

石膏型防火被覆下鋼板腐蝕速度偵測

施建志·林葆喜* 著

Corrosion Monitoring of Steel Under Fireproofing Coating

C. C. Shih, Pau-Yee Lin

摘 要

鋼骨結構在塗裝防火被覆後曝露在大氣中是否會受到大氣中之酸雨、濕氣的侵蝕而影響其安全性必需有實際腐蝕速度資料來研判。本研究使用電化學技術及特殊設計的腐蝕偵測探頭來測量防火被覆下之鋼板的腐蝕速度，以評估鋼板表面在塗佈防火被覆之前施以防蝕處理的效果。大氣的腐蝕環境，以每日噴灑純水和 pH=4 的稀硫酸溶液來模擬，經過二個月的試驗後發現鋼材在噴灑 pH=4 的稀硫酸溶液環境下，腐蝕速度約 0.82mm/yr。鋼板在塗佈防火被覆前若經無機鋅底漆處理，腐蝕速度可大為降低。鋅底漆在 pH=4 的稀硫酸環境下消耗速度約為 9.5 μ m/yr。

ABSTRACT

Structural steel beam is required to apply fireproofing coating on the ground of structure integrity in case of fire accident. However, in high humidity and acidic rain environment the corrosion rate of steel under fireproofing coating could be too high to be acceptable. In this study, a specially designed corrosion monitoring probe was used to measure the corrosion rate of steel under fireproofing coating and to evaluate the effect of surface preparation before the application of fireproofing coating. Corrosion environment was simulated by daily spraying of pH=4 diluted sulfuric acid onto the fireproofing coating. After 2 months of exposure, the corrosion rate of steel under fireproofing coating was detected to be as high as 0.82 mm/yr. With the application of inorganic zinc rich primer on the steel surface below fireproofing coating could reduce the corrosion rate of steel substantially. The corrosion rate of zinc rich primer layer detected is around 9.5 μ m/yr.

Key words: fireproofing coating, steel, zinc, corrosion, sulfuric acid.

*工業技術研究院 工業材料研究所

Materials Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

一、前言

由於具有施工期短、勞工需求量少等優點，近年來鋼骨大樓日益流行。然而鋼骨外部因沒有保護層，若遇火災很容易影響結構安全，因此目前所採取的措施是在鋼骨結構物上塗佈防火被覆。市面上的防火被覆材料有蛭石拌水泥、蛭石拌石膏及岩棉拌水泥三種。此種防火被覆材料使用在熱帶潮溼的環境中，是否會因吸收水份使鋼骨材料腐蝕進而影響其大樓安全，是值得探討的課題。尤其是石膏型防火被覆，因其材料遇水呈中性（ $\text{pH}=6.5\sim 7.5$ ），一旦吸收空氣污染造成的酸雨，其 pH 值必降低到酸性使鋼骨之腐蝕速度加快。針對此一問題亟待了解的重點是，鋼材在防火被覆下暴露至大氣中，其穩定狀態下的腐蝕速度是否會影響結構的安全；如果腐蝕速度大至不被容許時，鋼材先行防銹塗裝如耐高溫之無機底漆之效益如何。鋼材在防火被覆下的腐蝕速度的測量相當困難，原因是防火被覆浸在水中會溶化且在大氣腐蝕環境下又阻抗太大，使一般電化學測試方法無法應用。本文作者開發鋼筋混凝土腐蝕速度測試設備過程所設計之一特殊探頭(1)，容許在乾燥或半潮溼等高阻抗環境下進行電化學測試。因此，利用此一探頭方可在被覆材料上順利進行電化學測試以便測得鋼板的腐蝕速度。

二、實驗方法

1. 試片製作

本實驗所使用的鋼板為 30×30 公分的一般碳鋼，經噴砂至 SS 2 $\frac{1}{2}$ a 標準後一部份直接塗佈防火被覆材料，另外一部份經塗佈無機鋅底漆後才塗佈防火被覆材料。所使用防火被覆材料為不含或不加噴水泥的蛭石材

