

鋼結構鐸道目視檢測與缺失案例

彭朋畿¹、李家順²

¹ 中華民國鋼結構協會 副秘書長

² 交通部公路總局 工程師

摘要

鋼結構鐸道目視檢測法是評估鐸接品質最直接與簡單的方法，一般經驗豐富之檢測人員可依據標準判讀鐸接缺陷，並可提出鐸接缺陷之發生原因與改善方法，以有效管控鋼結構之施工品質。本文簡介鐸道目視檢測法之接受基準與瑕疵發生的原因，同時建議搭配其他非破壞檢測方法及鐸接品質管理措施，預期可提供工程監造人員執行鐸道目視檢測之參考。

1. 前言

依據美國鋼結構協會規範 AWS D1.1，鋼結構所有鐸道必須執行目視檢測，並須滿足規範中接受基準之要求[1]，且依該鐸接規範及 CNS 國家標準相關鋼結構非破壞檢測規定，執行檢驗前須完成鐸道目視檢查，若有缺陷需經改善合格後方可執行。目前國內鋼結構鐸道目視檢測標準是依據中華民國 CNS13021[鋼結構鐸道目視檢測法]與 CNS 12847[目視檢測法通則]，上述相關標準提供鋼結構業者製造、品管及設計業者或監造單位參考及遵循[2-3]。

目前由於鋼結構耐震效果佳，施工快速及造型自由度高，已廣為工程業界所接受，並大量生產與製造。但是鋼結構之施工品質是耐震良窳重要因素，尤其與鐸接相關之製程，因此有關鐸接品質之檢驗亦越來越受工程業界所重視。其中鐸道目視檢測扮演鋼結構鐸接品質把關之角色，並可配合確認承製廠商是否依照合約及圖面規定施工，以間接查核鋼結構工程之鐸接品質。本文將簡介鐸接瑕疵與標準、鐸接瑕疵原因與解決對策、非破壞檢測技術之搭配應用與鐸接品質建議管理措施等，以有效提高鋼結構工程之品質。

2. 鐸接瑕疵與標準

銲接品質除執行相關物化性試驗外，亦會執行適當之目視檢測與其他非破壞檢測，以了解銲道是否有瑕疵或缺陷。一般瑕疵(discontinuity)是指在某一均勻的事物中的任一間斷，但若超過規範或合約即為缺陷(defect)。一般銲接瑕疵包括裂縫(crack)、熔合不良(incomplete fusion)、滲透不足(incomplete penetration)、銲渣(slag)、夾渣(inclusions)、氣孔(porosity)、銲蝕(undercut)、銲道未填滿(underfill)、重疊(overlap)、銲道凸出(convexity)等。銲件中缺陷類型及產生位置如圖 1 所示，實際銲道缺陷如圖 2~圖 13 所示。

