

鋼線斷線原因探討及分析(上)

張正熙

壹、前言

鋼線最大的品質問題應該就是發生斷線了，無論是在我們伸線過程中，發生斷線；或是鋼線成品送交客戶使用加工的過程中，發生斷線；甚至是在客戶製成品送交其客戶使用加工的過程中，發生斷線。

鋼線在伸線過程中發生斷線，會造成我們伸線作業中斷，導致我們生產作業及材料上的損失，這樣會增加我們的生產成本。若在鋼線成品送交客戶使用加工的過程中，或是在客戶製成品送交其客戶使用加工的過程中，發生斷線，則會導致客戶對我們鋼線產品的品質存疑，讓我們公司的商譽受損。有時客戶也會因為鋼線斷裂，而產生材料、人工的損失，通常這時候客戶都會要求我們公司賠償損失，這也會讓我們公司產生實質上有形的財產損失。

鋼線斷線除了讓我們公司財產損失及信譽受損外，有時候也會因為斷線產生工安問題。我們在伸線過程中，如果伸線機沒有安全防護措施，例如伸線機台沒有安全防護罩，可能會在斷線的剎那打到人，造成工安意外。而在客戶使用我們鋼線加工的過程中，或是客戶的客戶在使用客戶的產品過程中，發生斷裂，也是非常有可能會發生工安問題。以前我們公司生產銷售的預力鋼線，就曾經在客戶使用加工的過程中發生斷裂，而斷裂的預力鋼線正好穿刺到客戶作業人員的腿部，而造成工安意外。

另外鋼線斷裂也可能產生公共工程品質上的問題，而導致社會人民財產及生命的損失。例如南化水庫原水透過長 57.7 公里的管路引導進入坪頂淨水廠處理，用來支援高雄地區原水每日 50 萬立方公尺，以供應大高雄地區民生用水。而這個聯通管第三管段中的鋼襯預力混凝土管，卻於 2004 年 5 月 10 日晚上 11 時多爆裂，並掀翻路面。然而又在 2005 年 7 月 18 日，於台三線北上車道 381.5 公里處又發生爆管事件，經過管材改善，並加設三座減壓站後，才徹底解決問題。這次的爆管事件，有人認為爆裂水管有鋼線生鏽導致抗壓力及延展力變差的疑問。

我特意在網路上查到了，臺灣水利第 58 卷第 3 期中這篇「水錘壓力引發南化水庫輸水管路爆管之探究」文章，有著相關專業背景的四名陸軍官校土木及機械系教師，對於這次南化水庫爆管事件造成原因的看法，摘錄如下：

本文綜合暫態流分析結果、中興顧問社和水利技師工會之調查報告，總計南化水庫輸水管線爆裂之主要原因有：

- (i)預力鋼線經淬火處理而導致氫脆化。
- (ii)鋼線纏繞前後未噴敷純水泥漿以防止鋼線鏽蝕。
- (iii)預力鋼線未依規定纏繞疏密不一。
- (iv)管接頭處水密性不佳不耐久而易鏽蝕。

次要原因為：

- (i)水錘壓力之長期作用所導致之預力鋼線彈性疲乏。由 Hytran(管道流速和壓力計算軟體)數值模擬知即使閘門操作時間為 1 分鐘，開度為 44%，所衍生之水錘壓力 6.1 kg/cm^2 也低於設計值，故單純一次之閘門操作應非爆管之原因--除非套筒閘閘門操作時間(自 76%至 32%)更小於 1 分鐘。相較而言，閘門實際操作開度僅 7%左右，對管中水壓力之變化貢獻應該更為微小。

貳、鋼線斷裂的類型

鋼線斷線所造成的損失可大可小，輕者讓我們伸線作業中斷，造成人工或材料上的損失。重者會造成公共工程品質不良，而導致社會及人民財產和生命的損失。因此我們對於鋼線的斷裂不能輕忽，一定要深入地加以探討，並且有效地加以防止。通常我們可以根據鋼線斷裂前，所產生的巨觀塑性變形量的大小，來確定鋼線斷裂的類型。通常鋼線斷裂的類型，可分為韌性斷裂、脆性斷裂、韌性和脆性合併斷裂等三種。

