

# 淨水場使用毒性化學物質之風險管理政策

周盛華 台灣省自來水公司第六區管理處副理

徐啟銘 國立雲林科技大學勞工安全衛生系教授

吳景明 台灣省自來水公司第六區管理處工程員

許蕙琳 崑山科技大學環境工程系副教授

蔡錦松 國立成功大學土木工程系教授

## 摘要

加氯消毒是國內淨水場為維持飲用水安全常使用的方法，因為保持一定的供水餘氯可減少致病菌之生長，並避免水媒疾病的傳染。但是加氯消毒所使用的氯氣是屬於毒性化學物質，其對人體健康有致命性的危害，然而國內淨水場對於加氯消毒設備的使用，卻長期缺乏風險管理的意識，所以當發生氯氣外洩事件時，淨水場可能無法對其危害衝擊作出有效且即時管理與應變處置。因此針對淨水場使用毒性化學物質（氯氣）之管理政策，應如何將加氯消毒系統設備所潛在的危險加以定性與定量分析，使其主觀上危害意識的感受得以量化與系統化，進而降低危害風險，提高系統的安全性，是值得探討的。本研究內容主要有：(1)淨水場加氯消毒系統設備如何應用風險評估技術以量化潛在危險；(2)應用風險管理如何降低淨水場加氯消毒系統設備的危害風險；(3)針對意外事件發生時淨水場應如何緊急應變以降至最低損失等提出成果與說明，期望可提高國內淨水場對於毒性化學物質（氯氣）之使用與管理上的安全性。而本研究是以台灣省自來水公司第六區管理處所轄大台南供水區域之淨水場（南化淨水場、烏山頭淨水場與潭頂淨水場）其場內加氯（氯氣）消毒系統設備為研究對象，前後共計三年（民國 92 至 94 年）進行風險評估分析、管理改善與政策檢討。由本研究報告結論得知，第一年進行研究成果的風險值高達 1/30 年（南化場），屬高危險群，其顯然是因為國內淨水場長期缺乏風險管理政策，使得加氯系統暴露在高危險的情形下。而經由第一年場內缺失的檢討與改善，第二年淨水場的風險值已大幅降低至 1.68E-6/年（烏山頭場），為一般可接受範圍，顯然加強管理之後可有效降低風險值。而第三年的研

究成果（潭頂場），則是以降低異常洩漏為治標，具體落實風險控制為治本，模擬場內事件（緊急狀況）之發生與人員傷亡之情形，以強化淨水場內的緊急應變能力，提昇場區與附近居民的安全水平。

關鍵字：加氯消毒、淨水場、風險

聯絡人：吳景明 台灣省自來水公司第六區管理處 發包中心

（tel.）06-213-8101 ext 790

（E-mail）[12345678@mail.water.gov.tw](mailto:12345678@mail.water.gov.tw)

## 前言

消毒 (disinfection) 是淨水場 (water treatment plant) 為維持飲用水安全常使用的方法，而氯 (chlorine) 在台灣是最常見的消毒劑，且屬於毒性的危害化學物質，在國內的「物質安全資料表」(Material Safety Data Sheet, MSDS) 中，其危害性列為「健康危害」，依 NFPA (美國防火協會) 為第 3 級，TLV (Threshold limit value)<sup>(1)</sup> 為 0.5 ppm，IDLH (短時致命濃度) 為 30 ppm。由於氯對人體的危害途徑為吸入及皮膚接觸之傷害，若長期暴露在 0.8-1.0ppm 會降低肺功能，所以當人體曝露在氯氣濃度大於 10ppm 的環境中超過 30 分鐘就會有生命危險<sup>(2)</sup>。早在 1926 年國際 (St. Auban, France) 就曾發生氯氣意外洩漏的事件，造成 19 人傷亡，2004 年在中國大陸地區的重慶天原化工廠發生氯氣爆炸的嚴重事件，造成 12 人傷亡，現場附近總共疏散了一公里範圍內的 15 萬群眾，而且爆炸半徑五百公尺內列為危險區域。臺灣地區近年來亦有發生較嚴重的氯氣意外，如民國 89 年 6 月新竹市發生氯氣外洩事故，造成 1 名員工傷亡，事發一個月後，桃園縣相繼也發生氯氣外洩事故，造成 33 名員工受傷，而民國 92 年 4 月嘉義國道路段氯氣鋼瓶外洩，也造成 5 人受傷。所以世界各國對於化學物質災害預防，如氯氣外洩等，其共同目標就是建立一套意外預防及緊急應變計畫，其中以美國國會制訂緊急計畫及 1986 年社區知曉法案 (SARA Title 3) 為最重要的法源之一，而美國環保署 (EPA) 亦將空氣清淨法修正案 (Clean Air Act Amendanient, CAAA) 於 1990 年納入法律中，規定列管特定化學品的製造、使用與儲存須提出風險管理計畫 (Risk Management Program, RMP)，並進行意外洩漏的預防，以及規劃適當的應對政策。然而反觀國內淨水場，對於淨水場使用毒性危害化學物質 (氯氣)，長期缺乏風險管理意識與政策，所以一旦意外事件發生時，淨水場可能無法對其危害衝擊作出有效且即時管理與應變處置。因此為提高國內淨水場對於毒性危害化學物質 (氯) 之使用及管理的安全性，針對淨水場消毒設備 (液氯消毒系統) 使用毒性危害化學物質的

