

金屬管路腐蝕

20191201

一、前言

台灣四面環海氣候潮濕，且颱風經常肆虐之地區，金屬管材易與周遭環境發生化學、電化學反應，金屬管路因地理環境因素，遭受到破壞性侵蝕而導致管路腐蝕、洩漏，嚴重者發生重大工安事故，輕微者影響居民的生活不便，因此管路施工對於材料的選擇、施工的方法，必須謹慎為之。

二、腐蝕的原因

腐蝕是材料與周圍的物質發生化學反應，而導致材料耗損的現象。就金屬而言，即金屬物質與氧氣等發生電化學的氧化反應。

電化學反應是金屬表面未經處理，其表面存有少量的電離子，電離子由高電位區（陰極）向低電位區（陽極）移動而產生電流。因此金屬電位薄弱處因電流作用而加速對金屬的破壞，產生腐蝕。如鐵金屬中之鐵原子在固體溶劑中發生氧化而導致銹蝕，即為電化學腐蝕。影響電化學腐蝕的因素有陽極大小、金屬種類及環境因素（溫度、濕度、鹽度等）等，陽極與陰極表面積的比值直接影響材料腐蝕的速度。

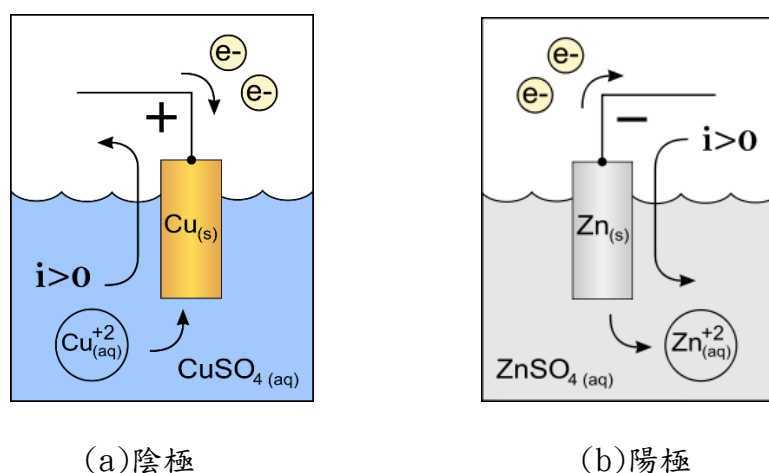


圖 1 電化學反應

註：陽極為發生氧化反應的電極，陰極為發生還原反應的電極。

三、腐蝕的現象

一般常見的腐蝕現象有下列

1. 均勻腐蝕 (Uniform corrosion)

均勻腐蝕是金屬表面產生一層均勻的腐蝕生成物，因腐蝕致金屬厚度變薄，其減薄的厚度近乎均勻一致。常發生於大氣的腐蝕，如酸雨造成的腐蝕。

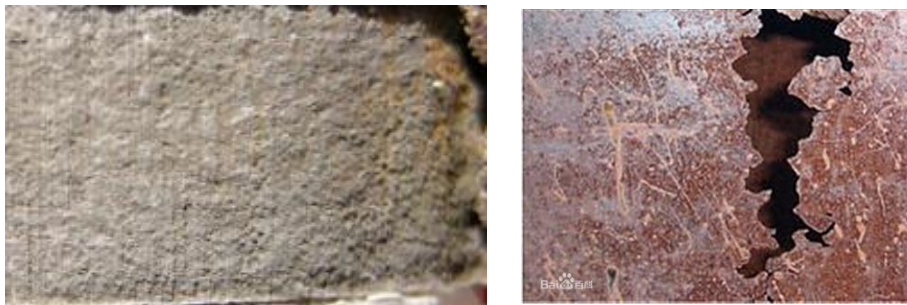


圖 2 均勻腐蝕

2. 點蝕 (Pitting)