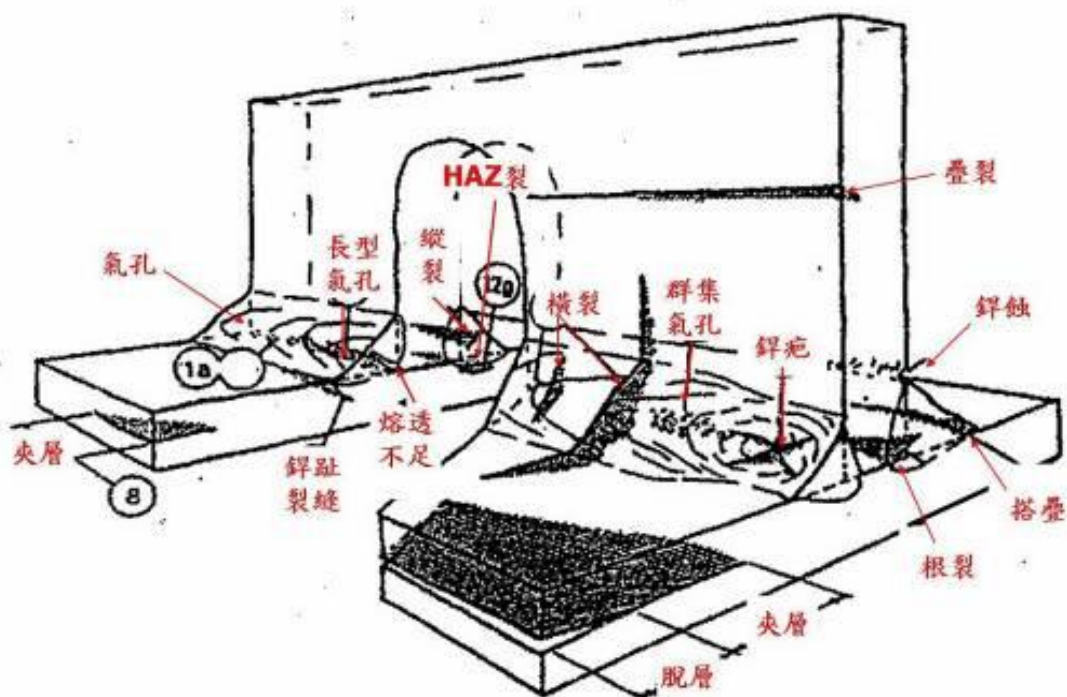


圖 1 銲件中缺陷產生位置示意

一般銲道瑕疵之接受基準應依循合約或規範，以利後續銲接品質之認定。常見銲道規範如中華民國 CNS、美國 AWS 或日本 JIS，例如美國鋼結構協會 AWS D1.1 之銲道接受標準，其內容明確規定不允許任何裂縫、滲透不足、熔合不良、重疊與銲道未填滿等瑕疵，但氣孔、銲蝕與腳長(或喉深)不足則有相關之容許範圍。本文依據中華民國 CNS13021[鋼結構銲道目視檢測法]與 CNS 12847[目視檢測法通則]，簡介銲道目視檢測標準。



圖 2 裂縫(銲喉縱裂)



圖 3 裂縫(銲趾裂)



圖 4 銲蝕



圖 5 銲蝕



圖 6 氣孔



圖 7 氣孔(蟲孔)



