

鋼結構鐸道放射線檢測法之底片數位化技術

彭朋畿¹，姬俊宇²，吳金來³，鄭加傳⁴

¹中龍鋼鐵股份有限公司 冶金技術處 課長

²中龍鋼鐵股份有限公司 冶金技術處 工程師

³全友電腦股份有限公司 協理

⁴全友電腦股份有限公司 經理

摘要

鋼結構鐸道之放射線檢測法是利用具有穿透能力之射線，穿透檢測工件，並達於底片或螢幕等介質，以生成影像之記錄。目前工業放射線檢測法仍多數採用傳統底片執行檢測，但底片之保存及管理仍衍生相關困難。

鐸道底片數位化之方式可解決底片儲存之問題，亦可增加資訊化管理之便利。本文將簡介鋼結構鐸道放射線檢測法及底片數位化之技術方式，以利工程人員參考。

一、前言

一般工業放射線檢測法主要應用於鋼結構及管線鐸道內部品質之檢測，放射線檢測法依射源之種類可分為兩種，分別為 X 射線及 γ 射線。X 射線是由高速電子流撞擊物質陽極靶而產生，而 γ 射線是由不穩定同位素之衰變所產生的高能量電磁波，目前工程界放射線檢測法較常使用之同位素為 Ir-192、Co-60 及鈹-137 等三種 γ 射線裝備 [1]。

放射線檢測中需藉底片來顯示檢測工件內部之品質狀況，當射線撞擊底片銀化物粒子時，粒子之結構將產生變化，並經由底片顯影之作用後，感光乳劑內之

銀化合物即可析出金屬銀粒子，並產生黑色影像之記錄。顯影完畢將底片置入中止液(顯影作用停止)，再置入定影液中，以去除為感光(變黑)之乳化劑。最後再經水洗及乾燥，即可由判片燈評估底片之黑白對比〔2〕。

重要設備經施照完放射線檢測後將以底片方式呈現，底片為檢測報告最重要之依據。然底片須經相關溫濕度之控制，以避免底片變質而影響後續儲存，另若底片數量較多，相關追蹤管理將變成非常複雜，甚至難以管理。因此若能將底片數位化後，利用電腦資料庫之方式儲存與管理，預計將減少底片變質及管理上之盲點，此舉將大幅提高工程業界之便利與效益。

二、基本原理

2.1 放射線與物質之作用

放射線與物質作用後，主要會有三種作用，包括光電效應(Photoelectric Effect)、康普頓效應(Compton Effect)及成對發生(Pair Production)〔3〕。

2.1.1 光電效應

當射線撞擊物質後，將使物質之原子游離出電子，同時射線能量完全傳給電子，射線本身即消失掉，此即為光電效應，射線能量在 10KeV-500KeV 間最容易產生光電效應。而本論文使用 γ 射線(射源為 Ir-192)，當其穿透試件時，其將使增感屏及底片產生電子，以利底片增加感光及成像效果。

2.1.2 康普頓效應

當射線撞擊物質後，將使物質之原子游離出電子，同時射線能量將衰減及改變方向(散射)，此即為康普頓效應，射線能量在 100KeV-10MeV 間最容易產生康

普頓效應。而本論文使用 γ 射線(射源為 Ir-192)，當其穿透試件時，亦將使增感屏及底片產生電子，以利底片增加感光及成像效果。但其射線之散射作用，將增加人員檢測之輻射傷害，因此須適當之防護，以利人員之執行。

2.1.3 成對發生效應

當射線撞擊物質後，將使物質產生負電子及正電子，同時射線能量本身消失，此即為成對發生。當射線能量大於 1.02MeV 才會產生成對發生效應，本論文使用 γ 射線(射源為 Ir-192)，其能量約為 500KeV，故較不會產生成對發生效應。

