



香港特別行政區政府

香港氫氣裝置定量風險評估研究指南

第2.0版



2024年1月

前言

本指南旨在為進行香港氫氣裝置定量風險評估提供技術指引和一般規定。本指南建議一套標準方法，以確保不同顧問進行的定量風險評估做法一致。每當採用替代方法及／或假設，應提供相關理由（如適用）。

目前版本是臨時指引，隨着不斷發展累積經驗，須作出更新／檢討。

目錄

1.	前言和適用範圍	4
1.1	目標	4
1.2	適用範圍	4
1.3	應用	4
2.	定量風險評估方法	5
2.1	評估範圍	5
2.2	研究區	5
2.3	危害辨識	6
2.4	按孔尺寸劃分的故障情況	6
2.5	故障頻率	7
2.6	事件樹分析	9
2.7	釋放方向和衝擊	9
2.8	點燃機率	10
2.9	點燃模擬	11
2.10	爆炸機率	11
2.11	氣象情況	11
2.12	人口	12
2.13	後果模擬	13
2.14	對人的影響	14
2.15	風險總結	15
2.16	風險準則	15
2.17	研究結果	16
2.18	緩解措施	17
2.19	結論與建議	17
3.	參考文獻	18

1. 前言和適用範圍

1.1 目標

1.1.1 本指南旨在為進行香港氫氣裝置定量風險評估提供技術指引和一般規定，目的是使不同顧問進行的定量風險評估都採用統一的評估方法。

1.2 適用範圍

1.2.1 本指南盡可能涵蓋對氫氣裝置進行定量風險評估的建模方法和假設的各方面，包括範圍定義、研究區、危害辨識、故障情況、泄漏頻率、事件發展、點燃機率、後果模型、影響模型、風險總結及風險準則。

1.2.2 本指南僅適用於在環境溫度儲存於壓力下的氣態氫。

1.2.3 本指南適用於以下類型的氫氣裝置：

- 製氫和氫氣儲存裝置；以及
- 裝設在巴士廠、改裝／新建加能站¹或改建²／新建專用加氣站的加氫站。

1.2.4 本指南沒有涵蓋移動式氫源，例如氫燃料電池車輛、以長管拖車或缸車中運載的散裝氫氣，除非這些移動式氫源會對裝置構成風險。

1.3 應用

1.3.1 應對任何氫氣裝置進行定量風險評估，包括電解槽、變壓吸附裝置、長管拖車、壓縮機、緩衝儲存裝置或加氫機。這包括任何規模和壓力的加氫站，以及製氫和氫氣儲存裝置。

¹ 加能站提供多種燃料，例如汽油、電力和氫氣。

² 例如由專用石油氣加氣站改建成加氫站。

2. 定量風險評估方法

2.1 評估範圍

2.1.1 定量風險評估的範圍應從一開始就明確界定，並記錄在定量風險評估報告中。舉例來說，應界定以下各項：

- 包含的子系統（例如是否包括氫燃料電池車輛在加氫站時的泄漏，或在氫氣運送和車輛加氫期間的泄漏）。
- 包含的其他危險物質（例如在加氫站的汽油、柴油或石油氣燃料），以及由氫氣影響到其他燃料和相反的情況。
- 包含的其他危險活動（例如巴士維修），無論是成為氫氣泄漏源、引致氫氣泄漏點燃或升級為氫氣的火災。

2.1.2 氫氣供應可以使用長管拖車從本地供應商和其他地區獲得，也可以從管道供應的煤氣提取。如採用高壓煤氣網絡的管道供應作為氫氣來源，相關提取設施的評估應依照《香港高壓煤氣裝置定量風險評估研究指南》（機電工程署高壓煤氣裝置指南）^[3.4]中訂明的方法進行。

2.1.3 氫氣設施應拆解為可隔離部分進行分析。應清楚標示每個子系統是否可隔離，並估計可隔離部分中的氫氣量。應描述觸發各部分隔離和減壓的過程，以及估計完成隔離和排放的時間。關鍵假設應記錄在案，並作為裝置設計的建議。

2.1.4 定量風險評估方法假設裝置符合既定的氫氣設施設計標準，所採用的設計標準應在定量風險評估報告中說明。由於氫能產業正在發展，定量風險評估還應辨識安全措施和障礙。

