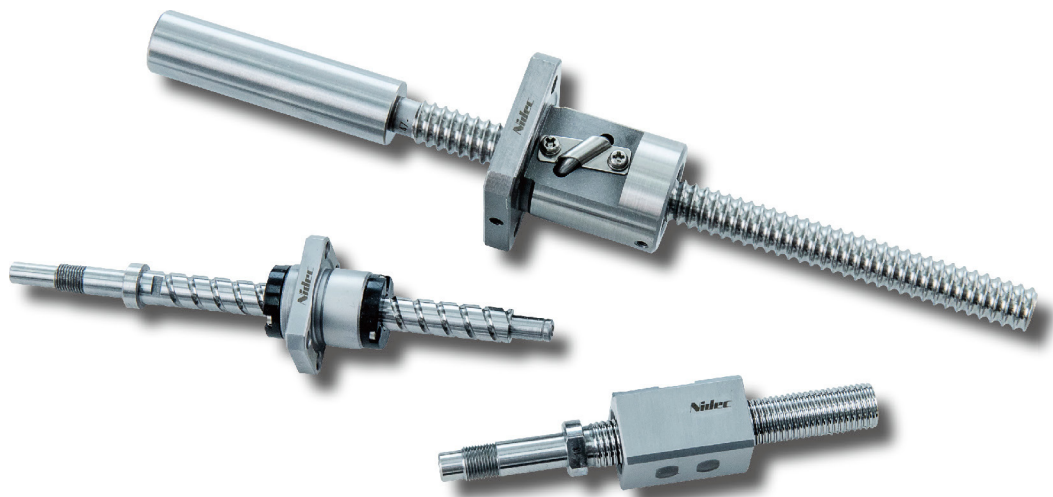


滾珠螺桿



1. 精密滾珠螺桿的特徵	4
2. 精密滾珠螺桿的精度	5
2.1 精度等級	5
2.2 導程精度	5
2.3 軸向間隙	6
2.4 預壓扭力	7
2.5 滾珠螺桿安裝部位的精度	8
3. 精密滾珠螺桿的規格定義	9
4. 螺桿軸的設計	10
4.1 螺桿軸外徑與導程的組合	10
4.2 螺桿軸轉造方式	12
4.3 螺桿軸的製作範圍	14
4.4 組裝方法	15
4.5 容許軸向荷重	16
4.6 容許轉速	17
4.7 螺桿軸設計的注意事項	18
5. 螺母的設計	19
5.1 螺母的結構	19
5.2 螺母旋轉設計的注意事項	20
6. 精度設計	21
6.1 傳送螺桿的剛性	21
7. 壽命設計	25
7.1 滾珠螺桿的壽命	25
7.2 疲勞壽命	25
7.3 螺桿溝槽部的容許荷重	26
7.4 材料與硬度	26
8. 驅動扭力	27
8.1 滾珠螺桿的扭力	27
8.2 馬達的驅動扭力	27
9. 潤滑與防塵	28
9.1 潤滑	28
9.2 防塵	28

10. 精密滾珠螺桿與螺母	29
A 系列（導流管式）	29
D 系列（蓋板式）	47
K 系列（循環片式）	55
F 系列（端塞式）	72
C 系列（端蓋式）	85
11. 滾珠螺桿加工設備	95
12. 使用滾珠螺桿的注意事項	96

1. 精密滾珠螺桿的特徵

(1) 機械效率高

滾珠螺桿擁有傳統的滑動螺桿所無法比擬的 90% 以上的高效率 (圖 1)，所需要的扭力僅為滑動螺桿的 1 / 3 以下。因此將直線運動變換為回轉運動 (逆動作) 也很容易。

(2) 軸向間隙可調整

若將傳統式滑動螺桿的軸向間隙調小，其回轉會變得很困難；而滾珠螺桿即便將其軸向間隙調小，也能夠實現順暢回轉。而且，通過施加預壓，可以將滾珠螺桿的軸向間隙調整為 0，同時提高螺桿的剛性。