圖 8 重疊

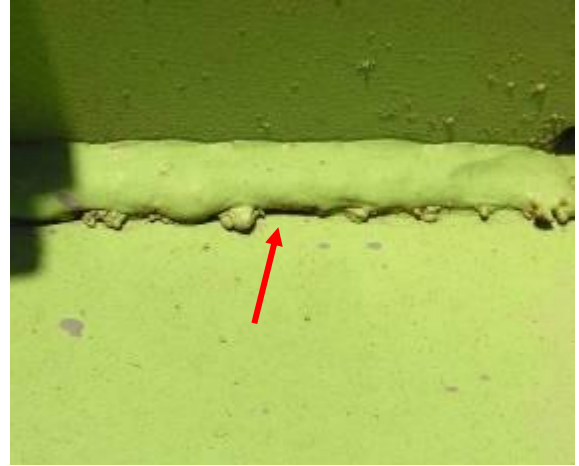


圖 9 重疊



圖 10 鐸冠過高



圖 11 鐸冠過高



圖 12 鐸接尺寸不足

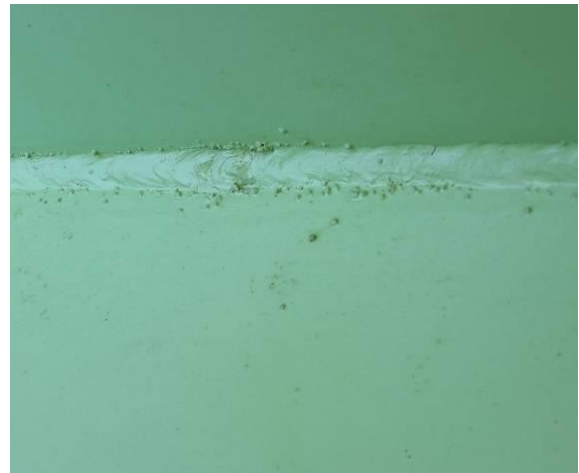


圖 13 鐸濺物

2.1 目視人員資格

執行瑕疵結果判定應取得中級檢測師(Level II)以上資格，相關檢測人員資格之取得應依據 CNS 13588 規定 [非破壞檢測人員資格檢定與授證]。

2.2 目視檢測時機與裝備

一般執行銲道目視檢測之時機為銲接前、第一道銲接後、銲接件表面冷卻至室溫後、高張力鋼銲接完成經一段適當時間(例如建議 ASTM A514、A517、A709Gr.100、A709Gr.100W 等材料於銲接後 48 小時才可檢測)、修整後、熱處理前後或依合約與實際需求。檢測裝備包括直尺、游標卡尺、銲道規、放大鏡、照明、白光照度計或其他任何適用之工具，以下為常用之檢測裝備，如圖 14 及圖 15 所示及其應用案例如圖 16~圖 21。



圖 14 檢測裝備-1



圖 15 檢測裝備-2

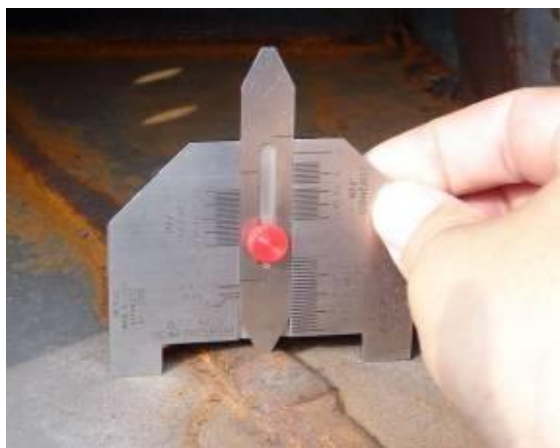


圖 16 銲冠高度量測



圖 17 銲接尺寸量測(腳長)



圖 18 銲接尺寸量測(喉深)



圖 19 銲接尺寸量測(腳長)



圖 20 銲冠高度量測



圖 21 銲蝕量測

2.3 目視檢測程序

依規範銲道及其鄰接 25mm 範圍內，若表面有油脂、銲渣、銲珠、銹皮及其他可能妨礙目視檢測之異物應予以清除。檢驗範圍可用鋼絲刷刷洗、噴砂或其他適當的清潔方法處理。當檢驗區表面粗糙度過大，並可能降低檢驗靈敏度時，建議應用研磨或其他適當方法處理。

執行檢測人員之眼睛應可接近至被檢物表面 600mm 以內，視線與被檢物表面視角不得小於 30°。若不利檢查之轉角或孔穴可使用反射鏡，以改善視角達到檢驗目的(必要時得使用放大鏡輔助檢驗)。另若因不易接近或有安全顧慮，可使用望遠鏡、照

相機或攝影機等輔助檢驗。

依據 CNS 12847[目視檢測法通則]，被檢物的表面應有足夠照度且須驗證，其可將照度計置於被檢區內量測，若照度不足時，可使用各種人工光源輔助之(如圖 22 所示)。一般被檢物表面的照度至少要達到 161Lux(15 呎燭)，若特殊精細之檢驗得將表面照度提高到 538Lux(50 呎燭)以上。