2.2 研究區

2.2.1 應考慮設立研究區，覆蓋範圍為使用後果模型（請參閱下文）計算氫氣最大部分存量災難性釋放時，所造成致命影響的最大距離，而且有關研究區應距離裝置邊界最少 200 米。在研究結束時，應檢查每年 1×10^{-9} 的個人風險等量線是否在研究區內。

2.3 危害辨識

2.3.1 應根據最佳可用資訊辨識潛在危險事件和故障情景，以訂定定量風險評估涵蓋的一組相關情景。

2.3.2 就定量風險評估的所有方面而言，應參考世界各地類似設施中曾發生的意外和事故，並應檢視以往曾發生並與研究裝置相關的意外和事故。

2.3.3 應模擬足夠的故障情況以反映風險。應按**表 1**建議，根據設備尺寸，使用 3 至 6 種泄漏孔尺寸。就儲氫瓶而言，還應考慮全部所載物瞬時釋放的情況。

2.3.4 危險事件應包括：

- 噴射火；
- 火球；
- 閃火；
- 蒸氣雲爆炸（爆燃），超壓通常為 1 巴；以及
- 發生爆震，超壓遠大於 1 巴。

2.3.5 如採用高壓煤氣網絡的管道供應作為氫氣來源，因提取設施漏失所存而導致的潛在危險事件，已在機電工程署高壓煤氣裝置指南^[3.4]第 3.3 節中描述。

2.3.6 應模擬隔離和非隔離情況，包括計劃隔離及／或排放的成功和失敗情況。

2.4 按孔尺寸劃分的故障情況

2.4.1 如故障情況是按設備尺寸考慮，則應使用標稱設備直徑。如知悉管道明細表，則可使用內徑計算結果。

2.4.2 **表 1** 載列建議的釋放類別，以不同直徑的設備的泄漏孔徑範圍（為與頻率數據一致）表示。每個類別的代表孔尺寸以泄漏孔徑範圍兩端尺寸的平均值或全孔設備尺寸為準。如果泄漏的影響在氫氣裝置場地邊界內，則可以無須考慮泄漏孔較小的情況，並撇除相應的頻率。

洩漏情況	設備直徑 4至8毫米		設備直徑 8至16毫米		設備直徑 16至32毫米		設備直徑 大於32毫米	
	範圍 (毫米)	代表數值 (毫米)	範圍 (毫米)	代表數值 (毫米)	範圍 (毫米)	代表數值 (毫米)	範圍 (毫米)	代表數值 (毫米)
非常小	1-2	1.5	1-2	1.5	1-2	1.5	1-2	1.5
小	2-4	3	2-4	3	2-4	3	2-4	3
中			4-8	6	4-8	6	4-8	6
大					8-16	12	8-16	12
非常大							16-32	24
全孔	>4	全孔	>8	全孔	>16	全孔	>32	全孔

表 1：建議的洩漏孔徑類別

2.5 故障頻率

2.5.1 定量風險評估研究中考慮的氣體裝置故障頻率，應參考國際公認的歷史故障資料庫來釐定，同時考慮氫氣設備的自發性故障、軟管的操作故障、車輛碰撞引起的衝擊洩漏和火災引起的故障。表 2 載列氫氣設備的建議洩漏頻率，該頻率是根據壓縮氣體協會向美國桑迪亞國家實驗室提供的氫氣洩漏事故經驗^[3.1]，結合國際石油和天然氣生產商協會於 2006 至 2015 年發布的碳氫化合物釋放資料庫^[3.2]，以及氫風險分析模型^[3.3]的早期估計而分析得出的。其他故障頻率應參考更近期的相關數據，以證明合理。表格中的數值包括外部事件，但可以考慮車輛碰撞引起的洩漏和火災引起的故障，並添加到設備洩漏頻率中（如適用）。就軟喉而言，表格中的數值涵蓋連接和驅動故障。至於氣瓶，全孔指連接管的尺寸，瞬時則指氣瓶本身的較大故障。

設備類型	各直徑範圍的洩漏孔的洩漏頻率（每年） ^{備註}					
	非常小	小	中	大	全孔	瞬時
壓縮機 (離心式)	7.91E-03	4.54E-03	2.61E-03	1.50E-03	2.02E-03	
壓縮機 (活塞式)	1.59E-02	9.27E-03	5.40E-03	3.14E-03	4.38E-03	

