

澳門大型酒店項目智慧型防控策略探討

尚樺*

摘要：澳門位處中國東南沿海珠江三角洲西岸，是中華人民共和國其中一個特別行政區。自1999年12月20日回歸後，澳門在旅遊業帶動下逐漸發展成為國際城市，各類大型酒店項目相繼在澳門落成，部分項目建築群規模龐大及設計複雜，與其他建築物相比，這些地標式建築物講求建築美學要求更甚於功能需要，其外型及內部空間多為大空間及不規則形態，本澳沿用之消防條例並未足以完全評估及規範相關消防安全設計。故此，澳門遂引入第三方設計及評定機制，透過性能化評估及智能化分析，以解決大型酒店建築群消防安全設計方面的規範問題，在過程中整合出一套以智能及性能化設計、結合及輔助本地區消防條例的規範模式，以確保大型建築群的消防安全。本文主要透過個案分析方法，闡述有關第三方設計機制與本澳消防條例規範的整合情況，解決消防安全條件評定與大型酒店建築群建築設計之間的衝突。

關鍵詞：

樓宇及場地防火安全的法律制度 消防安全設計 防火分區 生命安全評估 性能化防火安全設計

一、發展背景

(一) 澳門與世界旅遊休閒中心

澳門由澳門半島、氹仔以及路環三個區域所組成，總面積因為沿岸填海造地而一直擴大，由1912年僅11.6平方公里逐步擴展至今年的33平方公里¹（當中包括新城填海區及港珠澳大橋珠澳口岸人工島澳門口岸管理區）。另外，澳門大學新校區面積約為1.0平方公里²。現時澳門總人口約682,300人，人口密度高達20,745人/平方公里³，其中澳門半島北部被視為世界上人口密度最高的地區之一。

七八十年代，澳門工業開始發展，工業大廈相繼落成。當時工業大廈分散建於市區內，本已接近居民住宅，其後由於社會急速發展加上土地資源有限，工業大廈旁的土地相繼興建住宅，出現工業建築與住宅建築混雜情況，但上述建築物規模相對較小，故消防安全設計方面亦較簡單。而隨着年月流逝，工業在澳門逐漸式微，由旅遊業及博彩業取而代之並逐漸成為澳門主要產業。當時娛樂場酒店規模較小，為小型建築，結構及消防安全設計要求甚至較工業建築簡單，及後隨着賭權開放，以及歷史城區列入世遺名錄，澳門旅遊博彩業高速發展，吸引大量內地及海外旅客。娛樂場酒店由小型建築逐漸發展為大型建築群，而為滿足會議、展覽、休閒活動及大型表演活動等附加業務需要，建築群內需增加相關功能建築，龐大的建築規模使消防安全設計變得更加複雜。

* 尚樺，消防局一等消防區長。

1. 《澳門年鑑－地理環境和人口》，網址：https://yearbook.gcs.gov.mo/uploads/yearbook_pdf/2021/myb2021cPA01CH21.pdf。

2. 澳門大學官網－澳大簡介，網址：<https://www.um.edu.mo/zh-hant/about-um/introduction/>。

3. 〈2021人口普查初步結果〉，網址：<https://www.dsec.gov.mo/Statistic/Demographic/PopulationCensus/2021%e4%ba%ba%e5%8f%a3%e6%99%ae%e6%9f%a5%e5%88%9d%e6%ad%a5%e7%b5%90%e6%9e%9c.aspx>。

（二）建築設計需要與消防安全

過往市區內各獨立建築物功能單一，消防安全設計要求相對簡單，儘管部分住宅大廈設有商業部分，但一般亦可作獨立分隔，故以本地法規足以規管及確保消防安全。第 15/2021 號法律核准的《樓宇及場地防火安全的法律制度》內的防火安全技術規範主要以樓宇使用種類及高度作分類，明確規定各類樓宇或場所的隔火間隔（即防火分區的大小）、所需安裝消防系統的種類、各系統安裝方法和布局以及須達到的效能數據。以防火分區為例，現行法規規定所有非工業用樓宇或場所，高層部分防火分區不得超過 1,250 平方米，最低層部分防火分區亦不得超過 3,800 平方米，相關規定還設有體積限制，防火分區的面積會隨着樓層高度的增加而減少。