風險管理政策，是值得探討的。

## 淨水場說明

本研究是以台灣省自來水公司第六區管理處供應大台南地區的三大淨水場，分別是南化淨水場、烏山頭淨水場與潭頂淨水場為對象，針對淨水場內部的液氯消毒系統（註：場內使用的氯，係經高壓液化的氯氣，故簡稱液氯），進行三年的危害風險研究。第 1 年（民國 92 年）是以南化淨水場為對象，第 2 年（民國 93 年）以烏山頭淨水場為對象，第 3 年（民國 94 年）則是以潭頂淨水場為對象，其中南化淨水場供水量 800,000 噸（CMD），主要供應大台南地區及高雄縣市部份地區之民生與工業用水，平均用氯量 1,000kg/day。烏山頭淨水場供水量 240,000 噸（CMD），主要供水區域為台南縣曾文水溪以北各鄉鎮市，平均用氯量 50kg/day。潭頂淨水場供水量 150,000 噸（CMD），主要供水區域為曾文溪以南、二仁溪以北地區，平均用氯量 170kg/day。

## 研究方法

### 風險評估

已知系統（system）是由許多製程（processes）所組成的，而製程是由數個單元（unit）或中間程序（program）所組成的，所以風險分析（risk analysis）的步驟，首先就是針對系統逐一檢討每一個操作流程（processes）及分析點（node），進行初步危害分析，並透過導引詞（guide words）與製程參數（parameter）的結合，得到偏離（deviation）的狀況（scenario），進而分析偏離狀況發生之原因與可能產生非單一之後果，以瞭解系統潛在的風險（risk）。

其次則進行危害及操作性分析（hazard and operability studies；HazOp）與危害辨識，使系統存在的危害風險得以定性化，其如下說明；

- 1.1 製程/操作程序名稱：所分析之製程單元或操作程序之名稱。
- 1.2 研討節點描述(含節點編號)：所畫定之各 HazOp 節點之說明，節點可能是一段管線或一個設備或一組設備群加上連接其間之管線，並將所畫定之各 HazOp 節點作一編號，以方便記錄與日後之追蹤。
- 1.3 管線與設備編號：所分析之 HazOp 節點上包含之管線與設備在 P&ID(管線與設備流程圖) 上的編號。
- 1.4 設計目的：製程或操作程序設計者之設計意圖。
- 1.5 圖號：所分析 HazOp 節點之所在位置之 P&ID 的圖號。
- 1.6 項次：對每一 HazOp 節點進行分析時，將每一筆討論記錄作一編號。項次之表示通常以兩個數字表示，中間以小數點作間隔。第一個數字為研討節點的順序編號，第二個數字為流水號。
- 1.7 製程偏離：利用導引字與製程參數作適當之搭配以定義有意義之偏差，以作為進一步討論原因後果之基準。
- 1.8 可能原因：係指發生所定義出有意義之製程偏離的可能原因。在某些狀況，於所分析的 HazOp 節點中，無法找出發生偏離之可能原因，則無繼續深入分析的必要。
- 1.9 可能危害/後果：對某一偏離，當一個可能原因被找出後，由此原因所可能引發之危害、後果、或影響將被檢討、記錄。
- 1.10 防護措施/補充說明：係對已畫定的節點，假設可能原因之發生狀況下，水場操作控制系統所能提供之警示動作、補救措施，或因操作人員藉由人為的補救動作而能及早發現問題之方式，並及時提供適當之保護措施，以降低事故發生的可能性等資料之補充說明。
- 1.11 嚴重性：係指某項製程偏離發生後，所可能引發的最嚴重危害/後果，包括洩漏範圍、人員/設備的損失等考量。
- 1.12 可能性：係指某項製程偏離發生後，導致危害/後果發生之機率。
- 1.13 風險等級：結合嚴重性(consequence)及可能性(likelihood)，由風險矩陣表上找出危害之接受等級。

接著將系統危害之風險加以定量，針對意外事件或是最惡劣情境事件（worst case scenario）發生的機率，以本研究對象淨水場為例係「淨水場加氯系統氯氣外洩至大氣環境」事件之發生機率，經由相關資料之蒐集、現場的勘查、訪談，以及對加氯製程設備、流程圖、操作程序之分析，進行系統的失誤樹分析（Fault tree analysis；FTA），使系統發生意外事故的風險得以定量化，如下述：

2.1 失誤樹分析圖：建立頂端事件與發生因子。

2.2 最小切割組合：找出發生頂端事件之最少因子組合。

2.3 基本事件（Basic Event）發生機率：每一元件之參考發生機率。

2.4 發生機率：各組合機率及總合機率。

而本研究之基本事件之失誤頻率係參考 ICI 公司之“Hazard and Reliability Manual”、DNV 公司之“Basic Failure Frequencies”、“American Petroleum Institute 581 Suggested Generic Equipment Failure Frequencies”、與國內行政院勞委會安衛研究所「故障樹分析電腦輔助軟體之故障樹數據資料」等。