設備類型	各直徑範圍的泄漏孔的泄漏頻率（每年） ^{備註}					
	非常小	小	中	大	全孔	瞬時
氣瓶	2.42E-07	1.84E-07	1.39E-07	1.05E-07	2.82E-08	3.02E-07
過濾器	1.84E-03	9.30E-04	4.69E-04	2.36E-04	2.40E-04	
熱交換器 （外殼和 管道）	5.43E-04	3.76E-04	2.60E-04	1.80E-04	4.06E-04	
軟喉	1.39E-04	8.85E-05	5.65E-05	3.61E-05	6.38E-05	
儀器	1.80E-04	9.86E-05	1.19E-04			
接頭	5.84E-06	3.41E-06	1.99E-06	1.16E-06	1.63E-06	
喉管（1米）	2.36E-06	1.35E-06	7.70E-07	4.40E-07	5.85E-07	
熱泄壓裝置				3.50E-03		
閥門 （驅動式）	2.76E-04	1.45E-04	7.68E-05	4.05E-05	4.53E-05	
閥門 （手動式）	2.30E-05	1.53E-05	1.02E-05	6.77E-06	1.34E-05	

備註：

有關數據按設備直徑為20毫米計算，但可應用於設備直徑為16至32毫米範圍內的情況。就直徑為8至16毫米的設備而言，在全孔泄漏情況下，應把表列的大孔和全孔泄漏的頻率加在一起計算。就直徑為4至8毫米的設備而言，在全孔泄漏的情況下，應把表列的中孔、大孔和全孔泄漏的頻率加在一起計算。至於直徑大於32毫米的設備，表列的全孔泄漏頻率應平均分為非常大孔和全孔泄漏。

表 2：氫氣設備泄漏頻率摘要（最佳估計）

- 2.5.2 就加氫機、電解槽和變壓吸附裝置而言，應考慮上述頻率，並與裝置內管道、氣瓶、接頭和閥門的數量一併估算泄漏頻率。
- 2.5.3 如採用高壓煤氣網絡的管道供應作為氫氣來源，與提取設施相關的設備泄漏頻率便如機電工程署高壓煤氣裝置指南^[3.4]第 3.4 節所述。如無法獲得設備（例如壓縮機）的泄漏頻率，則應參考國際公認的歷史故障資料庫。

2.6 事件樹分析

2.6.1 應進行事件樹分析，以模擬每宗危險事件從最初釋放氫氣到最終結果的發展過程。分析應考慮釋放孔尺寸、釋放方向、點火源的存在和點燃類型。圖 1 為典型的事件樹。

