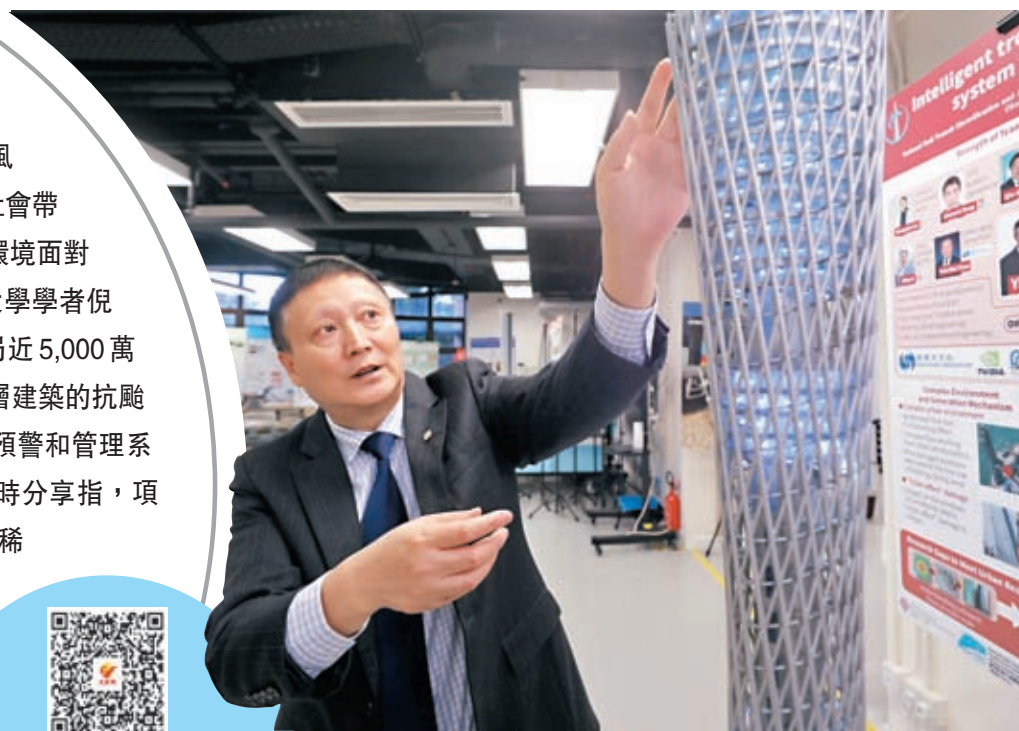


◆颱風「山竹」襲港，高樓嚴重爆玻璃。資料圖片



全球極端天氣出現愈見頻繁，香港2023年便經歷連場超強颱風吹襲，其中「小犬」和「蘇拉」更分別達到九號風球和十號風球，不但擾亂市民的日常生活，更為社會帶來重大經濟損失。為應對複雜城市環境面對極端風暴帶來的風險，香港理工大學學者倪一清領導的團隊2023年獲研資局近5,000萬港元撥款支持，針對沿海城市高層建築的抗颱風問題，開發實時城市颱風風險預警和管理系統。他近日接受香港文匯報專訪時分享指，項目會設計出一個框架，能夠通過稀疏測量有效和準確地評估湍流，並量化複雜城市空氣動力學引起的風險，更可為城市復原力進行定量的韌性評估，從而更全面地預視風災對關鍵建築物構成的潛在風險與後果，防患於未然。

◆香港文匯報記者 姜嘉軒



◆倪一清領導的團隊2023年獲研資局近5,000萬港元撥款支持，針對沿海城市高層建築的抗颱風問題，開發實時城市颱風風險預警和管理系統。香港文匯報記者郭木又攝



港理大開發實時預警系統 機器「自學」自行更新模型

「神算」測颱風路徑 評估高樓能否頂住

「每年全世界因颱風造成的損失達到260億美元，其中88%就發生在我們東亞和北美地區。而單計2018年出現的十號風球『山竹』，就令香港超過500座高層建築受損，全港直接損失達46億港元。」每到風季都伴隨着莫大威脅，但理大土木及環境工程學系智能結構與軌道交通講座教授倪一清表示，現時仍未有一個系統可針對城市高樓狀況進行預警，告訴人們颱風襲港時哪個地區、哪座高樓危險較大。

致力準確評估空氣湍流

為此，其團隊開展「INTACT：沿海城市智能式熱帶風暴減災系統」項目，以建立實時城市颱風風險預警和管理系統，既可用作有效的應急指導，例如疏散安排和臨時加固玻璃幕牆等，亦可為高層建築的抗颱風設計提供新的方法論和設計指導準則，可直接對建築行業、發展商、公眾，以至城市管理帶來中長期效益。