然而，近年在澳門開展的各類大型酒店項目中，除了設有一般酒店娛樂場建築物外，還包括購物中心，會議展覽場地、休閒及大型表演活動等場地。因其建築規模龐大，各類不同使用組別的場所交集，使用人數眾多，故消防安全設計要求遠超一般工業及商業建築物，同時現行法規亦未能就其消防安全設計提供全面的規範及評估依據。再者，為配合舉辦大型活動之需要，部分建築設計上需要室內超大空間，傳統的防火分區方法（如牆壁）及以消防系統聯動的防火分區閘並不適用，在此前提條件下倘沒有適當的消防安全設計，上述建築物一旦發生事故，將會大幅增加消防部門的救援工作難度。

為此，對於上述建築物更應採取以“防”為先的方針，完善建築物消防安全及消防系統設計，以防止火警發生及阻止火災蔓延。然而，在實際工作中由於本澳沿用之消防條例未足以完全規範及評估相關設計，故於圖則審批階段已遇到不少困難。有見及此，澳門開始引入其他國家或地區的消防安全規範（如 International Building Code，簡稱 IBC）作為第三方設計及評定機制，透過性能化評估及智能化分析，以協助解決大型酒店建築群消防安全設計方面的規範問題，同時在建築物功能設計需求與消防安全間取得平衡。上述第三方設計及評定機制對於部分消防安全規範並非以實際數值規管，而是採取目標性規範，即只要達到相關效能便符合規範。而現時判定設計及效能符合規範的方法主要是智能化分析，即用電腦模擬事故發生以測試相關設計能否符合規範目標，一些情況下亦會在現場進行實驗（如消防系統聯動實驗、熱煙行為及排煙效能實驗），以查看實驗結果能否符合電腦模擬預期。由此可見，第三方設計及評定機制並非就樓宇或場地內各種影響消防安全設計的元素，如滅火系統、防火分區、各物料耐火效能及事故時疏散能力等作獨立規管，而是平衡建築設計，效能需要符合消防安全要求，容許相關建築物消防安全設計改變或配搭上述各消防安全設計的元素，再以科學方法論證該設計是否符合相關的安全目標，故第三方設計及評定機制較現行法規更具彈性及可變性。

（三）澳門消防局與消防安全設計

在澳門，建築工程的審批及建築物使用准照的發出主要屬澳門特別行政區土地工務局的權限。然而，澳門消防局除了負責提供滅火救援及救護服務外，根據第 18/2016 號行政法規修改第 24/2001 號行政法規《消防局組織及運作》，澳門消防局亦需審查一切與防火安全有關之事宜並發出意見書，以及對樓宇及其他建築物以及防火設備進行查驗、測試、監察及鑑定性檢驗。因此，針對處於興建階段的建築物，消防局會應權限部門要求對其消防系統及消防安全設計發表意見。當建築物落成後，亦會派員到場進行消防系統測試及驗收。

對於一般樓宇，消防局防火廳設計圖分析處主要根據第 15/2021 號法律核准的《樓宇及場地防火安全的法律制度》內的防火安全技術規範規定審議，對建築物圖則發表消防安全意見；建築物落成後，防火廳設施檢驗處會派員到場，根據已核准圖則及上述規章內之要求，對建築物消防系統進行測試並筆錄，以供權限部門作為發出使用准照的依據；而防火廳研究及試驗室，亦會就相關防火物料的測試報告發表意見。然而，對於使用第三方設計及評定的建築物，情況則稍有不同，鑑於大型酒店項目不乏室內大空間設計，超出現行法規防火分區體積規定，所使用的消防系統及消防安全設計與本澳所實行之防火安全技術規範有異，難以使用上述規章的要求評定其設計防火效能。