料。塗裝方式乃將防火被覆材料和水攪拌均勻後塗佈在鋼板上。防火被覆乾燥後厚度約 0.5cm。無機鋅底漆（永記 Galvo-Zinc IZ-01）以無氣噴塗法塗佈，其純鋅含量為 98~99%，粒徑為 $6\sim 10\ \mu\text{m}$ 。

2. 電化學測量設備

本實驗以交流阻抗技術測量腐蝕速率及極化曲線掃描分析腐蝕機理。所使用之設備為 Solartron 1250 FRA 及 1286 EI，並以材料所撰寫交流阻抗軟體控制操作。參考電極為氯化銀電極。設備及探頭安排方式見圖 1。

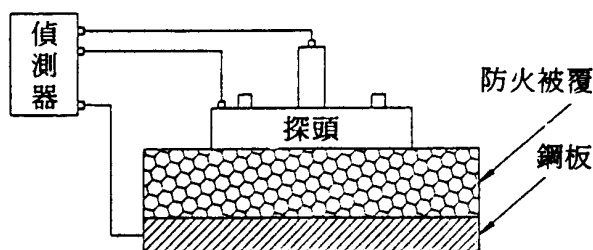


圖 1 實驗配置圖

Fig. 1 A schematic diagram of the monitoring system.

3. 腐蝕試驗

防火被覆下鋼筋塗佈無機鋅底漆及無表面防蝕處理的兩種試片經噴灑去離子水後測試其腐蝕速度以建立基準值（Baseline Corrosion Rate）。然後每種試片皆分作兩部份，一部份每天噴灑去離子水（純水）約 50 cc，另一部份每天噴灑 50cc 的 $\text{pH}=4$ 稀硫酸以模擬大氣之酸雨。噴灑之後 4 小時再行測量腐蝕電位及腐蝕速度。

三、結果與討論

1. 腐蝕電位

表 1 所示為鋼板塗佈無機鋅底漆及無

石膏型防火被覆下鋼板腐蝕速度偵測

表 1 試片基準腐蝕速度及電位

Table 1 Base line corrosion rate and corrosion potential of each sample.

表 條	面 件	腐蝕電位 (mV Ag/AgCl)	交流阻抗值 Rct (ohm-cm ²)	腐蝕速度 (mm/yr)	備 註 樣 品 號
塗佈無機鋅底漆		-1081	11372	33×10^{-3}	1
		-1081	10474	36×10^{-3}	2
		-1084	8282	45×10^{-3}	3
無 塗 層		-528	430	0.69	1
		-523	2640	0.11	2
		-538	564	0.54	3

表面防蝕處理在防火被覆下的腐蝕電位。裸鋼板在防火被覆含浸純水或 pH4 稀硫酸環境的腐蝕電位約 -400~-500 mV (Ag/AgCl)，然而鋼板表面塗佈鋅底漆，在防火被覆含浸純水或 pH=4 稀硫酸環境腐蝕電位為 -1000mV (Ag/AgCl) 左右，這腐蝕電位應是鋅的腐蝕電位。

2. 腐蝕電化學

依據 Stern-Geary 公式(5)，腐蝕速度為極化阻抗 (Rct) 的反比。由表 1 之基準腐蝕速度的比較顯示在相同表面狀況下試片的腐蝕速度有些差異；又由圖 2 中 Rct 值與 Rs (溶液阻抗) 值的關係可見防火被覆塗裝品質對於鋼材腐蝕速度影響相當大。

圖 3 所示為塗佈鋅底漆鋼板及裸鋼板在實驗初期的交流阻抗極圖。鋼材的交流阻抗圖形為一小半圓後接著一直線，基本上此小半圓及直線有壓抑 (Depression) 的現象，這意味鋼材的表面腐蝕狀況不均勻。塗佈鋅底漆鋼板的交流阻抗圖形則接近兩個半圓的結合體，隨著時間增加這種圖形差異益加明顯 (圖 4 及圖 5)。為了瞭解此一差異的機理，在實驗最後對試片進行極化曲線

