

碳鋼和耐候鋼 4~8 年大氣曝露腐蝕行為研究[†]

魏豐義・陳文源 論著

A Study of Atmospheric Corrosion Behaviour of Carbon Steels and Weathering Steels Exposed for 4~8 Years

Feng-I Wei and W.Y. Chen

摘要

耐候鋼可分為三類來使用，(1)裸露，(2)錆安定化處理，(3)塗漆。為了瞭解在這三種狀況下，耐候鋼和碳鋼抗大氣腐蝕行為的差異以及找尋較適宜之錆安定化處理劑和塗裝系統，因此本研究乃將耐候鋼和碳鋼以此三種狀況下於台灣三個不同環境地區進行長期大氣曝露試驗。結果顯示耐候鋼之抗蝕性遠優於碳鋼，尤其是高磷含量者或於臨海工業地區，主要原因為耐候鋼會生成以非晶質鐵氫氧化物之內層錆層。在錆安定化處理劑以脲脂+醇酸樹脂類之BAS-60和新離子塗料最能適用於耐候鋼上，而磷酸鹽皮膜除於氯離子含量較高之臨海地區外亦能適用。塗裝上以使用無機鋅底漆+環氧樹脂中塗漆+聚氨基甲酇酯面漆效果較佳；同時於使用同一油漆系統下，耐候鋼之抗生銹性亦較碳鋼者為佳。

ABSTRACT

Weathering steels can be used by (1) bare base (2) rust stabilization and (3) painting. In order to understand the difference in atmospheric corrosion behaviour of weathering and carbon steels in these three conditions and to find more suitable rust stabilization treatment and painting system, in this study, long term exposure test of weathering and carbon steels under these

[†] 本文榮獲中華民國防蝕學會第一屆優良防蝕工程論文獎，並已發表於民國80年材料大氣腐蝕研討會。



魏豐義：中國鋼鐵公司鋼鋁研究發展處鋼鐵產品發展組組長。民國65年畢業於成功大學冶金及材料工程學系，67年畢業於同校之礦冶及材料科學研究所，69年進入中鋼服務，75年（1986）於英國曼徹斯特大學腐蝕和防治中心獲得博士學位。目前仍從事腐蝕和防治，鋼鋁材特性和製程之相關研究。



陳文源：柏林股份有限公司總經理，民國48年畢業於成功大學化學工程學系。目前從事油漆製造和防蝕工程等工作。

three conditions in three different environments in Taiwan has been performed. The results show that atmospheric corrosion resistance of weathering steel is superior to that of carbon steel, especially in steel containing high phosphorus or in coastal-industrial site, due to the formation of protective inner rust layer mainly being amorphous ferric oxyhydroxide on weathering steel. Urethane modified alkyd undercoat (BAS—60) and new ion-exchange coat can be used as rust stabilizers for weathering steels, while the phosphated treatment film also can be used except in the coastal environment. In painting, the paint system of inorganic zinc rich primer + epoxy based M.I.O. paint + polyurethane finish has better performance and the resistance of rusting of weathering steel is better than that of carbon steel after painting in the same paint system.

一、前　　言

對裸露的鋼結構物而言，大氣腐蝕通常是一嚴重的問題，因此常被施以被覆或塗漆來防止它。然而這總是費工、費錢的事，尤其在維護上。因此美國鋼鐵公司於1930年代即開發出耐候鋼^(1,2)，其含有Cu、Cr、Ni和P來促進保護性錆層的生成，以致廣為人所使用。

大部份商業化的耐候鋼被規範在ASTM A 588、A 242⁽³⁾和JIS G 3125⁽⁴⁾，然而他們各種商用名，如：Cor-Ten、River-Ten、Acr-Ten、Mayari R等已被廣為使用。耐候鋼基本上有加磷和不加磷兩種，磷對鋼材的韌性、焊接破裂敏感性和脆性均有不利的效應^(2,5)，因此加磷耐候鋼在以往使用之厚度均規定至16 m/m，可是由於製鋼技術的發展，已可生產厚板，並克服此些問題。磷能以固溶強化鋼材^(6,7)，已為人所熟知，另外它亦能增進抗大氣腐蝕性，如圖1所示⁽⁸⁾。

耐候鋼在生成保護性錆層之前，會有錆粉、浮錆和錆水等生成，以致污染環境，妨礙美觀，同時錆層若含有Cl⁻、SO₄⁻²等可

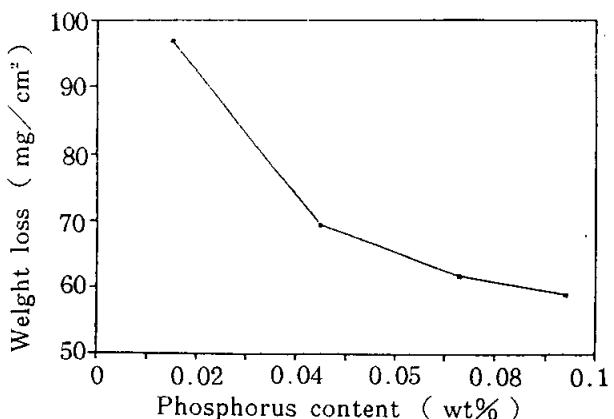


Fig. 1. Effect of phosphorus content on atmospheric corrosion rate of steel after 3 years' exposure test in China Steel Corp.

能影響其保護性，因此若於緻密錆層生成前塗上一層塗料，阻止SO₄⁻²、Cl⁻、Na⁺、Ca⁺²等直接與鋼材反應，而僅部份之H₂O、O₂能滲透過塗層與鋼材作用生成保護性的錆層，則可避免此些缺點，因此裸鋼使用前，先進行錆安定化處理於近幾年在日本逐漸被開發且大量使用⁽⁹⁾。

耐候鋼在使用上，有時為了變化其表面顏色，或作進一步的保護，而被施以塗裝，因此初期成本大幅提高，而其保護效果是否會比碳鋼為佳，是值得探討和瞭解的。

本研究基於台灣尚未有完整之大氣曝露試驗資料，以及上述之原因，因此分三大部分來進行試驗和分析。1. 裸鋼。研究碳鋼和有無添加磷之耐候鋼的抗大氣腐蝕性；並利用光學、電子光學及 X 光學技術來分析和觀察鈎的生成和元素的分佈。2. 鈎安定化處理。使用不同的處理劑並進行實地曝露試驗，以尋找合適的鈎安定化處理劑和方法。3. 塗漆。採用兩種不同塗裝系列，比較在不同地區效果之差異，並研究對耐候鋼和碳鋼之保護有何區別。

二、實驗過程

所有試驗鋼材均是產自中鋼商業化之熱軋鋼板或鋼片。表 1 所示為其化學成份和厚度。試片被切成兩種尺寸， $100 \times 150 \times$ 厚度

(mm^3) 和 $100 \times 200 \times 4 \text{ mm}^3$ ，前者為裸鋼所使用，後者為鈎安定化和上漆來使用。同時前者所有試片表面均經機器拋光至 600 號 SiC 砂紙，然後去脂、清洗和烘乾，接著進行打印編號、稱重和量尺寸，然後送去曝露。後者之一部份試片去脂、清洗、酸洗、清洗、稱重和量尺寸，再做磷酸鹽處理，另一部份試片則以噴砂、去脂、稱重和量尺寸，再進行上漆。