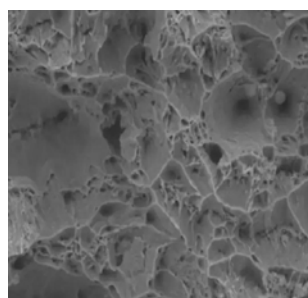
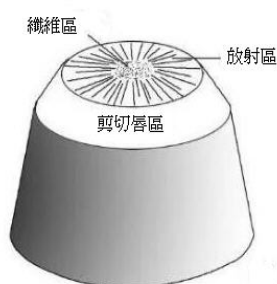
鋼線韌性斷裂的特徵就是斷裂前，鋼線會發生明顯的巨觀塑性變形，也就是鋼線斷裂面會有頸縮的現象(如圖一)。當我們在用肉眼或是低倍顯微鏡觀察時，就會發現鋼線的斷口呈暗灰色纖維狀，並且有大量塑性變形的痕跡。韌性斷裂是鋼線在經過大量變形後，所發生的斷裂。主要是鋼線所承受的負荷，超過其抗拉強度或是伸長率極限時，這時就會發生韌性斷裂。韌性斷裂的特徵，就是發生了明顯的巨觀塑性變形，且產生延性的斷裂。鋼線斷口的直徑，也會比鋼



圖一 韌性斷裂斷口

線原始的尺寸有著明顯的變化。鋼線的韌性斷裂在斷裂的過程中，是需要不斷地消耗相當多的能量，與之伴隨而來的是鋼線產生大量的塑性變形。鋼線巨觀的塑性變形方式和變形量的大小，通常是取決於鋼線所受的應力狀態，和鋼線的抗拉強度及伸長率……等的機械性質。

通常鋼線韌性斷裂的斷口，我們一般都能夠找得到纖維區和剪唇區(如圖二)。鋼線的斷口會呈暗灰色及纖維狀，當鋼線的外徑尺寸較大時，還會出現放射狀及八字形山脊的狀花紋。形成纖維區斷口的斷裂機制一般是微孔聚合，如果我們將鋼線斷口放在電子顯微鏡中觀察，將會呈韌窩狀花紋(如圖三)。鋼線的韌性斷裂一般都是由於超載所引起，也就是鋼線因為受到超過抗拉負荷的應力，而這時候鋼線的塑性與韌性又非常好。鋼線斷口的纖維區，一般就是斷



圖二 斷口纖維區、放射區及剪切唇區

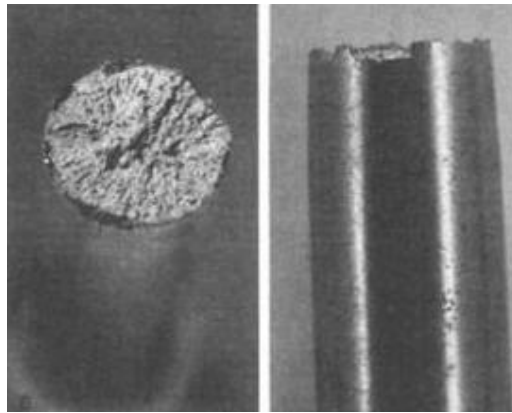
圖三 電子顯微鏡韌窩狀花紋

裂源區。而鋼線斷口的剪切唇，總是在斷口的邊緣，並與鋼線的表面會成約45°夾角。這是因為在平面應力受力條件下，發生剪切撕裂而形成的斷口，剪切唇表面會較光滑，鋼線斷裂時的所受的應力，應該是會高於鋼線的降伏強度。在鋼線斷口的微觀形態，通常會有韌窩存在。