最後則是進行事件發生的頻率分析（frequency analysis）及影響（後果）分析（consequence analysis），再由頻率分析及後果分析計算得到社會風險曲線圖（social risk curve, F-N curve）和個人風險等高線圖（individual risk contour）。其中個人風險係基於距離事故地點毒性氣體擴散的影響範圍遠近來決定，其定義為一個人持續在一個危害場所之頻率，以死亡風險為主要考慮，通常是以每年有多少風險來表示。主要假設為一個人曝露在在戶外未受保護且未逃避，惟需注意的是個人風險等高線圖沒有提供任何關於人口數受到影響之資訊，只是人員存在於特定場所的死亡機率，一般是用來評估大眾或廠區外對風險暴露之可接受度，例如居民、商業區及工業區。經得知氯氣外洩發生之頻率、洩漏速率、風玫瑰圖、風向機率、氣象資料、鄰近地圖、影響範圍、人口分佈情形進行計算，並將所得結果繪製於地圖上。而社會風險則是模擬受影響區域內可能暴露在

有害情況下的人數計算得出，並區分不同的機率高低等級。對於不同發生機率之意外事件，皆可以計算可能的死亡人數，並畫出事件頻率對死亡人數或受影響人數的圖形，用以明瞭該附近居民於事件（event）發生時傷亡之可能數，即係以一定數量的人數將遭受事故影響的機率來表示，最後將此 F-N 圖(frequency-number)與國際上普遍採用之風險基準比較，已決定該結果是否為可接受。

### 緊急應變

由於淨水場液氯消毒系統的主要風險，是來自於氯氣洩漏所造成的危害，而淨水場使用毒性危害學物質-氯氣的風險，由前述已知必須先經由初步危害分析以鑑定製程之潛在危害，其次將重大潛在危害事件（event）進行危害及可操作性分析（HazOp）之定性化，與系統失誤樹分析（Fault tree analysis；FTA）之定量化，最後則藉由個人風險與社會風險來分析附近民眾受影響的程度。所以淨水場規劃緊急逃生系統與災害通報系統，其主要目的係以提供場區安全的工作環境，使化學災害發生時，人員能夠退避至安全處所，即時將洩漏及擴散情形傳回應變中心，以協助搶救及應變工作之進行，並藉由災害通報系統與防災應變中心之連線，迅速回報災情地點、範圍及種類，爭取災害應變時間，以提昇緊急應變能力，以及提昇場區安全水平的系統。所以當模擬進行人員疏散時，須考量風向及安全疏散距離，並依災害後果分析（consequence analysis）及風險評估結果（risk value），以立即危害濃度（ceiling value，900 ppm）為參考指標作為第一段疏散之距離，在確定人員沒有立即危害之情境下，同一時間以 IDLH（10 ppm）氣雲擴散範圍作為第二段疏散之指標，並視情況可再予以增加持續往外進行擴散模擬，以及現場搶救，或是將救災工作之人員及鄰近民眾疏散至災區約 1 公里以上等。

### 結果與討論

## 風險量化

本研究第 1 年南化淨水場液氯消毒系統的風險分析結果(民國 92 年, 圖 1), 其毒性危害化學物質-氯氣外洩至大氣環境中之事件總發生機率为 1 次 / 30 年, 其中氯氣偵測器感值元件(DE01FA)失靈, 同時(common cause failure)加氯系統之軟管破裂(HS01LK)元件的機率为 0.456, 其路徑失誤機率佔所有事件發生機率 12%, 另外 DE01FA x 其他管線破裂(PI03LK)元件的機率为 0.456, 其路徑失誤機率亦佔所有事件發生機率 12%, 而此二路徑即佔總失誤率 24%, 因此確保氯氣偵測器感值元件(DE01FA)的功能避免發生共同模式的失誤(common cause failure), 使所有的氯氣偵測器感值元件同時失效在本系統是極為重要的。此外加氯系統之軟管破裂(HS01LK)及其他管線破裂(PI03LK)元件, 亦是造成氯氣外洩至大氣環境事件之重要因素, 因此對管線的保護避免受外力的撞擊與定期地檢測保養為減少氯氣外洩至大氣環境最重要因子。而第 2 年烏山頭淨水場執行結果, 氯氣外洩至大氣環境中之事件總發生機率降為 1.68E-6/年, 第 3 年潭頂淨水場則為 2.68E-7/年, 皆為一般可接受範圍。

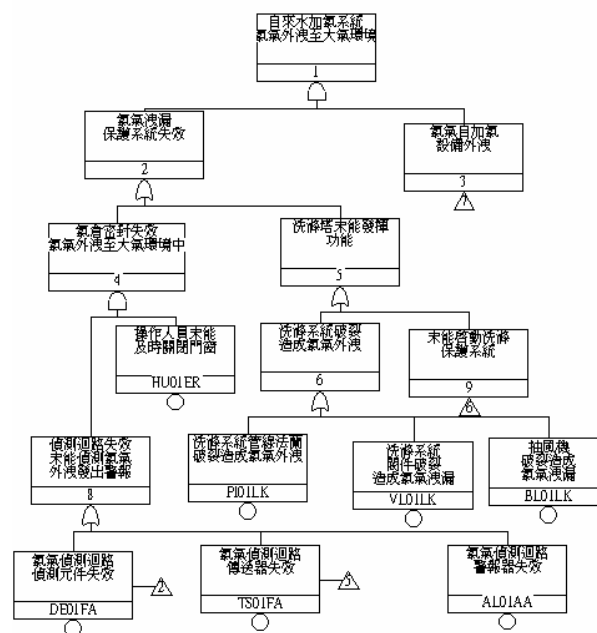


圖 1 南化淨水場液氯消毒系統之失誤樹分析圖

其中第 1 年南化淨水場液氯消毒系統風險量化的失誤樹分析過程可知，針對系統較不穩定或較脆弱的環節或單元，包括「中和洗滌塔」、「緊急應變」、「氯倉內管線」、「氯氣銅管」、「消毒室及氯倉」、「鋼瓶」等單元進行改善效益分析與量化計算，評估淨水場待改善之設施執行後，可能降低的風險值。

