的结构抗震性能好,抗震能力强,抗震性能好。另外,隔震支座对建筑物的减震效果显著,对电力、通讯、供水等系统的冲击也较小。铅芯橡胶隔震支座既可提高结构的抗震性能,又可为地震后的重建创造有利环境。特别是在灾后重建阶段,采用隔震技术可有效降低维护与重建成本,提升社会与经济复苏效率。

4 铅芯橡胶隔震支座在高层建筑中应用的挑战

4.1 隔震支座耐久性与老化问题

铅芯橡胶隔震支座虽然具有良好的抗震性能,但其长期使用寿命仍是亟待解决的问题。橡胶受到外界环境的显著影响,尤其是在温度、湿度和紫外辐射作用下,其物理性质会发生劣化,从而使其回弹性能下降,从而降低其使用寿命。铅芯橡胶隔震支座的橡胶层在长期服役中易出现老化现象,特别是在较高温度下,其弹性模量、剪切模量均会不断降低,从而对隔震效果产生不利影响。同时,长期服役下,铅芯的塑性变形特征将导致疲劳破坏,从而影响其吸能能力。为此,在隔震支座的设计与建造过程中,必须对橡胶材质的质量进行严格的控制,并采取相应的保护措施,例如增加抗紫外线涂料,采用温度适应性更高的橡胶配方等。另外,对其进行定期检测与维修,对于保证其长周期、高效率、高可靠性具有重要意义。

4.2 成本问题与经济性考量

铅芯橡胶隔震支座一般要求较高的初始投资,是一种新型的抗震设计方法。但施工过程中所涉及到的材料、设计、施工等多个环节的复杂性,使得建设工程的前期费用普遍偏高。隔震支座自身要求采用优质橡胶及铅芯等材质,造价较高。另外,在隔震体系的设计与计算中,对体系进行了更多的分析,提高了体系的造价。虽然从长远来看,铅芯橡胶隔震支座在降低维护、震后修缮成本、改善结构抗震安全等方面具有重要意义,但其初期高昂的造价仍是部分工程面临的重要问题。特别是在发展中国家和经济欠发达地区,虽然隔

震技术具有显著的优越性，但其造价过高，限制了该技术的推广。因此，在保证其使用性能的前提下，降低其造价是目前急需解决的问题。

4.3 地震模拟与设计标准的适应性问题

铅芯橡胶隔震支座的设计和使用，其不同区域的抗震性能上存在着一定的适应性问题。由于各区域的地震波形特性及震源间距存在较大的差别，所以在隔震支座的设计中应充分考虑地震的频率、振幅及持续时间。尽管目前已有的隔震支座设计均针对不同的地震工况进行了优化，但在某些特定的地震作用下，特别是在强震或强震频发的情况下，现有的隔震支座设计方法难以满足。在部分强震多发、抗震特性较强的区域，铅芯橡胶隔震支座的抗震性能有待进一步提高。另外，我国现行抗震规范多采用传统的抗震设计方法，而隔震支座的使用也急需新的规范。铅芯橡胶隔震支座是一种新型的结构形式，其在我国一些地方还没有相应的规范，成为其推广应用的瓶颈。在此基础上，通过对隔震技术的进一步研究，制定相应的标准、规程，可以有效地解决该问题，促进其推广应用。

5 铅芯橡胶隔震支座在高层建筑中的应用策略

5.1 精确的设计与支座参数优化

在高层结构中采用铅芯橡胶隔震支座，关键是要准确地进行结构设计，并对支撑结构的参数进行优化。对建筑物进行抗震设计时，应综合考虑结构型式、功能要求和所处地震环境等因素。首先，依据建筑物的高度、重量、外形等因素，对隔震支座的设置及数目进行合理的配置，使其达到最大的隔震效应。为保证隔震结构的抗震性能和抗震性能，对隔震支座的抗震性能、抗震性能以及地震作用下的抗震性能进行研究。另外，为使地震动能最小化，减小地震动反应，还需考虑橡胶材质、铅芯刚度和支座尺寸等因素的影响。因此，准确地进行支撑结构的设计与优化是保证结构抗震性能的重要前提。

5.2 功能需求与地震环境匹配

由于高层建筑具有不同的功能，如商业、居住和办公等，其抗震性能需求也各不相同。在进行隔震支座设计时，应综合考虑结构的使用要求和抗震环境。比如，商务办公大楼对振动非常敏感，要求采用隔震技术，以减少对设备、人员及建筑物的冲击；而居住建筑对结构的长期稳定、抗震性

能提出了更高的要求。所以，隔震支座的设计要充分考虑各种用途的特殊要求，使隔震支座能够适应当地的实际情况。除建筑物使用功能以外，还应考虑建筑物所处区域的地震动频率、强度及地震动特征。在此基础上，提出了一种新的抗震设计方法，即在一定的地震作用下，隔震支座能起到最好的减震作用，从而提高隔震支座的安全性。

5.3 严格的施工质量控制与安装精度

铅芯橡胶隔震支座的工作特性，除了取决于结构的最佳化外，还取决于其建造的质量及装配的精度。在施工时，要严格按设计图及工艺规程执行，保证支座的定位、连接及受力情况满足设计要求。由于支座位置的不合理，不仅会使隔震效果下降，还会引起建筑物的失稳。为此，必须对支架的安装水平、接触面积和定位等各个环节进行严格的控制。另外，必须对建筑工人进行专门的训练，以保证在施工的各个环节都能做到万无一失，以防止因安装错误而引起的技术问题。严格的施工质量管理，准确的安装，是确保其长期、高效、可靠地发挥作用的前提。

6 结语

铅芯橡胶隔震支座是一种有效的减震措施，可有效地改善结构的抗震性能，降低地震对建筑物的损伤，是一项非常有意义的研究课题。但目前该技术还面临着耐久性、精度、造价等方面的挑战。所以，在进行结构抗震设计时，必须从建筑功能、抗震环境、支撑结构等方面进行综合考虑，同时还要保证结构的准确性和周期性的维修保养。随着水平的提高，它的使用范围将会越来越广，特别是在多震区和高耸结构的抗震设计中。在此基础上，本项目的开展和应用，将使我国的建筑安全水平得到进一步提高，从而促进我国建筑业的安全和可持续发展。

参考文献

- [1] 谢军,赵国帆,庞博蕾,等.基础隔震支座对软弱场地地表建筑及其下穿隧道的地震响应影响[J].工程抗震与加固改造, 2025, 47 (01): 107-115.
- [2] 杨静,潘文,赖正聪.不同边界条件下隔震橡胶支座的力学性能和稳定性[J].科学技术与工程, 2024, 24 (35): 15174-15186.
- [3] 石明阳,余晓峰,吕江龙,等.隔震支座锚筋预留孔用金属波纹管造孔技术应用[J].福建建材, 2024, (08): 105-108.
- [4] 徐昕.全框支厚板转换混凝土结构抗震性能及消能减震控制研究[D].广州大学, 2024.