倪一清分享道，團隊會建立一個數據驅動模型

(Data-driven model)，當中會涵蓋全港的高層建築群，「只要這個模型確認是準確，將來颱風一到，就可以用系統算出其路徑區域內，相關建築對風的響應是多少」，從而了解它們的安全風險。

他進一步解釋，團隊已從包括政府部門在內的多個合作機構，取得全港高層建築物數據，「我們實際上不需要非常詳細的數據，無須每根柱、每根樑都模擬進去，我們只需要知道它的幾何尺寸如何，以及它的振動頻率（Vibration frequency）是多少。」當這些信息放到模型中，加上團隊於準確評估空氣湍流方面做了大量工作，「於是在模擬的建築物上加上風荷載，然後計算它在空氣動力作用下，該建築物的動態響應（Dynamic Response）如何，假如響應很大，或是玻璃幕牆受到的壓力很大，超過原來設計，那麼被破壞的風險就很高了。」

循韌性角度評估建築物潛在風險

此外，系統不只計算建築層面的破壞受損，還會循韌性（Resilience）角度全面評估建築物的不

同潛在風險。「以1999年十號風球『約克』襲港為例，導致稅務大樓、入境事務大樓和灣仔政府大樓數百塊玻璃掉落地面，除了建築本身受損外，對政府部門、公司運作影響其實更大。」

所謂韌性是指，當建築物受到破壞後，重新恢復直至能夠如常運作為止，「只算天花板和玻璃幕牆的損失是沒有意義的，建築受損導致裏面的公司停止運作，人們無法上班，這段期間造成的總損失，才是我們最關心的。」

該系統日後可對建築物的潛在損失提供更多指標，「以往人們只管結構、建築安全，譬如說玻璃幕牆壞了，就只算重新修復的施工費用，但以後還要考慮窗框掉下去，有可能砸到路人等保險問題，亦要評估建築物一旦受損，對裏面各類商業行為的影響。」這些指標可讓相關持份者更好的衡量損失，該為建築物採取何等程度的防風措施，亦可為未來的高層建築設計提供更優良的準則。

「這系統跟ChatGPT相似，輸入得愈多，它就懂得愈多，還會自行更新模型，變得更加準確，這就是使用machine learning（機器學習）的好處。」這項目於今年1月1日正式展開，為期5年，「天文台亦有跟我們合作，將來有需要可以取用，當發現有八號或以上風球到來就可啟動它，進行實時的颱風風險預警和城市韌性評估。」

「通道效應」易爆玻璃 「連鎖效應」殃及池魚

颱風對密集城市破壞力十足，倪一清指出，在香港複雜的城市環境下，易讓風在高樓建築間加速流動，超出玻璃幕牆的承受力導致碎裂，加上玻璃碎片在風中再擊碎其他周邊建築造成「連鎖效應」，致令大量高層建築玻璃幕牆受損尤其嚴重。

「香港樓高而密集，當颱風經過密集建築間，便因『通道效應』而加速流動。當風的荷載高過玻璃幕牆所能承受的範圍，便導致碎裂。此外，由於城市空氣動力學所產生的複雜流動，受損最嚴重的位置往往是第一排迎風建築物的後方。」

不僅如此，倪一清指出，颱風登陸香港

後，還會造成一種獨特的「連鎖效應」景象，「這個『連鎖效應』很有趣，在香港亦常見，即已經破碎的玻璃幕牆碎片在風的作用下，能擊碎附近完好建築群的玻璃幕牆，造成進一步損失。」

系統可覆蓋港全境 預警受損風險

針對此問題，倪一清指團隊研發中的「INTACT」系統，建成後可實現覆蓋香港全境建築物，便能根據實時颱風路徑與風力荷載，就個別區域內玻璃幕牆受損風險發布預警。而雖然系統模型是根據香港氣象歷史數據訓練而成，基本只能就香港地區颱風作預測，「但是算法與技術本身可轉移應用，可在世界不同地方共享，只需要加入當地數據並改進模型後便能使用。」

◆香港文匯報記者 王鼎煌

測風又想測雲 盼評估降雨量

天有不測之風雲，風雲過後伴隨的暴雨，對社會的影響往往更出乎意料之外。倪一清直言，即使團隊曾進行不少科學調研，但在2023年9月颱風「海葵」帶來的世紀暴雨前，亦從沒想過香港市區會受如斯大的衝擊，所以今次研究的最初計劃並沒有雨的部分。而如今團隊正計劃加入「降雨量預測」這項極具挑戰性的新目標，即使相關計算模型的參數遠比風來得複雜，亦希望迎難而上，嘗試為減災再多作貢獻。

倪一清指，團隊過去曾作不少調研，均反映颱風造成的市區水浸影響普遍不大，怎料2023年世紀暴雨令固有印象完全被打破，「比如說隧道裏面進水，實際上除了這次颱風（海葵）之外，以往幾乎沒有發生。」再加上2023年7月颱風「杜蘇芮」亦為包括北京等地帶來嚴重暴雨，「凡此種種都讓我們開始了討論，應將降雨量納入為預測目標之一。」

