

明日之星 鐵素體不銹鋼 S-44660

作者：林海瑞 退休副廠長 2014.10.10

太原維太新材科技公司 台灣區代表

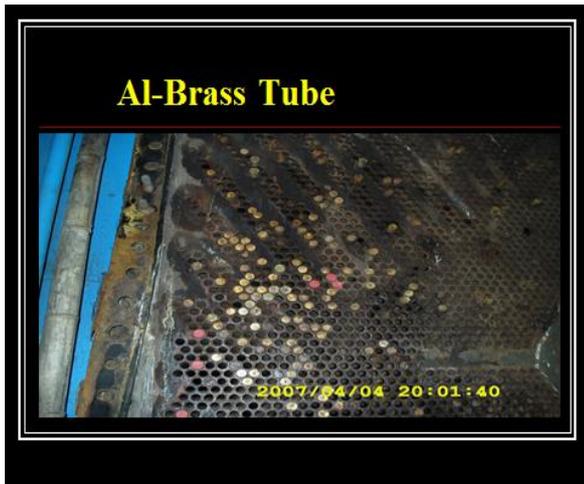
e-mail: henrylin6666@yahoo.com.tw

前言：

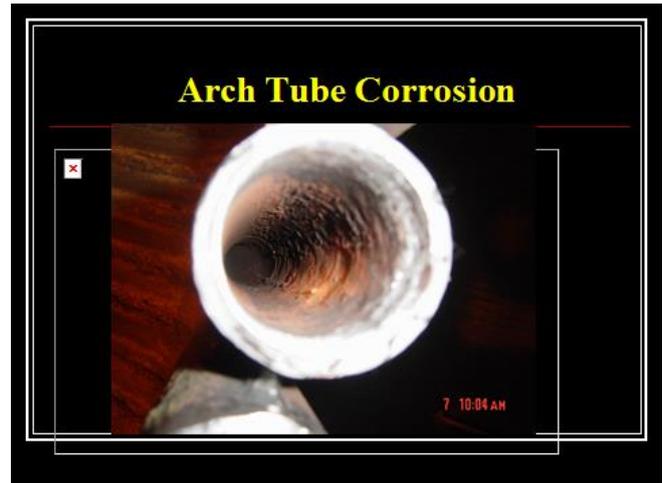
座落於南台灣高雄港二港口的大林發電廠，創立于 1969 年 10 月 15 日，它擁有六部傳統火力機組，分別燃用煤、油、天然氣不同燃料。其中燒煤的一·二號 300MW 機組，歷經 43 年發電貢獻後，於 2012 年 10 月份正式功成身退。退休時其機組效率只比設計值低 0.96%，又因未裝 FGD 每度電發電成本僅台幣 1.9 元，可以說是台灣電力史上火力機組最有效率最賺錢的二部搖錢樹，它的屆齡退休可說完美無憾！。

冷凝器管滄桑史

該二部汽輪發電機的冷凝器，管材是採用鋁黃銅管和 70/30 銅鎳管，而它的冷卻水都抽自高雄港的海水，該海水水質隨著早期的魚塢地、愛河上游生活廢水、雨季雨水泛濫沖刷周邊工業區污水溝，以及一·二號機早期清洗空氣預熱器的廢海水迴流港裡，使得該冷凝器管遭受到不同類型的污染腐蝕。包括：海生物附著腐蝕、污泥附著腐蝕、流砂侵蝕、硫化物腐蝕以及冷凝管佈置不良引發的氨蝕等等不一而足。其銅管腐蝕狀況如同下面照片 1；而海水洩漏也會造成爐管腐蝕如照片 2 和葉片斷裂如照片 3。



照片 1：銅管腐蝕狀況



照片 2：爐堂拱型管因海水洩漏腐蝕



照片 3：汽機葉片因海水洩漏腐蝕斷裂

首度引進鐵素體不銹鋼 S-44660

筆者 1982 年初從鍋爐迴轉機股長升任汽機經理，當時正逢進水口為降低港底低溫取水增設 SKIMMER，因而擾亂港底污泥造成運轉中的冷凝器管大量堵塞，真空度上昇，被迫降載清洗。當時的五部機冷凝器水箱(六號機 1994 設立)曾經一天同時要洗上三·四個水箱內銅管，這些污泥的污染也升高了冷凝器破

管率，經常造成機組被迫降載查漏，對當年吃緊的電力可說是火上添油，因而受到總公司極度的關切。同年總公司就邀請了日本神戶鋼鐵鈦管始祖伊騰博士來大林安裝乙批鈦管、鋁黃銅管和 70/30 銅鎳管做實驗比較，並打算用鈦管來解決破管問題。二年後偶然機會得知美國 TREND TUBE 公司(2005 被普利茅斯購併)，開發出鐵素體不銹鋼 Sea-Cure S-44660，據文章刊載其性能比美鈦管但價格較為便宜，乃透過台灣代理商免費引進 30 支。其中 15 支被安裝於#4B 水箱內做測試。三年後和鈦管等一併抽出比較，發現鈦管管頭有氫脆化和變型，而鋁黃銅和銅鎳管則有不同程度的腐蝕和結垢熱傳導衰減，唯獨 S-44660 完美無缺。當庫存銅管用罄後，大林一、二號機冷凝器空氣區下方開始裝設了不同數量的 S-44660 管。