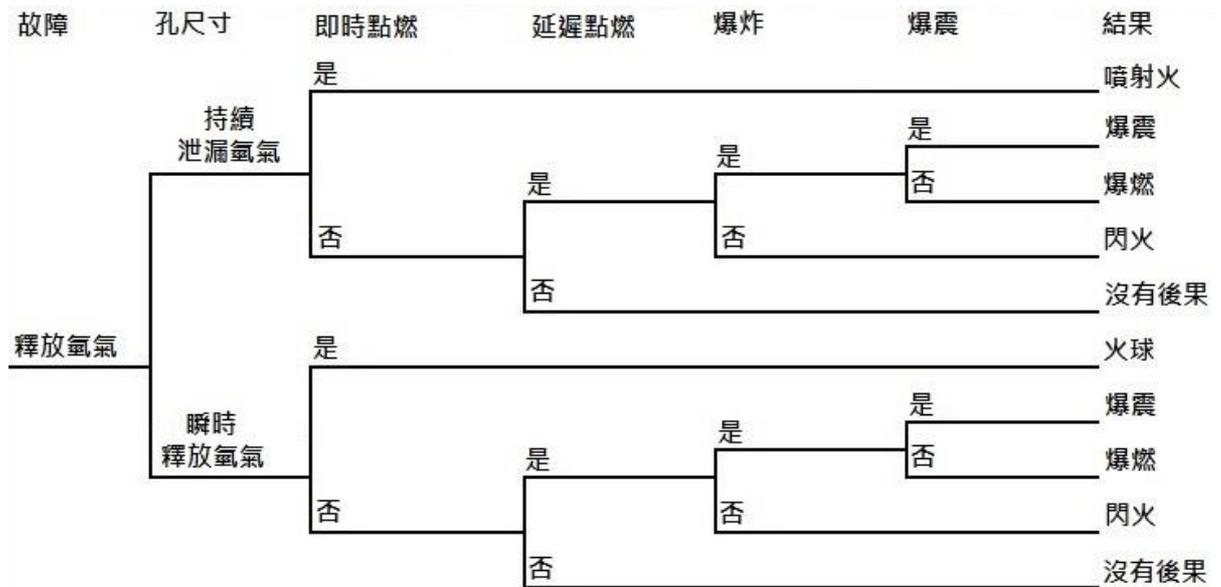


圖 1：氫氣設備的事件樹例子

2.6.2 如採用高壓煤氣網絡的管道供應作為氫氣來源，應遵循機電工程署高壓煤氣裝置指南^[3.4]第 3.5 節所規定與提取設施相關的事件樹。

2.7 釋放方向和衝擊

2.7.1 後果模擬應考慮泄漏的方向，以及泄漏氣體有否衝擊附近的障礙物，因而減少釋放的動量。

可能的方向和衝擊選項包括：

- 向上（無衝擊）－ 設備（例如氣瓶）沿向上方向釋放氫氣，而沒有遇到任何形式的障礙的情景。
- 水平（無衝擊）－ 設備（例如氣瓶）沿水平方向釋放氫氣，而沒有任何干擾物體或障礙物的情景。
- 水平（衝擊）－ 設備（例如氣瓶）沿水平方向釋放氫氣，並被障礙物（例如防火牆）阻擋的情景。

- 向下（衝擊）－ 設備（例如氣瓶）沿向下方向釋放氫氣，並被障礙物（例如地面）阻擋的情景。

- 2.7.2 方向機率應根據場地具體布局而定。就球形／立方體的設備（例如長管拖車上的氣瓶）而言，可以考慮向上 0.17、向下 0.17 和水平 0.66 的機率。如某段的設備又長又窄（例如系統兩個部分之間的地上管道），則可以考慮隨機方向，以及向上 0.25、向下 0.25 和水平 0.5 的機率。當設備位於矮圍欄、防火牆或場地邊界牆內，如釋放的氫氣部分被阻擋，在模擬氫氣沿水平方向釋放時，可以平均分配為「未衝擊」和「衝擊」的情況，因此暢通流量為 50%，受阻流量亦為 50%；如釋放的氫氣完全被阻擋，則氫氣沿水平方向釋放應視作「僅為衝擊」，即受阻流量為 100%。
- 2.7.3 就複雜和關鍵的情況而言，例如釋放的氫氣被牆壁阻擋，應使用三維計算。為了在二維模型風險計算中計及牆壁的影響，應選擇與三維結果中的分散情況最匹配的方向和衝擊。
- 2.7.4 如採用高壓煤氣網絡的管道供應作為氫氣來源，地上的高壓煤氣裝置（例如地上高壓煤氣管道、閥門、法蘭、儀器連接件）的泄漏方向機率，應遵循機電工程署高壓煤氣裝置指南^[3.4]第 3.5 節的規定。

2.8 點燃機率

總點燃機率

- 2.8.1 根據對美國、英國和挪威加氫站於 2005 至 2019 年泄漏事故經驗的分析，作為釋放率 Q （千克／秒）函數的建議點燃機率（ P_T ）如下：

$$P_T = 0.4Q^{0.2} \text{，最大值為 } 1$$

延遲點燃機率

- 2.8.2 上述的建議點燃機率包括即時點燃和延遲點燃的情況。定量風險評估通常區分即時點燃和延遲點燃，因為假定即時點燃會產生噴射火，而只有延遲點燃才有可能發生爆炸。就氫氣釋放而言，「即時」點燃指在氫氣釋放後的最初幾秒鐘內，在泄漏源附近發生點燃；「延遲」點燃則指在更遠的地方或稍後才發生點燃。這包括「延遲」類別下的所有爆炸。