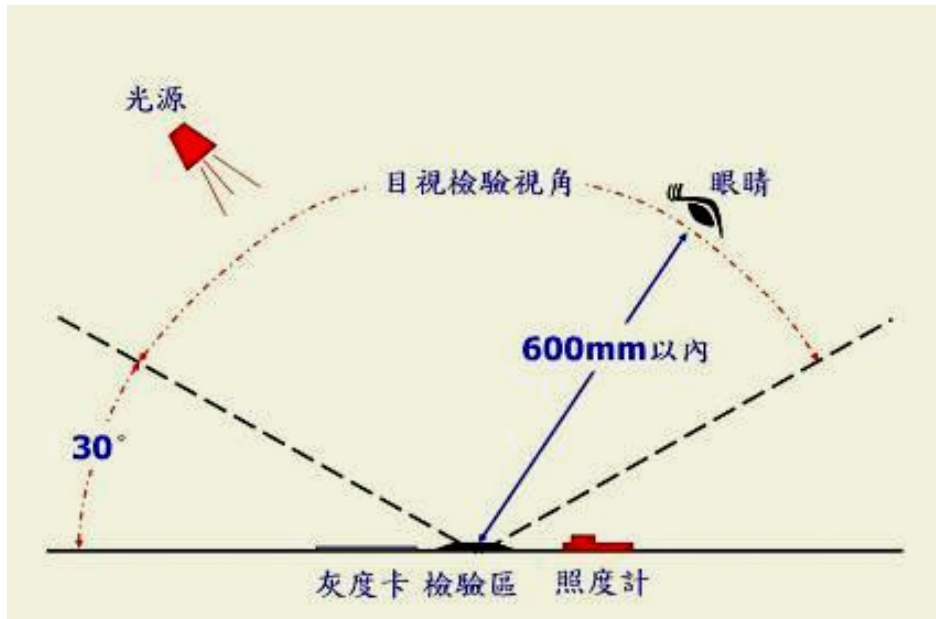


圖 22 驗證辨視能力

2.4 目視檢測接受標準

依據 CNS13021[鋼結構鉚道目視檢測法]，接受基準區分為受靜態力、受動態力及管狀結構等三種，相關接受基準如下所示：

2.4.1 靜態力結構

- (1) 鉚道不得有裂縫(crack)或重疊(Overlap)。
- (2) 鉚接金屬層間及鉚道與母材間必須完全熔合。
- (3) 整個鉚道斷面之鉚池必須填滿，但斷續填角鉚道其有效長度以外之末端不在此限。
- (4) 填角鉚道之外觀有相關規定可參考圖 23 所示，其中最大凸出(C)不得超過表 1 之規定。

表 1 填角銲接之容許最大凸出

填角銲接之設計表面寬度(L)mm	最大凸出(C)mm
$L \leq 8$	1.6
$8 < L \leq 25$	3
$25 < L$	5

- (5) 對接外觀有相關規定，其中銲冠(R)不得超過 3mm，且不同板厚之斜度不得超過 1：2.5，如圖 24~圖 26 所示。
- (6) 母材厚度小於 25mm 者，其銲蝕深度不得超過 1 mm，但在 300mm 長的銲道內之銲蝕累積長度若不超過 50mm，其銲蝕深度可允許至 1.6mm。母材厚度大於或等於 25mm 者，其銲蝕深度不得超過 1.6mm。
- (7) 填角銲道若有 1mm 以上之表面氣孔，在 25mm 長的銲道內，氣孔長徑之和不得超過 10mm，且在 300mm 長的銲道內，氣孔長徑之和不得超過 19mm。
- (8) 單一連續填角銲道其腳長不足或喉深不足，若小於設計尺度 1.6mm 以內，且此等銲接尺度不足的部份，不超過銲道長度的 10%，可不必修補。在大樑(Girder)末端相當於翼板寬度兩倍長之腹板與翼板之銲道，則不得有腳長不足或喉深不足等情形。
- (9) 承受與張應力垂直之全滲透對接開槽銲接不得有表面氣孔。其他開槽銲道，若有 1mm 以上之表面氣孔，在 25mm 長的銲道內，氣孔長徑之和不得超過 10mm，且在 300mm 長的銲道內，氣孔長徑之和不得超過 19mm。
- (10) 銲接完成後冷至室溫即可實施目視檢測，但需經淬火及回火之鋼種，應待銲接完成適當時間後，方可實施目視檢測。

