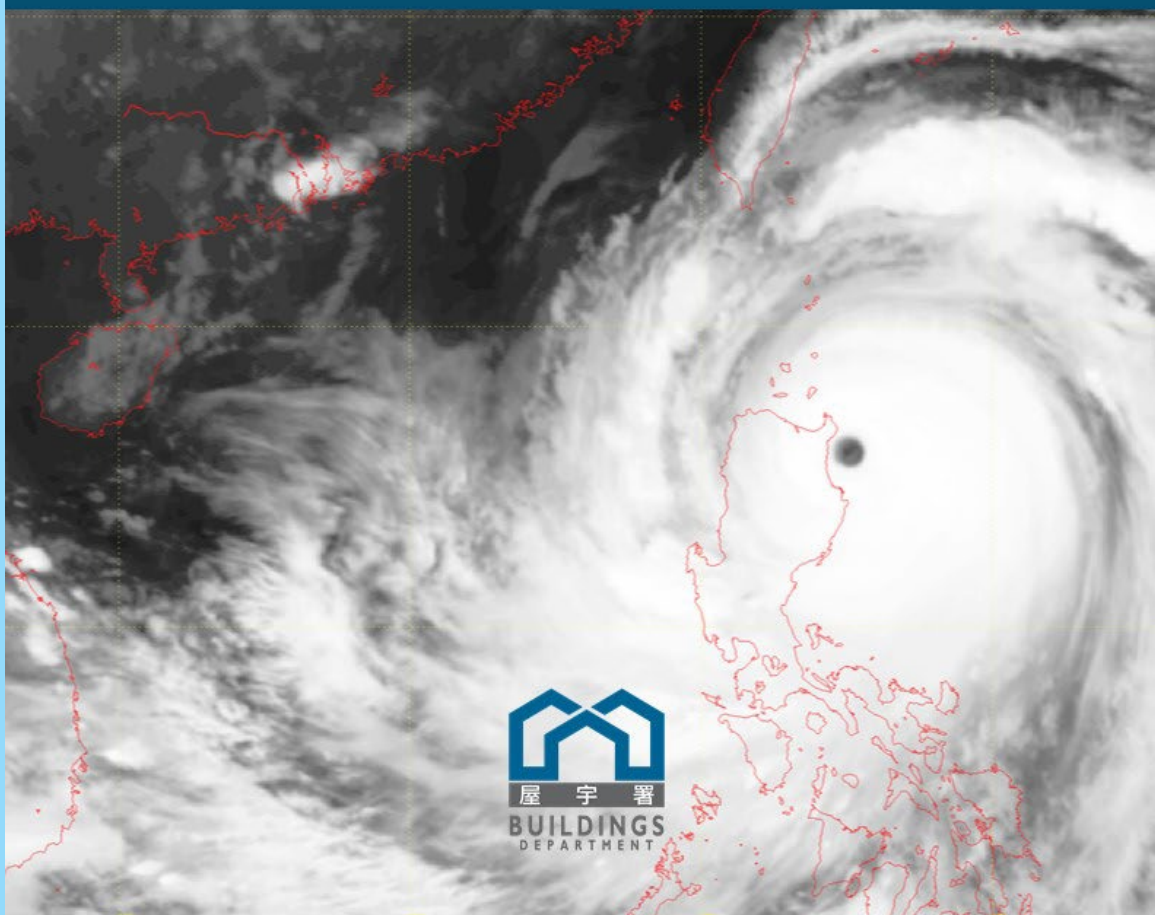


# 香港風力效應作業守則 2019年 說明資料



## 香港風力效應作業守則 2019年



# 香港風力效應作業守則

2019 年

說明資料



## 前言

---

本《說明資料》概述擬備《香港風力效應作業守則 2019 年》（《守則》）時所審閱的背景資料及考慮因素，應與《守則》一併閱讀。

為方便應用，《守則》以簡單易明的方式編撰，而本《說明資料》則深入解釋《守則》的主要更新及特點，並指出應用《守則》時須特別注意的情況。

屋宇署

初版：2019 年 9 月

# 目錄

---

|                         | 頁數        |
|-------------------------|-----------|
| 前言                      | I         |
| 目錄                      | II        |
| <b>1 總則</b>             | <b>1</b>  |
| 1.1 範圍                  | 1         |
| 1.2 符號                  | 2         |
| <b>2 計算風力作用</b>         | <b>3</b>  |
| 2.1 風力計算流程              | 3         |
| 2.2 建築物承受風力             | 3         |
| 2.3 建築物構件承受風力           | 9         |
| 2.4 建築物的風加速度            | 10        |
| 2.5 臨時構築物的最小風荷載         | 11        |
| <b>3 設計風壓</b>           | <b>12</b> |
| 3.1 概要                  | 12        |
| 3.2 有效高度的參考風壓           | 12        |
| 3.3 遮護效應                | 13        |
| 3.4 地形效應                | 13        |
| <b>4 風力系數及風壓系數</b>      | <b>14</b> |
| 4.1 概要                  | 14        |
| 4.2 建築物的風力系數            | 14        |
| 4.3 建築物構件風壓系數           | 17        |
| <b>5 尺寸因數和尺寸與動力效應因數</b> | <b>20</b> |
| 5.1 尺寸因數                | 20        |
| 5.2 建築物的尺寸與動力效應因數       | 20        |
| <b>6 風洞測試要求</b>         | <b>22</b> |
| 6.1 概要                  | 22        |
| 6.2 荷載的目標可靠度            | 24        |
| 6.3 覆蓋層的附加要求            | 24        |
| 6.4 建築物被遮護時的最小荷載        | 24        |
| 6.5 《守則》風壓與風向特性的採用      | 25        |
| 6.6 驗證要求                | 26        |

## 附錄 A

### 第 3 部分補充資料：設計風壓

#### A1 風氣候

A1.1 風向特性

A1.2 計算加速度使用的特定重現期風壓

#### A2 直接遮護效應的調整

#### A3 地形放大因數

## 附錄 B

### 第 4 部分補充資料：風力系數和風壓系數

#### B1 有顯著外牆開口的建築物的風壓系數

B1.1 顯著開口的定義

B1.2 建築物外牆的外風壓系數

B1.3 有顯著外牆開口的建築物的內風壓系數

#### B2 建築物附屬結構的風壓系數

B2.1 遮陽篷、建築鰭狀飾件及招牌

B2.2 露台

B2.3 建築物的簷篷

#### B3 獨立牆的風壓系數

## 附錄 C

### 第 5 部分補充資料：尺寸因數和尺寸與動力效應因數

#### C1 計算尺寸因數的方程式

#### C2 建築物和其他結構的阻尼

## 附錄 D

### 第 6 部分補充資料：風洞測試要求

#### D1 對獨特結構進行風洞測試的考慮因素

D1.1 概要

D1.2 體育館和大跨度屋頂

D1.3 建築物頂部

D1.4 建築物附加物

D1.5 圓形建築物

D1.6 構架測試

D1.7 多度自由度的動力反應

D1.8 氣動彈性模型

D1.9 幾何模型誤差

## 附錄 E

同一平臺上多座塔樓的荷載組合

**E1** 概要

**E2** 關鍵平移荷載情況

**E3** 關鍵扭力荷載情況

E3.1 兩座以上的塔樓

E3.2 雙塔

## 附錄 F

參考資料

# 1 總則

---

## 1.1 範圍

《香港風力效應作業守則 2019 年》（《守則》）旨在擴闊《香港風力效應作業守則 2004 年》（《2004 年守則》）的指引範圍，同時就香港一般建築物的設計提供更全面的指引。

《守則》的計算方法經調整後，與其他國際標準方法更趨一致，特別是澳洲／新西蘭標準 AS/NZS 1170.2、美國土木工程師學會標準 ASCE 7-16 及《歐洲規範》BS EN 1991-1-4。這樣能共用這些標準在未來的發展成果，有需要時能直接引用這些標準的數據，作為《守則》的補充，亦可有助日後銜接。此外，為解決不同標準間的差異，並就香港相對窄長的高樓大廈取得較佳的風荷載資料，擬備《守則》時亦進行了進一步研究。

ASCE 7-16 及 AS/NZS 1170.2 標準能直接計算極限狀態設計荷載，以對應重要建築物遇上“兩千年一遇”的風暴的情況，亦與 BS 及 BS EN 標準通過風荷載標準值乘以荷載因數求得極限狀態風荷載的用意一致。

由於預計日後可能就此方向作出改變，《守則》亦加入了目前香港使用的風荷載因數。原則上，《守則》參考風壓可乘以現有 $\gamma_w$ 數值 1.4，以直接計算極限狀態風荷載（相對應的未來 $\gamma_w$ 數值為 1.0），而這不會對以《守則》所載方法計算的極限狀態風荷載帶來任何改變。

《2004 年守則》中的參考風壓予以保留但有所調整，以避免因使用新的風壓系數而導致不必要的系統性增加，同時令荷載結果更貼近風洞測試的結果。新規則能有助識別易受風力破壞的建築物，但較不易受破壞的建築物的荷載或會降低。

風洞測試的應用在香港相對普遍，但測試所須遵循的規則需要改善，特別是要確保參考風壓的校準方法一致。因此《守則》分別就建築物測試及研究地形影響的測試定下更完善的規則。此外，《守則》亦提出評估所需的最低資料要求，以進行獨立風洞測量評估。

於簡單的高度準則以外訂立可靠的臨界標準以判斷何時進行風洞測試是個艱鉅的問題。妥為校準的風洞測試，是《守則》風荷載的基礎，但其數值顯然已大幅簡化以大致涵蓋在各情況下計算的結果的最大值以便於守則制定。然而，用於《守則》的測試情況並非詳盡無遺，通常僅限於相對簡單的矩形方塊。為了令《守則》的規則更實用，《守則》擴大了

規則的範圍，提供涵蓋多個可視為矩形的形狀的方法。與上述方法相似的概念，亦可依照規則應用於接近梯形的形狀，儘管在這種情況下關鍵風向可能並非完全正交。

對於無法明確應用規則的不規則形狀，應參考其他指引或進行風洞測試。同樣地，《守則》規則亦無法明確應用於“複雜地形”，特別是極度三維形式的山丘。

如需要更詳細了解風荷載或建築物移動的情況，建議選擇風洞測試。

《守則》的前言列載《守則》多項重要改變。以下將於各部分詳細介紹這些改變及其理由。

## 1.2 符號

《守則》需要在《2004年守則》之上補充符號和說明。《守則》根據 NJ Cook 在 BS 6399-2 採用的符號訂立命名法，但大致跟從以往的做法。在可行的情況下，大寫字母與小寫字母下標一併使用，令有關命名無需加上下標也清晰易明（例如用於試算表和內部報告中），這樣比引用其他標準節省不少時間。為清晰起見，《守則》盡量少用下標。

一如以往，由於羅馬字母不敷應用，《守則》亦用上希臘字母，盡可能與現有的風力守則保持一致。

大部分命名已有充分的定義，無需額外解說，但在香港位於複雜地形的地區和具有屋頂設施的建築物，其“高度”的定義可能需要更多指引。

建築物在地面以上的高度（ $H$ ），可能會由於建築物每一面處於不同的地面水平，各自的高度  $H$  因而不同。 $H$  可定義為建築物各個表面在平均地面水平以上的高度。在計算參考風壓  $Q_h$  時，僅以最大高度計算，是較為簡單而不特別保守的做法。在考慮周邊環境的影響或計算風力系數時，才按方向而改變  $H$ ，可能更有價值。

用於計算建築物加速度和側風底盤彎矩的高度  $H_b$  可同樣定義為建築物在地面水平以上的高度，但不包括佔總高度一小部分及與下方建築物的棱柱體形狀不同的部分，例如斜面屋頂和不規則屋頂機房。這與側風動力相關的氣體動力特性有關，該模式對棱柱體建築物的效果明顯，對非棱柱體建築物的效果則顯著減弱。



## 2 計算風力作用

---

### 2.1 風力計算流程

《守則》的這部分提供了流程圖，以助查找不同情況下所需瞭解的《守則》相關條文。

《守則》的計算流程與很多其他國際標準（包括前文提及的標準及《2004年守則》）一樣，是基於與風力系數和風壓系數匹配使用的峰值陣風參考風壓。

風荷載隨高度、開敞程度和風向而變化。構件的荷載取決於構件與陣風尺度的相對尺寸。建築物受到風的動力激發，可能產生附加慣性力。依照現行做法，這些效應將根據 Davenport 風荷載鏈（即多數容許獨立考慮各種因素）分開處理。

然而，由於過往曾多次嘗試克服現有方法的限制，各套標準對動力反應的計算方法有所不同。《守則》採用尺寸與動力效應因數（ $S_{q,z}$ ）計算順風整體風荷載效應，從而克服下述的一些限制。

根據現行做法，將假設較小的建築物構件、覆蓋層和其他建築物附屬結構只會承受準靜態陣風風壓，動力不會放大。這足以涵蓋一般建築物構件的設計，但外懸屋頂和大跨度外牆等相對柔性的構件，可能會承受顯著的附加動力。直徑較小的構件可能也會承受渦激振動。如對獨特構件的設計有疑問，應請有關專家進行審視。

《守則》亦提及評估使用者可能感受到的建築物振動的方法。

### 2.2 建築物承受風力

#### 2.2.1 順風風力

《守則》在順風風力計算方法上的重大變動，是將《2004年守則》中“靜態方法”與“動態方法”的區分撤銷，取而代之的是採用尺寸與動力效應因數（ $S_{q,z}$ ），這是涵蓋兩種情況的統一計算方法。

#### 2.2.2 扭力

扭力由靜態陣風風壓（特別是由斜風向或周邊環境影響而成）或動力效應（建築物高層質量在平面偏移）產生。

最近更新的作業守則如 ASCE 7-16、BS 6399-2、AS/NZS 1170.2 及 BS EN 1991-1-4 提供了相關指引，作為《守則》在得出有關方法時的參考。

有守則將橫向荷載作一恆定值的偏移，從而得出扭力荷載。然而，這些數值的來源不明。在擬備《守則》過程中進行的風洞測試數據研究顯示，扭力會隨著建築物加長而增加，這與風沿對角線時在迎風末端背後的脫體漩渦有關。因此，《守則》對扭力偏心距的定義為隨平面比率 ( $B/D$ ) 線性增加，取值範圍由最小值  $\pm 0.05B$  (如建築物平面為正方形)，到  $\pm 0.2B$  (如  $B/D$  等於 6.0)。由於  $B/D$  比率大於 6.0 的建築物的相關資料有限，需要風洞測試數據。

某些作業守則提到，扭力與全部橫向荷載可同時施加。其他守則考慮到最大橫向荷載與扭力荷載不一定同時存在，故使用附加的荷載組合因數。如下文荷載組合部分所述，《守則》採納了第二個方法。

### 2.2.3 側風底盤彎矩

一般而言，側風效應對周邊環境和建築形式十分敏感。其能量主要來自於自身產生的漩渦脫落。

《2004 年守則》第 7.6 節中指出，如有明顯側風共振反應，其共振動力效應須根據已發表文獻的建議及／或透過進行風洞研究予以測定。

《守則》提供評估側風動力反應的簡化計算方法。該方法以《加拿大國家建築守則》為基礎，配合《守則》的數據和命名法重新寫成方程式，根據加速度計算底盤彎矩。(即  $W_z = m_z A_{y,z}$ ，其中  $m_z$  為在高度  $Z$  的質量，其他專門名詞已根據命名法定義。)

選擇《加拿大國家建築守則》計算側風效應的方法，而非其他守則所述的方法，是因為其相對容易使用，且能合理預測與風洞測試結果相近的側風反應。該方法原先透過對不同周邊環境下的建築物進行的一系列測試而作出校準，雖然不一定能完全包含因其他建築物抖振令反應有時增強的影響，但其他守則所述的方法亦未能提供更可靠的預測方法。

由於使用《加拿大國家建築守則》所載方法計算的側風底盤彎矩與風速的 3.3 次方而非風壓的 2.0 次方成正比，極限側風底盤彎矩可直接從建築物頂部的極限平均風速 ( $\frac{\sqrt{2}\gamma_w Q_h / \rho_a}{1+3.7I_{v,h}}$ ) 計算出來。計算結果應除以  $\gamma_w$ ，讓相關結構設計守則以慣常方式使用有關數值。

《加拿大國家建築守則》模型適用於：

- a) 矩形棱柱體形狀

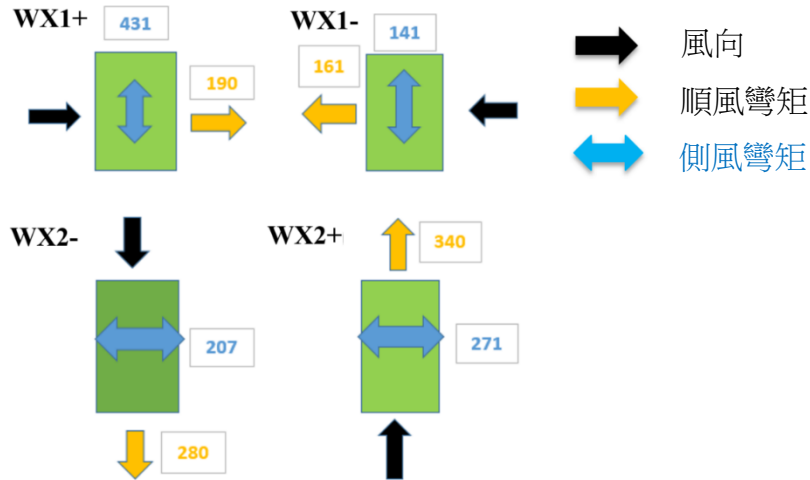
- b) 模態變形大致隨高度作線性變化
- c) 建築物上半部分質量相對一致
- d)  $0.5 < B/D < 2$

根據較近期的風洞測試經驗，如 $B/D$ 超出 $0.5 < B/D < 2$ 的限度至大約 1 比 4（或 4 比 1）的比例，採用《加拿大國家建築守則》規則仍保持相若的可靠度。若超出此範圍，採用風洞測試則可能更適合，但也視乎扭力荷載隨平面比率增加而更為顯著的程度。

在很多棱柱體模型的風洞測試中，《加拿大國家建築守則》的方程式可視為合理的預測指標，但對於明顯為錐形或階梯形的建築物，以及具有不規則建築平面的建築物，《加拿大國家建築守則》的方法則偏向保守。寬度和建築平面改變，會令漩渦脫落在一定頻率範圍內變得不規律，從而減低對結構頻率的激勵作用。這同時反映於已發表有關煙囪的規則。

在同一荷載方向，當側風底盤彎矩大於順風底盤彎矩，順風風力將按比例放大以達至與側風相等的底盤彎矩。然而，如果比例放大因數對設計非常重要，或者大於 50%，則必須準確評估側風反應，因此需要進行風洞測試。在同一荷載方向，如果側風底盤彎矩小於順風彎矩，則無須考慮側風荷載。以下是具體運作的示例，由不同風向引起的彎矩（單位：NMm）如下圖所示：

- WX1+：順風，190；側風，431；
- WX1-：順風，161；側風，141；
- WX2+：順風，340；側風，271；
- WX2-：順風，280；側風，207；



以下用於檢查是否需要進行風洞測試：

- WX1： $(207, 271)_{\max} / (190, 161)_{\max} = 271/190 = 1.43 < 1.5$
- WX2： $(431, 141)_{\max} / (280, 340)_{\max} = 431/340 = 1.27 < 1.5$

兩個方向的側風彎矩均沒有比順風彎矩大 50%；因此需要使用標準方法。

以下用於計算順風風力在相應方向的比例放大因數：

- WX1+： $(207, 271)_{\max} / 190 = 271/190 = 1.43$
- WX1-： $(207, 271)_{\max} / 161 = 271/161 = 1.68$
- WX2+： $(431, 141)_{\max} / 340 = 431/340 = 1.27$
- WX2-： $(431, 141)_{\max} / 280 = 431/280 = 1.54$

對於非常窄長的建築物，乘以因數後的風速，即  $\frac{\sqrt{2\gamma_w Q_h / \rho_a}}{1 + 3.7I_{v,h}}$ ，可能大於臨界風速，即  $V_{crit} \approx 10N_y B$ ，此時來自矩形建築物的漩渦脫落的影響最大。如風速超過  $V_{crit}$ ，荷載將不會如方程式 2-2 所示，繼續隨風速增加。就初步強度設計而言，風速可限於  $V_{crit}$ ，但需要通過風洞測試驗證其反應，否則應按照《守則》的方法計算。

剛硬及闊身的低矮建築物，其側風荷載小於順風風荷載，可無須考慮側風底盤彎矩的檢查要求。

就特定參數進行的參數研究顯示，假設兩個方向的固有週期均為  $H/46$ ，而建築物符合  $\frac{H}{\min(B,D)} < 5$ 、 $H < 100$  米及  $N > 0.5\text{Hz}$  的條件，即使考慮到週期預測存在一定程度的不確定因素，同一方向的順風底盤彎矩總是大大於側風底盤彎矩。因此當建築物符合上述條件時，則無須對側風底盤彎矩進行檢查。