因此，上述工程項目若符合相關規定，並得到土地工務局批准，符合資格的設計公司可使用其他特定規範（如 National Fire Protection Association，簡稱 NFPA）進行性能化設計，以取代或補足未能滿足本澳所實行之防火安全技術規範規定的建築或消防系統部分。上述情況消防局防火廳人員給予消防安全意見時，要求取代或補足方案須能達至與規章內之相關規定的功能效果，因此設計公司須提交性能化評估分析報告以證明其方案的可行性。消防局亦會根據第 15/2021 號法律核准的《樓宇及場地防火安全的法律制度》內的防火安全技術規範或其他配套法規或標準，評估所提交報告配套標準的合理性，或要求作出修改。最後會整合規章內之相關規定以及方案的評估結果，發表消防安全意見。

而在工程進行階段，需由另一間合資格的第三方公司根據上述資料監督工程的進行；於建築物落成後，需根據性能化評估報告內的陳述情況，對建築物進行性能化測試，並提交相關情況的認可報告。完成上述程序後，消防局會派員到場進行測試，以監察第三方公司所提交的認可報告之可靠性。

二、案例探討

下文將會以澳門 2018 年落成的路氹某大型劇院和五星級豪華酒店為例探討針對大空間設計所需要使用的智能及性能化設計，當中引用了非澳門地區常用標準的特殊消防系統或建築設計規範以解決上文所述的問題，但會結合本地區消防條例的規範模式要求進行消防安全評估，以確保消防安全。

（一）大型劇院

該大型劇院是亞洲首個多元化動感劇院，可於短時間內變換超過十種不同的座位配置；劇院最多可容納二千位觀眾，舞台面積相當於三個網球場，配備一個 900 平方米的特大 4K（超高清）LED 顯示屏幕。

1. 耐火效能和防火分隔

舞台前設有舞台前水幕系統（Water Curtain）以分隔舞台區及觀眾座位區，另外設有分隔牆與所有更衣室、布景放置區、道具室、儲藏室、工作室、演員休息室及舞台附屬用房進行防火分隔。當舞台高度超過 15.24 米時，上述防火分隔的耐火時間應為 2 小時。而所有更衣室、布景放置區、道具室、儲藏室、工作室、演員休息室及舞台附屬用房應採用 1 小時耐火時間分隔物進行分隔。

2. 消防保護系統

舞台設有自動噴淋系統，設於高天花區、鐵格架層、移動式座位及平台的底部。所有室內空間均將全面受噴淋系統保護，舞台前的集水式水幕系統，由線式溫度探測器所啟動。此外，劇院的消防系統還包括消防喉轆及消防栓、坑槽外圍的座位區及平台區底部的空氣採樣煙霧探測系統、鐵格架層的光束煙霧探測系統及自動煙霧排除系統。

3. 室內裝飾

劇院的室內裝飾需符合 IBC 的要求。LED 屏幕、安裝於陽台開放式樓梯周邊的窗簾、布簾及布景等均需符合室內裝飾的要求或符合 NFPA 701⁴ 的火焰擴散要求。此外，座椅底部空間包含升降系統、電動馬達和電器設備。雖然這區域認為是不需通風設備的空間 (Plenum)，但所有電纜均符合具通風設備空間的規格，以減少電纜引起火災蔓延或煙霧發展的可能性。

4. 生命安全評估

根據 IBC 1028⁵ 的規定，劇院需遵照 NFPA 101 12.4.1⁶ 進行生命安全評估，並遞交相關的生命安全評估報告。此生命安全評估是基於劇院預計的用途建立的，如日後改變用途需進行更新。此生命安全評估將提交到權限實體的年度審批。