金屬表面局部地區出現縱深發展的腐蝕小孔，其餘地區不腐蝕或腐蝕輕微，這種腐蝕形態為點蝕，又稱孔蝕。如不銹鋼表面微小的銹孔迅速增加，造成不銹鋼受到大規模腐蝕的原因。

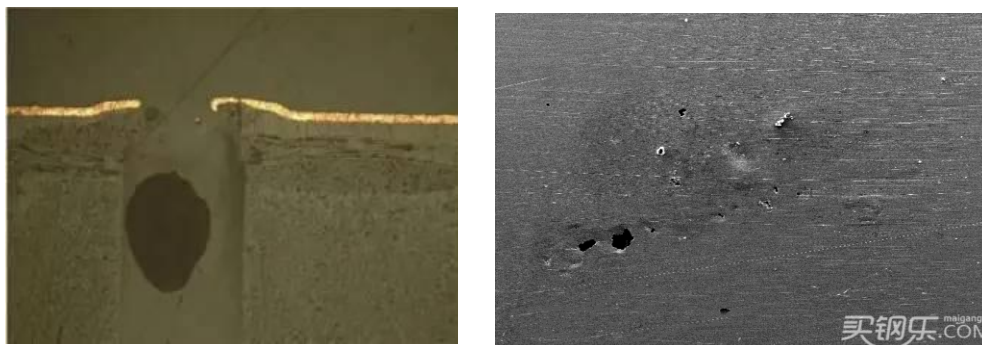


圖 3 點蝕

3. 異金屬接觸腐蝕 (Potential difference corrosion)

兩種不同材質的金屬接觸時，如接觸面含有微量之濕氣，構成腐蝕電池，電位較低（還原電位低）的金屬會先發生腐蝕，電位差距愈大，反應愈快。構成加速腐蝕的因素有：(1)充足的水、氧氣、離子。(2)陽極面積小，陰極面積大。(3)高氣壓、高溫度環境。異金屬腐蝕一般又稱電位差腐蝕，表 1 為金屬標準還原電位差。

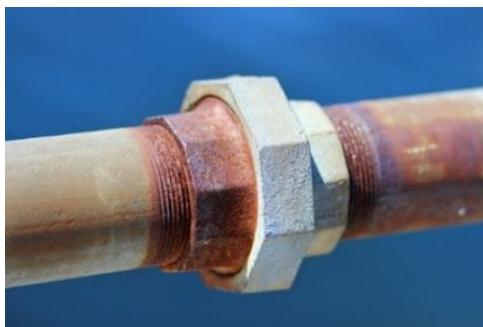


圖 4 異金屬接觸腐蝕

表 1 金屬標準還原電位差

金屬(還原態)	標準還原電位差 (E^0/V)	金屬(還原態)	標準還原電位差 (E^0/V)
Li	-3.05	H	0.00
K	-2.92	Cu	0.34
Na	-2.71	I	0.54
Mg	-2.38	Ag	0.80
Al	-1.66	Hg	0.85
Zn	-0.76	Pt	1.20
Fe	-0.44	Cl	1.36
Ni	-0.23	Au	1.42
Sn	-0.14	F	2.87
Pb	-0.13		

註：兩種金屬間存有電位差，其接觸面會導致電位低的金屬加速腐蝕，電位高的金屬則受到保護。如銅的標準還原電位差 0.34，鐵為-0.44，兩金屬接觸，鐵則加速腐蝕。

4. 晶界腐蝕 (Intergranular corrosion)

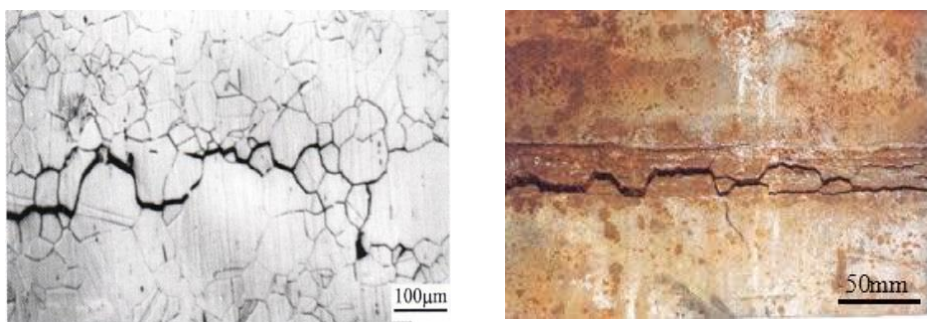
晶界腐蝕又稱粒界腐蝕，為局部腐蝕的一種，沿著金屬晶粒間的分界面向內部擴展的腐蝕。即合金中的組成成份或雜質於晶界發生析離時，在材料的晶界間產生電位差，電位較低的金屬其接觸面發生腐蝕，並沿著晶粒界面進行，造成如裂縫般的腐蝕。



圖 5 晶界腐蝕

5. 應力腐蝕 (Stress corrosion)

