

# 西堠门大桥涡振预判技术服务项目研究成果

◎文 / 王玮

DOI:10.3773/j.issn.1673-6516.2023.01.031

随着我国“一带一路”倡议的持续推进及亚投行的持续发展,可以预见,数年内世界各地还将不断涌现出更多超大跨度的桥梁,如主跨1500~3500 m级别的缆索承重桥梁。这些超大跨度桥梁模态更为密集,常遇风速下涡振潜在发生模态更多,其涡振风险也更高。大跨度桥梁的涡激振动与控制仍是桥梁工程界迫切需要解决的技术难题与关键科学问题。与此同时,如何准确及时地识别和评估桥梁涡振事件也是桥梁管养活动中面临的一个重要问题。

据有关部门统计,西堠门大桥每年都会发生若干次涡振事件。在浙江舟山跨海大桥有限公司的支持下,同济大学土木工程学院桥梁工程系淡丹辉教授开展了“西堠门大桥涡振预判技术服务项目”,完成了西堠门大桥涡振超前预判可行性研究以及西堠门大桥涡振事件监测、预警和智慧感知子系统的建设。

## 1 项目概况

近年来,桥梁健康监测系统的发展取得了长足的进

步,基本上解决了桥梁服役期间技术参数的数据获取难题。然而,长期以来,由于对结构健康监测系统的数据处理分析任务的重视不足,导致现有的监测系统仍基本停留在数据采集这一初级阶段,并不能发挥其应有的智慧感知能力。为了进一步提升桥梁结构健康监测系统的品质,有必要在现有的监测系统技术框架基础上,大力发展数据分析处理、结构性态指标识别、结构安全评估预警、损伤和故障诊断、性能跟踪与监控等一系列相关任务的自动化、智能化和智慧化解决技术。

“西堠门大桥涡振预判技术服务项目”基于涡振时结构呈现出单模态正弦振动的振动特性,提出以此为核心的悬索桥涡振智慧监测感知和预警方法。对于运营期间的桥梁,建立一套完整的涡振事件发展状态智能感知系统;在肉眼可见的涡振现象发生之前,能够进行及时的预警并评估涡振强度等级以及相关特征值,提醒有关部门关注桥梁状态,提早规划处理措施,避免对行车安全造成影响;在涡振发生期间,能够对涡振当前的状态进行实时监控,为相关的管理决策提供有效的数据支撑。



图1 西堠门大桥实景图

## 2 项目创新点

项目实现了涡振预警和全过程智慧感知，可以很好地进行悬索桥的涡振识别和监测预警工作。由于采用了加速度信号实时积分算法，使得悬索桥主梁的振动位移监测不再是难题，而且还可以根据多通道同步积分，全面地认识和了解桥梁的振动参数和工作状态。进一步对得到的位移信号进行短时递归希尔伯特变换，可实时识别和跟踪涡振指标，从而实现对涡振事件的预警和全过程智慧感知，并且实现桥梁涡振过程中各种参数的实时跟踪识别，包括瞬时频率、相位以及振幅等丰富的振动信息。



图2 团队现场安装图

项目给出的涡振监测、预警和智慧感知技术可以在振幅较低，肉眼及体感难以判断时就准确识别出涡振的产生，并可据此发出超前（到达最大稳态幅值前）的预警信号，为桥梁业主做出管控决策和实施管控措施赢得足够的时间，从而有效避免桥梁工程事故的发生和公共财产的损失。

项目建议的方法使用方便、计算成本低、识别精度高并且计算结果丰富且直观。除了依据加速度监测信息以外，速度、位移等多种监测信号也可以用于对涡振的监测和识别。还应指出，除悬索桥外，其他可能发生涡振的工程结构，如缆索、塔、高层建筑等，以及风洞实验室中模型实验，均可使用该方法进行涡振实时监测与智慧感知。

项目建议的方法功能全面，既可定性感知和预警涡振事件，又可以全面、高质量、定量感知涡振参数。归因于关键算法的在线化和涡振指标的定义方式，建议的技术具有良好的实时性，适于在线监测环境，能够为悬索桥业主的涡振事件过程管控赢得足够的预警时间。同时，由于算法仅依赖于涡振时结构振动响应的窄带单模态信号特征，无需事先对具体结构、测点位置、涡振观

测历史做任何了解，因此具有良好的普适性，可实现对多种工程结构涡振的监测、预警和智慧感知。

## 3 结论

2022年10月14日，浙江省交通集团高速公路舟山管理中心在宁波组织召开了“西堠门大桥涡振预判技术服务项目”验收评审会议，项目竣工验收。项目研发的涡振监测、预警和智慧感知技术可以在振幅较低，肉眼及体感难以判断时就准确识别出涡振的产生，并可据此发出超前（到达最大稳态幅值前）的预警信号，为桥梁业主做出管控决策和实施管控措施赢得足够的时间，从而有效避免桥梁工程事故的发生和公共财产的损失。



图3 项目验收评审会议

### 项目完成人简介



淡丹辉，同济大学土木工程学院桥梁工程系教授，博士生导师，新疆大学天山学者高层次人才特聘计划特聘教授，主要研究方向为桥梁结构智慧监测系统规划设计理论、既有结构评估和诊断、结构振动控制、结构动力学等。承担国家和省部级科研项目30余项，参与多座大桥桥梁健康监测系统和中小跨网级桥梁群健康监测系统研究和建设。发表论文180余篇，已发表SCI期刊论文70余篇。获授权国家发明专利12件（大跨悬索桥涡振事件的实时识别和监测预警方法，ZL202011331924.1；基于递归最小二乘法的实时加速度积分计算，ZL201710691327.1等），实用新型专利20件（适用于高层建筑水平振动抑制的地砖型颗粒阻尼器，ZL201721010211.9等），获得软件著作权6件。出版著作《桥梁工程结构智慧监测—理论与实践》和《复杂索缆体系动力学分析及智慧监测》，主编上海市地方规范《桥梁结构监测系统技术规程》，参编其他相关规范指南3部。获得国家行业协会和省部级成果奖励8项。