

NDE：檢視電鍍品質的利器

淺談台灣國際造船公司射線檢測法現況

謝智尹

台灣國際造船公司 品保處 品保課 NDE工程師

摘要

鍍道的非破壞檢測(Non-Destructive Examination/Evaluation/Testing/Inspection, NDE/NDT/NDI)的方法有很多種，例如有常見的目測檢測(Visual Testing, VT)、液滲檢測(Liquid Penetrant Testing, PT)、磁粒檢測(Magnetic Particle Testing, MT)、超音波檢測(Ultrasonic Testing, UT)、射線檢測(Radiography Testing, RT)與渦電流檢測(Eddy current Testing, ET)等方法。本文將以目前台船公司內最常使用的非破壞檢測方法之一的「射線檢測法」來進行介紹，文中並將介紹目前新導入射線檢測的新射源<硒75(Se-75)>。

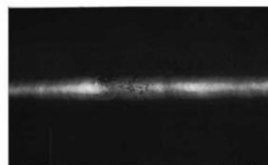
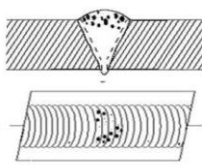
一、前言

非破壞檢測是目前最有效且具品質保證的檢驗方法之一，所謂的非破壞檢測就是在不破壞被檢物的組織、特性、形狀與功能下，運用所選定的非破壞檢測方法來探測隱藏在被檢物表面、次表面或內部的變形(Deformation)、瑕疵(Flaw)以及缺陷(Defect)，用以評鑑被檢物之品質的檢測技術。

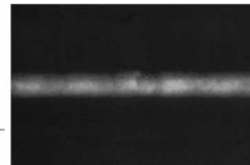
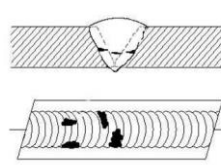
在造船、石化、鋼鐵及建築產業中，非破壞檢測的方法有很多種是可供選擇，其中最普遍常見的是射線檢測法。射線檢測法於上述產業中，常被用來進行於板材、壓力容器、儲槽、管線與鋼結構等銲道的品質檢測。射線檢測原理是以具有高穿透能力的放射線，例如：X射線(X-ray)、伽瑪射線(Gamma(γ)-ray)等射線來進行穿透銲道檢測，由於被檢物的種類、厚度、密度及內部缺陷型式不同，因此對於射線穿透或吸收的程度也會有所差異，可藉由底片上所生成的影像來判讀銲道中的瑕疵或缺陷。

一般常見的銲道瑕疵與缺陷，包括了氣孔(Porosity)、夾渣(Slag)、熔合不良(Incomplete fusion, IF)、熔入不足(Incomplete Penetration, IP)、裂縫(Crack)、根部凹陷(Suck back/Root concavity)、勾邊(Undercut)、表面凹陷(Surface depression)、銲冠(Reinforcement)過高、夾鎢(Tungsten inclusion)與高低差(Offset)等(如圖1所示)，以上的瑕疵與缺陷均可藉由射線檢測法來發現，隨後再經劇修而重新銲補原銲道，如此將可確保銲道的品質與結構的安全。

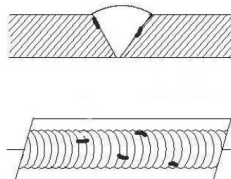
(一) 氣孔(P)



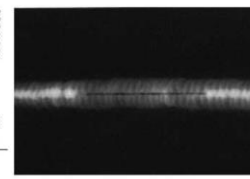
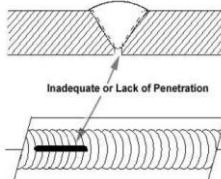
(二) 夾渣(SI)



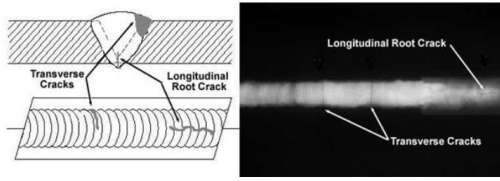
(三) 熔合不良(IF)



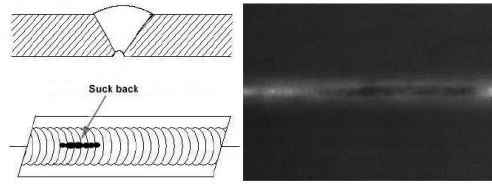
(四) 熔入不足(IP)



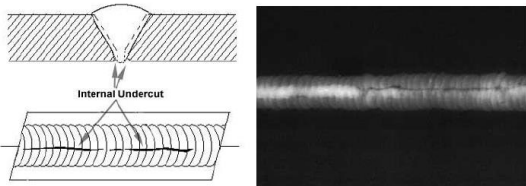
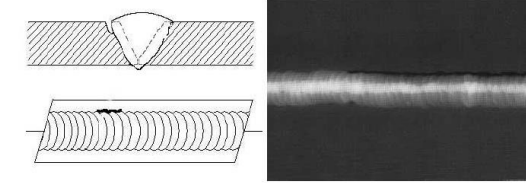
(五) 龜裂(C)



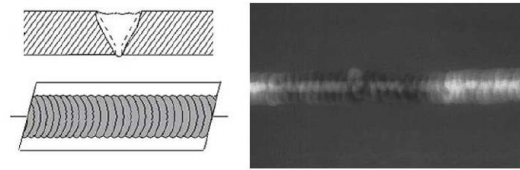
(六) 根部凹陷



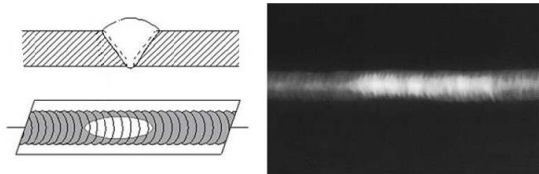
(七) 勾邊(UC)



