

# 螺紋緊固的失效與預防方式

## 第8集： CD紋螺栓的應用實例

文 / 西田新一，佐賀大學名譽教授



圖8.1 軋鋼廠的拉桿拉桿(長度 $\phi 475 \times 13,975\text{mm}$ )



圖8.2 軋鋼廠的下半(左圖)和上半部(右圖)。

### 1. 前言

筆者在第6集(上半部)和第7集(下半部)中提到提升螺栓疲勞強度的新方法。首先，我針對螺紋外形、牙底半徑、預加應力、螺栓與螺帽的機械特性，實施疲勞測試，藉此量化評估了所有與螺栓疲勞強度相關的因素。筆者是世上第一位指出螺栓疲勞強度低是源自於以下四個因素：

1. 螺紋之間不均勻的荷載分攤
2. 拉伸應力的集中
3. 彎折應力的集中
4. 局部的荷載

圖7.1中介紹的方法是改善螺栓疲勞強度的新方式，它讓螺栓的疲勞強度大幅提升，無關乎鎖緊力是否有施加在螺栓上(詳閱第7集)。換句話說，目前只有CD紋螺栓基於力學理論針對上述四個因素採取預防措施。因此CD紋螺栓的疲勞極限比傳統螺栓明顯高出了約兩倍，而且在延遲斷裂與應力腐蝕龜裂方面有絕佳性能表現。

本文將介紹CD紋螺栓在工程設備中的應用實例。

### 2. CD紋螺栓的應用實例

表8.1列出一些CD紋螺栓的應用實例。這些螺栓的直徑較大，用於接合機器設備的重要接合部位。

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 軋鋼廠的拉桿(長度<math>\phi 475 \times 13,975\text{mm}</math>)</li> <li>2. 供應電力的鋼塔(金屬管的凸緣接頭)</li> <li>3. 鐵軌的彈性接頭</li> <li>4. 北九州、大阪與那霸市單軌鐵路的指痕防護板</li> <li>5. 燒結機的木板牆</li> <li>6. 卸載機的起重機軌</li> <li>7. 爬升式起重機的爬升桿</li> </ol> |
|--|

表8.1 CD紋螺栓應用實例

#### 2.1 軋鋼廠的拉桿拉桿

圖8.1與8.2顯示的是CD紋螺栓(螺紋直徑 $\phi 475 \times$ 長度13,975mm,4支)應用到軋鋼廠的拉桿拉桿。加工和塑形的作業是在大阪市一家專攻大型長螺絲的公司廠內進行。尤其螺栓與螺帽的螺紋部位是透過同一個車床的同一部位來加工。此外，為獲得精確的外型，以矽膠按壓來確認螺紋的形狀。螺栓桿部的螺紋部位是透過CD紋成形作業來成形，並對它塗抹灰色的二硫化鉬以避免螺栓和螺帽互相磨傷。螺栓和螺帽的材質分別為SCM440合金鋼和鑄鐵。前者的楊氏係數為 $E=206\text{GPa}$ ，後者的是 $E=100\text{GPa}$ 。換句話說，後者比前者小了約兩倍。以螺絲的鎖固來說，變化的外力使內力因為其楊氏係數而變小，其螺栓可以承受更大的應力(詳閱第5集的圖5.11)。

圖8.2顯示的分別是軋鋼廠的下半(左圖)和上半部(右圖)。這些新的CD螺紋拉桿已被持續使用超過四分之一世紀，而傳統的螺栓只用了三年就因為疲勞而斷裂了(詳閱第2集的圖2.2)。上述結果展現了CD紋螺栓的絕佳抗疲勞特性。

#### 2.2 供應電力的鋼塔(金屬管的凸緣接頭)

圖8.3是傳統電塔的外觀。電塔是由同等的角度建構而成，呈現灰色外觀，表示它經過熱浸鍍鋅加工。反之，近期的電塔的特色在於它的高度和顏色，它是含有焊接法蘭的管材建構而成，並以螺栓固定，在實務上會以紅白相間的兩色來標示其高度。圖8.4是近期電塔的外觀。傳統電塔的使用壽命約50年。另一方面，近期的電塔可用100年，壽命是傳統電塔的兩倍。由於圖8.4中的電塔高度比一般電塔更高，所以採用CD紋螺栓來接合，以應付頻繁的強風產生的循環荷載(見圖8.5)。CD紋螺栓的重量約為鋼管材的3%，也就30是噸力(tf)。





圖8.3 供應電力的傳統等角鋼塔



圖8.4 近期的電力供應鋼塔(含金屬管)