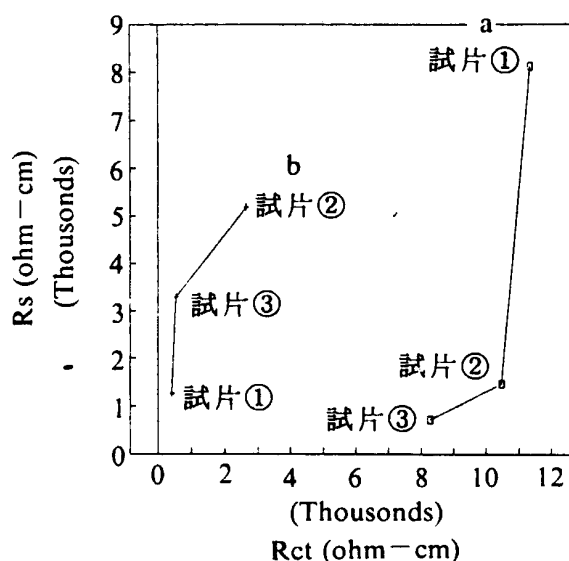


圖 2 實驗進行前試片品質的觀察
(a)鋼板表面塗佈無機鋅底漆外加防火被覆
(b)裸鋼板外加防火被覆

Fig. 2 The base line R_s and R_{ct} values of (a) inorganic zinc rich primer on steel plate, and (b) bare steel plate, under fireproofing coating.