當金屬受到張應力時，腐蝕首先自表面開始，沿著金屬的結晶格子延伸而發生龜裂，最後導致嚴重的破裂。機械裂紋是應力腐蝕的特徵，陰極保護此裂紋不僅沿晶間發展，亦可穿過晶粒，向金屬內部發展，致金屬結構強度降低，嚴重時使金屬設備損壞。如設備在高壓條件下運轉，可能有嚴重的爆炸事故發生。應力腐蝕是所有腐蝕種類中破壞性及危害性最大的一種，產生應力可能是製造過程中（冷作或加工時）所留應力。



(a)

(b)

圖 6 應力腐蝕開裂

6. 沖蝕腐蝕 (Erosion corrosion)

沖蝕腐蝕常發生於流體改變方向處，如彎頭、三通接頭。一般而言，流體的流速愈高、懸浮固體物愈多、顆粒硬度愈硬，沖刷腐蝕速度愈快，流體含溶氧或沖蝕腐蝕常發生在流體改變方向處 pH 值較低之酸水，會加速腐蝕效應。



圖 7 沖蝕腐蝕

7. 疲勞腐蝕 (Corrosion fatigue)

金屬受到週期性的應力 (Cyclic stress) 時，會減低對疲勞的抵抗力。亦即受到持續性動態變化的應力造成結構劣化，疲勞式漸進且局部結構壞，是由長時間累積而產生。當金屬在引起疲勞的應力下又受到腐蝕時其疲勞的壽命也會縮短，因為腐蝕所生的點蝕、凹口會使應力更為集中，而導致龜裂，所引起的破裂往往在毫無預警的情況下發生，可能直接導致事故（例如空難）的發生，因此相關的預防、檢查、處理格外重要。



(a)



(b)

圖 8 疲勞腐蝕

8. 高溫腐蝕 (High temperature corrosion) ^{*2}

高溫腐蝕為高溫作業下的鍋爐、核能發電設備及引擎、焚化爐等均發生高溫腐蝕現象，有些發生於工業製程上。高溫腐蝕依般分為(1)氣體和金屬材料的作用 (Gas-metal reaction) 使鋼材發生反應，造成腐蝕。(2) 熔融鹽類和金屬的作用，如煤燃燒所含硫化物與鹼金屬、鹼土金屬生成熔融鹽類，這些鹽類會將鋼管表面具有保護作用之氧化膜熔融，造成鋼管腐蝕。



(a)



(b)

圖 9 高溫腐蝕

9. 氫脆化 (Hydrogen embrittlement) ^{*3}

金屬材料在冶煉、加工、熱處理、酸洗和電鍍等過程中，或長期使用在含氫介質中時，材料由於吸氫或氫滲而造成機械性能嚴重退化，發生脆斷的現象。普通的鋼材中能發現氫脆化現象，也會發生在不銹鋼、鋁合金、鈦合金、鎳基合金和鋁合金中。

就機械性能而言，氫對金屬材料的屈服強度和極限強度影響不大，但在低於斷裂強度拉伸應力的持續作用下，材料經過一段時期後會突然脆斷。

氫脆化發生的原因：一、在金屬凝固的過程中，溶入的氫未能即時釋放出來，向金屬中缺陷附近擴散，在室溫時原子氫在缺陷處結合成分子氫並不斷聚集，從而產生巨大的內壓力，使金屬發生裂紋。二、在應力作用下，固溶在金屬中的氫也可能引起氫脆。即當金屬材料受外力作用

時，材料內部的應力分佈是不均勻的，在材料外形迅速過渡區域或在材料內部缺陷和微裂紋處會發生應力集中，在應力梯度作用下氫原子在晶格內擴散或位錯滑移向應力集中區域，由於氫和金屬原子之間的交互作用使金屬原子間的結合力變弱，因此在高氫區會產生裂紋並擴展，導致脆斷。〔氫脆現象-江凱狄-科技網〕

註：位錯滑移(dislocation glide)是指位錯在晶體內沿滑移面的運動。在剪應力作用下，原子發生位錯是在包含其伯格斯矢量的平面上運動，稱為位錯滑移。其運動方式類似蠕蟲爬行，是沿著滑移面逐步傳播、移動的。亦即位錯滑移是指在外力作用下，位錯線在其滑移面上的運動，結果導致晶體永久變形。

