

桥梁监测与检测

——理念、技术与挑战

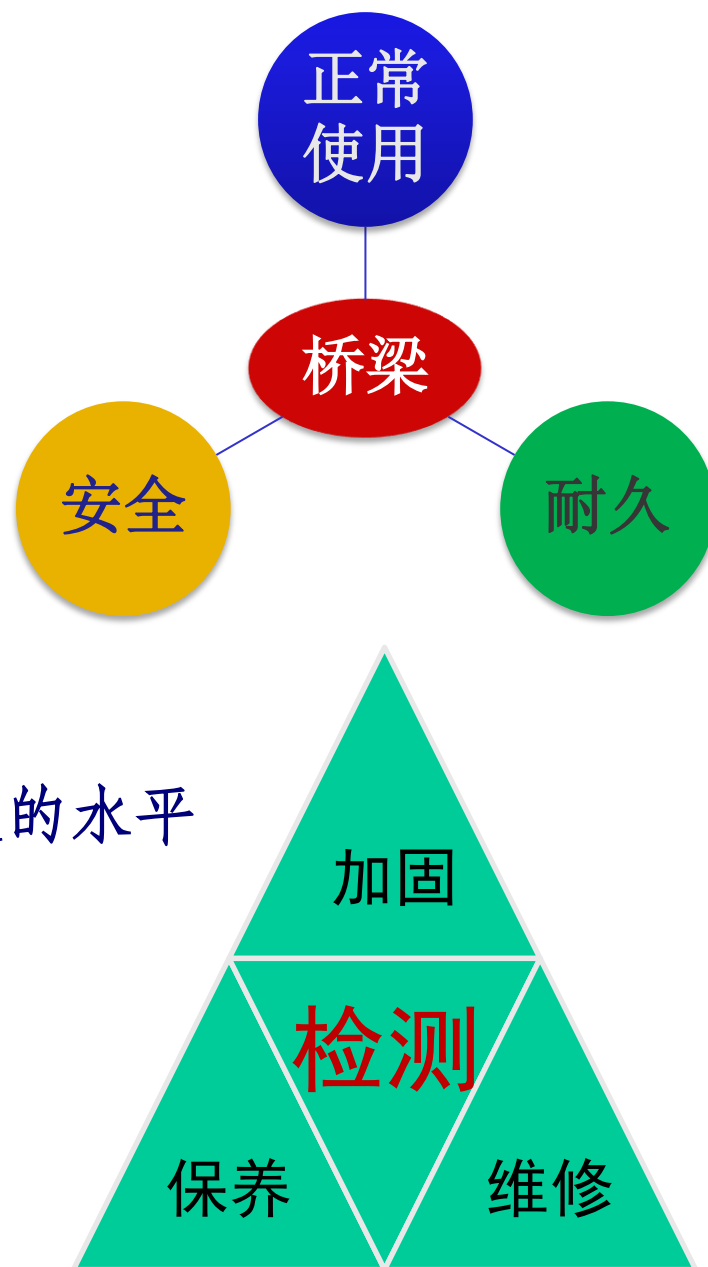
张启伟

同济大学土木工程学院桥梁工程系

对运营中的桥梁

管理与养护

从结构的角度，
使桥梁技术状况保持在一定的水平



检测的目的

掌握桥梁的技术状况，及时发现病害、缺陷、隐患

技术人员

检测设备

现场作业

检查周期

经费

传统检测的局限性

技术人员	专业程度 主观性 人员不足
检测设备	偏差 操作
现场作业	效率 不可及部位 交通影响
检查周期	实时 突发事件
经费	有限

是否有一种更有效、高效的检测途径？

1980'