2.8.3 根據判斷，50%的點燃應假定為即時點燃，50%則為延遲點燃。

2.8.4 預計點燃機率會因釋放率而有所變更，因為較大量的氫氣釋放更有可能到達遠處的點火源。這應該透過點火源模型來估計。

2.9 點燃模擬

2.9.1 如使用點火源模型來計算附加延遲點燃機率 P_{model} ，則上述事件樹上的條件點燃機率為：

$$P_{(即時點燃)} = 0.5 P_T$$

$$P_{(延遲點燃, 已知沒有即時點燃)} = \frac{(0.5 P_T + P_{model})}{(1 - 0.5 P_T)}$$

2.9.2 延遲點火源的最低點燃機率應為每輛車 0.4 和每人 0.01（為與機電工程署高壓煤氣裝置指南^[3.4]保持一致）。

2.10 爆炸機率

2.10.1 延遲點燃發生爆炸的可能取決於密閉程度。如非密閉，預計不會發生爆炸。就容器內部的泄漏而言，任何延遲點燃都應假定會發生爆炸。就在設備、車輛或建築物之間有正常密閉情況的開放區域發生的泄漏而言，應假設爆炸機率為 0.4^[3.6]。

2.10.2 根據實驗，預計在擁擠或半密閉區域內，在超過 20 立方米的可燃化學計量氫空氣雲中會發生爆震。就在設備、車輛或建築物之間有正常密閉情況的開放區域發生的泄漏而言，應假設爆震機率為 0.5。

2.11 氣象情況

2.11.1 對天氣情況敏感的後果（即除火球之外的所有後果）的計算，應至少就 6 個具代表性的天氣級別進行。這些級別應涵蓋低、中、高風速，以及穩定、中性和

不穩定的大氣穩定情況。每個天氣級別的機率應使用表 3 所示的分組方案，根據大氣穩定性和風速資料來估算。

風速 (米/秒)	A	B	B/C	C	C/D	D	E	F
< 2.5	B 中			D 低			F 低	
2.5 - 6				D 中			E 中	
> 6				D 高				

備註：

低風速對應為少於 2.5 米/秒

中風速對應為 2.5 米/秒至 6 米/秒

高風速對應為大於 6 米/秒

表 3：天氣級別定義^[3.4]

2.11.2 風速的單位為米每秒（米/秒），而大氣穩定級別則指以下定義：

A - 湍流

B - 極不穩定

C - 不穩定

D - 中性

E - 穩定

F - 極穩定

2.11.3 應至少就 8 個風向進行風險計算。大氣穩定性、風速和風向的數據應從最近的可用氣象站獲取。

2.12 人口

氫氣裝置場地以外地方的人口

2.12.1 應考慮研究區內以下主要類型的人口。

- 建築物人口

- 建築物人口包括住宅（即公寓）、商業、政府機關、機構和社區（例如商店、工場、辦公室等）、工業、室外（例如行人道上、巴

士隊列中、小販攤位周圍、休憩處、港鐵入口、電梯大堂內和商店外) 區域等的人口；以及

- 流動人口

- 流動人口包括道路交通人口（例如在道路上或停車場內的車輛中的人口）和行人人口。

2.12.2 就住宅建築物等典型建築物而言，應考慮 0.95 的典型室內系數，而其他類型建築物的室內系數應在定量風險評估研究中逐宗個案考慮。

2.12.3 就多層建築物和高架高速公路而言，應計及各樓層的人口。這適用於計算火球和爆炸對遠處建築物產生的廣泛球形影響，但對於閃火和噴射火或非常靠近氫氣釋放位置的建築物則不適用。如結果屬關鍵，應使用三維計算來確定受主要事件影響的建築物樓層，並且應只計及這些樓層的人口。

氫氣裝置場地內的人口

2.12.4 為了與香港以往的做法保持一致，場內人口（例如在氫氣裝置工作的工人、車輛使用者等）不包括在內。

2.13 後果模擬

2.13.1 後果模擬（包括源項和物理效應模擬）應使用獲行業認可和驗證且適合氫模擬的軟件進行。憑藉後果模擬，可以評估所有已辨識危險事件的危害影響距離和相關影響。

- 源項模擬

- 對於每種故障情況，應以氣體擴散模型評估各種尺寸的泄漏孔的氣體釋放率，並據此釐定相關的點燃機率。

- 物理效應模擬
 - 應模擬每宗危險事件所有可能發生的最終結果。點燃氫氣的最終結果可能是火球、噴射火、閃火、爆燃和爆震。

2.13.2 目前的整合定量風險評估模型均基於平地（二維）方法，該方法可接納為基礎定量風險評估。如擠迫的釋放位置、防火牆／防爆牆等障礙物以及地形影響很重要，應使用三維計算流體動力學模型來校準或證明二維模型。計算流體動力學也應使用於分析防火／防爆牆的優點，以及設定設計要求，例如防火防爆設備、牆高和布局。