- 3.1 中和洗滌塔之風險降低之預估，改善後可降低總發生機率 30%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/42 年，較 1 次/30 年增加 12 年。
- 3.2 緊急應變部分之改善預估，改善後可降低總發生機率 20%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/37 年，較 1 次/30 年增加 7 年。
- 3.3 氯倉內之氯氣管線之改善預估，改善後可降低總發生機率 20%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/37 年，較 1 次/30 年增加 7 年。
- 3.4 氯氣銅管之改善預估，改善後可降低總發生機率 20%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/37 年，較 1 次/30 年增加 7 年。
- 3.5 消毒室部分之改善預估，改善後可降低總發生機率 15%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/35 年，較 1 次/30 年增加 5 年。
- 3.6 氯倉內抽氣罩之改善預估，改善後可降低總發生機率 5%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/42 年，較 1 次/30 年增加 12 年。
- 3.7 氯倉內洩漏救災部分之改善預估，改善後可降低總發生機率 30%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/31 年，較 1 次/30 年增加 1 年。
- 3.8 鋼瓶部分之改善預估，改善後可降低總發生機率 10%，因此改善後的總發生機率變為約 1 次/33 年，較 1 次/30 年增加 3 年。

由以上 8 項建議，全部進行改善，會較 1 次/30 年的結果增加 54 年，即南化場氯氣外洩之總發生機率會由原先每 30 年發生一次，延長至每 84 年發生一次，顯然氯氣外洩的機率已降低。所以第 2 年進行的烏山頭場加氯系統風險評估結果，其風險值（ $1.98E-6$ /年）明顯降低至一般可接受範圍，而第 2 年烏山頭淨水場液氯消毒系統的風險管理，對於較不穩定或較脆弱的環節或單元，其改善的效益分析如下：

- 4.1 卡車裝卸鋼瓶之位置更改，此改善對整體風險降低比率佔 30%。
- 4.2 氯倉捲門改善，其對整體風險降低比率約佔 20%。
- 4.3 氯倉加設拉簾之改善，其對整體風險降低比率約各佔 10%。
- 4.4 鋼瓶管線加逆止閥可防止氯氣逆流，其對整體風險降低貢獻比率約佔 10%。
- 4.5 氯倉吸風口加篩網之改善，其整體風險降低貢獻比率約佔 10%。
- 4.6 氯倉增設活動式吸風管，對整體風險降低貢獻比率約佔 20%。
- 4.7 洗滌塔增設噴水立管，對整體風險降低貢獻比率約佔 30%。
- 4.8 液氯水管加設雙套管，對整體風險降低貢獻比率約佔 20%。
- 4.9 加強檢查減少洗滌塔失效機率，對整體風險降低貢獻比率佔 30%。
- 4.10 緊急遮斷閥恢復正常，並與 Cl<sub>2</sub> 偵測器連動，其對整體風險降低貢獻比率佔 5%。

由以上 10 項建議改善後，而對整體風險降低可達到降低總風險 12%，所以會較 1.98 次/10<sup>6</sup> 年的結果減少至 1.74 次/10<sup>6</sup> 年發生一次。

所以由上可知，淨水場潛在危害的風險，可藉由缺失的檢討與改善而降低風險值，達到有效管理的目的。但是風險值的高低其實只是表示意外發生可能性的高低，所以低風險值的情況仍是有可能會馬上發生意外事件（event）。因此針對大眾生命財產的安全，以下本文就藉由個人風險與社會風險等高線圖之判斷，以決定淨水場對於附近居民的風險等級。由圖 2 南化淨水場液氯消毒系統氯氣外洩之個人風險等高線圖可知，即使引用國外最嚴格的標準（最大容許個人風險曲線 10<sup>-6</sup>/年），亦不會超越南化場區附近最近的人口密集社區北寮村。但是圖 3 則顯示烏山頭淨水場，其場區附近人口密集，平時有居民及上班人員，假日有觀光客，所以即使是最寬鬆的情況下（10<sup>-4</sup>/年），仍會越過水庫區內假日遊客休閒活動地點，須加以注意（圖 3）。

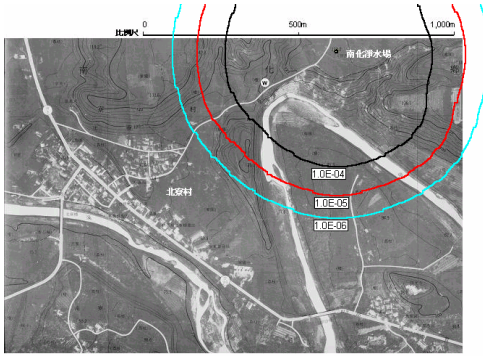


圖 2 為南化場氯氣洩漏之個人風險等高線圖

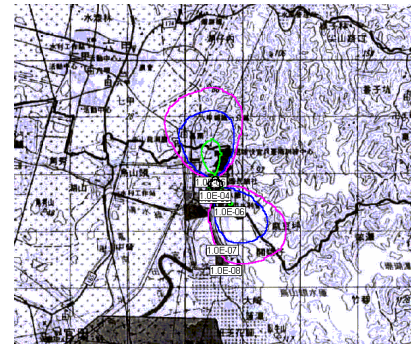


圖 3 烏山頭淨水場氯氣洩漏之個人風險等高線圖

而在人員傷亡方面，由社會風險等高線圖（F-N curve）可知意外事件發生可能傷亡的人數，已知世界上數個現有官方持用之社會風險標準，其中以荷蘭標準最為嚴苛。因此由圖 4、5、6、7 南化與烏山頭淨水場液氯消毒系統氯氣外洩之社會風險等高線圖可知，若引用一般的英國現有工廠社會風險標準時，則該二場加氯系統位於可接受之風險值（如圖 4、5 所示），若引用較嚴格的荷蘭社會風險標準時，則系統高於可接受之風險值（如圖 6、7 所示），顯示系統之可靠度及系統運作時風險尚有可改善與努力的空間。