计算机、网络、传感技术飞速发展

计算机科学（模式识别）

英国，Foyle桥 全球范围第一个桥梁监测系统，1987年

布设传感器，监测大桥运营阶段在车辆与风载作用下主梁的振动、挠度和应变等响应，同时监测环境风和结构温度场。

特点：实时监测
实时分析
数据网络共享

如果有效、经济，
则全英国推广。



总长522 m的三跨变高度连续钢箱梁桥

桥梁结构健康监测系统

目的

通过对环境条件和结构响应的实时数据采集、分析，及时发现桥梁的异常或缺陷，跟踪掌握桥梁的技术状况。

已建立的
监测系统

国外 1987--2000年 —— 数量极少

国内 1995年 —— 数量多

从理论方面看

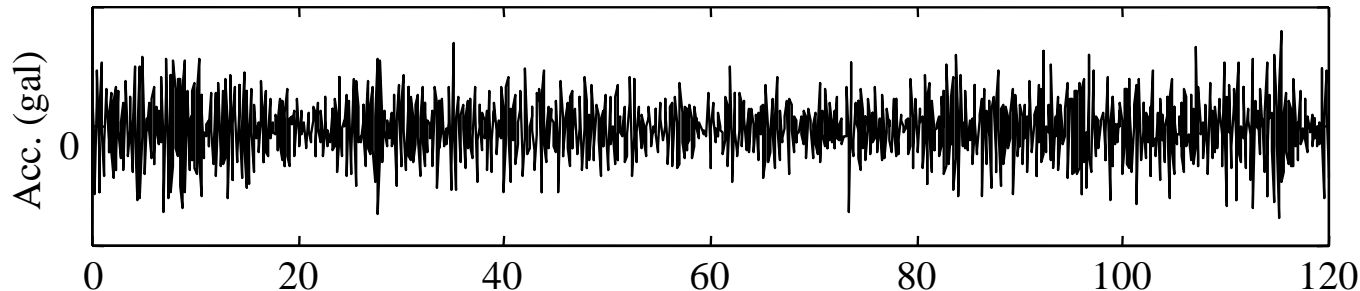
监测数据的分析

→ 结构异常诊断

→ 结构状态评估

静力响应：应变（力）、形变

动力响应：速度、加速度、位移时程



基本思想

结构的变化(损伤)将导致其刚度、质量或耗能特性的变化，从而改变结构的响应。

从理论方面看

反问题

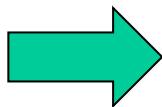
- 指纹分析和模式识别
- 系统识别（模型修正）
- 神经网络

不适定性

解不存在

解不唯一

解不稳定



测试数据微小的误差就会导致近似解与真解的严重偏离！

从桥梁的特点看

结构：

不确定因素

非结构因素

赘余度大

测试信号或信号分析得到的参数对结构损伤不敏感！



从环境与运营条件影响看

环境和运营条件导致的结构响应的变化 > 损伤引起的变化！

只有在结构发生非常大的**刚度**损失时，才可能从测量信号中提取结构损伤的信息！

但是，桥梁退化 \neq 刚度损失！

基本思想

结构的变化(损伤)将导致其刚度、质量或耗能特性的变化，从而改变结构的响应。



设想的健康监测四个层次：

1. 损伤是否发生
2. 损伤位置
3. 损伤程度
4. 损伤的影响

事实上

即使第一个层次目前仍远远无法实现

已建立的
监测系统

国外 1987--2000年 —— 数量极少

国内 1995年 —— 数量多

事实上

至今没有建立结构异常识别的有效理论与方法

至今没有一个成功预警的监测系统

英国没有在第二座桥上安装监测系统

理论和概念上最“时髦”的美国，至今没有建立一个完整的监测系统

在理论、技术都仍处于探索阶段便大量建立桥梁健康监测系统的只有中国

应该看到，近二十年来，在传感器、测试技术、数据通信等方面取得了长足的进步。

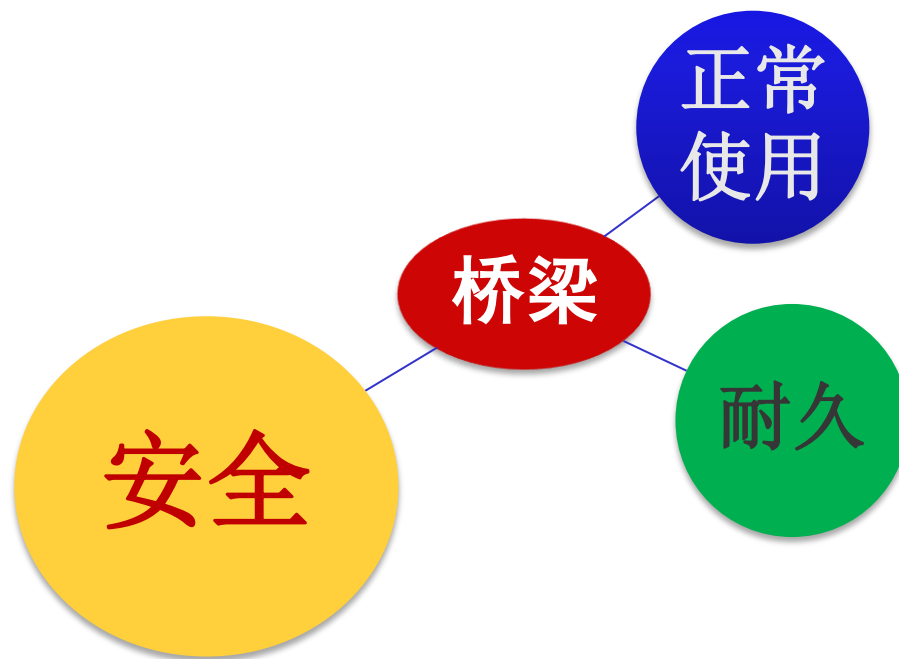
更应该看到，结构健康监测存在的问题更主要的来自于其概念基础和结构特点。

- 反问题的不适定性
- 结构反应对损伤不敏感
- 环境和运营条件的影响
- 桥梁退化仅引起很小的刚度损失

现代设计理论+施工技术→
桥梁安全性已得到保障

运营期的安全性问题主要
来自于外部威胁：

- 船撞、车撞
- 超载
- 火灾
- 地面沉降
- 洪水、泥石流
- 冲刷
-



正常使用

桥梁

安全

耐久

结构层次

构件层次

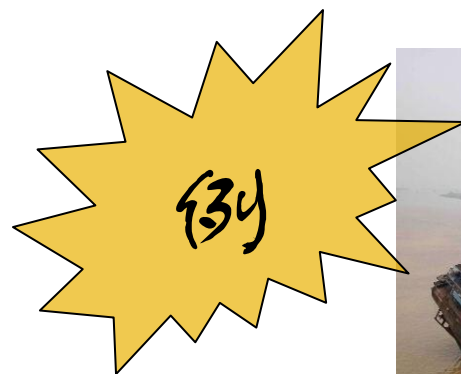
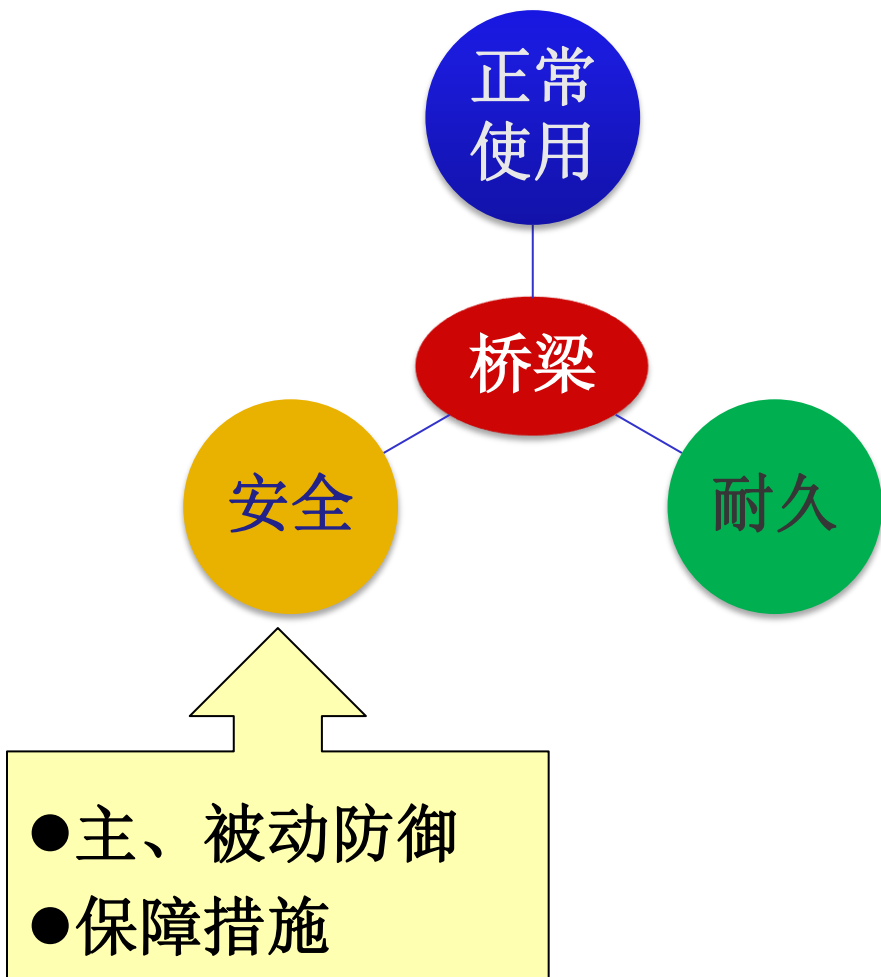
联接构造损坏
附属设施损坏

