

# 第八單元 風險管理

## 單元索引

- 8.1 風險的定義
- 8.2 風險知覺
- 8.3 風險量測指標
- 8.4 可接受的風險程度
- 8.5 風險評估
- 8.6 風險管理
- 8.7 結語

- 1. 了解何謂風險及其量測指標？
- 2. 了解何謂風險評估？
- 3. 了解何謂風險管理？
- 4. 了解進行風險評估與風險管理的目的何在？

## 8.1 風險的定義

「風險(risk)」是一個明確但又模糊的名詞，與「安全」往往相提並論。一般人認為沒有風險就是安全，但什麼是安全呢？我們有時也說不清楚，安全有時是一種價值判斷，有些人不肯乘坐飛機，因為他們認為飛機失事後乘客存活的**機率很低**，但是從統計數據可知，乘坐飛機意外的機率遠比騎摩托車為低。

美國傳統字典(american heritage dictionary)將風險界定為遭受傷害或損失的可能性，安全則為免於損害、受傷或危險。換句話說，做不安全的事就有風險，不冒險做事就很安全。

風險的科學定義為“發生事故的可能性與後果的組合（乘積）。可能性為發生的機率或頻率（次數／時間），而後果則為人員傷亡數目或財產的損失數值。”

風險是應用於意外或損失的名詞，一般人往往忌諱這個詞彙，但大多數人都買過樂透彩、六合彩或愛國獎卷等彩卷，而且期望中大獎；因此用買彩卷來解釋風險可能比較容易接受。購買彩卷時，大家往往只注意獎金的大小，卻忽略中獎的機率，如果我們計算一下彩卷的實際價值時，就會發現彩卷的平均價值遠低於彩卷的價錢。假設某彩卷每張50元，總共發行100萬張，獎金為2000萬元。中獎的機率只有百萬分之一，每張平均價值（期望值）只有20元，低於彩卷的兩倍。

$$\begin{aligned}\text{平均價值（期望值）} &= \text{中獎機率} \times \text{獎金} \\ &= 1/10^6 \times 20 \times 10^6 \text{（元）} \\ &= 20 \text{〈元〉}\end{aligned}$$

不中獎的機率為  $1 - 1/10^6 \approx 1$

購買50元彩卷的風險為

$$\text{不中獎機率} \times \text{所損失的金額（後果）} = 50 \text{（元）}$$

風險性活動與參與者的意願，可分為自發（自願）性風險與被動性（非自發性）風險。參與者主動或自願從事的活動相關風險，例如開車、吸煙、運動等風險為自發性風險，天災、失火、爆炸、空氣污染所造成的風險，並非受體（受害者）所自願，為被動性風險。

社會風險為整個社會所承受的風險（一年中意外所發生的次數），而個人風險則為個人所承受的平均風險（一年中任何一個人發生意外地平均次數）。

兩者之差異可以用下列車禍例子區別，假設台灣一年內發生一百萬次( $10^6$ )車禍，其中200次中有一次造成一個人的死亡，台灣車禍死亡的社會風險為 $10^6 \text{次} \times 1/200 \text{人/次} = 5000 \text{人死亡/年}$ 。台灣共有2200萬人，個人車禍死亡風險為

$$5000 \text{人死亡/年（22,000,000人）} = 2.28 \times 10^{-4}$$

## 8.2 風險知覺

一般社會大眾對於風險或導致風險活動的看法（知覺）與專家不同，由於風險為機率性而非決定性或絕對性，社會大眾難以瞭解風險的真正意義，一般人對於自發性與習慣性的活動所能接受的風險程度偏高，對於非自發性、高科技的工業活動所能接受的程度偏低。以美國為例，車禍與槍殺是非工業活動中最常發生的意外，美國平均二個人就有一部汽車，一把槍，但是沒有汽車等於沒有腳一樣，難以出門辦事，任何美國人不可能放棄開車，擁有槍枝在美國西部人士心目中為安全與自由的象徵，禁槍運動推行多年，至今仍難以立法，人人皆知「玩槍者死於槍下」，但是要想說服德州人放棄槍械，幾乎是不可能的事。相反的，大部分的人對於技術複雜的產業如核能發電廠、化學工廠、飛機場卻不放心，極力反對這些場所在附近設立。

社會大眾對於風險的知覺受到許多因素的影響，一般人評估風險時，顯示下列的現象：

### 1. 依賴個人的經驗

如果本身或親朋好友具有某類受傷或意外經驗時，通常高估其風險，對於不相關的事件則趨向於低估。割草機與電視機為每個美國家庭必備的器具，估算值與實際值相差不多，但卻往往高估低風險的產品（如風扇、爐具），低估高風險產品（如刀具、玻璃器皿、門窗、自行車）。

### 2. 高估易於記憶或記憶中的重大事件的風險

重大工業意外或飛機失事所造成的損害很大，電視、報章雜誌中的報導使人難以忘懷，因此一般人對於類似工業皆抱著懷疑的態度。飛機失事比吃避孕藥、抽香煙為低，但是一般人卻普遍認為核能電廠、化學工廠、乘坐飛機的風險性很高。

### 3. 高估個人的能力與運氣

一般人對於熟悉或習慣性的行動如開車、騎摩托車、吸煙等的自信心很大，認為別人可能受害，自己卻不致受到傷害，75-90%的汽車駕駛者認為自己的駕駛能力超過一般水準。

### 4. 自願和非自願風險

對許多人而言，他們覺得自願遠比被迫從事一項冒險行為來得安全。舉例來說，如果房地產的價格夠低，便會吸引一些人願意在會排放少量有毒廢氣的工廠附近購屋。這些人為了較低的房價，寧可冒險。可是如果有人已經是住在排放有毒廢氣的工廠附近，但卻不知道實情，他們的風險意識就會大幅提高，因為這些人不是自願去接受這項風險。即使在這兩個案例中，工廠所排放的毒氣程度完全相同，這項原則也不會改變。