掃描。圖 6 為這兩種不同試片的極化曲線。鋼板的極化曲線的陰極反應呈現擴散過程控制 (Diffusion Control) 的現象，由此

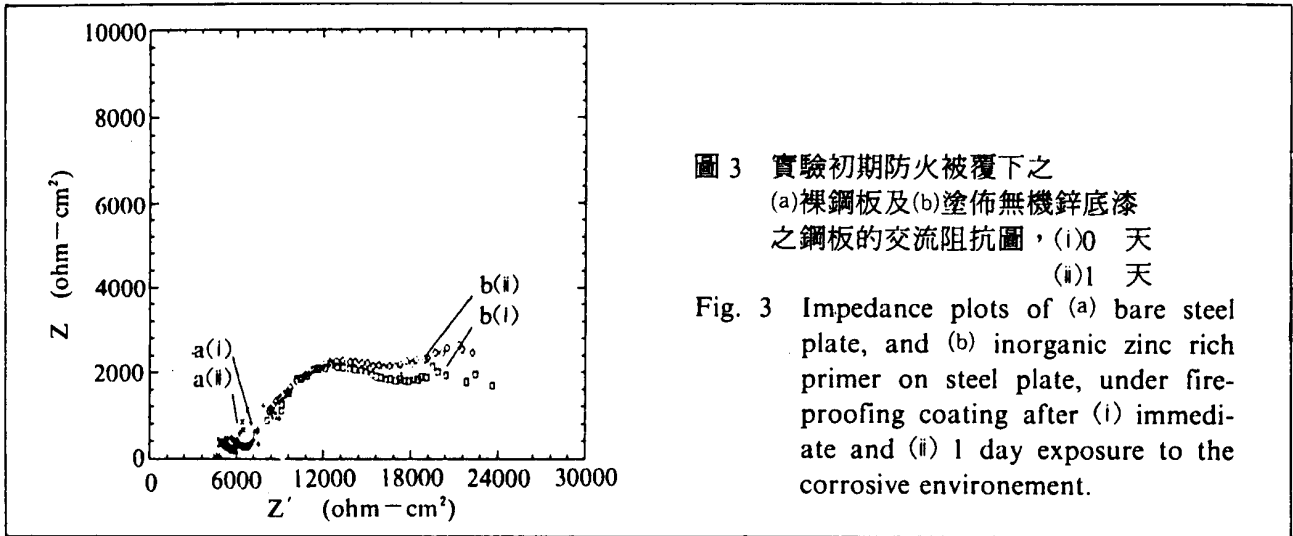


圖 3 實驗初期防火被覆下之
(a)裸鋼板及(b)塗佈無機鋅底漆
之鋼板的交流阻抗圖，(i)0 天
(ii)1 天

Fig. 3 Impedance plots of (a) bare steel plate, and (b) inorganic zinc rich primer on steel plate, under fireproofing coating after (i) immediate and (ii) 1 day exposure to the corrosive environment.