材料层次

- 化学性腐蚀
- 松弛、徐变
- 混凝土中性化
- 盐害
- 冻融
- 碱骨料反应

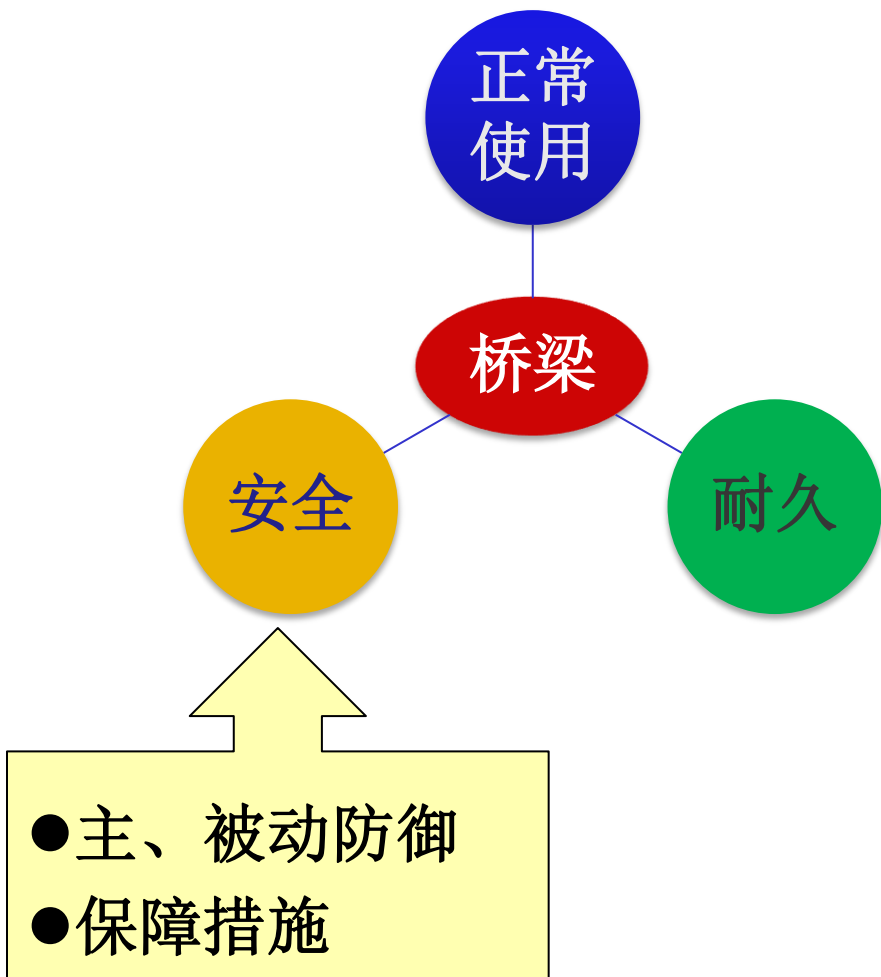
.....





主动防撞和被动防撞相结合

- **被动防撞：**一般采用由承台施工吊箱、变厚度封底、承台及变截面群桩基础组成的整体结构自身防撞系统。
- **主动防撞：**对水面航行船舶进行跟踪监控，对危险船只发出警示信号，以提醒其修正航向。



- 桥梁结构状态退化是个缓慢、渐进的过程。
- 定期检测是最合理、有效、经济的途径。

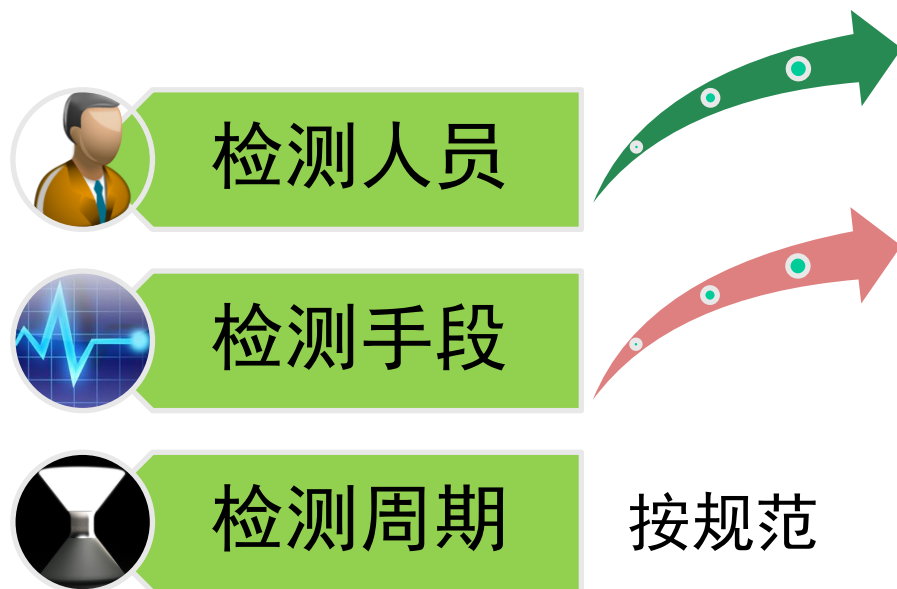
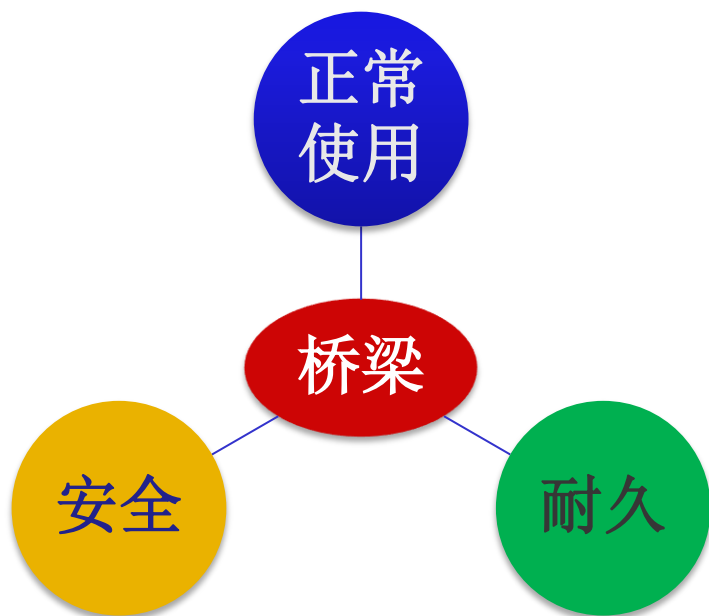
交通部《公路桥涵养护规范》（JTG H11-2004）