鈎安定化處理劑之主要成份如表 2 所示，乾膜的厚度則示於表 3 和表 4。油漆系統有兩大類，一為無機富鋅底漆 (Emercote Z-120 HB) + 環氧樹脂中塗漆 (Ar-910) + PU 面漆 (Emercote I-300)，另一為環氧樹脂富鋅底漆 (Z-500) + 環氧樹脂中塗漆 (Ar-910) + PVC 面漆 (Emercote U-400)

表 1 Thickness and chemical composition of steels

Grade	Element (Wt%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	Al
A 36	0.13	0.25	0.85	0.018	0.015	—	—	—	—	—	—
A 588	0.15	0.25	0.50	0.022	0.015	0.28	0.44	0.18	0.035	—	—
SS 41	0.13	0.19	0.81	0.015	0.008	0.063	0.021	0.049	—	0.024	—
Acr-Ten A	0.10	0.44	0.47	0.10	0.008	0.31	0.55	0.30	—	0.02	—
Thickness	A 36 and A 588: 12 mm, SS 41 and Acr-Ten A: 4 mm.										

表 2 Composition of paints for rust stabilizing treatment

Cationic type paint (Wt%)		Anionic type paint (Wt%)	BMU-605 (Wt%)	
acrylic resin	55	acrylic resin	90	moisture curing
Z-TiO	5.0	anionic type	10	urethane
MnO ₂	3.0	resin		thinner
NiO	1.0			
iron oxide	29.5			
phosphonic acid	1.0			
cationic type	5.0			
resin				
additive	0.5			

碳鋼和耐候鋼4~8年大氣曝露腐蝕行為研究

表2 Composition of paints for rust stabilizing treatment (之續)

BAS-60		Phosphating solution	New ionic type paint
urethane modified	(Wt%)	(g%)	cationic type paint: WA-30 hi-porous and weak alkaline
alkyd	30	chemicoat No.503 75	anionic type paint: WK-10 porous and weak acid
additive	2.5	catalyst 1	
pigment	20	water 950	
filler	30		
thinner	17.5		

表3 Painting systems and thickness of dry film in the first time test

Specimen Painting system number	Acr-Ten A			SS 41		
	Time interval	Paint	Thickness of dry film	Time	Paint	Thickness of dry film
A	10 days	Z-120 HB	70 μ m	10 days	Z-120 HB	50 μ m
	8 days	Ar-910	50 μ m	8 days	Ar-910	50 μ m
	3 days	I-300	30 μ m	3 days	I-300	30 μ m
		I-300	30 μ m		I-300	30 μ m
B	10 days	Z-500	50 μ m	10 days	Z-500	50 μ m
	8 days	Ar-910	50 μ m	8 days	Ar-910	40 μ m
	3 days	U-400	25 μ m	3 days	U-400	25 μ m
		U-400	25 μ m		U-400	25 μ m
C	BAS-60		60 μ m	BAS-60		50 μ m
D	BMU-605		25 μ m	BMU-605		15 μ m
E	11 days	Cationic type resin	40 μ m	11 days	Cationic type resin	40 μ m
		Anionic type resin	20 μ m		Anionic type resin	20 μ m

乾膜厚度和上漆間隔時間如表3所示。

依據ASTM G 50-76的規範，試驗片放置與地面成30°角，放置在高雄國立中山大學（臨海區）、中鋼公司（臨海工業區）和新竹國立清華大學（都市鄉村區）。試驗後

一些試片以10% HCl溶液+抑制劑來去除腐蝕生成物，然後清洗、吹乾，再稱重，計算腐蝕失重。其它試片則以各種電子光學、X光學等技術觀察和分析其表面、腐蝕生成物和試片橫截面。

表 4 Painting systems and thickness of dry film in the second time test

Specimen	Acr-Ten A	SS 41
Thickness of dry film Painting system		
Sandblasting - BMU-605	35~45 μm	50~60 μm
Sandblasting - New cationic and anionic type resin	40~50 μm	40~50 μm
Pickling + Phosphating + Acrylic	40~50 μm	40~50 μm

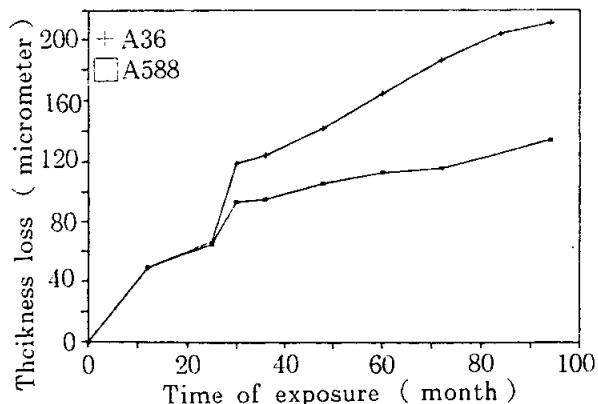


Fig. 2. Linear plot of the results of exposure test of A36 and A588 steels in China Steel Corp.

三、試驗結果和討論

(一) 裸 鋼

1. 腐蝕失重

許多研究者已經介紹和討論過三種計算腐蝕速率的方法⁽¹⁰⁻¹²⁾。第 1 種為在經一段試驗期間之整個腐蝕損失量，第 2 種為在某一時間間隔內，增加的腐蝕損失量，第 3 種為針對一腐蝕損失量，計算需曝露多久。最後這一種方法自從被 Townsend 和 Zoccola⁽¹²⁾提出後，已廣被人所採用，其是利用線性迴歸分析求得腐蝕損失量之對數和曝露時間的對數圖，其有良好之線性關係。

本研究所得之大氣曝露腐蝕結果，以線性來作圖，則如圖 2 至圖 6 所示，此每點之腐蝕量為二至三個試片之平均結果，且彼此間之差異均小於 3 %。由此結果可知鋼材之抗蝕力之順序為，Acr-Ten A > A 588 > A 36 ≈ SS 41。若將圖 2 至圖 6 的結果以對數圖，可得良好之線性關係，部份示於圖 7 和圖 8。此一關係可以下式表之，

$$\log C = \log A + B \log t \dots \dots \dots (1)$$

或

$$C = A t^B \dots \dots \dots (2)$$

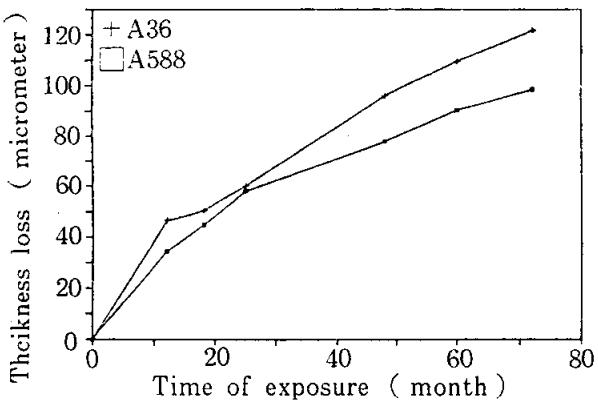


Fig. 3. Linear plot of the result of exposure test of A36 and A588 steels in National Sun Yat-Sen University.