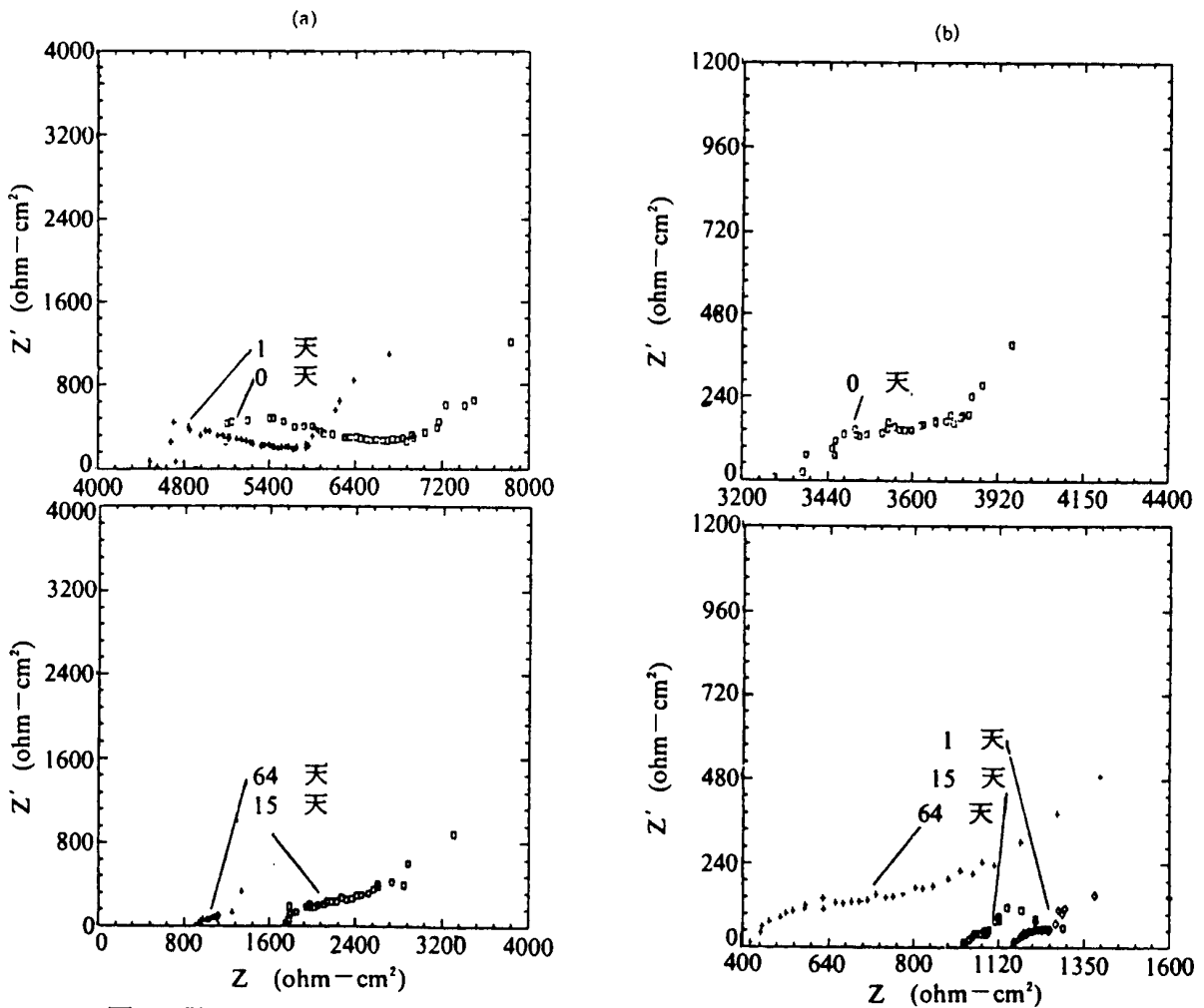


圖 4 防火被覆下鋼板之交流阻抗極圖

(a)在 pH4稀硫酸環境下 (b)在純水環境下

Fig. 4 Impedance plots of bare steel plate under fireproofing coating after daily spraying with (a) pH=4 sulphuric acid, and (b) pure water.

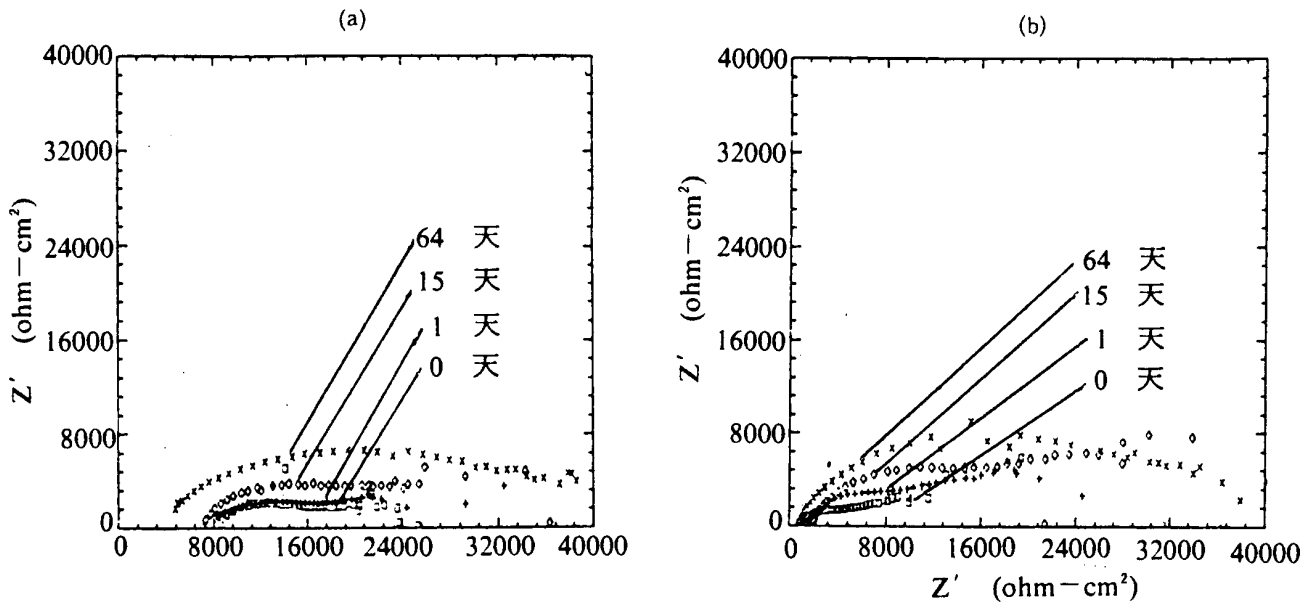


圖 5 防火被覆下鋼板塗裝無機鋅底漆之交流阻抗極圖
(a)在 pH4稀硫酸環境下 (b)在純水環境下

Fig. 5 Impedance plots of inorganic zinc rich primer on steel plate under fireproofing coating after daily spraying with (a) pH=4 dilute sulphuric acid and (b) pure water.