世紀暴雨過後，香港特區行政長官李家超提及，預測暴雨比預測風暴困難，香港天文台亦指，與追蹤熱帶氣旋的路徑相比，暴雨的發展其實有極大隨機性和變化迅速，所以可以提早預警的時效和熱帶氣旋警告有所不同，並強調暴雨警告一直是全球氣象機構的一個大挑戰。

參數多檢驗複雜 模型算力要求更高

「這是因為雨往往都是颱風過後，氣候突然在某些地方進行聚集產生的。它跟低氣壓有關係，首先要將氣壓分布算得很準，然後才能把雨量算得很準，所以不是一步就可以從風速算到雨的，中間有好幾個步驟，複雜的地方就在這裏。」

倪一清的團隊將嘗試加入溫度影響、空氣中的含水量、氣壓等參數到模型當中，「參數愈多，你要檢驗的就愈複雜，模型的算力要求就更高，你要算很多東西，模型的複雜度就會大很多。」因此他坦言，這次嘗試不一定能成功，「但正正是因為這個很難，全世界都沒有，所以我們想挑戰一下。」

◆香港文匯報記者 姜嘉軒



螺旋槳風速儀監測塔頂風速。

氣象站監測風速、溫度、濕度、雨量，風速儀監測風速。



高樓裝激光雷達 獲颱風第一手資料

要建立「INTACT」系統模型，準確預警與管理高層建築的颱風風險，倪一清指，那需要大量且精確的數據，包括從小尺度、中尺度到大尺度，由地面至高空數千公里的颱風相關數據，亦要收集歷史上曾經影響過香港的颱風數據，作為建模基礎。其中特別是中尺度風力數據，現有氣象機構未能提供，團隊將透過在高層建築實地安裝激光雷達，瞄準下一次颱風來臨時獲得第一手的重要資料。

中尺度風力數據 氣象機構未能提供

倪一清解釋說：「大尺度是指距建築物幾千公里上空的颱風數據，是我們熟知的氣象機構測量並記錄的颱風數據。中尺度一般指是建築物上空1,500米之內範圍，當颱風來臨時，這一範圍內的風荷載數據對計算該區域建築群抗風響應能力十分重要。小尺度就是指建築物範圍內的包

含風壓等相關數據。」他特別提到，其中中尺度範圍的風力數據，並不包括在氣象機構的颱風資料之內，是需要由項目團隊着力解決的問題。

為此，倪一清團隊將會在下次颱風來襲時，於經常發生玻璃幕牆損壞的高層建築附近，透過安裝多個激光雷達，以偵測該區域內風力、風向、風壓等數據，「這些激光雷達可以直達1,500米的高空，正好可以覆蓋我們所謂的『中尺度區域』。將它們安裝在高層建築附近地面，直射的激光可在下次颱風來臨時實時測出這一截面上每一層的風荷載數據，這對我們驗證該模型十分重要。」

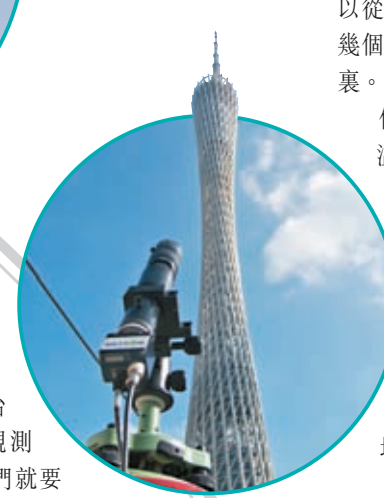
以歷史上曾影響港颱風數據為建模基礎

他表示，只有集齊不同層級的颱風數據，才能提升「INTACT」模型的精確計算與精測能力，過程中需要從多個平台收集並錄入讓模型能妥善發展。而同一時間，亦需要歷史上曾經影響過香港的颱風數據作為建模的基礎，

這當中不僅包括香港天文台的數據，還需要臨近氣象機構支援合作，「譬如颱風起點不是在香港，就要用到發源地的氣象數據。不過，當颱風到香港後，就會用到香港天文台數據。天文台在全港有大概百多個氣象數據觀測點，有些觀測站可能在島上，我們就要用到這些島上的資料。」

由於建築物的荷載與建築上層間位移的動態反應，都會影響玻璃幕牆所承受風壓及是否碎裂，倪一清指，團隊會與相關政府部門及機構、各顧問公司深入合作，取得建築的幾何尺寸、設計標準等，為建築群建模提供支持。

◆香港文匯報記者 王鼎煌



▲高速攝像機測量廣州塔塔頂位移。