

基于多模态数据的主体结构人防钢构检测创新

赖家鹏

江西应职院测试研究有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i8.8353

[摘要] 随着建筑行业安全性要求越来越高，钢结构检测技术得到发展和变化。以多模态数据为基础的探测方法以其数据获取，处理和分析上的革新而成为提高人防钢构主体结构探测准确性和探测效率的核心技术。本研究针对钢结构检测中多模态数据进行探究，着重对数据采集、融合技术和智能分析算法等创新路径进行分析。将多个传感器数据进行有效整合和智能化处理能对钢构结构健康状态进行更全面和实时地评价。

[关键词] 多模态数据；钢结构检测；数据融合；智能分析

Innovation of Main Structure Civil Air Defense Steel Structure Detection Based on Multimodal Data

Lai Jiapeng

Jiangxi Ying Vocational College Testing Research Co., Ltd.

[Abstract] With the increasing safety requirements in the construction industry, steel structure testing technology has developed and changed. The detection method based on multimodal data has become the core technology for improving the accuracy and efficiency of civil air defense steel structure detection through its innovation in data acquisition, processing, and analysis. This study explores multimodal data in steel structure testing, with a focus on analyzing innovative paths such as data acquisition, fusion technology, and intelligent analysis algorithms. Effectively integrating and intelligently processing data from multiple sensors can provide a more comprehensive and real-time evaluation of the health status of steel structures.

[Key words] multimodal data; Steel structure inspection; Data fusion; analysis

引言

随着人们对建筑安全性需求的不断提高，钢结构健康监测已经成为当前建筑领域中一个重要的研究课题。传统检测方法多依靠人工检查或者单一传感器采集数据，检测准确性不高，检测效率不佳且不能对数据进行实时监控。近年来随着传感器技术与信息处理技术的发展，利用多模态数据进行钢结构检测已逐步成为解决钢结构检测问题的有效途径。将不同传感器多维数据进行整合，可实现钢结构健康状况的综合监测和精确评价。本研究目的是探索基于多模态数据进行钢构检测的创新途径，并分析该方法对提高检测精度，效率以及可靠性的潜在应用价值。

一、主体结构人防钢构的检测现状与挑战

（一）当前人防钢结构检测的技术手段与应用领域

近年来钢结构被广泛地应用于各种建筑之中，特别是主体

结构人防设施其稳定性和安全性更为重要。为保证钢结构长期使用性能以及防护功能的发挥，需要对其进行定期准确的测试。传统钢结构检测方法有目视检查，超声波检测，磁粉检测及射线检测，各有其优点与局限性^[1]。在实践中一般采用目视检查进行初步评价，超声波检测可发现材料内部裂纹和缺陷，磁粉检测适合鉴别表面缺陷，射线检测可对焊接质量进行深入细致的内部探测。

随着科技的发展，数字化手段以及传感器技术已经逐步深入到钢结构的检测中。传感器网络集成应用为钢结构实时监测提供可能，钢结构中安装的传感器能实时得到力学响应和温度变化等重要参数。该技术已经被很多方面所证实，其中包括桥梁，隧道和高层建筑。尤其对主体结构人防钢构进行探测时，实时监控系统既能提供当前结构状态又能对可能存在的风险点进行预先预警。在检测技术日益进步的今天，如何有效地融

合各种技术手段以增强检测精度和实时性已成为目前人们关注的焦点。

（二）多模态数据在钢结构检测中的潜力与发展趋势

多模态数据融合的不断发展为钢结构检测提供全新契机。所谓的多模态数据，是指来源于各种传感器的信息，这些数据涵盖温度、湿度、应力、应变、振动等多种维度的数据。这些资料的组合能综合地反映出钢结构健康情况。随着数据采集手段越来越精密和数据种类多样化，钢结构检测可由单一物理性能检测延伸到综合性能评估。在对钢结构进行全方位评估的过程中，除需密切关注其静态表现外，还必须考虑到动态响应和环境变量的潜在影响。

目前钢结构检测中多模态数据融合的发展趋势体现在集成化、智能化和自动化。集成化表现为各种传感器及检测设备之间无缝连接及数据融合，并通过一体化系统进行多层次、多维度数据采集及分析。智能化的实现依赖于数据处理和分析算法的持续创新，这使得我们能从大量的数据中识别出可能存在的结构性缺陷和异常情况，达到实时监控和智能预警的目的。但自动化体现为数据采集及分析过程自动化程度高，降低人工干预要求，提高检测效率和精度。在人工智能技术日益进步的今天，以多模态数据为基础的钢结构检测系统将越来越智能化，为钢结构安全监测和控制提供强大的技术支撑。