韌窩斷口是指在鋼線韌窩斷裂的斷口上，有著大量顯微微坑，這些微坑我們稱之為韌窩，韌窩是金屬塑性斷裂的主要微觀特徵。韌窩是鋼線材料在微區範圍內塑性變形產生的顯微空洞，經過形核、長大及聚集，最後相互連接而導致鋼線斷裂後，在鋼線斷口表面上所留下的痕跡。韌窩的大小，包括平均直徑和深度。影響韌窩大小的主要因素，從材料方面來講為第二相的大小、密度、基體的塑性變形能力、形變硬化指數.....等，從外界的條件來看，則與應力大小和載入速率有關。一般在斷裂的條件相同時，韌窩的尺寸越大，表示材料的塑性越好。韌性斷裂的斷口通常可以分為剪切唇、放射區及纖維區，其中斷口的纖維區的形貌，可以幫忙我們直接反應出斷口是屬於韌性斷裂，還是脆性斷裂。其裂紋擴展速率較慢，放射區為放射花紋特徵，當撕裂時變形量越大，放射線就越粗，而最外面的剪切唇區則最後才形成的。

脆性斷裂(Brittle fracture)我們也可以簡稱為脆斷，通常是指材料未有明顯的塑性形變，而發生斷裂的現象。例如木材、石材、玻璃、陶瓷的斷裂，就幾乎不發生塑性變形，是比較典型的脆性斷裂。脆性斷裂發生前無巨觀塑性變形，因此幾乎沒有預兆，並且發展得很迅速，一旦開裂，裂紋會迅速擴展，造成大裂口或整體斷裂，通常還會產生一些碎片，因此脆性斷裂很容易造成突發嚴重事故。

鋼線的脆性斷裂和韌性斷裂相反，斷裂前從巨觀來看，並沒有明顯的塑性變形積累，鋼線斷口平齊而發亮(如圖四)，並且常會呈現八字紋或放射的花紋形狀。通常鋼線的脆性斷口其巨觀特點，就是斷口平齊而光亮，且與正應力垂直。脆性斷裂的微觀特點，則是斷口呈八字紋或放射的花紋形狀。鋼線的脆性斷裂我們又可以稱為脆斷，因為鋼線在沒有經過明顯的變形，就發生斷裂，而斷裂時鋼線幾乎是沒有發生過塑性變形。另一方面鋼線在脆斷時也沒有明顯的伸長或彎曲，更沒有縮頸情況，而鋼線的脆性則是引起鋼線脆斷的重要原因。



圖四 脆性斷裂斷口

鋼線的脆性斷裂，一般會發生在高強度或低延展性、低韌性的鋼線。有時候即使鋼線有較好的延展性，在一些情況下，也會發生脆性斷裂，例如在低溫及高加工度的施作(如壓扁、大角度的彎角)，或是在鋼線材質有缺陷存在的情況下發生。我們常常會把品質合格正常的盤元線材或是鋼線，看做無缺陷及無裂紋的連續均勻介質，我想這種觀念其實可能是一個錯誤。盤元線材或是鋼線的內部，在經過各種的加工過程中，例如冶煉、鑄造、鍛造、熔接、熱處理、冷加工……等各種過程，有時候是不可避免地會產生某種細裂紋。另外在盤元線材或是鋼線在使用加工的過程中，例如金屬疲勞、衝擊、環境溫度……等，也都會產生各種缺陷。這些像是白點、氣孔、渣、未熔透、熱裂、冷裂、缺口……等的缺陷。

如果盤元線材及鋼線在沒有經過探傷檢驗，而這些細裂紋或是缺陷，又沒有被發現的情況下，將會在盤元線材或是鋼線使用加工的過程中，由於應力集中、疲勞、腐蝕等原因，使得裂紋更進一步的擴展。當裂紋尺寸達到臨界尺寸時，就可能發生低應力脆斷的情況。盤元線材及鋼線的缺陷和裂紋，會產生應力集中，通常其所受的拉應力將可能會是平均應力的數倍。過度集中的拉應力，如果超過盤元線材或鋼線的臨界拉應力值時，將會產生裂紋或缺陷的擴展，而導致鋼線的脆性斷裂。