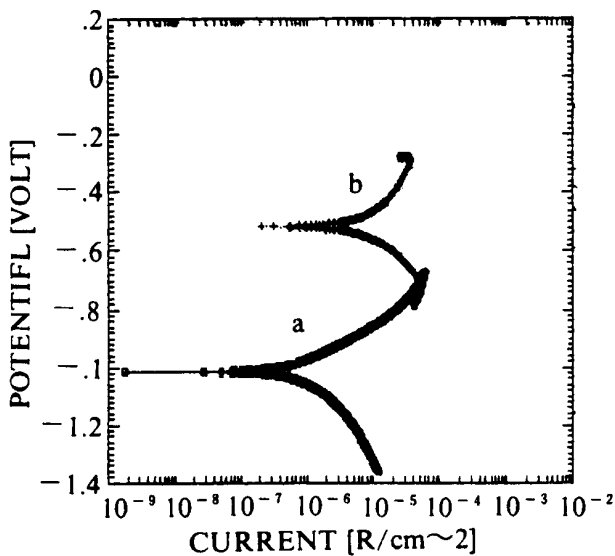


圖 6 pH4 稀硫酸環境中70天後之極化曲線圖
(a)鋼板表面塗佈無機鋅底漆
(b)鋼板表面未加防蝕處理

Fig. 6 Plots of DC polarization curves of (a) inorganic zinc rich primer on steel plate, and (b) bare steel plate, under fireproofing coating after 70 days of daily spraying with dilute sulphuric acid.

可判斷此一系統陰極反應是氧氣還原反應，同時腐蝕過程是在溶液阻抗及擴散混合控制下，這和交流阻抗圖形所反應相吻合。塗佈含鋅底漆鋼板的極化曲線中的陰極反應電流大小則遠低於裸鋼板，代表含鋅底漆本身是陰極抑制劑 (Cathodic inhibitor)。由文獻上(3)可知含鋅底漆之陰極抑制作用乃是藉 $Zn(OH)_2$ 產生來抑制氧還原反應。其極化曲線也可用來解釋圖 5 中兩個半圓現象。

圖 5 中的兩個半圓的低頻半圓可以當是被抑制下的氧還原反應，而高頻部位則是鋅本身的反應，此種現象過去在文獻中討論過(2)。圖 5 交流阻抗圖的變化趨向顯示隨時間增加高頻和低頻的半圓也隨之增加，這表示含鋅底漆逐漸產生 $Zn(OH)_2$ 並隱蓋著鋼板上陽極及陰極的反應面積。由圖 7 亦可見，鋅底漆的 R_{ct} 值隨時間增加至一定值後就穩定下來。防火被覆上噴灑稀硫酸較噴純

水需花較長時間 R_{ct} 值才會穩定下來，這主要的原因可能是在純水環境中鋅立即轉化為

$Zn(OH)_2$ ，而稀硫酸會使鋅先形成 $ZnSO_4$ ，再轉化為 $Zn(OH)_2$ ，所以鋅的保護作用要較長時間才會產生(3)。至於裸鋼板，其 R_{ct} 有隨時間逐漸減少的現象(圖 8)，這和溶液阻抗 (R_s) 對時間變化有相同傾向(圖 9)，綜合圖 8 及 9 之結果判斷認