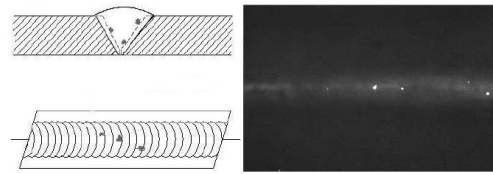
(八) 表面凹陷



(九) 鉸冠過高



(十) 夾錫



(十一) 高低差

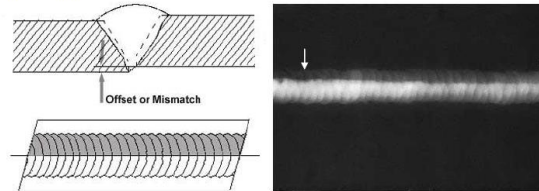


圖1：常見的鐸道瑕疵與缺陷[1]

二、輻射

有鑑於大多數人對於「輻射」充滿恐懼與疑惑，因此在本文的前段就以簡單方式來介紹關於輻射相關的名詞與知識，並循序漸進的進入至射線檢測法的主題中。

「輻射」由字面上來解釋是含有能量的意思，並從某個源頭(輻射源)向四面八方放射出去的涵義。具體而言輻射是一種具有能量的波或粒子，可在真空或介質中傳送。我們可藉由圖 2 的分類來認識輻射。

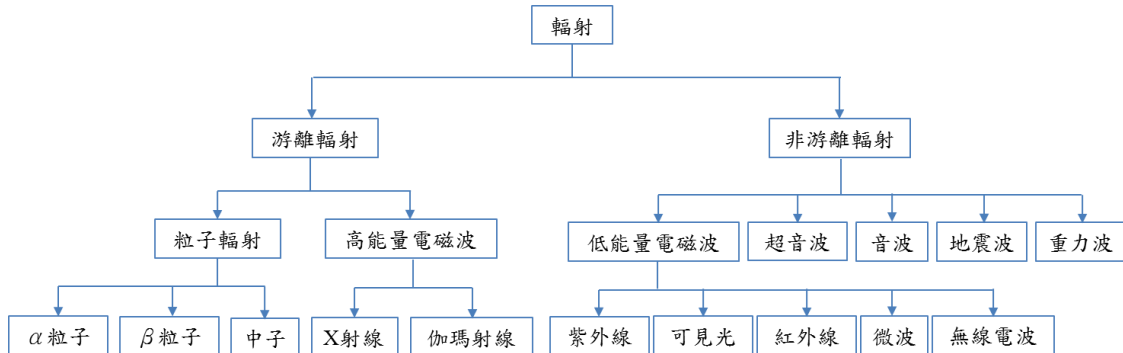


圖2：輻射的分類

(一)名詞解釋

1. 電磁波(Electromagnetic wave)

電磁波是由電場(Electric field)與磁場(Magnetic field)交互作用而產生的一種能量(Energy)，以波的形式沿著某一個方向前進，在前進的時候如同水波一樣，會依照一定的頻率不停地振動，其具有振幅、波長與頻率。電磁波的頻率從低到高分別列有無線電波、微波、紅外線、可見光、紫外線、X射線和伽瑪射線。電磁波的波長很小，通常以微米(μm)或奈米(nm)為單位。例如：紅外線的波長約為 $0.78\mu\text{m}$ (等於 780nm)，紫外線的波長約為 $0.38\mu\text{m}$ (等於 380nm)(如圖3所示)。電磁波的速度是以光速前進，其值固定為 $3\times 10^8\text{ m/sec}$ ，因此不論波長與頻率是多少，光速都是固定不變。

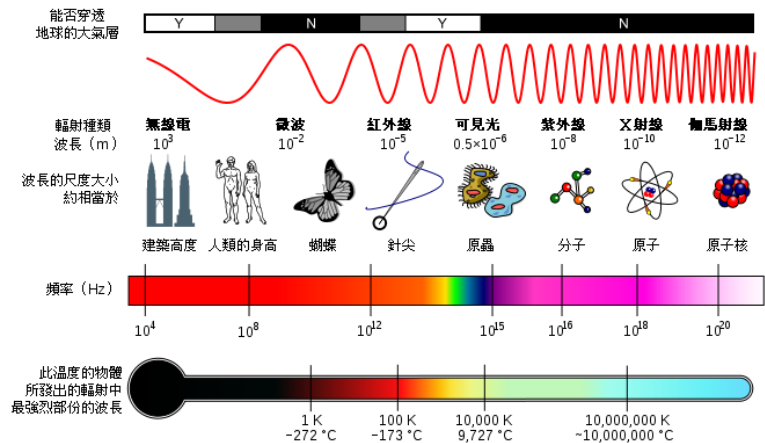


圖3：電磁波光譜表[2]

2. 輻射(Radiation)

能量以波或是次原子粒子移動的型態傳送，是一種能量的發射和傳遞。輻射之能量從輻射源向外所有方向直線放射。依其能量的高低及游(電)離物質的能力來分類，可分為游離輻射(Ionizing radiation)與非游離輻射(Non-ionizing radiation)。

3. 輻射源(Source)