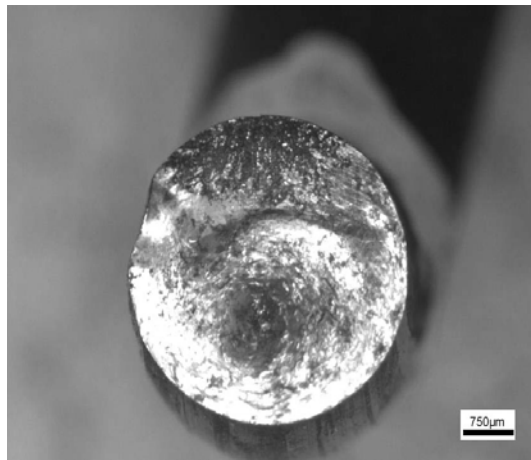
巨觀來看鋼線脆性斷裂，可以說是一種危險的突發事故。因為鋼線在脆性斷裂前，並沒有巨觀的塑性變形，因此往往就沒有其他的徵兆，但一旦鋼線開

裂後，裂紋就會迅速擴展，而造成嚴重的破壞或是工安事故。因而對於使用有可能會產生脆斷的鋼線，我們就必須從脆斷的角度來計算其承載能力，並且應充分估算超載的可能性。

而巨觀鋼線的塑性斷裂的危險性就遠較脆性斷裂小。主要由於鋼線塑性斷裂前，會產生明顯的塑性變形，使鋼線不能正常的運行，那就會引起人們的注意，因而可以及時採取措施，防止鋼線斷裂的發生。即使由於短時間的突然超載，一般也只能造成鋼線產品局部開裂，不會整體斷裂或飛出碎片，而造成災難性的事故。因此對於使用有可能產生塑性斷裂的鋼線，我們只需按照鋼線的降伏強度計算其承載能力，一般就能夠保證安全使用。

金屬的脆性斷裂，根據裂紋擴展路徑的不同，可以分成單晶體、多晶體斷裂。當屬於多晶體金屬斷裂時，根據裂紋擴展所走的路徑，又可以分穿晶斷裂和沿晶斷裂。穿晶斷裂的特點是裂紋會穿過晶體內，而沿晶斷裂時則裂紋是沿著晶界擴展。穿晶斷裂可能是屬於韌性的斷裂，也可能是屬於脆性的斷裂，而沿晶斷裂則多是屬於脆性斷裂。單晶體的斷裂是屬於解理斷裂，裂紋會沿解理面擴展。所謂解理斷裂是一種比較典型的穿晶脆性斷裂。通常一定晶系的金屬，一般都有一組在正應力作用下容易開裂的晶面，稱為解理面。一個晶體如果沿著解理面發生開裂，我們稱之為解理斷裂。另外當多晶體斷裂是屬於沿晶斷裂時，其裂紋的走向是沿著晶面，而且並不在某一平面內運動。而屬於穿晶斷裂時，其裂紋則是沿著多晶粒的解理面穿過，而不管晶界的位置如何。

盤元線材或鋼線的韌性和脆性合併斷裂(如圖五)，則是指在盤元線材或鋼線的斷裂的過程，先後發生脆性斷裂及韌性斷裂的一種合併型態的斷裂。盤元線材或鋼線發生韌性和脆性合併斷裂，通常都是先發生脆性斷裂，再發生韌性斷裂。當盤元線材或是鋼線受到應力作用發生脆性斷裂時，斷裂紋會逐漸擴展開來，當紋擴展到一定程度，盤元線材或是鋼線無法再承受應力時，盤元線材或是鋼線內部尚未裂開部份，就會發生韌性斷裂，導致整條盤元線材或是鋼線斷開，這時斷口也會留有塑性變形的痕跡。



圖五 鋼線的韌性和脆性合併斷裂

參、鋼線斷裂分析步驟

如果在鋼線伸線過程中，或是客戶使用鋼線加工的過程中，發生斷裂的事件，我們要如何處理呢？通常我們對於這些鋼線斷線事件的研究、處理及分析的方法，有下列幾項步驟。首先我們要到事件現場，並觀察事件發生的情況，然後取得鋼線斷線的樣本。接著檢討是否要針對盤元線材或是鋼線進行化學成分的分析，或是機械性質測試。接著則是針對鋼線斷頭進行檢驗，然後再對鋼線的組織做金相檢驗，最後找出鋼線斷線的原因，得到結論及提出改善的意見。