- 经常检查
- 定期检查
- 特殊检查

建设部《城市桥梁养护技术规范》（CJJ 99—2003）

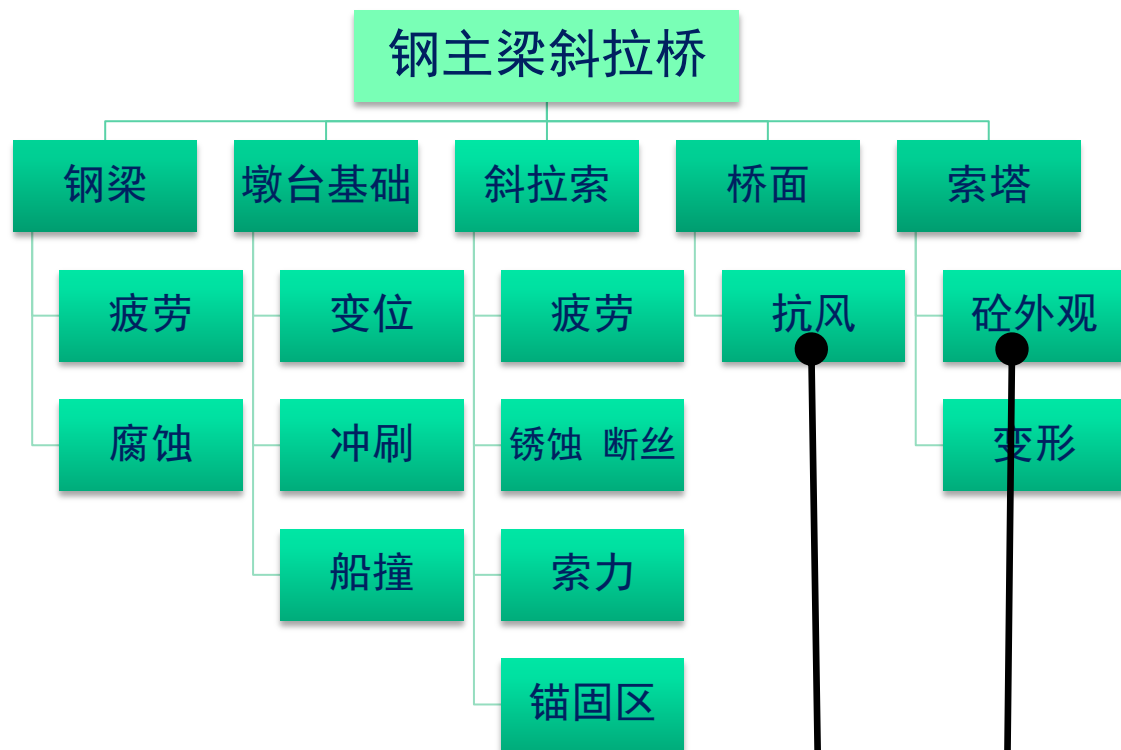
- 经常性检查
- 定期检测
- 特殊检测

定期检测是最合理、有效、经济的途径





检测手段



主要通过抗风设计解决

包括外观和耐久性指标，
已有成熟的检测技术



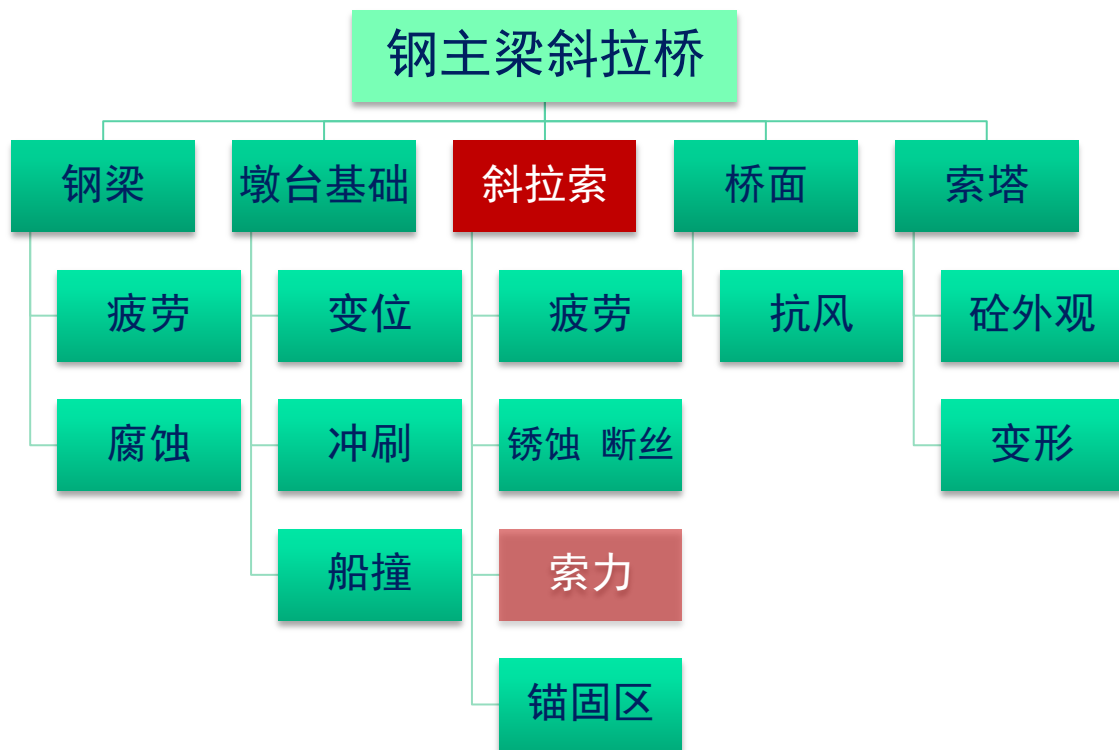


检测手段

- 索力测定:

- (1) 压力传感器
- (2) 磁弹仪法
- (3) 振动频率法

在拉索出现严重问题
前，索力变化很小！



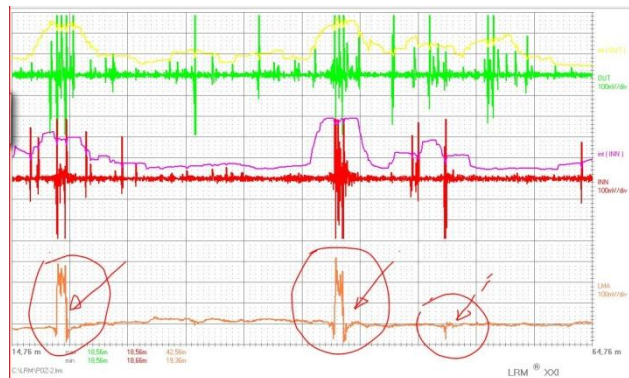
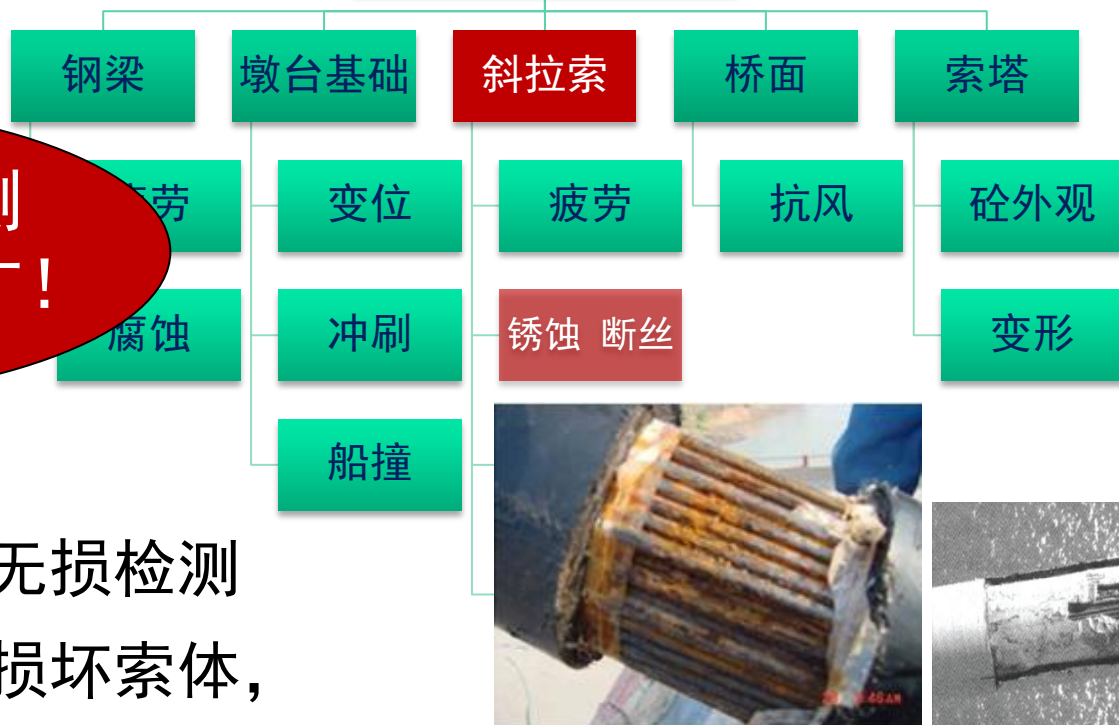