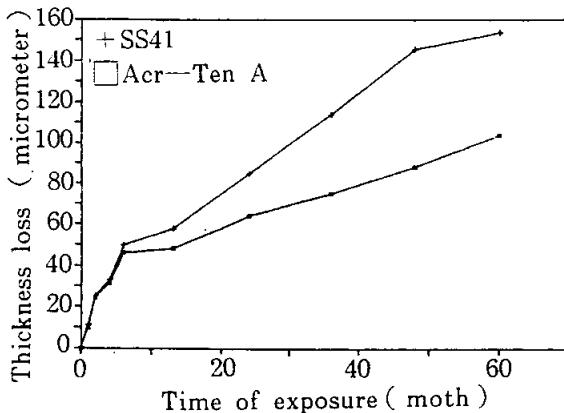


Fig. 4. Linear plot of the results of exposure test of Acr-Ten A and SS41 steels in National Tsing-Hua University.

碳鋼和耐候鋼4~8年大氣曝露腐蝕行為研究

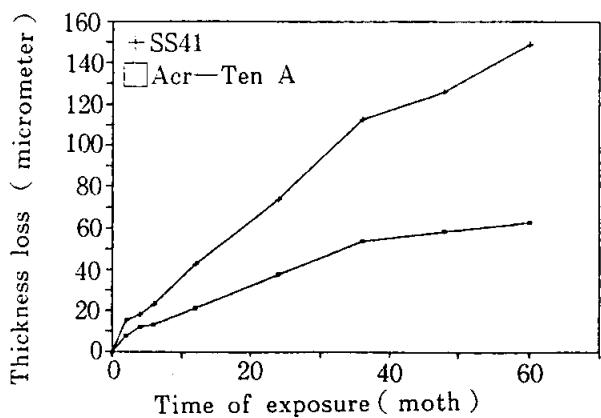


Fig. 5. Linear plot of the results of exposure test of Acr-Ten A and SS41 steels in China Steel Corp.

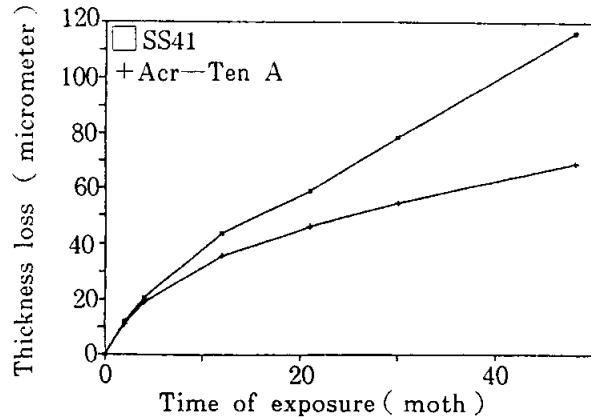


Fig. 6. Linear plot of the results of exposure test of Acr-Ten A and SS41 steels in National Sun Yat-Sen University.

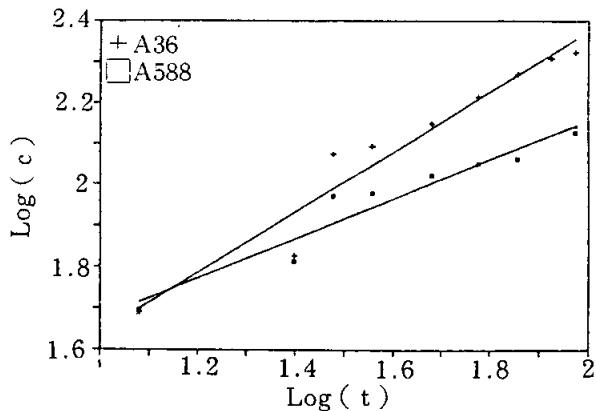


Fig. 7. Logarithmic plot of the results of exposure test of A36 and A588 steels in China Steel Corp.

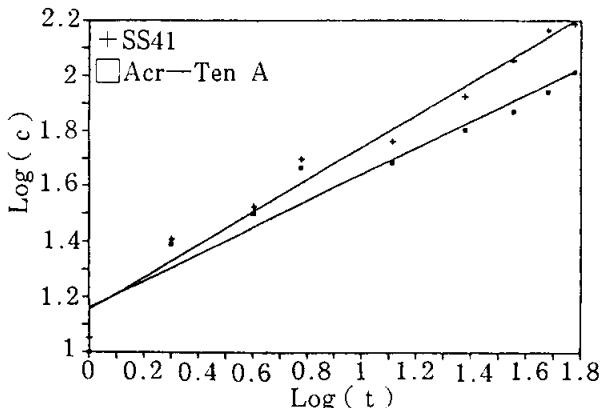


Fig. 8. Logarithmic plot of the results of exposure test of Acr-Ten A and SS41 steels in National Tsing-Hua University.

表 5 Regression coefficients of atmospheric corrosion data

Test Site	A 36			A 588			SS 41			Acr-Ten A		
	A	B	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²	A	B	R ²
China Steel Corp.	8.05	0.745	0.943	15.66	0.483	0.930	7.75	0.724	0.982	4.79	0.654	0.990
Sun Yat-Sen U.	10.25	0.575	0.979	8.57	0.575	0.993	7.73	0.689	0.997	8.18	0.564	0.991
Tsing-Hua U.	—	—	—	—	—	—	14.28	0.587	0.975	14.51	0.482	0.932

C 為腐蝕損失量 (μm)，t 是曝露時間 (月)，A 和 B 是常數。

A、B 和迴歸相關係數的平方 (R^2) 列於表 5， R^2 均大於 93% 以上，可見線性迴

歸相當好，由(2)式可知，當 t 為 1 時，A 就是腐蝕損失量，因此 A 可被用來衡量初期之抗蝕性，表 5 顯示 A 值對不同之鋼材無一定的不同，倒是在都市鄉村區，A 值較高

，此可能是因較多雨、多風之故。另一方面，指數 B 值則反應腐蝕失重對時間的改變，假使在曝露中表面沒有什麼改變，則 B 值將為 1；當黏附錆層在表面生成，作為一擴散的障礙層時，B 值將等於 $\frac{1}{2}$ ，而在本試驗中，耐候鋼的 B 值均近於此值。

Townsend 和 Zoccola⁽¹²⁾已經利用(2)式，以 $250 \mu\text{m}$ 的損失量 (C^*) 來計算所需曝露的時間 (t^*)，以比較鋼材間之抗蝕能力，

$$t^* = \left[\frac{C^*}{A} \right]^{1/B}$$

其中 A、B 值即為反應式中的常數。利用表 2 之 A、B 值，可求出達到 $250 \mu\text{m}$ 腐蝕損失所需的時間和彼此的比值，如表 6 所示。此顯示出耐候鋼具有較佳的抗大氣腐蝕性，特別是含高磷者。然而此結果卻未能達到 ASTM A 242-87 規格之要求，該規格是含磷耐候鋼之抗大氣腐蝕性必須為加銅碳鋼的 2 倍，為一般碳鋼的 4 倍，可是如何比較抗此腐蝕性，並未加以規定。然而 Shastry 等人⁽¹³⁾證實耐候鋼之耐蝕性遠優於碳鋼。這顯示台灣之環境比美國的要嚴苛，雖然在其報告中未詳細述明試驗地點之環境狀況。由此亦得知不可隨便引用別人之資料。另外在表 6 明顯地可看出 A 588 在海岸區只有比 A 36 好些，此說明了不含磷的耐候鋼不適合裸露的用於臨海區，但於工業區，則有良好的抗蝕