盤元線材或是鋼線發生斷線事故時，我們到事件發生現場，主要的工作是要觀察事件發生的情況，然後取得鋼線斷線的樣本。觀察鋼線斷線事件發生的情況，有幾項工作則是我們要注意的重點。

- 一、首先是查看斷線所使用加工的盤元線材或是鋼線的產品標籤，這樣可以讓我們瞭解所使用加工的盤元線材或是鋼線產品，它的廠牌、品名規格及尺寸，將會讓我們比較容易深入瞭解及探索斷線的原因。有時如果當我們發現發生斷線的鋼線成品，並不是我們公司生產的產品，就可以立即停止研究及探索，避免及減少不必要的時間浪費。
- 二、接著要初步觀察斷線的情況，我們可以仔細觀察盤元線材或鋼線的斷口，並從巨觀的觀察中來分辨斷裂是屬於韌性斷裂或是脆性斷裂。
- 三、對於斷線現場同一批或是同一件，尚未使用加工完畢的盤元線材或是鋼

線，我們也要詳細加以檢查，並且使用目視或是放大鏡檢查，檢查表面是否存在有缺陷，這將有助於我們瞭解斷線情況，及推論得到發生斷線的原因。

四、另外我們對於斷線現場同一批或是同一件，尚未使用加工完畢的盤元線材或是鋼線，也要加以取樣。以便我們能夠對於盤元線材或鋼線進行化學成份分析及機械性質測試，用以協助我們分析及判斷造成線斷的原因。

五、我們對於盤元線材或是鋼線斷線當時，生產設備的生產條件及數據也要加以記錄。並且和正常生產時的生產條件及數據加以比對，用以協助我們分析及判斷造成線斷的原因。

六、最後我們要取得盤元線材或是鋼線斷裂的樣本，對於斷裂樣本的取得，最好能夠取得斷裂兩邊的樣本，這樣對於我們分析及判斷造成線斷的原因會比較有幫助。

在我們觀察事件現場及取得斷線樣本後，首先是要徹底清潔取得樣本，最好能夠用酒精或是清潔用的溶劑加以清潔，但是要特別注意的是不要對於斷線樣本造成傷害，或是導致變質。接著要依據斷線的情況及我們到事件現場觀察的結果，規劃針對樣本需要進行那些測試，例如化學成份分析、機械性質測試、斷頭電子顯微鏡觀察、斷頭金相組織分析。再將取得樣本裁剪成要進行上述這些試驗需要的尺寸。

如果要必要時，首先我們要針對盤元線材或是鋼線的樣本做化學成份的檢測，判斷盤元線材或是鋼線的化學成份，是否符合我們要求的標準。要針對盤元線材或是鋼線的化學成份進行檢測，通常我們可以使用金屬成份分析的分光儀來檢測，但目前市面上這些金屬成份分析的分光儀，廠牌、種類及型式很多，而且準確度及品質也良窳不齊。如果要瞭解及檢測盤元線材或是鋼線的化學成份，通常我們會建議將鋼線樣本，送中鋼化學檢測組或是具有 TAF 認證核可的化學成份分析實驗室，來做化學成份的分析及檢測是較為妥當，其檢驗的方法也比較能夠合乎國際標準的要求。目前中鋼對於溶鋼的化學分析，大都使用「火花放電原子發射分光光度測定分析方法」，並依據「JIS G1253 鋼鐵火花放電原子發射分光光度測定分析方法」的標準作業。中鋼化學成份分析實驗室要進行化學分析檢測，需要的樣本長度約為 20cm。

再來我們要針對盤元線材或是鋼線的樣本做機械性質分析，機械性質通常包括線徑、徑偏差、抗拉負荷、抗拉強度、伸長率、扭轉次數.....等。有時候我們可以從取回的盤元線材或是鋼線的機械性質測試結果，就可以發現造成鋼線斷線的原因。例如我們從事件現場，取回的鋼線樣本，其扭轉試驗結果，為扭轉次數太低或是扭轉時脆斷時，我們就可以大略判斷造成斷線的原因，可能是我們鋼線品質上有問題所造成。