## 5. 短期與長期的後果

有些事可能會造成一時的病痛或傷害，也有事則可能會造成終身殘廢。前者看起來似乎比後者安全。舉例來說，可能造成腿骨斷折的風險，遠比導致脊骨斷折的風險低，因為腿斷雖會疼痛不已，幾個月無法行動，但一般來說還是會完全康復，可是脊骨折斷則會造成終身殘廢。

## 6. 預期的機率

許多人認為百萬分之一的機率會造成嚴重傷害的風險程度是可以接受的；然而卻無法接受在50%的機率下，導致相當輕微損傷的風險。對許多人來說，要他們在有大量水母聚集的海邊游泳是不可能的，因為雖然被水母螫到的機率很高。在同樣的海灘上如果被鯊魚攻擊，雖然可能喪失生命或肢體損傷，但是因為風險極低，群眾還是會去海灘游泳。在此必須了解的是，這種預期機率不過是根據經驗所作的猜測而已，並沒有任何科學依據。

## 7. 可逆效應

社會大眾認為可逆的或可挽回的冒險活動，風險較低。這一點和前述的長、短期風險的觀念類似。

## 8. 風險程度的恕限值

社會大眾認為在高頻率暴露狀況下，才會導致危害的活動，比在一般頻率下就會造成危害的活動安全。舉例來說，不管開車的次數是否頻繁，車禍的機率是相同的（減少開車的頻率，當然可以降低發生車禍的可能性）。相對的，研究結果指出少量的輻射線其實是有益於人體的健康，除非是暴露在大量輻射線下，才會對健康造成重大傷害或死亡。只要不超過一定的恕限值，壞的後果就不會發生時，大眾對這種活動的風險容忍度會大幅提高。

## 9. 延遲與立即風險

有些活動在多年後才會造成危害，有些則立即發生；前者似乎比後者來得安全。舉例來說，近幾年來，美國人早被警告，長期攝食高熱量食物對健康會有不良的影響，這種飲食習慣會引起慢性心臟疾病或是導致中風；然而，許多人卻都忽略了這些警告，他們並不在乎這些在很久以後才會發生的風險。但是他們卻認為如高空跳傘之類發生意外就會立即傷亡的活動非常危險。

一個活動本身是否危險通常得視對象而定，每個人對風險的感覺不同，往往難以認同他人的風險感覺。表8-1列出影響風險知覺的主要因素，公眾對於劇烈性、毀滅性的活動如火災爆炸、飛機失事等開懷程度高，但漠視經常發生的車禍及熟悉性的活動的風險。

美國環保署認為自然的活動如溫室效應（地球暖化）、臭氧層破壞、物種絕種、生物生態圈的變化及破壞的風險最高；認為短暫但劇烈性的局部汙染所造成的破壞

風險較低；然而社會大眾卻較恐懼突發性、劇烈性的活動，而對於變化緩慢但距長期效應的活動，卻不重視。（表8-2）。

表8-1 影響風險知覺的因素

因素	公眾關懷度高	公眾關懷度低
具毀滅、劇烈破壞性 潛勢的裝置、設施、事件	多數人的同時傷亡 飛機失事	散佈各地.零星的傷亡 (汽車、摩托車失事)
熟悉度	從未聽過	司空見慣
瞭解程度	低 (不瞭解)	高 (瞭解)
人為控制	無法控制	可以控制
自願 (發) 性	非自願 (發) 性	自願 (發) 性
與孩童的關係	危及孩童	對孩童並無危險
效應 (後果) 時效	延遲 / 後發性	應即發生
對未來世代的風險	具有風險	無風險
受害者的身分	有名有姓公眾人物 或可身分確認的	統計數字
恐懼	是	否
相信程度	低 (缺乏信心)	高 (具有信心)
媒體注意程度	高	低
公正性	低 (不公正)	高 (公正性)
可逆度	不可逆	可逆度
操控活動者	人	自然的活動

表8-2 美國環保署與社會大眾對於風險活動的看法

美國環保署	社會大眾
<p>1.高風險活動</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 地球暖化 (高風險)</li> <li>• 物種絕種 (喪失多元化)</li> <li>• 生物群改變及生態破壞</li> <li>• 臭氧層破壞 (高風險)</li> <li>• 消費性產生化學危害 (高健康風險)</li> </ul> <p>2.中風險活動</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 殺蟲劑 / 除草劑</li> <li>• 地面水源 (河川、湖泊) (高生態風險)</li> <li>• 酸雨</li> <li>• 空浮毒性物質 (airborn toxics) (高健康風險、低生態風險)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 化學廢棄物處置</li> <li>• 水污染</li> <li>• 化學災變</li> <li>• 空氣污染</li> <li>• 油品潑灑</li> <li>• 勞工暴露</li> <li>• 殺蟲劑</li> <li>• 飲水衛生</li> </ul>

### 3.低風險活動

- 油品潑灑
- 地下水污染
- 熱污染
- 有害廢棄物儲存／處置場所
- 地球暖化
- 室內空氣污染
- 消費性產品化學危害

## 8.3 風險量測指標

風險量測的目的是將風險的嚴重程度計量化，風險估算、量測的過程包括危害發生的機率、頻率、暴露的時間、效應／後果等資訊的整合，視風險的類別及需求以等級（輕微、普通、中度、嚴重等），數字比較（0、1、2、3……等）或機率（例如致風險為 $10^{-6}$ ）等，**作為風險分類的依據。**