效果。

2. 錆的組成和結構

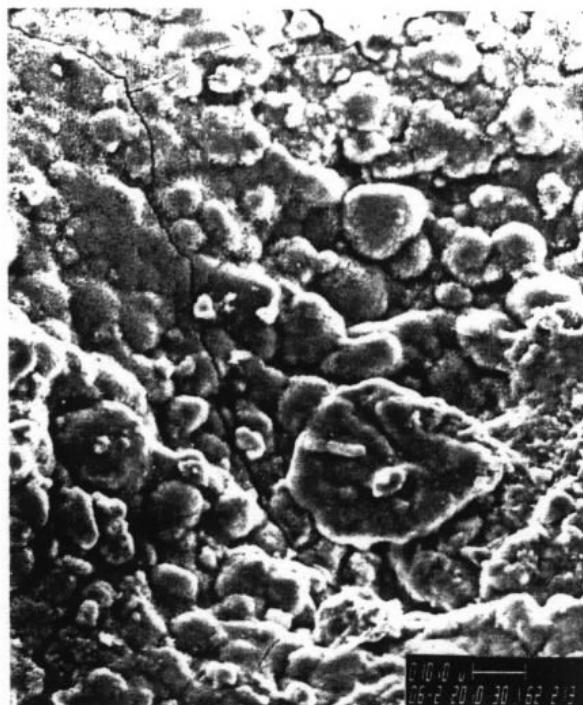
耐候鋼的表面是會從最初的紅色逐漸變成紅棕，最後為暗紅色，而當暗紅色出現時，腐蝕速率就會急速下降，這是因具保護性之穩定錆層已生成，而此種顏色的改變的程度和環境有關。在碳鋼的表面則總是為紅色或紅棕色。另外在試片的正面和反面也有不同，反面的錆層較厚、粗和紅。

曝露後，所有碳鋼表面錆經分析均含有不連續、多孔球狀的錆（圖 9(a)）；且在高倍率下，大部份錆為片狀的結構，其通常含有硫（圖 9(b)）。相類似的結果亦為 Fyfe 等人⁽¹⁴⁾在 Fe-0.03% S 和 Fe-0.07% Cu 曝露 48 星期後觀察到。在含低磷的 A 588，這種多孔錆結構於某些部位亦存在，如圖 10 所示。含高磷的 Acr-Ten A 在多風的都市鄉村和臨海工業地區，均無此類似的錆結構。在臨海工業區，Acr-Ten A 上生成的錆較碳鋼者細，如圖 11 和圖 9(a) 所示。碳鋼上的錆粒看來是結合在一起的，但因大的錆粒和大片的錆反而較容易剝離，因此碳鋼的表面較耐候鋼者粗，特別於較長時間曝露後。在臨海區，亦有相似的結果，但有更多的球狀錆在表面生成。EDAX 分析顯示此球狀錆主要含有鐵，以及一些矽、硫、鋁和微量的鉀。在多風的都市鄉村區，Acr-Ten A 之錆非常緻密但存有少數裂縫，同時存有含硫之小球狀錆（圖 12(a)）。在碳鋼的表面生成

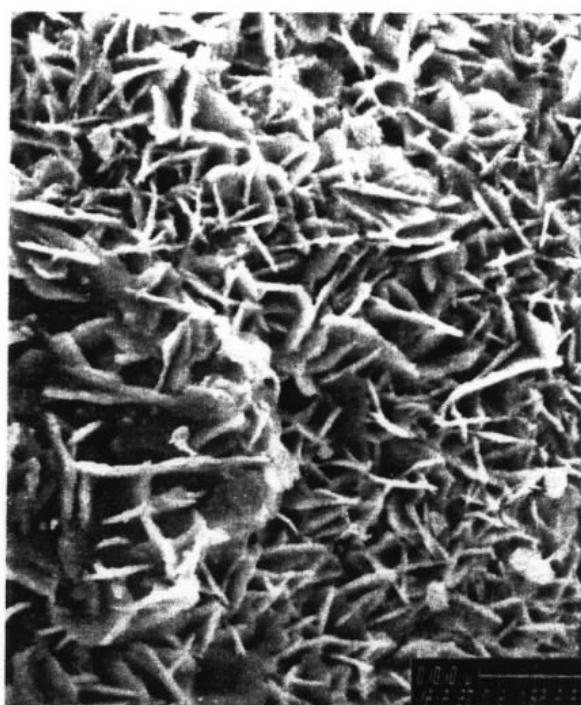
表 6 Time required to reach a thickness loss of $250 \mu\text{m}$

Test Site	Time, Months				Ratio of times	
	A 36	A 588	SS 41	Acr-Ten A	A 588 A 36	Acr-Ten A SS 41
China Steel Corp.	101	310	125	460	3.07	3.68
Sun Yat-Sen U.	259	353	155	430	1.26	2.77
Tsing-Hua U.	—	—	131	367	—	2.87

碳鋼和耐候鋼4～8年大氣曝露腐蝕行為研究



(a)



(b)

Fig. 9. Micrographs of the front rust surface on SS41 steel exposed for 5 years in China Steel Corp. (a) General view, (b) Detailed plate-like rust structure.

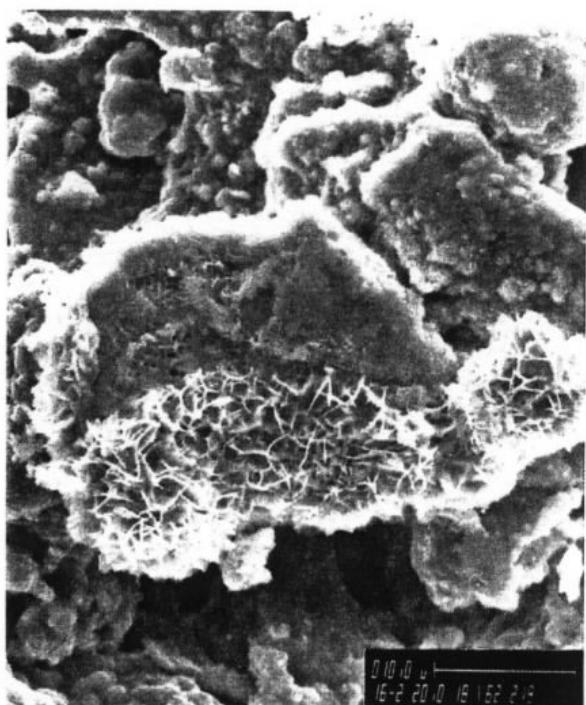


Fig. 10. Micrograph of the front rust surface on A588 steel exposed for 8 years in China Steel Corp.