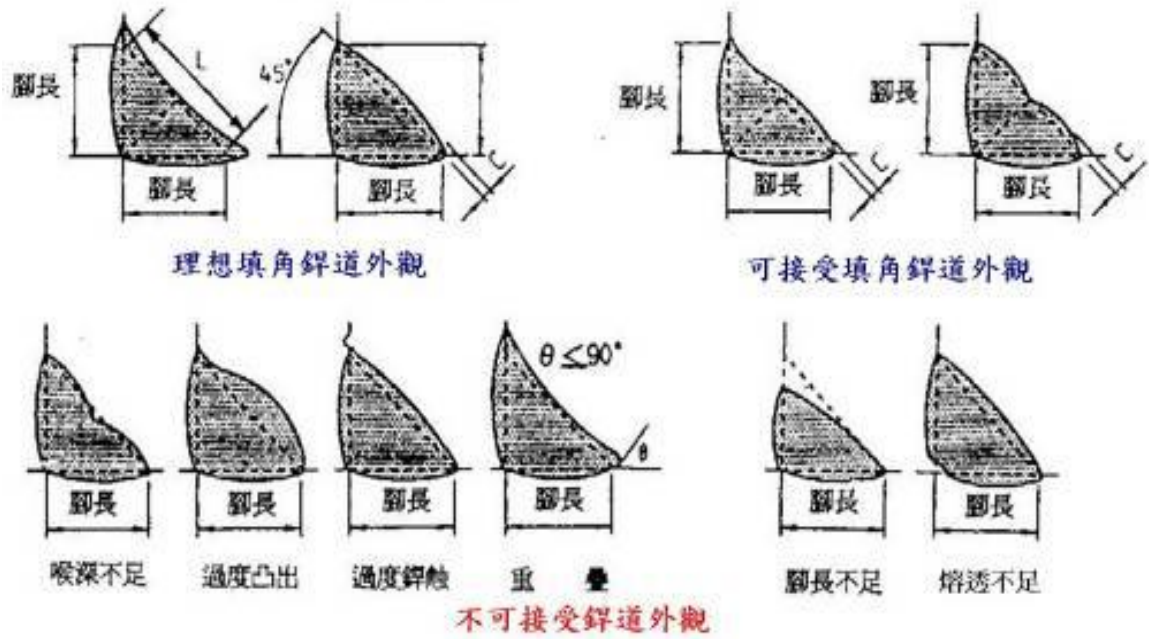


圖 23 填角鉚道之外觀圖示

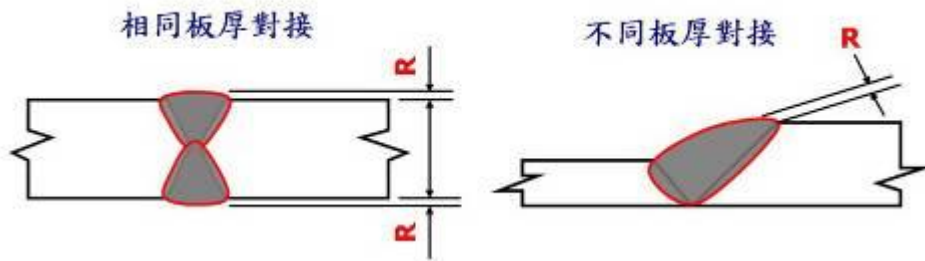


圖 24 可接受之對接外觀

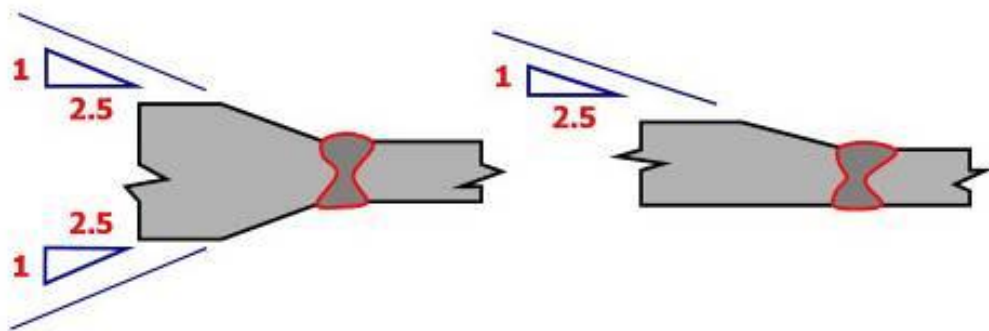


圖 25 不同板厚容許之最大斜度

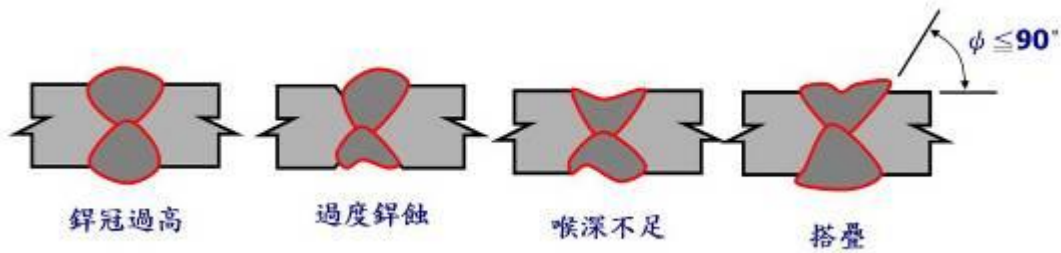


圖 26 不良之對接外觀

2.4.2 動態力結構

- (1) 鉸道不得有裂縫(crack)或搭疊(Overlap)。
- (2) 鉸接金屬層間及鉸道與母材間必須完全鉸合。
- (3) 整個鉸道斷面之鉸池必須填滿，但斷續填角鉸道其有效長度以外之末端不在此限。
- (4) 填角鉸道外觀有相關規定，其中最大凸出(C)不得超過表 1 之規定。
- (5) 對接外觀有相關規定，其中鉸冠(R)不得超過 3mm，不同厚度之斜度不得超過 1：2.5。
- (6) 鉸道的鉸蝕深度不得超過 1mm。但主要構件承受與張應力垂直之鉸道，其鉸蝕深度不得超過 0.25mm。
- (7) 填角鉸道若有表面氣孔，在 100mm 長的鉸道內，氣孔數量最多一個，且其直徑不得超過 2mm。若為連接加勁板與腹板之填角鉸道，在 25mm 長的鉸道內表面氣孔長徑之和不得超過 10mm，且在 300mm 長的鉸道內，表面氣孔長徑之和不得超過 19mm。