10. 氫誘發破裂 (Hydrogen induced cracking) ^{*4}

鋼材與濕潤硫化氫或硫化氫溶液反應生成之氫原子，在進入鋼材內部進行擴散時，遭非金屬介在物（如硫化錳、氧化鋁等）捕捉阻擋氫原子繼續移動，致停留或聚集在鋼材不乾淨處，而這些無法移動之氫原子會與其他氫原子結合成氫分子（ H_2 ），氫分子太大無法穿越鋼材，造成該空隙內氫壓力增加，而越來越多氫分子形成及聚集，氫分子濃度增加時，內壓力亦隨之增大，最後壓力超過臨界壓力，則可能在鋼材內部形成裂縫（Cracking）或在鋼材表面形成腫泡（Blister）。



圖 10 氫腫泡

四、腐蝕的影響

水和瓦斯（氣體燃料）是生活中不可或缺的必需品，自來水及瓦斯外管線皆埋設於地下輸送至用戶，埋設於土壤中的管線如未做妥善的防蝕措施或施工不良，發生管路腐蝕，致自來水、瓦斯外漏，造成生活困擾，嚴重者亦會造成工安事故。

五、腐蝕的防止

1. 外管線腐蝕的防止

輸水管依材質有鑄體管、鋼管、鍍鋅鋼管、水泥管、塑膠類管等，其中使用金屬管材的比率高，金屬管材與管內輸送的水或管外與埋設的土壤接觸而發生腐蝕，致管壁減薄或穿孔、斷裂，造成漏水，不易查覺，未能及時修復，損失是非常巨大的。因此管路防蝕必須加以重視。

防蝕方法包含水質控制、管壁內襯、外壁塗裝(圖 11)、陰極防蝕、使用腐蝕抑制劑等，做好防蝕措施可以增長管路的使用年限，降低管路更新成本。

2. 建築物內管線腐蝕的防止

建築物內管路腐蝕一般為異金屬接觸腐蝕，即電位差腐蝕，因此建築物內配管如管路裝配於樓版內，其配置於樓版雙層鋼筋中，如為金屬管材，應於管材外部以絕緣材料包覆，避免異種金屬接觸發生電位差腐蝕（圖 12），此為管路絕緣包覆。如管路以吊掛方式配管，管路與吊掛支撐之接觸面須做絕緣處理（圖 13），可防止電位差腐蝕，以延長管路的使用年限。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 11 管路塗刷焦油防蝕

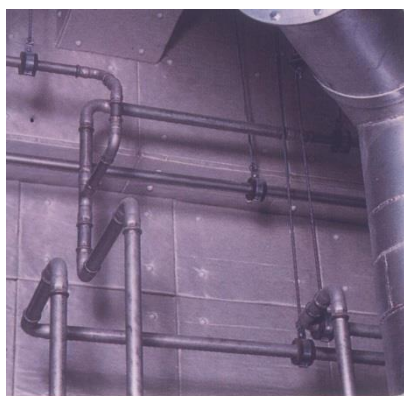


(a) 管路絕緣



(b) 熱水管路保溫絕緣

圖 12 管路絕緣



(a) 吊架絕緣



(b) 管路支撐絕緣



(c) 吊架樹脂塗裝

圖 13 吊掛支撐絕緣

3. 腐蝕作業注意事項：

- (1) 管路防蝕塗裝作業應遵守塗料作業規定與安全守則。
- (2) 更新管線、控制閥門、彎頭、凸緣(法蘭)等須採用相同材料，防止異金屬接觸導致金屬電位差腐蝕。
- (3) 管線銹蝕處，應確實除銹再塗漆，如未確實施作，會加速大氣腐蝕。
- (4) 管線應做好防止外部腐蝕之保護層，如；鍍鎳、鍍鋅、防蝕塗裝等表面處理，以避免與大氣環境接觸，降低大氣腐蝕速率。
- (5) 管路如無法避免縫隙存在時，使用密封劑填縫，防止縫隙中積蓄水氣而銹蝕。

六、參考文獻

1. 圖片來源：谷歌網站、HOMEMESH、上海寶冶工程技術有限公司、中文百科全書、中國腐蝕防護網、www.cdcorrsion.com、臺灣黃頁、江蘇中特創業設備檢測有限公司
2. 魏益豐/中鋼研究發展處 [淺談高溫腐蝕]
3. 江凱狄/科技網 [氫脆現象]
4. 陳志平、蔣政芳、李榮源/高雄煉油廠工安組設備檢查課 [氫誘發破裂理論與檢查]