

建筑隔震支座服役性能多维度检测指标体系

曹文婷

孝昌县辉煌建设工程质量检测有限公司 湖北孝感

【摘要】建筑隔震支座在地震作用下对结构安全具有关键意义，其服役性能直接影响建筑物整体的抗震可靠性。为实现科学评价与精细化监测，本文提出一种多维度检测指标体系，涵盖力学性能、耐久特性、环境适应性及长期稳定性等方面。通过系统构建指标框架，可实现对隔震支座从材料到结构层面的综合评估，提升检测结果的全面性与准确性。该体系为隔震支座运行状态的持续追踪与性能保障提供参考，为后续结构抗震研究与工程实践奠定基础。

【关键词】隔震支座；服役性能；多维度检测；指标体系

【收稿日期】2025 年 7 月 14 日

【出刊日期】2025 年 8 月 12 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250358

Multi-dimensional detection index system for service performance of seismic isolation bearings in buildings

Wenting Cao

Xiaochang County Huihuang Construction Engineering Quality Testing Co., Ltd. Xiaogan, Hubei

【Abstract】 Seismic isolation bearings play a critical role in structural safety during earthquakes, as their service performance directly determines the overall seismic reliability of buildings. To achieve scientific evaluation and precise monitoring, this paper proposes a multi-dimensional inspection index system covering mechanical properties, durability characteristics, environmental adaptability, and long-term stability. By systematically constructing this framework, comprehensive assessments can be conducted from material to structural levels, enhancing the comprehensiveness and accuracy of inspection results. This system provides a reference for continuous tracking of seismic isolation bearings' operational status and performance assurance, laying the foundation for future structural seismic research and engineering practices.

【Keywords】 Seismic isolation bearings; Service performance; Multi-dimensional detection; Index system

引言

隔震支座作为现代建筑抗震技术的重要组成部分，其性能优劣直接关系到结构在地震中的安全表现。随着工程应用的不断扩大，单一性能检测方法已难以全面揭示其复杂的服役状态。多维度的检测思路能够将力学、材料与环境等多方面因素纳入考量，从而形成更为立体的评价体系。通过系统化指标的构建，不仅有助于揭示隔震支座在全生命周期内的表现，也为后续研究提供了新的方法路径，进一步凸显该领域研究的必要性与价值。

1 建筑隔震支座服役性能面临的关键问题

建筑隔震支座作为减轻地震动对建筑结构破坏的重要装置，在长期服役过程中，其性能往往受到多方面因素的制约。地震动的频率成分与幅值差异，使得支座在承受反复荷载作用时会出现橡胶材料老化、钢构件

疲劳以及粘结面失效等问题。这些潜在的损伤不仅会降低隔震效果，还可能在强震中导致支座功能丧失^[1]。建筑物服役周期通常长达数十年，材料在自然环境中的逐渐退化，使得支座实际承载性能与设计指标间产生偏差，这一差距在传统单一检测方法下往往难以及时发现。由此引发的安全隐患，成为制约隔震支座稳定发挥作用的重要挑战。

在工程实践中，隔震支座所处环境的复杂性进一步放大了性能衰减的风险。温度循环、湿度变化、大气腐蚀以及交通与施工振动等外部因素，都会对支座的力学响应与结构完整性造成持续影响。高温条件会加速橡胶内部分子链断裂，低温环境则可能使材料脆性增强，从而削弱隔震能力。当支座长期处于高湿环境下时，金属构件易发生锈蚀，影响与橡胶层的协同作用。这些问题在常规的单维度检测指标下往往被忽视，使

得支座在服役中出现不可逆转的性能劣化,严重时会降低整个建筑隔震体系的可靠性。

随着城市化进程的加快和高层、大跨度建筑的大量兴建,隔震支座在工程中的应用规模不断扩大,复杂荷载环境对支座提出了更高要求。传统的静力或单次动力性能检测,无法全面揭示支座在长期交变荷载、极端环境以及多重作用下的真实服役状态。现有检测体系在指标选择和监测手段上仍存在局限,导致性能评估结果难以精准反映实际情况^[2]。这种检测与真实服役状态间的脱节,使得隔震支座的安全性评估存在不确定性,也为后续维护与更新带来困难亟需构建系统化、多维度的检测指标体系,从材料退化机理、环境适应性到长期力学表现,实现对隔震支座服役性能的全面掌握与科学评价。

