

扣件博士

# 高低溫負載下的螺絲變化

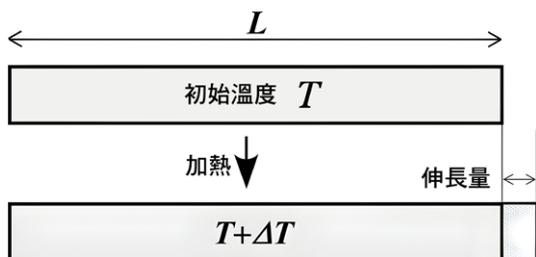
著作權所有：惠達雜誌 / 撰文：福岡俊道



## ❓ < 提問 1 > 為什麼螺紋接合部位的溫度變化會導致螺栓軸向力下降？

螺紋接合部位的溫度從初始狀態發生變化時，軸向力可能會下降，但也可能上升。金屬在溫度升高時會伸長，溫度降低時會收縮。圖 1 顯示了伸長量的計算方法。長度為 L 的圓棒，當溫度升高  $\Delta T$  時，將此兩者的乘積再乘以線性膨脹係數  $\alpha$  就可計算出伸長量。考慮到溫度已升高的情況，如果螺栓和螺帽的伸長量大於被接合物的伸長量，則軸向力會下降；反之，軸向力則會上升。另一方面，當螺紋接合部位處於低溫時，整體會收縮。在這種情況下，如果被接合物的收縮量較大，則軸向力會下降。

圖 1.



$$\text{伸長量} = \alpha \times \Delta T \times L$$

圖 2.

$$\Delta F_b = - \frac{(\alpha_b \Delta T_b - \alpha_f \Delta T_f) L_f}{\frac{1}{k_b} + \frac{1}{k_f}}$$

- $\Delta F_b$  : 螺栓軸向力變化
- $\alpha_b, \alpha_f$  : 線性膨脹係數 (螺栓、螺帽與被接合物)
- $\Delta T_b, \Delta T_f$  : 溫度變化 (螺栓、螺帽與被接合物)

## ❓ < 提問 2 > 螺紋接合部位的溫度發生變化時，軸向力會變化多少？

軸向力的變化量，可以透過將螺栓、螺帽與被接合物的伸長／收縮差異，乘以彈簧常數（其代表結合了螺栓、螺帽與被接合物的「螺紋整體剛性」）來求得。為了簡化說明，我們來考量因為溫度升高而伸長的情況。如果兩者的伸長量相同，原本軸向力應不會有變化，但由於溫度一升高就會導致材料的楊氏係數降低，因此軸向

力會按該比例下降。伸長量的計算方法已在提問 1 中說明。溫度的變化分別以使用螺栓、螺帽與被接合物的溫度升高值  $\Delta T_b$  和  $\Delta T_f$  顯示。原始長度則是以夾持長度  $L_f$  顯示。圖 2 顯示了具體的計算公式。公式的分子是兩者的伸長量之差，分母由螺栓、螺帽的彈簧常數  $k_b$  和被接合物的彈簧常數  $k_f$  所構成，其倒數代表螺紋整體的剛性。從公式中可以明顯看出，軸向力的變化量受到螺紋剛性很大的影響，因此為了精密估算軸向力的變化，必須正確評估螺紋的剛性。





### < 提問 3 > 為什麼不鏽鋼製的螺紋接合部位在受熱時容易發生問題？

不鏽鋼具有獨特的熱特性：熱傳導率約為碳鋼的 1/3，而線性膨脹係數則約為 1.5 倍大。由於熱傳導率較小的時候，熱不易流動，因此會產生較大的溫度梯度，從而在接合部位中產生較大的熱應力。此外，當熱沿著與螺栓軸的垂直方向流動時，如果螺栓左右兩部分的溫差較大，彎曲應力可能會成為問題。再者，還必須注意鎖緊螺紋時的燒結現象，因為螺帽承接面產生的摩擦熱不易擴散到周圍，也需要注意線性膨脹係數會較大。如果螺紋零件是不鏽鋼製，螺紋接合部位的溫度升高會導致較大的伸長量，因此容易發生鬆動。反之，如果被接合物是不鏽鋼製，由於螺紋接合部位會伸長向上推擠螺紋零件，因此需要注意軸向力的增加和承接面的凹陷。



### < 提問 4 > 使用與被接合物不同材質的螺紋時，應注意哪些事項？

當承受熱負載時，鎖固力可能會發生很大的變化，因此請注意兩者材質的熱傳導率和線性膨脹係數的差異。如果熱傳導率不同，接合部位周圍的溫度梯度會變大，因此熱應力可能會發生問題。更需要注意的是線性膨脹係數的差異。例如，如果用碳鋼製的螺栓來緊固不鏽鋼製的接合部位，即使接合部位周圍的溫度幾乎均勻地上升，由於不鏽鋼的伸長量約為碳鋼的 1.5 倍，因此從圖 2 的公式可以看出，軸向力會大幅上升。反之，如果不鏽鋼製的螺紋與碳鋼製的接合物組合在一起，軸向力會大幅下降。在後者的情況下，即使被接合物的溫度上升幅度大於螺栓和螺帽，也可能因為線性膨脹係數的差異而導致鬆脫，因此請注意。■

參考文獻：

1. 福岡俊道, "The Mechanics of Threaded Fasteners and Bolted Joints for Engineering and Design", pp.217-224, ELSEVIER. (2022)

多元廣告方案  
匯達宣傳有一套  
Marketing / Sourcing / Branding

MEDIA ADVERTISING  
FASTENER WORLD