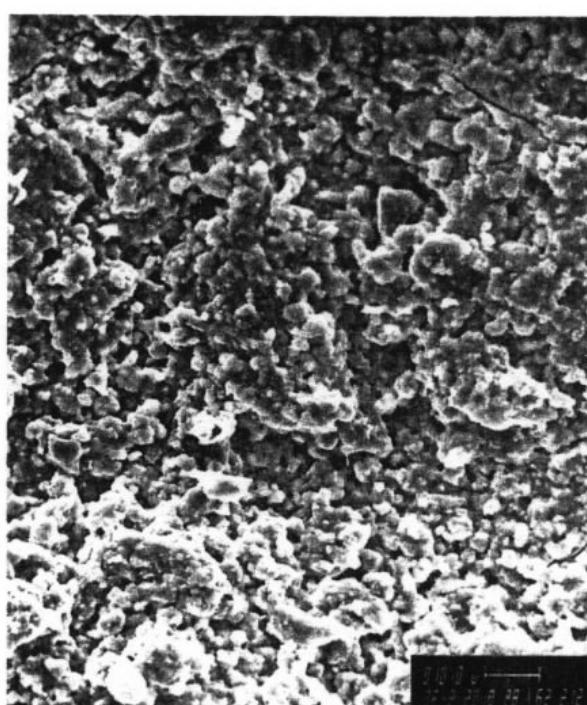


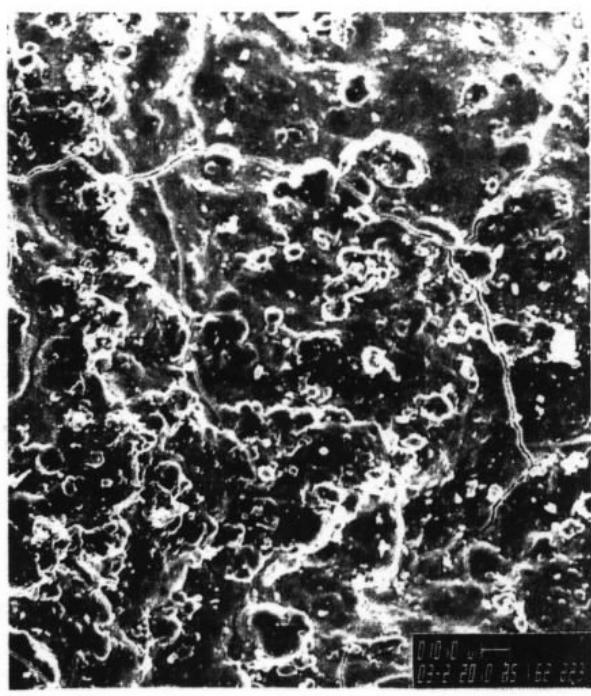
Fig. 11. Micrograph of the front rust surface on Acr-Ten A steel exposed for 5 years in China Steel Corp.

的锈则容易剥落，且為多孔狀（圖12(b)）。

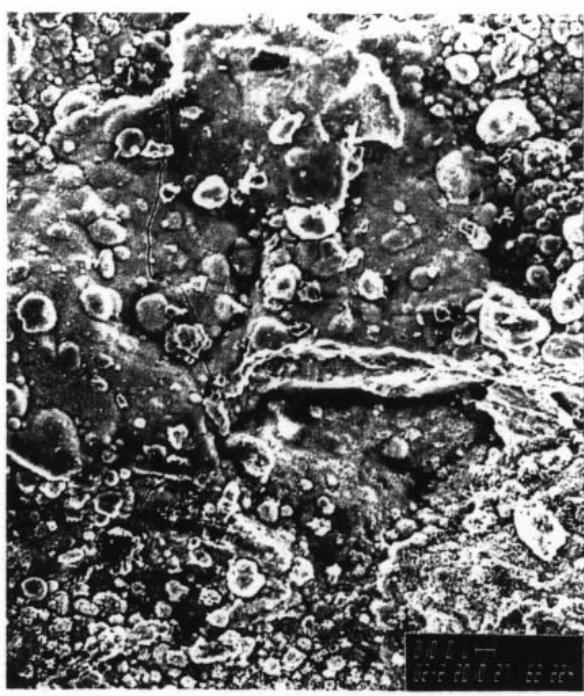
在耐候鋼的橫截面可觀察到緻密且幾乎沒裂縫之典型內層锈，而外層則常是不連續或疏鬆的锈（圖13(a)）。然而在碳鋼，大部份的锈層含有孔洞或從锈層外部穿透至底材之裂縫，如圖13(b)所示。

利用 X-ray 繞射儀和紅外線分光分析儀分析锈的組成，發現耐候鋼之內層锈含有

非晶質鐵氫氧化物和一些 α -FeOOH、 α -FeOOH、 δ -FeOOH，而外層锈含 γ -FeOOH、 α -FeOOH和一些 Fe_3O_4 、 α - Fe_2O_3 。在曝露的初期， γ -FeOOH 存在的量比 α -FeOOH 多，但逐漸地變成 α -FeOOH 量增多，當然轉變的程度與環境有關。經 4 ～ 5 年的曝露，在臨海工業區，晶質狀之腐蝕生成物的量依序為 α -FeOOH、 γ -FeOOH

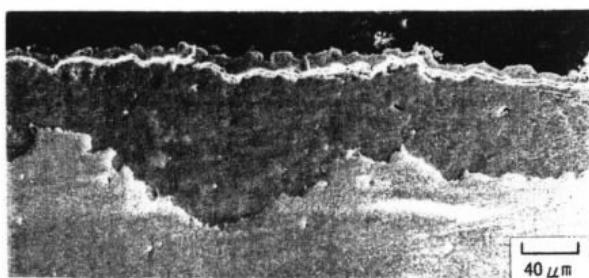


(a)

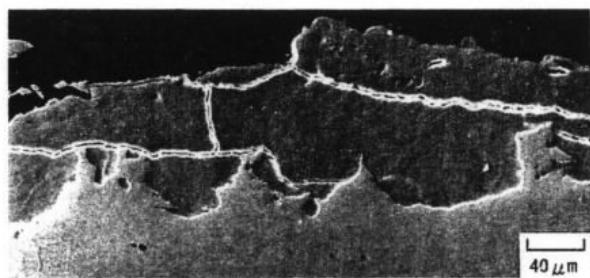


(b)

Fig. 12. Micrographs of the front rust surface on (a) Acr-Ten A, (b) SS41 steels exposed for 4 years in Tsing-Hua University



(a)



(b)

Fig. 13. Microstructure of the front rust layers on (a) Acr-Ten A (b) SS41 steels exposed for 4 years in Tsing-Hua University.