## 2.2.4 設計用的風力組合

《守則》就風力反應的必要組合提供指引。要取得來自各個風向（不只是正交）的風力效應，以及順風、側風和扭力反應同時產生時的風力效應，需要使用這些組合。

目前有很多以風洞測試檢查為基礎的半經驗方法，其中有部分已納入守則當中使用。《守則》採納以下包絡參數，得出橫向及扭力荷載的三個基本荷載情況（ $F_x$ 、 $F_y$  和  $M_z$ ）共 24 個組合：

(a)  $\pm 1.0 F_x$  &  $\pm 0.55 F_y$  &  $\pm 0.55 M_z$

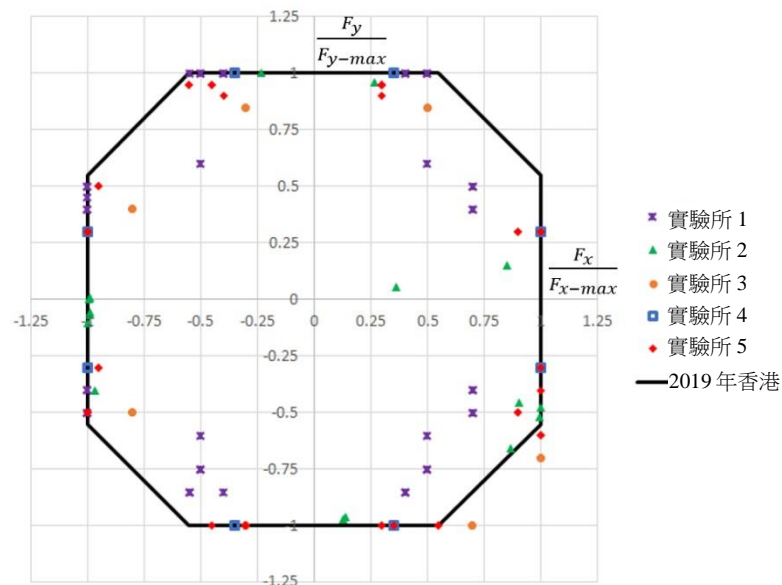
(b)  $\pm 0.55 F_x$  &  $\pm 1.0 F_y$  &  $\pm 0.55 M_z$

(c)  $\pm 0.55 F_x$  &  $\pm 0.55 F_y$  &  $\pm 1.0 M_z$

就矩形建築物而言， $F_x$  和  $F_y$  為在橫向方向的最大風力（根據《守則》計算所得的最大順風及側風風力）； $M_z$  則為根據《守則》計算所得的最大峰值扭力，計算時假設位置在面積中心附近。

24 個荷載組合能合理地提供一個包含  $F_x$ 、 $F_y$  和  $M_z$  所有可能組合的三維空間。

所選荷載組合因數接近包絡風洞測試荷載的情況。以下簡化二維圖表展示從不同風洞實驗所的不同項目中抽取的荷載組合因數  $F_x$  和  $F_y$ ，實驗所包括 The Boundary Layer Wind Tunnel Laboratory、CPP Inc.、香港科技大學、Rowan Williams Davies & Irwin Inc. 及 RED Consultants Limited。



《守則》就荷載組合因數與 ASCE 7-16、BS 6399-2、EN 1991-1-4 和 AS/NZS 1170.2 標準進行比較。《守則》建議的因數與 ASCE 7-16 相比稍為保守，但與其他標準建議的方法及 John Holmes 對 AS/NZS 1170.2 的解說相近。

很多常見建築形式抗扭力的能力表現良好，施加扭力荷載可能對其構件內力的影響不大。《守則》載有識別該等建築物的規則，設計時可無須考慮扭力荷載，以簡化設計過程。規則包括：

- (a) 高度不超過 10 米的單層建築物。ASCE 7-16 亦有類似規定，其高度限制為 9.1 米（30 呎）。
- (b) 建築物高度不超過 70 米且具有抵禦橫向荷載的周邊結構，如各立面上均有砌石或混凝土剪力牆或支撐鋼結構。雙向多跨框架結構也可視為屬於此類別；但如支柱向後退入，其向後退入的距離（從支柱中心量度）不得超過 5 米或建築物在向後退入方向的尺寸的十分之一，以較小者為準。
- (c) 通過類似 ASCE 7-16 的“扭力規則檢查”的建築物。

由於 ASCE 7-16 的“扭力規則檢查”是為低矮建築物而設，當中大部分風力引致的撓度是由剪力荷載而非彎曲應變而成，因此高樓大廈的規則應重新定義為由扭力產生的剪力應變與由橫向剪力產生的剪力應變的比較。

雖然《守則》未有提及，但根據 ASCE 7-16 第 D.6 部分所定義不易受扭力荷載影響的建築物，其荷載情況可保守地進行簡化。

如完全不考慮扭力荷載，荷載情況的總數會由 24 減到 8。

《守則》亦就扭力效應不明顯的情況，提供有關扭力規則檢查的詳細規則。規則透過省略《守則》表 2-1 情況 3 中以扭力為主的荷載組合，將荷載組合的數目限於 16。

本部分提到最終荷載組合可不包括扭力荷載，但並不代表在限值內的建築物不存在扭力風荷載。

《守則》使用者可保守地取全部荷載而不使用折減因數，從而減少設計荷載組合的數目。例如，如取全部扭力（組合因數為 1.0），荷載情況的數目可由 24 減到 16；如取三個組成部分的全部荷載，荷載情況的數目可由 24 減到 8。如風荷載對建築物設計影響較小，此方法則很有幫助。

## 2.3 建築物構件承受風力

### 2.3.1 圍封式建築物覆蓋層承受風力

建築物覆蓋層構件承受的總風力為作用於構件的內外表面的風力總和。一般而言，內風壓與外風壓並非直接相關。因此，國際標準大多會分開計算內外風壓。然而，為方便計算，《守則》本部分會保留《2004年守則》對完全圍封式建築物的淨風壓的定義。

設計風壓 $Q_z$ 的參考高度改為建築物頂部高度，而非《2004年守則》所述的實際標高。這與 BS 6399-2 或 BS EN 1991-1-4 的做法相同，亦與風洞測試結果吻合。原因是在位移高度以上，建築物側面和背面分離氣流區域內的負壓分佈會比較平均。再加上建築物令風壓向下偏轉，正壓的變化亦遠小於來流風剖面的變化。內外風壓分開計算的步驟載於附錄 B1，以便處理特殊情況。

考慮到外部的平均峰值風壓與受載面積的大小和位置有關，《守則》採用了尺寸因數 $S_s$ 。此效應在 BS EN 1991-1-4 中以 $C_{pe,1}$ 和 $C_{pe,10}$ 的差數反映；在 AS/NZS 1170.2 中以面積折減因數 $K_a$ 和局部風壓因數 $K_l$ （後者取決於受載面積的位置）反映，以及在 ASCE 7-16 中以同樣取決於有效受載面積的大小和位置的各項外風壓因數 $GC_p$ 反映。

在《守則》中，為計算圍封式建築物覆蓋層承受的風力，尺寸因數會應用於淨風壓的計算中。當尺寸因數 $S_s$ 大於 1 時，該調整同時應用於內外風壓的計算中，因此所得的值會較為保守。

尺寸因數也可用作計算建築物附屬物、獨立牆及開敞式構架所承受的淨風荷載。

### 2.3.2 有顯著開口的覆蓋層承受風力

與《2004年守則》相比，《守則》作出了重大的改變，提供了有顯著開口的建築物表面所承受的風壓的計算方法。如附錄 B1.1 及 B1.2 所述，此類建築物表面承受的內外風壓需分開計算。

上述建築物表面的外風壓尺寸因數 $S_s$ 與圍封式建築物表面的外風壓尺寸因數相同，而內風壓的尺寸因數 $S_{s,i}$ 則與顯著開口的尺寸有關，而非受載面積的大小。



## 2.4 建築物的風加速度

### 2.4.1 加速度

《守則》採用《加拿大國家建築守則》的方法來估計側風加速度，從而提供建築物振動的計算方法。該方程式是由 AG Davenport 及其團隊根據邊界層風洞研究在不同周邊環境下的測量結果所提出。儘管數據明顯地分散，但是數據在反應經“折減風速”這一參數歸一化後，仍可擬合成一條合理的代表線。根據《加拿大國家建築守則》的方法計算的預測值亦與較近期的風洞測試結果進行比對。在適用的情況下，有關的預測值已證實是加速度的變化趨勢及估計側風的靈敏度的良好指標。

《守則》將《加拿大國家建築守則》方程式的主項變換，從而令方程式使用一致的單位，其符號亦與《守則》一致。

窄長建築物的側風加速度比順風加速度更加大，人們身處於這類建築物內會更容易感覺到振動。不過，正如《加拿大國家建築守則》2010 年版所載，若  $(BD)_b > H^2/9$ ，順風加速度可能大於側風加速度，因此《守則》設有限值，從而令  $(BD)_b \leq H^2/9$ 。儘管在這高寬比範圍內的建築物中，人們的舒適度往往不存在問題，但此舉可減低預計的側風加速度低於預期順風加速度的風險。

至於其他關於側風向計算方法的背景資料，可參考第 2.2 節。

### 2.4.2 加速度限值

人們對建築物振動的可接受程度是主觀的，甚至在極端的情況下，建築物的振動遠低我們可容忍行駛中的交通工具所產生的振動。視乎當下的情況及受驚的程度，使用者過往在建築物振動方面所累積的知識和經驗可能會增加或減少其往後對建築物振動的可接受程度。

隨著時間過去，人們普遍的共識是建築物偶爾大幅度振動遠不如慣常的振動重要，而且在較高頻率的振動下，人們對加速度的敏感度大大增加。現行的 ISO 10137 指引亦有詳述此特點，為辦公室及住宅用途的建築物設定在重現期為少於 1 年與頻率相關的最大加速度限值。《守則》亦採用該指引作為人體舒適度的指標。

除了 ISO 10137 的標準之外，設計者還要檢查超強颱風事件（如“十年一遇”）中可能出現的振動。這對於窄長結構可能會比較重要，因其反應會隨風速增加而顯著增大。在《守則》中，ISO 10137 將重現期為 1 年的加速度限值直接放大  $(\sqrt{0.55/0.25})^{3.3} = 3.67$  倍。加速度反應增大是按照《守則》所採用《加拿大國家建築守則》的方法改變風壓所致。在這情況下，重現期為 10 年和 1 年的風壓調整因數  $S_r$  分別是 0.55 和 0.25。因此，當遵從標準的慣常做法時，只需檢查其中一個重現期便可。



至於風洞測試，由於重現期為 10 年的加速度反應與重現期為 1 年的加速度反應的比率可能不是 3.67，故兩個重現期均應進行檢查。至於特別窄長的建築物，其漩渦脫落的臨界風速（如屬棱柱形的橫切面，則  $V_{crit} \approx 10N_y$ ）小於重現期為 10 年的風速，故應在臨界風速處另檢查人體舒適度，其指標可以《守則》圖 2-6 的插值法來釐定。

## 2.5 臨時構築物的最小風荷載

對於風暴警告發出後可能被疏散的地盤，有時風險局限於建築地盤以內。在這情況下，國際標準准許建築物承受更高一些的風險。此處的風險僅限於經濟上的。重現期的取值會隨建築物的暴露時間及成本／風險／利益的考慮因素而改變，大原則是必須有效管理身處地盤人員的風險。

《守則》遵從《2004 年守則》的做法，即在設計臨時建築物或存在不超過 1 年時間的建築物的風壓時，可取不小於《守則》載列的風壓的 70%。在設計與建築地盤相關的圍板及有蓋行人通道、非住宅用途的承建商屋棚、竹棚、帳幕或帳篷的風壓時，應取不小於《守則》載列的風壓的 37%。

設計者須採取適當措施，避免上述構築物出現破裂，對生命構成更嚴重危險或對經濟造成更重大的損失。

## 3 設計風壓

### 3.1 概要

《守則》的風壓數值與《2004年守則》表列的陣風風壓數值大致相同。為方便計算，《守則》擬合了如方程式 3-2 所示的冪律簡化方程式。湍流強度方程式（《守則》方程式 3-3）與《2004年守則》的方程式相同。若兩者並存，即相當於開闊海面地貌在風暴下，參考高度為 500 米處對應平均風速為 59.5 m/s 的情況。

風壓應與現行結構設計守則中 1.4 的極限風荷載因數和《守則》的風向因數一起使用。按此計算的話，極限狀態風荷載已調校為至少“千年至千五年一遇”，這與其他國際標準及香港以往的做法中對重要建築物的可靠度要求一致。

雖然《守則》考慮了氣候變化可能帶來的影響，但由於顯著的自然十年際變化及流域過往數據集之間的差異，以致根據現有數據發現到的西北太平洋的熱帶氣旋活動的長期變化趨勢存在不確定性。不同研究小組的理論研究及氣候模式的模擬結果顯示，隨著人類活動造成溫室氣體的排放量增加，氣候暖化，熱帶氣旋的強度（最大風速）可能會因此而增加。有見及此，儘管橫瀾島的長期數據所顯示的風速低於目前蒙地卡羅統計所得的極端風速，但計算所得的風荷載的數值保守程度仍然維持不變，以待更深入的瞭解。

如《2004年守則》所述，風壓是根據陣風風速（峰值因數 3.7 乘以風湍流的標準偏差，再加上時均風速）而求得。最新的研究顯示，3.7 的峰值因數實際上對應於約平均 0.35 秒陣風，但這並不影響計算結構或覆蓋層的風荷載。

峰值因數的描述改變並不會直接影響《守則》的風壓。例如，即使《守則》所載的平均風壓和脈動風壓與《2004年守則》的數值相同，然而，尺寸因數的計算方法和風洞測試中風壓的測量也可能會受到影響。

儘管《守則》保留了《2004年守則》中開闊海面下的湍流強度方程式，可是當某一建築物被周邊的建築物大幅遮擋時，其湍流也會增加。因此，《守則》根據有效高度（見下文），修改了側風反應的計算方法（《守則》方程式 3-4）。

### 3.2 有效高度的參考風壓

當風經過提供遮護效應的建築物時，便會在相對短的距離升高了所謂的“位移高度”，形成直接遮護效應。這個“位移高度效應”有助減少被其他建築物所包圍的某一建築物的風壓。《守則》透過運用 BS 6399-2

所指的折減“有效高度”  $Z_e$  的概念來考慮遮護效應。以下部分會闡述“有效高度”的計算方法。

此外，提供遮護效應的建築物會增加湍流，減低平均風速，而該風速會在遠離海面相當距離時隨高度逐漸增加。Harris and Deaves 在 Engineering Sciences Data Unit (ESDU) 的風工程數據項中發表取決於風域的風模型對此有詳盡的描述。

然而，由於 (i) 香港近海；(ii) 高樓大廈林立；以及 (iii) 複雜地形存在潛在影響，故在《守則》中提供詳盡的地勢粗糙度的調整因數並不合理。這與《2004 年守則》的做法相似。

### 3.3 遮護效應

至於遮護效應，BS 6399-2 的方法及描述已擴大至涵蓋更普遍的建築物排列，從而更適用於香港。有效高度不應取小於相關參考高度的 25%，藉以利用《守則》的開闊海面地貌將設計風壓的折減限於 20%（即  $0.25^{0.16}=0.8$ ）。至於城市地貌，BS 6399-2 的 40% 也是基於類似的考慮因素（即  $0.4^{0.24}=0.8$ ）獲得。除此之外，“有效高度”的計算方法和用法則與 BS 6399-2 和 BS EN 1991-1-4 大致相同。有效高度的算例載於附錄 A2。

當建築物明顯高於位移高度時，其底部附近的風速便會加快。當考慮到鄰近高樓大廈而層數較少的建築物時，有效高度的計算規則並不會必然得出保守的數值。根據載於 BS EN（第 A.4 節）或其他國際標準的方法，甚或透過風洞測試，可評估附近的高樓大廈可能導致風流加速的影響。

### 3.4 地形效應

大規模地形是香港地貌的明顯特徵。因此，在釐定香港建築物的風荷載時，地勢效應可能會受地形效應所支配。

《守則》以易於製表的方程式表達地形因數。為方便套用於香港複雜的地形，方程式已根據最近稍作修訂的 EN 1991-1-4 規則作出修改。有關詳情，請參閱附錄 A3。

## 4 風力系數及風壓系數

### 4.1 概要

本署已更新《2004年守則》的風力系數及風壓系數，並擴大其範圍，務求顧及各方在國際標準方面達成的共識，以及數值在質量和一致性均有所改善下的可用性。《2004年守則》的原值與CP3（1972年）的原值相似。英國建築研究院重新測量大量相關的建築幾何，並發表在BS 6399-2（1995年）中，大部分以BS EN稍作調整後予以採用。

這些系數背後研究的隱藏缺點是大部分隻針對層數較少的建築物。最大的不足之處可見於長細比大的建築物，BS EN的數值適用範圍以 $H/D = 5$ 為限。儘管許多BS EN數據的局部風壓值仍然可取，但宜從其他來源搜集如下文所述長細比較大的建築物的整體風力系數。

### 4.2 建築物的風力系數

《守則》的建築物風力系數是根據矩形平面或可視為矩形的平面而求得。

高度／直徑比不大於6的圓形建築物的風力系數可取0.75。至於高度／直徑比大於6的圓形建築物，則可使用國際標準的規定，例如BS EN 1991-1-4的第7.9.2條。

如屬窄長的圓形建築物（例如高度／直徑比大於6），須考慮渦激振動；獨立的圓柱形建築物建議使用BJ Vickery及RI Basu於文獻中提出的分析方法。

#### 4.2.1 矩形建築物

窄長的建築物以往通常都是透過商業性質的風洞測試進行測量，惟其結果並無製備成規範化的形式。這些測試大多在複雜的周邊環境下進行。然而，在周邊環境影響有限的情況下，窄長建築物的風力系數相對較高。這促使各方需要搜集更多相關資料。

ESDU的矩形建築物數據庫可用作推算風力系數隨高寬比 $H/D$ 及平面尺寸比例 $B/D$ 而變化的經驗公式，但該數據庫是取自在氣流穩定且無湍流的情況下得出的數據。

ESDU的數據項亦描述出湍流令風力系數的影響並非總是一致的，有時令係數增大，有時令其減小。這是由於湍流影響氣流再附著所致。從為數不多的獨立建築物在剪流下測試中得出的數據會用作調校《守則》方程式4-1的有效平面尺寸比例。

計算所得的風力系數反映出數據隨長細比增加及平面尺寸比例的影響增大而變化的正確趨勢。

#### 4.2.2 平面隨高度變化的效應

目前，建築物平面隨高度而變化的規範化數據並不多。雖然《守則》所載的規則略為保守地將整個有效高度的數值代入方程式中，但仍有助於計算。

#### 4.2.3 角形效應

現有數據同樣難以校準不同角及邊緣對荷載的折減。然而，風洞測試測量所得的折減通常較小，因此《守則》提出的規則所造成的誤差也相應較小。不過，其趨勢反映了真實情況。

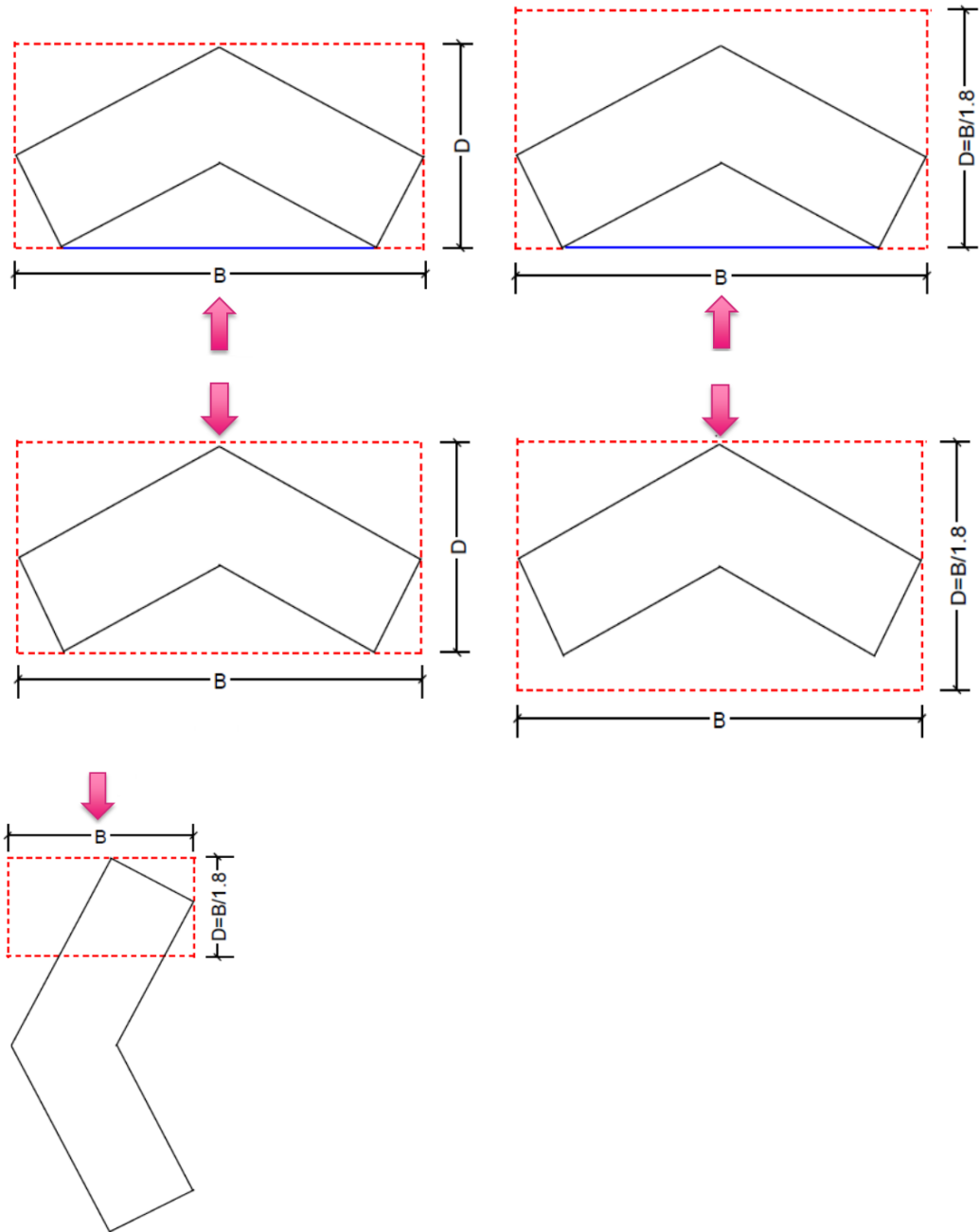
#### 4.2.4 附有翼樓的建築物（即 U 形、X 形、Y 形、Z 形及 L 形）