2 多维度检测指标体系的构建思路与原则

多维度检测指标体系的建立需要以隔震支座的全寿命服役性能为出发点,在理论模型和工程需求的双重约束下构建科学框架。支座在使用过程中承受来自竖向荷载、水平地震力以及环境作用的多重耦合作用,单一指标难以揭示其复杂性能演化规律。指标体系的设计应涵盖材料层面、构件层面与整体结构层面,从橡胶老化机理、钢板连接强度到整体滞回性能等方面形成系统化考量^[3]。在这一过程中,需要引入力学性能指标、耐久性指标和环境适应性指标等多个维度,并通过实验验证与数值模拟相结合的方式,确保指标的科学性和可操作性。只有建立起相互关联、互为补充的指标群,才能为服役性能的全面评价提供坚实支撑。

在指标体系的构建过程中,力学性能是基础维度,既包括竖向承载力与水平剪切性能,也涉及滞回曲线的稳定性与耗能能力。为了反映支座在强震作用下的抗震表现,还需纳入低周疲劳寿命、残余变形以及刚度退化等参数。耐久性维度则强调材料与构件在长期服役过程中的稳定性,例如橡胶的老化速率、金属构件的耐腐蚀能力以及层间粘结性能的保持水平。环境适应性则是支座在不同温度、湿度和腐蚀介质条件下的工作状态,涉及材料在冷热循环中的变形特性及抗脆断能力。这些指标相互作用,共同决定了隔震支座在长期服役中的稳定性与安全性,因此在体系构建中必须进行有机融合,而非孤立评价。

为了保证指标体系能够真实反映支座的服役状态,原则上需要强调系统性、可量化性和可比性。系统性要求指标覆盖隔震支座服役的关键环节,不遗漏任何可能影响性能的重要因素;可量化性要求每一指标均具

备明确的测量方法和数值范围,避免模糊化表达;可比性则保证不同工程之间、不同检测阶段之间的结果能够横向对比与纵向追踪^[4]。在此基础上,指标体系还需具备动态更新能力,以适应新型材料、新检测技术和新标准的发展。通过这种基于全寿命、全环境、多层级的指标体系构建思路,不仅能够弥补现有检测体系的不足,还能推动隔震支座性能评估向精细化与科学化方向迈进,为建筑结构的抗震安全提供可靠依据。

3 基于力学耐久与环境适应性的综合检测方法

隔震支座在实际服役过程中承受复杂的荷载环境,其力学性能是检测与评价的核心内容。综合检测方法需要在静力和动力两方面展开,静力性能测试包括竖向承载力、水平位移能力和初始刚度,动力性能测试则关注滞回曲线的稳定性、耗能能力以及在循环荷载作用下的刚度退化规律^[5]。通过低周反复加载实验能够揭示支座在地震作用下的疲劳寿命,结合高精度传感器对位移和应力的实时监测,可以获取支座在不同荷载路径下的非线性响应特征。这类检测不仅能够直观反映支座在极端地震条件下的工作状态,还能为建立力学性能退化模型提供可靠数据支撑。

耐久性能的检测方法主要聚焦于材料与构件在长期服役中的稳定性。橡胶层的老化速率可通过红外光谱分析、加速热氧老化试验及臭氧耐受性试验进行定量研究,结合硬度变化、拉伸性能衰减和断裂伸长率降低来评估老化程度。钢构件的防腐性能则可通过盐雾试验、电化学阻抗谱分析以及长期暴露试验进行验证,检测其在高湿度或含氯环境下的锈蚀规律。层间粘结性能则需要采用剥离强度试验和界面疲劳试验来确保整体协同性。通过对这些耐久性指标的综合分析,可以揭示支座在长周期服役中逐渐积累的损伤模式,从而对其寿命进行科学预测,为后期维护与更换提供数据依据。

环境适应性检测强调支座在复杂气候条件与腐蚀介质作用下的稳定性。温度循环试验能够模拟昼夜温差和季节性变化对橡胶材料分子结构的影响,揭示其脆性转变温度和高温软化特性。湿热耦合环境实验可评估橡胶与金属粘结界面的耐湿性以及长期湿润条件下的力学保持能力。对于特殊工程应用,还需要考虑化学腐蚀环境下的适应性检测,如酸碱溶液浸泡试验和紫外老化试验,以反映支座在极端环境中的服役表现^[6]。通过将力学性能、耐久性能与环境适应性检测相结合,能够构建一套覆盖全寿命周期的综合检测方法,实现对隔震支座服役状态的多角度把握,确保建筑结

