

「耗氣量管制器 (Air Consumption Controller, ACC)」研發基礎與實務應用

“Air Consumption Controller (ACC)” Development Principles and Practical Applications

圖、文：南投縣政府消防局 羅凱耀

「消防機關火場指揮及搶救作業要點」自 89 年頒布施行至今，經歷過 10 次大小規模不一的修正——也就是說，這代表著數十次、數十位消防先輩以血淚生命換來的前進動力！

而最近一次的修正，是因應 110 年彰化縣喬友百貨大樓火警案件，造成 1 名消防人員殉職事故，消防署參考美國 NFPA 1500 等規範，並整併「提升火場救災安全執行計畫」及「消防機關火場指揮運作系統指引」等內容後，做了一次幅度不小的修正。其中，在「火場指揮所編組」及「抵達火場處置」項目中，都增列「人員安全管制」的相關規定，條文摘錄如安全幕僚的設立及個人責任回報 Personnel Accountability Report (PAR) 機制建立，然而很簡單的文字規定，卻是執行火災搶救時，最讓指揮官頭疼的問題之一！

「有多少人進去？」、「進去多久了？」、「無線電通不通？」、「什麼人進去執行什麼任務？」、「執行的進度如何？」、「現在位置在哪裡？」、「氣量夠不夠？」、「該出來的是不是都出來了？」

這些問題，在筆者陞任基層幹部後，出勤的每一個火警現場無時無刻都會在腦海中跳出來警示著！不過，早期這些問題，在現場不一定會有答案，因為記不住、也沒有人

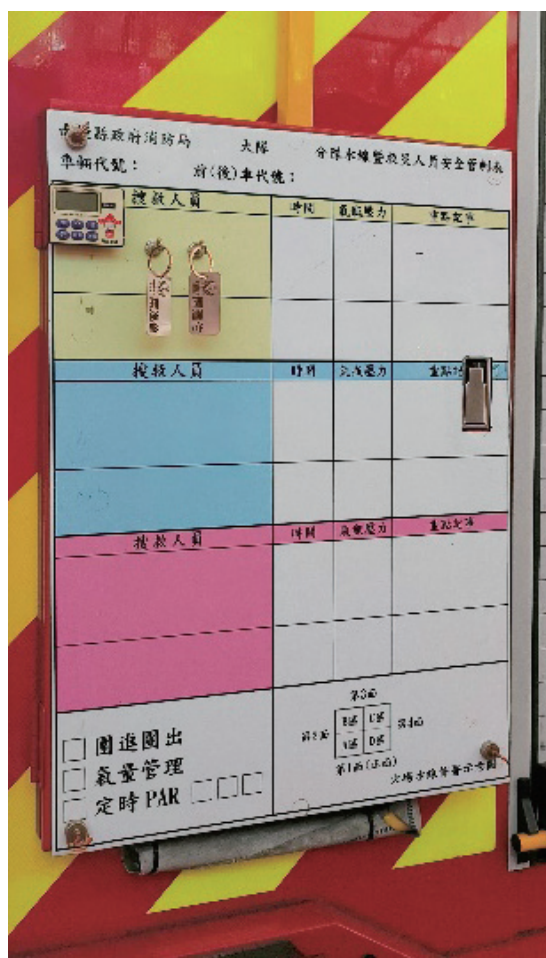


圖 1、管制板是軟磁布大圖輸出，表面黏覆一層白板膜

能精準無誤地回答你。雖是身處南投縣，這相較之下火警案件不算多的縣市，筆者仍兢兢業業秉持著「幾個人出勤，就幾個人返隊」的最高原則！

可問題還是存在著！當 111 年 8 月，「消防機關火場指揮及搶救作業要點」納入人員管

制機制相關規定頒布之後，消防車便開始著手將「管制板」與「計時器」納入車體設計與打造，上述的問題似乎開始有了解答的曙光！這是近幾年採購的消防車後側設計，管制板是軟磁布大圖輸出，表面黏覆一層白板膜之後，吸附在泵浦室旁邊；在管制板左上角，就是五金百貨商場買得到的計時器，使用者可以自行設定倒數計時的時間長度。(圖1)

雖然這些裝置單價低廉、唾手可得，但執行過幾次火災現場的實際操作之後，發現存在著下列問題：

一、噪音

管制板位於車輛後方雖然方便司機同時管理車輛操作與人員管制，卻也受到消防車泵浦運轉的噪音影響，無論是計時器的警報聲或是無線電的通訊，在PTO 啟動後辨識度都會大打折扣，更遑論加壓到 5 公斤的情況了！