整體而言，生命安全評估說明了該大型劇院計劃具備充足的生命安全水平，並考慮了火災或其他緊急事故發生時的人員進入、疏散移動及人群行為。

5. 疏散計算機仿真

大型劇院疏散情況利用了 STEPS 版本 5.4 進行計算機仿真。STEPS 是由 Mott MacDonald 開發的行人運動仿真工具，並已被消防工程行業驗證和接受，應用於各種各樣的建築物和結構仿真疏散事件。

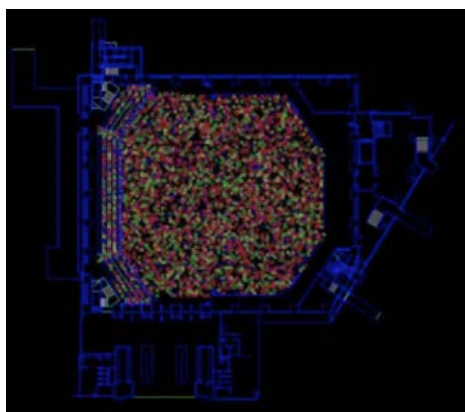


圖1 展覽場館的初始人員分布

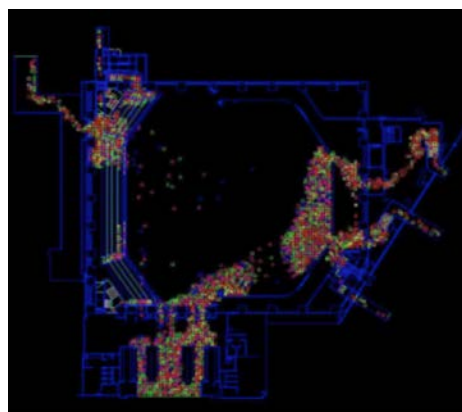


圖2 展覽場館於130秒場景之人員分布

-
4. NFPA 701, 美國消防協會公布的 NFPA 701 防火標準, 適用於織物和用於門簾窗簾、帷帳, 或其他窗戶遮擋材料等不要求耐水的懸掛織物。是對於織物和薄膜的火焰傳播防火測試標準方法。
 5. IBC 1028, General. Exits shall discharge directly to the exterior of the building. The exit discharge shall be at grade or shall provide a direct path of egress travel to grade. The exit discharge shall not reenter a building. The combined use of Exceptions 1 and 2 shall not exceed 50 percent of the number and minimum width or required capacity of the required exits.
 6. NFPA 101 12.4.1, General. Where a life safety evaluation is required by other provisions of this Code.

該報告中的疏散模擬中考慮了非常保守的延誤時間以確保模擬結果的可靠性，例如本案例中假設人員只會從火警發生的 445 秒 (7 分 25 秒) 後開始移動，當中包括了探測時間 (190 秒) + 初步警報程序延遲 (195 秒) + 移動前需時 (60 秒)。此疏散仿真中顯示了不論樓座層的座位布局，樓座層人員的疏散時間維持於約 152 秒，根據此模擬能估計出的安全疏散需時約為 597 秒，屬於模擬計算出的安全範圍內。

(二) 五星級豪華酒店

該五星級豪華酒店是全球第一間用“自由形態外骨骼結構”的摩天大廈，由世界知名建築師設計，全間酒店提供 770 間客房，而且設有一個樓高約 135 米、空間體積約 80,000 立方米的不規則超高中庭貫穿群樓至塔樓的頂部。

1. 性能化設計

根據第 24/95/M 號法令核准的《防火安全規章》⁷ 內對隔火間隔之規定，屬第二使用組之 MA 級樓宇，其最大面積及體積應分別為 1,250 平方米及 4,500 立方米。然而該酒店中庭未能符合相關要求，故有必要引入“性能化防火安全設計”以確保該中庭的設計能在指定期間內維持相當程度的安全條件供使用人逃生。