常見的風險量測的基準為：

1. 機率分配(probability distributions)
2. 期望值(expectation values)
3. 經濟損失或損害
4. 風險剖面圖(risk profile diagram)
5. 相對風險程度（暴露族群的意外發生率：非暴露的意外發生率）
6. 個人生命週期風險（=個人風險×暴露群體人數）
7. 頻率-後果（影響）圖(frequency – consequence diagram , f – n curve)
8. 生活條理品質(quality of life adjustment)
9. 生命期望值的損失(loss of life expectancy)（個人壽命風險×平均剩餘壽命）

表8-3列出風險量測指標以供參供。

表8-3 風險量測指標

- 
- 1、 劇毒指標  
LC<sub>50</sub>、LD<sub>50</sub>：造成曝露生物中50%致命的濃度(LC)或致命劑量(LD)
  - 2、 安全風險
    - 死亡人數、受傷人數、喪失工作天數
    - 財產損失
    - 生產或營收損失
  - 3、 健康（衛生）風險
    - 遞增或癌症人數
    - 非癌症危害（呼吸、神經、生育效應）
  - 4、 生態/環境風險
    - 物種多元化
    - 生物及生態系統變化（功能、容量）
    - 自然資源破壞
  - 5、 公共福利/商譽風險

- 資源運用的限制 (地面水)
- 臭味、外觀、觀瞻影響
- 財產價值

6、 財務風險

- 保險 (費率、償還率)
- 負擔 (短期、長期)
- 營收

資料來源：R. Kollaru, S. Bartell, R. Pitblaclo & S. Stricoff' Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health and Safety Professionals, Mcgrow Hill, N.G, 1996

圖8-1顯示風險程度分析及評比。

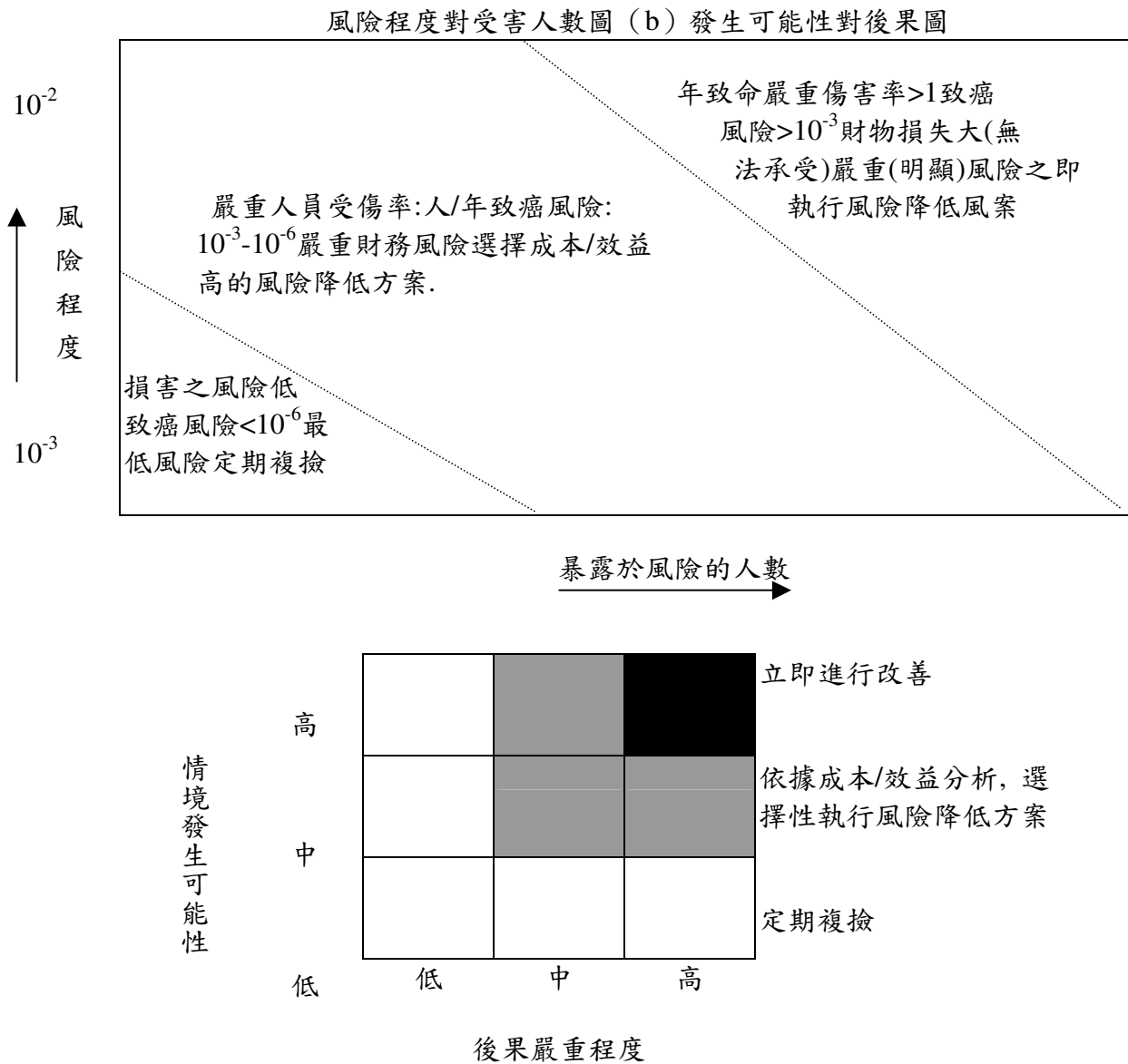


圖8-1 風險程度分析及評比 (a) 風險程度對受害人數圖 (b) 發生可能性對後果程度圖

## 8.4 可接受的風險程度

風險為機率性的估算數值，僅具評比的意義，無法提供絕對或肯定的「是」或「否」安全的答案。政策測定機關或風險管理者必須，依據許多效標以及風情、經驗、風俗、決定可接受的風險(acceptable risk)程度。事實上，**任何人的日常活動中**，難免具有風險，零風險是不可能達到的境界。有時為了避免更大的風險，必須從事一些風險較低的活動，例如，打防疫針可能會引起副作用，但是可以避免疾病發生及癘疫流行；X-光對人體有輕微的害處，但是可以協助醫生偵測肺部狀況。

