

## 2. 項目簡介

(項目所屬科學技術領域、主要研究內容、發現點、科學價值、同行引用及評價等內容。)

這是一個接近二十年的旅途。由於愈來愈多大型土木結構落成，加上特大颱風，地震，船撞橋等天災或意外，結構健康監測和識別成為土木工程的熱門領域。本項目涉及結構動力學一系列貝業斯方法的建立。其中，我的個人專著 *Bayesian methods for structural dynamics and civil engineering* [1]，是這個領域的第一部專著，被他引 251 次(Scopus)。

約 20 年前，貝業斯方法只能考慮簡單的結構模型，並要求所有輸入數據(即外力，如風壓，地震，車流等引起的外力時間序列)，但實際應用顯然不可行。我從 2001 年起發展了多個貝業斯方法，用於沒有輸入量測情況。另外，也開發了其他貝業斯方法以解決輸入量測含噪音或只有部份量測的情況。這些方法涵蓋不同工程條件。如：地震較容易量測，但整個風場和橋上車流引起的外力難以量測。除了結構參數識別，我還建立了基於信息熵的貝業斯傳感器布置法，從最初考慮單一類傳感器到後來多類傳感器。我和學生 Kuok 也探討了環境因素對結構力學性質的影響，更獲得澳門史上第一次挑戰杯一等獎。

子結構識別：大型結構識別難點是構件多，因此待定未知數多。因為結構不同部份的耦合，不能單獨只考慮某些部份。我和 Katafygiotis 提出貝業斯子結構識別法。此方法引起很大關注，因為它能降低未知數個數，每次只識別部分結構。但後來發現在某種情況下，會出現數學病態問題。最近，我和學生 Huang 利用界面力連續性，分別發表了時間域和頻率域的貝業斯子結構識別法，徹底解決上述數學病態問題。

模型選擇：結構動力領域的系統識別以參數識別為主，但選擇合適的參數模型更為關鍵。Beck 和我在 *ASCE Journal of Engineering Mechanics* 發表了結構動力學的第一篇貝業斯模型選擇論文。以這篇論文為基礎，我和學生把貝業斯模型選擇拓展到類神經網絡的節點數選擇和地震衰減關係等。這些並非直接應用。例如：地震衰減關係中，便把原方法拓展到一類非線性模型。另外，也發展了貝業斯非參數化廣義迴歸網絡。

實時識別：當取得新數據點 (例如每 0.01 秒)，結構模型被馬上更新。擴展式卡曼濾波器是常用工具，但一個長期困擾問題是如何給定輸入及輸出噪音的協方差矩陣。我建立了實時貝業斯噪音協方差矩陣識別法。另外，建立了實時貝業斯模型選擇法。該論文[11]不單發表於土木工程影響因子最高的 *CACAIE*，更是此期刊該兩年所有論文被引用第二位。對於異常數據，我和學生 Mu 提出並推導了異常數概率，更開發了實時貝業斯異常數判斷法。

前面提到系統識別的兩個層次：參數識別和模型選擇。我去年提出第三個層次：基於自我修復模型的系統識別。這方法大大擴張解的空間，以少量簡單模型達到大量複雜模型的效果，使大型系統識別向

前踏進一大步。

另一剛發表的工作基於無線傳輸網絡，在每個傳感節點只用自己的數據進行識別。這想法讓人驚訝，因為單一節點數據不能準確識別大量參數。但貝業斯方法可量化不確定性，這些高不確定性的單一節點識別結果，以遠低於採樣頻率傳到中心節點，再以貝業斯方式融合，可減少數據傳輸量 90%以上。這方法亦同時解決數據不同步問題。

通過近 20 載努力，解決了上述多個重要結構識別問題，更已形成一套貝業斯方法體系，成為土木工程貝業斯方法的基礎。我發表的貝業斯論文共被引用超過 2000 次(Web of Science)，3000 次(Scopus)及 4000 次(Google Scholar)，而我對貝業斯方法的貢獻被同行評價為前沿和開拓者，將在"第三方評價中"詳述。

(字數不超過 1200 字)