可產生游離輻射之來源，包括放射性物質(例如 α 射線、 β 射線、伽瑪射線等)、可發生游離輻射設備(例如：X光機等)或核子反應器及其他經主管機關指定或公告之物料或機具。

4. 放射性(Radioactive)

元素從不穩定的原子核自發地放出射線(如 α 射線、 β 射線、伽瑪射線等)，而衰變形成穩定的元素而停止放射，這種現象稱為放射性。

5. 放射性物質

能自發地放出射線，釋出游離輻射之物質稱為放射性物質。

6. 同位素(Isotope)

某種特定化學元素之下的不同種類，同一種元素下的所有同位素都具有相同原子序數(質子數目相同)，不同的中子數(或質量數)。這些同位素在化學元素週期表中佔有同一個位置，例如： $^{12}_6\text{C}$ 、 $^{13}_6\text{C}$ 。

7. 穩定同位素(Stable isotope)

化學元素中，不發生放射性衰變或不易發生放射性衰變的同位素，穩定同位素即使會發生衰變，也因半衰期太長而無法測量出。

8. 衰变(Radioactive decay)

放射性同位素由於其放射性原子核的質子和中子數目不穩定，原子能以許多不同的形式釋放出能量，以使自身能達到更穩定的狀態。

9. 放射性同位素(Radionuclide or radioactive nuclide)

具有放射性的核素，是一種原子核不穩定的原子。如果這原子是具有放射性，它會被稱為物理放射性核種或放射性同位素。放射性同位素會進行放射性衰變，從而放射出伽瑪射線和次原子粒子。

10. 游(電)離(ionization)

當原子的電子，自輻射獲得的能量，大於原子核對它的束縛能量，之後電子就會離開原子而射出，使原來呈中性之原子，變成一帶正電和一帶負電的離子對(Ion pair)，這種作用稱為游離(如圖4所示)。

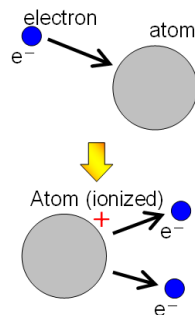


圖4：一個原子被輻射游離的過程[3]

11. 半衰期(Half-life)

放射性物質其能量減為原來一半所需的時間。放射性同位素的半衰期越短，它所釋出的放射線就越強烈(必須要在短時間內釋出大量的能量，才能達到快速衰變目的)。

12. 放射性活度(Radioactivity)或稱之為強度(Strength)

放射性元素或同位素在單位時間內發生(核)衰變的數目。活度的國際單位為貝克

(Bq)。1貝克代表每秒有一個原子衰變。一般來說，貝克是一個小數量的單位，比較常用是它的倍數，如千貝可(kBq)、百萬貝可(MBq)等。在1975年以前，居里(Ci)是量度放射性物質活度的傳統單位。1居里為在一秒鐘內，會有370億個原子核衰變，即 $1\text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{ Bq}$ 。目前有些國家仍使用居里作為放射性活度單位。當射源質量(體積)越大，放射性活度越大。

13. 能量與強度(Energy and strength)

射線的能量與強度是兩個獨立的概念。當射線的能量越大時，穿透檢測物的能力就愈大，亦決定了底片影像的對比；強度決定底片影像的亮度，當射線的強度越大時，影響檢測的範圍(警戒範圍)也就愈大。

14. 激發(Excitation)

當電子自輻射所獲得的能量，原子吸收光子，不足以使電子離開原子核的束縛，只能使電子在原位置振動或離開原位置，從低能階向高能階躍遷的過程。

15. 躍遷(Transition)

當原子系統中受束縛的電子從原本所在的能階，跳到另一個能階的行為。躍遷的原因，都是受到外在能量影響而所發生。能量在固體材料內，電子兩個能階之間的三種轉換過程。可以分成：吸收(Absorption)、自發輻射(Spontaneous emission)和受激輻射(Stimulated emission)。

(1) 吸收

當原子系統受到外來的能量作用，處於低能階 E_1 的原子受到激發而躍遷到高能階 E_2 ，同時並吸收一個能量為 $h\nu$ 的光子，這種過程稱為(受激)吸收(如圖5(a)所示)。

(2) 自發輻射

在沒有外來能量作用下，原子由高能階 E_2 向低能階 E_1 躍遷，並釋放出能量，這種過程稱為自發輻射。釋放的能量方式有兩種：一是躍遷過程中，以熱量的型式放出。另一種則是以光的型式放出(如圖5(b)所示)。

(3) 受激輻射

當原子系統受到外來的能量作用，處在高能階 E_2 的原子會受到外來能量為 $h\nu$ 的光子誘發，而從高能階 E_2 躍遷到低能階 E_1 去，同時放出一能量為 $h\nu$ 大小的光子。這種過程就稱為受激輻射(如圖5(c)所示)。

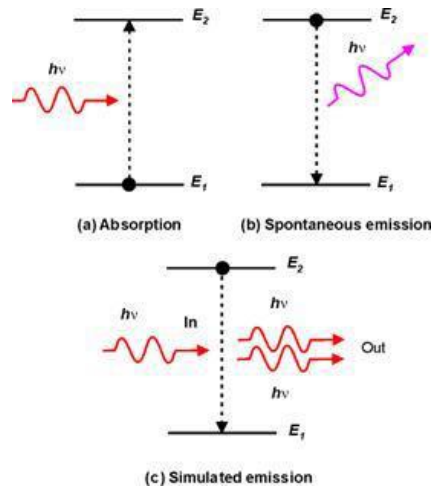


圖5：電子躍遷[4]