什麼是風險或安全與否的指標呢？換句話說，當風險低於某程度，已不具任何實際意義，自然可以認為是「安全」或「不具危險」了。最低風險值或可接受風險值的概念雖然合理，而且具吸引力，但是訂定一個整個社會皆可認同的數值，卻不容易，雖然環境或安全衛生主管機關認為有此必要，但是也不情願主動地訂出此一數值。

美國環保署(EPA)、食品藥品管理署(FDA)、消費性產品安全委員會(CPSC)皆使用百萬分之一( $10^{-6}$ )作為個人一生的可接受的參考風險值，這個數值目前已普遍為社會大眾所接受。由表8-4可知一般人對於造成 $10^{-6}$ 致命風險的活動例如吸1.4支香煙，喝500 c.c.的酒（酒精含量12%）或坐150英哩的汽車皆為司空見慣之事，任何人都有此經驗，也不會覺得有任何危險，因此相對活動的風險如果低於此數值( $10^{-6}$ )，似乎皆可為大家所接受。

表8-4 日常生活中，致命危險為百萬分之一的活動

活	動	風	險
1.	吸 1.4 支香煙	癌症，心臟病	
2.	喝半公升酒(酒精 12.5%以下)	肝硬化	
3.	在煤礦坑道停留一小時	黑肺症	
4.	在煤礦坑道中，停留三小時	災變	
5.	騎自行車，行走十六公里	車禍	
6.	乘坐汽車，旅行二百四十公里	車禍	
7.	乘坐飛機旅行一千六百公里	失事	
8.	乘坐飛機旅行九千六百公里	因宇宙射線而致癌	
9.	在一般石頭或水泥造的房子內居住兩個月	因自然放射而致癌	
10.	在設備良好的醫院照射一次 x 光	因放射線而致癌	
11.	與吸煙者共同生活兩個月	癌症，心臟病	
12.	吃四十茶匙的花生醬	因 Aflatoxin B（天然物中的致癌物）而患肝癌	
13.	在核能發電廠三十二公里週圍內居住一百五十年	因放射線而致癌	
14.	吃一百塊由木炭烤的牛排	因木炭中所 <b>含苯芘</b> 而致癌	



另一個經常使用於風險管理的效標為避免造成死亡的邊際(marginal cost of avoiding a fatality)，此一成本約在200萬至800萬美金之間，歐洲各界明確地應用此類經濟效標，但是美國工商界卻僅默認此效標的存在。

## 8.5 風險評估

### 8.5.1 風險評估的概念及定義

風險評估為一種系統化的評估過程，當危害發生或存在後，用以估算所有被暴露或承受後果的對象的主要風險因素。視危害的種類及評估目的而定，可將危害（污染、破產、意外、火災等）所造成的影響、後果及其風險，以計量或定性方式表達出來，以作為決策、改善的依據。

風險評估是一種有效的工具，可以針對危害發生後所可能產生的情境，透視及分析危害對於人員、生態、環境的影響，風險評估過程是一種合理且具成本概念的機制，它應用既有的科學知識，以試圖建立事件（危害）與所造成的反應的關係，以作為管理危害性情境的參考。

進行風險評估時，評估者針對某一特殊的情境或狀況，提出一連串的問題：

- 是否會發生意外、失誤？
- 為何或如何會發生失誤？
- 失誤造成的影響（後果）？
- 是否可以避免或降低影響（後果）？

再依據危害的種類及其所接觸的對象，分析暴露或發生的機率、頻率以及可能產生後果（長期性、短期性、隱性、顯性）。然後計算出風險程度{機率（頻率）與影響（後果）的組合（乘積）}。

由於不同的危害所產生風險程度亦不相同，因此進行風險評估之後，可將危害所可能造成的危險予以量化或進行比較，排列出優先順序：表8.5 列出不同類別風險評估的對象及焦點。表8-6 列出量化風險評估方法的演化及里程碑。

表8-5 風險評估種類及焦點

類別	對象	焦點
1. 安全風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 低機率、高暴露危害及高影響性意外；劇烈、即時效應</li> <li>• 因應時效重要</li> <li>• 顯明的原因-效應關係</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人身安全</li> <li>• 工作場所及其周圍</li> </ul>
2. 健康風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 高機率、低暴露危害及低影響性意外及長期隱性、延遲發生的效應</li> <li>• 原因-效應關係不易建立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人體健康</li> <li>• 工作場所之外地區</li> </ul>
3. 生態/環境風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 緩和／不易發現的變</li> <li>• 原因-效應關係不確定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 對生態系統及生物的複雜的相互作用（微觀及宏觀）</li> <li>• 範圍可能與污染源距離甚遠</li> </ul>
4. 公共福利／名譽風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 社區及民眾對於組織的表現級產品的觀管</li> <li>• 外觀.財產價值.資源運用限制考慮</li> <li>• 負面觀管會帶來立即損失，但正面觀感的影響虛長時間才可分辨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 公眾觀感及價值</li> </ul>
5. 財務風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 短期、長期財產及營業損失負擔</li> <li>• 保險償還</li> <li>• 環境.衛生及安全投資的回收</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 操作財務正常</li> </ul>

