

高樓建築 避震的自動控制

大樓完工啓用後，會隨時受到自然界風力或地震的影響而擺動與震動。為了讓大樓的使用者不會因為這些外力影響工作或居住品質，大樓內部必須有藉由自動控制機制所產生的力量來克服外力的影響。

■ 賴俊兆、連豐力

各大都市都競相建築超高大樓，以增加工作與居住空間。但超高大樓除了建築過程是一項艱鉅的任務外，完工啟用後，會隨時受到自然界風力或地震的影響而擺動與震動。為了讓使用者不會因為這些外力影響工作或居住品質，大樓內部必須有藉由自動控制機制所產生的力量來克服外力的影響。

減振避震的必要

針對超高大樓，通常會利用外觀設計與內部減振控制機制來減少風或地震的影響。

以台北 101 大樓為例，其外形是一細長且對稱的建築物，在尖頂的地方容易引起渦激振動。這渦激振動的產生是因為對稱細長體結構受到風力吹襲時，在柱體後方形成渦漩效應，這渦漩所造成的壓力差會使彈性的細長體來回擺動。這種渦激振動可能會在如 0.656、0.860 及 1.082 Hz 的振動頻率下產生，因為風力會向柱體垂直吹襲，進而造成劇烈的晃動。



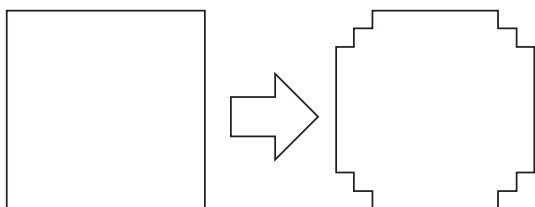
台北 101 目前是世界第四高樓（圖片來源：種子發）

通常會利用外觀設計與內部減振控制機制，來減少風或地震對超高大樓的影響。

為了減緩風力造成的振動，必須在大樓加裝一些設備，以引導或抵抗外力的干擾，避免使用者因為搖晃震動而感到不舒服。以下介紹 4 種讓風力減緩的方式，但不同的控制方式，減振效果也有所差異。

適當的大樓外形

在建造大樓之初，就須考慮大樓所在的氣候條件，設計減低該地區自然界外力影響的外貌。例如，改變大樓外牆形狀，像加上縱向縫條、孔隙外罩或螺旋狀外簾，或改變大樓的截面形狀。像台北 101 大樓，在興建之初，其外形就考慮到風力吹襲的影響，因此把其截面改為雙凹角截面，相對於傳統的方形截面，可減少風力彎矩 25 %。



台北 101 大樓的雙凹角截面（參考 Amin and Ahuja 於 2010 年所提出的概念重新繪製）

但這種方法屬於大方向的適應外在環境的設計，颱風走向、產生的振動頻率、風力等若變化，並無法即時修正，因此效果有限。

大樓外觀任意變形

如同電影〈變形金剛〉中車子可以變成機器人一樣，如果把大樓也變成機器人，依照風向的不同，或站或蹲，並且避開與風正面相對，就可減低風的吹襲。

這個方法需要許多馬達、感測器，讓大樓的外觀可以隨時依據外界自然力的狀

態改變。然而，這樣的設計需要大的電力支持，消耗大量能源。例如，位在杜拜的時代大樓就有類似變形的概念。這大樓利用太陽能發電，並且能 360 度旋轉，以每天旋轉約 52 度的角速度讓用戶天天可以看到不同風景，約 7 天可以轉完 360 度。若時代大樓使用旋轉來消耗風襲的能量，可能會有舒適性的問題，因轉得太快會造成住戶的暈眩，轉太慢則不能即時針對風的走向和振幅大小的變化改善振動。

在技術上，為了隨時適應風向變化，需要有足夠快的反應速度以避開風的吹襲或地震，但是機械、土木系統要達到比風襲或地震還快的反應能力，難度很高。在舒適度上，則受限於人類的舒適感，也難有即時的反應。因此，這方法的可行性不高。

加裝被動式避震器

為了減少能量的損耗和維持系統的方便，大樓通常會設計一套被動式調諧質量阻尼器。在大樓建造之初，先估算其共振頻率以及可能的風力變化，設計阻尼器所需的阻尼、質量等參數值。阻尼系統的所有參數，除非重新設計，否則不會有太大的改變。