(二)輻射的分類

1.依電磁波能量大小區分

輻射可分為游離輻射和非游離輻射(如圖6所示)。游離輻射可以從原子或分子裡面電離過程中作用出至少一個電子。反之，非游離輻射則不行。游離能力，決定於射線所攜帶的能量，而不是射線的數量。如果射線沒有帶有足夠游離能量的話，大量的射線並不能夠導致游離。

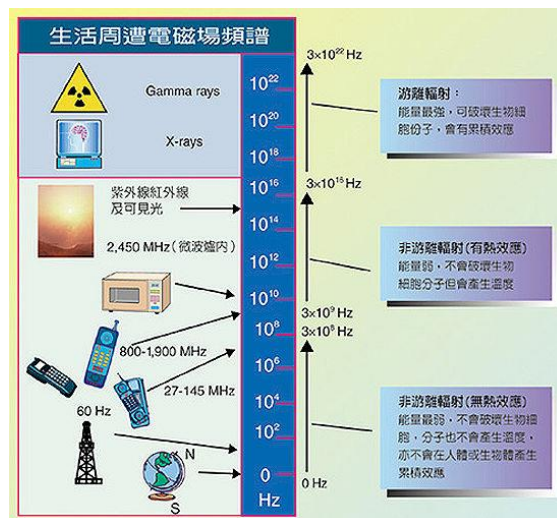


圖6：游離輻射、非游離輻射[5]

(1)游離輻射

游離輻射包含： α 射線、 β 射線、中子射線等粒子輻射與X射線、伽瑪射線等高能電磁波，而X射線與伽瑪射線幾乎可以電離任何原子或分子。電磁波的頻率愈高，能量愈強，電離能力愈強。若以能量高低來區分，游離輻射的能量大於10 KeV (Kilo-eletron volt，千電子伏特)。

(2)非游離輻射

非游離輻射包含：紫外線(Ultraviolet ray，UV)、雷射、可見光、紅外線(IR)、微波、雷達波、電視與調頻(FM)無線電波、短波、調幅(AM)無線電波、低頻無線電波等低能量電磁波。若以能量高低來區分，非游離輻射的能量小於10 KeV。

2.以產生方式來區分

1.核輻射

由核衰變所產生的核輻射，例如 α 粒子、 β 粒子、中子、伽瑪射線等。

2.原子輻射

利用高能量電子撞擊重元素(例如：鎢、鉬、白金或鉻等元素)等來產生原子輻射，例如：X射線。

三、X射線與伽瑪射線

(一) X射線

X射線的產生來自於陰極加熱使電子游離，經電場加速形成高能量電子撞擊陽極上的重元素，陽極靶材料原子序愈高，產生之X射線效應愈好。一般陽極材料常見為鎢，因為鎢原子序數較高，可以產生高效率、高能的X射線，且鎢亦為有效散熱的金屬。此外為增加散熱的面積，陽極靶可由馬達旋轉帶動，避免單一位置受熱(如圖7所示)。

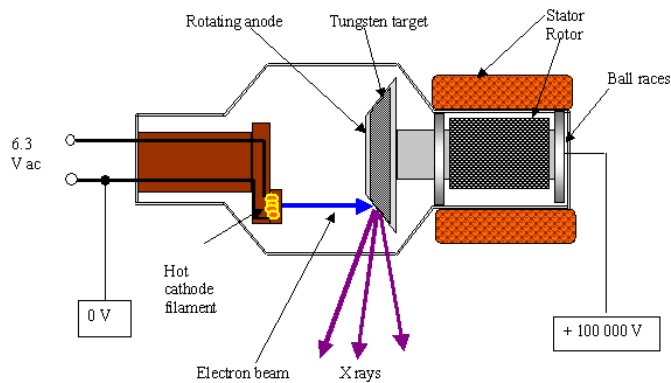


圖7：X射線的產生[6]

1. 特性X射線(Characteristic x-rays)

由高速電子將原子內層軌道上的電子電離撞出，原子外層電子掉入內層軌道上之空位時，則多餘之能量以光子釋放出，也就是在電子躍遷時釋出能量(電磁波)，其能量和該原子的原子序以及其變遷之兩軌道層有關，這個能量則稱之為特性X射線(如圖8所示)。

2. 制動輻射(Bremsstrahlung or braking radiation)

根據電磁學理論，帶電粒子因作加速或減速運動時，帶電粒子必然伴隨電磁波。電子以很高的能量向靶材(Target)撞去，受到靶材阻擋而減速時(庫侖吸引力)，則所造成的能量損失，就會以電磁波的形式釋出能量，產生了X射線。由於這種X射線是制止電子運動而產生的，所以稱之為制動輻射(如圖8所示)。其中，帶電粒子99%之動能轉換成熱能，約只有1%產生X射線。

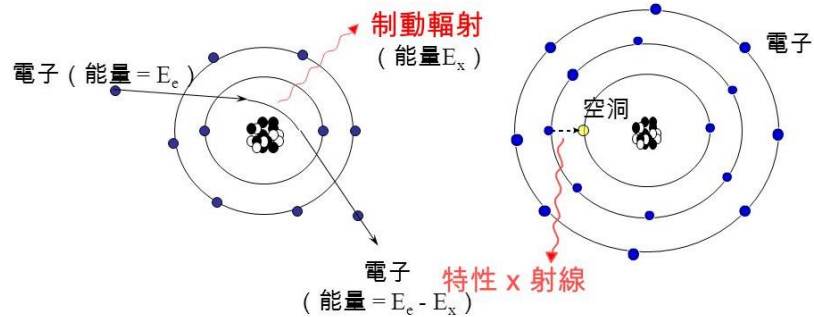


圖8：X射線的產生[7]