目前已有一些非矩形建築物的風洞數據，但同樣沒有全面的數據集可用於《守則》列出的每種不規則外形的建築物的全面校準。然而，（接近）矩形方角的建築物的最大風荷載與簡單矩形的建築物相關。因此，《守則》的規則是根據矩形建築物而訂，有助於計算，但略為保守。

至於《守則》沒有涵蓋的形狀，可根據類似下列的規則：

- (a) 圍封式矩形的原則可用作估算任何風向的有效寬度  $B$ 。
- (b) 至於  $H/B \geq 1$  的建築物，應無須理會其凹面，只需假設平面上有一條直線（如下圖的藍線所示）連接每個橫切面的兩端。
- (c) 第 4.2.3 節可用作估算並非與風向成直角的迎風面效應。
- (d) 有效深度  $D$  應取風向接近橫切面寬度兩端的最小尺寸。如建築物的表面並非與風向平行，則取圍封式矩形的深度和  $B/1.8$  的較小值，以粗略釐定當如圖 4-2 所示達到其最大風力系數時的寬深比  $B/D$ 。
- (e) 一般需要根據上述規則計算至少 4 個風向，而各個風向大致互成直角。

以下例子說明上述規則  $D = \min(D_{Enclosed-Rect}, B/1.8)$  :





## 4.3 建築物構件風壓系數

### 4.3.1 無顯著外牆開口的圍封式建築物的淨風壓系數

大部分國際標準提供獨立的內外風壓系數。內風壓因此可就如存在顯著開口等特定情況重新評估，而無需改變外風壓系數。《守則》附錄 B1.2 列載相應的適用風壓系數。

然而，為保留《2004 年守則》容易使用這特點，《守則》亦提供名義上封閉的建築物應採用的淨風壓系數。有關淨風壓系數假設內風壓系數或為+0.2 或-0.3，遵從 BS EN 1991-1-4 中保留的 CP3（1972 年）的規則。所得出的數值與《2004 年守則》中的數值相近，但已為配合 BS EN 1991-1-4 而作調整，因 BS EN 1991-1-4 的數值與其他國際標準相近。

《守則》的大部分風壓系數均透過參考建築物頂部的風壓而取值，遵循 BS 6399-2 和 BS EN 1991-1-4。本章的列表註釋說明不遵從此規則的個別情況。

《守則》的風壓系數已經更新，可視為 BS EN 1991-1-4 的數值的簡化版本。請注意，在 BS EN 中，較複雜形式的建築物屋頂的風壓系數是在層數較少的建築物上測量，而香港則以中高層建築物為主。由於這些風壓系數不適用於香港的建築物，故沒有納入《守則》。新的風壓系數與《2004 年守則》相比，涵蓋更多基本的矩形建築物，並包含適用於更多不規則外形的建築物的規則。

《守則》中的風壓區域範圍與 BS 6399-2 和 BS EN 1991-1-4 一致。比例長度  $b$ （ $2H$  和  $B$  中的較小者）表示影響風壓分布的特徵尺寸。

當塔樓坐落在平臺上，如 BS 6399-2 所述，塔樓和平臺的特徵長度  $b$  應分開計算。這規則已經擴展並適用於當塔樓坐落在平臺邊緣或角部之上的情況。

在某些情況下，角部和邊緣的吸力有所減少，但需注意，新的尺寸因數若大於 1.0，將得出相近的淨風壓系數。

在位移高度以下，最大風壓一般會減少。若高度少於位移高度的一半，最大風壓的取值減少 20%。

若外風壓的補充資料取自國際標準（如層數較少的建築物的資料），應使用《守則》附錄 B 所述方法以得出適當的內風壓。建築物外牆的淨風壓是建築物內外表面承受的風壓總和。當內外風壓分開計算，取值應足以計算出建築物外牆需承受關鍵狀況下的淨正壓和淨負壓（吸力）。

兩個相鄰房間的內風壓差異會導致內部牆壁承受風荷載。對於無顯著開口的建築物，BS 6399-2 採用 0.5 作為內部牆壁的最大淨風壓系數；AS/NZS 採用 0.4 作為永久封閉的內部牆壁在最壞情況下的淨風壓系數，同時採用 0.3 作為非永久封閉的內部牆壁在最壞情況下的淨風壓系數。《守則》中，註冊結構工程師／認可人士應在設計內部牆壁及計算淨風壓系數時作出合適判斷。

如有意外形成的顯著開口，內部牆壁的淨風壓系數將會增大，應就不同住戶單位之間的內部牆壁考慮這一點。然而，如附錄 B1.3 所述，意外形成顯著開口的情況已超出了《守則》的使用範圍。

### 4.3.2 有顯著外牆開口的建築物的風壓系數

《2004 年守則》提到，對於有顯著開口的情況，應透過查閱公開資料或進行風洞研究以釐定風壓系數。

《守則》附錄 B1.1 載述有顯著開口情況的定義，附錄 B1.3 提供內風壓的計算方法，而這計算方法所需的外風壓系數則載於附錄 B1.2。

應該為內外風壓適當取值，以計算出建築物外牆承受關鍵狀況下的正壓和負壓（吸力）。

### 4.3.3 開敞式構架的風壓系數

《守則》以尖角截面構件作假設，採用 NJ Cook 所著的指引 “The designer’s guide to wind loading of building structures: Part 2: Static Structures” 的資料，以更新表 4-2 載列的開敞式平面構架的風壓系數。如屬更複雜的開敞式構架，可採用格形支架和塔樓標準的風力系數。有關指引載有更多實用的指導資料。

### 4.3.4 其他建築物附屬構件的風壓系數

建築物附屬構件的風壓系數取自不同來源，故其相關的參考高度的定義也不盡相同。

部分建築物附屬構件由於尺寸小，可能會導致構件太小（如在模型比例下小於 6 毫米）而難以在一般的風洞測試比例下可靠地進行測試。在這情況下，風荷載可採用建築物角部和邊緣一帶的風的加速作估算，風的加速可從表面風壓運用伯努利方程式估算。在某些情況下，即使已進行風洞測試，也可能需要採取這方法估算風荷載。



### 4.3.5 獨立牆的風壓系數

《守則》中的獨立牆的風壓系數與 BS EN 1991-1-4 中的取值相同。

實心牆（區域 A 和 B）的邊緣和轉角附近的高數值對應傾斜風向下沒有轉角的牆，如《守則》圖 B3-1 所示。在高吸力的區域，20%的中等孔隙率（ $\leq 80\%$  實心）將降低區域 D 中的高風壓系數。

## 5 尺寸因數和尺寸與動力效應因數

### 5.1 尺寸因數

尺寸因數是在檢視國際作業守則和考慮風洞測試資料的趨勢後得出。取決於所採用的壓力記錄方法的限制，測量所得的尺寸因數隨風湍流改變，並隨面積變小而增大，特別是在建築物邊緣和角部的分離區。

為免過於複雜，《守則》圖 5-2 中“其他”圖例對應的一般曲線只考慮了 15% 的湍流強度，以及使用 ESDU 風力工程模型計算的來流風的壓力相關性。使用這些模型時，“半周長長度”模型最適合比較不同形狀的面積。半周長長度也是 BS EN 1991-1-4 中尺寸因數的基礎。

該方法考慮了非線性速度平方項，以及標準差的峰值因數由於較高的湍流頻率影響較小面積而出現的增加。

選擇以 15 米對應尺寸因數 1.0，是因為與歐洲慣例相比，香港的颱風和高樓大廈會導致風速增加。風速增加會導致壓力的相關性增加，繼而令尺寸因數增加。典型的覆蓋層板尺寸會得出大於 1.0 的尺寸因數。

角部和邊緣區域的尺寸因數是以 ASCE 7-16 的建議為基礎，並遵循風洞測試資料的趨勢。

### 5.2 建築物的尺寸與動力效應因數

《守則》中建築物的尺寸和動力效應因數，一向是作用於建築物高度上全部荷載的單一因數。在原本的 Davenport 陣風因數方法中，此乘數是應用於建築物的平均壓力。然而，風洞測試顯示，在真實的城市環境中，平均底盤彎矩的變化非常大，因此在《守則》簡單算例以外的情況下，難以校準 Davenport 方法。

原則上，使用峰值風壓令峰值荷載的比較更為穩定，因此許多現代作業守則都遵循準靜力方法，包括美國、澳洲／新西蘭、歐洲守則和《2004 年守則》。除了澳洲／新西蘭的守則<sup>1</sup>外，這些守則均應用了不隨高度變化的因數。不過，這是應用於在高度方向上較平均壓力均勻的陣風壓力。這導致與原本平均壓力的 Davenport 因數及風洞測試相比，建築物上層的壓力明顯不保守，同時也使建築物底層的風剪力增加。這在根據《守則》設計的較高建築物中更為明顯。

為解決以上問題，如方程式 5-2 所示，《守則》將隨高度線性變化的尺寸和動力效應因數 ( $S_{q,z}$ ) 應用於峰值陣風壓力。這可直接得出適當的建築物底層剪力和彎矩，以及隨高度合理分佈的荷載。

用於計算反應的理論，是基於 ESDU 風力工程資料項目的第一原則方法，結果以經驗公式擬合，其假設為尺寸和動力因數隨高度線性變化。其他隨高度變化的形式並沒有大幅提升擬合結果的質素。該因數是按《守則》的標準受風程度計算，但用於不同位移高度的算例也能得出良好結果。

該公式是基於計算建築物頂部適當的陣風因數 ( $S_{q,h}$ )，並在地面附近採用小於 1.0 的折減因數。 $S_{q,h}$  的運算式遵循了由平均、準靜力（“背景”）和共振部分組成的一貫做法。由於計算結果對平均荷載的比例相對不敏感，因此平均值取恆定的 0.5 倍峰值壓力。《守則》的尺寸因數是用於評估建築物頂部的最大等效準靜壓力。公式最後一項是按《守則》風速校準的共振反應的簡化運算式。

理論也假設塔樓上層沿高度的質量分佈大致均勻。在質量分佈明顯不均勻的地方，可能會出現與風洞測試明顯不同的剪力和彎矩分佈，但一般只會出現在建築物的上部。

動力反應的估算取決於固有頻率的估算是否準確，但是對較矮的建築物而言並不那麼關鍵。香港較矮的建築物通常外形複雜，為了避免計算此類建築物的固有頻率，對於低於 50 米的建築物，《守則》公式 5-3 提供了簡化的恆定  $S_q$  因數。

---

<sup>1</sup> AS/NZS 1170.2 提供了隨高度增加的傾覆彎矩因數，但需要應用於內力的後期分析。

## 6 風洞測試要求

### 6.1 概要

妥善進行的邊界層風洞測試是國際上作業守則所用大部分風力資料的基礎。在可行的情況下，風洞測試結果已經根據實際比例的資料驗證，而且在合理的誤差範圍內，兩者的結果有不錯的一致性。主要的困難在於在大氣邊界層中正確測量風速，因為在實際情況下，風速計的位置會受到限制。如將來風速計可以在遠高於大部分周邊建築物的高度進行測量，將有望改善實際比例測量的質素。

為重現實際比例的風力行為和對建築物荷載及反應的影響，以下的要求為必須。對於很多建築結構，模型比例可設為 1 比 200 至 1 比 600，以重現風力行為和影響。至於建築構件測試或地形影響研究，可能需要其他模型比例和測試形式。

考慮使用電腦模擬方法時，以下多項要求同樣適用。

#### 6.1.1 風場模擬與使用儀器

- (a) ESDU 風力工程資料項目已對適合模擬颱風和常態風的風場特性有所描述，並為各國際風洞實驗室廣泛使用。
- (b) 需要根據不同測試目的選擇使用不同形式的風洞儀器及測量方法從而獲取準確的數據。高樓大廈測試最常用的類型是“剛性”（或高頻率）底盤天平測量，以及表面壓力測量（通常同步進行測量，以在結構的所有表面得出瞬態壓力結果）。通常而言，底盤天平測量的準確度在測量點是最高，而同步壓力測量的準確度則取決於幾何複雜性。在某些情況下，可能同時需要兩種方法。這兩種方法都忽略了“氣動彈性”效應，即建築物的運動可能對荷載造成影響。若要重現“氣動彈性”效應，可使用柔性的“氣動彈性”模型。
- (c) 測量儀器需要能夠測量平均和極值荷載，同時其頻率反應需要能夠記錄特定測試條件下的目標最高頻率。此外，測量的時間長度應足以得出數據波動的極值。底盤天平和壓力研究通常需要相等於實際比例 1 至 2 小時的數據，測試時間隨建築物振動週期增長而增加。覆蓋層壓力的測量密度一般需為每 120 平方米表面面積不少於一個測壓點對應。

### 6.1.2 動力反應模擬

對於高樓大廈，回應在固有頻率處的共振動力放大效應通常十分明顯，因此必須對測得的頻譜或時程數據通過解析方法進行調整以包括這一放大作用，或使用“氣動彈性”模型進行物理模擬。在計算建築物頻率的放大效應前，名義上的剛性“高頻率”底盤天平模型的頻率附近的放大效應應進行修正。

這些計算的準確度關鍵在於使用可靠的結構阻尼數值，因為反應的共振部分與阻尼的平方根成反比。這對於評估側風反應尤其重要。

對於十分窄長的建築物，高階模態的振動可能變得重要。

### 6.1.3 地形模擬

周邊地形可能對風荷載造成很大影響，如山谷中的遮護、隨接近山頂和山脊旁而增加的受風程度。

平均風速和湍流強度都被改變，兩者都需要以合適的頻率反應進行測量。如模型的比例較小，便需要對測量進行修正，將頻率效應的限制納入考慮。

### 6.1.4 周邊景物模擬

一般而言，需要考慮現存和未來可能出現的周邊環境，在某些情況下可作為可選的測試情境。

如果某一建築物似乎提供特別的遮護，應進行測試以研究移除該建築物的影響。

### 6.1.5 模型比例限制

在選擇合適的模型比例或者風洞測試設施之前，應考慮所研究的建築物及其周邊建築物所造成的風洞阻塞比率，特別是有很多大型建築物的區域。

### 6.1.6 風剖面

在風洞研究中，要完全重現與預測相似的風剖面並不實際，結構反應須進行調整，以反映目標和測得的風場情況之間已知的差異。一般而言，就所有重要的風向，參考高度 15% 範圍內的平均湍流強度應在目標值的 10% 以內。就結構荷載研究而言，湍流積分尺度應在目標值的 2 倍以內。

對於覆蓋層板尺寸不大於 15 米的覆蓋層壓力研究，3 倍屬於可以接受而且有利，因為模型的比例較大，可更好地重現和裝備表面細節。

需注意的是，風洞測試的實際限制一般會令湍流積分尺度較大氣邊界層中的短。

### 6.1.7 匹配風壓的要求

此要求旨在確保風洞測試結果與《守則》目的一致。 $Q_z$ 是使用《守則》的方法得出，並按需要就地形影響進行調整。此公式中的湍流強度 $I_{v,z}$ 為風洞測試中使用的值，而平均風速 $V_z$ 為風洞測試測量的後期處理需要使用的值。

由於接近周邊建築物高度以上的風剖面較為複雜，但可以在周邊景物模擬妥為重現，故建築物密集地形的最小參考高度定為參考位置的上風建築物的高度（有效高度）以上 150 米。選擇 150 米是因為這個高度或以上的陣風風速對地形粗糙度相對不敏感。然而，對於無遮擋的地盤且低於 150 米的建築物，陣風壓力應該於建築物的 2/3 高度處進行匹配。視乎不同風向下的受風程度，可能需要使用兩種方法檢驗。

## 6.2 荷載的目標可靠度

現代風力守則（例如美國的 ASCE 7-16 和澳洲／新西蘭的 AS/NZS 1170.2）是直接計算極限風荷載。此節確保計算結果與風荷載計算過程將來的變動保持相容，並大概不受影響。

## 6.3 覆蓋層的附加要求

由於評估一般 1 比 400 模型的面積平均壓力有困難，目前還沒有完全一致的程式考慮覆蓋層板尺寸對峰值覆蓋層壓力的影響。通常在此比例下，測壓點的位置相當於在實際比例下相隔數米。

儘管尺寸和時間／頻率濾波方法之間的關係還處於研究階段，目前使用 0.5-1 秒時間平均濾波器得出一般覆蓋層板相關壓力的方法仍然適用。如受載面積較大，在有經驗的風力工程師的指導下，可使用基於面積或時間平均的方法。

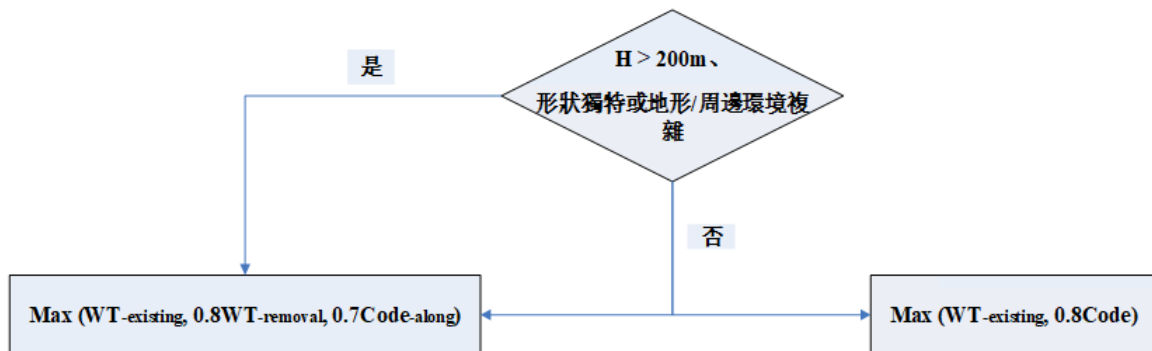
## 6.4 建築物被遮護時的最小荷載

建築物一般在城市環境中建造，在其使用期內，周邊環境預計會有所改變。因此建造建築物時過分利用現存環境並不可取。顯然，環境出現不

利變化的風險視乎地點而有所不同，在進行這方面的評估時，應該對可能的規劃限制有所瞭解。

因此，在《守則》第 6.4 節，周邊環境的直接遮護效應可帶來的折減被限制為無遮擋環境的 80%。這亦保守地限制了有多幢建築物提供遮護效應的情況。如《守則》該節所述，如果就移除附近建築物進行了研究，並進行風洞測試，折減的限制則可採用根據《守則》計算的順風向風荷載的 70%。在這種情況下，特定障礙物的遮護程度被限制為移除該障礙物的情況下的 80%。如果沒有就移除建築物進行研究，遮護效應帶來的折減應被限制為使用《守則》標準方法所得風荷載的 80%。