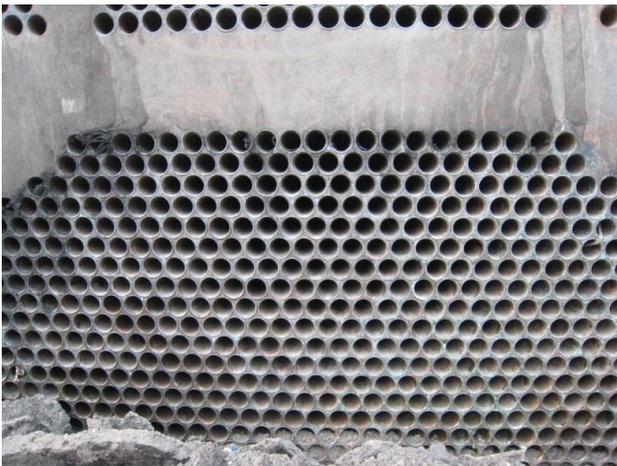
另在陰極防蝕方面，台電電力研究所開發的電極棒鈦鍍鈦鉍鉍釘，壽命至少 10 年以上，而且電位控制精準也發揮了防蝕功能。大林無論選管、防蝕、自動清洗或 Debris Filter 都有優異的表現。

歷史見證

為見證 1992 年發表的論文「大林一·二號機冷凝器銅管腐蝕研究」和 1997 年「大林一·二號機冷凝器銅管氨腐蝕研究」以及嗣後陸陸續續在大林一至五號機冷凝器水箱內所裝設的 S-44660 不銹鋼管的使用壽命，2012 年大林一·二號機退休停用時，筆者特地回去現場了解並拍照存證，所見證到的結果是：令人滿意和欣慰的(如照片 4、.5)。同時也從運轉股提供的七月份運轉報表中：真空度#1

機 56mmHg 和#2 機 60mmHg(設計值是 45.72mmHg abs)印證, 老舊冷凝器並不是只有一年破漏幾支問題, 那#1 機 11mm 和#2 機 15mm 長年真空度的損失, 也是不少耗煤熱損和鈔票呢!

下圖為大林 #1 機 實用二十年見證:



照片 4: UNIT#1 S-44660 AFTER 20 Y. R

Operation



照片 5: UNIT#4B S-44660 after 25 Y.R

Operation

經典冷凝器、海水淡化和冷凍機之設計

綜合大林一、二號機冷凝器歷經海水環境變遷和退休後東南亞見聞經驗, 筆者認為經典冷凝器、海水淡化和冷凍機之的設計參數標準綜合如下列:

一、 經典冷凝器之設計 (舊標準)

- A. 冷卻水: 海水 CL- 20,000 PPb。
- B. 管材: 超級鐵素體不銹鋼 UNS-S-44660。
- C. 管板: MUNTS 或 Naval Brass。

- D. 水箱：低碳鋼板襯橡膠。
- E. 陰極防蝕：自動化陰極防蝕。
- F. 清洗系統：碎屑過濾器和海綿球清洗系統

二、經典冷凝器之設計 (新標準)

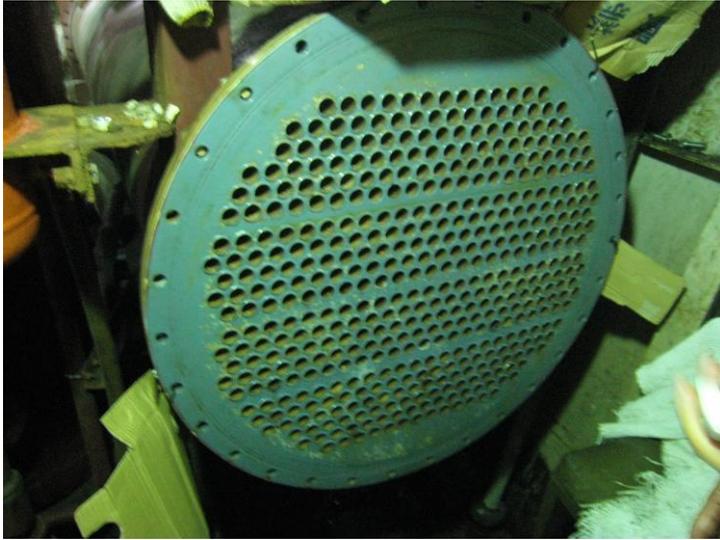
- A. 冷卻水：海水 CL- 20,000 PPb。
- B. 管材：超級鐵素體不銹鋼 UNS-S-44660。
- C. 管板：鋼板鍍 5 mm 陶瓷, 直接擴管。
- D. 水箱：低碳鋼板襯橡膠。
- E. 陰極防蝕：自動化陰極防蝕 (只保護水箱，容量可減弱)。
- F. 清洗系統：碎屑過濾器和海綿球清洗系統