3.X射線的照射參數

(1)管電壓

其能量單位為KVp(Kilo-volts peaks)，稱之為峰值千伏特，是X射線管(x-ray tube)所用的最高電壓。管電壓的大小由正極靶與負極燈絲間的電壓差而定，影響檢測時的穿透率。例如，若要照射較厚的材料，則須增加管電壓。

(2)管電流

其能量單位為mA(Milliampere)，稱之為毫安培。管電流的大小影響著X射線的射線量。

(3)照射時間

照射時間越長，X射線量也越多。通常以X射線管的管電流與照射時間之乘積來間接反映X射線的量，單位為毫安培秒(mA·s)。

(4)X射線管至底片的距離

(二)伽瑪射線

不穩定核種的原子在衰變過程中，會通過釋放一系列能量，從高能階狀態變回低能階狀態時(原子核內的能階躍遷)，使其達到穩定的狀態，原子核所放出能量稱為伽瑪射線(原子核射線)，此種射線(電磁波)的波長極短、穿透力很強且具有高能量，易造成生物體細胞內的DNA斷裂進而引起細胞突變、造血功能喪失與癌症等疾病。

1. 伽瑪射線的照射參數

(1)射源強度

伽瑪射源的強度單位為Ci，新制單位為Bq。射源本身的強度會隨著時間的增加而降低(半衰期)。

(2)照射時間

照射時間越長，伽瑪射線量也越多。

(3)射源至底片的距離

2.常見的伽瑪射源種類

同位素 (Isotope)	硒-75 (Se-75)	銱-192 (Ir-192)	鈷-60 (Co-60)
能量 (Gamma energy range)	66-401 KeV	206-612 KeV	1.17-1.33 MeV
半衰期 (Half-Life)	120天	75天	5.37年
鋼材的檢驗厚度 (Steel working thickness)	3-40 mm	19-70 mm	38-200 mm
伽瑪常數 (Gamma constant, exposure rate) R.h.m/Ci(註1、註2)	0.203	0.48	1.35

註1. R.h.m/Ci：距離射源1公尺時，強度為1Ci的射源，1小時的時間內所曝露劑量為1R(倫琴)。

註2. 曝露劑量：單位質量的乾空氣與X射線或γ射線作用所產生的電荷量。

表1：常見的伽瑪射源種類

全球非破壞檢測的伽瑪射源市場主要分別為Ir-192、Se-75與Co-60等3種射源，由於Co-60射源的使用性較差以及安全風險性較其他射源要高，因此市場規模逐漸的縮小，預計可能在未來15年內逐步淘汰，而大多數地區市場的Ir-192射源預計將溫和增長或可能停滯。然而，從長遠來看，Se-75射源有望繼續成長並漸漸取代Co-60射源[8]。

(三) X射線與伽瑪射線的差異

X射線和伽瑪射線的物理特性近乎相同，但其差異點是在於生成的地方。X射線的是指從原子「核外」所產生的電磁波，例如：高速電子減速、電子躍遷。伽瑪射線則是從原子「核內」部所產生的電磁波，例如：核裂變。

四、射線檢測現況

(一)國內射線檢測現況

從表2中，X射線檢測法與伽瑪射線檢測法特性之「相對」比較，可依現場實務的需求來規劃選擇適合的方法。

	能量	檢測厚度	底片品質	設備價格/ 檢測價格	電力供應/ 設備冷卻	便利性	安全性
伽瑪射線檢測法	高	厚	低	低	不需要	高	低
X射線檢測法	低	薄	高	高	需要	低	高

表2：X射線檢測法與伽瑪射線檢測法使用特性比較

現行國內工業界所使用的射線檢測，因價格、設備與使用便利性的考量，大多數仍以伽瑪射線檢測法為主，其中採用Ir-192射源的射線檢測為最大宗。但面對日益要求提升檢出率與技術的射線檢測法，傳統使用Ir-192射源的射源檢測法已漸漸無法面對越來越高標準的檢測要求，因此Se-75射源就成為一個可取代Ir-192射源而僅次於X射線檢測品質的理想射源。

Se-75射源於90年代開始出現，被用來做為伽瑪射線檢測法的射源，但當時的製造技術、價格以及來源引進等相關問題，早期在國內並沒有獲得普遍的推廣使用。目前在先進歐美國家，以及中國等地，Se-75射源已被大量使用於射線檢測法中，已成為射線檢測法的主流之一。Se-75射源與Ir-192射源均為人工放射性同位素，Se-75射源的半衰期為120天，伽瑪常數為0.203 R.h.m/Ci，射線能量範圍在66~401keV之間，這些數值與Ir-192射源相比，意味著Se-75射源在檢測能力與安全防護上，佔有極大的優勢。不過，也因為擁有較低的能量範圍，使得照射的底片顯像有較高的水準表現(清晰度與對比度佳)，這將有助於檢測人員於後續的鐳道缺陷判定(如圖9所示的裂紋缺陷，採用Se-75射源較Ir-192射源可看出較明顯之裂紋)，同時也提昇其使用上的安全性，但也因有較低的能量範圍，使得射線的穿透能力較為柔弱，因此較不適用於厚的材料檢測，適用的厚度範圍約在3~40mm，也因為穿透能力(能量低)的關係，整體的照射時間會較使用傳統Ir-192射源要來

