

基于BIM的装配式结构抗震支座全生命周期 (设计-施工-运维)性能监测方法

班少鹏 胡子征 万宇恒 王瑞杰 王佳良
中国建筑第五工程局有限公司 天津 300000

摘要: 本文聚焦基于BIM的装配式结构抗震支座全生命周期性能监测方法。先阐述装配式结构抗震支座核心特性,接着从设计、施工、运维三阶段展开。设计阶段构建BIM参数化族库、模拟优化并审查合规性;施工阶段进行技术交底、实时监测与数据集成、数据验收归档;运维阶段构建监测体系、分析性能退化与预警风险、制定维修决策并更新数据,为抗震支座全生命周期管理提供参考。

关键词: BIM技术; 装配式结构; 抗震支座; 全生命周期监测

1 装配式结构抗震支座核心特性

装配式结构抗震支座作为连接建筑基础与上部结构的核心部件,其核心特性集中体现在多向受力承载、柔性减震机制、材料耐久性三大维度。以抗震型球铰橡胶支座为例,其技术参数显示,该类支座可承受竖向荷载达10000KN,水平抗剪力为竖向荷载的30%-40%,同时具备 $\pm 60\text{mm}$ 至 $\pm 100\text{mm}$ 的径向位移能力及 0.02rad - 0.08rad 的任意方向转角适应性。这种多向受力特性源于支座内部球芯与四氟板的滑动摩擦设计,当结构发生转角时,球芯通过旋转释放上部结构的转矩,而四氟板与不锈钢板的低摩擦系数(≤ 0.03)确保水平地震力通过柔性连接转化为位移耗能,而非直接传递至结构主体^[1]。在减震机制方面,隔震支座通过延长结构自振周期实现能量隔离。材料耐久性则通过双重保障实现:钢制球芯与铸钢下支座采用Q345B高强度钢材,抗拔力达竖向荷载的50%;橡胶密封圈与5201硅脂的组合设计,使支座在 -25°C 至 $+60^{\circ}\text{C}$ 环境下仍能保持稳定性能,寿命长达50年。这些特性共同构成装配式结构在地震中的“柔性缓冲带”,确保结构在强震下保持整体稳定。

2 基于BIM的抗震支座设计阶段性能监测方法

2.1 BIM参数化族库构建

构建BIM参数化族库是基于BIM的抗震支座设计阶段性能监测的首要关键步骤。该族库以数字化形式存储和管理抗震支座的类型、规格及性能参数。首先,要详细分类抗震支座,常见类型有橡胶、铅芯橡胶、摩擦摆支座等,各有独特结构与性能。如橡胶支座靠橡胶弹性变形吸能,铅芯橡胶支座增加铅芯增强耗能,摩擦摆支座利用摆原理和摩擦耗能。接着,为各类支座创建参数化模型,其几何形状和性能参数可调。如橡胶支座可设

橡胶层厚度、硬度等参数,铅芯橡胶支座还可设铅芯直径、长度等。构建时,要确保数据准确完整,参考标准规范和实际工程数据收集性能参数,录入几何尺寸、材料性能等信息。另外,族库需具备良好扩展性和兼容性,能方便添加新类型和规格模型,并与不同BIM软件兼容,以适应抗震支座技术发展和新产品涌现,满足不同设计环境需求。

2.2 基于BIM的性能模拟与优化

利用构建好的BIM参数化族库,可开展基于BIM的性能模拟与优化,评估抗震支座设计阶段性能。性能模拟含结构力学性能模拟和地震响应模拟。结构力学性能模拟时,将抗震支座与上部结构模型集成,用有限元分析等方法模拟不同荷载工况下结构内力、变形等力学性能,了解支座受力变形,评估承载与稳定性。

地震响应模拟是评估抗震性能重要手段,在BIM模型输入不同地震波,模拟地震作用下结构响应,观察支座变形、耗能情况,评估吸能耗能能力,比较不同支座性能差异,为选型提供依据。基于模拟结果可优化设计,不满足要求则调整参数^[2]。同时,考虑风荷载、温度变化等因素综合影响,使设计更合理可靠,经多次模拟优化让支座性能达最佳。

2.3 设计阶段性能合规性审查

设计阶段进行抗震支座性能合规性审查,是确保设计符合相关标准和规范的重要环节。首先明确相关标准规范,不同国家和地区对抗震支座设计使用有相应规定,涵盖性能指标、设计方法、试验要求等内容,设计人员需严格遵循。基于BIM模型可实现自动化性能合规性审查,将模型中支座参数与标准规范对比,自动判断是否符合要求。如竖向承载能力,比较计算值与规定值,