- (8) 單一連續填角鉸道其腳長不足或喉深不足，若小於設計尺度 1.6mm 以內，且此等鉸接尺度不足的部份不超過鉸道長度的 10%，可不必修補。在大樑(Girder)末端相當於翼板寬度兩倍長之腹板與翼板之鉸道，則不得有腳長不足或喉深不足等情形。
- (9) 承受與張應力垂直之全滲透對接開槽鉸道，不得有表面氣孔。其他開槽鉸接若有表面氣孔，在 100mm 長的鉸道內，氣孔數量最多一個，且其直徑不得超過 2mm。
- (10) 鉸接完成後冷至室溫即可實施目視檢測，但需經淬火及回火之鋼種者，則應待鉸接完成適當時間後，方可實施目視檢測。

3. 鐸接瑕疵原因與解決對策

鐸接瑕疵發生原因與相關鐸接製程管理相關，因此除瞭解瑕疵發生原因外，更應針對可能之因素予以消弭，以降低發生瑕疵之機率。如鐸接氣孔產生原因主要為鐸接區存在污染物及濕氣，這些污染物或濕氣可能來自母材、鐸條、鐸藥及保護氣體等。鐸接時污染物或濕氣被逐漸溶解與冷卻，上述過程氣體會逐漸被排出，同時先在熔融金屬內移動再往大氣排出，若熔融金屬之凝固速度比氣泡移動或排出速度快時，氣泡就會殘留在凝固金屬內部或表層，形成內部或表面氣孔瑕疵。因此相關鐸條、鐸藥之乾燥、保護氣體之成分與純度及鐸前鐸道之清潔等因素，均會導致鐸接氣孔之產生。另夾渣發生之原因多為多道鐸接時，未將前一層之鐸渣清除乾淨或鐸接過程中鐸渣與鐵水相互熔在一起，故當熔池凝固時，熔渣來不及浮出表面，即造成夾渣之瑕疵，這與鐸接參數及鐸接人員技藝有關。一般瑕疵發生之原因整理如表 2 所示[4]。