2. 模擬火災情境

由於該中庭屬超高中庭且體積龐大，當發生火災時煙氣會在垂直方向上迅速擴散，在煙氣上升的過程中極有可能出現“分層效應”(Effect of Stratification)，加上於酒店中庭內部設置了 12 部電梯貫通了群樓及塔樓各層，為此應考慮在電梯附近火災發生時，煙熱會否透過電梯井蔓延至各樓層(煙囪效應)。

為解決此問題，設計方利用火災動力學模擬軟件 (Fire Dynamic Simulator, 簡稱 FDS) 的電腦流體力學 (Computational Fluid Dynamics, 簡稱 CFD) 程式進行計算機仿真分析，並模擬了六個火災情景。

表1 模擬火災情景

Fire Scenarios	Location	Design Fire Size	
Scenario 1	L01(地面層)	19.4MW*	(At the centre of the Hotel Entry Lobby, uncontrolled fire)
Scenario 2	L21(十九樓)	19.4MW*	(At the centre of the bridge, uncontrolled fire)
Scenario 3	L30(二十七樓)	19.4MW*	(At the centre of the bridge, uncontrolled fire)
Scenario 4	L01(地面層)	19.4MW*	(At 1m away from the lift shaft, uncontrolled fire)
Scenario 5	L01(地面層)	1MW	(At the centre of the Hotel Entry Lobby, to evaluate the effects of stratification)
Scenario 6	L01(地面層)	1MW	(Near the entrance doors, to evaluate the effect of makeup air velocity)

*Fire size grows to around 19.4MW in 660S (fast growth fire).

7. 第 24/95/M 號法令核准的《防火安全規章》已被第 15/2021 號法律核准的《樓宇及場地防火安全的法律制度》廢止。

3. 疏散時間分析

所需 RSET(安全疏散時間)由偵測及響應時間、準備移動時間、移動時間及排隊時間所組成。即下列公式：

$$\text{RSET} = \text{Detection Time (Td)} + \text{Pre-movement Time (Tp)} + (\text{Travel time (Tt)} + \text{Queuing Time (Tq)}) \times \text{Safety factor}$$

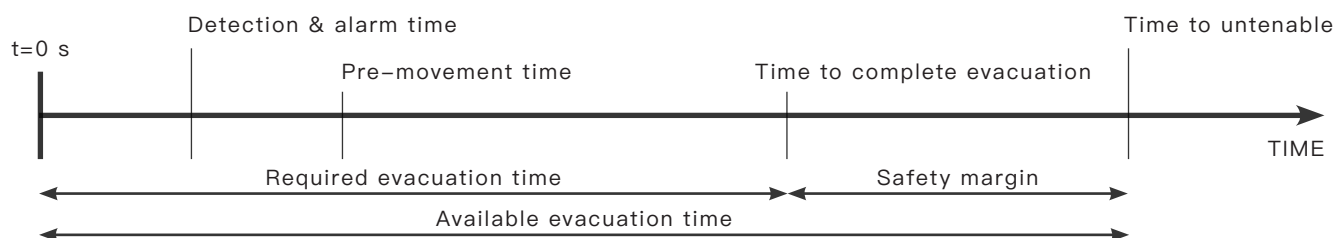


表2 各模擬起火點RSET(安全疏散時間)之計算

Calculation of RSET for scenarios 1, 4 and 5						
Floor	Detection Time(s)	Pre-movement Time(s)	Travel Time(s)	Queuing Time(s)	Safety factor	RSET(s)
L01(地面層)	170	30	41	25	1.5	299
L21(十九樓)	170	180	30	19	1.5	424
L23(二十一樓)	170	180	24	30	1.5	431
L30(二十七樓)	170	180	28	14	1.5	413
Calculation of RSET for scenarios 2						
Floor	Detection Time(s)	Pre-movement Time(s)	Travel Time(s)	Queuing Time(s)	Safety factor	RSET(s)
L01(地面層)	170	180	41	25	1.5	449
L21(十九樓)	170	30	30	19	1.5	274
L23(二十一樓)	170	60	24	30	1.5	311
L30(二十七樓)	170	180	28	14	1.5	413
Calculation of RSET for scenarios 3						
Floor	Detection Time(s)	Pre-movement Time(s)	Travel Time(s)	Queuing Time(s)	Safety factor	RSET(s)
L01(地面層)	170	180	41	25	1.5	449
L21(十九樓)	170	180	30	19	1.5	424
L23(二十一樓)	170	180	24	30	1.5	431
L30(二十七樓)	170	30	28	14	1.5	263