與《守則》的規則比較並不一定可行。測試的其中一個原因在於《守則》未能完全涵蓋有關情況，如特殊的建築物外形、建築物高度超過 200 米、複雜的地形等。在這些情況下，如可能出現明顯遮護，應就移除附近建築物進行研究。當提供明顯遮護效應的建築物被移除，周邊環境帶來直接遮護效應的折減應被限制為該風洞測試的 80%。如下圖概述：



在所有情況下，設計應該考慮現存和未來可能出現的周邊環境 100%的荷載。

## 6.5 《守則》風壓與風向特性的採用

### 6.5.1 使用極限風荷載

此節使《守則》與美國 ASCE 7-16 和澳洲／新西蘭 AS/NZS 1170.2 對使用極限風速評估反應的要求在技術上一致。



## 6.5.2 風向特性

儘管颱風來自不同風向，風暴的移動方向和登陸的影響會導致某些風向的風速減低，特別是西北方向。

《守則》有關風向因數的規則只針對颱風。如計算常態風下建築物的振動，可以使用橫瀾島等地方的資料，並考慮地形轉向，例如進行風洞地形測試。此外，可選擇使用颱風風向因數。

如果在“Up-crossing”或“Storm Passage”方法中以蒙地卡羅颱風模型計算荷載，極限狀態下的風荷載應以《守則》風壓乘以 $\gamma_w$ 相對應的重現期為目標，並取 $S_\theta = 1.0$ 直接計算。如《守則》第 6.5.1 節所述，將所得數值除以 $\gamma_w$ 便可得出荷載。對於住宅的舒適度分析，應以《守則》風速乘以 $S_r$ 相對應的重現期為目標，以計算加速度，其中 $S_r$ 定義載於《守則》表格 A1-2，並取 $S_\theta = 1.0$ 。

## 6.5.3 計算加速度使用的風壓

折減因數是基於橫瀾島資料與《守則》風壓的對比分析而提出。該折減因數包括了颱風和非颱風的情況，雖然就香港重現期超過“兩年一遇”的風而言，颱風強度佔主導。

## 6.6 驗證要求

當進行風洞測試，應提供足夠的測試細節，以便對風洞測試進行獨立的詳細評估，包括風速、湍流模擬及後期數據處理。為此，風場特性及測量數據應以電子表列形式擬備。僅提供圖片並不足夠。

### 6.6.1 風洞測試的後期數據處理

下文描述的方法適用於一般垂直懸臂式結構，包括巨形支柱和多核心結構，此類結構中樓層隔板確保樓面內參考位置的水準撓度可以採用單一組合位移描述，即  $X$ 、 $Y$  及  $ZZ$  方向的位移。在其他情況下，通常需要擴展荷載組合，視乎結構種類而定。就有關荷載組合的適用性，或可尋求獨立協力廠商專家的建議。

#### 6.6.1.1 荷載組合

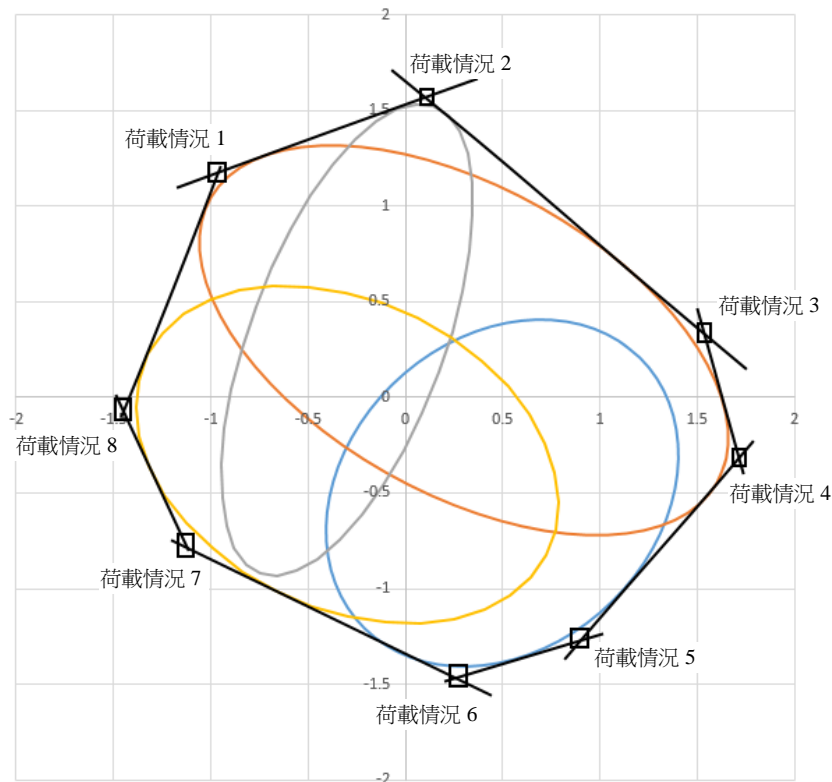
風洞測試經常用於處理複雜的風荷載情況，因為在複雜情況下應用《守則》的指引容易造成誤導。不對稱的建築形狀和模態動力特性所需的荷載組合，可能與《守則》所涵蓋的標準矩形結構截然不同。



一般而言，在特定的平均風速和風向下，任何建築物的反應範圍（包絡）可形容為一個立體“橢球體”，形容建築物不同部分各類荷載超越概率限值。由於荷載組成部分之間有不同相關性，高樓大廈的設計通常只需得出底盤彎矩的包絡圖，即 $M_{xx}$ 、 $M_{yy}$ 和 $M_{zz}$ ，以其為基礎，得出必需的荷載組合，便已足夠。假設全部三個組成部分各自對結構產生巨大的應力，可見《守則》所載的 24 個荷載情況構成足以合理包圍這樣的橢球體的所需的最小情況數目（這與在二維平面使用八角形描述橢圓形一樣）。通過運用結構性能的知識進行觀察，通常可以減少關鍵狀況下的荷載情況數量。可採用更多的荷載情況以便更精確地定義橢球體的表面。

為保守起見，各荷載情況代表的連接各頂點的平面（或直線）應僅僅接觸到橢球體的表面。這要求各荷載組合本身位處橢球體表面以外。以往的守則並未清晰列明這規定。

基於反應的一般性，使用現有《守則》的方法簡單計算結果，並不容易總結或證明選取的荷載組合是否足夠。目前最合適的方法是採用三維繪圖配合論證，比較選取的荷載組合的三維繪圖與反應橢球體在所有風向下的包絡圖。在二維平面，可通過繪畫成對的底盤彎矩的包絡圖（如 $M_{xx}$ 和 $M_{yy}$ 、 $M_{yy}$ 和 $M_{zz}$ 及 $M_{zz}$ 和 $M_{xx}$ ）進行論證。理想的繪圖結果是一系列荷載情況之間以表面和直線連接起來，完整地圍封反應包絡。



彩色的橢圓形代表特定風向下的反應包絡。這裏只顯示 4 個風向，但在風洞測試中一般會考慮 36 個風向。

如使用“Up-crossing”或“Storm Passage”方法以計算特定風向下的關鍵荷載，應使用 $S_{\theta} = 1.0$ 繪圖以得出組合因數。否則應使用風向因數 $S_{\theta}$ 的值。

### 6.6.1.2 荷載沿高度的分佈

要通過描述一組的外施荷載能同時準確滿足最大剪力和最大彎矩沿建築物高度分佈情況是不可能的。這是因為最大荷載不一定同時出現。另一方面，採用風洞測試數據是可接受的且獲得荷載沿高度分佈比採用《守則》所列方法更為精確。

對於高樓大廈，一般認為應提供每個關鍵方向（ $F_x$ 、 $F_y$  和  $T_{zz}$ ）隨建築物高度分佈的一組荷載，全部須為正號。這些荷載總和應與預測的底盤剪力和底盤彎矩一致，並應主要符合建築物高度的預測彎矩分佈（差異約 5% 內）。為確保不需要附加的荷載情況，應同時檢查剪力的分布，但建築物上層出現不大於 15% 差異時則可以忽略。

## 附錄 A

---

### 第 3 部分補充資料：設計風壓

## A1 風氣候

---

### A1.1 風向特性

在最強烈的颱風下，某些位置會被地形或其他建築物遮護，這種情況下低於0.85的因數可能適用。風向因數取自蒙地卡羅（開闊海面）的數據分析，因為比橫瀾島錄得的數據保守。就風向評估而言，後者受地區地形所影響，且在缺乏修訂《2004年守則》版本範圍外的研究下，難以修正。在未來的研究和修訂中可考慮這點。

最大值折減至0.85彌補了以下兩個因素：

- (a) 就《2004年守則》所載的方法以及風壓和風力系數作出的檢討顯示，須在《守則》的採用較小的參考風壓，以取得與其他國際標準相若的設計荷載。就修正方法而言，不宜（亦不須）系統性地增加設計荷載。
- (b) “Up-crossing”或類似方法已在香港風洞測試中廣泛應用，結果趨向折減峰值風荷載。例如ASCE 7-16建議如採用標準守則方法（非“Up-crossing”），建築物可用0.85的全方位折減因數 $K_d$ 。

然而，部分對風作用更敏感的建築物的荷載可能會增加，其他建築物的荷載則可能減少。《守則》可助識別對風作用更敏感建築物。

根據橫瀾島有關極端風力的全新極值分析，可以得到“千年至千五年一遇”的極限狀態風荷載（國際間用於重要的建築物）。這個極值分析是有效的，因為最強的風來自沒有受到陸地影響的風速資料的方向，風向不會因此改變。數據因應橫瀾島本身的加速效應作出了修正。

### A1.2 計算加速度使用的風壓及特定重現期

《守則》提供了估計建築物加速度反應的方法。因此，也提供了把設計風壓換算為更短重現期風壓的轉換關係。

## A2 直接遮護效應的調整

周邊建築物的直接遮護效應現以移位高度和已折減高度的概念作考慮。位移高度效應的原則已訂立在 BS 6399-2 和 BS EN 1991-1-4 中。然而，香港周邊環境複雜，需要對周邊建築物高度不一的情況提供更詳盡的解決方法。

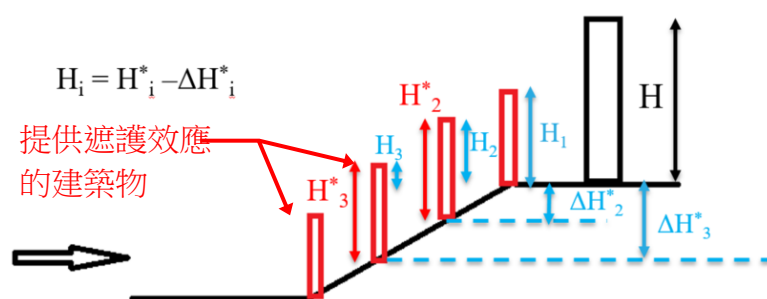
在任何建築環境中，建築物使用期間周邊的改變是不可避免的。這些暫時或永久的改變，可能會為建築物提供額外的遮護，也有可能增加其荷載。為減少未來建築發展對荷載要求作出顯著改變，須在《守則》中制定各種限制。

考慮到提供遮護建築物被移除或改變的可能，不考慮提供最大遮護效應的建築物的作用。同時移除兩個或更多位於同一迎風向的提供遮護效應的建築物的概率一般較低，因此考慮提供第二大遮護效應的建築物。

如要評估直接遮護效應以決定移除作用最大的建築物時，屬相同建築物群的建築物應視為一個整體。

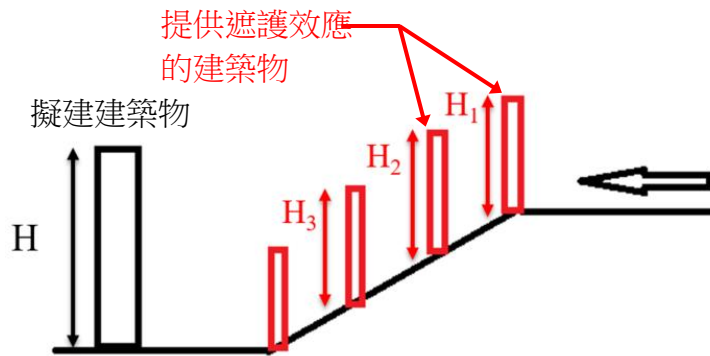
如以《守則》中圖 A2-4 所示計算直接遮護效應，在一個分區需要移除的作用最大的建築物，如在另一分區不再是作用最大的建築物，則可能得以保留。

提供遮護效應的建築物的高度應遵循下列圖示的規則計算。



利用提供遮護效應的建築物與擬建建築物的底部水準之差來折減提供護效應的建築物的高度

逆風斜坡的情況



### 順風斜坡的情況

根據標準方法，使用者評估遮護效應時，可以決定需包括的地盤附近的周邊建築物的範圍。一般而言，無須考慮距離地盤超過 500 米或擬建建築物高度 6 倍以上的建築物所帶來的影響。

#### 個案 1：矩形建築物， $H=96$ 米，9 個相等分區

1. 考慮擬建建築物半徑範圍 500 米（約  $5H$ ）內四周的直接遮護效應（圖 A-1）。
2. 把考慮風向 $\pm 45$ 度範圍劃分為 4 個扇區。
3. 每個扇區劃分為 9 個相等分區（以 10 度為間隔），以方便計算（S1 至 S9）。通常越細小的分區，其加權平均值會越小，因為建築物更容易覆蓋整個分區。
4. 進一步把圓形劃分為五層，半徑為 100 米、200 米、300 米和 400 米，以便識別建築物的距離。

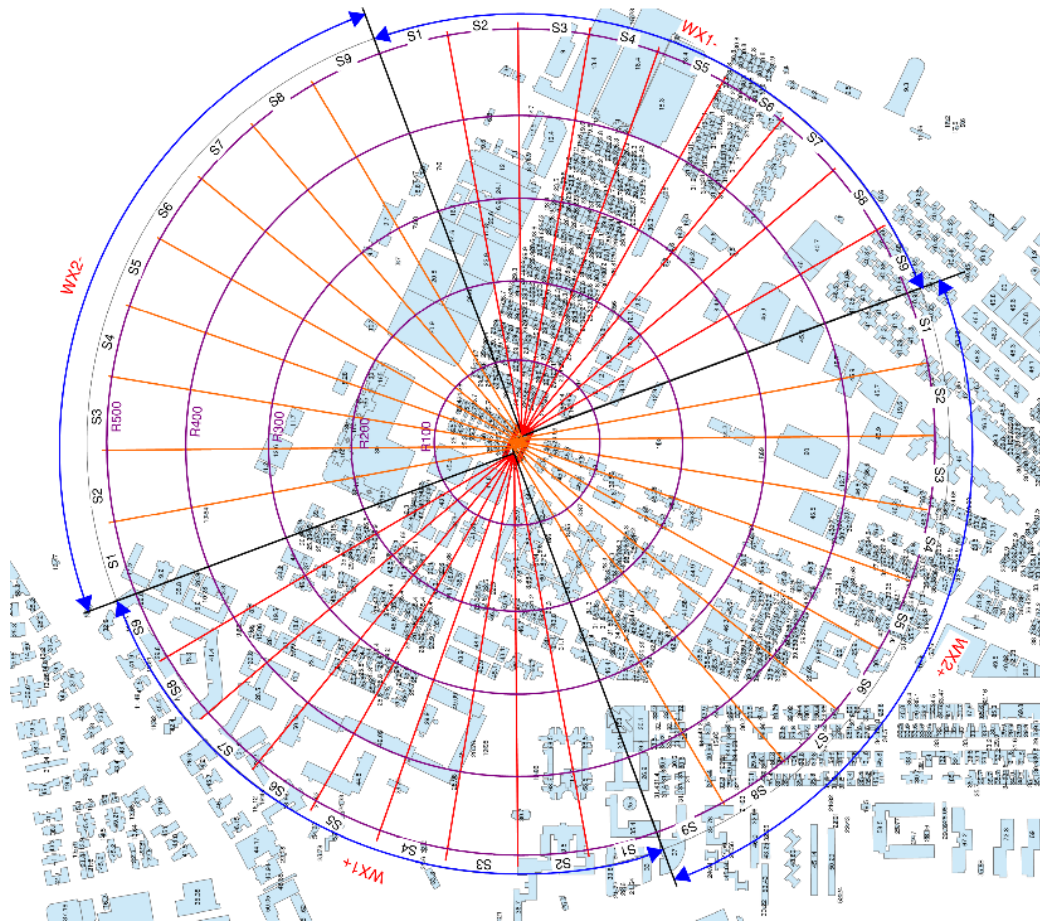


圖 A-1 地盤資料 (分為 4 個扇區，每個扇區劃分為 9 個分區)

5. 示範計算風向 WX2-下 S1 (圖 A-2) 的  $H_{ds1}$

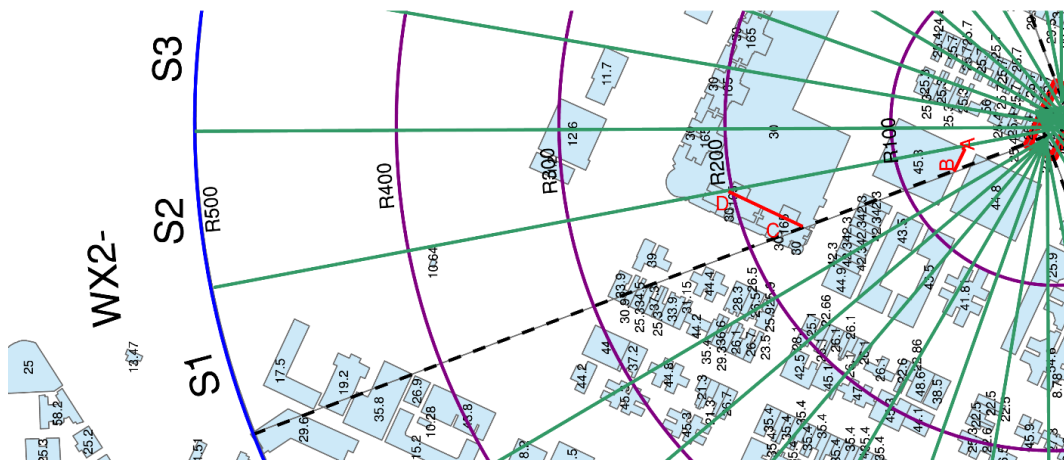


圖 A-2 WX2-下 S1 的地盤詳細地圖



- (a) 第一座周邊建築物 T1 位於 R<sub>100</sub> 的範圍內。以紅色標示的迎風面牆與 S1 的邊界線於 A 點及 B 點相交。與擬建建築物的距離保守地取為 OB，且 X<sub>1</sub>=70 米，H<sub>1</sub>=45 米。建築物覆蓋了整個分區的範圍。根據《守則》中圖 A2-3 所示，由 X<sub>1</sub>/H ≈ 0.73，H<sub>1</sub>/H ≈ 0.47，得出 H<sub>d1</sub>/H = 0.38。
- (b) 來自同一建築物群附近的兩座塔樓提供第二顯著的遮護效應，可視為一個整體，其迎風面牆與邊界線於 C 點和 D 點相交。由 X<sub>2</sub>=200 米，H<sub>2</sub>=165 米 > H=96 米，X<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> ≈ 2.08，H<sub>2</sub>/H = 1，得出 H<sub>d2</sub>/H = 0.75。
- (c) 此個案中距離更遠的建築物並非關鍵，因為它們不是距離地盤太遠就是高度太低，不會造成顯著的遮護效應。
- (d) 因此 S1 分區內第二高的 H<sub>a</sub> 經過計算為 H<sub>dS1</sub>/H = 0.38。