所謂經典冷凝器設計是指：價格低廉、壽命 40 年、零破管率、維護簡單、不需年年 NDE 檢測、不會發生腐蝕；更不用擔心爐管和汽輪機葉片因海水洩漏造成腐蝕，尤其是超臨界鍋爐。

三、經典船用冷凍機設計標準

- A. 管材: S-44660
- B. 管板: 鋼板表面鍍陶瓷
- C. 水箱: 低碳鋼板襯橡膠
- D. 不需要陰極防蝕

下圖為 1,200 噸漁船實用三年見證，使用三年後管和管板完美無缺。



照片 6：S-44660 管擴配在鍍陶瓷鋼板上

四、海水淡化設備：

以台電核三廠海水淡化的鋁管更新和澎湖海淡的鋁青銅管更新經驗，請見證下列照片 5：鋁管外表卡一層厚厚的鹽巴，可見其熱傳效果有多差。因為鋁管和鋁青銅管都不能用鹽酸反洗；反觀 S-44660 耐鹼又耐酸可用鹽酸反洗，其壽命又有四十年，為何不能被接受？最近澎湖海淡換管價格為例：C-68700(鋁青銅管材) 190Φ X 0.8 th x 2,850 lg x4,389 pcs 約 190 萬；而 S-44660 約 270 萬。前者只能用十年，而後者可用一輩子，哪個滑算？還有表面卡鹽巴和破管停用損失還未計入。



照片 7：澎湖海淡 Al-Brass

照片 8：核三海淡 舊鋁管外表卡滿鹽巴厚厚一層

總而言之，管材超級鐵術素體不鏽鋼 S-44660，目前全世界就只有美國普利茅斯和中國太原維太擁有生產 S-44660 的技術。品質方面：前者產品約有 30 年歷史，而且在美國已有百座電廠採用；後者 2010 年才開發投產出來，在台灣已有林口和通霄電廠採用。它的材質重點：維太的碳含量已控制在 0.02%，比 ASTM 的標準 0.03%max 還低 (如下表)，可見品質已無庸質疑。

Chemical Composition of UNS S-44660											
	C	Cr.	Mo.	Ni.	Mn.	Si.	N	P	S	Ti+Nb	
Standard	0.03 max.	25.0-28.0	3.0-4.0	1.0-3.5	1.0 max.	1.0 max.	0.04 max.	0.04 max.	0.03 max.	0.02-1.0	
Sea-Cool	≤0.02	27.0-28.0	3.0-4.0	1.50-2.50	≤1.00	≤1.00	≤0.02	≤0.025	≤0.02	10(C+N)-0.5	

因此筆者敢大膽的預測，明日之星鐵素體不銹鋼 ASTM-UNS-S44660 將是未來發電業、海水淡化和船舶冷凍機主要冷卻管材，只要大家排除大陸情結。近日新加坡某電廠九部 250 MW 燒煤機組，因冷凝器銅管洩漏，才運轉 15 年其中三台就被當廢鐵以美金 2,000 萬元標售，就不會覺得意外。本公司產品，四年前已有兩批貨，先後用於林口和通霄電廠，前者今年八月已界齡退休；



SEA-COOL installed on IA2 condenser 2010-2014

後者目前還在運轉都沒問題。另外因價格低廉、約為鈦管的七折，鐵定是明日之星，絕對經得起考驗。希望透過本文的發表帶給業界一個佳音，台灣的經濟走下坡是很多因素累積造成的，也許冷凝器銅管是其中之一，何況還有銅蝕吃了對健康不利問題，願共襄盛舉！

References:

1. Experience with High Performance UNS-S44660 Ferritic Stainless Steel Tubing in Power Plant Condensers by Curtis W. Kovack. 84-JPGC-Pwr-37
2. A Study on The problems Deriving From Broken Condenser Tubing, by Henry Lin. PWR-Vol, 19. IPGC 1992, Atlanta.
3. Ammonia Attack for Unit #1 & #2 Condenser Tubes at Talin Power Plant

By Henry Lin & Hen-Shen Lin- Asia Power Gen. 1997, Singapore

4. Superferritic Stainless Steels For Steam Condenser Service With High Chloride Cooling Water, Properties And History,

by John Tverberg, P.E. & Edward R. Blessman, P.E. -IJPGC ' 02..

5. Slecting Tubing Materials for Power Generation Heat Exchangers

by Daniel S. Janikowski, Generating Manager- Plymouth Tube Company.

6. Performance & Application of Modern Ferritic Stainless Steel

by Tian-Bao Li, General Manager & Senier Engineer Graduate Student Tutor-
Taiyuen weitai New Material Tech. Co. Ltd