表8-6 量化風險評估的演化及里程碑

年代	事蹟(里程碑)
1938	美國聯邦食品、藥品及化學品法案
1940 - 1950	核能及航太工業開始發展，應用危害評估方法(HAEOP, FMEA, 故障附案)
1958	食品、藥口化學品法案修正條款-Delaney Clause
1975	美國核能管制委員會(NRC) WASH-1400 反應器安全研究
1976	美國環保署頒佈癌症風險評估導引(Carcinogenic Risk Assessment Guidelines)
1980年代	加強防癌風險(EPA水質效標以 $10^{-5}$ 至 $10^{-7}$ 風險為基準)
1980	最高法院裁決 OSHA 應該證明苯限值應降至 10ppm 以下以確保人體安全
1981	風險分析學會出版首期風險分析(Risk Analysis)期刊
1982	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NAS/NRC 數告：聯邦政府中的風險評估：程序管理(Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process)</li> <li>• 美國核能管制委員會(NRC)公佈機率性風險評估導引(Probabilistic Risk Assessment Guide)</li> </ul>
1985	美國核能管制委員會(NRC)布機率性安全分析步驟導引(Probabilistic Safety Analysis Procedure Guide)
1983	美國化工學會成之化學程序安全中心，開始推動製程安全及安全風險評估
1986	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 風險評估導引正式確定</li> <li>• 超級基金公共衛生評估手冊(Superfund Public Health Evaluation Manual, SPHEM)</li> <li>• 1986 年曝露與風險評估(包含遺傳、致癌、發展性及化學品混合物)</li> <li>• 加強風險管理中風險通識的重要性(SARA TITLE III 1986)</li> </ul>
1987	美國環保署發表：Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems)
1989	美國環保署發佈：超級基金風險評估導引(Risk Assessment Guidance for Superfund)；人體健康評估手冊(Human Health Evaluation Manual)；環境評估手冊(Environmental Evaluation Manual)。
1990	美國環保署科學顧問委員會出版「降低風險：設定環境保護的優先次序與策略」(Reducing Risk: Setting Priorities and Strategies for Environmental Protection)
1990年代	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 美國職業安全衛生署頒佈製程安全管理標準(PSM)、(1910.119)、(1992年2月完成)</li> </ul>

- 開始重視非癌症(生育)效應，例如戴奧辛、PAH等。
- 曝露、發展、生育及神經毒性致癌風險及室內空氣品質導引的更新。

---

資料來源：R. Roollaraetal, Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health and Safety Professionals, Mearaw Hill, N.T., 1996 Table 1-1, p1.9。

## 8.5.2 為何進行風險評估？

風險評估的目的為提供風險管理者完整具可行的風險資訊，以作為解決或因應危害問題時決策的依據。當任何一個危害性的情況（無論是對天災、人禍、意外、污染等，可能會對環境／生態、人體、健康、財產造成損失）存在或發生，主管單位（政府、公司、工廠等）必須執行管理或管制方案，以降低、緩和其後果或解決其存在的問題，在擬定管理／管制方案時，必須依據系統化的合理化的程序所整理的資訊數據，否則不僅不具公信力，且無法自圓其說，由於風險評估方法提供一種研判後果的分析方法，可以用以評比某一危害發生後所產生的不同情境或不同危害所產生的後果，因此普遍作為研擬政策、管制方案或決策的參考。

安全、健康、生態／環境三類風險評估甚少同時進行，核能電廠、石油、化學工廠從業人員經常從事整場或部分製程的安全風險評估，以降低安全風險程度、公共衛生主管機關及注重健康安全評估，以確保社會大眾的衛生品質，而環保機關進行生態／環境風險評估。然而，意外事件的發生後，其影響往往非常深遠。以1986年蘇聯車諾堡(Chernobyl)核能電廠意外事件為例，當時傷亡人數不多，但是附近居民、土壤、動植物由於暴露於強烈輻射線後，長期受難。由於人類是生態系統的一部份，與週遭環境形成動態平衡，因此從事安全或人體健康風險評估時，理應考慮生態／環境的風險。

美國環保署(EPA)、職業安全與衛生署(OSHA)、消費性產品安全委員會(CPSC)等是主要應用風險評估的政府機構，其他機構如交通部、農業部、能源部、國防部、核能管制委員會及聯邦緊急管理署亦常使用風險評估，以作為法規制定及政策執行的依據。

## 8.5.3 安全風險評估

安全風險評估方法的演化與發展，始源於1950年代，與美國核能工業的發展並駕齊驅，由於核子反應爐的操作失控可能造成毀滅性的災變，在設計及建核能發電廠及核子反應爐的過程中，必須步步為營，分析可能造成意外的原因及其後果，因此必須發展及應用一套系統化且具邏輯基礎的評估架構，作為判斷與決策的依據。美國核能管制委員會公佈的機率性風險評估步驟導引(Probabilistic Risk Assessment Probabilistic Safety Analysis Procedure Guide)及機率性安全分析步驟導引(Probabilistic Safety Analysis Procedure Guide)是核能工業界及核能管制者標準的評估手冊【NRC, 1983, 1985】

過去三、四十年間，機率性風險評估與危害辨識方法不斷地演化及與發展也逐漸地應用於航太、電子、石油及化學工業。1974英國傅立可斯鎮(Flixborough, U.K.)人纖原料工廠爆炸事件震驚了整個英國，一夕之間工業安全成為全國最重視的議題，直接促進工作場所健康及安全法的頒布。此法案列辨識、認知、去除／降低風險與評估等四個控制工業危害的原則。目前四個原則已普遍為工業化國家及國際性工業組織所接受，1992年美國職業安全與衛生署公佈的1910.119條款亦包括風險評估與管理。1990年美國清潔空氣法案條正案中，亦包括風險管理計劃，以預防化學物質意外排放。