接著我們要詳細的觀察盤元線材或是鋼線的斷頭樣本表面，有無被拉伸的痕跡，或是擦痕及其他缺陷。並且巨觀的觀察盤元線材或是鋼線的斷裂源，是否是起源於線材表面。通常要巨觀的觀察盤元線材或鋼線的表面情況，我們可以使用放大鏡觀察，或是進一步使用實物顯微鏡來觀察。使用放大鏡或是實物顯微鏡，主要是讓我們能夠針對線材盤元或鋼線進行低倍率的檢驗，或是用肉眼觀察盤元線材或是鋼線表面上，是否有一些嚴重的缺陷存在，例如耳痕、折痕、裂紋、雞爪紋、擦痕、結疤、凹洞、蝕孔.....等。

再來是利用掃描電子顯微鏡觀察鋼線斷口，以確定鋼線斷裂起源位置。盤元線材或是鋼線斷裂的起源，是在放射紋樣的收斂處、斷口的平坦區、無明顯塑性變形區，或是斷口面內部無剪切唇形貌特徵區，還是在鋼線外表面八字紋的最尖頂處。當我們確定盤元線材或是鋼線的斷裂源後，再進行微觀斷口分析，並觀察盤元線材或是鋼線斷裂源處有無夾雜物，若存在夾雜物我們也可以進行化學成份的光譜分析，其次再觀察整個盤元線材或是鋼線斷口面的斷口形貌，以及斷口面的彎曲度。

接著再進一步的工作，則是對於斷線樣本做金相組織分析，通常鋼線的直徑較細，金相試片的製比較困難，我們都會利用熱鑲樣或冷鑲樣技術來製作金相試片。在金相試片製作完成，並且經過研磨、拋光和腐蝕的程序後，我們就可以進行金相組織的觀察。首先我們要觀察盤元線材或是鋼線的橫切面組織，及其表層脫碳層或是裂紋及其他異常組織的情況。接著再觀察盤元線材或是鋼線的縱切面組織，這方面包括孔洞、夾雜物種類、異常組織、組織偏析.....等。

最後我們要根據盤元線材和鋼線及其斷口表面的巨觀分析和微觀分析，盤元線材及鋼線的化學成份分析和機械性質分析，盤元線材及鋼線斷口金相組織分析，等的這些檢測結果來分析造成盤元線材或鋼線斷線的原因，並且依據這些觀察及檢測的結果，推論出來的斷線的原因，並且提出改善的方法。

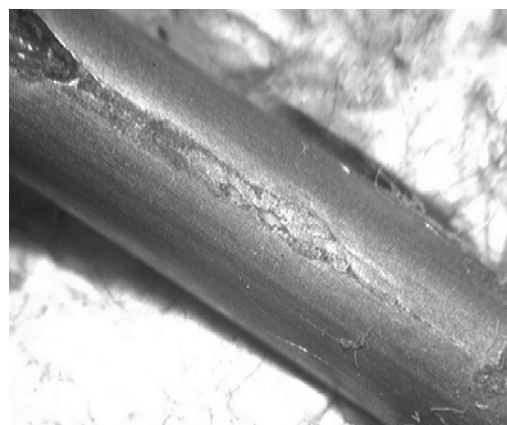
肆、常見鋼線斷線原因

我們要分析判斷造成盤元線材或是鋼線斷線的原因，首先要找出盤元線材或是鋼線的斷裂紋源。盤元線材或是鋼線斷裂的裂紋源，從巨觀上可以分為兩大類，一種是斷裂紋源起源於盤元線材或是鋼線的外表面，另一種則是斷裂紋源起源於盤元線材或是鋼線的內部。通常斷裂紋源起源於盤元線材或是鋼線的內部，這種斷線的斷線原因，大部份都是盤元線材的問題比較多，例如盤元線材內部有縮孔、孔洞、裂紋；或是盤元線材內部有異常組織如麻田散鐵、粗波來鐵、偏析的雪明碳鐵。而斷裂紋源起源於盤元線材或是鋼線的外表面，這種斷裂的斷線原因，則大部份都是生產及使用加工過程中的異常，如伸線過程中的異常，或是我們客戶使用鋼線加工過程中發生的異常。