2.2 底片黑度

依據放射線檢測原理，當射線穿透過檢測工件，由於檢測工件內部結構之不同，使到達底片之射線強度不同，並得到一不同黑度(d)所形成之底片影像〔4〕。其中黑度是指底片之黑暗程度，其定義為入射於底片之光線強度為 I_0 ，透射過底片之光線強度為 I_t ，以 I_0/I_t 取 10 為底的對數值稱之為黑度，如下式所示：

$$d = \log(I_0 / I_t)$$

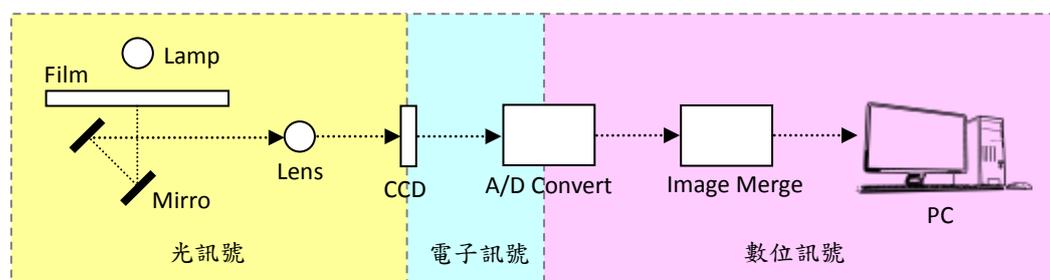
放射線檢測法通常會規定黑度範圍，因為假如黑度太小(即底片太白)，則底片對比不佳，而若黑度太大(即底片太黑)則判片燈將無法清楚顯像。美國機械工程師學會在法規(ASME Code)中有明確之規定，當單片判讀時，X 光黑度規定須在 1.8~4.0、 γ 射線須在 2.0~4.0。而當雙片判讀時則(X 或 γ 射線)每張黑度規定須在 1.3 以上，且合起來須在 2.6~4.0〔5-6〕。

放射線檢測法中，底片之選擇及使用須考慮下列因素，以獲得最佳檢測結果。(1)檢測工件之材料、位置及形狀。(2)射源之型式。(3)曝露之時間。(4)靈敏度之需求。而為滿足現場實際應用之效果及底片上之要求時，應考慮以高品質及

曝露時間短等重要條件。當以高品質為條件時，應選擇較慢且較細微粒之底片。但若以曝露時間短為條件時，則放射線檢測之靈敏度在允許範圍內，應選擇較快速之底片。

2.3 掃描器系統原理

掃描器基本原理就是將實際物理空間中的「光資訊」轉換成「電子資訊」，再透過轉換器將電子的「類比資訊」轉換成電腦可以處理的「數位資訊」，掃描過程可由圖一說明。



圖一 掃描流程

首先將欲掃描之稿件置於掃描器的玻璃板上，以放射線檢測系統來說，稿件是放射線所拍攝的底片。啟動掃描器驅動程式後，裝設在掃描器內部的可移動光源開始掃描原稿。掃描器沿垂直方向掃過整個原稿；光線穿透原稿後，形成沿水平方向的光帶，又經過一組反射鏡，由精密光學透鏡聚焦到感光耦合元件(CCD，Charge-coupled Device)上，CCD 將光帶轉變為模擬電子訊號，此訊號又被類比數位轉換器(A/D Converter)轉變為數位訊號。

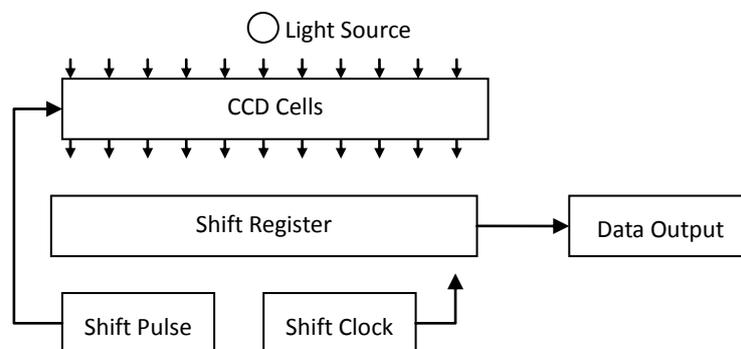
反映原稿圖像的光訊號轉變為電腦能夠接受的二進制數位訊號，最後透過串行或者並行等介面送至電腦。掃描器每掃一行就得到原稿水平方向一行的影像資訊，隨著沿垂直方向的移動，在電腦內部逐步形成原稿的全圖。在掃描器獲取影像的過程中，有兩個關鍵元件。一個是 CCD，它將光訊號轉換成為電子訊號；

另一個是 A/D 變換器，它將模擬電子訊號變為數位訊號。下列是相關說明：

2.3.1 感光耦合元件

CCD 是 Charge Couple Device 的縮寫，稱為電荷耦合器件，它是利用微電子技術製成的表面光電器件，可以實現光電轉換功能。CCD 晶片上有許多光二極體 (Photodiode)，它們可以將不同的光線轉換成不同的電荷，從而形成對應原稿光影像的電荷圖像。如果我們想增加圖像的解析度，就必須增加 CCD 上的光二極體數量 (Photodiode)。實際上，CCD 的性能決定了掃描器的水平方向的光學解析度。