表 2 一般瑕疵發生之原因

瑕疵分類	瑕疵發生之原因
氣孔	1.電流過大 2.電弧過長 3.鐸條、鐸藥乾燥不良 4.鐸前鐸道內污染物、濕氣及清潔不良 5.保護氣體不足
夾渣	1.電流過低 2.鐸層間之清除不清潔 3.鐸接過程中鐸渣與鐵水相互熔接 4.開槽面切割不良 5.鐸條大小不適合 6.鐸接過程熔填金屬冷卻過快
滲透不足	1.電流太小 2.接頭間隙太大或太小 3.鐸接速度過快 4.鐸條尺寸選擇不當
熔合不良	1.電流過小 2.鐸道內有雜物 3.堆鐸層次順序不良 4.鐸條大小不適合 5.鐸接速度不均勻

裂縫	1. 鐸道急速冷卻 2. 鐸材不當 3. 鐸接順序與方法不良 4. 內應力太強
鐸蝕	1. 電流太大 2. 電弧過長 3. 運棒速度太快 4. 鐸條運棒角度不良 5. 母材溫度過高

4. 非破壞檢測技術之搭配應用

相關單位除應落實相關鐸接管理之程序及目視檢測外，建議應使用適當之非破壞檢測技術(NDT)，方能正確檢出瑕疵或缺陷。如一般鐸道表面瑕疵可使用液滲檢測法(PT)或磁粒檢測法(MT)檢測，內部瑕疵可使用超音波檢測法(UT)或放射線檢測法(RT)。上述檢測方法之適用比較及優缺點如表 3 及表 4 所示。

表 3 各種檢測方法適用比較

深度位置 检测方法	鐸道表面缺陷	鐸道淺層缺陷	鐸道內部缺陷	備註
目視檢查	◎	×	×	◎：最佳 ○：可行 △：困難 ×：不可行
磁力檢測	◎	◎	×	
液滲檢測	◎	×	×	
射線檢測	◎	◎	◎	
超音波檢測	△	○	◎	

表 4 非破壞檢測之優缺點

方法	優點	缺點
液滲檢測法	<ol style="list-style-type: none"> 1.設備簡單 2.操作容易 3.試件幾何形狀影響較小 4.較不受材質影響 	<ol style="list-style-type: none"> 1.多孔性材料不適用 2.表面清潔麻煩、費時 3.重覆檢測時靈敏度降低 4.不同廠牌材料禁止使用 5.僅能檢測出開口於表面的瑕疵 6.檢測奧斯田鐵系不銹鋼、鈦鎳合金時須注意材料含氣
磁粒檢測法	<ol style="list-style-type: none"> 1.方法簡單，操作容易。 2.表面清潔度，要求不必太高。 3.薄覆層或緊附油漆可不必刮除。 4.可檢測為異物所填塞的瑕疵。 5.對疲勞裂縫效果很好。 6.可檢測次表面的瑕疵。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.只用於鐵磁性材料。如：鐵、鈷、鎳及其合金。 2.磁場方向須和瑕疵垂直，才有最佳靈敏度。 3.接觸棒法須注意避免接觸不良，或電流過大。 4.無法檢測較深層瑕疵。
超音波檢測法	<ol style="list-style-type: none"> 1.穿透力高可檢測較厚試件，亦即可檢測試件深處的瑕疵。 2.超音波能量低對人體無害。 3.通常可以立即作信號研判是否有瑕疵存在。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.探頭與試件表面須耦合，接觸良好。 2.檢驗人員需有技術及經驗豐富。 3.試件外形較複雜，厚度較薄者，較難應用。 4.表面粗糙或粗晶粒試件不易檢測。 5.對近表面瑕疵檢測效果較差。 6.儀器須定期依規定校正性能。
放射線檢測法	<ol style="list-style-type: none"> 1.可用於多數材料。 2.瑕疵影像較易辨識。 3.底片可作為永久記錄。 4.γ射線不需電源。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.不適於太厚的檢測物件。 2.對於平面狀之危險瑕疵，如裂縫，熔合不良，若檢測技術不良，將有遺漏之虞。 3.成本較高，費時。 4.有輻射危險。