小于则系统警告。还需人工复核,设计人员结合经验专业知识,全面深入检查BIM模型中支座设计,确保不仅满足量化要求,还符合实际工程需要,如检查布置合理性、与上部结构连接可靠性等。审查发现不符合要求,要及时修改调整,之后再次模拟审查,直至完全符合标准规范,为后续施工和运维阶段打好基础。

3 基于 BIM 的抗震支座施工阶段性能监测方法

3.1 施工前BIM技术交底与监测方案规划

在施工前,进行BIM技术交底与监测方案规划是基于BIM的抗震支座施工阶段性能监测的重要准备工作。BIM技术交底是指将基于BIM的抗震支座设计信息准确地传达给施工人员。通过BIM模型,施工人员可以直观地了解抗震支座的类型、规格、安装位置、安装要求等信息。与传统的二维图纸相比,BIM模型具有更强的可视化和交互性,施工人员可以更加清晰地理解设计意图,减少施工过程中的误解和错误。同时,基于BIM模型进行监测方案规划。监测方案应明确监测的内容、方法、频率和监测点的布置等。在监测内容方面,主要包括抗震支座的安装质量、变形情况、应力状态等。监测方法可以根据具体情况选择合适的仪器和设备。监测频率应根据施工进度和抗震支座的重要性来确定。在施工初期,监测频率可以适当高一些,以及时发现和解决问题;在施工后期,监测频率可以适当降低。监测点的布置应具有代表性,能够全面反映抗震支座的性能。例如,在抗震支座的关键部位,如与上部结构和基础的连接处,应布置监测点;对于不同类型的抗震支座,应根据其特点合理布置监测点。通过基于BIM的监测方案规划,可以使监测工作更加科学、合理和有效。

3.2 施工过程实时监测与数据集成

在施工过程中,进行实时监测与数据集成是基于BIM的抗震支座施工阶段性能监测的核心环节。实时监测是指利用安装在抗震支座上的监测设备,实时采集抗震支座的性能数据。这些监测设备应具备高精度、高可靠性和实时传输数据的能力。数据集成是将实时采集到的各种监测数据进行整合和处理。通过数据集成系统,可以将来自不同监测设备和不同监测点的数据进行统一管理和分析。例如,将位移数据和应力数据进行关联分析,了解抗震支座在受力情况下的变形规律;将不同时间段的监测数据进行对比分析,判断抗震支座的性能是否发生变化。基于BIM模型,可以将实时监测数据与模型进行关联显示。通过在BIM模型中直观地展示抗震支座的实时性能数据,施工人员和管理人员可以及时了解抗震支座的施工状态^[1]。例如,在BIM模型中用不同颜色表示抗震

支座的应力状态,红色表示应力过大,绿色表示应力正常,使施工人员能够快速发现异常情况并采取相应的措施。利用实时监测数据可以进行施工过程的动态调整,如果监测数据显示抗震支座的某个性能指标超出正常范围,施工人员可以及时调整施工工艺或采取加固措施,确保抗震支座的施工质量。例如,如果发现抗震支座的垂直度偏差过大,施工人员可以及时进行校正,避免影响后续的施工和使用。

3.3 施工阶段监测数据验收与归档

施工阶段监测数据验收与归档是确保监测数据质量和可追溯性的重要工作。监测数据验收是指对施工过程中采集到的监测数据进行检查和评估,确保其准确性和完整性。验收内容包括数据的采集方法是否正确、数据是否完整、数据是否符合实际工程情况等。如果监测数据存在问题,应及时进行整改。对于数据不准确的情况,应重新采集数据;对于数据不完整的情况,应补充采集缺失的数据。只有通过验收的监测数据才能作为后续分析和评估的依据。监测数据归档是将验收合格的监测数据进行分类、整理和存储。归档的数据应包括原始监测数据、处理后的数据、分析报告等。可以采用电子文档和纸质文档相结合的方式进行归档,电子文档应存储在可靠的存储介质中,并定期进行备份;纸质文档应妥善保管,防止丢失和损坏。监测数据归档不仅为后续的运维阶段提供了重要的参考依据,还为工程的质量追溯和事故分析提供了有力的支持。例如,在运维阶段,可以通过查阅施工阶段的监测数据,了解抗震支座的初始性能状态,为运维决策提供依据;在发生工程质量事故时,可以通过分析施工阶段的监测数据,找出事故的原因和责任。

4 基于 BIM 的抗震支座运维阶段性能监测方法

4.1 运维阶段监测体系构建

在运维阶段,构建完善的监测体系是基于BIM的抗震支座性能监测的基础。监测体系应包括监测内容、监测方法、监测设备和监测频率等方面。监测内容应根据抗震支座的类型和使用环境来确定,主要包括抗震支座的变形、应力、温度、湿度等。例如,对于长期使用的抗震支座,需要监测其变形情况,判断是否出现性能退化;对于处于恶劣环境中的抗震支座,需要监测其温度和湿度变化,防止因环境因素导致性能下降。监测方法应选择合适技术手段,除了前面提到的激光位移传感器、应变计等设备外,还可以采用无线传感器网络、物联网等技术实现对抗震支座的实时监测。无线传感器网络可以将多个传感器节点布置在抗震支座上,通过无线