6. 示範計算風向 WX2+下 S9 (圖 A-3) 的 H<sub>dS9</sub>

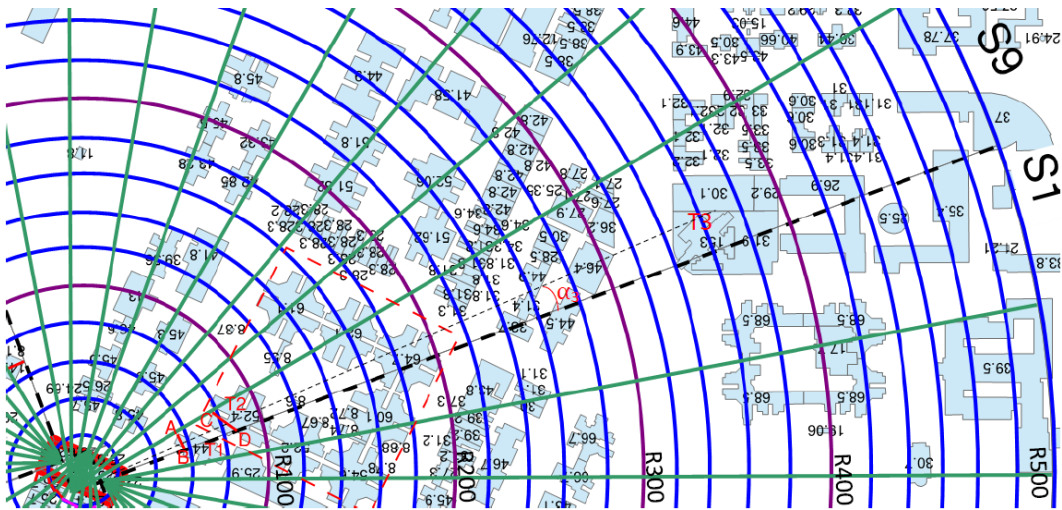


圖 A-3 WX2+下 S9 的地盤詳細地圖

- (a) 建築物 T1 和紅色方格內的建築物群顯示擬建建築物的潛在顯著遮護效應 (圖 A-3)。
- (b) 就 T1，H<sub>T1</sub> = 44 米，X<sub>T1</sub> = 60 米，且覆蓋了整個 S9 分區。由 X<sub>T1</sub>/H ≈ 0.63，H<sub>T1</sub>/H ≈ 0.46，得出 H<sub>dT1</sub>/H = 0.37。
- (c) 考慮到建築物群的遮護效應，因 T2 最接近地盤，故揀選 T2。就 T2，H<sub>T2</sub>=52.4 米，且 X<sub>T2</sub>=88 米，X<sub>T2</sub>/H ≈ 0.92，H<sub>T2</sub>/H ≈ 0.54，得出 H<sub>dT2</sub>/H = 0.43。
- (d) T3 為第三個具有潛在顯著遮護效應的建築物，覆蓋了整個分區約 30%。就 T3，H<sub>T3</sub> = 153 米，X<sub>T3</sub> = 360 米；X<sub>T3</sub>/H ≈ 3.75，H<sub>T3</sub>/H = 1.0，故 H<sub>dT3</sub>/H = 0.45 × 0.3 = 0.135。



(e) 此個案中距離更遠的建築物並非關鍵，因為距離地盤太遠，不會造成顯著的遮護效應。

(f) 因為  $H_{d\tau 2} > H_{d\tau 1}$ ，T2 成為作用最大的建築物，故建築物群內的所有建築物都需要根據《守則》所載的要求移除。

(g) 結合 T1 ( $\frac{\alpha_1}{\alpha} = 0.7$ ) 和 T3 ( $\frac{\alpha_3}{\alpha} = 0.3$ ) 的遮護效應，HdS9 應按方程式

$$\frac{H_{ds9}}{H} = \frac{\frac{H_{dT1}}{H} \times \alpha_1 + \frac{H_{dT3}}{H} \times \alpha_3}{\alpha} = 0.37 \times 0.7 + 0.45 \times 0.3 = 0.39 \text{ 計算。}$$

7. 根據以上步驟，可以計算出每個分區的需折減高度。4 個扇區各自的需折減高度可按方程式  $\frac{\bar{H}_d}{H} = \frac{H_{ds1} + H_{ds2} + \dots + H_{ds9}}{9}$  計算。以下表格總結了計算結果：

表 A-1 各個相等分區（9 個分區）的  $H_{dsi}$  摘要

|             | S1   | S2   | S3   | S4   | S5   | S6   | S7   | S8   | S9   | $\bar{H}_d/H$ |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| <b>WX1+</b> | 0.37 | 0.22 | 0.18 | 0.13 | 0.29 | 0.30 | 0.36 | 0.29 | 0.40 | 0.28          |
| <b>WX1-</b> | 0.16 | 0.18 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.09 | 0    | 0    | 0    | 0.12          |
| <b>WX2+</b> | 0    | 0    | 0.11 | 0.38 | 0.18 | 0.38 | 0.38 | 0.12 | 0.39 | 0.21          |
| <b>WX2-</b> | 0.38 | 0.38 | 0.22 | 0.22 | 0.15 | 0    | 0    | 0.13 | 0.21 | 0.19          |

由  $Z_e = \max(Z - H_d, 0.25Z)$ ，建築物有效高度  $H_e$  為：

表 A-2 建築物有效高度

|             |   |
|-------------|---|
| <b>WX1+</b> | <b><math>H_e = 0.72H = 69.1m</math></b> |
| <b>WX1-</b> | $H_e = 0.88H = 84.5m$                   |
| <b>WX2+</b> | $H_e = 0.79H = 75.8m$                   |
| <b>WX2-</b> | $H_e = 0.81H = 77.8m$                   |

## 個案 2：矩形建築物，4 個相等分區

為更深入瞭解計算步驟以及因分區數量不同而可能出現的偏差，相同例子在每個 90 度扇區的 4 個相等分區（S1 至 S4）重複計算，如圖 A-4 所示。

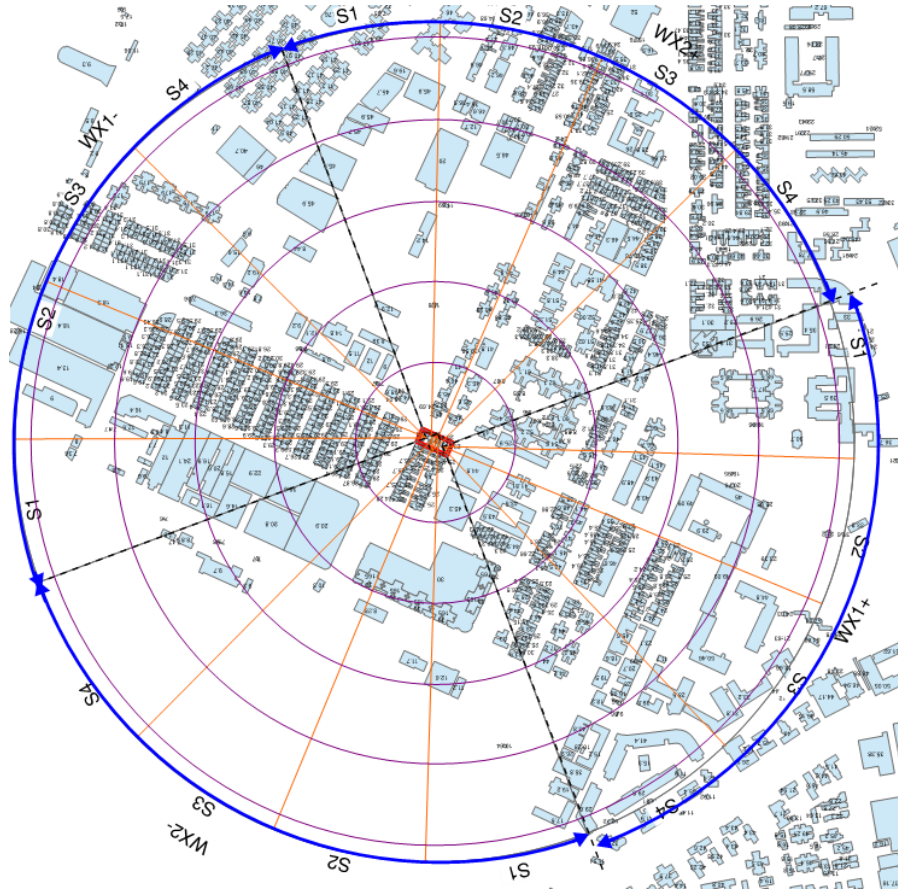


圖 A-4 地盤資料，4 個扇區，每個扇區分成 4 個分區

計算風向 WX2+下 S4 的  $H_{dS4}$  的演示步驟如下：

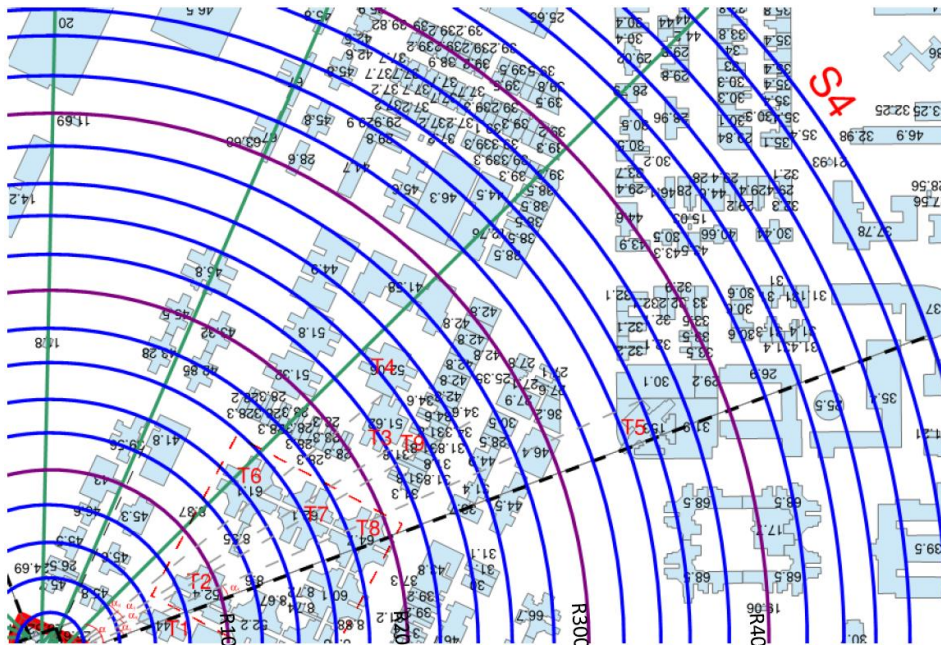


圖 A-5 WX2+下 S4 的地盤詳細地圖

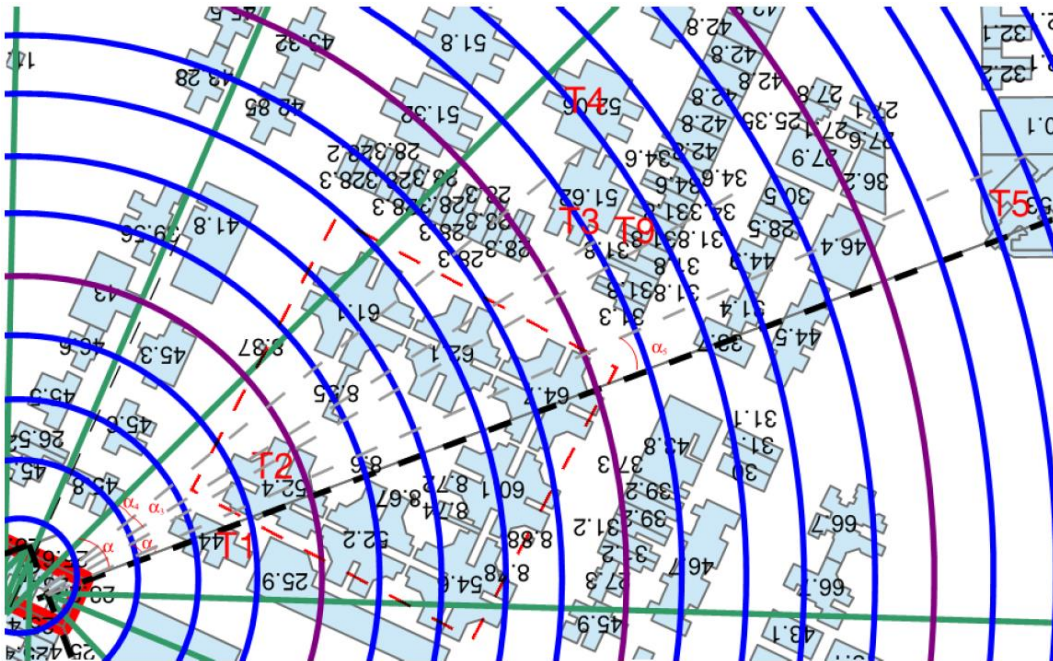


圖 A-6 WX2+下 S4 的地盤詳細地圖

1. 如圖 A-5 所示，幾座建築物（T1、T2、T3、T4、T5 及 T9）和一個建築物群（以紅色方格標示，包括 T2）有機會為擬建建築物提供顯著的遮護效應。

2. 就 T1， $H_{T1}=44.8$  米， $X_{T1}=60$  米； $X_{T1}/H \approx 0.63$ ， $H_{T1}/H \approx 0.47$ ；得出  $H_{dT1}/H = 0.37$ 。（圖 A-6）
3. 在建築物群內的建築物會被視為提供遮護效應的一個整體。T2 和 T6 顯然會在建築物群內提供最大的遮護效應。T2 覆蓋了分區內約 60% 的範圍，而 T6 則覆蓋了約 40% 的範圍。 $X_{T2} = 100$  米， $H_{T2} = 52.4$  米， $X_{T2}/H \approx 1.04$ ， $H_{T2}/H \approx 0.55$ ，得出  $H_{dT2}/H = 0.44$ ； $X_{T6} = 158$  米， $H_{T6} = 61.1$  米， $X_{T6}/H \approx 1.65$ ， $H_{T6}/H \approx 0.64$ ，得出  $H_{dT6}/H = 0.45$ 。建築物群的  $H_d$  結合為  $H_{dT2\&6}/H = H_{dT2} \times 0.6 + H_{dT6} \times 0.4 \approx 0.44 \times 0.6 + 0.45 \times 0.4 = 0.44$ 。
4. 就建築物 T3， $X_{T3} = 230$  米， $H_{T3} = 51.6$  米，因此  $X_{T3}/H \approx 2.40$ ， $H_{T3}/H \approx 0.54$ ，得出  $H_{dT3}/H \approx 0.17$ 。
5. 就建築物 T4， $X_{T4} = 240$  米， $H_{T4} = 52$  米，因此  $X_{T4}/H = 2.50$ ， $H_{T4}/H \approx 0.54$ ，得出  $H_{dT4}/H \approx 0.15$ 。
6. 就建築物 T5， $X_{T5} = 360$  米， $H_{T5} = 153$  米  $> H=96$ ，因此  $X_{T5}/H = 3.75$ ， $H_{T5}/H = 1$ ， $H_{dT5}/H \approx 0.45$ 。
7. 就建築物 T9， $X_{T9} = 230$  米， $H_{T9} = 32$  米，因此  $X_{T9}/H = 3.44$ ， $H_{T9}/H = 0.31$ ， $H_{dT9}/H \approx 0$ 。
8. 雖然  $H_{dT5}/H = 0.45 > H_{dT2\&6}/H = 0.44$ ，T5 只覆蓋了整個扇區約 5%，故  $H_{dT2\&6}$  為提供最大遮護效應的建築物，因此整個建築物群將根據《守則》所載的要求移除。
9. 現可以加權平均的原則，透過 T1、T3、T4 和 T5 ( $\frac{\alpha_1}{\alpha} \approx 40\%$ ， $\frac{\alpha_3}{\alpha} \approx 40\%$ ， $\frac{\alpha_4}{\alpha} \approx 10\%$ ， $\frac{\alpha_5}{\alpha} \approx 5\%$ ， $\frac{\alpha_9}{\alpha} \approx 5\%$ ， $\alpha_1 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_9 = \alpha$ ，圖 A-6) 計算整個分區的需折減高度。

$$\text{S4 分區的 } H_d \text{ 為 } H_{dS9}/H = \frac{\frac{H_{dT1}}{H} \alpha_1 + \frac{H_{dT3}}{H} \alpha_3 + \frac{H_{dT4}}{H} \alpha_4 + \frac{H_{dT5}}{H} \alpha_5}{\alpha} = 0.24$$

根據以上步驟，可以計算出每個分區的折減高度。4 個扇區各自的需折減高度可按方程式  $\frac{\bar{H}_d}{H} = \frac{H_{dS1} + H_{dS2} + \dots + H_{dS9}}{9}$  計算，總結如下：

表 A-3 各個相等分區（4 個分區）的  $H_{dSi}$  摘要

|      | S1   | S2   | S3   | S4   | $\bar{H}_d/H$ |
|------|------|------|------|------|---------------|
| WX1+ | 0.35 | 0.25 | 0.29 | 0.39 | 0.32          |
| WX1- | 0.16 | 0.20 | 0.19 | 0.03 | 0.15          |
| WX2+ | 0    | 0.30 | 0.36 | 0.23 | 0.22          |
| WX2- | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.17 | 0.20          |



由  $Z_e = \max(Z - H_d, 0.25Z)$ ，建築物有效高度  $H_e$  為：

表 A-4 建築物有效高度（4 個分區）

|      |                       |
|------|-----------------------|
| WX1+ | $H_e = 0.68H = 65.3m$ |
| WX1- | $H_e = 0.85H = 81.6m$ |
| WX2+ | $H_e = 0.78H = 74.9m$ |
| WX2- | $H_e = 0.80H = 76.8m$ |

以上兩個個案就 4 個分區和 9 個分區的計算得出相似結果。兩個情況在比較下，雖然 9 個分區的個案在每個 90 度範圍內有更多分區，但可避免計算複雜的加權平均值，因此計算時間較短。然而，可保守地忽略部分提供遮護效應的建築物的作用，簡化計算其加權平均值。

### 評估直接遮護的特殊條件

如周邊建築物的高度相對平均且與擬建建築物相近（如圖 A-7 所示），可參考《守則》圖 A2-3 所載的有效高度簡化評估。



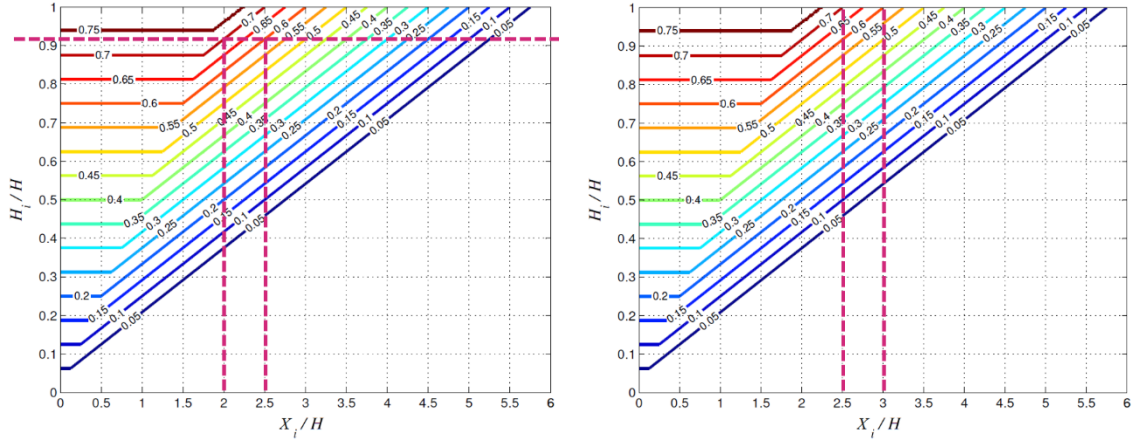
圖 A-7 香港的密集地勢

基於觀察的簡化步驟：

- (a) 當  $0.9 \leq H_i/H < 1$ ，如  $X_i/H \leq 2$  則  $H_{di}/H > 0.7$ ；如  $2 < X_i/H < 2.5$  則  $H_{di}/H > 0.60$ （如圖 A-8a 所示）。

(b) 當  $H_i/H \geq 1$ ，如  $X_i/H \leq 2.5$  則  $H_{di}/H > 0.7$ ；如  $2.5 < X_i/H < 3$  則  $H_{di}/H > 0.60$ （如圖 A-8b 所示）。

需注意  $H_{di}/H > 0.7$  是接近最大遮護， $H_{di}/H > 0.60$  也是顯著的遮護。



(a)  $0.9 \leq H_i/H < 1$

(b)  $H_i/H \geq 1$

圖 A-8  $H_{di}/H = (1 - H_{ei}/H)$  的計算結果（ $H_i/H$  和  $X_i/H$  的函數）

計算有效高度的簡化步驟概述如下：

1. 遵循第 A3 頁所載的第 1 至第 3 點；
2. 使用典型  $0.5H$  的增量半徑，而非第 A3 頁第 4 點所載的 100 米，以便參考；
3. 就 4 個 90 度扇區應用以下步驟：
  - (a) 在半徑  $2H$  內高於  $0.9H$  的建築物，取  $H_{di}/H = 0.7$ ；
  - (b) 在半徑  $2H < R < 2.5H$  內高於  $H$  的建築物，取  $H_{di}/H = 0.7$ ；其他高於  $0.9H$  的建築物，則取  $H_{di}/H = 0.6$ ；
  - (c) 在半徑  $2.5H < R < 3H$  內高於  $H$  的建築物，取  $H_{di}/H = 0.6$ ；
  - (d) 如兩座相鄰建築物之間間隙小於該兩座建築物的平均寬度的一半，該兩座建築物可視為一座建築物；
  - (e) 任何完全佔據整個分區且  $H_d/H \geq 0.7$  的建築物，可視為作用最大的建築物並可以移除。





就北面扇區 (N) (圖 A-10(a)) :