二、爆閃燈

近年來出廠的消防車輛為了行車安全，在車輛的 4 個面都會設計加裝高亮度爆閃燈，如圖示，爆閃燈的位置正好處於管制板左側 10 公分，對安全幕僚在管制板上書寫紀錄、判讀計時器都是一種負擔！(圖2)

三、天候因素

相信從事消防工作的讀者都有雨天出勤火警的經驗！當消防車在雨中行駛一段距離之後到達災害現場，滿是雨滴的管制板，根本無法用白板筆書寫！截至目前為止，筆者仍未找到合適的書寫工具！

四、計時器

還記得第一張照片的計時器嗎？它的顯示屏幕非常袖珍，數字是灰底黑色液晶顯示，



圖 2、車輛的 4 個面都會設計加裝高亮度爆閃燈

在光線昏暗的地方非常不容易判讀；再者，可調整倒數時間的設計，增加了安全幕僚許多繁複的操作步驟，若身處於夜間開啟爆閃燈的情況下，對執行安全管制無疑是雪上加霜！更倒楣一點遇到下雨天，計時器的顯示屏幕還會卡霧氣卡水珠，「計時」與「警示」的功能可謂蕩然無存！

上面只概略的列出 4 項干擾因素，卻已經足以讓「人員安全管制機制」備受影響！最後，我們召集了幾位火搶教官、剛畢業的年輕力壯小夥子、PCB 板設計廠商、3D 設計列印公司，一群人經歷了研發、討論、設計、測試、修正的無間輪迴，耗時 1 年 6 個月之後，終於產下了這款「耗氣量管制器」：



圖 3、耗氣量管制器

外觀及功能介紹

一、警示燈號

由上而下分別為紅、黃、綠燈，藉由燈光閃爍模式及蜂鳴器啟動與否的搭配，各代表著不同警示：

燈號 / 蜂鳴器狀態	狀況
紅燈閃爍	壓力低於 100 Bar
紅燈快速閃爍 蜂鳴器啟動	壓力低於 50 Bar
紅燈長亮 蜂鳴器啟動	壓力 0 Bar
黃燈長亮	計時器未啟動倒數
黃燈閃爍 蜂鳴器啟動	計時器倒數歸零
綠燈長亮	正常管制中，電量充足
綠燈閃爍	電池電量低於 30%

簡而言之，紅燈啟動，代表應注意對應位置的氣瓶壓力；黃燈啟動則應注意第二格倒數計時；綠燈閃爍代表電量不足。

二、數字螢幕

位置	代表指標
上	小組最低氣瓶壓力（單位：Bar）
中	10 分鐘倒數計時
下	即時耗氣量運算結果（單位：L / Min）

三、功能按鍵

按鈕	作用
紅色 +、-	調整顯示氣瓶壓力，按一下 +、- 10 Bar
黃色 Reset	計時器倒數歸零後，復歸為 10:00（可解除蜂鳴器）
綠色 CALC	即時運算耗氣量 ※1
黃黑色 AUTION	標註警示小組 ※2

※1 耗氣量計算公式：（起始氣量－即時氣量）x 6.9 / 操作時間係數

起始氣量：按下 Start 鍵時顯示的氣量

即時氣量：按下 CALC 鍵時顯示的氣量

操作時間係數：自按下 Start 鍵至按下 CALC 鍵間格總秒數 / 60

※2 按一下同時啟動紅黃燈閃爍，可針對因現場環境改變、人員失聯、Mayday Call、或其他因素需要持續關注之小組做標示，並啟動因應措施（RIT）。再按一下回復至管制設定狀態。

在這「地廣人稀」的縣市，加上現行的勤務制度，要在火災現場第一時間能有餘裕的人力去「專責安全幕僚」可謂是天方夜譚！筆者就以「3 樓透天住宅火警，3 樓火煙冒出，上班人數 10 人」的情境來模擬，分隊出動 11、12、61、91 四部車，其中 11 車後座 2 人出勤途中著全裝，其餘車輛 1 車 2 人，這樣的配置就足以讓分隊鬧空城！因此，火災現場初期通常會由 11 車司機或 91 救護人員兼任安全幕僚。

