

Research on Seismic Design and Structural Inspection Technology in Building Structure Engineering

Ying Liu

Jiannan Research Institute Testing Center, Co., Ltd., Beijing, 100013, China

Abstract

This paper takes building structure engineering as the core and discusses seismic design and structural inspection technology. Firstly, analyze the basic principles and method specifications of seismic design, as well as the mechanical characteristics of common structural systems of frame structures; Then, the classification and practical application of detection technologies such as static load tests and dynamic tests are studied, and at the same time, the development trends of emerging detection technologies such as optical fiber sensing are analyzed. On this basis, the intrinsic connection between seismic design and structural inspection technology is revealed, and how to optimize seismic performance and apply it collaboratively based on inspection data is explored. Finally, the intelligent development direction integrating artificial intelligence and Internet of Things technology is proposed, aiming to enhance the seismic resistance capacity and safety of building structures and provide theoretical references and practical guidance for related fields.

Keywords

structural engineering; seismic design; structural detection technology; collaborative optimization

建筑工程中的抗震设计与结构检测技术研究

刘莹

建研院检测中心有限公司, 中国 · 北京 100013

摘要

本文以建筑工程为核心, 围绕抗震设计和结构检测技术展开探讨。首先剖析抗震设计的基本原理、方法规范, 以及框架结构常见结构体系的力学特性; 接着研究静载试验、动力测试等检测技术的分类和实际应用, 同时分析光纤传感等新兴检测技术的发展趋势。在此基础上, 揭示抗震设计与结构检测技术之间的内在联系, 探索如何基于检测数据进行抗震性能优化和协同应用, 最后提出融合人工智能、物联网技术的智能化发展方向, 旨在提升建筑工程的抗震能力和安全性, 为相关领域提供理论参考和实践指导。

关键词

建筑工程; 抗震设计; 结构检测技术; 协同优化

1 引言

地震灾害对人类生命财产安全造成巨大威胁, 建筑工程的抗震性能因此备受关注。抗震设计是保障建筑在地震中安全的关键, 和结构检测技术相互配合。结构检测技术能准确评估建筑结构现状, 为抗震设计提供数据。抗震设计依据检测结果优化结构, 提升建筑抗震能力。不过, 目前二者在协同应用和技术发展上存在不少问题。所以, 深入研究建筑工程中的抗震设计与结构检测技术及其协同关系, 对提升建筑安全性和耐久性有重要现实意义。

2 建筑结构抗震设计技术研究

2.1 抗震设计的基本原理

建筑结构抗震设计基于地震动力学和结构动力学原理, 目的是通过合理设计让建筑在地震作用下保持结构完整和使用功能。其核心是利用结构自身的延性和耗能能力, 把地震能量转化为结构的变形能。地震发生时, 结构经过弹性变形阶段、弹塑性变形阶段逐步消耗地震能量, 避免因能量集中使结构瞬间破坏。同时, 通过控制结构的刚度和质量分布, 让结构在地震作用下的反应更均匀, 减少薄弱部位, 提高整体抗震性能。

2.2 抗震设计方法与规范体系

目前, 常见的抗震设计方法主要有底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法。底部剪力法适用于高度不超过 40m、质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构。振型分解反

【作者简介】刘莹 (1989–), 女, 中国北京人, 本科, 中级工程师, 从事结构检测研究。

应谱法适用于大多数建筑结构。时程分析法能更真实地模拟地震作用，常用于复杂或重要建筑结构的抗震设计。我国已建立较完善的抗震设计规范体系，比如《建筑抗震设计规范》等，该规范对不同类型、不同地区建筑的抗震设防要求、设计方法和构造措施等作了详细规定，为建筑抗震设计提供明确标准和依据。

2.3 抗震结构体系与关键技术

抗震结构体系包括框架结构体系、框架-剪力墙结构体系、剪力墙结构体系等。框架结构体系平面布置灵活，但侧向刚度相对较小。框架-剪力墙结构体系结合框架和剪力墙的优点，既保证平面布置灵活，又有较大侧向刚度。剪力墙结构体系抗侧移能力好，适用于高层建筑。抗震结构体系的关键技术包括结构构件的延性设计、耗能装置的应用以及结构的隔震和消能减震技术。延性设计通过合理设计构件的配筋和构造，提高构件在地震作用下的变形能力。耗能装置能在地震中吸收和消耗能量，降低结构的地震反应。隔震和消能减震技术通过设置隔震层或消能减震装置，改变结构的动力特性，减少地震能量向上部结构传递。