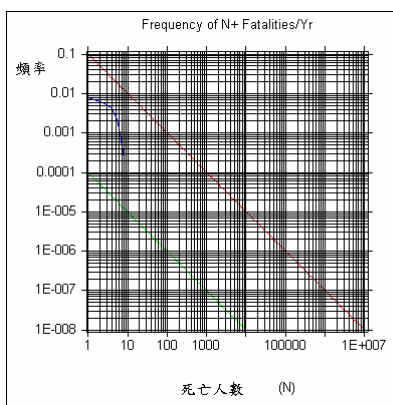


圖 4 南化淨水場氯氣洩漏之 F-N 曲線圖（引用英國較不嚴格之標準）

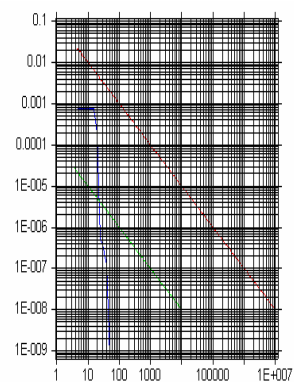


圖 5 烏山頭淨水場氯氣洩漏之 F-N 曲線圖（引用英國較不嚴格之標準）

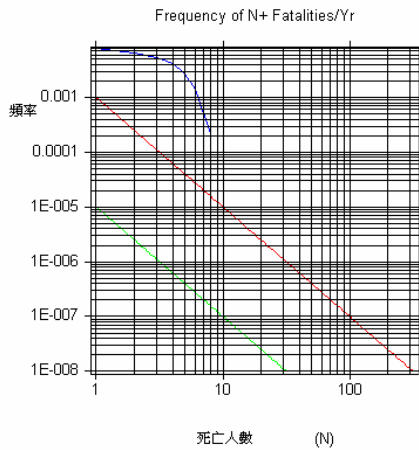


圖 6 南化淨水場氯氣洩漏之 F-N 曲線圖（引用荷蘭較嚴格之標準）

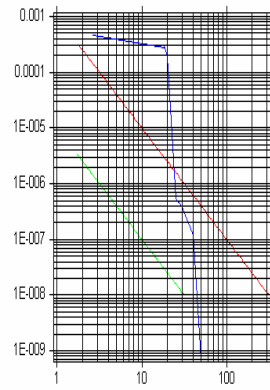


圖 7 烏山頭淨水場氯氣洩漏之 F-N 曲線圖（引用荷蘭較嚴格之標準）

由此成果可知，顯然南化淨水場與烏山頭淨水場場區的特性與人口分佈不同，雖然南化淨水場（民國 92 年）的風險值較高（1/30 年），但是由於屬非開放的觀光地區，人口少且集中（北寮村），所以個人風險（ $10^{-6}$ /年）並未影響到附近居民，而且社會風險（英國標準）在可接受的範圍內。而烏山頭淨水場（民國 93 年）的風險值（ $1.98E-6$ /年）雖然較低，但是由於屬開放的觀光地區，人口分散（觀光客）且較多，所以個人風險（ $10^{-6}$ /年）已影響到週遭居民，即使較寬鬆的風險值（ $10^{-4}$ /年）亦是如此，而社會風險（英國標準）則是也在可接受的範圍內。但是該二淨水場在較嚴格的標準時（荷蘭標準），其社會風險皆是在不可接受的範圍內，因為其相同的是，該二淨水場場區附近人口分布的情況，將是日後淨水場為降低風險而無法避免的困難所在。

### 緊急應變

由於前二年之風險分析與風險管理結果可知，南化淨水場與烏山頭淨水場使用毒性化學物質-氯氣的危害風險，藉由失誤的檢討與改善，以及加強管理的方式，可達到一般可接受之範圍，因此第 3 年潭頂淨水場的研究，則是以降低異常洩漏為治標，具體落實風險控制為治本，並模擬場內

事件（緊急狀況）之發生與人員傷亡之情形，以強化淨水場內的緊急應變能力，提昇場區與附近居民的安全水平。所以選擇發生頻率較高及後果影響之範圍較廣者之事件，進行意外發生與緊急應變之模擬，以符合現實情況。其各種考量模擬之淨水場氣氯（液）危害事件為：

- 5.1 液氯鋼瓶發生失誤所造成液氯洩漏之毒性危害。
- 5.2 加氯機設備失誤所造成氣氯（液）洩漏之毒性危害。
- 5.3 全場管線上氣氯（液）洩漏之毒性危害。
- 5.4 高濃度氯水氣氯（液）洩漏之毒性危害。