以下僅呈現管制器輔助執行「個人責任回報」管制流程，在此不討論戰術運用：

一、到達現場停妥車輛，安全幕僚將管制板及管制器放置於適當地點，成立「人員裝備管制站」。

二、取出管制器開啟電源，磁吸於管制板上，電子時鐘連接行動電源。同組入室人員繳交管制名牌、指定小組長，管制員快速檢查入室人員 PPE、TIC 等裝備。（此時尚未啟動管制，黃燈長亮。）



圖 4、人員裝備管制站



圖 5、此時尚未啟動管制，黃燈長亮



圖 6、按下 Start 鍵後，黃燈熄滅、綠燈長亮，第二格數字屏幕開始倒數計時

三、確認小組最低氣量，由安

全幕僚記錄壓力、進入時間、任務及位置，並調整管制器壓力顯示（+、-）與小組最低氣量相符，啟動管制（Start）。（小組壓力 300 Bar，任務為 3 樓滅火攻擊。按下 Start 鍵後，黃燈熄滅、綠燈長亮，第二格數字屏幕開始倒數計時。）

四、第二格數字屏幕倒數計時的同時，第一格壓力顯示會以每分鐘 10 Bar 的速率遞減。（附錄說明）

五、6 分鐘後，第二小組人員到達現場接受任務，至管制站繳交管制牌準備入室，安全幕僚取出第二顆管制器磁吸於管制板，開機。

六、重複操作步驟第二、三，啟動第二組管制器。（小組最低壓力 280 Bar，任務為 2 樓人命搜索。）

七、第一小組入室人員 10 分鐘倒數歸零，安全幕僚應以無線電聯繫小組長，並請回報該小組最低氣量、位置及任務資訊。

（此時黃燈閃爍、蜂鳴器啟動）

八、小組長回報最低氣量 180 Bar，位置在 3 樓滅火攻擊。安全幕僚複誦內容並紀錄，調整壓力顯示至 180 Bar（原顯示 200 Bar），按下 Reset 復歸至 10:00 後，按下 Start 開始新一輪管制。