得長。



註：能檢測出最小瑕疵能力稱之為靈敏度

圖 9：Se-75 射源與 Ir-192 射源對於裂紋的靈敏度比較[9]

(二)採用Se-75射源的緣由

為執行公司近期內某項重要專案的非破壞檢測工程，依據筆者個人近年來的接觸與經驗，以及資料的蒐集與研讀，認為台船公司應導入品質與檢測能力更好的射源來進行鐸道檢測工作，如此才能確保鐸道的品質與結構安全，因為商譽與安全是無價的。以專業的角度及多方仔細考量下，故將原本射線檢測法中所使用的傳統Ir-192射源，更換為檢測能力最佳的Se-75射源。此外，本專案的材料厚度約為23mm，亦完全在Se-75射源的檢驗厚度範圍內。由於本專案的鐸道是屬於非常重要的結構鐸道，因此不能再以傳統造船廠的思維與作法，將其套用在此次的鐸道檢測工作。再者因本專案的重要性、環境、作業空間與安全性的限制，X射線檢測法無法完全適用於現場進行檢測，因此使用Se-75射源的伽瑪射線檢測法，就成為最佳的選擇。

(三)Se-75射源的優缺點

1. Se-75射源較傳統Ir-192射源強度低。照射時，警戒區域小(約3~10公尺)，可大大降低輻射暴露的危險。因此不用限定於晚上或凌晨時刻才可進行射線檢測。
2. Se-75射源用於薄材料的檢測(3~30mm)，檢測效果佳。
3. Se-75射源可提供高清晰對比影像結果與靈敏度，有助於檢測人員對於缺陷的判斷。
4. Se-75射源屏體(約12kg)較Ir-192射源屏體(約20kg)重量輕，對於檢測人員於現場檢測攜帶會較為輕便(如圖10所示)。
- 5.價格較昂貴，Se-75射源約為Ir-192射源價格的4倍，也因射源價格較高，廠商使用意願不高。
6. 檢測時，Se-75射源照射時間較Ir-192射源來的長。



圖 10：Se-75 射源的屏體(右)與 Ir-192 射源的屏體(左)

(四)Se-75 射源的照射曝光量公式[10]

1. D(底片黑度) = 2.0，D7(底片等級)

$$A \times t = 0.018 \times d^2 \times 2^{\frac{TA}{10}}$$

2. D(底片黑度) = 2.0，D4(底片等級)

$$A \times t = 0.042 \times d^2 \times 2^{\frac{TA}{10}}$$

3. D(底片黑度) = 2.5，D7(底片等級)

$$A \times t = 0.028 \times d^2 \times 2^{\frac{TA}{10}}$$

4. $D(\text{底片黑度}) = 2.5$, $D4(\text{底片等級})$

$$A \times t = 0.067 \times d^2 \times 2^{\frac{TA}{10}}$$

其中， A 為射源強度(Ci)， t 為曝光時間(min)， d 為射源至底片的距離(cm)， TA 為被檢物的實際照射厚度(mm)。

五、實驗與結果討論

為嚴格執行銲道檢測工作，找出可能潛藏於銲道內之缺陷，確保銲道的品質與結構安全，台船公司為近年來國內第一家採用 Se-75 射源進行射線銲道檢測之公司。本文的認證實驗部分承蒙非破壞檢測的承攬商(泰瑞工業檢驗公司)之協助，以 Se-75 射源來進行檢測實驗(如圖 11 所示)。本次實驗以三組對接銲道(如圖 12 所示)且銲道內含有缺陷的碳鋼材質測試平板(厚度為 20mm)來進行檢測(如表 3 所示)，並搭配 D7 與 D4 的底片(如表 4 所示)，來驗證 Se-75 射源的檢測能力，並再以 Ir-192 射源來進行檢測(如圖 13 所示)。



圖 11：銲道檢測



圖 12：實驗測試用對接平板銲道試片
(共三塊，由左而右分別為 SC001A、SC002A、SC003A，板厚 18mm+銲冠高 2mm)



圖 13：分別以兩個射源進行檢測(左圖為 Ir-192 射源；右圖為 Se-75 射源)

序號	底片型號	射源種類	射源強度(Ci)	試片編號
1	AGFA D7	IR-192	41	SC001A
2	AGFA D7	Se-75	66	SC001A
3	AGFA D4	Se-75	66	SC001A
4	AGFA D7	IR-192	41	SC002A
5	AGFA D7	Se-75	66	SC002A
6	AGFA D4	Se-75	66	SC002A
7	AGFA D7	IR-192	41	SC003A
8	AGFA D7	Se-75	66	SC003A
9	AGFA D4	Se-75	66	SC003A

表 3：實驗試片資料

	描述	常用場合
D2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 顆粒最細(Extremely-Fine)，極佳的對比 ✓ 適合用在需要看到最佳細節的場合 	電子零件/複合材料 輕合金鑄件
D3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 極細顆粒(Ultra-Fine)與高對比 ✓ 適合最極端的 NDT 應用 ✓ 用於 X-RAY，同位素與線性加速器(MeV)設備 	電子零件/複合材料/鑄件 高品質鋁道/核能/航太業
D4	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 極細顆粒(Ultra-Fine)與高對比 ✓ 適合最極端的 NDT 應用(應用較 D3 廣泛) ✓ 用於 X-RAY，同位素與線性加速器(MeV)設備 	電子零件/複合材料/鑄件 高品質鋁道/國防工業/ 航太業
D5	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 細顆粒(Very-Fine)與高對比 ✓ 易於觀察到缺陷 ✓ 用於 X-RAY 與同位素 	鑄件/鋁道/造船/航太業
D7	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 細顆粒(Fine)與高對比，速度較快 ✓ 用於 X-RAY 與同位素 	鑄件/鋁道/造船/航太業
D8	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 顆粒適中(Medium)，高對比，速度極快 ✓ 可加鉛箔或直接照射 ✓ 若需要更快的速度，可改用 F8 系列 	鑄件/鋁道/國防工業/ 航太業/複合材料