3 建筑结构检测技术研究

3.1 结构检测技术的分类与特点

建筑结构检测技术主要分为无损检测技术和局部破损检测技术。无损检测技术包括超声检测、回弹检测、雷达检测等，特点是不破坏结构构件，能快速、便捷地对结构进行大面积检测，获取结构表面和内部缺陷信息。比如，超声检测可用于检测混凝土内部的空洞、裂缝等缺陷。回弹检测通过测量混凝土表面的回弹值，推算混凝土的强度。局部破损检测技术如钻芯法、拔出法等，需要对结构构件进行局部破坏，但检测结果更准确可靠，常用于验证无损检测结果和对重要部位进行精确检测。

3.2 结构检测技术在抗震性能评估中的应用

结构检测技术在建筑结构抗震性能评估中作用重要。通过检测结构构件的强度、刚度、缺陷等信息，能判断结构在地震作用下的承载能力和变形能力。例如，利用超声-回弹综合法检测混凝土强度，结合钢筋探测仪检测钢筋配置情况，可全面评估混凝土结构的抗震性能。对于钢结构，通过磁粉检测和渗透检测发现焊缝缺陷，评估钢结构的连接可靠性，进而判断其抗震性能。此外，结构动力检测技术通过测量结构的自振频率、振型等动力特性参数，能评估结构的整体刚度和损伤程度，为抗震性能评估提供重要依据^[1]。

3.3 新型检测技术的研究进展

近年来，新型检测技术不断出现。光纤传感技术利用光纤的光学特性，能实时、精确地监测结构的应变、温度等物理量变化，实现对结构健康状态的长期、在线监测。比如，在桥梁结构中铺设光纤传感器，可实时监测桥梁在车辆荷载和环境作用下的应力变化，及时发现结构损伤。无人机检测

技术利用无人机搭载高清摄像头和检测设备，对高层建筑、大跨度结构等难以到达的部位进行快速检测，大幅提高检测效率 and 安全性。

3.4 检测技术的标准化与规范化

为保证检测结果准确可靠，检测技术的标准化与规范化很重要。我国已制定一系列建筑结构检测标准和规范，如《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》《建筑结构检测技术标准》等，对检测方法、检测设备、检测人员资质以及检测报告编制等方面作了详细规定。同时，加强检测机构的资质管理和检测人员的培训考核，确保检测工作符合相关标准和规范要求。此外，积极参与国际检测标准的制定和交流，推动我国检测技术与国际接轨，提高我国建筑结构检测技术的国际影响力。

3.5 结构检测技术的发展挑战

尽管结构检测技术取得显著进展，但仍面临很多挑战。一方面，随着建筑结构形式越来越复杂，对检测技术的精度和适应性要求更高。比如，对于超高层、大跨度空间结构，传统检测技术难以满足其复杂结构的检测需求。另一方面，检测设备的智能化和自动化水平需要进一步提高，以降低检测人员的劳动强度和人为误差。此外，检测数据的处理和分析也面临挑战，如何从大量检测数据中提取有效信息，实现检测结果的快速、准确评估，是当前急需解决的问题^[2]。

4 抗震设计与结构检测技术的协同研究

4.1 抗震设计与检测技术的内在联系

抗震设计与结构检测技术相互依赖、相互促进。抗震设计为结构检测提供理论依据和设计目标，检测技术为抗震设计提供实际结构的性能参数和状态信息。通过结构检测，能发现实际结构与设计模型的差异，为抗震设计优化提供数据支持。而抗震设计的改进能指导结构检测工作开展，明确检测重点和关键部位。例如，在既有建筑的抗震加固设计中，首先要通过结构检测了解建筑现状和抗震薄弱环节，然后根据检测结果进行针对性的抗震设计，设计完成后还需通过检测验证加固效果，确保结构达到预期的抗震性能。

4.2 基于检测数据的抗震性能优化

基于结构检测数据，能对建筑结构的抗震性能进行优化。通过分析检测数据，找出结构的薄弱部位和潜在风险，采用加强构件、增设耗能装置等措施进行优化设计。比如，当检测发现混凝土结构某些部位强度不足时，可以采用增大截面法、粘贴碳纤维布等加固方法提高构件的承载能力。对于钢结构连接节点存在缺陷的情况，可以通过补焊、更换螺栓等方式进行修复和加强。

4.3 协同技术在复杂工程中的应用

在复杂工程中，抗震设计与结构检测技术的协同应用意义重大。例如，在大型桥梁、超高层建筑等工程中，由于结构形式复杂、施工难度大，需要在设计阶段充分考虑检

测需求,预留检测通道和传感器安装位置。在施工过程中,通过实时检测监测结构的受力和变形情况,及时调整施工方案,确保结构施工安全。在工程竣工后,利用先进的检测技术对结构进行全面检测评估,验证抗震设计的合理性和结构的实际抗震性能。此外,在既有建筑的改造和加固工程中,协同技术能准确评估建筑现状,制定合理的抗震加固方案,提高建筑的抗震能力^[3]。

