



## 從檢測到感知：智慧聲振偵測於複雜工程系統之發展與應用

技術主編：蔡曜隆 Y. L. Tsai

現職：工研院(ITRI) 材料與化工研究所 結構及設備完整性研究組 正工程師/技術副組長

學歷：國立交通大學(NCTU) 機械工程研究所 博士

專長：鐸接工程、應用力學、有限元素法、振動學、人工智慧

隨著工程系統規模持續擴大、運轉條件日益嚴苛，以及智慧化與數位化技術快速發展，如何在不中斷運轉的情況下，即時且可靠地掌握系統健康狀態，已成為當代工程科技的重要課題。城市管網、能源設施、工業設備與大型機械系統普遍具有結構高度耦合、運轉時間長與失效風險高等特性，一旦發生事故，往往伴隨重大安全、環境與經濟衝擊，因而可被視為典型的複雜工程系統。

傳統工程監測多仰賴人工巡檢、定期檢測或事後診斷，其核心邏輯建立於「異常已顯性化」的前提之上。然而在實務場域中，許多關鍵劣化現象往往發生於可視破壞之前，例如微裂縫初生、結構剛性變化、局部腐蝕或特定工況下的暫態共振等。這類狀態不易被直接觀察，卻已對系統安全與可靠度造成潛在影響，使工程監測逐步由被動檢測轉向主動感知的需求日益明確。

在此背景下，聲學與振動訊號逐漸被視為理解系統狀態的重要載體。聲音與振動源自結構與流體的動態行為，能在系統運轉過程中即時反映能量傳遞與邊界條件的變化，對早期劣化具備高度敏感性。當聲振感測進一步結合資料驅動分析與系統化判讀方法，其角色不再僅為輔助檢測工具，而是轉化為能夠支持系統狀態理解與風險辨識的主動感知手段。

本專題所探討之智慧聲振偵測技術，即建立於此一概念之上，其關注重點並非單一設施或特定產業，而是複雜工程系統在長期運轉與高風險條件下的主動感知與健康狀態辨識問題。透過聲振訊號的主動化取得與系統層級整合，智慧聲振偵測得以跨越傳統點式監測限制，逐步發展為具備跨尺度與跨場域特性的感知方法。

在內容安排上，本專題由城市尺度延伸至能源與工業尺度，呈現智慧聲振偵測於不同類型複雜工程系統中的應用實例。相關研究涵蓋智慧城市供水管網的主動聲振診斷、離岸風電設備的聲紋式維運、長距離管線的低頻主動聲波安全監測，以及高溫高壓電廠管線的聲振檢測與結構完整性評估，並進一步透過全佈式光纖感測技術，實現長距離、連續且不中斷的聲振感知能力。

綜觀研發與應用趨勢，智慧聲振偵測技術正由檢測導向逐步邁向系統感知導向，並在高可靠度工程系統、智慧工安與預測維護等領域展現關鍵價值。本專題期望透過跨場域與跨尺度的案例整理，呈現智慧聲振偵測由「檢測手段」進化為「系統感知方法」的發展脈絡，並為未來複雜工程系統的安全與智慧化提供參考方向。📌