

## 附錄B 以極值分析理論決定風洞試驗設計風壓風力係數

我國規範中針對局部構材及外部被覆物之設計風壓係數的規定，除了第四章內容中所提供的參考圖表外，僅有第六章風洞試驗內容中提及有關此設計風壓係數的少許文字，實屬不足。考量到我國規範內容提供給技師或工程師計算風力或風壓的圖表需要在累積足夠份量的風洞試驗後，方能進行回歸分析納入規範。在結構物受風敏感度上升或結構物外型特殊時，經常必須採用風洞實驗取代規範。因此可以說風洞實驗報告本身由規範給予法律上的位階，承認其與規範平等的地位。

由於風力受結構物外型影響甚大，因此無論規範內提供的圖表如何更新，亦將永遠追不上現實生活中發展出來的各式各樣建築物。因此，有效的風洞實驗模擬以及正確的數據分析方法才是治本方法。其基本概念是，由規範承認風洞實驗之有效性後，應當由實驗單位提出具有學理邏輯的分析方式，估算結構物的風壓係數作為風載重的計算依據。

本規範 6.2 節中，本文提及目前採用風洞實驗進行結構物耐風或環境風場的項目。於解說中分類為四種常見的風洞實驗種類，配合規範 6.3 節所要求的基本模擬條件，可視為風洞實驗技術的主要核心。解說中針對局部構件及外部被覆物所受之局部風壓實驗提及：「進行風壓實驗時，應適度考量風向的影響，將量測所得資料，利用統計方法，算得各風壓孔之極值風壓。將極值風壓配合該地區之設計風速，換算可得各點設計風壓。」

根據 ISO 4354-2009 中所載明的文字，如表 B.1，明確提出設計風壓係數的決定取決於極值風壓係數的非超越機率百分比 80%：

表 B.1 ISO 4354-2009 規範對設計風壓係數之規定

An appropriate design fractile value for the aerodynamic pressure coefficients is the 80% fractile of the respective extremes. This value can be obtained from the mean and rms value of the extremes as follows in Equation (D.1), assuming that the extremes follow a Type I extreme value distribution:

$$C_{p,80\%} = C_{p,mean} \pm 0.7C_{p,rms} \quad (D.1)$$

where

$C_{p,80\%}$  is the 80%-fractile of the extreme pressure coefficients corresponding to a reference period of 1 hour.  $C_{p,mean}$  is the mean value of the extreme pressure coefficients from 1-hour samples.  $C_{p,rms}$  is the rms value of the extreme pressure coefficients from 1-hour samples. The minus sign in (D.1) is used in case of negative mean pressure coefficients.

另外在紐澳風洞實驗準則 AWES-QAM-1-2019 中，雖然沒有提及明確的非超越機率百分比為何，但指引出可以採用的參考文獻，讓設計者可引用作為估算設計風壓係數的方法：

表 B.2 AWES-QAM-1-2019 規範對設計風壓係數之說明

B7.

Determination of peak external pressure coefficients. The peak external pressure coefficient for design shall be determined as the statistical average (maximum or minimum) for a defined windstorm length in full-scale (not less than ten minutes or more than three hours).

Various methods can be used to efficiently determine the average external extreme pressure peaks – e.g. up-crossing counts (Melbourne, 1977b), sampling of maxima and minima (Peterka, 1983), determination of the extremes for shorter periods than the defined windstorm length and fitting of an extreme value distribution (Mayne and Cook, 1979). Alternatively, if the average is taken of multiple extremes in repeated identical (ergodic) experiments, no less than five time-series samples should be used.

規範 6.4 節內容中提及之「局部構件之設計風壓應採用風洞實驗在各風向下測算所得的最大極值風壓。」雖然指出應以極值風壓為設計值，但並非「最大」極值風壓。首先，不同實驗單位通常採用不同採樣頻率，雖然量測時間相同，但採樣頻率高者勢必獲得較高的極值(最大、最小值)。根據 AWES-QAM-1-2019，在滿足數據不發生錯析的前提下，訊號的有效時間間隔需考量其物理意義，並非越高越好。再者，「最大」一詞代表並未對收集到的極值進行統計分析。以 Cook and Mayne (1979)所建議的 78%來說，是求取對應極值非超越機率曲線 78%處的極值風壓係數值為設計值。若採用「最大」，則量測時間越久，自然就獲得「更大」的最大極值風壓，同樣失去物理意義。再者，非超越機率百分比的設定應依照本土氣候特性來決定，當時最早由 Cook and Mayne (1979)所提出的 78%，乃基於英國當地氣候條件所決定，未必適合台灣。

參考 ISO 4354-2009 規範、AWES-QAM-1-2019、羅元隆(2020)，可以針對規範 6.3 節解說文字中補充以下說明：

設置風壓孔密度時，應考量孔位密度不宜過小，導致局部風壓偏小而不保守。一般來說，可參考 AWES-QAM-1-2019 建議的，建築物表面每  $120\text{ m}^2$  至少設置一個以上風壓量測位置。針對表面邊緣處則應採更高密度。以風壓量測決定設計風壓係數時，應考量各風向角下的極值風壓。建議可以每十度角為一間距，進行 36 個風向角的風壓量測。

風壓量測所獲得之結果應以極值風壓相對於平均參考風速壓的係數形式呈現。平均參考風速壓應設置於不受到建築物干擾的位置，一般可採用低頻的皮托管設置於模型高度處之側牆。

風壓量測由於模型尺寸及架設導致管線過長時，應針對使用之管線進行訊號校正。其所考量之頻率校正範圍可參考 AWES-QAM-1-2019 內容，針對  $2U_h/B$  以下的頻率範圍進行振幅及相位之校正，其誤差不可大於 10%。風壓量測的採樣頻率應考量能正確估算極值風壓係數為原則，採用過高的採樣頻率時宜考量低通濾波器避免訊號錯析。

設計風壓係數的決定應考量本土強風特性進行合理估算。參考 ISO 4354-2009 及 Cook and Mayne (1979)，得以甘保分布擬合足夠數量之極值樣本數，採非超越機率百分比 80%所對應之極值風壓係數為設計值。建議極值樣本數至少 15 筆以上。採用廣義分布擬合時，應考量增加樣本數以符合擬合之準確性。估算設計風壓係數的統計方法亦應詳載於風洞實驗報告中。