圖8.5 九州電力公司的電力供應鋼塔用的CD紋螺栓

表8.2 螺栓「彈襲」民宅<sup>5</sup>

此事件發生在日本東海道新幹線掛川車站的站區。原本應把軌道固定在枕木上的螺栓失效，從鐵軌飛噴約80公尺到民宅的牆壁，在牆上擊了一個洞。此外，兩天後屋主修繕牆壁時在附近發現了斷裂的螺栓。此螺栓是用來把軌道固定在枕木上，屋主發現的螺栓正好與此螺栓吻合。此螺栓被認為是因為新幹線高速移動形成風壓而失效斷裂。  
 螺栓：φ 2.4cm×4.5cm in length (約600千克力)  
 (取自1993年9月14日的朝日早報)

### 2.3 鐵軌的彈性接合點

當速度比光速號列車更快的希望號列車上路時，發生了許多問題，例如發現車體上有幾道裂痕，或螺栓從車體掉落。上述的問題被視為操作時的初期失效徵狀。此外，用來把軌道鎖固在枕木上的M24螺栓發生疲勞斷裂，以270公里的時速射向離軌道80公里遠的民宅圍牆（見表8.2）。失效的螺栓的尺寸是M24，類似於一個拳頭的尺寸（以雙螺帽來說約φ 40×42mm，重量600gf）。本文考量前述的意外事故，並審視了鎖固用螺栓疲勞強度的重要性，得出了需採用鐵道專用CD紋螺栓的結論。圖8.6~8.8是現場鎖固CD紋螺栓的景況。圖8.9是用來鎖固日本東海道新幹線鐵軌的CD紋螺栓。這些CD紋螺栓雖然持續鎖固了超過十年，但沒發生過任何問題。



圖8.6 東海道新幹線鐵道的彈性接合點



圖8.10 北九州市的單軌鐵路外觀



圖8.12 那霸市單軌鐵路外觀



圖8.7 使用衝擊式扳手進行鎖固作業

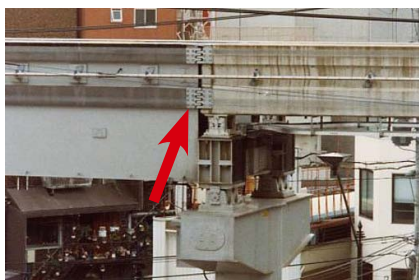


圖8.11 北九州市單軌鐵路的接合處  
(用了約80支螺栓與接合件)



圖8.13 那霸市單軌鐵路的接合處



圖8.8 搭配使用應變規來安裝CD紋螺栓

### 2.4 北九州、大阪與那霸市單軌鐵路的鐵軌接合板

圖8.10是一台奔走在北九州單軌鐵路上的列車。從上圖得知，奔走的單軌列車在離地10公尺的高空沿著或橫跨交通密集的要道。水泥包覆的軌道透過有彈性的鐵軌接合板銜接起來，每隔10公尺使用80支螺栓。鐵軌接合板固定在圖8.11所示中央部位鐵軌的接合處。此機制只允許發生垂直延展，廣泛應用於各種鐵橋。



圖8.9 鐵路分岔處的魚尾板用CD紋螺栓

若鐵軌接合板的螺栓因為鐵軌奔走而斷裂，可能會導致接下來的事：斷掉的螺栓可能會射向車子的前擋風玻璃，這是因為單軌列車是在高空穿越或沿線奔馳在繁忙的交通線上。就好比汽車受損打轉的駕駛人無法直視模糊的擋風玻璃外的狀況，他可能會沿途撞到其他車、乘客或建築。如果你遇到這種事故，你會怎麼做？CD紋螺栓由於防疲勞特性優異，所以會被用在接合處上。由於每隔10公尺會在一個接合處上使用80支螺栓，所以北九州車軌共使用了超過6萬支CD紋螺栓。CD紋螺栓因為同一個理由也應用到了大阪與沖繩的單軌列車。（見圖8.12和8.13）





圖8.14 燒結機外觀



圖8.17 爬升式起重機外觀



圖8.18 將CD紋螺栓安裝到爬升式起重機的爬升桿



圖8.19 爬升式起重機用的CD紋螺栓  
(長度 M52×235~250mm)