#### *模擬鋼瓶液氯洩漏*

針對單一鋼瓶意外洩漏所造成之後果進行模擬，選定單一鋼瓶氯最大儲存量 1000 kg，在相對溼度 76.54 %，分別為平均溫 24.65 °C 與最高溫 34.88 °C 下，依風速 4.20 m/s 與平均風速 3.2 m/s 條件分別進行大氣穩定度 F 與穩定度 D 進行模擬。由表 1 可知單一鋼瓶洩漏 10 ppm 氣氯蒸氣雲之擴散，最遠可達洩漏點外 545 公尺範圍，而造成立即危害之濃度 900 ppm，則最遠可達 12 公尺（圖 8）。

表 1 液氯鋼瓶氯氣洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離表

暴露指標	氯之容許濃度	不同氣象條件下之影響距離 (m)			
		最高溫 34.88 °C		平均溫 24.65 °C	
		4.2 m/s, F	3.2 m/s, D	4.2 m/s, F	3.2 m/s, D
ERPG-1	1 ppm	2,114 m	691 m	2,070 m	685 m
IDLH	10 ppm	<b>545 m</b>	219 m	526 m	205 m
	450 ppm	28 m	22 m	27 m	20m
Ceiling Value	900 ppm	<b>12 m</b>	11m	12 m	10 m

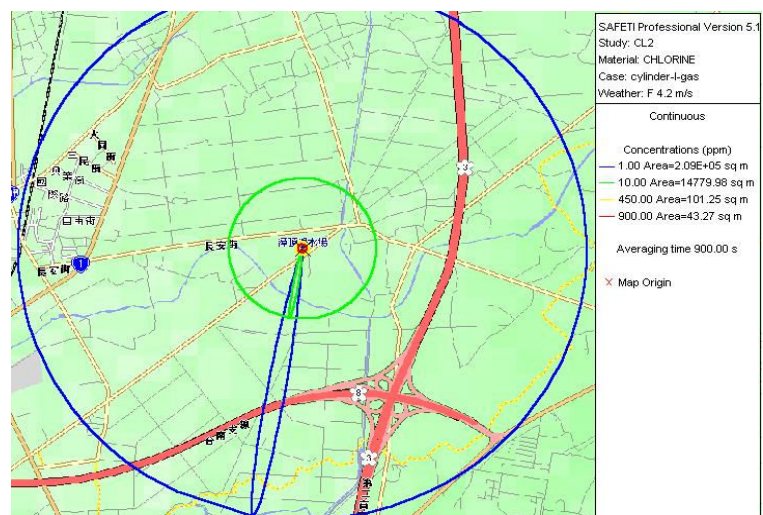


圖 8 液氯鋼瓶氯氣洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離俯視圖（月平均最高溫 34.88°C，大氣穩定度 F，風速 4.2 m/s）。

## 模擬加氯機氯氣洩漏

針對加氯機氯氣意外洩漏所造成之後果進行模擬，選定場區內操作過程中氯最大儲存量 2,000 kg，在相對溼度 76.54%，分別為平均溫 24.65 °C 與最高溫 34.88 °C 下，依風速 4.20 m/s 與平均風速 3.2 m/s 條件分別進行大氣穩定度 F 與穩定度 D 進行模擬。表 2 為蒸氣雲擴散後果影響距離統計，由表可知洩漏 10 ppm 氯氣蒸氣雲之擴散，最遠達洩漏點外 3 公里之範圍，而造成立即危害之 900 ppm 濃度，則最遠可達 62 公尺（圖 9），顯然其危害性是最需注意的。

表 2 加氯機氯氣洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離表

暴露指標	氯之容許濃度	不同氣象條件下之影響距離 (m)			
		最高溫 34.88 °C		平均溫 24.65 °C	
		4.2 m/s, F	3.2 m/s, D	4.2 m/s, F	3.2 m/s, D
ERPG-1	1 ppm	14,890 m	3,735 m	1,477 m	3,646 m
IDLH	10 ppm	<b>3,287m</b>	985 m	3,212 m	934 m
	450 ppm	155 m	75 m	137 m	74 m
Ceiling Value	900 ppm	<b>62 m</b>	49 m	56 m	58 m

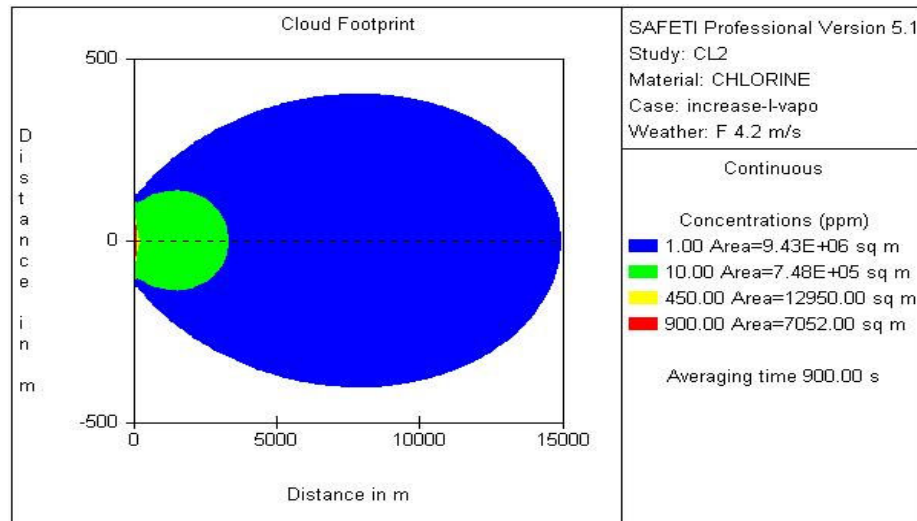


圖 9 加氯機氣氯洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離俯視圖（月平均最高溫 34.88°C，大氣穩定度 F，風速 4.2 m/s）。