通信方式将数据传输到监控中心,具有安装方便、灵活性高的优点;物联网技术可以将抗震支座与互联网连接起来,实现远程监测和管理。监测设备的选择应考虑其精度、可靠性、稳定性和兼容性等因素。应选择具有高精度、高可靠性的监测设备,确保采集到的数据准确可靠;同时,监测设备应具有良好的稳定性,能够在长期运行过程中保持性能稳定;此外,监测设备还应与BIM系统具有良好的兼容性,能够方便地将数据传输到BIM模型中进行显示和分析。监测频率应根据抗震支座的重要性和使用环境来确定。对于重要的抗震支座或处于恶劣环境中的抗震支座,监测频率应适当高一些,例如每天或每周进行一次监测;对于一般性的抗震支座,监测频率可以适当降低,例如每月或每季度进行一次监测。

4.2 性能退化分析与风险预警

基于运维阶段的监测数据,进行性能退化分析与风险预警是保障抗震支座安全运行的重要措施。性能退化分析是指通过对监测数据的长期跟踪和分析,判断抗震支座的性能是否出现退化。可以采用统计分析、趋势分析等方法进行性能退化分析。例如,通过对抗震支座位移数据的统计分析,计算其位移的平均值、标准差等统计量,判断位移是否超出正常范围;通过对位移数据的趋势分析,观察位移随时间的变化趋势,判断是否出现逐渐增大的情况。如果性能退化分析结果显示抗震支座的性能出现异常,应及时进行风险预警。风险预警可以通过设置阈值的方式来实现。例如,为抗震支座的位移、应力等参数设置上限阈值和下限阈值,当监测数据超出阈值范围时,系统自动发出预警信号。预警信号可以通过短信、邮件、声光报警等方式发送给相关人员,提醒他们及时采取措施。同时,应对风险预警进行进一步的评估和分析。评估风险的大小和可能产生的影响,制定相应的应对措施。例如,如果风险较小,可以加强监测频率,密切关注抗震支座的性能变化;如果风险较大,可能需要立即停止使用该抗震支座,并进行维修或更换。

4.3 运维阶段维修决策与数据更新

在运维阶段,根据性能退化分析和风险预警的结

果,进行维修决策与数据更新是确保抗震支座持续良好运行的关键。维修决策应根据抗震支座的损坏程度和维修成本等因素来确定。如果抗震支座的损坏程度较轻,可以采用简单的维修方法,如调整、加固等;如果损坏程度较严重,可能需要更换抗震支座。在进行维修决策时,还应考虑维修成本和维修时间等因素,选择经济合理的维修方案。维修决策完成后,应及时进行数据更新^[4]。将维修信息,如维修时间、维修方法、更换的部件等,录入到BIM模型中,更新抗震支座的性能数据。通过数据更新,可以使BIM模型中的抗震支座信息始终保持最新状态,为后续的运维管理提供准确的依据。同时,数据更新还可以为抗震支座的寿命评估和全生命周期管理提供支持。通过对运维阶段的数据进行分析和积累,可以了解抗震支座在不同使用阶段性能变化规律,评估其剩余寿命,为制定合理的维护计划和更换策略提供依据。此外,数据更新还可以促进抗震支座技术的不断改进和创新,提高抗震支座的性能和可靠性。

结束语

基于BIM的装配式结构抗震支座全生命周期性能监测方法,贯穿设计、施工、运维各阶段,实现了对抗震支座性能的全方位、动态化监测与管理。通过构建完善的监测体系、精准的性能分析与风险预警以及科学的维修决策与数据更新,有效保障了抗震支座在全生命周期内的性能稳定与安全可靠,为装配式结构抗震性能的提升提供了坚实的技术支撑,推动建筑行业向智能化、精细化方向发展。

参考文献

- [1]宋小春,黄瑞,杨智明,等.基于BIM技术的装配式建筑PC构件信息集成及应用研究[J].工程质量,2022,40(7):60-64.
- [2]王德华.基于BIM和RFID技术的装配式建筑施工过程管理[J].江苏建材,2022(3):127-129.
- [3]邢超雲,王薇,千申启.基于BIM技术的装配式住宅建设管理研究:以北京市某装配式住宅为例[J].住宅科技,2022,42(5):40-44.
- [4]谭征文.总包项目中装配式建筑绿色施工技术的应用与评价研究[J].中国住宅设施,2024,(S1):102-104.