和其它；而在臨海區， γ -FeOOH的量幾乎等於 α -FeOOH者。在多風的都市鄉村區， γ -FeOOH的量比 α -FeOOH者多。在碳鋼方面，主要之晶質鏽為 γ -FeOOH、 α -FeOOH、 Fe_3O_4 和一些 α - Fe_2O_3 。

利用EPMA分析鏽層截面，於臨海工業區，3年曝露後，鉻、銅和硫在含低磷A588的內層鏽會有些富集的現象；而於曝露8年後，鉻的富集變得更為明顯。在臨海區，此現象不明顯，但試片背面的內層鏽會含有氯、鈣和硫。含高磷的Acr-Ten A，在三個地區曝露3年後，內層鏽通常含有鉻、硫和一些矽；在臨海工業區曝露5年，鉻和磷則明顯富集在內層鏽，如圖14所示。在臨海區，鉻、氯、磷和銅會富集在內層鏽，尤其是鉻和氯；在多風都市鄉村內，內層鏽則富含鉻，並含有一些磷、硫和矽。

3. 討論

由本研究顯示在曝露初期， γ -FeOOH是主要的腐蝕生成物，但在3年後，於較乾且含一些 SO_2 之臨海工業區， α -FeOOH變成是主要之腐蝕產物，類似之結果也被Sugawara等人⁽¹⁵⁾觀察到。依據Misawa等人⁽¹⁶⁾的說法，最初的腐蝕產物是 $FeOH^+$ ，接著被氧化和析出成 γ -FeOOH。二氧化硫(SO_2)在空氣中會降低水中的pH值，浸濕鏽層膜和溶解 γ -FeOOH，再析出非晶質鐵氫氧化物，最後於乾燥時可經固態轉換為 α -FeOOH，而此些現象和效應在潮濕或多雨的天候則會降低。Kaneko和Inouye⁽¹⁷⁾指出， γ -FeOOH於 SO_2 化學吸附時，導電性要比 α -FeOOH者增加很多。此可能是在多風都市鄉村區，耐候鋼抗蝕性較差的原因；另外鏽皮的外觀亦顯現多風多雨之平滑表面的特性。

在臨海區，氯的含量要比其它地區高，

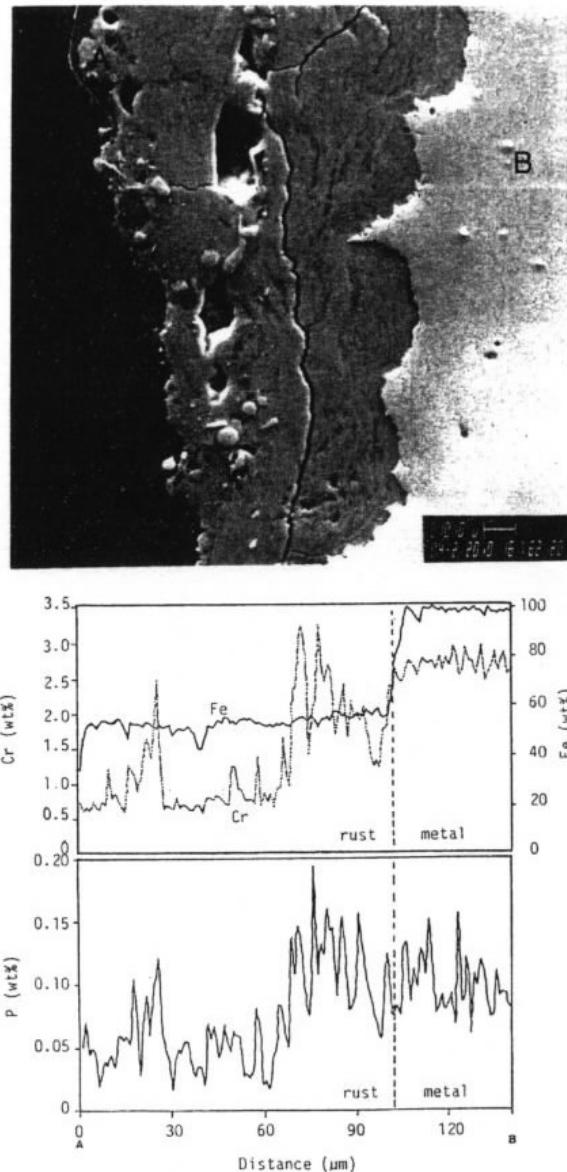


Fig. 14. Concentration profiles of the alloying elements in the front rust layer on Acr-Ten A steel exposed for 5 years in Chins Steel Corp.

但因較低的 SO_2 含量和相對濕度，因此侵蝕性較低。然而增加磷，降低碳、錳含量(Acr-Ten A)可大幅提升耐候鋼之抗蝕性。Misawa⁽¹⁸⁾認為溶解之P、Cu、Cr離子可增進均勻非晶質鐵氫氧化物的生成，以保護底材。Sakashita和Sato^(19,20)也發現

PO_4^{3-} 於中性氯化物溶液可改變三價鐵氧化膜從陰離子選擇性變為陽離子選擇性，以阻止大氣腐蝕之陽極電流的產生。另外 Kihira 等人⁽²¹⁾以雷射拉曼光譜儀分析耐候鋼內層鈹存有 FePO_4 ；Wei⁽²²⁾亦發現該內層鈹有磷和鉻同時富化之現象；且隨著鋼材磷含量的增加，磷富化的區域變得較廣或較為明顯。

多孔性的鈹結構（圖 9(a)）會在所有碳鋼上生成，而在耐候鋼只有片狀者在局部區域內生成（圖 9(b)、(c)），但對 Acr-Ten A 而言，只有於臨海區有此發現。Meybaum 和 Ayllon⁽²³⁾將含磷之 A 242 type 1 鋼材置於半工業區曝露 22 個月亦有如同圖 9(a)的發現。Kassim 等人⁽²⁴⁾指出在含有 Cl^- 環境，最初之腐蝕產物是板條狀的 $\gamma\text{-FeOOH}$ ，它是由 $\text{Fe(OH}^+\text{)}$ 急速氧化和時效 (Aging) 生成的。依據 Dias 等人⁽²⁵⁾的觀察，在濕的熱帶性氣候中，鋼材生成的 $\gamma\text{-FeOOH}$ 是片狀的。另外 Smith 和 McEnaney⁽²⁶⁾觀察到在灰鑄鐵的表面會有針片狀 $\gamma\text{-FeOOH}$ 生成。因此本研究發現之多孔腐蝕生成物似乎應是 $\gamma\text{-FeOOH}$ ，其導致增加腐蝕損失，而很難於耐候鋼中生成，尤其是含高磷者 (Acr-Ten A)，但氯離子有促進其生成的作用。耐候鋼生成之保護性鈹層可能會阻擋 Fe^{+2} 或 FeOH^+ 離子向外擴散生成 $\gamma\text{-FeOOH}$ 的作用。

二) 鈹安定化處理

1. 中鋼公司（臨海工業區）

使用 BMU 605 者，在 1.5 年後，均已生鈹，至 3.5 年時，此一塗層均已剝落，而在 SS 41 上生成的鈹比 Acr-Ten A 者粗糙。上 BAS-60 之試片，在 2 年後，尚未生鈹，僅有一些污點存於表面上，但在 3.5 年後，SS 41 的表面已開始生鈹。對塗離子型樹脂者，於 2 年後，即可發現局部鬆脫鈹在 SS 41 試片上，小且緻密的鈹亦於 Acr-Ten A 上生

成，至 3.5 年，這變得更為嚴重。

使用新離子型塗料，在 3 年後，試片表面仍未生鈹，塗膜仍完好。磷酸鹽處理之試片，已經有一些點鈹生成，而由橫截面觀察，可發現在膜內存有裂縫，因此相信這些鐵離子是經裂縫至裡面生成點鈹。