(3) 壽命長

採用滾動式接觸，即便長時間使用也幾乎不會磨損，可保持高精度。

(4) 可實現精密微量傳送

採用滾動式接觸，滾珠螺桿起動扭力小，故可實現精確微量傳送。

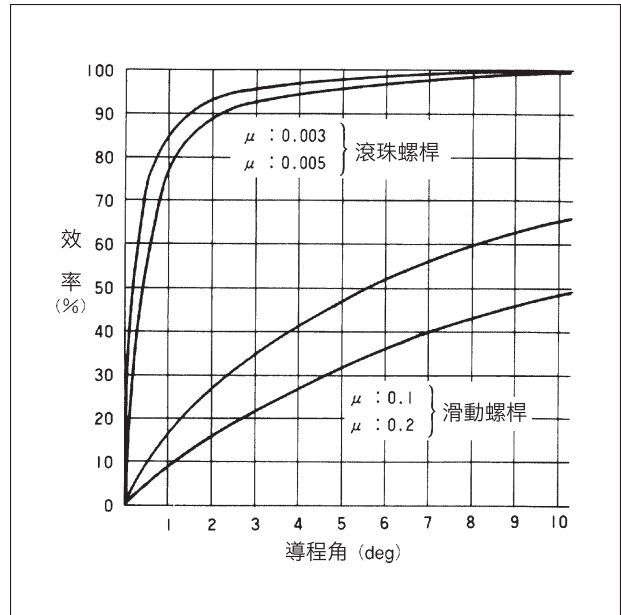
(5) 精度高

螺桿軸及螺母都在嚴格控制溫度的車間內進行螺紋研磨、組裝和檢查。

(6) 完善徹底的品質管理體制

運用獨特的精密測量技術，徹底貫徹嚴謹的質量管理体系，生產提供客戶滿意度高的品質產品。

圖 1 滾珠螺桿的機械效率



2. 精密滾珠螺桿的精度

2.1 精度等級

1997 年開始，滾珠螺桿日本工業規格 (JIS B 1191,1192) 為與 ISO 進行整合，相關部門對其進行了修訂。

現行滾珠螺桿的精度等級劃分為 C 系列 (原 JIS 標準 C0、C1、C3、C5) 及 Cp、Ct 系列 (與 ISO 整合後的標準)。Nidec 精密滾珠螺桿的精度等級參照 JIS B 1192 (滾珠螺桿)，採用 C 系列標準。

表 1 新 JIS 的分類及精度等級

種類	系列符號	精度等級	備註
定位用	C	0,1,3,5	JIS 系列
	Cp	1,3,5	對應 ISO
傳送用	Ct	1,3,5,7,10	

2.2 導程精度

Nidec 精密滾珠螺桿的導程精度規定為：螺母的有效移動距離或螺桿軸螺紋部分有效長度的代表移動量誤差及變化；在螺桿軸螺紋部分有效長度之內任取 300mm 部分的變化；在螺紋部分有效長度之內任意回轉 1 周 (2π rad) 的變化。