表 4：底片的特性與選擇[11]

(一)第一組實驗(試片編號 SC001A)

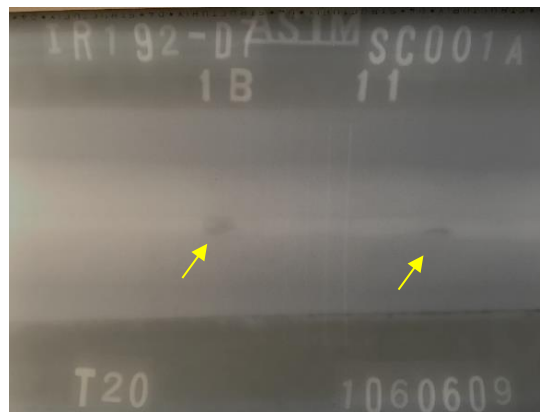


圖 14：Ir-192 射源、D7 底片

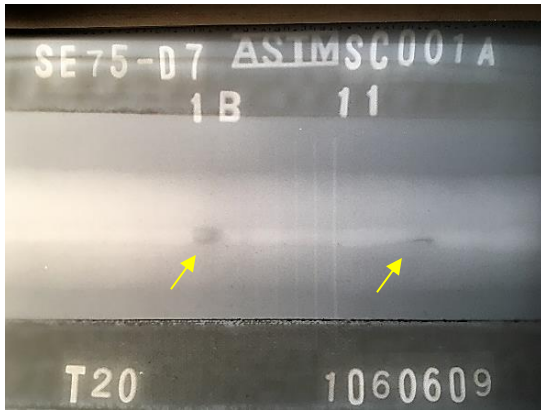


圖 15：Se-75 射源、D7 底片

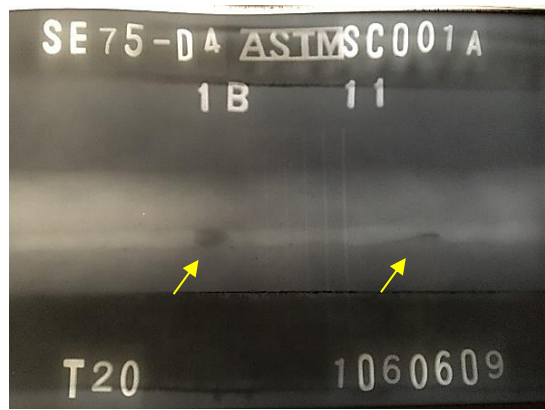


圖 16：Se-75 射源、D4 底片

(二)第二組實驗(試片編號 SC002A)

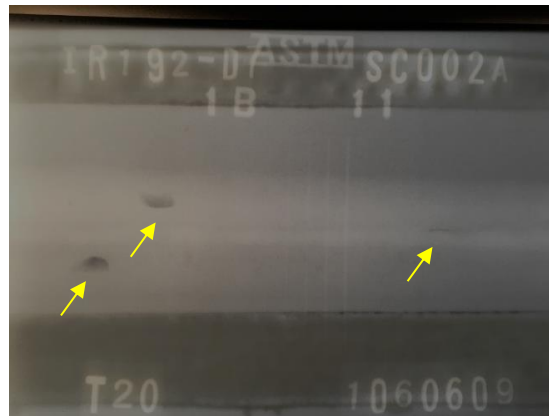


圖 17：Ir-192 射源、D7 底片

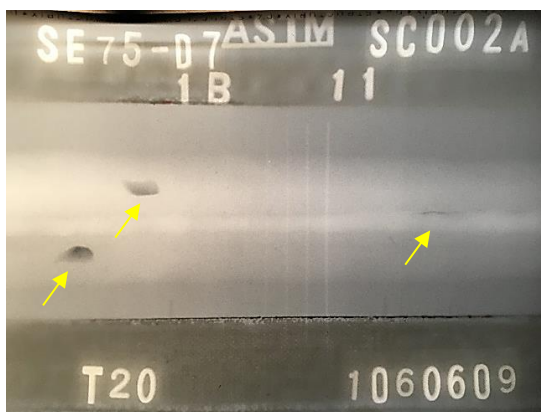


圖 18：Se-75 射源、D7 底片

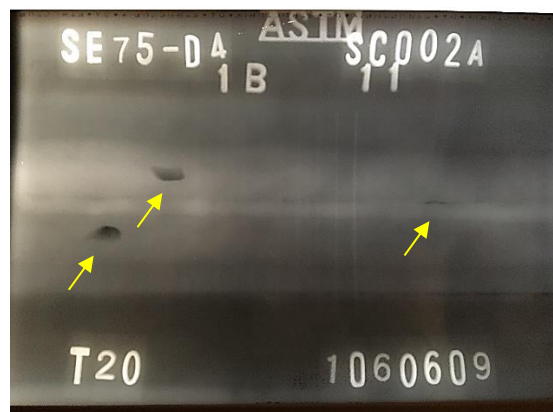


圖 19：Se-75 射源、D4 底片

(三)第三組實驗(試片編號 SC003A)