周邊建築物約 80 米高，約為擬建建築物高度的 0.9 倍。

- (a) 在  $2H$  範圍內，識別塔樓 T1 至 T6 和 T9 至 T13，其需折減高度比例均為  $H_{di}/H = 0.7$ 。
- (b) 在  $2.5H$  範圍內，識別塔樓 T7 和 T8，其需折減高度比例為  $H_{di}/H = 0.6$ 。
- (c) 分區 5 沒有任何建築物。
- (d) 揀選 T1 至 T5 為作用最大的建築物，它們覆蓋了分區 1 至 4 和分區 6 至 9。
- (e) 揀選 T9 和 T10 至 T13 為分區 3 和分區 6 至 9 的作用第二大的建築物。  
在這情況下， $H_{d_{N3}} = H_{d_{N6}} = H_{d_{N7}} = H_{d_{N8}} = H_{d_{N9}} = 0.7H$ 。
- (f) 就分區 2，由 T7、T8 和 T9 得出  $H_{d_{N2}} = 0.7 \times 0.8 + 0.6 \times 0.2 = 0.68$ 。
- (g) 就分區 1，由 T6 和 T7 得出  $H_{d_{N1}} = 0.7 \times 0.8 + 0.6 \times 0.2 = 0.68$ 。
- (h) 就分區 4，由 T14 得出  $H_{d_{N4}} = 0.45$ ，且  $\frac{H_{T4}}{H} = 0.7$  和  $\frac{x_{T4}}{H} = 2$ 。
- (i) 由於分區 5 沒有任何建築物，故  $H_{d_{N5}} = 0$ 。
- (j) 最後得出  $H_{d_N}/H = (0.7 \times 5 + 0.68 \times 2 + 0.45)/9 = 0.59$ 。

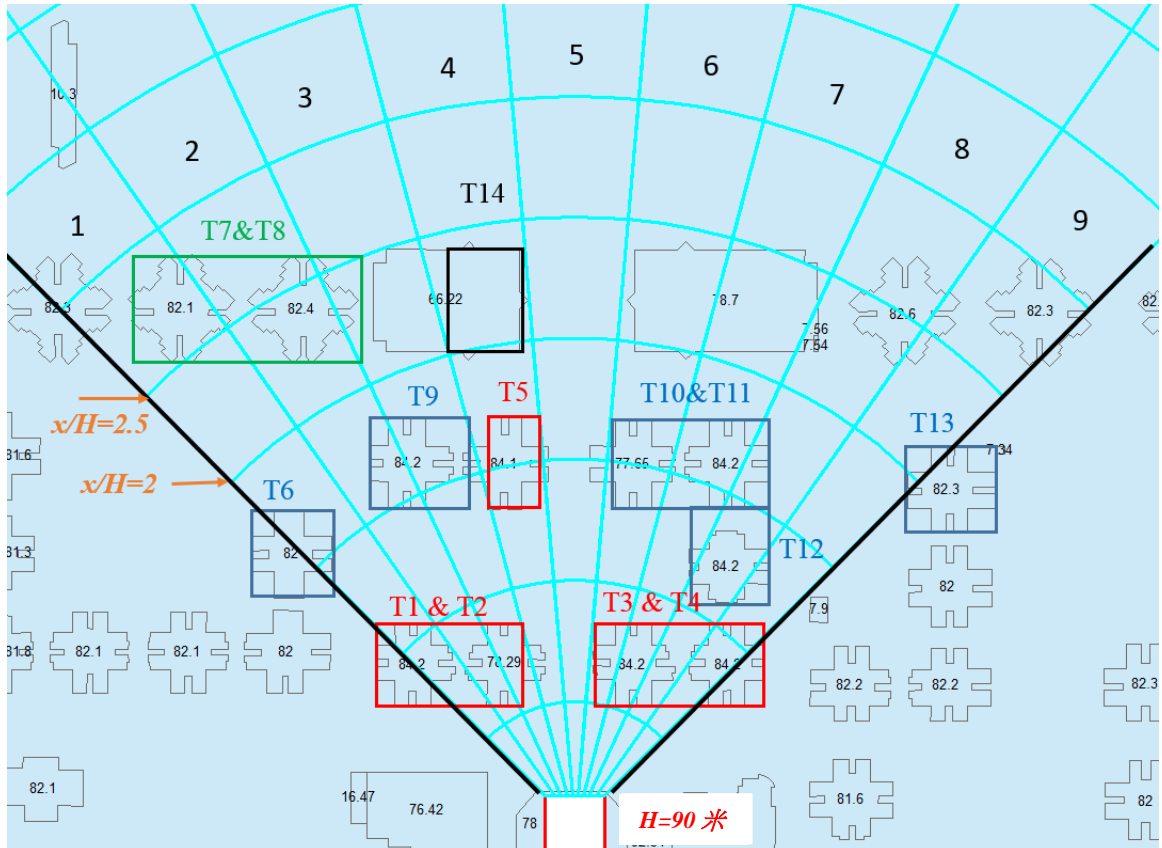


圖 A-10(a)北面扇區

就東面扇區 (E) (圖 A-10(b)) :

周邊建築物約 80 米高，約為擬建建築物高度的 0.9 倍。

- (a) 在  $2H$  範圍內，識別塔樓 T1 至 T10，其需折減高度比例均為  $H_{di}/H = 0.7$ 。
- (b) 在  $2.5H$  範圍內，識別塔樓 T11 至 T14，其需折減高度比例為  $H_{di}/H = 0.6$ 。
- (c) 揀選 T1 至 T5 為作用最大的建築物，它們覆蓋了所有 9 個分區。
- (d) 揀選 T6 至 T8 為分區 1 至 3 的作用第二大的建築物，且得出  $H_{dE1} = H_{dE2} = H_{dE3} = 0.7H$ 。
- (e) 揀選 T9 和 T10 為分區 6 的作用第二大的建築物，得出  $H_{dE6} = 0.7H$ 。
- (f) 揀選 T11 至 T14 為分區 4、5 和 7 的作用第二大的建築物，得出  $H_{dE4} = H_{dE5} = H_{dE7} = 0.6H$ 。
- (g) 保守地取  $H_{dE8} = H_{dE9} = 0$ 。
- (h) 最後得出  $H_{dE}/H = (0.7 \times 4 + 0.6 \times 3)/9 = 0.51$ 。

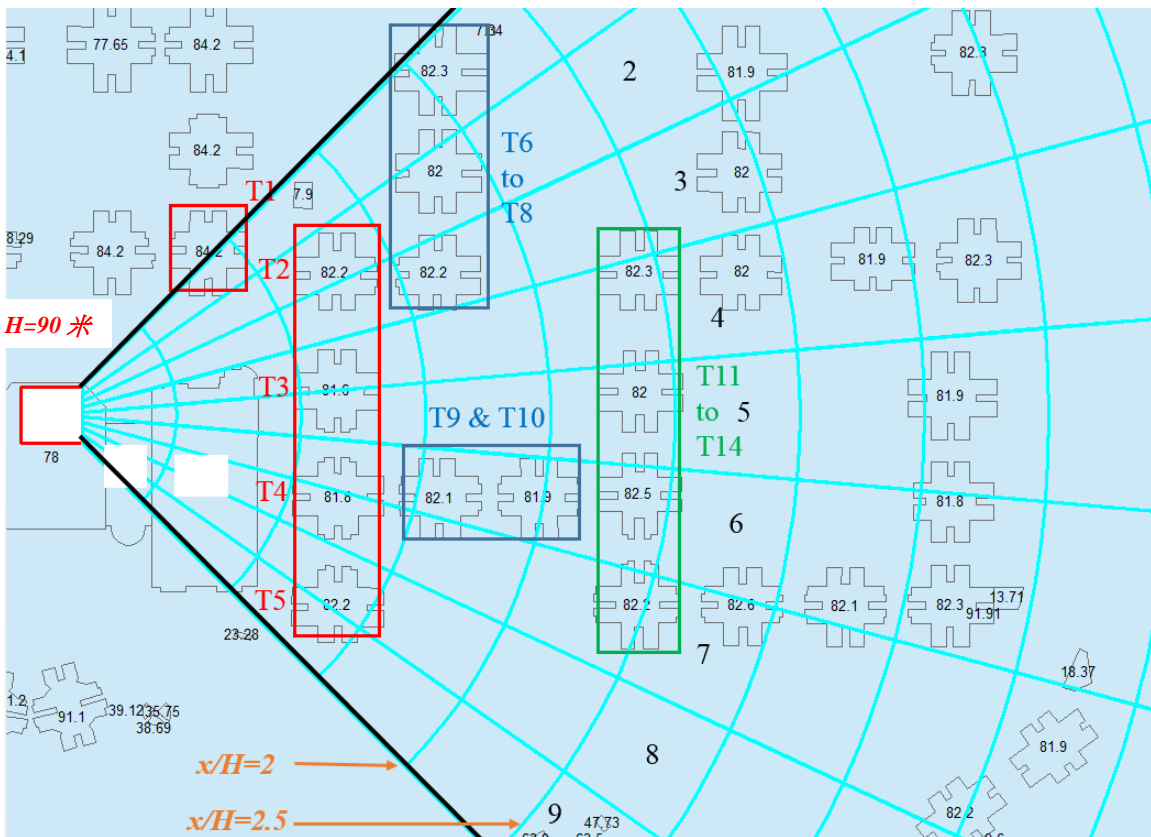


圖 A-10(b) 東面扇區

就南面扇區 (S) (圖 A-10(c)) :

建築物約 90 米高，約為擬建建築物高度的 1.0 倍。

- (a) 在  $2.5H$  範圍內，識別塔樓 T1 至 T8，其需折減高度比例均為  $H_{di}/H = 0.7$ 。
- (b) 在  $3.0H$  範圍內，識別塔樓 T14，其需折減高度比例為  $H_{di}/H = 0.6$ 。
- (c) 揀選 T1 至 T4 為作用最大的建築物，它們覆蓋了分區 1 至 5；揀選 T6 和 T7 為作用最大的建築物，它們覆蓋了分區 6 和 7。
- (d) 揀選 T5 和 T8 為分區 5 的作用第二大的建築物，得出  $H_{d_{S5}} = 0.7H$ 。
- (e) 揀選 T14 為分區 1 和 2 的作用第二大的建築物，得出  $H_{d_{S1}} = H_{d_{S2}} = 0.6H$ 。
- (f) 揀選 T8 至 T12 為分區 4 的作用第二大的建築物，得出  $H_{d_{S4}} = 0.6H$ 。
- (g) 由  $\frac{H_{T12}}{H} = 1$ ， $\frac{x_{T12}}{H} = 3.5$ ，得出  $\frac{H_d}{H} = 0.45$ ；T13 與此相同。揀選 T12 和 T13 為分區 3 的作用第二大的建築物，得出  $H_{d_{S3}} = 0.45H \times 0.6 = 0.27H$ 。
- (h) 揀選 T4 為分區 6 的作用第二大的建築物，得出  $H_{d_{S6}} = 0.7H \times 0.6 = 0.42H$ 。
- (i) 保守地取  $H_{d_{S7}} = H_{d_{S8}} = H_{d_{S9}} = 0$ 。
- (j) 最後得出  $H_{d_S}/H = (0.7 \times 1 + 0.6 \times 3 + 0.27 + 0.42)/9 = 0.35$ 。

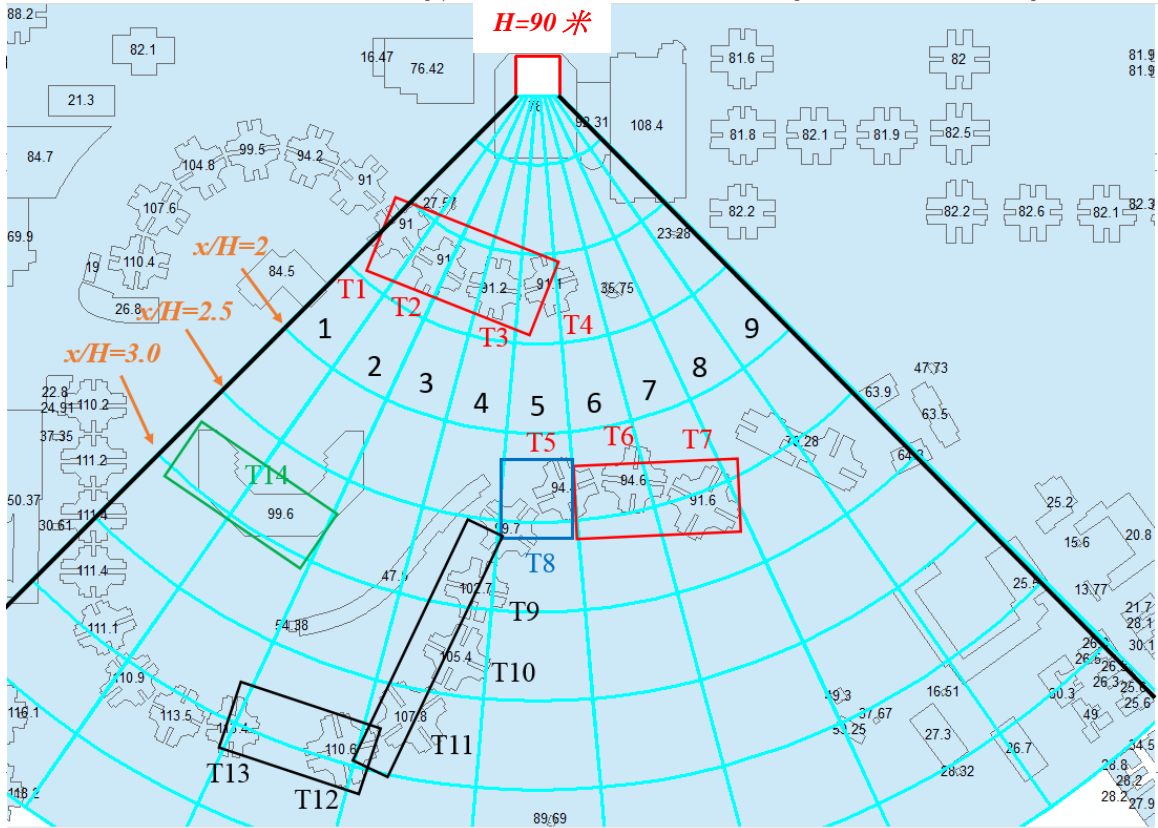


圖 A-10(c) 南面扇區

就西面扇區 (W) (圖 A-10(d)) :

周邊塔樓 T1 至 T4、T9 和 T13 至 T16 約 80 米高，約為擬建建築物高度的 0.9 倍。周邊塔樓 T5 至 T8 和 T10 至 T12 約 90 米高，約為擬建建築物高度的 1.0 倍。

- 在  $2.0H$  範圍內，識別塔樓 T1 至 T4 和 T13，其需折減高度比例為  $H_{di}/H = 0.7$ 。
- 在  $2.5H$  範圍內，識別塔樓 T5 至 T12，其需折減高度比例為  $H_{di}/H = 0.7$ ；識別塔樓 T14 至 T17，其折減高度比例為  $H_{di}/H = 0.6$ 。
- 作用最大的建築物：揀選 T1 至 T4，它們覆蓋了分區 1 至 3；揀選 T5 至 T8，它們覆蓋了分區 6 至 9。
- 作用最大的建築物：揀選橙色方格內的兩座建築物，它們覆蓋了分區 4；揀選 T17，它覆蓋了分區 5。
- 作用第二大的建築物：揀選 T13，得出  $H_{dw1}/H = 0.7$ ；揀選 T10 和 T12，得出  $H_{dw7}/H = 0.7$ ；揀選 T9，得出  $H_{dw9}/H = 0.7$ 。
- 作用第二大的建築物：揀選 T14 至 T16，得出  $H_{dw2} = H_{dw3} = 0.6H$ 。
- 作用第二大的建築物：就分區 4， $H_{dw4} = 0.6H \times 0.3 + 0.4H \times 0.5 = 0.38H$ ；就分區 5， $H_{dw5} = 0.3H \times 0.7 = 0.21H$ ；就分區 6， $H_{dw6} =$

$0.7H \times 0.7 + 0.5H \times 0.3 = 0.64H$ ；就分區 8， $H_{dw8} = 0.7H \times 0.4 = 0.28H$ 。

(h) 最後得出  $H_{dw}/H = (0.7 \times 3 + 0.6 \times 2 + 0.38 + 0.21 + 0.64 + 0.28)/9 = 0.53$ 。

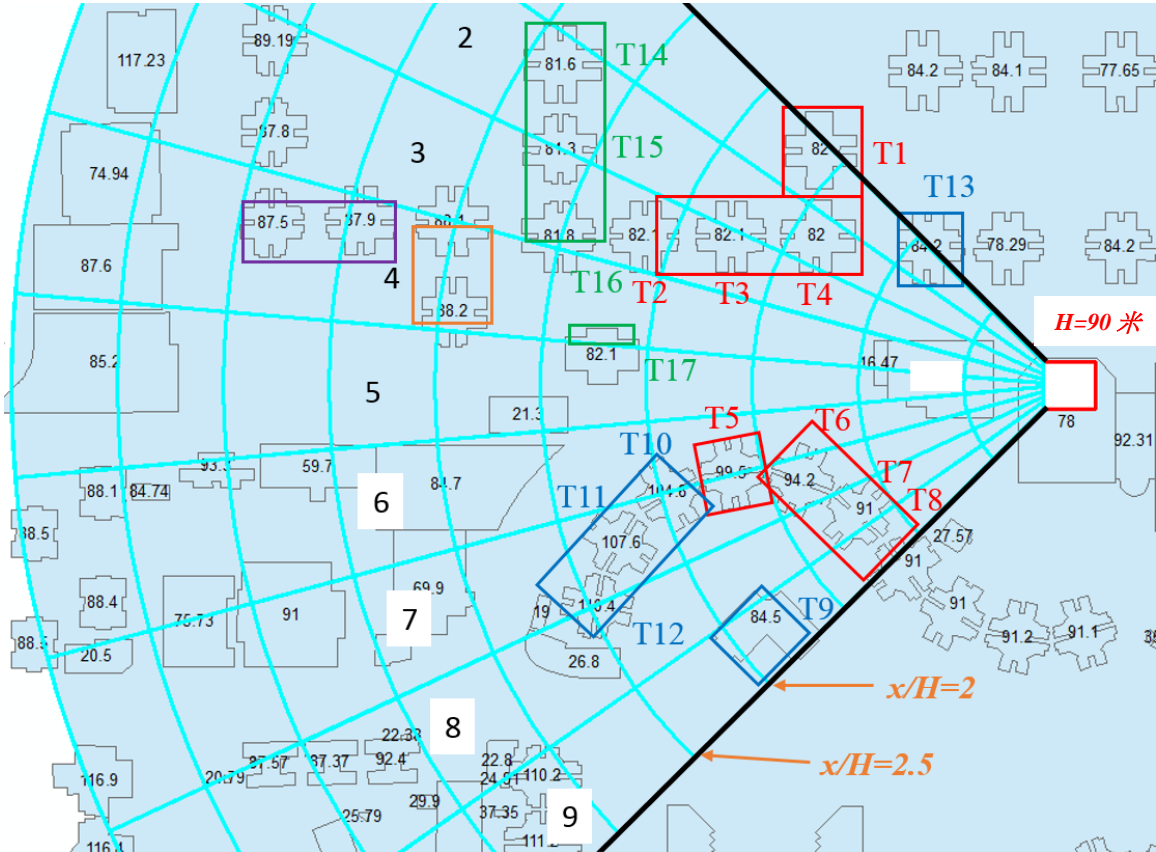


圖 A-10(d) 西面扇區

## A3 地形放大因數

---

取得參數  $s$  的步驟已修改，使其適用於更不規則的山丘形狀。

尤其：

- (a) 山坡的定義已改變。
- (b) 除了陡坡的順風處，山丘的位置取決於地盤的地面水平與山頂和山腳的相對位置。
- (c) 統一了陡坡和山丘的頂部高度的順風處參數  $s$  的計算規則，以覆蓋相對（但不完全）平坦的順風斜坡。

《2004 年守則》所載的地形計算方法參考了 BS 6399-2。近似的《歐洲規範》BS EN 1991-1-4（包括 UK National Annex 所載的資料和 UK PD 6688-1-4）是發展《守則》的基石。然而，《守則》已作出多項修改，以便應用於現實中不均勻或不對稱的山坡。

《2004 年守則》遵循了 BS6399-2 的“簡化方法”，使用因數：  
 $(1 + 1.2 \times slope \times s)^2$

《守則》使用：

$$S_t = \left( 1 + \frac{2 \times slope \times s}{1 + 3.7I_{v,z}} \right)^2$$

以上因數僅當  $I_{v,z}=0.18$  時是相等的，於湍流微弱時，《2004 年守則》所述會變得不保守。在《歐洲規範》中，該簡化公式僅適用於高度低於 50 米的建築物。

為方便計算，《守則》已提供計算地形放大因數  $s$  的公式。這些基本上與《歐洲規範》BS EN 1991-1 -4 相同，但已修改以反映根據高度定位的新規則。

