

集成时序 InSAR 分析与结构理论的跨海大桥结构健康监测

秦晓琼^{1,2,3,4}, 汪驰升^{1,3,4}, 廖明生², 李清泉^{1,2,3,4}, 张路²

1 深圳大学建筑与城市规划学院, 广东 深圳, 518060 中国

2 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉, 430079 中国

3 自然资源部大湾区地理环境监测重点实验室, 广东 深圳, 518060 中国

4 广东省城市空间信息工程重点实验室, 广东 深圳, 518060 中国

跨海大桥可以跨越海湾、海峡和深海水域, 是确保陆上交通动脉畅通的关键节点。即便发生微小的位移也可能影响桥梁的安全性能, 并导致高昂的维修和维护成本。为了即使准确地监测其结构的安全状况, 合成孔径雷达由于能够快速提取大范围的高分辨率表面形变, 同时兼具人力物力成本低和不影响桥梁正常运营的优势, 已经被认为是进行桥梁结构健康监测方法的一种有效方法。

考虑到跨海大桥往往具有复杂的上部结构和环境影响, 要实现基于 InSAR 技术的桥梁结构健康监测还需要解决一些难点问题。首先, 前期的方法在去相干显著的结构上, 点目标识别的密度和准确性还较低。因此, 如何在部分相干的跨海大桥结构上提取密集而精确的点目标仍然是一个难题。然后, 以往的热膨胀监测方法依赖于点目标的线性形变假设, 而没有考虑桥梁的实际结构受力情况, 不适用于热膨胀传播距离较长的大跨度跨海大桥。最后, SAR 侧视成像固有的几何畸变和简单的桥梁形变速率图分析无法直观反映桥梁的形变细节, 使得非专家用户对于 InSAR 监测结果难以理解, 造成 InSAR 结果解译难以开展。

针对上述问题, 本次研究通过将结构理论的专业知识引入常规时序 InSAR 分析中, 提出一种能够快速、准确监测跨海大桥整体形变的时序 InSAR 测量与分析方法。关于点目标的选择, 通过考虑桥梁结构的相干和非相干信息来提高点目标的识别密度和精度。在热膨胀建模方面, 提出结构驱动的加权回归分析方法来建立温度与位移之间的定量关系。为了提供用户友好的结果, 本文基于桥梁结构信息和局部观测几何参数实现 InSAR 形变结果的三维可视化, 并集成三维可视化的分析结果和结构理论实现跨海大桥的结构健康监测。

本文以东海大桥为例, 基于上述方法, 通过处理和分析 2015-2017 年的 Sentinel-1 数据来提取桥梁的详细形变信息。在对桥梁的热膨胀效应进行建模与分离以后, 根据结构风险指标和结构形变情况的综合分析来评估结构的风险等级, 并识别桥梁沿线的风险路段, 辅助指导东海大桥的管理维护和防灾减灾。