



「每個鎖固部位都應像狐狸護毛般全力維護」

這句(波蘭)格言可視為一個隱喻,用以強調設計者在選擇適當尺寸來鎖固螺栓接合件時,其決策的重要性。若設計者未做出正確決定,即需對結構可能的崩塌負責。那麼,設計者真正的責任是什麼?



鎖緊部位的維修更重視提前保養

責任分工

首先舉幾個例子:在高速公路行駛時,一輛卡車輪胎上的螺栓鬆脫,以全速撞破一輛轎車的車窗,重傷乘客。誰該負責?大多數人可能會回答是卡車司機,因為規定要求駕駛前必須檢查車輛的狀況。然而,此案有個有趣的結局。卡車司機提出發票,證明維修廠就在出發前才換了他的輪胎。但發票上註明,他應在行駛 50 至 100 公里後回廠檢查。然而,他並未這麼做。儘管如此,仲裁者不接受此註記,並主張維修廠應另立文件並讓司機簽名。依法律規定,維修廠負有責任。

▼ 圖 1. 變形的車輪螺絲



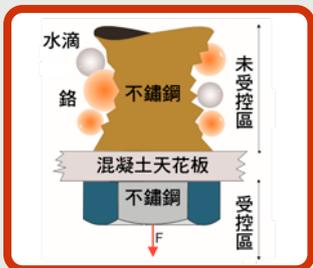
▼ 圖 2. 材料強度不足



更明確的案例是車輛超載,因為這可透過圖 1 精確證明。除了圖 1 的特定案例外,這常見於明知故犯的超載或運送沙子時遇雨等情況。此時按規定要求使用防水布。在這兩種情況下,司機皆須負責任。圖 2 的案例很清楚,凹陷是因材料強度不足所致。

不幸的是,室內游泳池設計者將沉重的混凝土天花板懸掛在奧氏體(A2)不鏽鋼螺絲上的這種致命錯誤(圖 3),帶來了悲劇後果。他未考慮到侵蝕性 Cl⁻ 陽離子滲入天花板上方難以觸及的空間。如眾所知,A2 不鏽鋼對 Cl⁻ 攻擊毫無防禦力。諷刺的是,從泳池區域觀察,一切看似正常,因為螺絲頭部未受腐蝕影響。此案仲裁者的決定毫不妥協。不幸的是,這並非個案(圖 4)。

▼ 圖 3. 因 Cl⁻ 導致的螺栓腐蝕



▼ 圖 4. 游泳池屋頂損壞(維基百科)



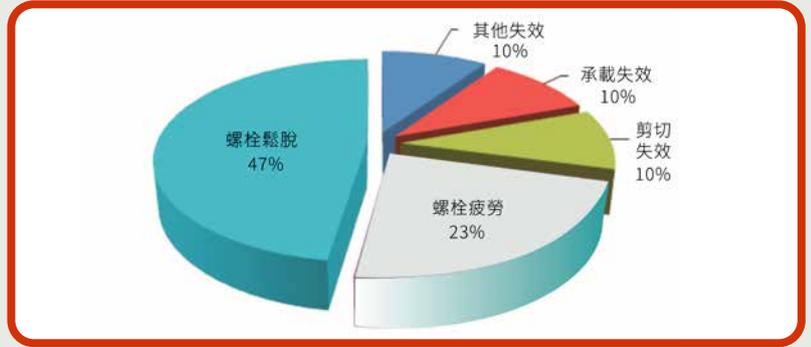
在不知情的狀況下使用仿冒品的責任更難判定。圖 5 顯示一輛行駛中卡車輪上的螺栓鬆脫。乍看之下,明顯是仿冒品。依 ISO 898-1 規定,每個結構螺栓必須標示強度等級與製造商標記。此案宣稱的 10.9 強度未獲證實,且缺少製造商標記。大多數仿冒品供應商皆匿名。此類情況下,誰負責?決定權在仲裁者手中。



▼ 圖 5. 仿冒品



▼ 圖 6. 失效頻率



▼ 圖 7. 高處管線



▼ 圖 8. 瓦斯爆炸 (維基百科)



螺栓接合件失效導致整個結構崩塌的案例比比皆是，原因各異。依 SKF 經驗，最常見的是螺栓或螺帽的鬆脫，以及材料疲勞（圖 6）。此類複雜案例中，仲裁者會委託多家獨立專家機構提供專家意見。不幸的是，這些意見常相互矛盾或不明確，因為學者通常不夠清楚掌握螺栓接合件在組裝與運作期間的表現。他們徒勞用掃描電子顯微鏡（REM）檢查材料變化，若無人察覺接觸面不平行（圖 11），即無濟於事。

法蘭接合處在難以觸及處喪失密封性的案例（圖 7）中同樣複雜。法蘭接合處的洩漏可能帶來致命後果，洩漏氣體爆炸摧毀周邊住宅樓（圖 8）。腐蝕亦極為危險，尤其對管路而言。有數種類型，受 ISO 8044 標準（金屬與合金腐蝕）規範。本文將特定腐蝕類型分解如圖 9 所示。最不危險的是肉眼可見的表面腐蝕。最危險的是所謂的「潛伏型」，因無法辨識。最知名者為氫脆（圖 10）與應力腐蝕（圖 11）。此圖顯示螺絲頭下裂縫源於接觸面不平行。

結論

如上所示，螺栓接合件的照護並不只於組裝。忽略定期檢查螺栓接合件，可能招致嚴酷報復。對難以觸及處而言，這點更加適用，因為無人知曉其內部狀況。未來研究與開發正應聚焦此類案例。■

▼ 圖 9. 腐蝕類型



▼ 圖 10. 氫脆



▼ 圖 11. 應力腐蝕

