

減少水壓試驗引起之蝕害

藍坤煌譯

工廠一個系統（如壓力容器，管線等）建造完成後，為確認其接合部分之耐壓性能及無洩漏現象，通常須實施耐壓試驗；基於取得容易及安全上的考慮（釋壓容易，無爆炸之慮等，大多以水為之，此即水壓試驗（試水）。若水未經處理，可能會腐蝕設備；若試水後未妥善處置，腐蝕可能更嚴重，在距離系統啓用為時尚早時更甚：殘留的試壓水與空氣接觸，將造成嚴重的腐蝕。見以下三個實例：

1. 水壓試驗合格後三個月不到，某大瓦斯工廠之冷凍系統一條16" 304 不銹鋼排放管線已有百處的破漏。為此額外支付一筆龐大的修復費用，而距離該系統之啓用仍有一段頗長的時間，後來證實，此一事件乃氯化物腐蝕所造成。試壓水來自另一座瓦斯工廠之蒸氣冷凝水，水質良好。但在輸送及儲存過程中無嚴格之管制，無法得知引入該系統試壓時之水質如何，試壓後曾立即以熱空氣吹除。顯然地，在較低處留有殘餘水份，此即肇禍之源。

2. 一條普通碳鋼的水處理管線，管內流體為來自含水原油處理裝置之酸性水（sour water），使用後不到一個月已是「千瘡百孔」。事後發現空氣隨酸性水進入管線，形成一極易蝕腐的環境，但使用期間僅一個月不到，尚不足以腐蝕到如此地步，顯然在使用前必已遭受嚴重的腐蝕。而記錄顯示，該條管線試水後半年多才使用，其間無人維護，任其閒置。

3. 某瓦斯／天然氣液化工廠之丙烷冷凝器於一九七六年三月試水，一年半後使用時

發現破漏；同一工廠之再生冷凝器一九七七年六月試水，九個月後一根管子被蝕穿，其餘管子未漏但底部均孔蝕極深。二者當初試水後均即將水排放，但殘留水份與空氣接觸，導致腐蝕。

以下討論減少水壓試驗引起的蝕腐所應採取之措施，包括：

1. 事前進度之排訂。
2. 試水時對水質之要求。
3. 事後應採之防蝕措施。

1. 工程進度之排訂

試水後可能引起之腐蝕遠比試水中產生者嚴重得多，尤其是管線和複雜的管路系統，在低處（low spot）和滙集處（collection point），均無法將水排淨。設備之金屬性質均經選擇，皆適用於其程序流體（service fluid）。因此排訂試水之進度，應使其儘可能接近開爐啓用，間隔不可過久，以縮短含氧的試壓水停留於該系統中間之時間，減少設備之腐蝕。

對於建廠工程浩大，須分期完工者，此一方法可能造成許多問題，甚且付出額外之開支，但較諸日後可能造成之更大災害或損失，就經濟利益而言，仍然值得考慮。

2. 試壓用水的化學處理

水，有冷凝水，反滲透壓（reverse osmosis）或電透析（electrodialysis 除去含鹽水中之解離鹽）水、飲用水、井水、海水……等，以海水為最少用（通常視取得之難易而定，如外海之海底管線，除了用海水，恐別無選擇）。若殘留的水份對程序流體或設備本身有重大影響，則應考慮採用閃火點超過 54°C 的碳氫化合物如柴油來試壓，此碳氫

化合物若不會腐蝕該設備，則無須添加腐蝕抑制劑 (corrosion inhibitor)。

2-1 碳鋼與合金鋼材之設備

此類設備試壓水的化學處理為添加消氧劑 (oxygen scavenger) 及殺菌劑 (bactericide)。

2-1-1 消氧劑

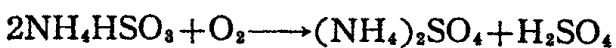
水中若溶有氧氣，陰極部位的極化作用 (polarization) 將大為降低，腐蝕作用因而增加，所以除去溶在水中的氧不失為減少試水引起之腐蝕的好方法。不過實用上有些情形例外：

a. 設計上不能承受大壓力者，如浮頂槽 API 常壓錐頂槽等，本身無法密封，不能建立一個無氧的情況，添加消氧劑顯然不切實際，也無此必要，試壓後立即把水儘量排淨才是首要之途。