九、安全幕僚可按下 CALC 鍵，管制器自動計算即時耗氣量，運算結果顯示為 74.4 L / Min（第三數字屏幕），尚在正常重度工作耗氣量範圍內。（附錄說明）

十、第二小組人員 10 分鐘倒數歸零（黃燈閃爍、蜂鳴器啟動），安全幕僚重複第七、八、九步驟。

十一、藉由安全幕僚紀錄內容，可得知第二小組 15:22 回報最低氣量 200 Bar，2 樓未發現，正往 3 樓搜索。

十二、第一小組壓力顯示剩餘 100 Bar，此時綠燈熄滅、紅燈閃爍，安全幕僚應以無線電提醒小組長及指揮官，並適時派員接替任務。（附錄說明）

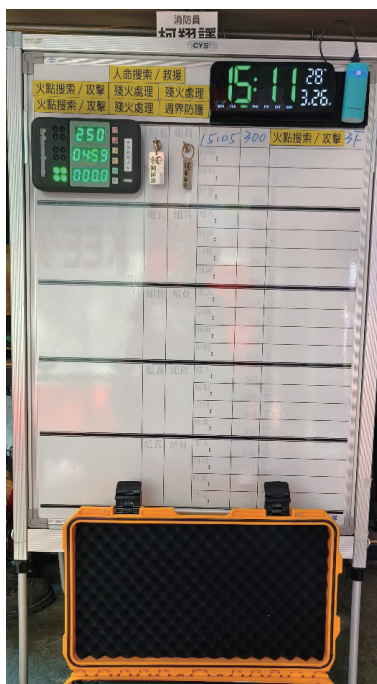


圖 7、第二格數字屏幕倒數計時的同時，第一格壓力顯示會以每分鐘 10 Bar 的速率遞減



圖 9、啟動第二組管制器



圖 11、按下 Reset 復歸至 10:00 後，按下 Start 開始新一輪管制



圖 8、全幕僚取出第二顆管制器磁吸於管制板，開機



圖 10、第一小組入室人員 10 分鐘倒數歸零，此時黃燈閃爍、蜂鳴器啟動



圖 12、安全幕僚可按 CALC 鍵，管制器自動計算即時耗氣量

十三、第一小組回報，3 樓火勢熄滅，人員準備撤出，並請指揮官派員接替殘火處理。

十四、取出第三組管制器，重複第三步驟後，待命啟動管制。（第三小組 15:26 入

室，此時起火建物 1 樓室內已無濃煙，待第三小組成員到達 3 樓戴上空氣呼吸器面罩時，再回報安全幕僚啟動管制。）

十五、第一小組於 15:29 撤出回到管制站，



圖 13、第二小組人員 10 分鐘倒數歸零（黃燈閃爍、蜂鳴器啟動）

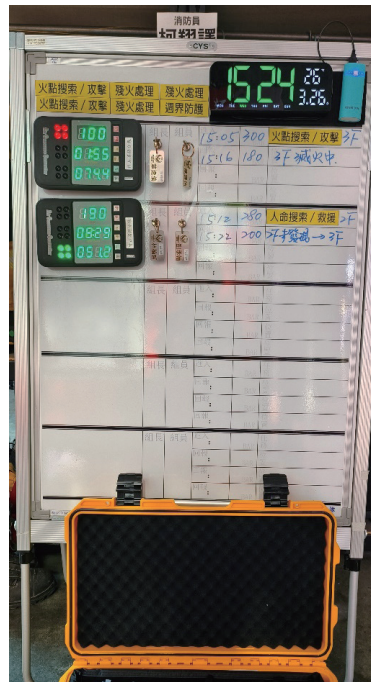


圖 15、第一小組壓力顯示剩餘 100 Bar，安全幕僚應以無線電提醒小組長及指揮官，並適時派員接替任務



圖 17、取出第三組管制器，重複第三步驟後，待啟動管制



圖 14、藉由安全幕僚紀錄內容，可得知第二小組 15：22 回報最低氣量 200 Bar



圖 16、第一小組回報，3 樓火勢熄滅，人員準備撤出，並請指揮官派員接替殘火處理



圖 18、第一小組於 15：29 撤出回到管制站，取回管制牌、將救命器插銷復位後，關閉管制器結束管制 (2)

取回管制牌、將救命器插銷復位後，關閉管制器結束管制。

十六、第二小組出現紅、黃燈同時閃爍，安全幕僚要求小組長執行 PAR 回報的同時，也提醒小組注意剩餘壓力。

十七、第二小組回報 3 樓未發現，正往 1 樓移動。

十八、第二小組完成搜索任務，於 15：37 撤出，結束管制。

十九、最後這張照片，就是任務圓滿完成的結果！安全幕僚可以在各小組任務結束後，以手寫方式將小組成員姓名填上，再用手機拍照留存，未來繕打搶救報告、論功行賞將大有助益！

自去年 12 月底消防局購得第一套耗氣量管制器至今，上述管制流程已在實務上執行數次，雖然每次的狀況都不盡相同，筆者也在每次的災後檢討會上，特別請擔任安全幕僚的夥伴進行分享與回饋，以下歸納出幾項重點：

一、高辨識度：高亮度 LED 燈、自發光大型數字顯示屏幕，即使在艷陽下仍能清楚辨識數字與燈號；搭配 85 分貝蜂鳴器，可以更直觀的提醒安全幕僚各項警示。

二、高效率：以管制器輔助執行個人責任回報，1 位安全幕僚最多可管制 5 組、至少 10 位入室人員，雖然幾乎每分鐘都在使用無線電與內部作業人員通聯，但還不至於手忙腳亂！以南投 1 個分隊的人力與火災場域來說已經相當夠用！

三、長效性：經實測，單顆全新 18,650 鋰電池（松下，3,400mAh）可提供 1 組管制器連續操作 10 小時，5 組管制器配備 20 顆鋰電池，可供長時間救災使用。若綠燈開始閃爍（電量剩餘 30%），至少還能持續操作 60 分鐘，能確保管制不中斷。



圖 19、第二小組出現紅、黃燈同時閃爍，安全幕僚要求小組長執行 PAR 回報的同時，也提醒小組注意剩餘壓力



圖 21、第二小組完成搜索任務，於 15:37 撤出，結束管制



圖 20、第二小組回報 3 樓未發現，正往 1 樓移動



圖 22、安全幕僚可以在各小組任務結束後，以手寫方式將小組成員姓名填上，再用手機拍照留存



圖 23、為 114 年初在災害現場實際拍攝的管制板畫面歸零，此時黃燈閃爍、蜂鳴器啟動

四、機動性：配合可移動式的管制板成立人員裝備管制站，無須受限於車輛停放位置，遠離噪音、濃煙或閃光，亦可避免因下雨、風向的環境因素造成管制不便。

五、經濟性：「耗氣量管制器」沒有太多高科技或無線傳輸等昂貴零組件，相較於其他大廠動輒數十萬、甚至上百萬的裝備而言相對經濟實惠，後勤管理也相對方便單純，可謂「用簡單的方式處理複雜的事情」！