2.2.1 導程精度術語含義

(1) 基準移動量的目標值

考慮到溫度上升使得螺桿軸變長，以及因外部施加荷重使螺桿軸產生伸縮等因素，預先將基準移動量相對於公稱移動量進行調整時所需的正/負目標值。

(2) 基準移動量

在基準導程內以任意轉速回轉時的軸向移動量。

(3) 實際移動量

連續測量螺母相對於螺桿軸任意回轉角度的實際軸向移動量，據此求得的軸向移動量。

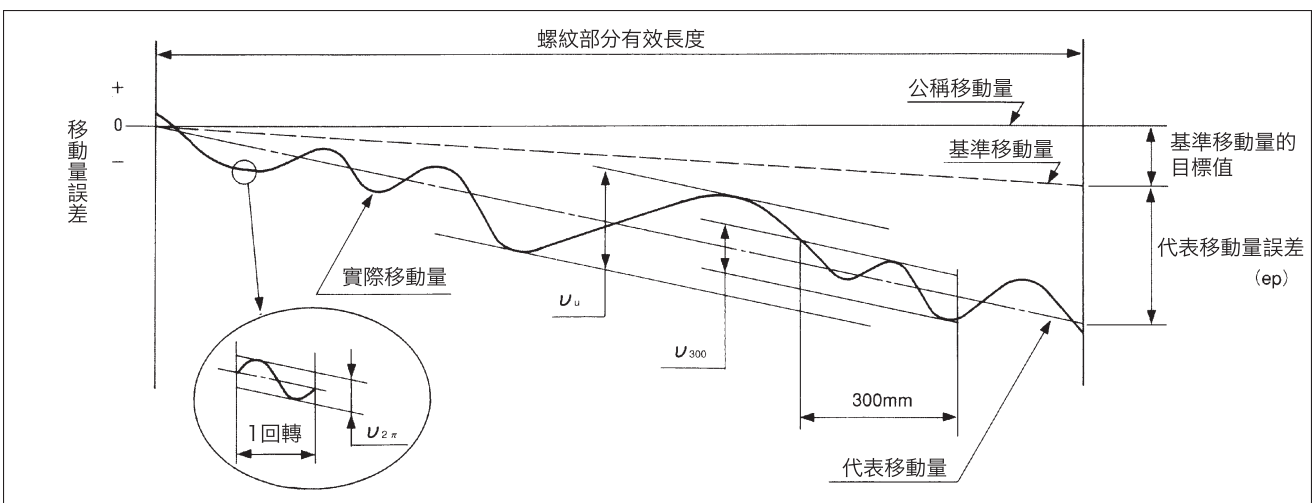
(4) 代表移動量

代表實際移動量走向的直線。由對應於螺母有效移動距離或螺桿軸螺紋部分有效長度的實際移動量曲線，用最小平方法或簡單合理的近似法求得。

(5) 代表移動量誤差

螺母有效移動距離或螺桿軸螺紋部分有效長度相對應的代表移動量與基準移動量之間的差值。

圖 2 導程精度術語



2. 精密滾珠螺桿的精度

(6) 變動

用平行於代表移動量線的兩根直線將實際移動量曲線夾起來的最大變動幅度，包括以下 3 項內容。

v_u ：對應於螺母的有效移動距離或螺桿螺紋部分有效長度的變化。

v_{300} ：在螺桿螺紋部分有效長度範圍內任取 300mm 的變化。

$v_{2\pi}$ ：在螺桿螺紋部分有效長度範圍內任意回轉 1 周 (2π rad) 的變化。

表 2 代表移動量誤差與變化 (容許值)

單位 μm

精度等級		C0		C1		C3		C5	
項目		代表移動量 誤差	變化 ⁽¹⁾	代表移動量 誤差	變化 ⁽¹⁾	代表移動量 誤差	變化 ⁽¹⁾	代表移動量 誤差	變化 ⁽¹⁾
螺紋部分有效長度 (mm)									
大於	以下	$\pm e_p$	v_u	$\pm e_p$	v_u	$\pm e_p$	v_u	$\pm e_p$	v_u
—	100	3	3	3.5	5	8	8	18	18
100	200	3.5	3	4.5	5	10	8	20	18
200	315	4	3.5	6	5	12	8	23	18
315	400	5	3.5	7	5	13	10	25	20
400	500	6	4	8	5	15	10	27	20
500	630	6	4	9	6	16	12	30	23
630	800	7	5	10	7	18	13	35	25
800	1000	8	6	11	8	21	15	40	27
1000	1200	9	6	13	9	24	16	46	30

注釋⁽¹⁾ 對應於螺母的有效移動距離或滾珠螺桿螺紋部分有效長度的變化。

表 3 變化 (容許值)

單位 μm

等級	C0		C1		C3		C5	
項目	v_{300} ⁽²⁾	$v_{2\pi}$ ⁽³⁾	v_{300} ⁽²⁾	$v_{2\pi}$ ⁽³⁾	v_{300} ⁽²⁾	$v_{2\pi}$ ⁽³⁾	v_{300} ⁽²⁾	$v_{2\pi}$ ⁽³⁾
容許值	3.5	3	5	4	8	6	18	8