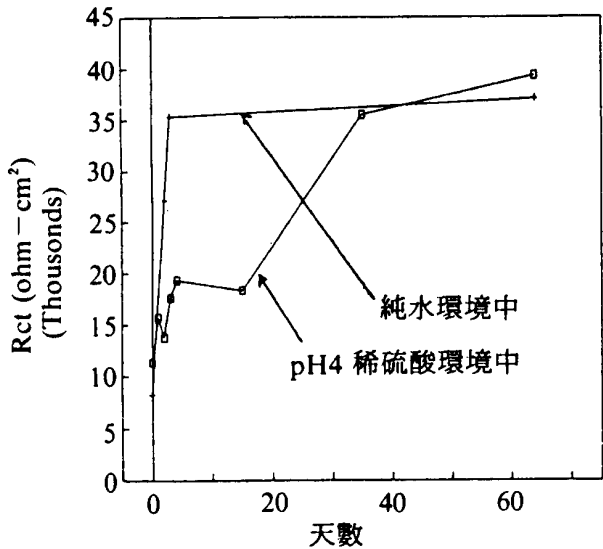


圖 7 防火被覆下鋼板塗佈無機鋅底漆試片之極化阻抗 (R_{ct}) 隨時間的變化
Fig. 7 R_{ct} values as a function of time of inorganic zinc rich primer on steel plate under fireproofing coating.

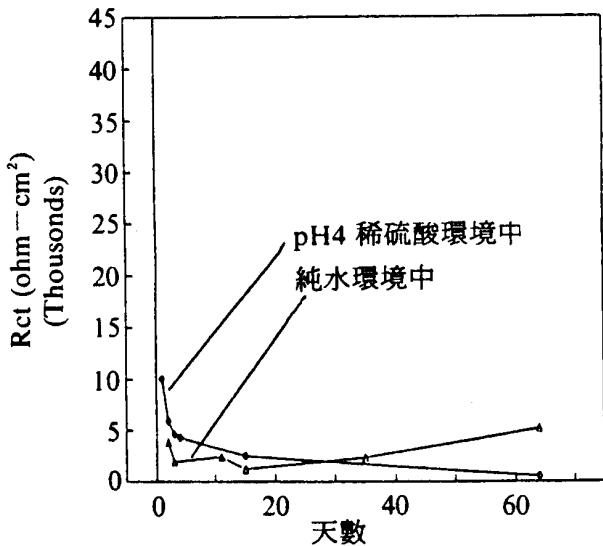


圖 8 防火被覆下裸鋼板之極化阻抗 (R_{ct}) 隨時間的變化
Fig. 8 R_{ct} values as a function of time of bare steel plate under fireproofing coating.

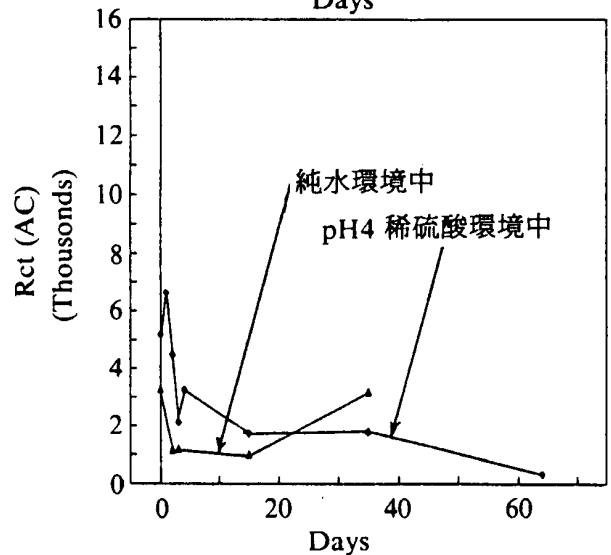
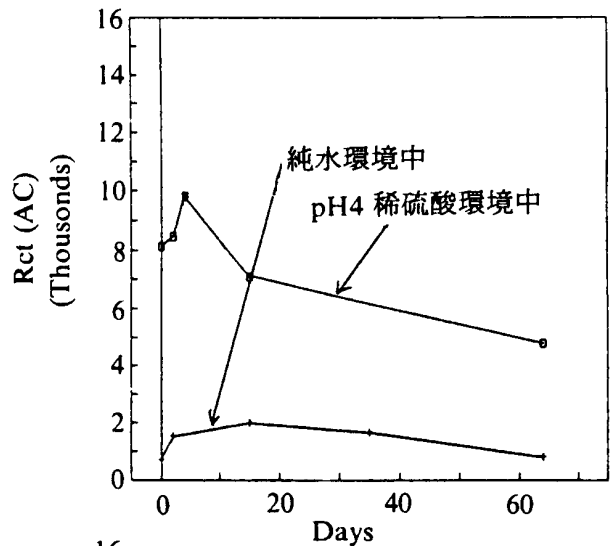