2. 國立中山大學（臨海區）

塗 BMU 605 之試片，其狀況和在中鋼者相近，經 3.5 年曝露後，大顆粒的鈹已在 SS 41 上生成，Acr-Ten A 者亦已生鈹。BAS-60 者亦均已局部生鈹，只是 SS 41 者較嚴重。上離子型塗料之試片，生鈹的狀況較均勻。磷酸鹽處理之試片，在 1.5 年即已在大部份地區逐漸有輕微鈹點出現。然而新離子型樹脂者則產生較局部性的鈹蝕；在 3 年後，即發現此一局部性鈹蝕嚴重。

3. 國立清華大學（多風都市鄉村區）

在曝露兩年後，BMU-605 試片均已均勻的生鈹，SS 41 者鈹粒較粗大；3.5 年後，鈹粒和塗層已產生局部剝離的現象。塗 BAS-60 之試片，鈹是局部的逐漸產生，至 3.5 年，在 Acr-Ten A 上，產生之鈹點仍稀少而輕微，由橫截面觀察，顯示鈹點位置是因有裂縫於膜內造成的，且於底材和膜的界面已逐漸生成緻密的鈹，如圖 15(a) 所示。對上離子型樹脂之試片，於 2 年後，鈹層即已近於佈滿整個試片。上新離子型樹脂之 Acr-Ten A，鈹是均勻的在試片表面生成，此是鐵離子經塗膜之裂縫向外擴散生成，由 3 年後之橫截面亦可發現腐蝕生成物在此些裂縫和膜與底材界面生成，如圖 15(b) 所示。對磷酸鹽處理的 Acr-Ten A 而言，在 3 年試驗後，可發現細小的鈹逐漸分佈在表面上，其橫截面金相亦顯示如同上者之狀況，黏附的鈹層已在膜和底材界面生成（圖 15(c)）。

4. 討論

由以上結果顯示 (1) BMU-605 是不適用

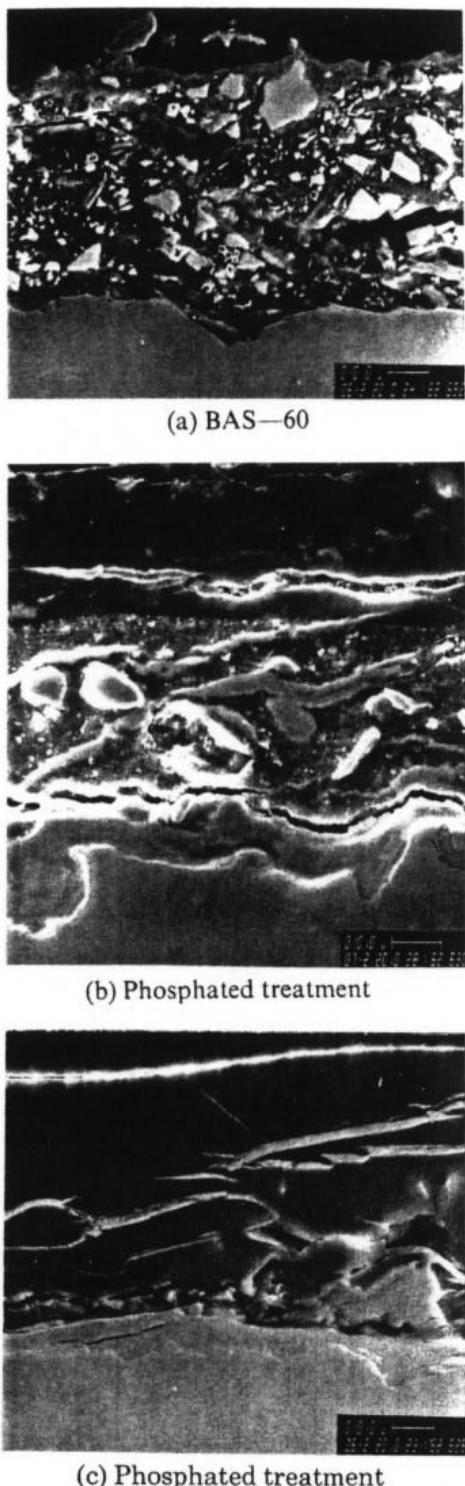


Fig. 15. Cross sections of Acr-Ten A steel painted or treated by rust stabilizers after exposure for three years in National Ching Hua University, Hsinchu.

的(2)BAS-60在所有地區均適用，其在塗膜和底材界面生成之黏附性銹層是氧或水向裡面擴散和滲透生成的。(3)離子型樹脂的顆粒很大，超過 $50\mu\text{m}$ ，其試片生成的銹均勻，但鬆脫，因此不適宜採用。(4)新離子型樹脂，其陽離子和陰離子型者之粒徑均分別約為 2.1 和 $2.5\mu\text{m}$ ，因此試片生銹狀況較離子型者慢且輕微，以致在3年曝露後，於中鋼和清大，都會於膜和底材界面生成緻密的銹層，因此可被用為銹安定化處理劑；但於臨海區（中山大學），可能因鹽粒子之沈積，產生嚴重之局部腐蝕現象，故不適用。(5)磷酸鹽處理生成之膜，具有銹安定化處理之功效。

(三) 塗漆

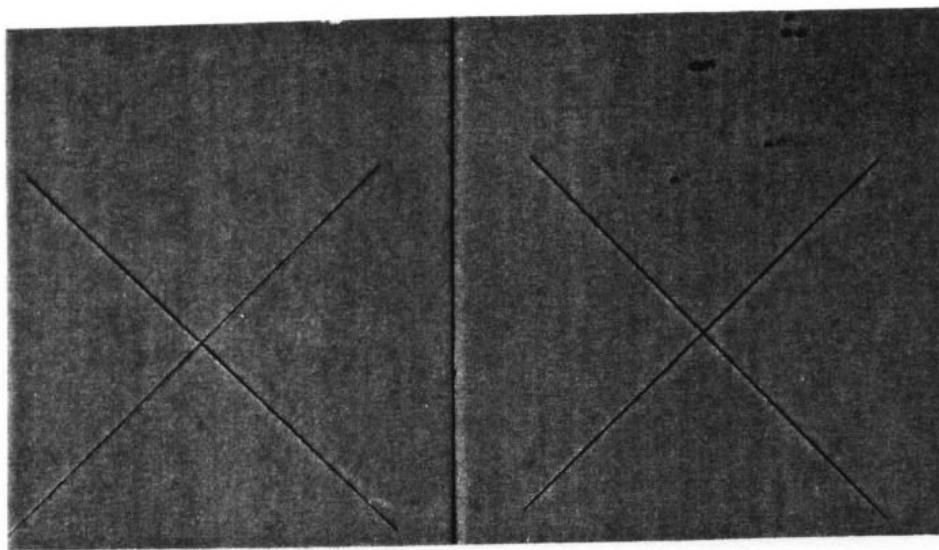
在三個地區，經4年3個月之試驗結果顯示塗環氧樹脂富鋅底漆和PVC面漆者較使用無機鋅底漆和PU面漆者為差，尤其是在臨海地區。圖16顯示了前者在臨海工業區和臨海區試驗後之表面外觀，已經有輕微銹點在SS 41碳鋼漆膜上產生，而Acr-Ten A者尚未發生。由此亦可發現上漆後，高耐候鋼之抗生銹性仍較碳鋼者佳，此現象在多風都市鄉村區亦同。同時對上無機鋅底漆和PU面漆者亦有相同之結果，只是迄今之差異較小。

