

裂痕類缺陷評估準則於承壓設備臨界裂痕長度之推估

董芳妘、陸彥儒、王振華

國立高雄科技大學環境與安全衛生工程系

摘要

於石化產業中，壓力容器為非常常見的設備，因本身的操作條件或內容物具有高危害特性，導致比其他的設備更加危險，若設備未受妥善照顧，往往會造成重大的災難性事故。結構上可能存在的缺陷種類很多，依據文獻指出，減薄及裂痕為設備上最常見之缺陷類型。其中減薄屬於體積型缺陷，較容易偵測與評估，反觀裂痕具有高成長、高應力的特性。若未及時處理，容易造成設備破裂，因此藉由評估來確保設備的完整性是非常重要的。

API 579 為評估設備完整性時，最常被使用的標準做法，其將裂痕類缺陷的評估分為三個等級，於 Level 1 的評估中以臨界裂痕做為評估基準，只考慮設備的材質、厚度、缺陷位置、裂痕深度、裂痕長度等參數，找出臨界裂痕長度，評估簡單方便。不過因為裂痕幾何及應力分布特殊，在 Level 1 的評估容易被質疑。為了保險起見，大多直接進入 Level 2 評估，但 Level 2 的評估中又使用大量的力學理念及經驗方程式，含有經驗參數的假設，計算過程複雜，對現場評估人員實為一大考驗。從實務的角度出發，為簡化評估非破壞檢測人員的困擾，檢測出的結果若能直接與臨界裂痕比較，不僅可以省去後續評估的麻煩，也能立即做出判斷。深入研究臨界裂痕背後所代表的意義，且了解其與離破壞終點的確切距離。使臨界裂痕長度具體化及精準化，讓評估結果可以被接受，將是非常重要的課題。

本研究以 API 579 Level 1 限制條件下且較為常見的圓柱胴體、球槽基材作為案例對象，從臨界裂痕長度(c)反推未知的裂痕的深度(a)及設備的厚度(t)、內徑(R_i)、壓力(P)。將上述幾何及操作條件入至 Level 2，求出應力強度因

子，並於 FAD 圖上呈現。研究中透過大量的案例對象以涵蓋多數情況，由於 Level 1 的評估中，將每種設備型態的臨界裂痕長度，以裂痕深度與設備厚度的比值，區分為 1-t 及 1/4-t 兩種情況，每種設備型態將可分別對應至兩種狀況。此外，由於 Level 2 中計算應力強度因子時須透過 t/R_i 、 a/c 、 a/t 等參數進行查表計算而得，因此上述參數將會受到限制，將以表中可恰好對應的數值為主。研究中將以圓柱縱向、圓柱周向、球槽裂痕，1-t 及 1/4-t 共六種情況，分別取其 c 的最大值與最小值；而設備厚度將涵蓋 0.5、1、1.25、1.5in 等 4 種情況；設備內徑則透過 t/R_i 反推， t/R_i 共有 0.01、0.01667、0.05、0.1、0.2 等 5 種情況；因在前述步驟中 c 、 a/c 已確定，便可反推出 a ，每個情況下將取所推出的最大深度與最大深度的一半等兩種作為裂痕深度，以上為本研究之案例對象，而每個對象分別取裂痕頂部($\varphi=0^\circ$)及底部($\varphi=90^\circ$)兩種，共有 960 筆數據。

案例結果顯示圓柱周向及球槽裂痕於 FAD 圖上的分佈集中，即使達臨界裂痕的情況亦皆小於破壞的邊界，因此在一般條件下使用，是安全無虞的；圓柱縱向裂痕分布較零散，有一筆數據超過允收標準。因其剛好位於 Level 1 及 2 的臨界值上，建議若測量出的裂痕長度已接近臨界裂痕長，就須進入 Level 2 或 3 的評估。此外，研究中發現不同裂痕幾何形態恰好可以進行簡化分析，若為圓柱縱向裂痕，當其 $a/c \geq 1$ ，可針對 $\varphi=0^\circ$ 進行分析； $a/c < 1$ 則可針對 $\varphi=90^\circ$ 。若為圓柱周向或球槽裂痕，當 $a/c \geq 1$ 可針對 $\varphi=0^\circ$ 進行分析； $a/c < 0.5$ 則可針對 $\varphi=90^\circ$ ； $a/c = 0.5$ 則需針對整個裂痕分析。

適用性評估非常依賴非破壞檢測的結果，若非破壞檢測技術不純熟，測出來的裂痕比實際小，也會導致評估失效。此研究結果可提供非破壞儀器的選擇與相關量測參數設定的依據。此外，由於裂痕出現在設備的位置無法預測，未來將針對其他狀況進行研究，像是位於焊接處的裂痕等。