

熱交換冷卻管在海水環境中之腐蝕問題 及防蝕方法

黃忠梅*

The Corrosion Problems and Corrosion Prevention Methods of Heat Exchanger Tubes in Seawater Environment

Chung May Hwang

摘 要

採用受污染海水為冷卻水的熱交換器冷卻管之腐蝕問題通常都比預期的要嚴重。但是，如果能夠根據現場所使用之海水品質，對材料作適當的選擇，並採取適合的防蝕措施，則可減少許多冷卻管的腐蝕以及破損問題的產生。因此本文將介紹幾種常用的冷卻管材質的腐蝕問題及防蝕方法，作為材質選用以及防蝕措施的參考。

ABSTRACT

The pollution of river estuaries and harbors has markedly increased corrosion problems of heat exchanger cooler tubes using seawater as cooling water. Many premature failures could be avoided if the materials of cooler tubes are more carefully selected and appropriate corrosion prevention methods are adopted according to the seawater quality. This paper discusses the corrosion problems and corrosion prevention methods of commonly used cooler tubes, and is to be used as a reference for material selection and corrosion prevention.

銅合金具有很好的熱傳導性質，接合性佳，在清潔海水中具有優良的耐蝕性，並兼具耐微生物結垢的特性，因此，長久以來一直是冷卻管常用的材質。但是，為了增加冷卻效率而增加流速，因而產生沖蝕腐蝕問題。隨著工業廢水排放的增加，海水受污染的情況日益嚴重。由於海水中腐蝕因子增加而使得銅管因沖蝕腐蝕、孔蝕以及應力腐蝕而快速破損。除了做銅合金材質之改

善以及採取適當的防蝕方法以外，價格昂貴的材質如不銹鋼及鈦管也漸漸被使用，各材質均有其腐蝕問題以及防蝕法，以下分別介紹之。

一、銅合金之腐蝕問題及防蝕方法

(一)銅合金之腐蝕問題

銅合金在低流速之狀況下具有很好的耐蝕性

*工業材料研究所
Materials Research Laboratories, ITRI.

，但是，當流速增加或是水流在入水口管端產生亂流以及水中含有砂子均會破壞銅合金表面之保護性氧化膜而加速沖蝕腐蝕之產生。在污染海水中，如果水中含有硫化物如 S^{2-} ， HS^{-} ， $S_2O_3^{2-}$ ，則可能是因為硫離子會使銅形成不具保護性之硫化銅或因為硫化銅之存在而使氧化銅不具保護性，而產生孔蝕並加速沖蝕腐蝕速率。當污染海水中含有氨水時，也有可能使銅合金產生應力腐蝕破裂。一般而言，在海水中添加少量的氯氣，可減少冷卻管表面的結垢、黏液膜以及微生物的產生。但是若銅合金中鐵含量大於1.5%時，或海水中有硫化物的存在，則氯氣的添加會影響銅合金的耐蝕性。

(二)銅合金冷卻管之防蝕方法

(1)添加抑制劑^(1,2)

許多研究報告顯示在冷卻水中添加硫酸亞鐵可在銅合金表面形成 $\gamma\text{-FeO-OH}$ 之保護膜，大量增加陰極化現象，可使原本銅合金冷卻管腐蝕嚴重之現象快速緩和下來，但是如果因為硫化物之腐蝕後才添加硫酸亞鐵，則硫酸亞鐵對腐蝕之抑制效果並不大。硫酸亞鐵亦可降低砂粒小於50 μm 之沖蝕腐蝕，當砂料大於250 μm 時硫酸亞鐵則沒什麼保護效果。

(2)陰極保護⁽³⁾

因為沖蝕腐蝕是一種電化學反應，因此陰極保護可有效防止管端之沖蝕。但是在高流速時由於沖蝕過程主要為機械作用，因此陰極保護沒什麼效果。

(3)人工保護膜處理⁽⁴⁾(APF treatment)

利用被覆方式在銅合金冷卻管上塗上一層功用類似 $\gamma\text{-FeO-OH}$ 之保護膜，可有效防止硫化物之腐蝕以及管端之沖蝕現象。當砂直徑為250 μm ，砂含量在350ppm範圍內，此保護膜具有良好的耐沖蝕性質。

(4)用海綿球或水沖刷管子^(3,5)

可用海綿球或用水沖刷管子，如此可除去管中之沈積物，減少沖蝕腐蝕之產生。但是若在污染海水中用海綿球過度沖洗，將會移除表面膜而加速腐蝕的產生。

(5)更換材質

一般而言銅鎳合金之耐沖蝕腐蝕性質較黃銅及青銅好。銅鎳合金中添加鐵可改善耐沖蝕之能力，而且鐵之需要量隨鎳含量之減少而增加，在銅鎳合金中添加鉻則有更好的耐沖蝕腐蝕能力。價格較昂貴的不銹鋼或鈦管一般而言其耐蝕性較銅合金好。

二、不銹鋼之腐蝕問題及防蝕方法

不銹鋼具有很好的耐沖蝕腐蝕性質，但是304及316不銹鋼除非能保持管子清潔，否則 Cl^{-} 之存在易使管子產生孔蝕。在不銹鋼中添加Mo可有效防止孔蝕之產生。⁽⁶⁾不銹鋼中高Cr，Mo含量則有很好的耐沖蝕腐蝕，耐硫化物腐蝕以及耐孔蝕性質，如UNSS44660，如果冷卻管採用不銹鋼而端板採用銅合金，則會產生伽凡尼腐蝕，此時可在端板使用陰極防蝕保護端板。

三、鈦管之腐蝕問題及防蝕方法

鈦是冷卻管所使用材質中最耐沖蝕腐蝕之材料，即使在污染海水中以及含砂之海水中均有很好的耐蝕性。⁽⁷⁾在大約攝氏130°C以下之環境中無間隙腐蝕及孔蝕產生。⁽⁸⁾如果冷卻管採用鈦管而端板採用銅合金，則會產生伽凡尼腐蝕。此時端板可使用陰極防蝕來保護。但是如果過保護(over-protection)會使鈦管產生氫脆，因此，此陰極防蝕設備最好能有自動偵測電位及控制電位之系統，避免氫脆的產生。

參考文獻

1. Bostwick, T. W., Corrosion, Vol.17:8, 12-16; 18-19

- (August, 1961)
2. Bethon, H. E., Corrosion, Vol.4:10, 457-462 (October, 1948)
 3. Sato, S., Nagata, K., Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol.19:3-4, 83-94 (July, 1978)
 4. Shiro Sato, Koji Nagata and Shigenori Yamaucgi, Corrosion/81, No.195
 5. Sato, S., Nagata, K., Ogiso, A., Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 13:1, 245-254 (January, 1972)
 6. Lizlovs, E. A., Bond, A. P., Journal of the Electrochemical Society, Vol.122:6, 719 (1975)
 7. Heaton, W. E., British Corrosion Journal, Vol. 12: 1, 538-542 (1972)
 8. Green. M. L., British Corrosion Journal, Vol.2, 153 (1967)