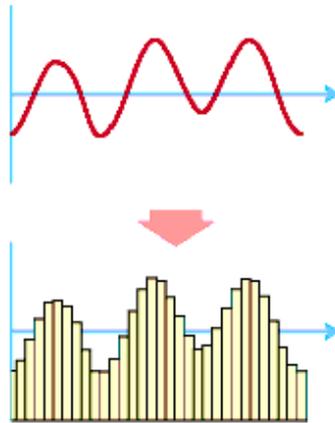
CCD 之光二極體(Photodiode)依光源強弱，而以大小不同電流對一電容充電。當達到所需充電時間後，便將其電荷倒進移位暫存器，將所記憶的資訊取出來，如圖二表示。



圖二 CCD 轉換流程

2.3.2 類比數位轉換器

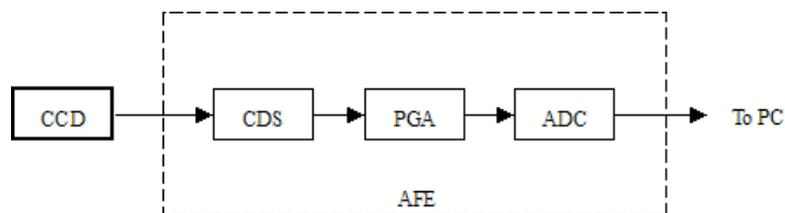
A/D 變換器 (ADC, Analog to Digital Convert) 是將類比訊號轉成數位訊號，並且利用電容器保存，再交由微電腦控制器 (controller) 處理。圖三為類比轉數位的示意圖。



圖三 類比數位轉換流程

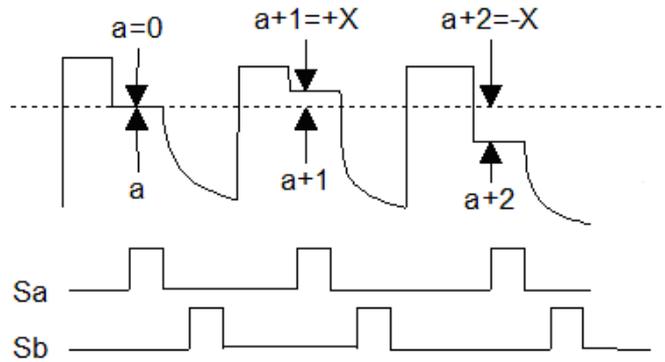
2.3.3 掃描訊號轉換方式

由上述 CCD 說明中，最後接收到的訊號仍是類比的電子訊號。欲傳送至 PC 上處理前，必須先轉換成數位訊號，而在掃描器當中此過程稱為 AFE (Analog Front End)，而 ADC 包含在此過程之內，如圖四說明：



圖四 掃描訊號轉換

CCD 輸出訊號每一 Pixel 都會有一參考基點 $a, a+1, a+2, \dots$ ，理想狀況是這些參考基點準位都會一樣，但實際情況是都會有偏差。為彌補此偏差，以降低 Image 產生之影響，因此以 Double Sample 的方式來取其相對準位，然後經差動放大得到我們所要的訊號，取樣訊號為 S_a & S_b ，此過程稱為 CDS (Correlated Double Sampling)。如圖五所示：



圖五 CDS 取樣方式

PGA (Programmable Gain Amplifier) 為一類比放大器，因為不同的 CCD 有不同的飽和電壓值，故需要 PGA 將差動訊號放大至 AFE 的參考電壓值(2V 或 4V) 以合乎後端的 ADC 來轉換訊號的大小，放大倍數由 Gain Register 決定。