風險評估可分下列四個主要步驟(圖8-2)：

1. 危害鑑定。
2. 機率分析：計算危害因素造成意外發生的機率。
3. 影響分析：估算意外所造成的財產損失與人員的傷亡。
4. 風險分析：機率與影響的組合。

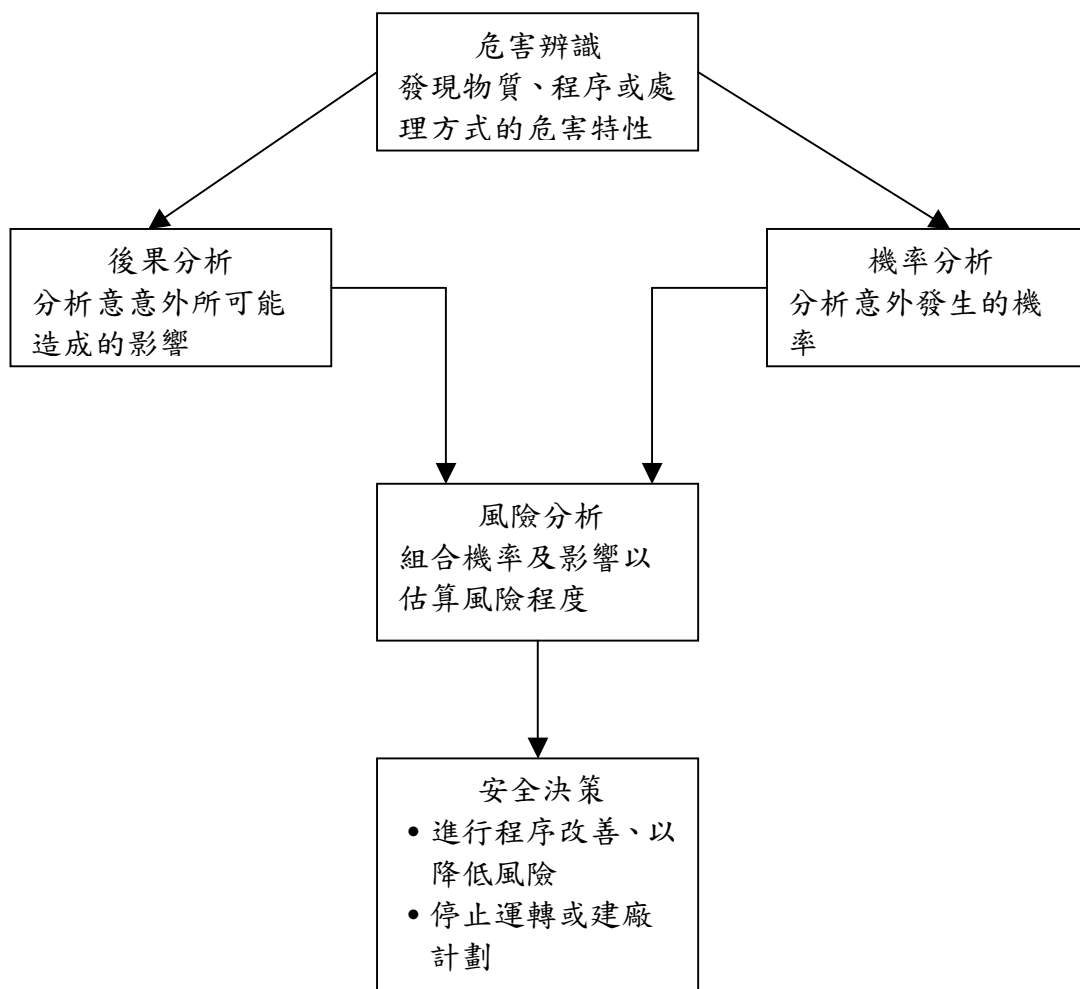


圖8-2 安全風險評估的步驟

#### 8.5.4 健康風險評估(health risk assessment)

健康風險評估是對暴露於危害性因子而造成危害的估計與評價。以化學性危害為例，由污染源至健康效應需經過連續之過程(圖8-3)，而在進行污染物健康風險評估時，必須正確地掌握每一過程之資訊或進行合理之推估，才能將健康風險評估之不確定性降至最低。健康風險評估為跨學科之整合應用，其主要相關之學科涵蓋環境科學、毒理學、流行病學、生物化學、病理學、藥物學及統計學等，其與社會、經濟等學科亦有所相關。風險評估之進行方式，常依其研究目的及所能收集之資料而有不同。某些風險評估是在事件發生後，再進行其危害分析，但亦有在事件發生前，以適當且合理之推估方法，預測未來可能造成之風險。

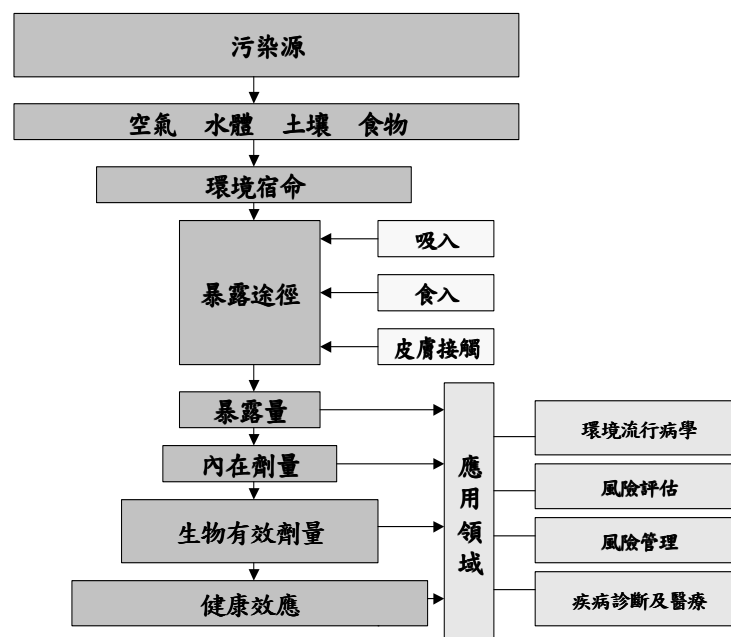


圖8-3 由污染源至健康效應之連續過程

目前國際間及美國境內普通公認的健康風險評估典範是依據美國國家研究顧問委員會(National Research Council, NBC)與其附屬的國家科學院(National Academy of Sciences, NAS)於1983年所發表的：「聯邦政府內的風險評估：管理程序」(risk assessment in the federal government: managing the process)報告，包括下列四個步驟(圖8-4)：