盤元線材或是鋼線發生斷裂時，若其斷裂紋源是起源於外表面的情況，許多時候都是由於表面傷痕，所引起的伸線過程或是鋼線使用加工過程的斷裂。該類盤元線材在伸線過程或是鋼線使用加工過程中，其所發生的斷裂斷口平整，並且沒有明顯的塑性變形，可以說是一種脆性的斷裂。如果我們再仔細觀察鋼線斷裂的斷口形狀，通常可以看到放射線紋呈八字形，而且八字形的尖部是指向斷口樣本邊緣(如圖六)，這也說明盤元線材或是鋼線的斷裂起源是在於此，有時斷線的樣本外表面還會有 V 形缺陷存在(如圖七)，而且會與盤元線材伸線加工，或是鋼線被加工的方向一致，這些斷線樣本的斷裂紋源均是起源於線材外表面。



圖六 放射紋呈八字形



圖七 鋼線表面 V 形缺陷

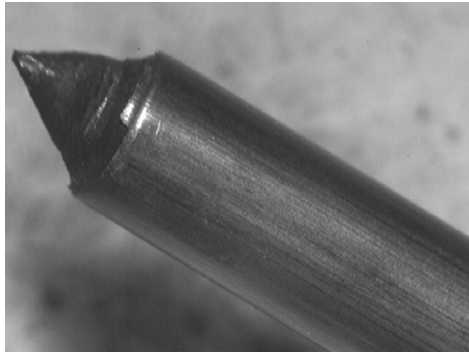
另外一類盤元線材或是鋼線的斷裂，他們的斷裂紋源是起源於線材鋼線的外表面，在進一步受力後，斷裂紋向樣本內部擴展，最後發生斷裂。這種情況發生的斷裂，產生原因可能主要有兩種，一種是盤元線材上的線紋深且多，在後期的伸線過程中，深線紋處會成為薄弱處，並且首先開裂。另外一種是在伸線的過程中，盤元線材在伸線時缺少有效的潤滑，與伸線眼模產生直接摩擦，導致盤元線材或是鋼線表面產生橫裂紋進而引起鋼線斷裂(如圖八)。而在客戶使用鋼線加工的過程中，由於擦撞傷也會產生這一類的斷線。



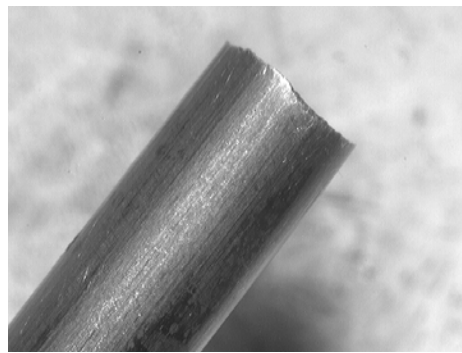
圖八 鋼線表面的橫裂

盤元線材在伸線的過程，或是使用鋼線加工過程，其斷斷裂紋源起源於內部，這種情況就比較複雜，並且可存在多種原因，但這大部份是盤元線材在材質上的問題。例如盤元線材內部夾雜物引起的伸線斷裂，或是網狀物碳化物及孔洞引起的在伸線過程中的斷裂。

盤元線材中心孔洞，大部份為鋼胚中心疏鬆所引起，而網狀碳化物則盤元線材鋼中碳偏析所產生的雪明碳鐵。盤元線材異常組織所引起的伸線斷裂，如果我們對這一類的盤元線材或鋼線斷線的斷口進行巨觀的觀察，大致可以分為兩類，第一類是略有頸縮狀況的杯錐狀斷口(如圖九)，另一類則斷口面較平直(如圖十)。當盤元線材或是鋼線斷線的斷口面較為平直，基本上這是屬於脆性斷裂，其斷口形狀為異常的沿晶斷裂加上少量解理形態，這時盤元線材的組織中大部份都會含有麻田散鐵。而呈現杯形斷裂，則屬是脆性及韌性的合併斷裂，大部份是盤元線材的心部組織，有雪明碳鐵、粗波來鐵.....等異常組織，或者是盤元線材內部有縮孔所導致。