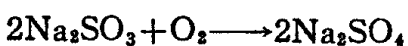
b. (內表面積 ÷ 容積) 值大而且可以隔離空氣者，如封閉的小口徑管路系統，水中的氧已與廣大的金屬表面迅速反應殆盡，封閉的系統又阻止空氣再度進入，系統內的氧有減而無增，自然無須添加消氧劑 (在此種情況下會有些腐蝕，但很輕微，仍在可接受之範圍內)。

c. 水殘留在系統內之時間不長 (視系統所能容許之腐蝕量大小而不同，通常為二週以內) 者，化學處理並無絕對必要。

除以上情形外，建議使用含有 200 ppm 亞硫酸鹽類消氧劑 (如亞硫酸氫銨 ammonium bisulfite NH_4HSO_3 或亞硫酸鈉 sodium sulfite Na_2SO_3) 之試壓水。理論上，水中 1 ppm 溶解氧 6 ~ 8 ppm 之亞硫酸鹽與之反應，



6 : 1



8 : 1

而水中通常溶有 6 ~ 8 ppm 之氧。商業上消氧劑之濃度約為 50% ~ 60% NH_4HSO_3 。過量的消氧劑可維持系統在無溶解氧的環境下。常溫下可加入微量的金屬離子 (如 0.002 ppm 鈷離子) 使反應更快，謂之催化之亞硫酸鹽 (catalyzed sulfite)。

2-1-2 殺菌劑

如果水份將留在系統中一段頗長的時間，就須使其維持在無氧而且無微生物的狀態。此時可添加 100 ppm 之非氧化性殺菌劑，如四代乙胺 quaternary amine，或是 biquanide (商品名)。這種方法特別適用於抑制厭氧性微生物的腐蝕。

殺菌劑可能有毒，將產生處理上的問題。此種水務必排放到一完全隔絕的蒸發池內，不得滲出外界，以免污染環境。處理過的水，其殺菌劑濃度應合乎法定的排放標準。

讓試壓水留在系統內一段較長的時間，可使水中殺菌劑含量因逐漸衰減而降低。或者，提高水之 pH 值至 12.5 以上，亦可達到處理殺菌劑之目的，(但水之硬度不得超過 10 ppm，否則將產生積垢，scale deposition) 至於鹼性水之處理，可就容易多了，僅須充分稀釋即可—若系統之使用溫度高於 50°C，須於使用前以清水洒洗乾淨，以防使用後發生鹼性脆裂 (caustic cracking)。

除以上二種藥劑外，切勿添加水溶性抑腐蝕劑 (corrosion inhibitor)。其原因為：第一，在有氧環境下其效果令人懷疑；第二，在無氧之環境，添加抑蝕劑所提高之防蝕效果有限；第三，它有毒性，將產生處理上的問題——和殺菌劑一樣。顯然地，試壓水使用抑蝕劑極不適當。

2-2 不銹鋼設備

此種設備之試壓用水，對化性之要求較為嚴格。

2-2-1 氯化物含量 (chloride content)

應在50ppm以下〔在特殊情形下，如飲用水，可達250ppm，但必須試水時間很短，試壓後立即排水，再以冷凝水或除去礦物質的（demineralized）水清洗〕。由於氯離子會滲透不銹鋼表面之鈍態（passive）保護層，引起局部孔蝕，故在試壓前必須確認水之氯化物含量合乎要求。

2-2-2 pH值

長久以來，過量OH離子之存在（即高pH值）一直被認為可以減少或防止點蝕之發生，故試壓水之pH值應在 10.5 ± 0.5 ——可添加蘇打灰（soda ash）或苛鹼（caustic）。但先決條件必須水中鈣含量低於10ppm，因為鈣之沉澱物有吸留（occlude，即電解質被沉澱物吸著）之作用，會使氯離子集中在金屬表面而引起局部孔蝕。

2-2-3 氧含量——無氧（anaerobic）

試壓水應含有200ppm已催化（見前2-1-1，消氧劑二節）之亞硫酸鈉（酸性之亞硫酸氫鈉不適用於不銹鋼設備）。

試水完後排剩之水份，其亞硫酸鹽含量應有20ppm。試水前亞硫酸鈉水溶液先在一個封閉而且充滿鈍性（chemically inert）氣體（如氮氣）之攪拌槽內攪拌均勻。