1. 危害辨識(hazard identification)；
2. 劑量—反應評估(dose- response evaluation)；
3. 暴露評估(exposure assessment)；
4. 風險確定(risk characterization)。

危害是可能造成風險的化學、生物、物理性因子（例如爆炸物、易燃物、致癌物化合物、電磁波、放射性物質等）或條件（壓力、溫度等）；其次，必須確定可能承受（暴露）危害因子的群體（人、生物、建築物）及暴露（接觸）的地點，換句話說危害因子惟有接觸（曝露）至目標群體時，才可能產生風險。劑量-反應評估則為界定暴露對象（群體）的暴露程度與反應的關係，最後為風險確定，其目的在於整合暴露評估與劑量-反應數據，以求得量化風險估算值。此時，必須將假設及不確定度的來源清楚地列出，以作為執行風險管理工作的參考。

健康風險評估的結果可作為相關單位進行風險管理(risk management)之參考，並可據以制訂管制策略及措施，並將風險資訊正確地向有關民眾傳達，完成風險評估、風險管理與風險溝通(risk communication)之工作。由於風險評估的目的是作為風險管理的依據，因此進行風險評估之後，必須進行風險管理（界定風險、執行改善/緩和措施、監視/觀察/評估成效、複檢……等）。

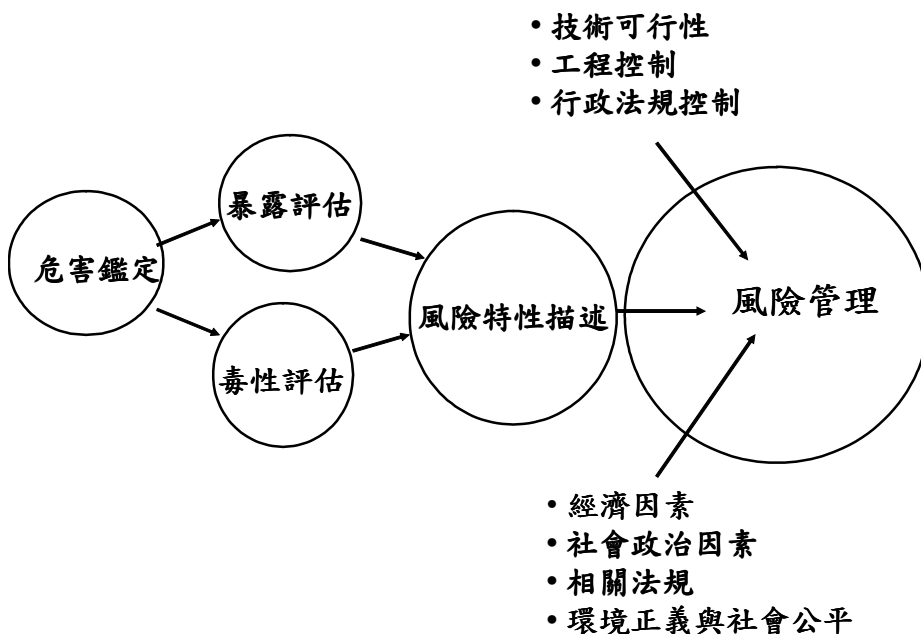


圖8-4 健康風險評估之步驟

### 8.5.5 生態/環境風險評估

生態環境風險評估的步驟與健康風險評估類似；

1. 問題界定；
2. 曝露評估；
3. 毒性效應評估；
4. 風險特徵敘述。

表8-7 顯示安全、健康、生態／環境三種評估方法的步驟、成果與適用範圍的比較。

表8-7 三種主要類別的風險評估方法的比較

安全	健康	生態/環境
<b>I 方法</b>		
1. 危害辨識	1. 健康分析/危害辨識	1. 問題界定(危害傳送)
<ul style="list-style-type: none"> <li>原料、材料、設備、管線</li> <li>反應性、毒性、危害性、水溶性</li> <li>互溶性</li> <li>圍堵失敗</li> <li>失誤方式(天災、人禍、反應失控)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>化合物、物理、化學特性</li> <li>數量、濃度</li> <li>環境中生物系統</li> <li>危害性物質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>保護或稀有物種</li> <li>水域/地域測量</li> <li>污染源</li> </ul>
2. 機率/頻率估算	2. 暴露評估	2. 暴露評估
<ul style="list-style-type: none"> <li>起始/蔓衍事件發生的機率/頻率及可能性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>路徑及方式</li> <li>受體及接觸部位</li> <li>暴露速率時期</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>路徑及方式</li> <li>生物或受體數目</li> <li>稀有/保護生物</li> <li>暴露位置的濃度</li> </ul>
3. 影響(後果)分析	3. 劑量-反應或毒性評	3. 毒性效應評估
<ul style="list-style-type: none"> <li>影響種類(失火、爆炸、危害物質散佈)</li> <li>破壞威力及範圍</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>暴露劑量與對健康的影響關係</li> <li>危害物質散佈</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水域-地區及微生物測試</li> </ul>
4. 風險分析	4. 風險特徵敘述	4. 風險特徵
<ul style="list-style-type: none"> <li>頻率/機率與影響/後果地整合(乘積)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>毒性與暴露數據的整合</li> <li>不確定的分析</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場量測、毒性、暴露數據的整合已確認對於生物/環境的風險,確認原因</li> <li>不確定度分析</li> </ul>
<b>II 成果</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>死亡、受傷人數</li> <li>財產損失</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>個人健康風險</li> <li>群體健康風險</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>生態系統或生物影響(物種多元化數量及對地區、全球的衝擊)</li> </ul>
<b>III 適用範圍</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>化學、石化、煉油工業安全</li> <li>危害性物質運輸</li> <li>OSHA製程安全管理</li> <li>EPA風險管理計劃</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有害廢棄物場所</li> <li>空氣、水、土地、執照申請</li> <li>食品、藥品、化妝品管理</li> <li>工廠擴建或關閉</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境評估書</li> <li>國家自然資源破壞/保育評估</li> <li>超級基金廢棄物處理場所</li> <li>場地選擇、溼地研究</li> <li>殺蟲劑上市註冊</li> </ul>