六、耐用性：管制器正面面板有特別防水保護，可抵禦大雨及日常防潑水，廠商也提供 2 年非人為保固，不過…既然管制板可以移動，我想也不會有人刻意選在雨中進行管制吧？

圖 23 為 114 年初在災害現場實際拍攝的管制板畫面。對第一次操作、而且沒有接受過教育訓練的安全幕僚而言，已經算是可圈可點！針對入室人員，都已經確實執行「個人責任回報」這個機

制；指揮官也能透過管制板掌握人員進出、任務分配及無線電通訊品質等狀況。

相較於現今全世界爭相發展的 AI 人工智慧，「管制器」實在稱不上什麼高科技！一方面除了研發經費有限，更現實的是藉由相對簡單的科技與操作的便利性，輔助落實執行「個人責任回報」，在實務現場不需要過於複雜的操作技術，既可以協助指揮官掌握入室人員動向、確保內外部無線電通訊順暢，當狀況發生時就能立即確認、迅速反應；而對入室小組而言，雖然百忙之中還要停下動作、確認小組夥伴的氣瓶壓力回報給安全幕僚，看起來有點麻煩，但可以確定的是，小組長與組員之間的距離還能互相聯繫、互相照應，這也符合了「團進團出」的立意！

反觀入室小組的回饋，其實同仁感受最深刻的是「外面的夥伴定時會找我」這個做法，能夠提供入室搶救人員相當大程度的「心理支持」！假設第一次 10 分鐘的倒數時間歸零，安全幕僚呼喊無線電沒有回應時，指揮官就應該以「最高規格」啟動救援程序！也許最後發現是無線電信號被屏蔽的一場虛驚，這不也正好凸顯出現場通訊死角，進而提醒指揮官建立無線電中繼或加強現場通訊能力等措施，對入室工作人員也是一種保障！

放眼全國，其實已有不少縣市採購許多先進的高科技裝備，其優勢與效率恐怕早已遠超出上述內容！但也不諱言的，或許南投不是最後一個能落實個人責任回報的縣市，希冀本篇拙作能提供各位看官些許設計靈感與執行方式！也希望完善的制度可以幫助消防人員出入平安、逢凶化吉，「消防機關火

場指揮及搶救作業要點」從此再也不需要修正了！

■ 附錄：（以下摘錄 NFPA 1404 針對空氣呼吸器及耗氣量相關操作指引，進行延伸說明）NFPA 1404 Standard for Fire Service Respiratory Protection Training, 2018

1.3.3 消防員應接受培訓，在任何可能出現立即致死濃度（IDLH）環境的情況下，使用額定最短使用時限為 30 分鐘的正壓 SCBA

5.1.5.2 個人空氣管理方案應包含下列指令：

- （1）使用者應在開始消耗儲備空氣之前，應先從立即致死濃度環境中撤離。
- （2）使用者應認知低氣量警報，或服務結束時間指示器（EOSTI）表示該成員正在消耗備用氣源。
- （3）當低氣量警報啟動時，個人及團隊應立即採取行動，並遵循各部門的標準作業程序（SOP）或標準作業指導（SOG）。

6.2.6 The EOSTI alarm shall activate at 33 percent, +5/-0 percent of full cylinder pressure

6.2.6 服務結束時間指示器（EOSTI）應在氣瓶填充壓力 33% 時啟動警示。

※3 IDLH：立即致死濃度。為「Immediately Dangerous to Life or Health」之縮寫。係 NIOSH（美國國家職業安全衛生研究所）特別針對化學工廠急性呼

吸危害之暴露而訂，在此氣體濃度以上暴露 30 分鐘，可能造成立即的健康危害

綜合上述指引，其實不難發現與現行操作規範有些出入！例如我們習以為常的「空氣呼吸器殘壓警報通常設定在 50 Bar」，而氣瓶灌充壓力只要求「250 Bar 以上」，若套用在 NFPA 1404 的指引，EOSTI 的啟動時機是灌充壓力的 20%；若是氣瓶壓力灌充到 300 Bar，EOSTI 的啟動時機會是更低的 17%。