检测手段

拉索内部钢束检测
是难点！需求极广！

- 基于磁检测原理的无损检测
- 检测效率高、且不损坏索体，可对拉索沿全长检测。

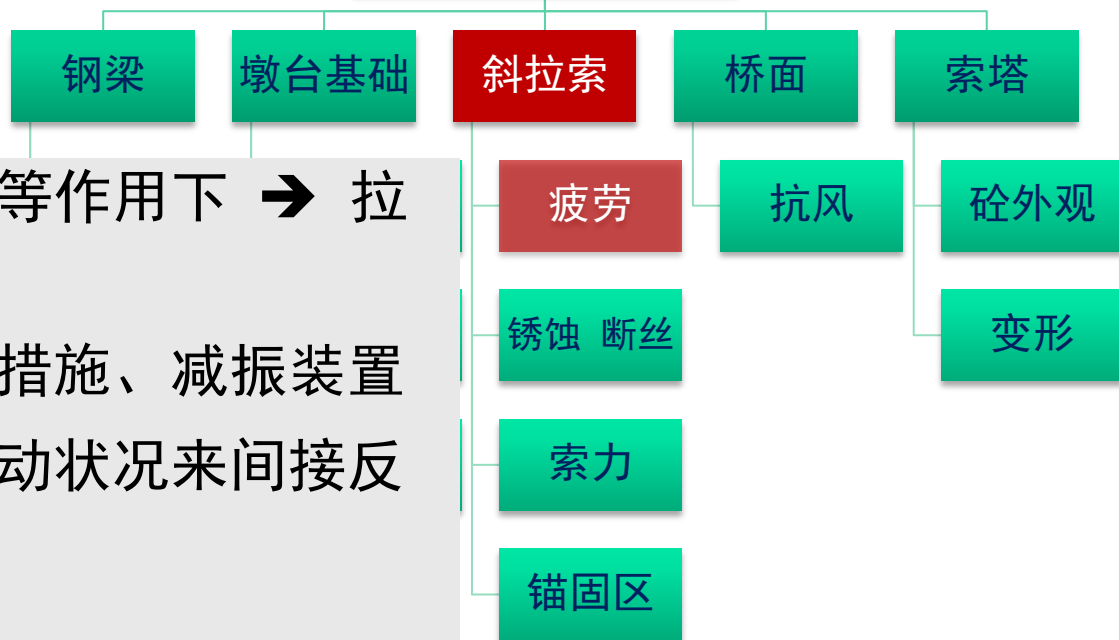
钢主梁斜拉桥





检测手段

钢主梁斜拉桥

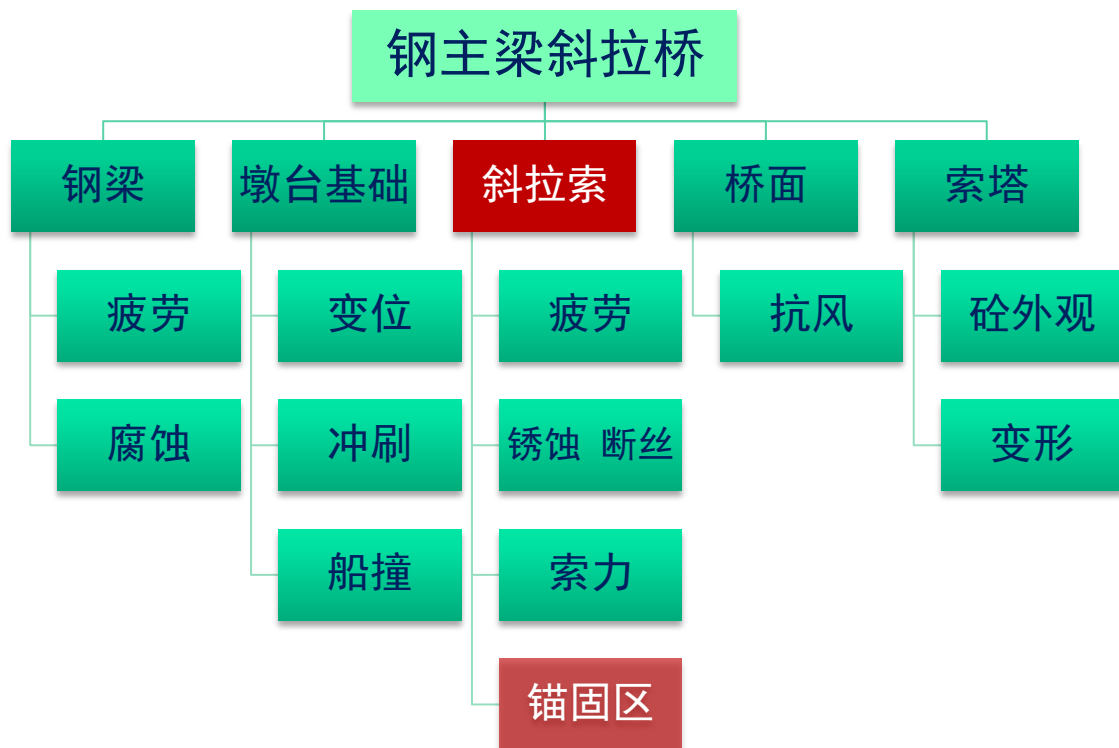


- 车辆重复荷载、风、雨等作用下 → 拉索振动 → 拉索疲劳
- 减小拉索的振动：气动措施、减振装置
- 可以通过监测拉索的振动状况来间接反映拉索的疲劳问题。