圖8.15 將CD紋螺栓鎖固到燒結機的側壁



圖8.16 將CD紋螺栓鎖固到側壁

## 2.5 燒結機的台車牆

燒結是一種礦石在用的壓縮成塊的作法。礦石在半融化狀態下被加熱到攝氏1200到1300度，在此溫度帶之間透過再結晶化與融化變成小塊狀。圖8.14是燒結產線的外觀。燒結過的礦石被帶進鼓風爐，作為製鋼的一種原物料。燒結機會在入料、燒結、冷卻、粉碎一直到小塊化的過程中不斷運行。燒結機的每個單位叫做台車，大量的台車串聯形成了一個產線。每條產線在運作過程中會微微的位移，就像一台大坦克車一樣。台車的牆會因為高產量而往上延展，在小塊狀物從車台落下時，鎖固住牆的螺栓常會因為牆面接收的循環衝擊力斷掉。CD紋螺栓因為有優異的防疲勞性能，所以被用來鎖固台車的側板。圖8.15是CD紋螺栓鎖固到側板時的外觀。此外，圖8.16是CD紋螺栓安裝完成後的外觀。安裝過後，該螺栓連續超過20年都沒出現任何問題。

## 2.7 爬升式起重機的爬升桿

工地會使用到爬升式起重機。例如起重機會安裝在建設中的建築大樓頂端，並用於乘載建築用的原料或用來協助組裝零件等等。起重機可以在建築蓋好時拆分成好幾個部位，並輸往下一個工地。爬升式起重機通常會透過自己的電力沿著爬升桿來升降。爬升桿的高度可依照工地的條件做調整，且大量的螺栓會用在爬升桿上。圖8.17是爬升式起重機的爬升桿外觀。雖然過去有記載到螺栓有時會因為承受各種應力而發生疲勞失效，但在採用CD紋螺栓之後，這種疲勞失效就不發生了。圖8.18和8.19分別是安裝到爬升式起重機接合處的CD紋螺栓，以及該CD紋螺栓。

## 3.對用戶來說的好處

用戶在承受循環應力的接合處上使用CD紋螺栓的話，可獲得以下好處。

1. 接合處更安全、更可靠。
2. 採用更少量或尺寸更小的螺栓，因此節省成本。
3. 基於上述原因而不需保修接合處。

## 2.6 卸載機的起重機軌

卸載機是港口船隻上貨與卸貨作業用的設備。換句話說，此設備是貨櫃作業用的一種起重機。卸載機會在起重機軌上移動，起重機軌是透過輪子固定在設備的樑桿上。由於卸載機主要是用來乘載貨物，所以起重機軌常會遭受到循環垂直荷載、彎折荷載以及離心荷載。把軌道鎖固到樑桿上的螺栓常會因為金屬疲勞而斷裂。CD紋螺栓由於防疲勞特性優異，所以會被用在這種狀況。由於圖8.8已經有類似的外觀圖，所以這裡就省略掉螺栓安裝的外觀圖。

## 4. 結論

表8.3 CD紋螺栓實際應用的結果

總結：

1. 以CD紋螺栓來說，可以在大型螺栓上以及嚴重失效的部位上發現到顯著的效果，雖然並無限制。
2. CD紋螺栓在過去的應用中沒有問題。
3. CD紋螺栓在鬆弛狀態下不斷斷，雖然未考慮防鬆措施。
4. 帶給使用者的好處：可靠的螺栓接合件、輕量化、透過減少螺栓用量、縮短直徑、抗應力龜裂與抗延遲斷裂來減少成本。

由於CD紋螺栓有優異的防疲勞特性，因此可望應用到多種機械設備的接合處（見表8.3）。

1. CD紋螺栓的典型應用實例如下：① 軋鋼廠的拉桿② 供應電力的鋼塔（金屬管的凸緣接頭）③ 鐵軌的彈性接頭④ 鐵軌接合板⑤ 燒結機的木板牆⑥ 卸載機的起重機軌⑦ 爬升式起重機的爬升桿等等。
2. CD紋螺栓用在接合處之後，上述機器設備都沒有出現問題。
3. 用戶在接合處上使用CD紋螺栓的話，可獲得以下好處。① 接合處更安全、更可靠，② 採用更少量或尺寸更小的螺栓，因此節省成本，③ 基於上述原因而不需保修接合處等等。

## 參考文獻：

- (1) S.Nishida, Failure Analysis of Machine Parts & Equipment, (1993), pp.85 and 122, 日刊工業新聞 (日文)
- (2) S.Nishida, Failure Analysis in Engineering Applications, (1993), pp.71 and 103, Butterworth Heinemann Co. Ltd. UK
- (3) S.Nishida, Failure Analysis of Machines & Components, (1995), pp.85 and 122, Kinkado Co. Ltd. (日文)
- (4) S.Nishida, C.Urashima, H.Tamasaki, A New Method for Fatigue Life Improvement of Screw, Fatigue Design Composites, ESIS Publication 22, (1998), pp.215, Elsevier Science Ltd.
- (5) 舉例：朝日新聞早報, (1993年9月14日), 朝日新聞社。