4.4 协同技术的标准化与推广路径

为推动抗震设计与结构检测技术的协同应用,需要建立相应的标准化体系。制定协同技术的应用规范和标准,明确二者在不同阶段的工作流程、技术要求和数据交互方式。加强相关技术人员的培训,提高其对协同技术的认识和应用能力。同时,通过典型工程案例的示范推广,展示协同技术的优势和应用效果,引导行业内更多项目采用协同技术。

4.5 协同技术面临的挑战与对策

协同技术在应用过程中面临很多挑战。首先,抗震设计与结构检测技术涉及多个专业领域,各专业之间存在信息交流不畅、技术标准不统一等问题,影响协同工作的效率和质量。其次,检测数据的准确性和可靠性对协同技术的应用效果至关重要,但目前检测技术仍存在一定误差,数据处理和分析方法也有待完善。针对这些挑战,应加强各专业之间的沟通与协作,建立统一的信息共享平台,实现数据的高效传递和共享。加大对检测技术研发的投入,提高检测设备的精度和自动化水平,完善数据处理和分析方法。同时,建立健全质量监督机制,确保协同工作的质量和安全^[4]。

5 抗震设计与结构检测技术的优化方向

5.1 抗震设计技术的优化路径

抗震设计技术的优化应从理论研究、设计方法和材料应用等方面着手。加强地震工程学、结构动力学等基础理论研究,深入了解地震作用下结构的破坏机理和响应规律,为抗震设计提供更坚实的理论基础。进一步完善设计方法,开发更精确、高效的计算分析软件,提高抗震设计的准确性和效率。在材料应用方面,积极研发新型高性能建筑材料,提高结构的抗震性能和耐久性。

5.2 结构检测技术的创新方向

结构检测技术的创新应朝着智能化、多元化和微型化方向发展。利用物联网、大数据、人工智能等技术,实现检测设备的智能化,使检测设备能自动采集、分析和传输数据,提高检测工作的自动化程度和效率。开发多元化的检测技术,综合运用多种检测手段,实现对结构全方位、多角度的检测评估。例如,将无损检测技术与局部破损检测技术相结合,充分发挥各自优势,提高检测结果的准确性和可靠性。

5.3 协同技术的智能化发展

随着信息技术快速发展,抗震设计与结构检测技术的

协同将向智能化方向发展。构建基于大数据和人工智能的协同平台,实现检测数据的自动分析和抗震设计方案的智能生成。通过对大量检测数据和设计案例的学习和分析,平台能自动识别结构的薄弱环节,推荐合适的抗震设计优化方案,并对方案的可行性和效果进行评估。同时,利用虚拟现实和增强现实技术,实现抗震设计与检测过程的可视化展示,方便设计人员和检测人员之间的沟通与协作,提高协同工作的效率和质量^[5]。

5.4 政策与标准的支持作用

政策与标准在抗震设计与结构检测技术的发展中起重要的引导和规范作用。政府应出台相关政策,鼓励企业加大对新技术、新产品的研发投入,对采用先进抗震设计和检测技术的项目给予资金补贴和税收优惠。同时,加快相关标准的修订和完善,及时将新技术、新成果纳入标准体系,确保标准的先进性和适用性。加强对政策和标准执行情况的监督检查,建立健全质量追溯和责任追究制度,保障建筑结构的安全和质量。

5.5 社会效益与可持续发展

抗震设计与结构检测技术的发展对社会效益和可持续发展意义重大。通过提高建筑结构的抗震性能,能有效减少地震灾害造成的人员伤亡和财产损失,保障人民群众的生命财产安全,维护社会稳定。同时,采用绿色环保的抗震设计和检测技术,能降低建筑在全生命周期内的能源消耗和环境污染,促进建筑行业的可持续发展。此外,相关技术的发展还能带动建筑材料、检测设备等相关产业的发展,创造更多就业机会,推动经济增长。

6 结语

综上所述,建筑工程中的抗震设计与结构检测技术是保障建筑安全的重要环节。本文系统研究了二者的技术原理、应用现状和发展趋势,深入探讨了二者的协同关系与优化方向。抗震设计通过合理的结构体系、材料选择和构造措施提高建筑抗震能力,结构检测技术则为抗震设计提供数据支持和性能评估依据。二者的协同应用能够实现建筑结构性能的优化和提升。

参考文献

- [1] 邢栋.结构抗震设计理论及其在建筑工程中的应用研究[J].居舍,2023,(36):103-106.
- [2] 王红艳.建筑工程在抗震设计中的探索及工程造价概预算[J].大众标准化,2023,(14):84-86.
- [3] 李涛.高层建筑工程结构抗震设计及其大震弹塑性分析[J].四川水泥,2022,(12):79-81+84.
- [4] 孙杰,王飞.建筑工程中钢结构的抗震设计要点研究[J].房地产世界,2022,(22):70-72.
- [5] 金旭,汲鹏,张值源,等.我国建筑工程结构抗震设计探讨[J].居舍,2022,(12):147-149.