#### 模擬管線氣氯洩漏

氣氯經由連接鋼瓶與設備元件管線洩漏，選定以場區最大操作量 2,000 kg 為模擬之總量，在相對溼度 76.54 %，分別為平均溫 24.65 °C 與最高溫 34.88 °C 下，依風速 4.20 m/s 與平均風速 3.2 m/s 條件分別進行大氣穩定度 F 與穩定度 D 進行模擬。其蒸氣雲擴散後果影響距離如表 3 所示，由表可知洩漏 10 ppm 氣氯蒸氣雲之擴散，最遠達洩漏點外 476 公尺之範圍，而造成立即危害之 900 ppm 濃度，則最遠僅僅達 10 公尺（圖 10）。

表 3 管線氣氯洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離表

暴露指標	氯之容許濃度	不同氣象條件下之影響距離 (m)					
		最高溫 34.88 °C	平均溫 24.65 °C	4.2 m/s, F	3.2 m/s, D	4.2 m/s, F	3.2 m/s, D
ERPG-1	1 ppm	1,742 m	548 m	1,691 m	536 m		
IDLH	10 ppm	<b>477 m</b>	162 m	439 m	159 m		
	450 ppm	27 m	25 m	25 m	19 m		
Ceiling Value	900 ppm	<b>10 m</b>	6 m	8 m	5 m		

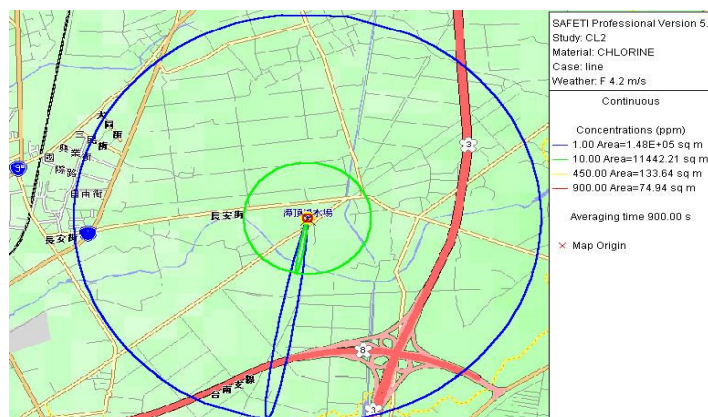


圖 10 管線氣氯（液）洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離俯視圖（月平均最高溫 34.88°C，大氣穩定度 F，風速 4.2 m/s）。

### 模擬高濃度氯水洩漏

高濃度氯水平均濃度為  $2.84 \times 10^{-3}$  wt%，在相對溼度 76.54 %，分別為平均溫 24.65 °C 與最高溫 34.88 °C 下，依風速 4.20 m/s 與平均風速 3.2 m/s 條件分別進行大氣穩定度 F 與穩定度 D 進行模擬。其蒸氣雲擴散後果影響距離如表 4 所示。由表可知洩漏 10 ppm 氯氣蒸氣雲之擴散，最遠達洩漏點外 118 公尺之範圍，而整體而言，若發生洩漏情況並無法達到造成立即危害之 900 ppm 濃度，故表 4 並未顯示立即危害濃度之影響距離。

表 4 高濃度氯水管線洩漏之蒸氣雲擴散後果影響距離表

暴露指標	氯之容許濃度	不同氣象條件下之影響距離 (m)			
		最高溫 34.88 °C		平均溫 24.65 °C	
		4.2 m/s, F	3.2 m/s, D	4.2 m/s, F	3.2 m/s, D
ERPG-1	1 ppm	240 m	215 m	234 m	209 m
IDLH	10 ppm	<b>119 m</b>	100 m	113 m	93 m
	450 ppm	9 m	6m	8 m	6 m
Ceiling Value	900 ppm	-	-	-	-

所以由上可知，淨水場因不同事件的發生，其對附近居民的影響範圍

大小不一，因此本文以潭頂淨水場液氯消毒系統為例，針對加氯消毒系統可能發生氯氣外洩等緊急事故的類型及其嚴重程度，將應變措施分為三階段，分別為；

第一階段：場內小災害之初步應變。

第二階段：場內較大災害之持續應變。

第三階段：災害擴及廠外之共同應變。

其中第一及第二階段之應變，其指揮權在於場內，其組織架構如圖 11 所示。而第三階段之應變則應與當地縣政府應變指揮中心為主，但場區內之指揮權仍屬於工場為主。而緊急應變之流程，共可分為下列幾點說明：