## 附錄 B

---

第 4 部分補充資料：風力系數  
和風壓系數



## B1 有顯著外牆開口的建築物的風壓系數

---

### B1.1 顯著開口的定義

顯著開口的定義為面積大於其他開口總面積的 1.5 倍的開口（或建築物同一面的開口）。

《說明資料》B1.3 節載述 NJ Cook 所著的 “The designer’s guide to wind loading of building structures, Part 2” 描述的替代方法，可用於任何一般情況。即使建築物有顯著開口，然而若其他小型開口的平均風壓取值為零，結果仍不會改變，而在這假設下的合理變化將不會嚴重影響結果。

### B1.2 建築物外牆的外風壓系數

建築物外牆的微小孔隙率不會對外風壓造成重大影響，因此無論是否有開口，外風壓取值均相同。

《守則》第 4.3.1 節的淨風壓系數是按照本部分的外風壓系數計算所得，採用+0.2 及-0.3 為內風壓系數。

對於非矩形的建築物，分離點後的邊緣區域可依循適用於矩形建築物的規則而界定，計算  $b$  時可保守地採用整個投影寬度。

對於由多個矩形組成的建築物外形，邊緣區域可按下圖定義，並採用  $b$  的折減值。

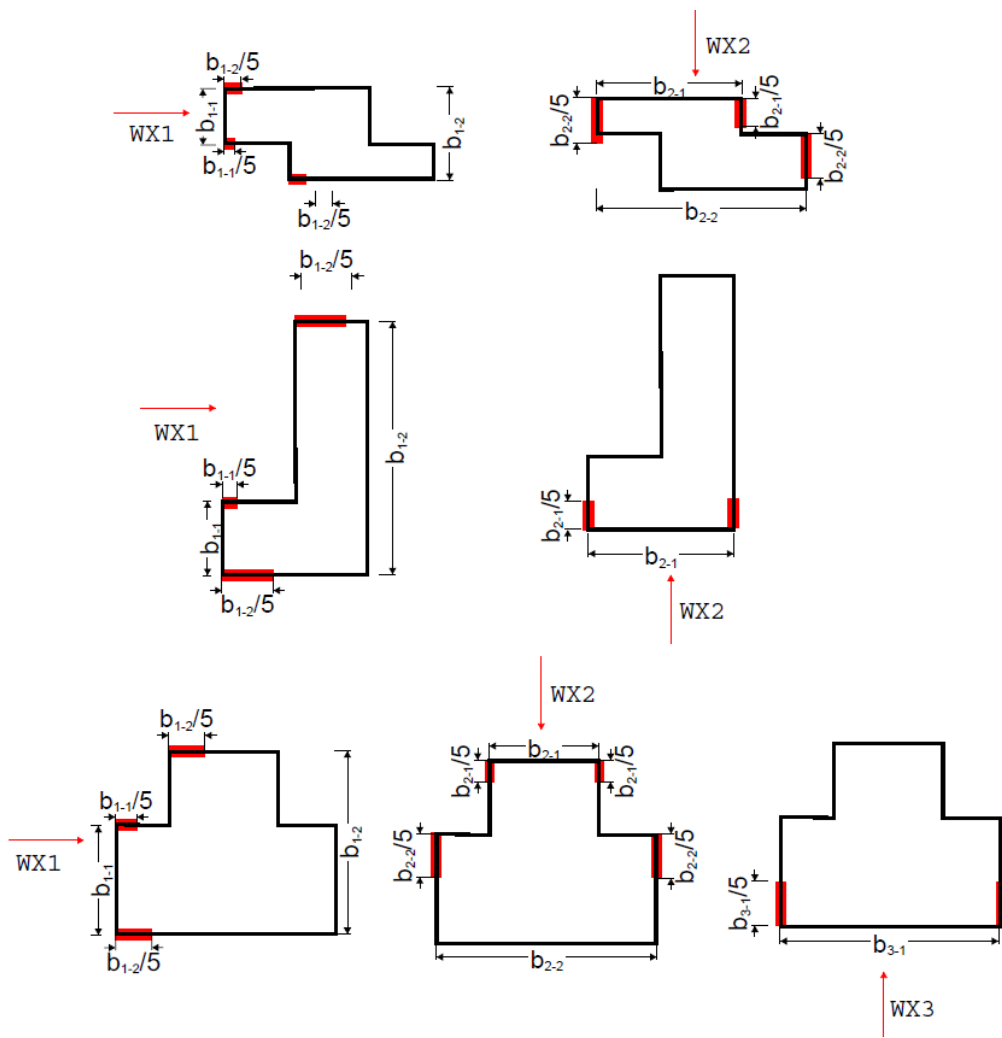


圖 B-1 不規則建築物外形的邊緣區域定義

### B1.3 有顯著外牆開口的建築物的內風壓系數

建築物的內風壓是由外部透風所致，可由已定義的開口的相對面積及外表面的滲透度及對應的外風壓作為函數計算。

顯著開口情況的內風壓系數的計算方程式，取自 NJ Cook 所著的 “The designer’s guide to wind loading of building structures, Part 2” 第 18.2.1 章公式 18.6，載述如下。《守則》載述適用於顯著開口情況的方程式是假設有 2 個開口，而較小的面積的平均風壓為零而得出。方程式適用於當與  $A_{tot}$  相關的縫隙分佈於多個建築物表面的情況。方程式說明內外風壓

係數隨 $A_o/A_{tot}$ 的比率持續變化的關係。內外風壓之間的折減比率與BS 6399和《歐洲規範》相近。

對於不能歸類為顯著開口的情況，內風壓系數可通過氣流的平衡來計算，可使用以下方程式：

$$0^{(*)} = \sum_{\text{All } j} A_j \left[ \sqrt{2|P_{ej} - P_i|/\rho_a} \text{Sign}(P_{ej} - P_i) \right]$$

其中，

$P_{ej}$ 為第j個洞口的外風壓

$P_i$ 為所需的內風壓

$\sqrt{2|P_{ej} - P_i|/\rho_a}$ 為第j個洞口的氣流速度

$\text{sign}(P_{ej} - P_i)$  為氣流方向——如為正數，表示向內

$A_j$ 為在j位置的有效開口尺寸，一般為矩形開口總面積的0.6。

方程式反映圍封內部體積流入和流出風量相等的原則。在單一體積內，為達到穩定氣流， $P_i$ 是以上方程式的答案。對於多於兩個開口的情況，可用反覆運算法得出答案。

如沒有顯著開口，為修正湍流脈動，上文計算出的 $P_i$ 應該乘以 $S_s$ 。這數值基於最大開口的周長且與 $P_i$ 有相同的風壓正負號，再以 $\pm 0.1Q_h$ 調整。

(\*)通過調整這數字，可計及送風或多個房間相連的影響。

註：《歐洲規範》規定把一個在極限狀態下關閉的外部開口（一扇門或窗），視為在劇烈風暴期間的意外開口。這同時適用於建築物的玻璃外牆，在意外情況下可能會遭強風吹來的碎石瓦礫破壞。有關是否需要按項目就意外情況的顯著開口的影響進行評估，取決於設計者。如果採取這做法，極限狀態下部分風荷載因數可取值為1.0。

## B2 建築物附屬結構的風壓系數

### B2.1 遮陽篷、建築鰭狀飾件及招牌

附連在建築物上的遮陽篷、建築鰭狀飾件及招牌的荷載受多種因素影響，包括建築物附屬結構的氣動力“體型”系數以及會受建築物明顯影響的局部流場。

當風吹過建築物牆角時將會加速。由伯努利方程式推算，局部風速放大的理論值可定為 $\sqrt{1 - C_{pe,min}}$ 。對於環繞建築物的氣流，可通過使用建築物向風面的靜風壓（ $C_{pe,max}$ ）作進一步修正。因此所處風速可以通過 $\sqrt{C_{pe,max} - C_{pe,min}}$ 修正。把 $C_{pe,max}$ 及 $C_{pe,min}$ 分別取值為+0.8 和-1.2，風壓放大系數將為 2.0。這應用於建築物頂部和建築物牆角的附近位置。

然而，有時建築構件會導致風速減慢。由於針對特定幾何形體作直接測量的數據有限，0.75 被採用為修正因數。因此，若平板（阻力系數為 2.0）與外牆有一定距離，其阻力系數變成 3.0（ $=2.0 \times 2.0 \times 0.75$ ），而若平板與外牆相連（原來的阻力系數為 1.2），其阻力系數變為 1.8（ $=1.2 \times 2.0 \times 0.75$ ）。在其他區域，將出現較小的遮護效應，而非風加速的情況，而荷載則減半。

由於因附屬結構的摩擦力而產生的額外橫向力一般不大，故此不作考慮。然而，水準視角下的投影面積應包含在總投影面積中，以設計抵禦橫向荷載系統。不過，對於  $B/D > 3$  且有垂直鰭狀飾件的建築物，來自垂直鰭狀飾件的摩擦力或不容忽略。在這情況下，應適當地評估垂直鰭狀飾件的摩擦力對整體阻力的影響。BS EN 1991-1-4 第 7.5 部分可作為計算摩擦力的參考資料。

### B2.2 露臺

露臺圍欄的風荷載受環繞建築物的整體氣流影響。荷載也受分割露臺的隔牆或私人屏障導致的局部氣流變化所影響。由於在上文 B2.1 載述的相關位置出現局部氣流加速現象，鄰近建築物頂部和牆角的圍欄有較大機會承受更高的淨風壓系數。《守則》關於露臺牆壁和圍欄的淨風壓值的現行條文是以“AWES-HB-001-2012”為基礎，以±1.8 作為牆角和頂樓露臺的風壓系數，及以±1.5 作為位處其他位置的露臺的風壓系數。為便於計算，《守則》取值±1.8。對於露臺樓板，以-1.8 用於上舉力，以+0.9 用於下向力，與附連在建築物的簷篷情況相近。

由於圍欄上的風荷載受塔樓引起的整體氣流影響，應取建築物高度作為露臺和圍欄的參考高度。如第 4.3.1 節所述，對於在位移高度一半以下的露臺，准許對風荷載作兩成折減。

## B2.3 建築物的簷篷

這條文涵蓋附連在建築物下半部分的簷篷。對於這類型的簷篷，當簷篷附連在建築物的向風面，由於向風面令氣流向下流動，預計會出現下向的荷載；當簷篷附連在建築物的側面，由於“馬蹄形渦旋”引致氣流加速，預計會出現上舉的荷載。對於附連在建築物上半部分的簷篷或者獨立簷篷，可使用 BS 6399 或 BS EN 中有關獨立簷篷的規則。

《守則》中+0.9 和-1.3 的取值，參考了 NJ Cook 的著作的書表 20.28。為便於計算，《守則》已採用考慮附連在建築物中至下方的不同位置簷篷的最嚴苛的取值。

## **B3** 獨立牆的風壓系數

---

見第 4.3.5 部分。

## 附錄 C

---

第 5 部分補充資料：尺寸因數  
和尺寸與動力效應因數



## C1 計算尺寸因數的方程式

公式可供配合試算表或其他計算方法使用。如第 5.1 節所述，這些公式都是基於理論模型的經驗擬合。

## C2 建築物和其他結構的阻尼

結構在振動時的能量耗散難以用理論模型計算已被證明，因此非常依賴實際測量。尤其是層數相對較少的建築物，其阻尼值非常受覆蓋層板的次要構件和摩擦力影響，因此結果較為分散。如建築物較高且窄長，主體結構與次要構件相比，抵抗風致運動的剛性會更大，理論預測此類建築物的阻尼應該偏向主體結構物料本身。基礎應變也可以使淨阻尼增加，但這種淨阻尼增加的機制將隨建築物的長細比增加而減弱。

阻尼隨高度變化的趨勢清晰地顯示在下圖（取自 Willford and Smith 的研究）。有關資料不足以用作再繪製阻尼隨細長度變化的圖表，但圖中異常高的阻尼值是錄自 200 米高的立方體建築物。所有建築物高度中的最小阻尼測量值相對於以往例子也屬偏小。

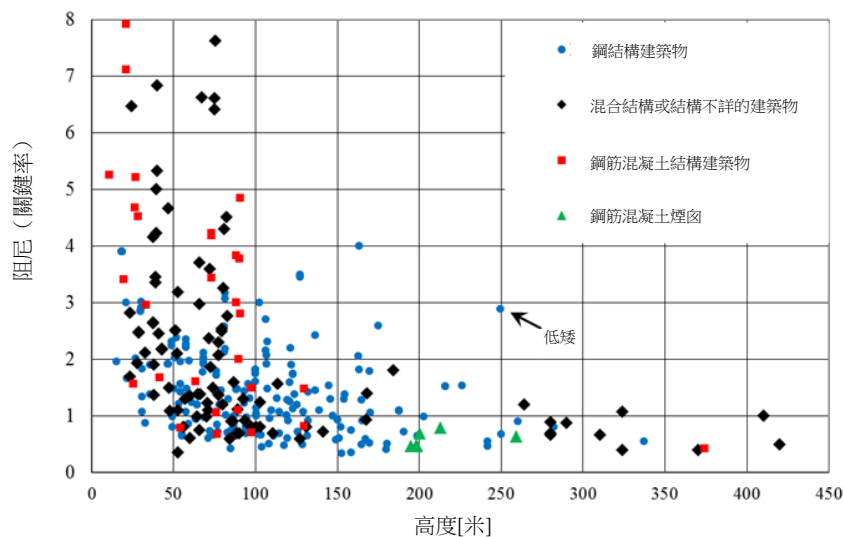


圖 C-1

基於以下檔資料再繪製：“Intrinsic and supplementary damping in tall buildings”, Smith et al., Structures and Buildings, Issue 63, SB 2

Willford and Simith 研究中的數值也是使用更現代的方法得出，而且該方法可以基於測量的時間長短和質素確定系統誤差。很多與以往的測量方

法相關的隨機誤差傾向高估阻尼水準，尤其是需要長時間測量的較小數值。

使用實測阻尼的問題是數值可能隨運動振幅變化。摩擦阻尼（例如因覆蓋層板所致）傾向隨振幅減少。在其他情況下，阻尼的下降可能只發生在較高荷載的情況，且與失去剛性有關。基礎的阻尼也取決於振幅。有些理論認為，混凝土持續裂開會增加阻尼，但明顯地，這會令結構疲勞損壞。需要注意的是，高聳塔樓的豎向結構主要存儲有振動的彈性能，且該豎向結構實際上在自重作用下產生預加應力，而預應力混凝土的物料阻尼較風洞測試通常使用的數值更接近臨界的 0.5%。

《守則》中阻尼的最佳估計值，是基於以上數據於不同的應力水準以及建築物運動的可覺程度所得。按照以往的做法，計算結構荷載用的阻尼值增加 50%。

鋼材和混凝土建築物之間的阻尼比略有差異，因為與鋼材相關的物料阻尼較低。香港有很多建築物將會是混合結構，在這種情況下可使用兩者之間的數值。

建築錐形部分對結構阻尼的影響已經透過結構高寬比納入考慮，結構高寬比定義為建築物高度（從基礎／底部開始量度）與振動方向的底部尺寸之比。如彈性結構座落在相對剛性和寬闊的底部，亦應比對由剛性底部開始測量的高度，以及僅在剛性底部以上水準的結構尺寸。《守則》表 C2-1 和表 C2-2 中用於計算阻尼比的高寬比，須為以上兩種計算方法的較大者。

在某些情況下，為結構增加額外的阻尼可能有好處。在這種情況下，可以合理地考慮結構阻尼的最佳估計值。

## 附錄 D

---

第 6 部分補充資料：風洞測試  
要求

## D1 對獨特結構進行風洞測試的考慮因素

---

### D1.1 概要

一般建築物和橋樑的風洞測試流程已相當成熟，但該流程往往基於簡化的假設，而這些假設並不普遍適用。一般的做法未必直接適用於獨特結構，特別是不對稱、構件形狀窄長或表面圓滑的結構。以下討論指出部分應使用其他方法的案例，並非獨特結構風洞測試的全面指引。

### D1.2 體育館和大跨度屋頂

《守則》沒有描述分析大跨度屋頂結構的風洞測試數據的方法。一般而言，獲得的同步壓力測量數據可用於計算代表各種風力作用的風荷載情況。其複雜程度取決於風荷載相對於恆重的重要性，以及結構的形式。

關鍵荷載情況可以不同的頻域和時域方法識別，而時域方法隨著電腦效能的日益發展逐漸更廣為使用。時域方法亦可對關鍵荷載的本質提供更清晰的理解，且能更有效地模擬最大荷載。不論採取上述任何方法，都可能具有明顯的共振動力效應。

儘管在發明現代壓力掃描系統前，氣動彈性測試是標準方法，但礙於模型比例問題和模型撓度導致荷載計算的偏差，對此類結構進行氣動彈性測試非常困難。目前已甚少採用這種方法。

### D1.3 建築物頂部

通過高頻率力秤所進行的標準風洞測試方法，在建築物頂部的橫切面和質量顯著變化的情況下，尤其當建築物頂部的密度較低時，無法就建築物頂部結構提供可靠的風荷載。就結構而言，當樓板與核心結構連接良好，通常可提供較好的傳力路線，建築物頂部在這情況下，測試結果中的荷載誤差並不重要。如建築物頂部屬其他結構形式或特徵，或需另行特別研究。同步風壓測試方法應用範圍較廣，但在設計上須考慮到局部結構的形式。選用任何一種測試方法均應徵詢專家的意見。

### D1.4 建築物附加物

增建建築物附加物的原因很多，包括遮陽和美觀等，其形式和結構各有不同，受力表現也可能有所不同。它們的尺寸使其難以在一般建築物測試的比例下（1比250至1比500）準確模擬。為了獲得這些構件本身的

氣體動力行為，包括氣動彈性的不穩定性（顫振、馳振、渦激振動），可能需要採用更大的比例，甚至實際比例作模擬。然而，在這些情況下，以相同的比例模擬建築物及其周邊對當前風速造成的影響並不切實可行。估計當地風環境的方法包括以大於一般測試比例測量風速，或採用伯努利原則作保守估計，並建議尋求專家的建議。

## D1.5 圓形建築物

雷諾數效應可能會影響所有小規模測試，對圓形建築物的測試的影響尤為重要。為取得與實際比例相若的合理數值，必須使圓形建築物表面的邊界層處於完全湍流的狀態，但增加粗糙度或會使表面阻力過大，導致巨大誤差。使用更離散的方法導入湍流的方法可能更有效。一般而言，理想的做法是參考大規模的典型截面測試以作驗證。

## D1.6 構架測試

以上考慮通常適用於建築物構架。在這些情況下，既定理論方法的規範應用可能比直接測試更為可靠。如構件形狀獨特，則可能需要就構件截面進行測試以確認，例如在理論模型中使用阻力系數。

## D1.7 多度自由度的動力反應

《守則》所載的標準方法是根據簡單的單度自由度動力特性模型而訂立，其對具有相近的頻率分佈或使用分離阻尼系統的複雜結構有所局限。在一些情況下，使用時域方法作分析可能較多種模態頻域方法可靠，特別是對於複雜的屋頂結構。

## D1.8 氣動彈性模型

氣動彈性模型將一併模擬重要的風和結構相互作用，但無法準確地在小比例風洞測試重現結構的所有動力特徵。就建築物而言，一般僅重現最低的橫向水準振動模式。難以找到厚薄程度足以與一些輕身的大跨度屋頂相匹配的物料。在這些情況下，需要藉其他研究或理論模型的額外資料來全面瞭解有可能產生的反應。需要說明的是，一般的剛性模型測試無法獲得質量、頻率和阻尼的動力影響，但在一些情況下需要考慮這些影響，特別是氣動彈性阻尼效應。

## D1.9 幾何模型誤差

在小比例模型中準確的模擬建築物的細節是不切實可行的，在某些情況下須以粗糙的表面作替代。

製作懸臂式屋頂邊緣的模型是困難的，因為物料的最小厚度需要能夠包含測壓孔，有時候錐形邊緣或可做到，而在其他情況下，應顧及模型製作上可能遇到的困難。一般設置傳壓管的影響極微，但可能會對體育館屋頂內部造成阻擋。

如幾何模型有可能出現嚴重誤差，應考慮進行更大規模的測試。

## 附錄 E

---

同一平臺上多座塔樓的荷載組合



## E1 概要

多座塔樓座落於同一平臺上，結構上融為一體，乃香港標準且特有的結構。要以有限的荷載情況涵蓋所有關鍵荷載情境，是艱巨的挑戰，畢竟國際間在此範疇上缺乏足夠的學術研究及設計守則。

本附錄載有用作釐定同一平臺上多塔樓設計的關鍵荷載情況，以供參考。這些關鍵荷載情況可分為兩類，分別考慮了平移效應及扭轉效應。設計者需審視這些建議荷載情況是否足以涵蓋所有荷載效應。