注釋⁽²⁾ 在滾珠螺桿螺紋部分有效長度範圍內任取 300mm 的變化。

⁽³⁾ 在滾珠螺桿螺紋部分有效長度範圍內任意回轉 1 周 (2π rad) 的變化。

2.3 軸向間隙

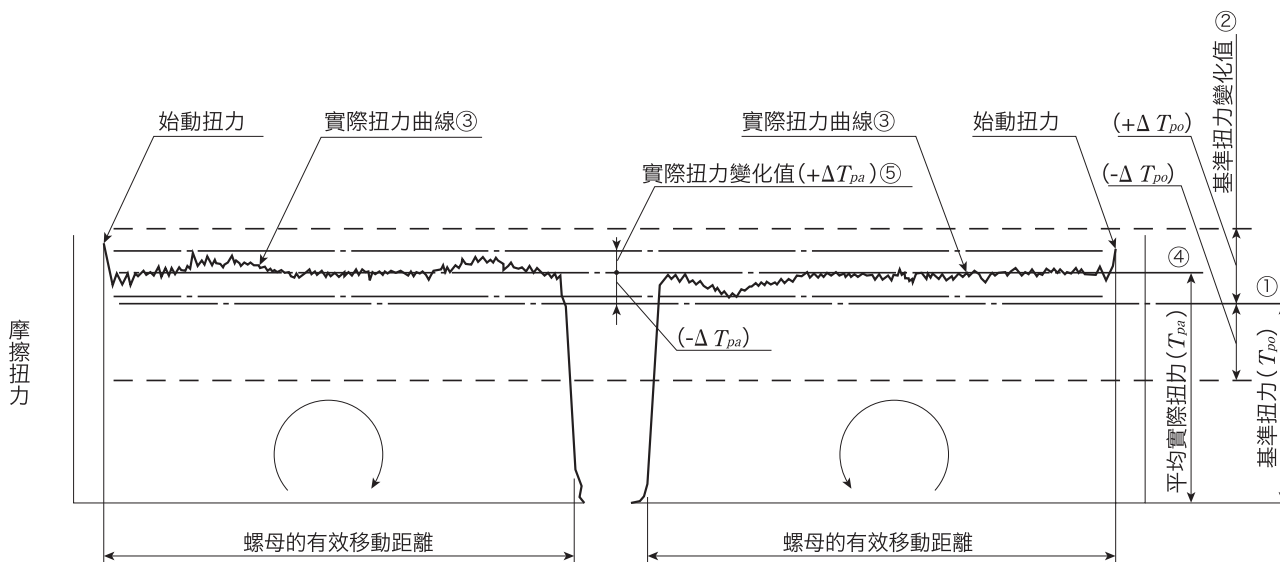
Nidec 精密滾珠螺桿的精度等級及軸向間隙組合如表 4 所示。

表 4 精度等級與軸向間隙的組合

軸向間隙	Z	T	S	N
	0mm (預壓)	0.005mm 以下	0.020mm 以下	0.050mm 以下
精度等級				
C0	C0Z	C0T	—	—
C1	C1Z	C1T	—	—
C3	C3Z	C3T	C3S	—
C5	C5Z	C5T	C5S	C5N

2.4 預壓扭力

圖 3 預壓扭力術語



2.4.1 預壓扭力術語的含義

- (1) **預壓** 為減小滾珠螺桿的背隙及增加其剛性，通過裝入一組超大尺寸鋼球或者利用一對可相互軸向移位的螺母，向滾珠螺桿內部施加作用力。
- (2) **預壓動扭力** 在滾珠螺桿上施加額定預壓後，在外部無荷重及未安裝軸端密封的狀態下，相對於螺桿軸轉動螺母所需要的動扭力，或者相對於螺母轉動螺桿軸所需要的動扭力。
- (3) **預壓全動扭力** 在滾珠螺桿上施加額定預壓後，在外部無荷重及安裝軸端密封的狀態下，相對於螺桿軸轉動螺母所需要的動扭力，或者相對於螺母轉動螺桿軸所需要的動扭力。
- (4) **基準扭力 T_{po}** 所設定的預壓動扭力的目標值 [圖 3 之①]。
- (5) **基準扭力變化值 ΔT_{po}** 設定的目標預壓動扭力的變化值。相對於基準扭力有正負值區分 [圖 3 之②]。
- (6) **基準扭力變化率** 基準扭力變化值 ΔT_{po} 相對於基準扭力 T_{po} 的比例。
- (7) **實際扭力曲線圖** 根據滾珠螺桿預壓動扭力的實測值所繪製的動扭力曲線圖 [圖 3 之③]。
- (8) **平均實際扭力 T_{pa}** 在螺紋部分有效長度內，實際扭力減去往復移動螺母所測得的始動扭力後的最大值與最小值之算出平均值 [圖 3 之④]。
- (9) **實際扭力變化值 ΔT_{pa}** 在螺紋部分有效長度內，實際扭力減去往復移動螺母所測得的始動扭力後的最大值變化值。相對於平均實際扭力有正負區分 [圖 3 之⑤]。
- (10) **實際扭力變化率** 實際扭力變化值 ΔT_{po} 相對於平均實際扭力 T_{pa} 的比例。