圖 9 溶液阻抗 (R_s) 值隨時間的變化
(a) 鋼板表面塗佈無機鋅底漆
(b) 鋼板表面未加防蝕處理

Fig. 9 R_s values as a function of time of (a) inorganic zinc rich primer on steel plate, and (b) bare steel plate, under fireproofing coating.

石膏型防火被覆下鋼板腐蝕速度偵測

表 2 試片曝露於腐蝕環境中之穩定腐蝕速度

Table 2 The corrosion rate measured after 2 months exposure to the corrosive environment.

表 條	面 件	腐 蝕 環 境	腐蝕電位 (mV Ag/AgCl)	交流阻抗值 Rct (ohm-cm ²)	腐蝕速度 (mm/yr)	備 註 樣 品 號
塗佈無機鋅底漆		純 水	-961	37100	10×10^{-3}	3
		pH4稀硫酸	-958	39338	9.5×10^{-3}	1
無 塗 層		純 水	-404	1844	0.16	3
		pH4稀硫酸	-419	360	0.82	2

為鋼材腐蝕面積隨時間增加，因而造成 Rct 減少。但在實驗結束時，Rct 值大致已趨至一定值，顯示腐蝕已趨穩定。穩定狀態下之腐蝕速度列於表 2。裸鋼板在防火被覆下因噴灑稀硫酸的腐蝕速度為 0.82mm/yr，而噴灑純水之腐蝕速度為 0.16mm/yr 防火被覆下鋅底漆因噴灑稀硫酸的腐蝕速度為 9.5 μ m/yr，而噴灑純水時為 10 μ m/yr。

3. 和大氣腐蝕速度比較

由文獻中(4)查得在工業區中，鋼的腐蝕速度約為 0.15 mm/yr，而鋅腐蝕速度為 14 μ m/yr。比較鋼板在防火被覆下的腐蝕速度（見表 2），可發現防火被覆沒有提供任何防蝕保護作用。至於鋅塗層，防火被覆的存在卻有減低鋅的消耗速度的現象，這可能是防火被覆提供 Zn(OH)₂ 穩定存在的環境。由上述數據也說明塗佈含鋅底漆可以提供鋼板在大氣中或防火被覆下所需的保護作用。

四、結 論

(1)防火被覆下之裸鋼板及塗佈鋅底漆鋼板的

腐蝕速度可用特殊設計的探頭及電化學技術測量。

(2)防火被覆下裸鋼板在含硫酸污染的環境中腐蝕速度可達 0.82mm/yr。

(3)塗佈無機鋅底漆可保護鋼板，主因是 Zn(OH)₂ 形成抑制 (Cathodic Inhibition) 作用及鋅犧牲 (Sacrificial) 作用，鋅消耗速度約 9.5 μ m/yr。

參考文獻

- (1)施建志“腐蝕偵測技術報告”，報告編號 53810102，工業材料研究所 民國八十一年六月。
- (2)C. C. SHIH, PHD Thesis, University of Manchester, 1980.
- (3)Costa Wranglen, An Introduction to Corrosion and Protection of Materials, Butter & Tanner Ltd London, pp186, 1972.
- (4)材料手冊，II 非鐵金屬材料，中國材料科學學會，375頁，民國72年。
- (5)Herbert H. Uhlig and R. Wiorston Rerie, Corrosion and Corrosion Control, pp54, Wiley, New York, 1985.