检测手段



锚固系统与内部钢束的检测是个挑战，检测技术开发非常必要！





检测手段

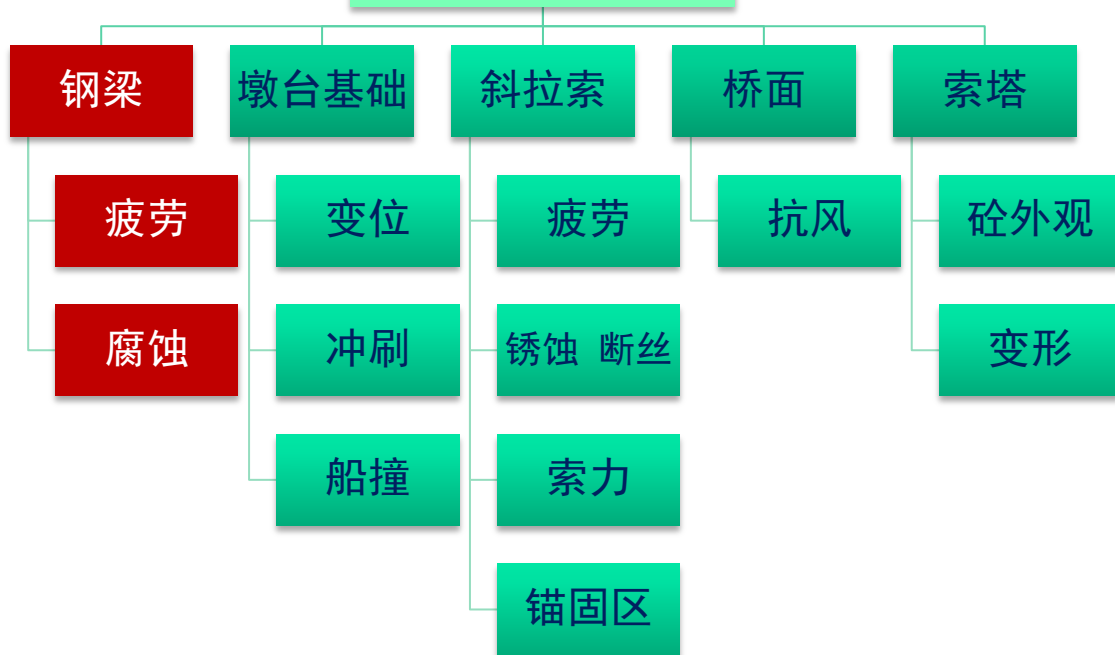
超声波探伤

磁粉探伤

渗透探伤

X射线法

钢主梁斜拉桥



通过钢梁应力监测数据理论分析结合来进行疲劳评估。

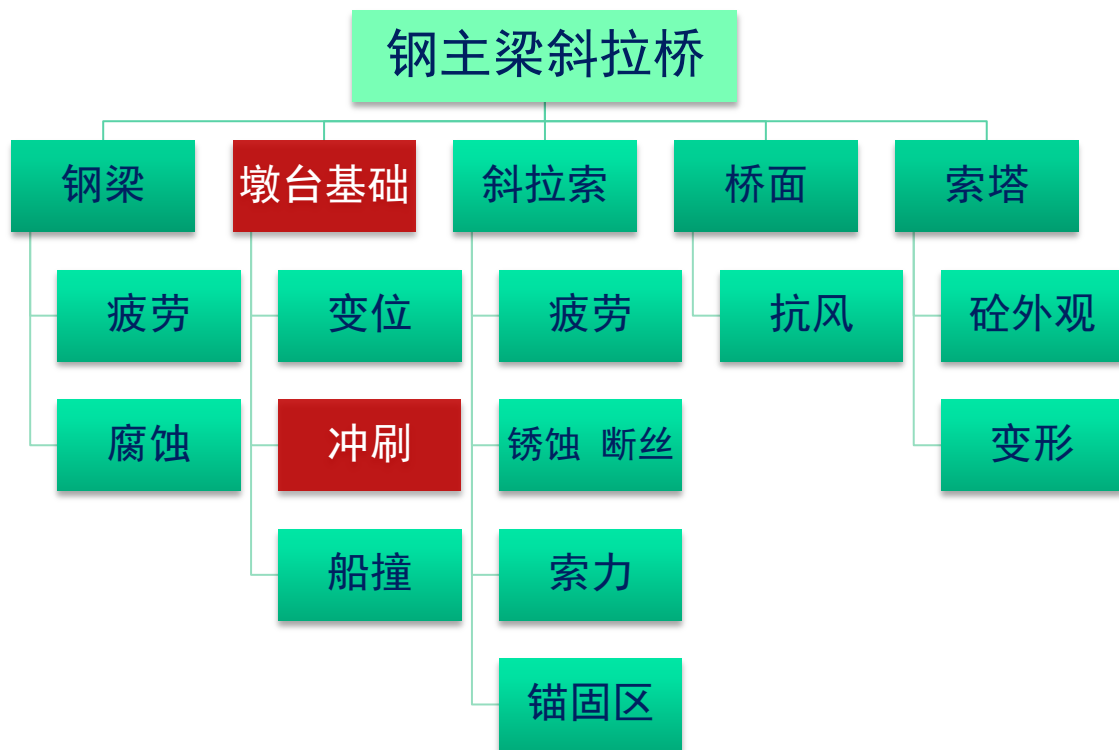
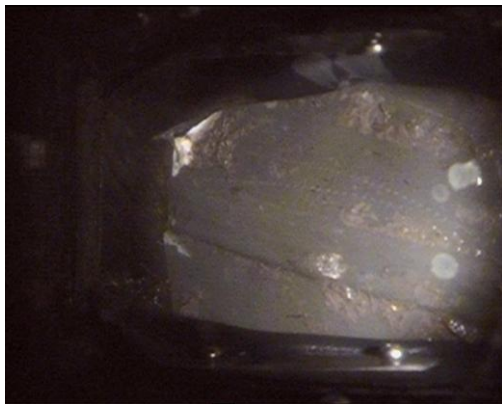
“多尺度疲劳评估”
有待深入研究。