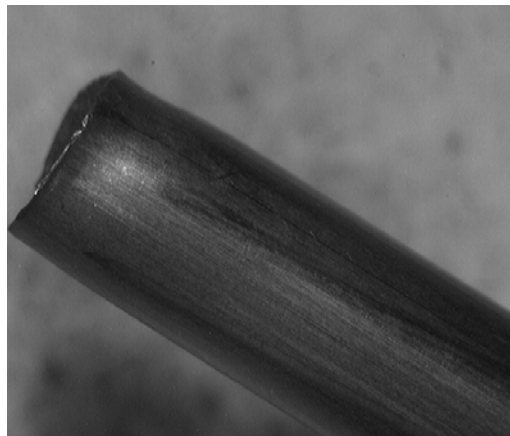


圖九 杯錐狀斷口



圖十 斷口面較平直的鋼線

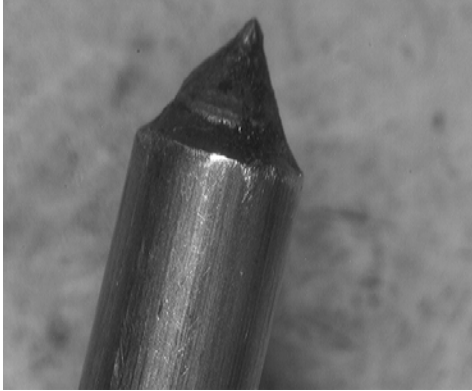
盤元線材或是鋼線發生斷裂，斷裂起點可分為鋼線表面及鋼線內部兩種，我們要如何去判斷呢？盤元線材或是鋼線發生斷裂時，如果起裂點是在表面，通常斷口平整，而且沒有明顯塑性變形，斷口放射紋為八字紋，尖部會指向樣本邊緣，通常盤元線材或是鋼線表面也會有 V 型缺陷。盤元線材或是鋼線發生斷裂時，如果起裂點是在內部的話，通常會有下列幾種情況。盤元線材夾雜物所引起的斷裂（如圖十一），其斷口平整，頸縮很小，斷口裂紋走向會呈現裂紋區到纖維區，再至擴展區，最後到剪唇區。而盤元線材或是鋼線內部組織



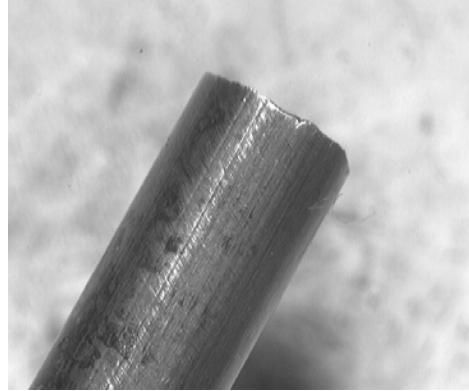
圖十一 雜夾物斷裂

有網狀雪明碳鐵，或是內部有孔洞造成的斷裂，其斷口則會呈杯形斷裂(如圖十二)，這主要是受到錳、鉻、矽元素影響及碳偏析所造成。而斷口平整的是

脆性斷裂(如圖十三)，是組織中有麻田散鐵，主要是高碳盤元線材由於偏析及冷速過快所產生。



圖十二 杯錐形斷裂



圖十三 脆性斷裂

通常會發生鋼線斷線的場合，大概會在下列三種地方。首先是在我們伸線過程中，接著是鋼線成品送交客戶使用加工的過程中，最後則是在客戶製成的成品送交其客戶使用的過程中。這三個地方都可能會造成鋼線斷線，而造成鋼線斷線的原因，也就圍繞這三個地方。因此造成鋼線斷線的原因，應該主要有三種情況，首先是盤元線材品質上的異常，接著是我們鋼線伸線過程中產生的異常，最後則是在鋼線成品送交客戶或是客戶的製成品送交客戶，使用加工的過程中發生的異常。

(本文作者現任佳大世界股份有限公司主任)