所以我們首要的問題是：「氣瓶壓力應該灌多少？」

若您手邊正好有複合材質的氣瓶，瓶身標示可以很清楚的看到「FP 300 at 150C」這個字樣！也就是說，氣瓶灌充冷卻後的壓力應為 300 Bar！

解決了氣瓶壓力，那這支 300 Bar 的氣瓶我要使用超過 30 分鐘，還需要關注另一個重點，那就是「氣瓶容積」！目前市面上看到的氣瓶容積普遍為 6.8 或 6.9 公升，灌充 300 Bar 的空氣體積約為 2100 L，如果要使用 30 分鐘，平均每分鐘的耗氣量為 70 L；也就是說，我的耗氣量必須低於 70 L / Min，才能達到使用 30 分鐘的最低門檻。

■ 這件事情可沒那麼容易！

依本分隊同仁自 113 年 6 月起，每月實施耗氣量訓練至 114 年 11 月得到的數據進行分析，在經過 17 個月相同重度工作路徑的訓練之後，約有 20% 的夥伴重度工作平均耗氣量在 70L/Min 以下，65% 夥伴介於 70~80L/Min 區間，另外的 15% 則會超過 80L/Min，但也僅止於 82~84L/Min，不會達到超過 90L/Min 這麼大的耗氣量！所以客觀認定，本分隊入室人員如果管制器計算出小組平均

耗氣量超過每分鐘 90 公升，管制員應該主動介入，要求小組長注意人員、裝備狀態。

因為即使每個人使用相同的裝備、做相同的工作，空氣的消耗速率也會有所不同！因為這還牽扯到個人身體素質、體型體重、工作環境、裝備妥善率以及其他壓力來源影響。所以，耗氣量 70 L / Min 是個「理想值」，可以透過日常的訓練、體能的加強、肺活量的加強，讓自己的耗氣量往這個理想值趨近！

當然您也可以簡單理解為「300Bar / 30 分鐘 = 10 Bar / Min」！可是如果您背負的是容積 6 公升的鋼瓶、12 L 的潛水鋼瓶，或是使用長隧道專用的化學長效型空氣呼吸器，那可就不是這麼一回事了！再者，1 分鐘消耗 11BAR 跟 1 分鐘消耗 15BAR，這樣的數據也許對管制員而言似乎差異不大，但若換算成「公升」，那可是每分鐘 75.9 公升與 103.5 公升的差別：前者算是「有點喘」，後者應該是喘到頸部肌肉都加入代償了！因此使用「每分鐘平均消耗幾公升」的數值呈現有利於管制員鑑別耗氣量是否正常。

好！回到我們常用的複合瓶！當我們決定統一將氣瓶壓力灌充到 300 Bar、訓練自己可以使用空氣呼吸器超過 30 分鐘，剩下的最後一個問題是：當管制器的「EOSTI」啟動（顯示剩餘壓力 100Bar 紅燈開始閃爍）時，安全幕僚應該作何反應？

按照 NFPA 1404 規範的 EOSTI 應該在灌充壓力的 33%、也就是壓力剩下 100 BAR 的時候就應該啟動。可是目前僅有少數縣市採購新款符合這個要求的空氣呼吸器，例如 MSA 的 M1 空氣呼吸器，可以設定折返點在火場內部直接發報警示入室人員。不過，在還沒有全面配發新的裝備之前，我們可以藉由「耗氣量管制器」的紅燈閃爍預警提示安全幕僚，

再由安全幕僚以無線電提醒入室小組成員；雖然多一道手續，但也能達到 NFPA 1404 規範相同的警示功能。

至於「耗氣量管制器」設計剩餘壓力 100 Bar 的 EOSTI 紅燈警示時，入室小組要如何處置？筆者以為，這要考慮當時的火勢大小、濃煙蓄積程度（IDLH 濃度環境）、任務執行狀況、人員位置、體力負荷、離開動線、撤退距離……等等因素做綜合考量！畢竟多數縣市對這種狀況並沒有 SOP 或 SOG 可以依循！最重要的是！安全幕僚必須做到「適時提醒」，並且「持續關注」！確保入室人員在 50Bar 的殘壓警報啟動前，都能脫離 IDLH 環境、或已到達相對安全區。

參考資料：

1. 內政部消防署全球資訊網 <http://www.nfa.gov.tw/cht/index.php>
2. 1110811 消防機關火災指揮及搶救作業要點修正草案總說明及條文對照表
3. 耗氣量管制器 ACC 操作手冊（獵火人企業社印製）
4. NFPA 1404 Standard for Fire Service Respiratory Protection Training, 2018
5. 113 年度消防署火災搶救研討會 - 會議資料一分隊長柯翔譯、教官林楨哲彙編