检测手段

冲刷——潜水员水下摄影。



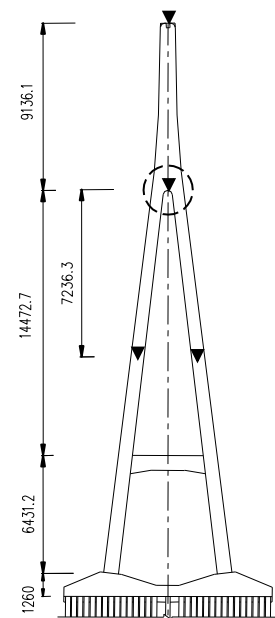
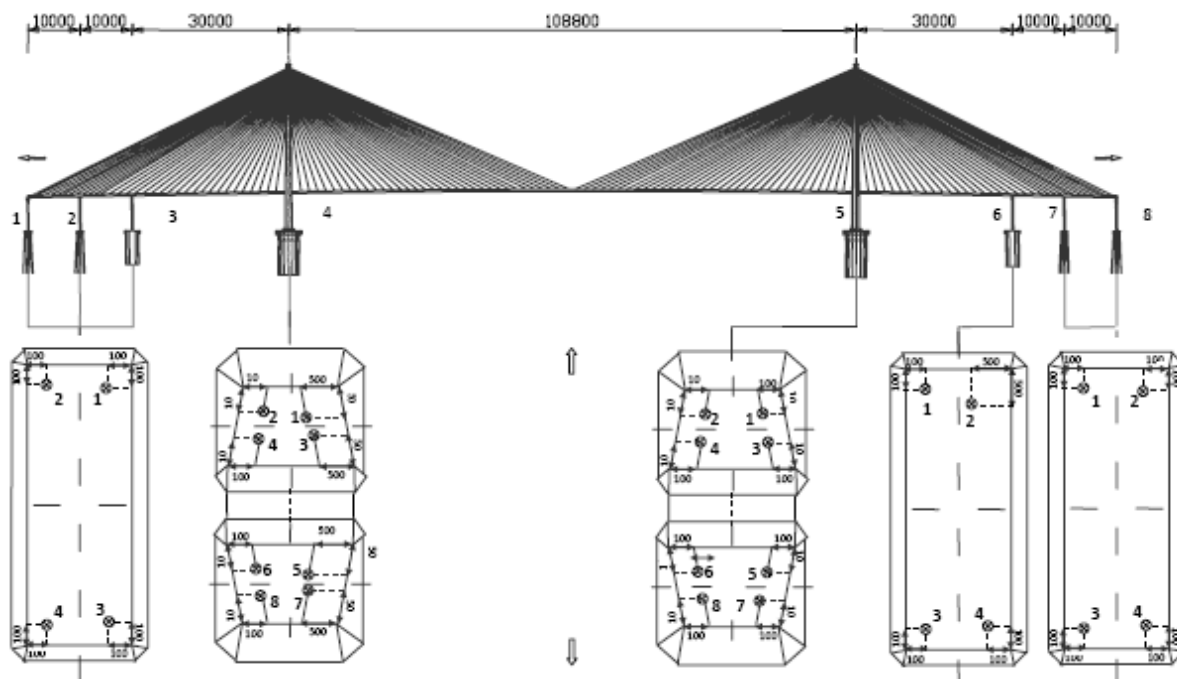
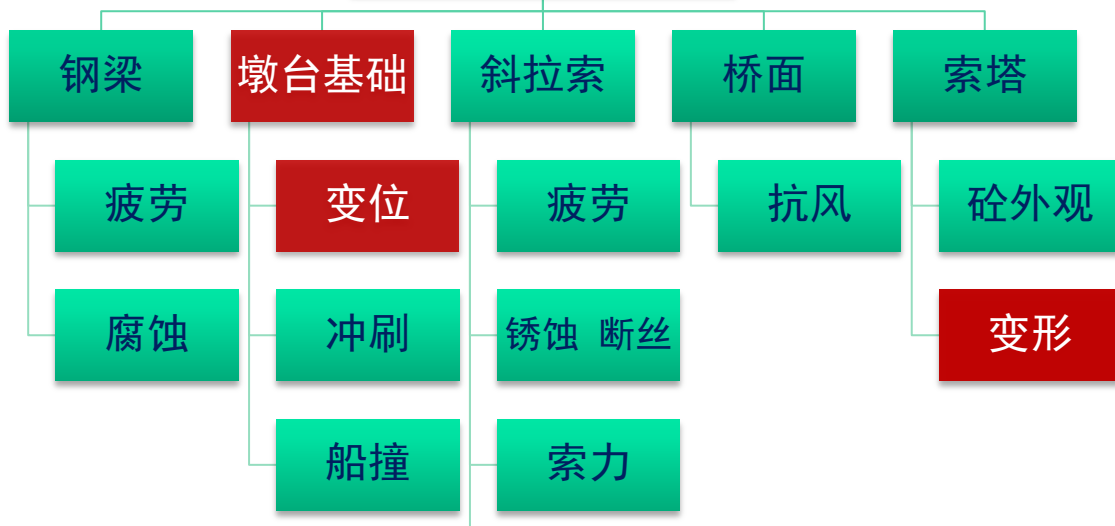


检测手段

基础变位、索塔变形
——定期测量



钢主梁斜拉桥

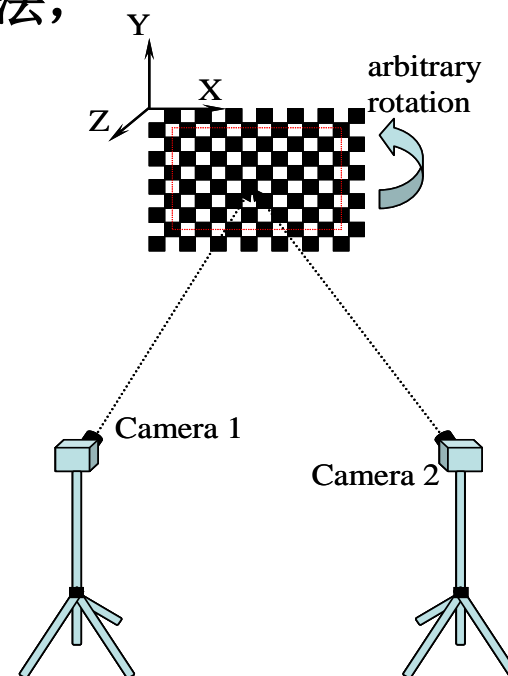
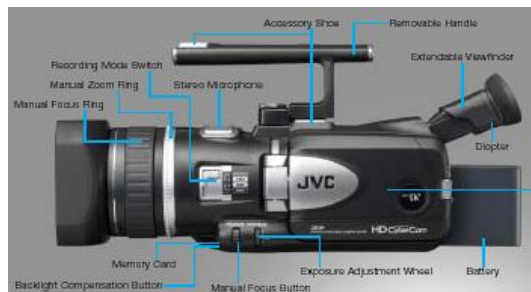
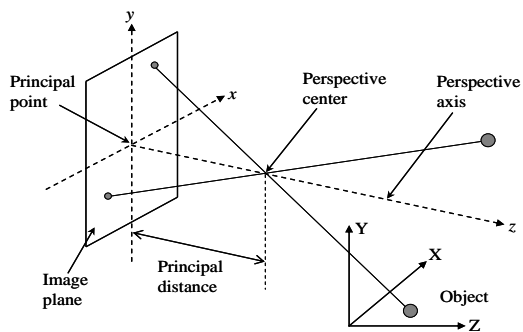