Calculation of RSET for scenarios 6						
Floor	Detection Time(s)	Pre-movement Time(s)	Travel Time(s)	Queuing Time(s)	Safety factor	RSET(s)
L01(地面層)	170	30	41	32	1.5	310
L21(十九樓)	170	180	30	19	1.5	424
L23(二十一樓)	170	180	24	30	1.5	431
L30(二十七樓)	170	180	28	14	1.5	413

綜上表得知，ASET(可用疏散時間) < RSET(安全疏散時間)，因此，有關的模擬計算均符合設計要求。

4. 消防系統

整個中庭均設置了以下系統/設備：

- 固定自動灑水式滅火系統；
- 自動火災偵測及警報系統(警報訊號包括水式或非水式滅火系統、火災自動偵測系統及手動警報設備)；
- 煙控系統；
- 自動啟動裝置。

通過上述仿真模擬計算數據進行編程消防系統聯動程式的啟動模塊，於超高中庭的中位和高位設置煙控系統的排煙口位置(圖3)，可有效避免“分層效應”(Effect of Stratification)的產生，使得酒店可以滿足建築師設計中庭所需的特殊架空設計之餘，亦能符合性能化的防火安全條件，並通過權限實體的消防安全測試流程。

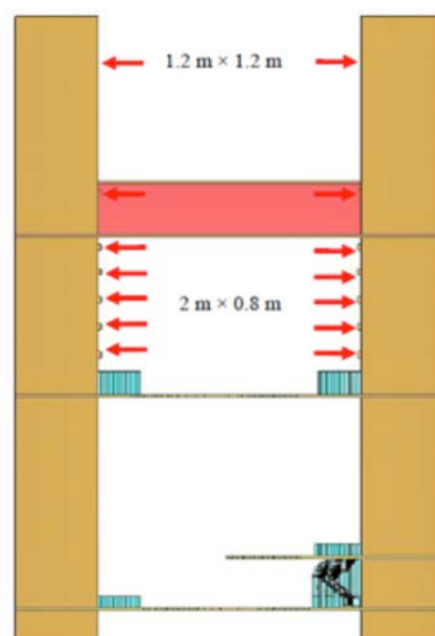


圖3 排煙口設置的位置示意圖

三、總結

隨着澳門經濟的騰飛與旅遊娛樂行業的高速發展，過往多項大型特色建築相繼落成，為消防安全設計及救援工作帶來了全新的挑戰，而未來澳門將根據《十四五規劃綱要》促進經濟適度多元發展，推動中醫藥研發製造、特色金融、高新技術和會展商貿等產業的建設，可以預計屆時定必有更多特殊及具代表性的建築項目落成。為配合澳門特區的發展及確保全澳市民和旅客的安全，消防局及業界必須從智慧型防控策略着手，從完善法例、建築設計及大數據等方面作整合，結合應用性能化評估及智慧化分析，以解決消防條例與大型或特殊建築設計需求之間的衝突。展望未來，澳門消防局將在行政長官和特區政府的領導下，夯實基礎，砥礪前行，為保障國家總體安全及澳門安全穩定而協力奮進，並持續以保安司的“主動警務”、“社區警務”、“公關警務”三個警務理念為指導方針，不斷提升執行力，以應對接踵而來的困難和挑戰。