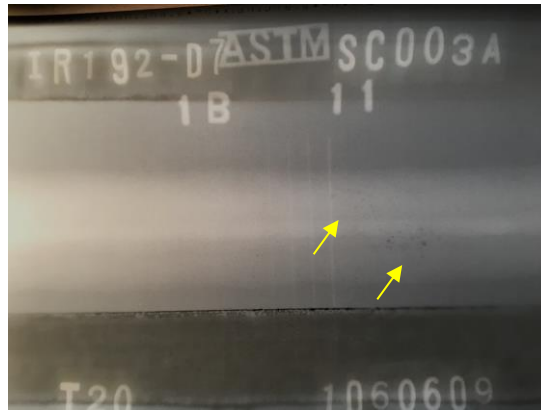


圖 20：Ir-192 射源、D7 底片

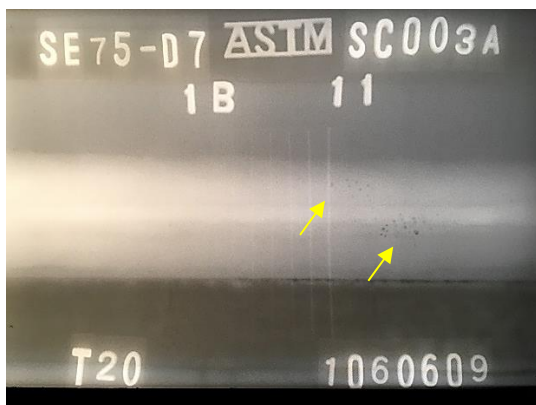


圖 21：Se-75 射源、D7 底片

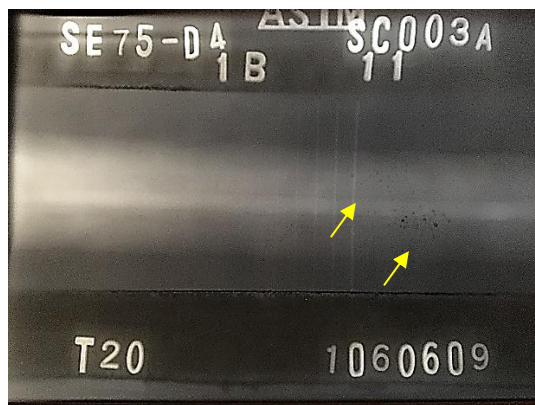


圖 22：Se-75 射源、D4 底片

在第一組實驗中，圖 14 的底片可以看出以 Ir-192 射源檢測出的鐸道缺陷，較圖 15、圖 16 採用 Se-75 射源檢測出的缺陷影像要模糊許多，可以仔細觀察底片上的鉛字、像質計與缺陷，Se-75 射源較 Ir-192 射源，在缺陷的影像上要明顯銳利許多。在第二組實驗中，亦與第一組實驗的結果相同，使用 Se-75 射源檢測的影像，也較使用 Ir-192 射源要來的清晰。在第三組實驗中，除射源影響底片的影像外，D7(中片)與 D4(慢片)[12]的底片選用，在影像的呈現也有明顯的差異，由圖 21、圖 22 可以看出，同樣採用 Se-75 射源，但 D7 與 D4 的底片影像就有所差異。D4 底片因顆粒較細，感光時間需較長，因此顯像的品質較佳。

(四)決定一張好的RT底片之關鍵因素

1.射源型式(Se-75射源要優於Ir-192射源，在材料厚度30mm以下時，材料厚度若再更大，則建議使用或搭配超音波檢測法)

- 2.放射能量/強度
- 3.射源至底片距離
- 4.底片型式等級(D4等級底片要優於D7等級底片)
- 5.檢測人員的專業技術
- 6.底片的後處理(洗片、藥水的濃度調配、烘乾)

致謝

感謝品保處 陳慧山經理、葉永鈺副理、邱長琦課長、孔繁昌課長與艤裝廠 顏聰輝副廠長等各級長官與先進同仁，在NDE工作上的支持、鼓勵與指導。本文認證實驗部分也承蒙泰瑞工業檢驗公司 崔興華總經理、崔宥琪小姐、莊佳璵小姐、王冠文先生與楊志賢先生所提供的協助，在此一併致上十二萬分的謝意！

參考文獻

- [1]壓力配管非破壞檢測 RT 影像判讀與評估，台塑企業總管理處總經理室工程檢核組，2013。
- [2]<http://pansci.asia/archives/72374>
- [3]http://inventorspot.com/articles/ionization_physical_process_many_useful_applications
- [4]<https://www.slideshare.net/RohitSingh227/led-laser>
- [5]<http://blog.sina.com.tw/emifilter/>
- [6]http://www.antonine-education.com/Pages/Physics_5_Options/Medical_Physics/MEED_07/med_phys_7.htm
- [7]游離輻射防護，張寶樹，合記圖書出版社，2015。
- [8]Strategical Analysis of the Global Gamma Nondestructive Testing (NDT) Radioactive Sources Market, Infiniti Research Ltd., 2016。
- [9]RADIOGRAPHY OF WELDS USING SELENIUM 75, IR 192 AND X-RAYS , Peter Hayward, 12th A-PCNDT Asia-Pacific Conference on NDT, 2006.
- [10]国内第一颗 Se75 射线源在后石电厂的试验和应用，李长辉、李中允、孙志勇、孙建业，黑龙江省火电第三工程公司，2006。
- [11]<http://www.almatec.com.tw/index.php/about.html>
- [12]射線檢測法，鄭銘文、紀隆盛，財團法人台灣非破壞檢測協會，1993。