（三）现有方法的局限性与面临的挑战

尽管现有的钢结构检测方法取得了显著进展，但其局限性仍然不可忽视。首先，传统的检测方法多依赖于人工操作，存在较高的人工成本和操作风险，尤其是在结构复杂或难以接近的区域，检测效果受到很大限制。超声波检测和射线检测等方法，虽然能提供较为详细的内部结构信息，但对检测设备的要求较高，且难以覆盖大范围的钢结构^[2]。这些方法的结果通常需要专业人员解读，这使得检测结果的可靠性和一致性受到一定影响。

另一大挑战来自于数据处理和分析的复杂性。随着传感器技术的发展，钢结构的实时监控能获得大量的多维度数据，这些数据的存储与处理需求非常庞大。在此背景下，如何高效地处理和分析这些海量数据，尤其是在数据间存在噪声或不一致性的情况下，成为了检测系统面临的重要问题。多模态数据的融合过程中，不同数据源的时间同步性、空间分布性和数据质量的差异，都会对最终的分析结果产生影响，这要求对数据融合方法进行更加精细的优化。如何解决这些技术瓶颈，提高检测精度和实时性，仍是当前研究和应用中的关键挑战。

二、多模态数据融合技术的理论基础与应用方法

（一）多模态数据的定义与分类

多模态数据是一种信息集合，由不同途径、传感器或数据来

源获取。这类数据在性质上是不均匀的，主要有图像数据，传感器数据、声波数据和温度数据几个层面，各类数据在不同视角下揭示出被测对象或者系统的一些特性。在钢结构检测领域，多模态数据为工程人员提供了全面和深刻的观点，使工程人员能多角度地更加详细地分析结构，促使检测更加精确和全面。

对于这类资料进行分类，主要是根据资料来源进行。图像数据、激光雷达数据和红外热成像数据等传感器数据和结构健康监测监测系统所提供的实时应力，位移和振动数据是常用数据类型。这些数据各自代表了钢结构的的不同状态，如温度变化引发的应力变化、振动状态反映的结构稳定性等。不同种类数据的互补性使多模态数据应用于钢结构检测具有独特的优势。所以在钢结构检测领域中如何将这此异质性数据高效集成并集成起来就成了提高检测精度和检测效率的一个关键问题。

（二）数据融合技术的核心原理与优势

数据融合技术的目的是对不同传感器，不同模式下的异质性数据综合起来，以从这些异质性数据中挖掘出更准确，更完整的信息。它的核心原理能归纳为对信息进行集成和优化，并通过对数据进行集成和交互作用来克服单一数据源中可能出现的信息盲点或数据偏差。对于钢结构检测而言，通过数据融合既能弥补单一检测方法所存在的缺陷，又能对结构健康状况给出较为精确的评价。

在技术优势方面，数据融合的最显著优势是信息冗余性和多样性互补能力。该冗余性既增强了系统面对复杂环境时的鲁棒性，又增强了检测系统对异常的诊断能力。多模态数据融合在提高系统容错性的同时，也大大提高监测数据可靠性与精确性^[3]。钢结构振动监测时，综合运用位移，加速度及温度多模态数据可显著提升结构失稳或者老化的前期检测能力，进而为后续维修决策提供更准确依据。

（三）多模态数据融合在钢结构检测中的应用框架

多模态数据融合技术应用于钢结构检测的构架一般涉及到数据采集，预处理，特征提取以及融合和分析几个步骤。首先，在数据收集的过程中，我们依赖于多种传感器和检测工具，如视频监控、激光扫描和红外热成像等，以共同获取钢结构在各种状态下的相关数据。这些数据在预处理、去噪、缺失值填补和时间序列的同步调整之后就进入下一个阶段——特征提取。特征提取就是把多模态数据所蕴含的重要信息提取出来，利用数学和统计方法把这些特征变量转换为具有实际意义的特征。

数据融合作为核心环节涉及到多模态数据间相互映射和融合。在这个阶段，我们采用了多种数据融合技术，例如加权平均法、贝叶斯方法和卡尔曼滤波等，来整合异质性数据，生成一个具有较高综合性的全局视图。该综合信息既排除了单一

数据源中可能存在的错误与限制，又经过综合计算获得较为可靠的评价结果。最后在分析阶段将人工智能技术和机器学习算法相结合，深度分析融合数据，产生结构健康评价报告，为维修和优化结构提供科学依据。多模态数据融合在增强钢结构检测全面性的同时，为实现结构健康监测精准性和实时性提供保障。

三、基于多模态数据的主体结构钢构检测创新路径

（一）多模态数据的采集与处理技术创新

多模态数据获取技术的革新给主体结构钢构检测工作带来空前突破，特别是在提高检测精度、拓展应用范围等方面显示出特有的优越性。传统钢结构检测方法通常依靠人工检查或者单一传感器测量等单一数据源进行检测，但这些检测方法并不局限于检测精度问题，同时也存在检测效率低、检测成本高等难题。随着智能传感器，激光扫描技术，红外成像以及图像处理的发展，能提供各种物理场景中各种数据源的多模态数据采集方法已逐步成为一个新兴的研究领域^[4]。