2. 精密滾珠螺桿的精度

表 5 基準扭力變化率的容許區域

基準扭力 N · cm		細長比 ⁽⁴⁾ ：40 以下細長比 ⁽⁴⁾				細長比 ⁽⁴⁾ ：大於 40 至 60 以下			
		精度等級				精度等級			
大於	以下	C0	C1	C3	C5	C0	C1	C3	C5
20	40	±30%	±35%	±40%	±50%	±40%	±40%	±50%	±60%
40	60	±25	±30	±35	±40	±35	±35	±40	±45
60	100	±20	±25	±30	±35	±30	±30	±35	±40
100	250	±15	±20	±25	±30	±25	±25	±30	±35

注釋⁽⁴⁾ 細長比是指用螺桿軸螺紋部分有效長度 (mm) 除以滾珠螺桿公稱直徑 (mm) 所得出的值。

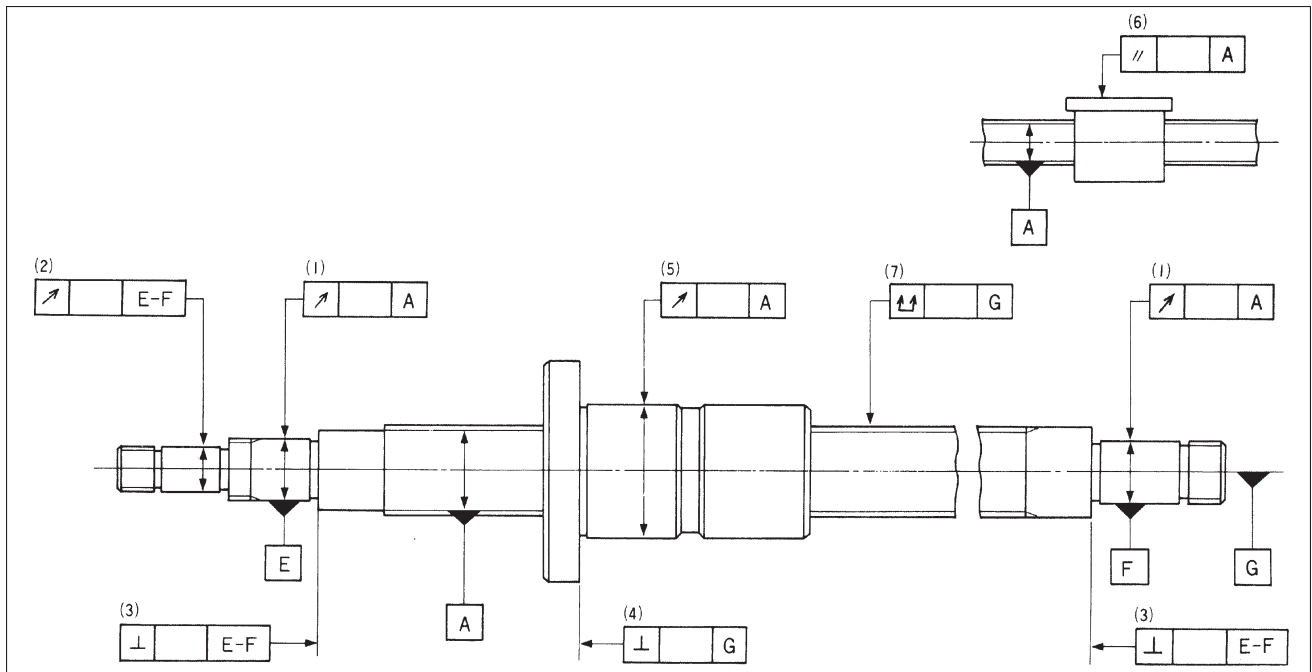
備註 基準扭力在 2N · cm 以下的，另外依據 Nidec 標準進行管理。

2.5 滾珠螺桿安裝部位的精度

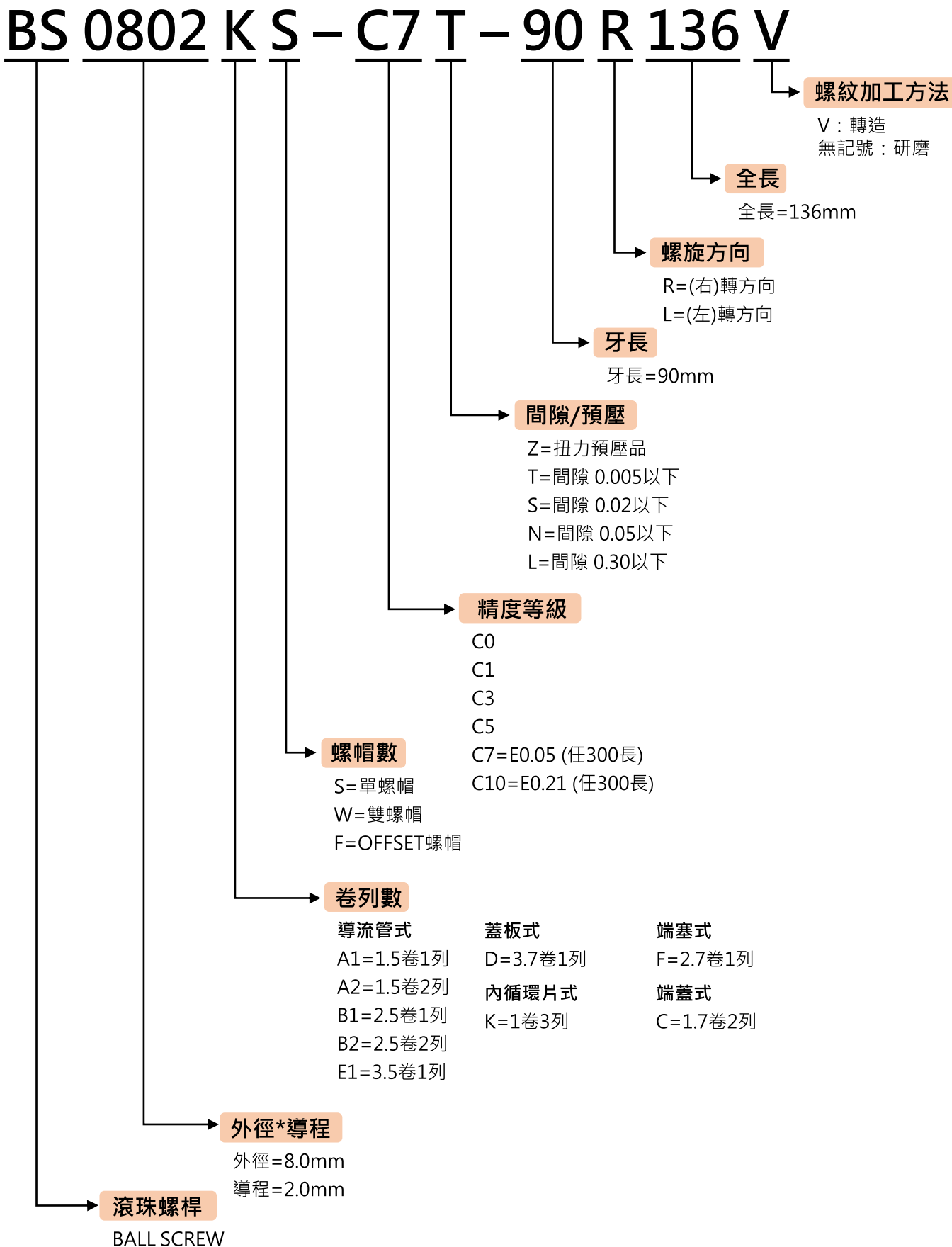
圖 4 表示滾珠螺桿安裝部位的各项精度。各项精度及容許值依據 JIS B 1192 (滾珠螺桿) 制定。