3. 試水後對閒置設備應有之對策

絕大部份之腐蝕損害都發生於試水後至開始使用這段期間，因此，在這段期間內對這些閒置設備之妥善保護視為水壓試驗整體工作的項目之一。

水壓試驗後應採取某些措施，以減輕腐蝕，除非該設備在短時間內即將使用。所謂短時間，就防蝕觀點而言，自然愈短愈好。然而在實際之建廠工程上，難免會延些時日。除換熱器外，絕大部分碳鋼及合金鋼材之設備，三十至六十天之期間應可接受；換熱器由於其管子（tube）較薄，僅容許大約二週之時間。不銹鋼設備更短，僅容許四天，

因為它對靜滯的含氧水之氯化物孔蝕特別敏感；如果不採取其他對策，亦應於試水後仍使該設備充滿水，保持愈久愈好——排水後凹處之積水曝露在空氣中，反會引起更大的腐蝕。

以下是四種試水後閒置設備可採行之防蝕對策。

3-1 濕式法

如果確定亞硫酸鹽（消氧劑）含量足夠，完成試水後可保持試壓水於正壓狀態，要啓用前再將水排放。亞硫酸鹽濃度應保持在20ppm以上，死角亦然。依照前述方法攪拌、裝水，即可達此標準且無須再定期檢驗。

正壓之大小視設備之強度而定。儲槽可取2~5cm水柱，壓力容器則取5~20psig，可充入氮氣以維持正壓，至於廠區內管線或長途管線，可以試壓水加壓。

採用此法，其腐蝕率將不超過3 mpy（mils per year），孔蝕應不致發生。

3-2 乾式法

此法係控制系統內之露點，以防止金屬表面發生水滴凝結之現象。

此法系統須充分排水，再充以氮氣。或以乾燥空氣吹乾，使出口空氣之露點在 -1°C 以下，吹乾過程中系統之所有部分均須通風良好。若鋼鐵表面有鹽性物質嚴重污染，生銹嚴重，露點更須保持在 -35°C 以下，其方法為以氮氣加壓至44 psig，保持十五分鐘，然後放氣至常壓，如此連續三次，最後再充氮氣至5~10 psig。達到要求之露點後，立即封閉系統，且一直保持正壓。

欲採此法，水須充分排淨為其先決條件。系統若無目視檢查，排水是否完全難以確定，故不應採用此法。

此法之腐蝕率亦不超過3 mpy，無發生孔蝕之慮。

3-3 常壓法

此法會有大氣下之腐蝕，其程度依地區而異，如在沙漠地區，氣候乾燥，幾無腐蝕問題。

常壓法為水完全排放後（必要時應將積水擦乾），即將系統封閉，唯須裝置真空啓閉器（vacuum breaker）及釋壓閥（pressure relief valve），並定期加以檢查。腐蝕率嚴重者約有0.38~0.5mm/year，若會孔蝕，更高達十倍，因此在下列情況應避免採用此法：

a. 腐蝕容許度（corrosion allowance）為零時。

b. 上述之孔蝕速率不被允許時。

c. 不允銹渣存在時。

3-4 鈍氣法

此法乃使系統維持在無氧的環境之下一凹處積水之情形除外。

試水完成後，在排放水之同時，灌入不

活潑之氣體（以氮氣為佳），直到出口無水排出為止，然後封閉，保持正壓。前述乾式法或排水後再灌入氮氣者不屬於此法。

估計腐蝕率約在0.8mm/year 以下。

綜合言之，設備之試水與啓用間隔不久時，一切均不成問題；若因費用或其他因素無法如此安排時，適當地處理用水，復佐以妥善之閒置措施，亦可達到減少腐蝕之效果。本文旨在提供一些指引，可由此而建立一套完備之程序，使水壓試驗引起之腐蝕損害降至最低。

——摘自第三屆亞太地區防蝕會議論文

“MINIMIZING CORROSION DAMAGE CAUSED BY HYDROSTATIC TESTING” Edmund Y. Chen, Arabian Oil Company, Dhahran, Saudi Arabia.

譯者：現任職中油公司桃園煉油廠