《守則》的使用者總可保守地取全荷載而非利用折減因數來減少設計荷載組合的數目。

## E2 關鍵平移荷載情況

本部分旨在得出一系列可涵蓋所有塔樓在每個檢查方向下的風荷載的最大荷載情況。如圖 E-1 所示，總共 8 個檢查方向，每個方向的範圍為 45 度。

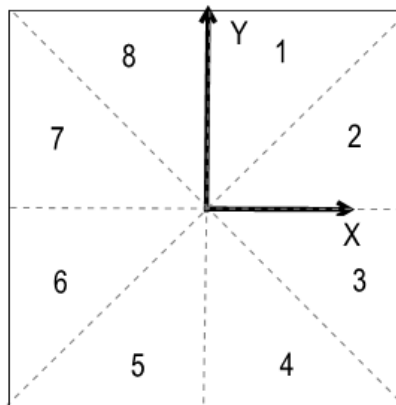


圖 E-1 總體軸下的 8 個檢查方向

圖 E-2 載有 4 座塔樓座落於同一平臺上的實例，並以不同顏色的矩形標示出每座塔樓的外形。

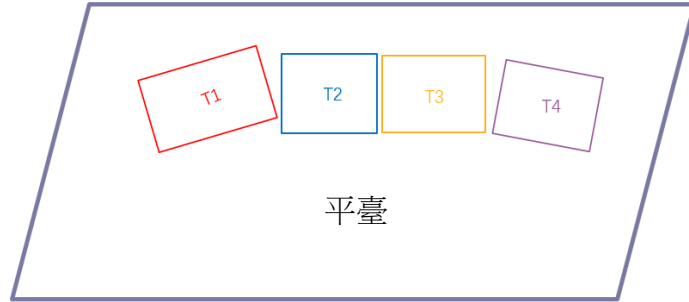


圖 E-2 建築物平面

計算關鍵平移荷載情況的步驟如下：

1. 塔樓和平臺應根據各自的局部坐標軸來計算。總體坐標軸可不同於塔樓和平臺的局部坐標軸，如圖 E-3 所示。
2. 根據《守則》的步驟來計算每座塔樓在局部軸下的平移風荷載 ( $F_x$ ,  $F_y$ )。
3. 每座塔樓可利用《守則》表 2-1 中情況 1 和情況 2 的荷載組合因數，合成平移荷載 ( $F_x$ ,  $F_y$ ) (如下表 E-1 所示)。每個平移荷載組合用一個向量表示。例如，圖 E-4 的向量 1-1 代表荷載組合  $1.0F_y + 0.55F_x$ 。
4. 每座塔樓的檢查面劃分為 8 個分區，而每個分區代表一個主要的檢查方向。如圖 E-5 所示，在總體坐標軸上畫出每座塔樓組合合力的向量 (總共 8 個)。
5. 平臺上的力向量應按照上述步驟 2 至步驟 4 求得。
6. 在每個分區中，為每座塔樓 (選取其最大向量) 和平臺各選取力向量，並組成荷載組合 (已選取的力向量總和)。然後，從分區中選取最大向量和向量值的荷載組合。如在同一分區中出現多於兩個來自同一塔樓的向量，則須選取可在結合平臺和其他塔樓的向量後，得出最大向量和量值的向量。如分區中沒有來自平臺或塔樓的向量，則該分區的塔樓/平臺的向量為零。這充分考慮了所有分區的 8 個荷載情況。
7. 伴隨扭力荷載是個別塔樓和平臺承受的扭力，應遵從《守則》第 2.2.2 節的規定，並取荷載因數為 0.55。考慮到扭力荷載的正反方向 (+, -)，總共需要 16 個 ( $8 \times 2 = 16$ ) 荷載情況以涵蓋所有關鍵平移荷載組合。這與《守則》第 2.2.4 節中 16 個平移控制荷載情況相似。

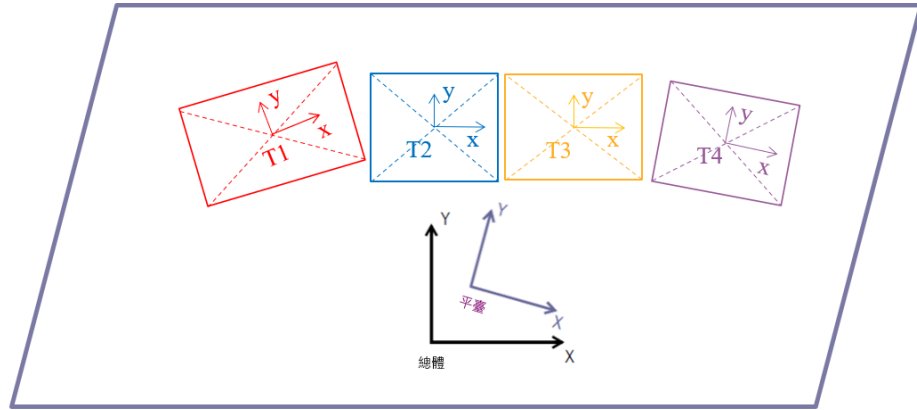


圖 E-3 建築物軸和總體軸

表 E-1 可視為矩形的建築物的荷載組合因數

| 情況 | $W_{z,x1}$<br>$= \text{Max}(W_{z,+x1}, W_{z,-x1})$ | $W_{z,x2}$<br>$= \text{Max}(W_{z,+x2}, W_{z,-x2})$ | $\Delta T_z$ |
|----|--|--|--------------|
| 1  | ±1.00  | ±0.55  | ±0.55        |
| 2  | ±0.55  | ±1.00  | ±0.55        |
| 3  | ±0.55  | ±0.55  | ±1.00        |

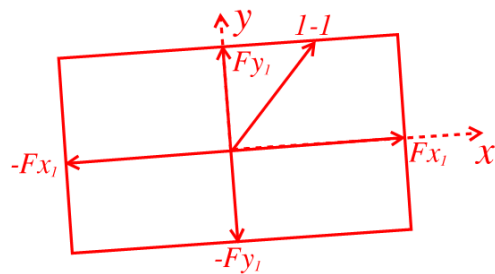


圖 E-4 平移荷載組合的例子

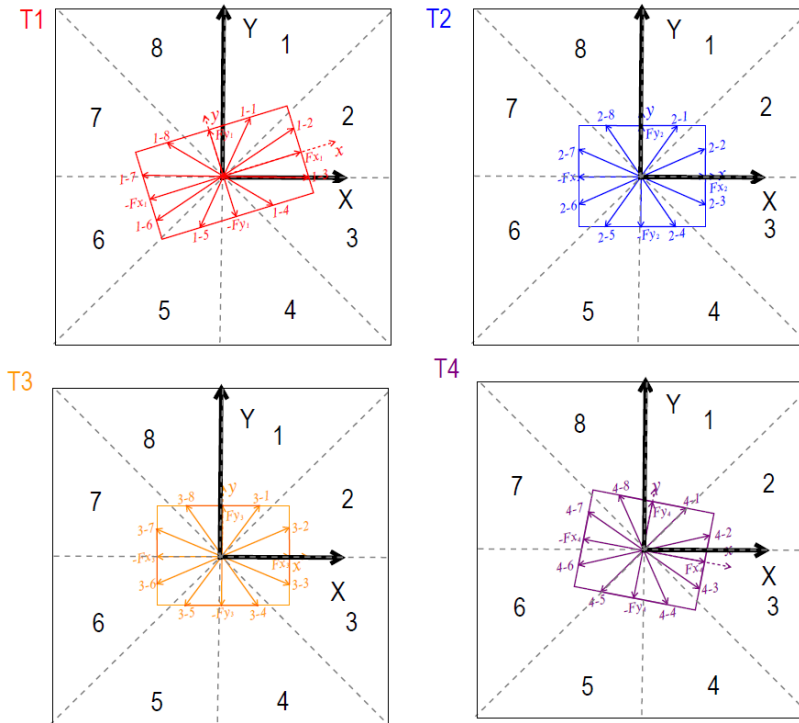


圖 E-5 每座塔樓的組合力

## E3 關鍵扭力荷載情況

### E3.1 兩座以上的塔樓

如全荷載的情況界定為所有塔樓同時承受最大或最小的風荷載，那麼部分荷載的情況可理解為某些塔樓承受最大的風荷載，而其餘塔樓則承受最小的風荷載。至於有輕微動力反應的建築物，可採用如《2004年守則》表 F 所示的 1.8 的動力放大因數。然後，某些塔樓要承受部分荷載的 100% 峰值荷載，而其餘塔樓則承受 10% 至 20% 的峰值荷載。

這大致上相等於 BS EN 規則因風力分佈不均而對扭力荷載作出的考慮。BS EN 採用三角形的風荷載，在正交荷載方向下，淨風壓系數為淨風壓的 1.3 倍，而另一端的淨風壓因數則如圖 E-6(a) 所示取 0。三角形分布的風壓可視為相等於兩個分佈平均的風壓，如圖 E-6(b) 及圖 E-6(c) 所示，一半荷載體取  $C_p$ （一半取 100% 峰值荷載），而另一半則取  $0.2C_p$ （一半取峰值荷載的 20%）。三角形風荷載形成的扭力等同由於 10% 偏心距的全平移荷載產生的扭轉效應。這也是 BS 6399 對考慮單座建築物平面扭轉效應的建議。上述討論顯示不同觀點之間就扭力問題互相參照。

如圖 E-6 所示，部分荷載的情況可透過施加 55% 的水準荷載，以及由水平荷載加上 10% 偏心距所形成的等值扭力，令平臺承受關鍵的扭轉效應。

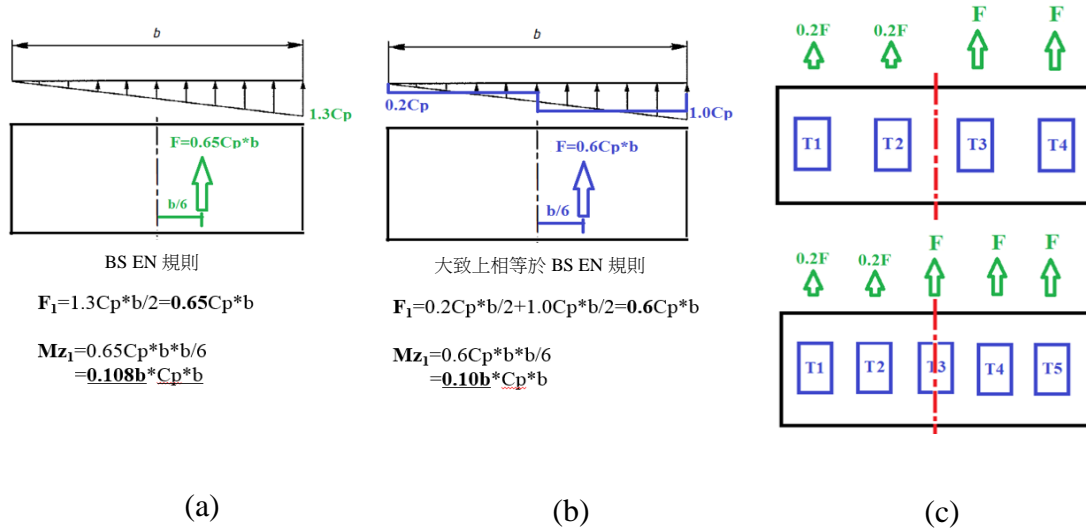


圖 E-6 (a) BS EN 的扭力荷載規則；(b) 與 BS EN 規則等值的均布荷載；(c) 施加部分荷載的例子

《守則》的使用者須注意，上述討論只集中於平臺屋頂以上的部分塔樓荷載而形成的整體扭力 ( $M^*$ )，因此這個步驟的平臺幾何形狀與  $M^*$  的計算無關。由個別塔樓和平臺的橫向荷載偏心距而形成的扭力荷載 ( $M$ ) 可於後期分別加上。

關鍵扭力荷載情況可根據以下步驟求得：

1. 每座塔樓的荷載可如圖 E-7(a)、(b) 及 (c) 所示，根據《守則》計算得出。
2. 按照第 E2 部分求得 8 個平移控制荷載，而如圖 E-5 所界定的每個分區中的合力 ( $F_{lateral-i}$ )，則可利用向量和計算得出。例如，如圖 E-7(d) 所示， $F_{lateral-i}$  為  $F_{1-1}$ 、 $F_{2-1}$  和  $F_{3-1}$  的合力。
3. 每個  $F_{lateral-i}$  的最大的投影對角寬度  $B_i$ ，可如圖 E-7(e) 所示找出。
4. 每個分區的整體扭力可根據  $M_i^* = F_{lateral-i} \times 0.1B_i$  ( $i = 1$  至 8) 計算得出。
5. 透過  $M^* = \max(M_i^*)$  ( $i = 1$  至 8) 選取最大扭力，作為由部分塔樓荷載引起的整體扭力荷載。

6. 重複 8 個控制整體橫向荷載的計算 ( $F_{lateral-i}$ ,  $i = 1$  至 8)，惟荷載因數取 0.55。對應於八個總體橫向荷載  $M$  中的每一個橫向荷載的單個塔樓和平臺的當前扭力（全部作用於同一方向）同時結合 1.0 的荷載因數施加。
7. 全部 8 個組合同時應用步驟 5 計算所得的扭力  $M^*$ （集中扭矩），以與  $M$  相同的方向施加於平臺頂部上，並如圖 E-8 所示。
8. 考慮到  $M$  和  $M^*$  的正反方向 (+, -)，總共還有 16 個扭力荷載組合。

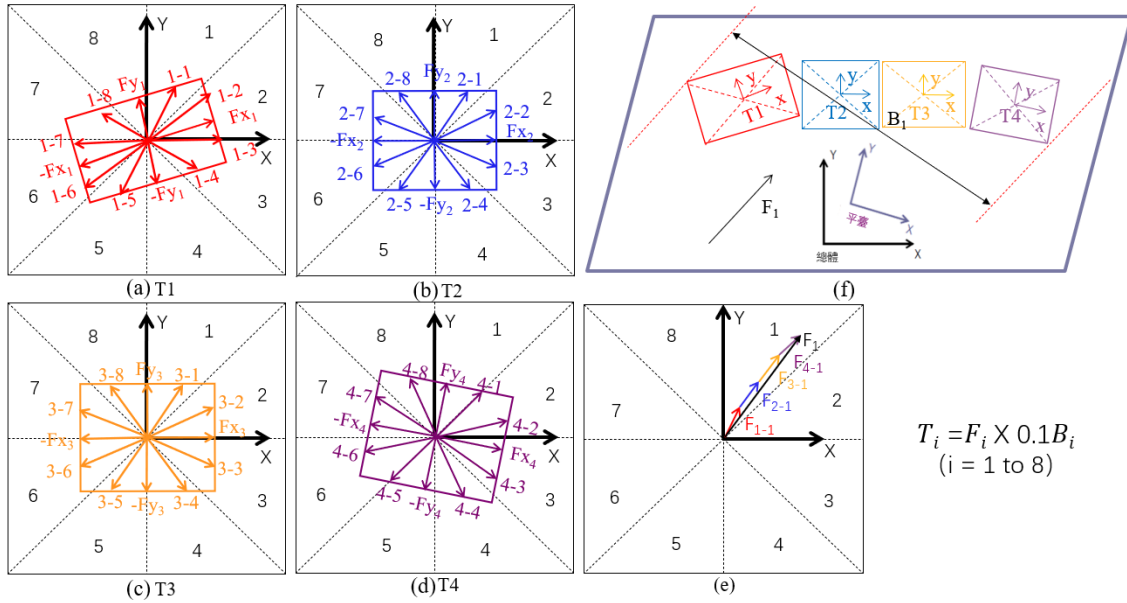


圖 E-7 來自塔樓的整體扭力荷載 平臺

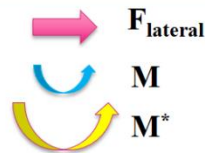
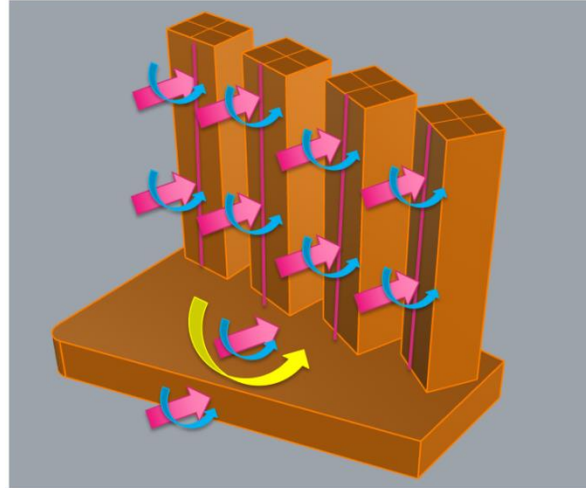


圖 E-8 關鍵扭力荷載情況

註：

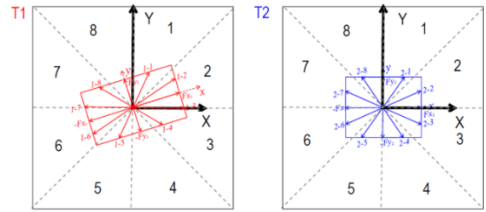
1.  $F_{\text{lateral}}$  代表來自塔樓和平臺的橫向力組，各為 8 個風向提供最大向量和；
2.  $M$  代表根據第 2.2.2 節的規則計算所得的每座塔樓和平臺的橫向力形成的扭力；
3.  $M^*$  代表由平臺屋頂以上的部分橫向力形成的整體扭力。

## E3.2 雙塔

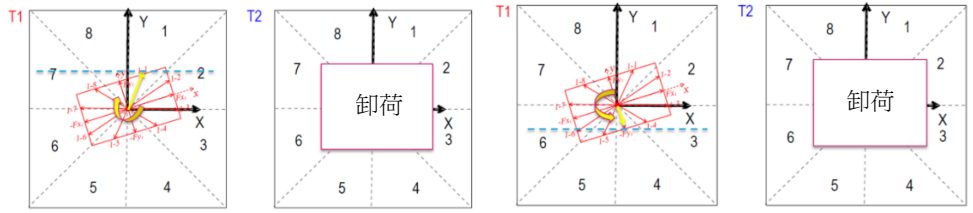
相比起不同塔樓密集地排列在一起，雙塔的情況更容易令塔樓之間出現顯著的負幹擾，包括異相的氣動力及（或）動力，因而產生更大的扭轉影響。為了反映這種情況，部分塔樓荷載情況的扭轉效應會調整成一座塔樓承受全荷載，而另一座則卸荷（100% T1 荷載 + 0% T2 荷載）。

雙塔的組合（圖 E-9(a)），如圖 E-9(b)至圖 E-9(e)所示，分別從區域 1 及 2、3 及 4、5 及 6 和 7 及 8 中選取形成最大扭轉效應（ $M^*$ ）的向量（黃色向量代表橫向力）。個別塔樓和平臺承受的伴隨扭力（ $M$ ，黃色扭轉符號）與  $M^*$  的扭轉方向相同，共有 4 個荷載情況（接近  $0.55F_{\text{lateral}} + 1.0M^* + 1.0M$ ）。考慮到全荷載 T2 和卸荷 T1 的對稱情況，再有多 4 個荷載情況，即總共 8 個荷載情況。



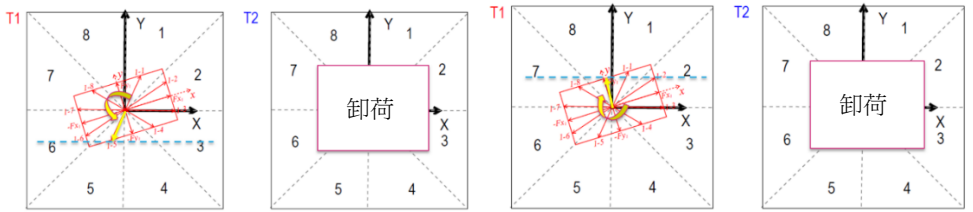


(a) 雙塔承受的向量



(b) 區域 1 及 2 的最大扭轉效應

(c) 區域 3 及 4 的最大扭轉效應



(d) 區域 5 及 6 的最大扭轉效應

(e) 區域 7 及 8 的最大扭轉效應

圖 E-9 荷載情況 (T1 全荷載及 T2 卸荷)

## 附錄 F

---

### 參考資料

## 參考資料

---

1. Australian/New Zealand Standard: Structural design actions, Part 2: Wind actions, AS/NZS 1170.2:2011
2. ASCE Standard: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI 7-10.
3. British Standard: Loading for Buildings – Part 2: Code of practice for wind loads, BS6399 -2: 1997
4. British Standard: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions, BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010
5. Cook, N.J. The designer's guide to wind loading of building structure – Part 2: Static structures. Butterworth – Hernemann Ltd, 1990
6. John D. Holmes, Wind Loading of Structures, Second Edition, Taylor & Francis
7. User's Guide – NBC 2010 Structural Commentaries (Part 4 of Division B)