- (1) 螺桿軸支撐部位外圓相對於螺紋槽面軸線的半徑方向圓偏擺。
- (2) 部件安裝部位外徑相對於螺桿軸支撐部位軸線的半徑方向圓偏擺。
- (3) 支撐部位的端面相對於螺桿軸支撐部位軸線的直角度。
- (4) 螺母基準面或法蘭安裝面相對於螺桿軸軸線的直角度。
- (5) 螺母外圓 (圓筒形) 相對於螺桿軸軸線的半徑方向圓偏擺。
- (6) 螺母外圓 (平面安裝面) 相對於螺桿軸軸線的平行度。
- (7) 螺桿軸軸線的半徑方向總偏擺。

圖 4 滾珠螺桿安裝部位的精度



3. 精密滾珠螺桿的規格定義



4 螺桿軸的設計

4.1 螺桿軸的外徑與導程的組合

表6-a 滾珠螺桿式樣規範 (研磨品)

軸外徑	導程 鋼球徑	1	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	15	16	20	30
4	0.8	D,K													
6	0.8	D,K	D,K												
	1.2							C	C						
	1.5875		D					A							
8	0.8	D,K													
	1.2		D,K												
	1.5875		A								C				
	2.0				A	A	A		A	A					
10	0.8	D,K													
	1.2		K												
	1.5875		A												
	2.0					A	A		A	A,C					
	2.3812				A										
12	0.8	D													
	1.2		K												
	1.5875		A												
	2.0					K	F			F,C					
	2.3812				A	A	A			A		A	A	A,C	
14	1.2		K												
	1.5875		A												
	2.3812				A	A,K				A					
	3.175						A		A						
15	2.3812					A	F								
	3.175						A		A	A,F,C		A		A,F,C	C
16	1.2		K												
	1.5875		A												
	2.0			K											
	2.3812				D	A									
	3.175						A,F						A		
20	1.5875		A												
	2.0				A										
	2.3812					A									
	3.175						A			F				F	
	3.9688									A				A	
25	1.5875		A												
	2.3812				A	A									
	3.175						A			A,F					
32	3.175						A								

- A : 導流管式
- D : 蓋板式
- K : 循環片式
- F : 端塞式
- C : 端蓋式

表6-b 滾珠螺桿式樣規範 (平轉造)

軸外徑	導程 鋼球徑	1	2	4	5	6	8	10	12	20
4	0.8	K								
6	0.8	K	K							
	1.2					C	C			
	1.5875					A				
8	0.8	K								
	1.2		K							

表6-c 滾珠螺桿式樣規範 (丸轉造)

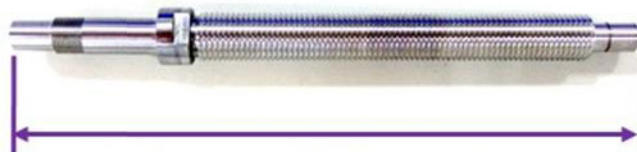
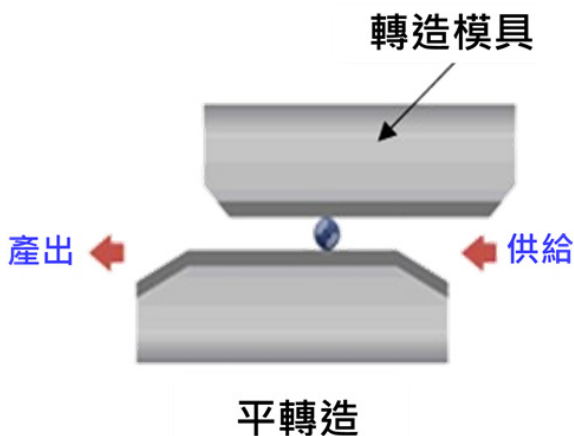
軸外徑	導程 鋼球徑	1	2	4	5	6	8	10	12	20
8	1.2		K						C	
10	1.2		K							
	2.0							A, C		
12	2.0				F			F, C		
	2.3812									A, C
14	2.3812			K						
15	3.175							A, F, C		A, F, C