5. 銲接品質建議管理措施

有效與適當之管理措施，可有效提高鋼結構銲接之品質。相關管制措施可包括人員、程序、制度與標準等項目，本文建議 9 項鋼結構工程品質管理措施，以提供相關工程人員執行銲接品質之管理。相關建議措施如表 5 所示。

表 5 銲接品質建議管理措施

1. 召開施工前協調會議	工程管理單位針對重要設備應於施工前召開施工前協調會議，並邀請承攬廠商及 NDT 檢驗單位共同依合約討論檢驗標準及抽驗機制（必要時工程合約制訂前，亦可邀請 NDT 檢驗單位共同擬訂）。同時請承攬廠商確實依照圖面施工，NDT 檢驗單位應依照圖面執行檢驗（如接頭型式、銲接方法與缺陷接受標準等）。
2. 提送合格銲接人員之名冊	建議銲接人員應通過符合程序之銲接技術檢定，並提供有效銲接認證等相關證明，方可進行相關銲接組裝之工作。工程管理單位亦可對於承攬廠商提供之合格銲接人員名冊進行銲接技術檢定（如採抽測機制等），以利現場銲接品質之管理（後續不合格率較高之銲接人員亦須加強管理）。
3. 提送銲接之標準程序	承攬廠商執行重要設備銲接前應先提送合格之銲接程序與相關標準，包括 WPS (Welding Procedure Specification) 及 PQR (Procedure Qualification Record)。工程管理單位之監造工程司隨時依 WPS 查核銲接程序等相關參數，如電壓、電流、銲接速度及銲材等，以降低銲接不合格率之發生。標準化程序之執行，可有效降低不合格率之發生。
4. 鋼構廠品質管理	工程管理單位針對重要設備除現場安裝組立之構件須執行抽驗外，亦應從鋼構廠即派人執行相關品質管理，包括進料檢驗、尺寸查核及銲接檢驗等，以避免現場安裝若發現不符合情況，造成現場修改不易及影響工期等狀況。另

	NDT 檢驗單位應可協助相關母材、鐸材規格、接頭型式及鐸接檢驗之確認等，可有效協助鋼構廠之品管機制。
5.廠商自主品管	工程管理單位應要求承攬廠商針對重要設備確實自檢及現場查核，並查核有關承攬廠商之 NDT 自檢人員資格及檢驗程序等。另承攬廠商自檢完成後，NDT 檢驗單位應協助抽驗，相關自檢之落實將可降低抽驗比例及檢驗之成本。
6.重要鐸道須抽驗	工程管理單位針對重要設備或組件應須檢驗，以避免未來設備因鐸接缺陷而失效，甚至造成停機或工安之損失。
7.注意修補程序	工程管理單位針對重要設備不合格之部位應注意修補程序，如預熱、後熱處理及鐸材等管制工作，適當及正確的修補程序方可確認設備修補後之完整。
8.不合格追蹤管制	對於品質不合格之組件，工程管理單位應確實管控，如建立檢驗追蹤管制表等，以確保修補後之品質合格，並應保留相關紀錄及報告資料。
9.品管教育訓練與落實證照制度	工程管理單位可辦理相關工程品管訓練課程，同時建議應考取相關專業技術證照，包括非破壞檢測師、鐸接檢驗師及品管工程師等，以培養相關品管人力。

6. 結論

鐸接是鋼結構不可缺少之接合方法，工程業界均致力於消弭鐸接所產生之缺陷，因此鐸道目視檢測法是非常重要的評估手段之一。建議工程相關單位可辦理或參加相關工程品管訓練課程，同時應考取相關專業技術證照，例如非破壞檢測師、鐸接檢驗師、監造工程師及品管工程師等，以有效提高鋼結構之品質。

7. 參考文獻

- [1] AWS D1 Committee, “Structural Welding Code-Steel”, American Welding Society (2008).
- [2] 經濟部標準檢驗局，中華民國國家標準鋼結構銲道目視檢測法，經濟部標準檢驗局，2005 年。
- [3] 經濟部標準檢驗局，中華民國國家標準目視檢測法通則，經濟部標準檢驗局，2005 年。
- [4] 台灣銲接協會，銲接檢驗師資格檢定基礎課程，台灣銲接協會，2010 年。