构在地震及恶劣环境作用下的长期安全与稳定。

4 服役性能多维度评价结果的系统分析与应用价值

在多维度检测体系下形成的评价结果,不仅能够揭示隔震支座在服役周期内的综合性能状态,还能够为结构安全评估提供科学依据。力学性能的指标通过滞回曲线形态、承载力变化和刚度退化规律的分析,可以明确支座在地震动反复作用下的可靠性;耐久性能的指标则通过材料老化速率、锈蚀扩展特征和界面粘结强度变化的跟踪,展现出其长期服役稳定性;环境适应性的指标通过温湿耦合、腐蚀介质作用和温度循环等试验结果,反映出支座在复杂外部条件下的适应水平^[7]。这些结果的综合分析,能够将不同维度的检测数据转化为量化的性能等级,从而形成清晰的服役性能全景图,为结构设计与运行提供可靠的参考依据。

系统分析不仅停留在单一数据解读,而是需要通过多指标耦合评价方法进行综合判断。多维度结果可以通过层次分析法、模糊综合评价法以及灰色关联分析方法进行处理,实现对不同性能维度权重的合理分配,使综合评价更具科学性和可比性。通过这种方法能够有效避免单一指标失真所带来的偏差,并通过对比不同阶段的检测数据,揭示支座性能随时间演化的动态规律。这种系统化的分析框架能够准确判断支座是否处于安全服役区间,并为性能退化的临界点提供预警,使得管理者能够在风险尚未扩大之前采取针对性措施,从而提升建筑隔震体系的整体安全等级。

评价结果在工程实践中的应用价值同样突出。通过对服役性能的多维度分析,可以为隔震支座的质量控制、运维策略与更新计划提供直接参考。在新建工程中,综合评价体系能够辅助设计人员选择更符合工程特点的支座类型和材料;在既有工程中,评价结果可作为维护与更换的科学依据,使得运维工作更具针对性和经济性^[8]。在抗震设计规范与标准的制定过程中,系统化的评价数据也能提供技术支撑,使规范条文更贴近实际工程需求。通过将检测结果与工程应用深度结合,不仅提升了隔震支座的服役安全性,也推动了建筑抗震技术向更加精细化与可靠化的方向发展。

5 结语

建筑隔震支座服役性能的多维度检测与评价,是保障结构抗震安全的重要基础。力学性能、耐久特性与环境适应性相结合的检测框架,不仅弥补了单一指标评估的不足,也为揭示支座在复杂工况下的真实工作状态提供了科学手段。多维度指标体系所形成的综合分析结果,能够实现对服役性能的精细化掌握,提升工程实践中检测与维护的有效性。结论表明,系统化的检测与评价路径具有显著应用价值,为未来隔震技术的发展与建筑结构的长期稳定提供了坚实支撑。

参考文献

- [1] 孙宏昌,乔英伟,蒋永翔,等.隔震支座骨架板平面度检测及误差补偿[J].仪表技术与传感器,2024,(03):96-100+109.
- [2] 陆楷.建筑工程隔震支座安装质量控制探讨[J].中国住宅设施,2023,(09):166-168.
- [3] 夏红超,孙宏昌,潘志伟,等.隔震支座骨架板平面度检测系统设计[J].天津职业技术师范大学学报,2023,33(01):26-30+37.
- [4] 张永兆,邓恩峰,严祖润,等.摩擦摆减隔震支座性能失效因素分析[J].安徽建筑,2025,32(06):77-78+147.
- [5] 杨富强.浅谈绿色建筑中建筑隔震支座的应用[J].佛山陶瓷,2023,33(06):96-98.
- [6] 尚继英,宋炳磊,韩建平,等.自适应摩擦摆支座隔震结构设计方法及抗震性能研究[J].世界地震工程,2025,41(03):163-176.
- [7] 汪震,尚晓娟,贾义旺,等.高熵合金涂层微观结构与服役性能的研究进展[J].材料保护,2025,58(07):1-18.
- [8] 杨利强,杨陈,李龙涛.基于线路跟踪试验的地铁车辆转向架服役性能研究[J].城市轨道交通研究,2025,28(07):190-198.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