這方法雖然省能源，但是無法主動針對不同風向而有對應的變化，因此大樓會先位移一點，讓阻尼慢慢消耗風吹的能量，經過一段時間響應，才回復平衡位置。

加裝主動式避震器

由於利用變形機器的設計概念所需付出的能源太大，技術層級也很高，因此在不改變大樓主體結構的前提下，在樓頂加裝一套主動式調諧質量阻尼器，並在阻尼器上配置一組可以控制的馬達或制動器，可在大樓被風吹動前，預測風力所造成的

利用制動器配合適當的自動控制決策，產生對應的反作用力，可讓大樓較快地回復到原始的靜止位置，以達到整體穩定的狀態。

位置偏移，即時產生補償的力量，使得大樓達到力量平衡的狀態。

從外觀上看來，大樓是平穩不動的，然而其結構體本身其實是受到風力和主動式避震器互相鉗制，達到力量平衡。

效果比較

所謂的自動控制，是依照所需的特定機制隨時改變或維持大樓中某些重要的物理量。例如，機器人大樓與主動式調諧質量阻尼器都是採用自動控制的設計概念，以達到減振或避震的效果。也就是利用制動器配合適當的自動控制決策，產生對應的反作用力，讓大樓可以較快地回復到原始的靜止位置，以達到整體穩定的狀態。

至於被動式的調諧質量阻尼器與改變大樓外形的設計概念，則是較為靜態，或是利用被動的方式達到減振的目的，但效果並不如利用自動控制的模式。被動式調諧質量

阻尼器在受風力吹襲時，只能被動地跟著風移動，相對於什麼都不裝，被動式調諧質量阻尼器只能減緩受風吹襲的擺動幅度。

若利用主動式調諧質量阻尼器，當強風突然吹襲時，可能會稍微外偏，但會受到阻尼器的反制機制，主動地使大樓回復到原始的穩定位置或狀態。這時，雖然風仍然在吹，但大樓本身已經感受不到晃動的情形，甚至會平衡靜止不動。在力學上來說，大樓本身同時受到主動式調諧質量阻尼器與風力兩者之間的相互影響，達到平衡的狀態。

大樓抗震概念

方法	是否有控制
大樓機器人	是
主動式調諧質量阻尼器	是
被動式調諧質量阻尼器	否
改變大樓外形	否

世界著名大樓的減振方式

地點	建築物名稱	主被動形式	高度 ¹ (公尺)
高雄	高雄 85 大樓	主動	348
大阪	Applause Tower	主動	161
多倫多	CN Tower	被動	457
大阪	Crystal Tower	被動	157
雪梨	Sydney Tower	被動	260
紐約	Citicorp Center	被動	279
波士頓	John Hancock Tower	被動	241
台北	101	被動	449

¹ 高度不含天線。

任何一項設備或系統，背後都有一套相當複雜且巧妙的自動控制迴授機制，隨時隨地監控與操控這些設備或系統中的所有狀態。

台北 101 大樓採用被動式調諧質量阻尼器，阻尼器上並沒有馬達可以主動移動阻尼器的質量，而是從 92 樓往下懸吊一個大球，大球的質量是 660 公噸。為了避免大球被動地搖動過猛，反而造成大樓受損，同時設計了緩衝環以限制大球本身的運動範圍。大球本身的吸震方式則是在大球下加裝油壓黏滯性阻尼器，使大球的擺動與大樓一致，並由阻尼器吸收動能。世界各地其他的大型大樓，各採用不同的減振方法。例如，高雄的東帝士摩天大樓是使用主動式調諧質量阻尼器。

自動控制用處多

從上述的說明可以了解，自動控制與決策在維持這些系統的安全以及提升各項功能上，扮演著相當重要的角色。

任何一項設備或系統，小從一輛自行車，大到飛機或捷運運輸系統，除了各項專門的工程技術外，背後都有一套相當複雜且巧妙的自動控制迴授機制，隨時隨地監控與操控這些設備或系統中的所有狀態，以提供一個安全且舒適的生活環境。

賴俊兆、連豐力
臺灣大學電機系