基于这种情况，数据采集精准度与全面性就成了决定因素。革新的传感器融合技术能实现对同一时间点的多维度测量，既包含结构表面的温度、振动、位移等物理量，也能获取视觉图像、声波信号和其他感知信息，然后构成多维度，多层次综合数据。在处理多模态数据的过程中，考虑到数据的异质性，开发高效的数据预处理技术，例如去噪、特征抽取和数据修正等，已经变成当前研究的关键领域。通过对这些不同源数据进行处理，能有效地减少噪声干扰、改善信号质量、并为之后的分析打下更扎实的基础。采集和处理技术的革新不但扩大检测数据获取途径，而且大大提高了数据使用效率。

（二）数据融合与智能分析算法的应用探索

基于多模态数据利用数据融合技术为主体结构钢构检测提供一种新型智能化路径。数据融合技术是将不同来源的多维数据整合在一起，抽取更准确的结构信息。该技术能突破传统单一数据源限制，对信息进行补充和强化。在钢构检测领域，数据融合不仅仅局限于传感器数据的叠加，还包括不同类型的信号（如图像、声音、振动等）的整合，形成全面的结构状态评估体系。融合技术能一定程度降低误差、增强信息可靠性、使钢结构故障检测与风险预测更精准。

智能分析算法特别是机器学习、深度学习等方面探索的算法应用正逐渐改变着传统检测手段运行方式。利用深度学习算法能对海量多模态数据进行高阶特征提取，继而智能地识别和预测钢构结构的健康状况。在对模型进行训练时，考虑到不同源数据特征，可分步优化算法以促进分析准确高效。深度学习模型，以卷积神经网络（CNN）为典型代表，因其卓越的图像识别功能，能有效地处理钢构结构的视觉数据，并揭示潜在的

微小裂缝或形变。以大数据与云计算平台为核心的智能分析系统能为实时监测与数据处理过程提供结构健康动态评估以及对可能存在的风险进行及时地反馈，进一步促进了钢构检测技术智能化，自动化进程。

（三）基于创新方法提升钢结构检测效率与精度

在多模态数据采集及智能分析技术日臻完善的背景下，提高钢结构检测效率和准确性已经成为了研究的中心目标。对钢结构进行检测已经不仅仅是依靠人工或者传统技术，它依靠自动化系统以及智能算法能实现对结构健康进行有效而精确地监测^[5]。受创新方法驱动，钢构检测方式由静态定期检查逐步转变为动态实时监测。这一变革的实现来自于新型传感技术和智能化数据处理系统不断走向成熟。

算法优化对增强检测精度起关键作用。当代的检测技术不只是关注数据的完整性和多元性，更深入地考虑了对数据准确性的追求。对于多模态数据分析而言，数据融合这一策略需要将不同源数据加权，并依托精准算法模型增强其解析能力。以大数据分析技术为基础，能通过海量历史数据实现趋势预测与风险评估，使钢构检测不只是监测现状，更是一种对于未来可能出现的风险做出提前预警。这一准确的检测方式与创新智能分析工具相结合使钢结构检测的高效性，精准性和安全性显著增强，有效确保建筑结构长期稳定安全。

结论

基于多模态数据对主体结构钢构进行检测的方法具有传感器数据高度融合，智能算法准确和数据融合技术有效等特点，已经成为增强检测能力的一种重要途径。多模态数据获取和处理技术提供更全面的结构状态信息进行检测，有效地弥补传统方法中存在的缺陷。采用智能分析算法又进一步提高检测精度和效率，自动进行实时监测和风险预警。这些创新方法组合在一起，既促进钢构检测技术前沿发展又为确保建筑安全提供有力技术支撑。

参考文献

- [1]刘晏长.装配式钢结构建筑抗侧力支架缺陷超像素级Gabor识别方法[J].无损检测, 2025(4).
- [2]冯消冰,王建军,王永科,等.面向大型结构件爬行机器人智能焊接技术[J].清华大学学报(自然科学版), 2023(010): 063.
- [3]薛耀锋,陈瞻,邱奕盛,等.基于多模态数据的在线学习认知风格智能识别[J].开放教育研究, 2024, 30(5): 112-120.
- [4]赵云涛,邓新辉.基于多模态数据的注意特征融合姿态估计网络[J].液晶与显示, 2025, 40(4).
- [5]何新宇,唐一尘.建筑中钢结构设计的稳定性及设计要求[J].中国厨卫, 2023, 22(5): 77-79.