同济大学
TONGJI UNIVERSITY

● 高效率、高可信度的检测技术值得研究

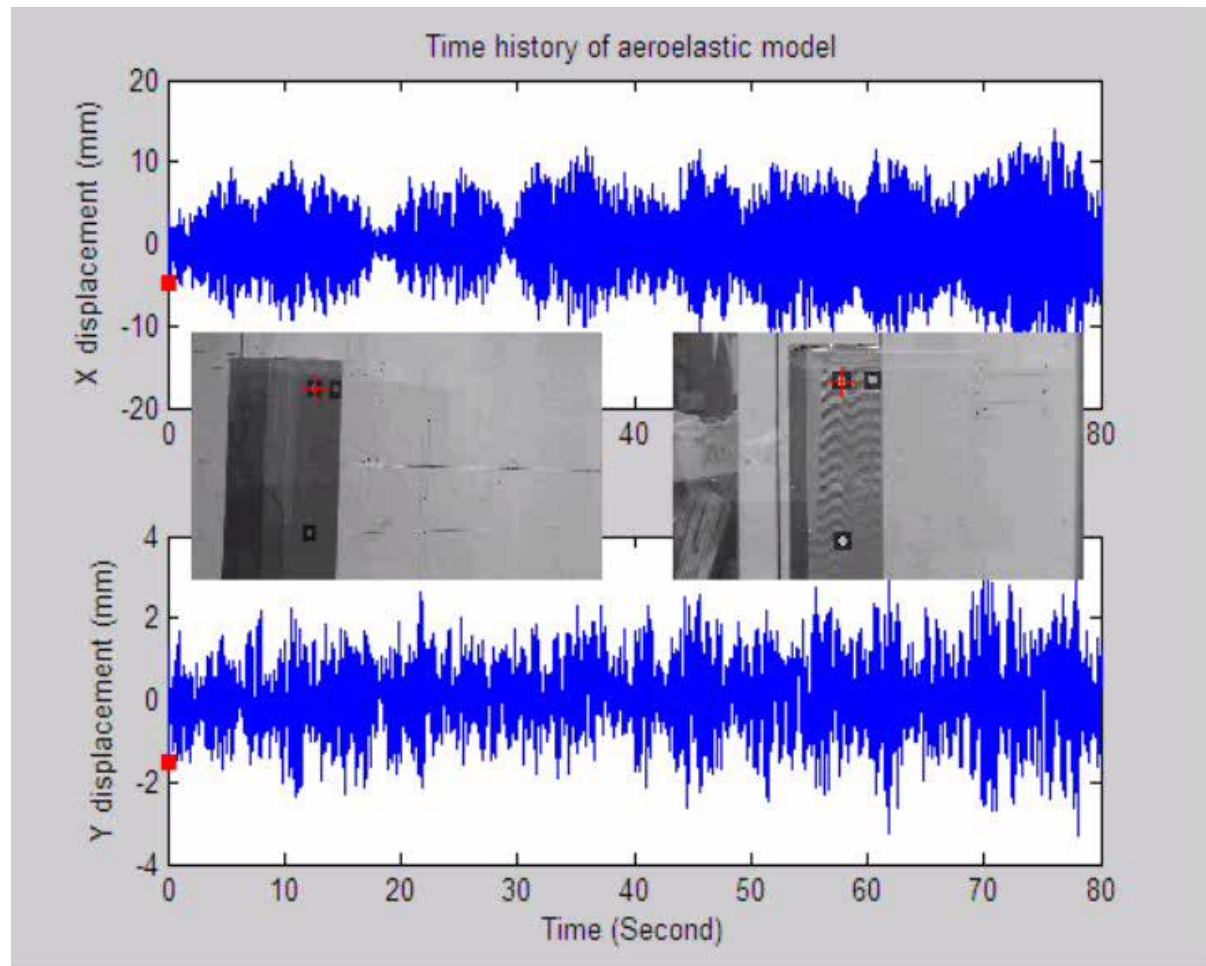
□ 摄影测量

基于计算机视觉的原理开发摄影测量的方法，
用于土木结构中动位移的测量



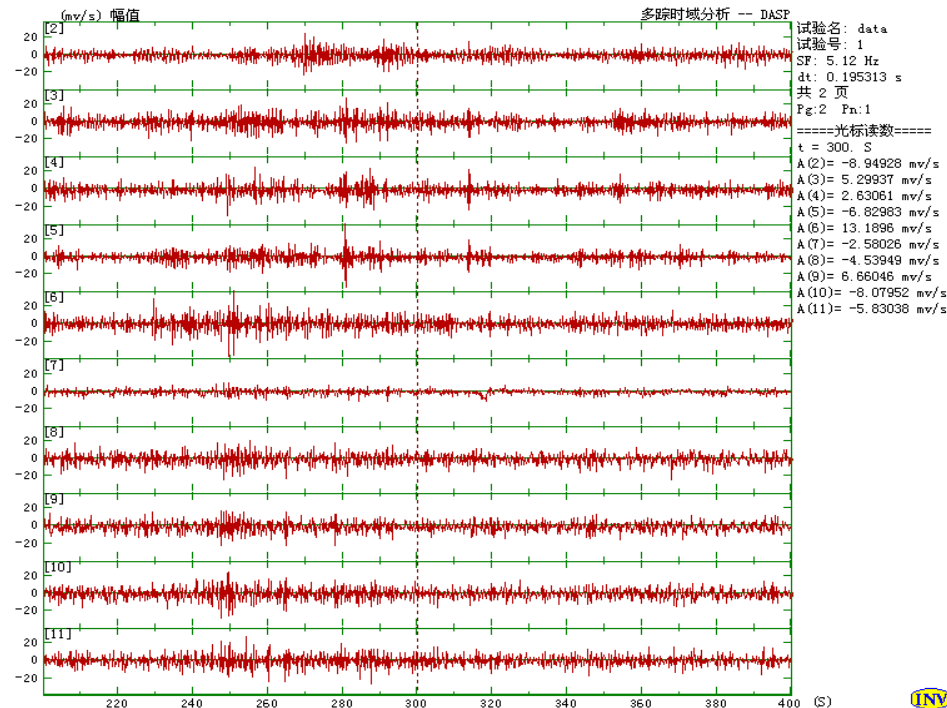
- 高效率、高可信度的检测技术值得研究

- 摄影测量



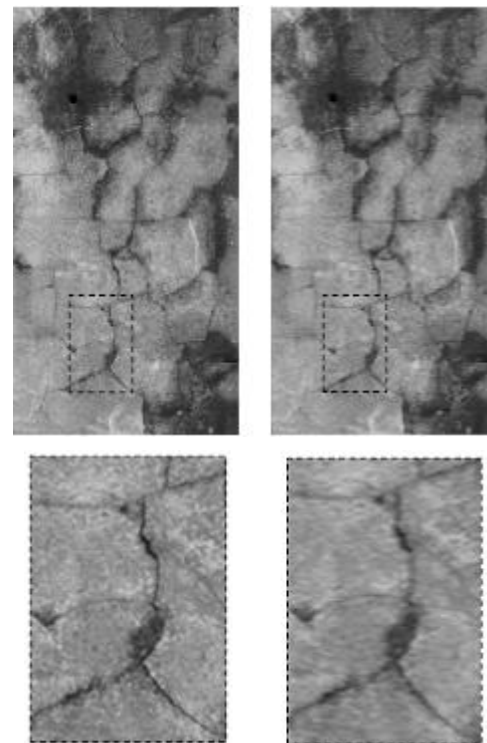
● 高效率、高可信度的检测技术值得研究

□ 无线多通道同步振动测试



- 高效率、高可信度的检测技术值得研究

- 借助无人机的外观巡检技术



22m/min拍摄

结 语

- 桥梁结构的退化是个缓慢、渐进的过程，在运营阶段对大桥的维护主要考虑结构的耐久性和外部因素引起的安全问题。
- 不要过高地估计健康监测系统在结构状态诊断中的作用。定期检测是把握桥梁结构状况最有效、最合理、最经济的途径。
- 应针对结构耐久性和安全性的具体问题，采取合理的检测手段和防护、保障措施。
- 新技术应该根据桥梁评估的需求，朝着解决问题、更高效率、更高可信度的方向发展。

谢 谢！