資料來源：R.Kollura at al, Risk Assessment and Management Hazdbok for Environmental, Health and Satety Profericals, Mcgraw Hill, 1996.



### 8.5.6 優點及限制

風險評估提供了一個有效的評比問題的優先順序、分配資源及降低風險的架構，可以作為執行風險管理任務的依據，它具有下列優點<sup>(3)</sup>：

1. 辨識與評比系統中存在的或預期的危害；
2. 辨識與評比所有可能發生的失誤模式；
3. 考慮目前已存在的未來可能發生的曝露情境；
4. 將所有可能發生的風險情況量化或定性化；
5. 辨識可能導致失敗（失誤）風險的主要因子及曝露路徑；
6. 協助選擇具成本效益之降低風險的計畫；
7. 辨識與分析不確定的來源。

一件風險評估工作的品質取決於評估人員的能力，如果評估者欠缺經驗及廣泛的知識，僅能遵照手冊逐步進行，而無法透視問題與專注主要的議題時，其結果有如流水賬一樣，不具任何價值。執行風險分析工作的目的及步驟缺乏科學性的共識，而且由於資訊不足，必須作出大膽的假設，應用外插或準確性低的數據，因此由科學的觀點而論，其誤差往往過大，難以取信。例如桶槽的安全係數約200-400%，橋梁及建築物支柱的安全係數可能高達500-600%，風險評估的誤差亦可能高達200-300%。因此，許多社會大眾往往認為風險評估的目的僅為模糊「安全與否」的焦點。風險值（ $10^{-6}$ 或 $10^{-4}$ 致癌風險）對於社會大眾並無意義，他們關心的是他們本身是否有生之年得癌症。一些委託評估的財團或業主往往認為風險評估是一種證明無風險或低風險的工具，他們出資委託的目的僅為達到他們保持既得的利益或開發的目的而已，事實上許多風險評估的結果僅提供一些可供相互評比及參考的風險數據，無法針對大眾所關注的問題提出確定的是與否的答案。

風險評估的限制為：

1. 科學界將風險評估的目的，進行步驟及其結果並無廣泛的共識；
2. 風險本身為機率性，但是一般標準方法具有決定性(deterministic)的結果；
3. 評估並非是一種客觀、科學的程序；
4. 健康（衛生）、生態風險評估中數值大小的變化渡過份主觀；
5. 文化因素影響評估者評估結果；
6. 缺乏足夠生物（受體）曝露機制知識及數據；
7. 與場地有關的評估僅注重當時及經期性的影響，忽略長期及宏觀的評估；
8. 缺乏具廣泛背景的評估者；
9. 評估團隊的成員背景不同，溝通困難，難以取得共識；
10. 風險評估專家對於風險的看法與社會大眾或委託評估客戶（基於利益考量）不同。

## 8.6 風險管理

風險管理(risk management)與風險評估之間密不可分，一般而言所謂風險管理，即是針對風險評估出來之結果與改善建議，透過系統化之體系、決策過程與執行之落實與追蹤考核等程序，以達到保護員工、社會大眾、環境及避免公司商業中斷損失的目的。基本上風險管理是在強調危害控制技術和管理知識整合，全世界工業先進國開始對工業安全衛生與環境生態保護之後，即投以高度的重視後；因此風險管理已成一項世界性的潮流。

美國及加拿大的風險管理模式，兩者雖然各有不同，但是其過程皆為簡單的描述為先對製程實施有效的危害鑑認與辨識，找出重大潛在危害源後，利用系統化的安全評估與管理技術，計算或估計危害狀況發生的可能性（或稱災害性）及發生後的嚴重性（或稱為災害深度），進而提出最有效的管理控制（強化製程安全管理制度）及工程改善方案，以便達到一最低合理風險的管理目標。

## 8.7 結語

風險是意外（危害）發生的機率（頻率）與損害程度的組合，風險評估是一種系統化評估危害所可能造成的危險與損害程度架構，其目的在於事先發現程序（系統環境）中危害因素、發生機率、後果（影響）評估結果可以計量化，可作為預防、降低及管理風險決策的依據。

科學化風險評估方法早在1950年代應用於核能工業，以後逐漸應用於石油、化學工業及航太工業的安全評估上。1970年代末期後，美國環保署與職業安全與衛生署開始推動，目前已普通應用於安全、公共衛生、環境／生態保護、財務管理的公共決策與法規制定上。

## 問題

1. 何謂健康風險評估四大步驟？
2. 何謂暴露評估？
3. 暴露評估進行的方式有哪些？
4. 致癌物與非致癌物於風險度推估方法上有何差異？

## 參考文獻

1. NRC, National Research Council (1993) , *Issue in risk assessment*. Washington, DC: National Academy Press..
2. US EPA (1986) , *Guidelines for CarcinogenRisk Assessment*. Washington, DC: EPA/630/R-00/004 September.