- 6.1 事故之發覺或察覺：對於事故之發現或察覺主要來自兩方面：一為巡檢發現，另一則為由偵測器測知，為確保能即時發覺事故，平日之巡檢工作應徹底落實；另偵測器則應定期進行檢測，確保其正常運作。
- 6.2 事故之確認：為避免偵測器誤動作及巡檢人員疏忽，造成不必要之恐慌，當得知有意外事故之訊息及訊號，需進一步至現場確認，而確認人員需配戴防護具，且以夥伴作業共同前往以便相互支援。
- 6.3 發佈第一階段應變：當災害確定為小量洩漏時，應立即判定是否可立即控制，若無法立即控制，即通知應變指揮官，發佈場區緊急應變，並視需要通知消防人員待命。
- 6.4 發佈第二階段應變：若發生持續洩漏，即進入第二階段應變，災害事故一經確認，立即啟動全場之警報器、防禦系統，由值班主管負責現場救災工作至較高層主管到達為止。
- 6.5 發佈第三階段應變：若事故已達第三階段應變時，需通知縣政府緊急應變小組，及鄰場與鄰近社區協調推動採取必要措施，而場內仍需進行搶救作業。
- 6.6 判斷是否需隔離災區，若災害持續擴大，則需判斷是否將災區隔離，避免人員傷亡。
- 6.7 準備緊急應變指引及動員應變人員及設備。

6.8 確定已通知所有應變之單位。

6.9 若災害持續擴大而無法控制，應依風向判斷疏散路線，並發佈疏散警報。

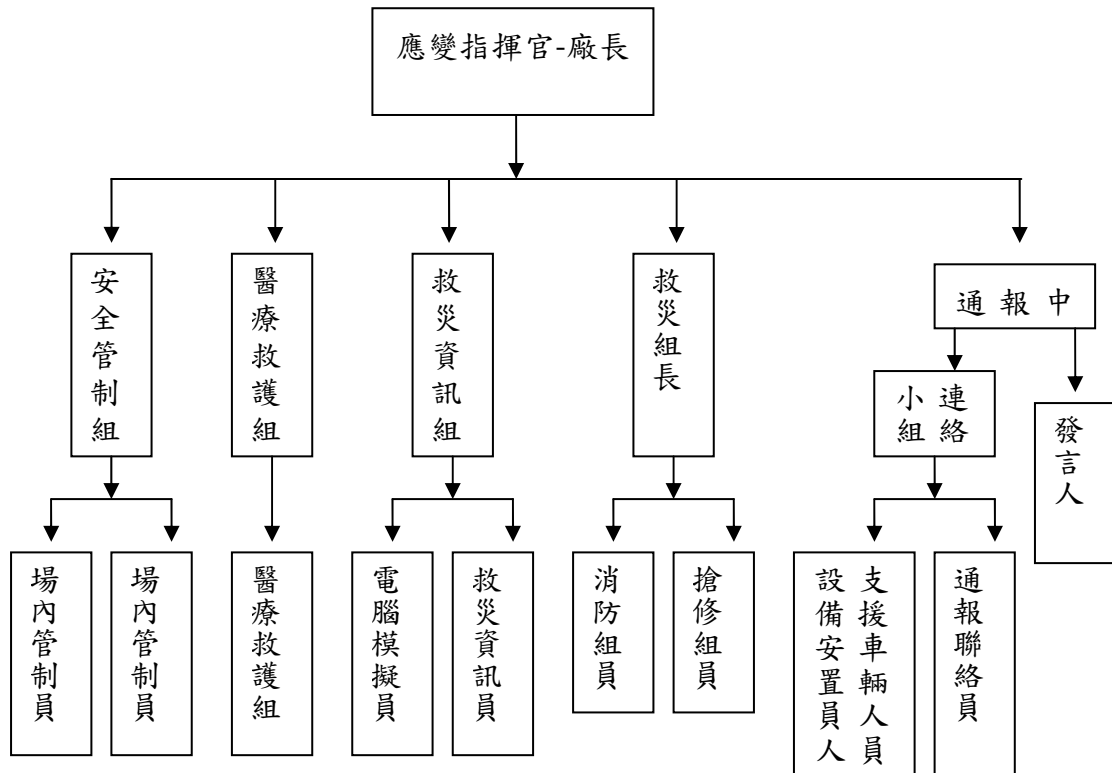


圖 11 緊急應變基層幹部指揮架構圖

## 結論

由本研究第 1 年南化場的風險評估結果可知（1/30 年），國內淨水場的液氯消毒系統由於缺乏風險意識，使得工作人員與附近居民長期暴露在較危險的情況下，因此風險評估的量化可有助於明瞭淨水場使用毒性危害物質所潛在的風險。第 2 年烏山頭場的風險評估結果（ $1.68E-6$ /年）則顯示，風險管理是有助於降低淨水場發生意外事件的機率，這對淨水場的經營者而言是很重要的，因為透過風險分析的過程可明瞭系統使用毒性危害化學物質的風險，以及較不穩定或較脆弱的環節，進而加以失誤檢討與改善，達到預防的作用。所以第 3 年潭頂淨水場風險值  $2.68E-7$ /年可持續在

一般可接受範圍。但是風險值只是意味著意外事件發生可能性的高低，並不是不會發生，或是一定需經過多少年後才會發生，因為即使風險值很低，意外事件還是有可能會馬上發生，所以量化風險最重要的結果，是淨水場應如何模擬意外事件的發生，並建立事件發生時應有的緊急應變措施，以降低意外事件造成的傷亡，這才是淨水場加氯消毒系統使用毒性化學物質之最佳風險管理政策。

### **參考文獻**

- 1.Christian K., 2004, “Technical communication on statue in developing a compass for risk assessment” , Safety Science, 42]
- 2.周盛華 ，吳景明 ，蔡錦松 ，許蕙琳，” 淨水場使用液氯系統之量化風險評估” ，自來水研討會，民國 93 年