2.14 對人的影響

2.14.1 應使用表 4 所載的危險強度閾值內界定平均死亡機率的影響準則，來計算模擬後果對附近的人的影響。

風險類型	位置	影響區內死亡百分比				
		火球／噴射火		閃火	蒸氣雲爆炸	
		大於37.5千瓦／平方米或火籠罩區	小於37.5千瓦／平方米	（大於可燃下限）	大於0.3巴	0.1至0.3巴
個人風險	室外	100	機率 ^{備註}	100	100	0
羣體風險	室外	100	日間：機率 × 0.28 晚間：機率 × 0.14	100	100	0
	車輛內	火球：25 噴射火：100	0	100	100	0
	建築物內	5	0	5	100	2.5

備註：

參考 Eisenberg 機率^[3.6]。

表 4: 氫氣的影響準則

2.14.2 應選擇適當樓層的人口，來模擬對在多層建築物高處的人的保護，如上文第 2.12 節所述。

2.15 風險總結

2.15.1 風險總結應按主管部門的同意／批准，使用獲行業認可和驗證的風險總結軟件進行，以計算出與氫氣裝置相關的個人風險和羣體風險的風險水平。所考慮的參數如下：

- 所有已辨識危險事件的釋放氫氣情況及相關可能性；
- 所有已辨識危險事件的釋放氫氣地點；
- 氣象數據，包括風向及相關風速和大氣穩定性；以及
- 人口數據（建築物人口、道路交通人口和行人人口）、位置及室內比例。

2.15.2 除了個人風險（以等值線表示）和羣體風險（以頻率對死亡人數線表示）外，還應列出潛在生命損失的摘要與主要風險因素的細分（例如按故障情況劃分的潛在生命損失排名）。

2.16 風險準則

2.16.1 應使用適用於潛在危險裝置的香港政府「風險指引」來評估氫氣裝置風險的可接受程度，香港政府「風險指引」由潛在危險設施土地使用規劃和管制協調委員會制定，並作為規劃署《其他規劃標準與準則》的一部分出版^[3.5]。

2.16.2 該風險指引的關鍵準則是：

- 個人風險準則：風險指引中的個人風險界定為，在潛在危險裝置附近居住或工作的個人，受有關裝置的影響而預期增加的死亡機會率。應用風險等量線時，應同時考慮個人曝露於潛在危險裝置的估計時間。潛在危險裝置對裝置以外地方的個人構成的相關風險，其最高水平不得超過每年 1×10^{-5} ；以及
- 羣體風險準則：羣體風險表示潛在危險裝置對在附近居住的整體人口所構成的風險，該風險以頻率對死亡人數線表示，標示每年潛在危險裝置導致 N 宗或超過 N 宗居民死亡的意外發生頻率（ F ）（圖 2）。羣體風險指引把風險分為不可接受、在合理而實際可行的情況下盡量減至最低或可接受。