2.3.4 掃描品質

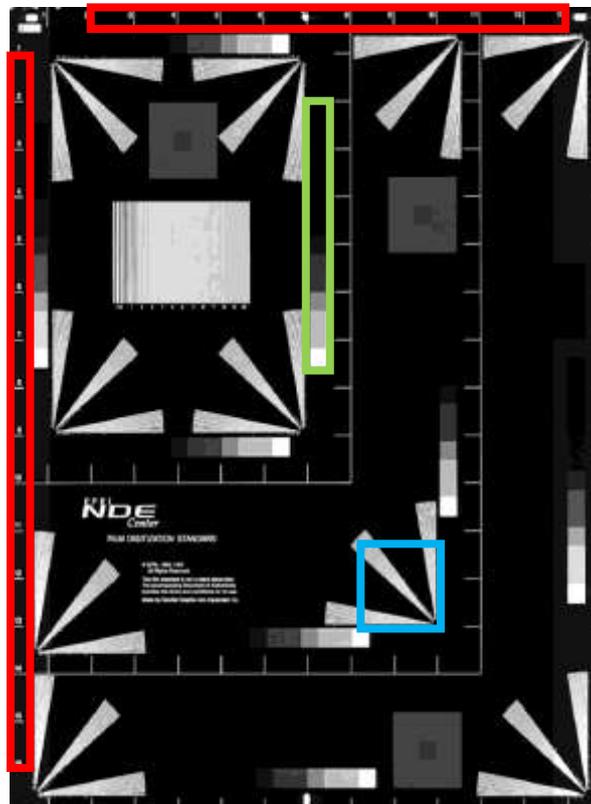
掃描器之品質可由兩項指標評定，分別是解析度(DPI)與深度。DPI 為 dot per inch，指每一英吋所能表現的點數，越多代表解析度越高，舉例來說：300DPI 即 1inch(25.4mm)內有 300 個 pixels，也就是每 1mm 約有 11.81 個 pixels，每一個 pixel 的大小約為 0.0847mm。

深度表示掃描器分辨灰度細膩程度的指標，單位為 bit(位元)。其含義是用多少個位元來表示掃描得到的一個像素。例如：1bit 只能表示黑白像素，即為 $2^1 = 2$ ，故 1bit 只能表示兩個值，即 0 和 1；它們分別代表黑與白。8bit 可以表示 256 個灰度值 ($2^8 = 256$)，它們代表從黑到白的不同灰度等級可分為 256 個層級。16bit 則可以表示 65536 種層級的灰度 ($2^{16} = 65536$)。

三、射線檢測數位影像試驗

由上述說明可知，數位化影像為類比資訊轉換成數位資訊的一個成果，但從連續訊號(類比)轉換成非連續訊號(數位)時，可能會有資訊上的遺失，或是資訊完整性及正確性的疑慮。故美國機械工程師學會(ASME)針對射線檢測的數位影像，訂出相關測試項目，包括測試影像解析程度(Spatial Resolution)、測試黑度之靈敏度 (Contrast Sensitivity)、測試可表現黑度的範圍(Dynamic Range)及測試數位影像變形程度(Spatial Linearity)。

美國電力研究協會 EPRI (Electric Power Research Institute)為了有效的評估射線檢測底片數位化系統的特性及效能，特別針對上列的四項測試設計檢測用之底片，不同的測試項目有不同的測試目標(如圖六所示)，對於不同的掃描尺寸範圍的數位化系統可彈性的修剪檢測底片，最大的底片尺寸掃描範圍為 14 吋×17 吋，最小的底片尺寸掃描範圍為 8 吋×10 吋。



圖六 EPRI 測試底片

3.1 測試影像解析程度(Spatial Resolution)

該項測試項目為針對空間解析度的測試，其目的在檢測系統的反差對比度及銳利度，檢測方式是利用空間頻率(Spatial Frequency)的圖像，檢視系統的空間解析度。所謂空間頻率就是 1mm 的寬度中，正弦濃度變化反覆的次數，當空間頻率很小時，充足的反差可以輕易的分辨黑白兩條線。當空間頻率變大時，也就是線條越緊密時反差也逐漸縮小，當反差衰減至全部變為灰色完全無法分辨黑白時，即表示系統的空間解析能力已到達極限。

系統若符合下列兩個測試條件之一即合乎標準：條件 1：Pixel Size 為 70 微米時，能夠分辨位置為 7 的線對/毫米大小的線條。條件 2：Pixel Size 大於 70 微米，能夠分辨出位置為 5 的線對/毫米的線條。

3.2 測試黑度之靈敏度(Contrast Sensitivity)