四、結論

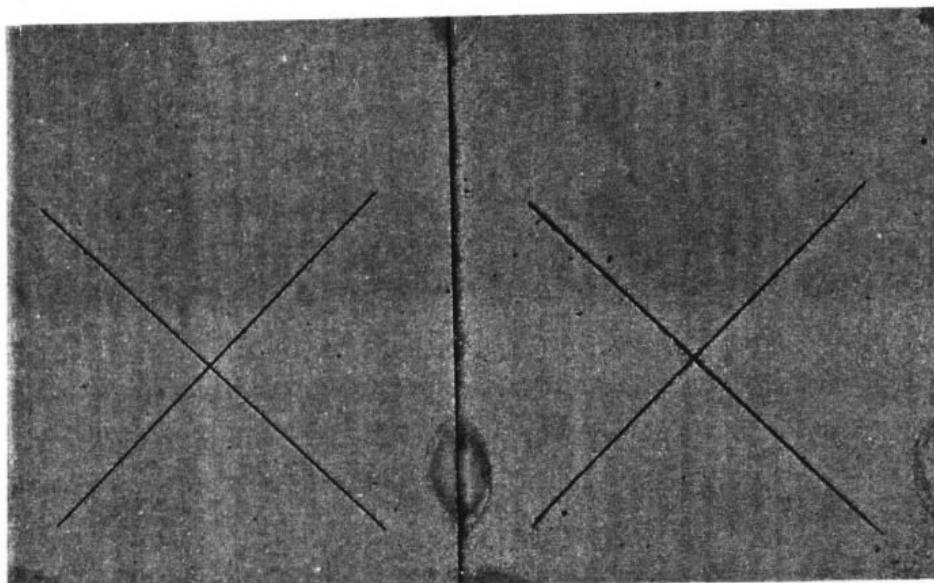
經由上述之分析和觀察，可得下列之結論：

(一) 裸鋼

1. 碳鋼和耐候鋼在三個不同環境的腐蝕行為能藉迴歸分析腐蝕數據的對數值，而以指數的動力學方程式來表之。
2. 鋼材之抗大氣腐蝕能力雖會因環境的不同而改變，但其順序均為Acr-Ten A>A 588>A 36≈SS 41。
3. 耐候鋼對碳鋼的大氣腐蝕速率的比和環境



Acr-Ten A SS41
National Sun Yat-Sen University



Acr-Ten A SS41
(China Steel Corporation)

Fig. 16. Apperance of SS41 and Acr-Ten A painted by Z-500+Ar-910+Emercote U-400 after exposure for 4 years and 3 months.

、試驗期間和計算方法有關，然而本研究結果顯示在台灣環境通常不能滿足ASTM A 242-87之規格的要求。

4. 耐候鋼通常會生成兩層錆層，內層錆緻密，近乎沒有裂縫，主要為非晶質鐵氧氫氧化鐵。

化物，同時富含鉻、銅或磷，其在保護底材上扮演一主要的角色。

(二) 錫安定化處理

- 1.BMU-605和離子型樹脂塗料均不適作為
錫安定化處理劑。

碳鋼和耐候鋼4～8年大氣曝露腐蝕行為研究

2. 新離子型樹脂塗料除於海鹽粒子濃度高之臨海區不適用外，於臨海工業區和多風之都市鄉村區均可作為錆安定化處理劑。
3. BAS-60和磷酸鹽處理膜均可作為錆安定化處理劑。

(三) 塗漆

1. 上漆後，耐候鋼仍較碳鋼有較佳之抗生錆性。
2. 使用無機鋅底漆+環氧樹脂中塗漆+PU面漆之防錆性要比環氧樹脂富鋅底漆+環氧樹脂中塗裝+PVC面漆者為佳。

參考資料

1. J.C. Hudson and J.F. Stanners: *J. Iron & Steel Inst.*, 1955, 180 (3) 271—284.
2. C.P. Larrabee and S.D. Coburn: *Proc. of 1st International Congress on Metallic Corrosion*, Butterworths, London, 1962, 276—285.
3. ASTM Annual Standard Handbook, 1987, Vol. 01.03.
4. JIS Handbook - Ferrous Materials and Metallurgy, 1989.
5. F. Matsuda: "Welding Metallurgy", 4th Edition, 107; 1975, Tokyo, Nikan Industry Publishers, (in Japanese).
6. F.B. Pickering: "Physical Metallurgy and the Design of Steels", 91; 1978, London, Applied Science Publishers.
7. K. Monma: "Material Science of Steel", 3rd Edition, 107; 1983, Tokyo, Jikou Publishers, (in Japanese).
8. C.R. Chen and F.I. Wei: *Proc. of Symposium on Steel Production Technology Nov. 6—9, 1987*, Taipei, Vol.2, 3D-12—1—3D-12—9.
9. 伊藤伍郎 et. al.: *J.S. S.C.*, 1981, 178, (17), 6.
10. P. Albercht, A.H. Naccmi; "Performance of Weathering Steel in Bridges", National Cooperative Highway Research Program Report
- 272, July 1984, 65.
11. M.E. Komp: *Material Performance*, July 1987, 26, 42—44.
12. H.E. Townsend and J.C. Zoccola: *Proc. of 9th Congress on Metallic Corrosion*, June, 3—7, 1984, Toronto, Vol.3, 216—219.
13. C.R. Shastry, J.J. Friel and H.E. Townsend: "Degradation of Metals in the Atmosphere", (Ed. S.W. Dean and E.C. Rhea), *ASTM STP 965*, 1987, 5—15.
14. D. Fyfe: C.E.A. Shanahan and L.L. Shieh: *Corrosion Science*, 1970, 10, 817—830.
15. H. Sugawara and S. Shimodaira: *J. Japan Inst. Metals*, 1965, 29, 1210.
16. T. Misawa, K. Asami, K. Hashimoto and S. Shimodaira: *Corrosion Science*, 1974, 14, 279—289.
17. K. Kaneko and K. Inouye: *Ibid.*, 1981, 21, 639—646.
18. T. Misawa, T. Kyuno, W. Suetaka and S. Shimodaira: *ibid.*, 1971, 11, 35—48.
19. Y. Yomura, M. Sakashita and N. Sato: *Boshoku Gijutsu*, 1979, 28, (2), 64—71.
20. M. Sakashita and N. Sato: *Corrosion*, 1979, 35, (8), 351—355.
21. H. Kihira; S. Ito and T. Murata: *Corrosion Science*, 1991, 31, 383—388.
22. F.I. Wei, S.R. Chen and H.Y. Liou: *Proc. of 35th SEAISI Conference*, May 20—22, 1991, Wollongong, Australia, Vol. q, 29-1 ~ 29-16
23. Blanca R. de Meybawn and Eduardo S. Ayllon: *ibid.*, 1980, 36, (7), 345—347.
24. J. Kassim, T. Baird and J.R. Fryer: *Corrosion Science*, 1982, 22, 147—158.
25. C. Haces Dias, F. Corvo Peres, A. Peres Reyes, and J. Mazorra Alvaras: *Zashchita Metallov*, 1982, 18, (4), 589—594.
26. D.C. Smith and B. McEnaney: *Corrosion Science*, 1979, 19, 379—394.