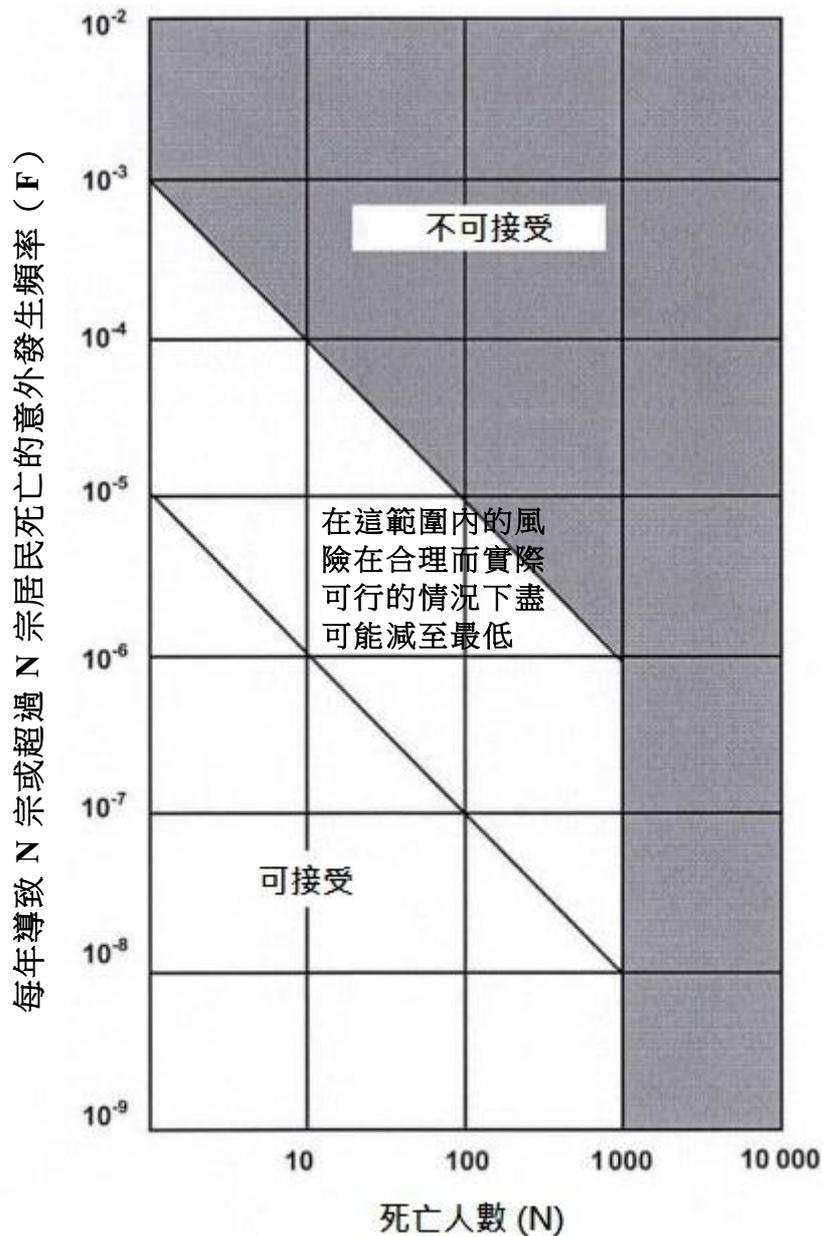


圖 2：羣體風險指引

2.17 研究結果

2.17.1 定量風險評估研究應從個人風險和羣體風險兩個層面總結氣體風險，並對整個定量風險評估研究進行精確和簡潔的描述。除了個人風險和羣體風險之外，還應納入潛在生命損失來顯示最大風險因素，以便在必要時提出實用且具成本效益的緩解措施。

2.18 緩解措施

- 2.18.1 如羣體風險結果落入在合理而實際可行的情況下盡量減至最低區域，應考慮所有可行且具成本效益的緩解措施。擬議緩解措施的可行性應透過成本效益分析評估和證明。
- 2.18.2 如個人風險／羣體風險結果落入不可接受區域，則應實施所有可行的緩解措施，不論建造或實施成本如何。
- 2.18.3 香港新裝置的羣體風險結果應在可接受區域內。這假設新裝置的限制較少，並且就新裝置而言，把羣體風險降低到可接受區域的措施通常更具成本效益。同時，還避免了任何演示在合理而實際可行的情況下盡量減至最低的需要。

2.19 結論與建議

- 2.19.1 結論應總結定量風險評估研究的背景、主要研究結果和定量風險評估結果，以顯示研究區內氫氣裝置帶來的相關風險在個人風險和羣體風險方面是否符合香港政府「風險指引」。
- 2.19.2 定量風險評估研究應提供有利於氣體安全的建議（如適用），包括但不限於擬議的緩解措施。

3. 參考文獻

- 3.1 Sandia National Laboratories (2009), “Analyses to Support Development of Risk-Informed Separation Distances for Hydrogen Codes and Standards” , SAND 2008-0874, March 2009.
- 3.2 International Association of Oil & Gas Producers (2019), “Risk Assessment Data Directory: Process Release Frequencies” , Report 434-01, September 2019.
- 3.3 Sandia National Laboratories (2020), “Final Report on Hydrogen Plant Hazards and Risk Analysis Supporting Hydrogen Plant Siting near Nuclear Power Plants” , SAND 2020-10828, Oct 2020.
- 3.4 機電工程署（2021年），《香港高壓煤氣裝置定量風險評估研究指南》。
- 3.5 規劃署（2022年），《香港規劃標準與準則》第十二章：其他規劃標準與準則。
- 3.6 VROM (2005), “Guidelines for quantitative risk assessment” , Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment, the Netherlands.