該測試項目必須能夠分辨出 0.02D 的黑度值變化，其目的在於確保底片在經過數位化的過程能夠確實保留黑度 0.02D 的影像差異資訊。EPRI 特別設計了一張黑度相差 0.02D 的 step wedge(如圖六所示)，確保系統能真實的紀錄底片的所有資訊。依據掃描 step wedge 的資料轉換為黑度數值得到圖八的階梯圖，由階梯圖 3.97D 與 3.98D 的些微落差得知此掃描儀可分辨出 3.97D 與 3.98D 的差異，即可分辨出 0.01D 的差異。

3.3 測試可表現黑度的範圍(Dynamic Range)

本測試項目為測試是否可看到 3.5D 的動態範圍之黑度值變化，其目的在於確保系統的解像能力能夠涵蓋 3.5D 的範圍。在電子學上的涵義是接收器所能接收信號極限的涵蓋範圍，即亮部與暗部影像細節接收的最大範圍。

3.4 測試數位影像變形程度(Spatial Linearity)

本測試項目在於掃描後之影像與實際影像之尺寸比較，其目的在確保底片在

數位化的過程中不會產生變形，並避免未來量測瑕疵尺寸時產生誤差。ASME 的規範要求是水平與垂直方向尺寸大小之差異必須小於 3%。以 EPRI 測試底片為例，取底片的上方的尺規，量測水平方向之誤差，取 film 左方的尺規量測垂直方向之誤差。如擷取 EPRI 測試底片上方的尺規圖像量測某距離，再與實際距離做比較，以得到誤差的比率。

總合上述的四項檢測，其目的在確保底片經過數位化過程能夠真實的保留底片的所有訊息，包括影像的解析能力、解像能力、解像力涵蓋的範圍及失真度。經過系統數位化的檔案影像資訊，希望可以等同於底片的紀錄內容，以利於未來的相關運用及儲存。

3.5 數位影像檔案格式

當影像由連續訊號(類比)轉換為非連續訊號(數位)，其資訊的完整性及正確性得到確保時，影像是否被修改將是另重要的課題。ASTM 依據 NEMA (National Electrical Manufacturers Association) 制定的醫療數位影像傳輸協定，相關規範訂定非破壞檢測數位影像傳輸協定 (Digital Imaging and Communication in Nondestructive Evaluation)。此規範適用於所有非破壞檢測的數位影像檔案，此檔案格式包含文字資訊及影像資訊兩部份，並詳細記載檢測設備及相關的檢測影像資訊，且不會被修改。通過此傳輸協定可以確保檢測公司與業主之間在影像傳輸、儲存、處理...等等應用皆能暢行無阻，不必擔心影像是否被串改或格式不符無法開啟，更不需質疑影像的真實性，此將確認底片數位化之可行性。

3.6 實例驗證

本文使用 γ 射線執行某鋼結構設備檢測(厚度為 12mm)，檢測結果發現不合格之瑕疵，黑度為 2.86~2.94，像值計為 F04，必須分辨至第六條線徑。經底片數位化過程中，瑕疵明顯不失真，同時可分辨至第六條線徑，靈敏度約為 2%(如圖七所示)。



圖七 放射線底片數位化

四、結論與建議

放射線檢測法具有瑕疵影像較易辨識及底片可作為記錄等優勢，但亦有不適合穿透太厚的檢測物件、有輻射危險及底片保存困難等缺點。因此檢測技術之互相搭配是提高檢測準確度之不二法門。故建議執行非破壞檢測法時，可利用兩種檢測技術互相比較確認，以求得更準確之結果。

由本文可知，鐸道放射線檢測法之底片數位化技術已日趨成熟，其可提供一有效之鐸道底片保存與管理之方法，並對鋼結構及設備鐸道品質發揮相當可信之績效。數位化是時代的趨勢，人類透過數位的方式進行溝通，以滿足生活上的需求。預計未來非破壞檢測方法將會大量使用數位工具或藉由數位輔助工具，以取得更正確與可靠的檢測結果

五、參考文獻

1. 鄭銘文、紀隆盛，放射線檢測法(初級)，中華民國非破壞檢測協會，1992年。
2. 鄭銘文、紀隆盛，放射線檢測法(中級)，中華民國非破壞檢測協會，1988年。
3. 財團法人中華民國輻射防護協會，實用游離輻射防護，財團法人中華民國輻射防護協會，新竹，2006年。
4. 金崇勳，機械材料，復文書局，台南，1995年。
5. AWS Structural Welding Committee, Structural welding code-steel, American Welding Society., 1990.

6. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, ASME Sec.V Nondestructive Examination, American Society of Mechanical Engineers, 1998.