- A：導流管式
- D：蓋板式
- K：循環片式
- F：端塞式
- C：端蓋式

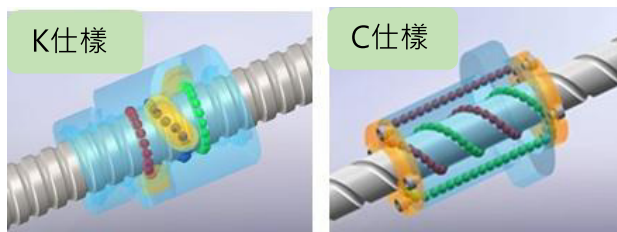
4. 螺桿軸的設計

4.2 螺桿軸轉造方式

(1) 平轉造〔精密轉造品〕

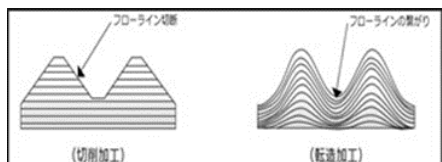


有效螺紋 115mm / 全長 170mm (最大值)



外徑	導程			
	1	2	6	8
4	●			
6	●	●	●	●
8	●	●		
10				

式樣	鋼球	BCD	循環方式
BS0401	0.8	4.3	K
BS0601	0.8	6.2	K
BS0602	0.8	6.3	K
BS0606	1.2	6.3	C
BS0608	1.2	6.3	C
BS0801	0.8	8.2	K
BS0802	1.2	8.3	K

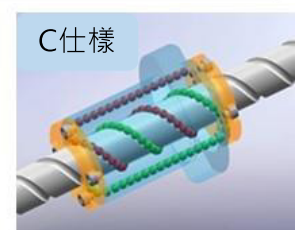
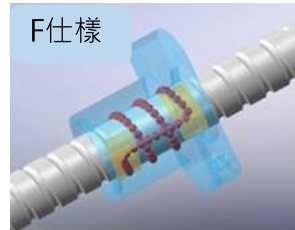
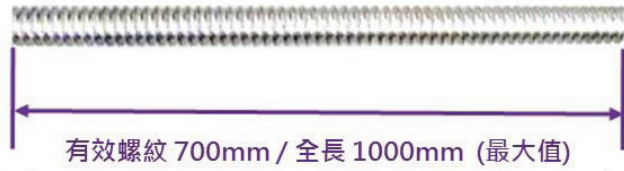
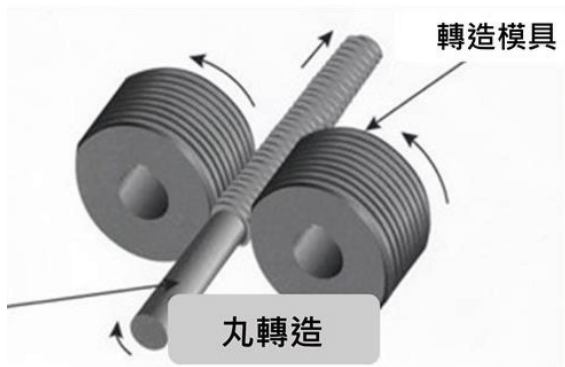


材料流線比較

NIDEC 平轉造滾珠螺桿特色

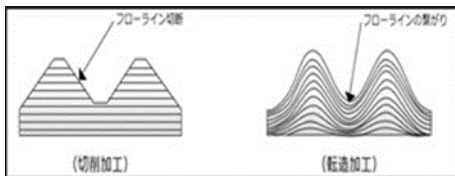
1. 軸端の間環是採用一體方式車削加工 (不需要組裝套環)
2. 由於是短軸仕様，高精度的小型滾珠螺桿，可以轉造方式生產
3. 高精度等級 (C5、C7) 皆可對應
4. 螺紋長度MAX = 115mm，可販售螺桿單體
5. 高精度轉造機，使用兩端中心穴固定進行轉造，螺紋精度優良
6. 小徑、小導程的轉造級滾珠螺桿最適合的生產方式

(2) 丸轉造〔標準轉造品〕



外徑	導程					
	2	4	5	10	12	20
8	●				●	
10	●			●		
12			●	●		●
14		●				
15				●		●

式樣	鋼球	BCD	循環方式
BS0802	1.2	8.3	K
BS0812	1.5875	8.3	C
BS1002	1.2	10.3	K
BS1010	2.0	10.3	C
BS1205	2.0	12.5	F
BS1210	2.0	12.3	F・C
BS1220	2.3812	12.5	C
BS1404	2.3812	14.65	K
BS1510	3.175	15.5	F・C
BS1520	3.175	15.5	F・C



材料流線比較

NIDEC 丸轉造滾珠螺桿特色

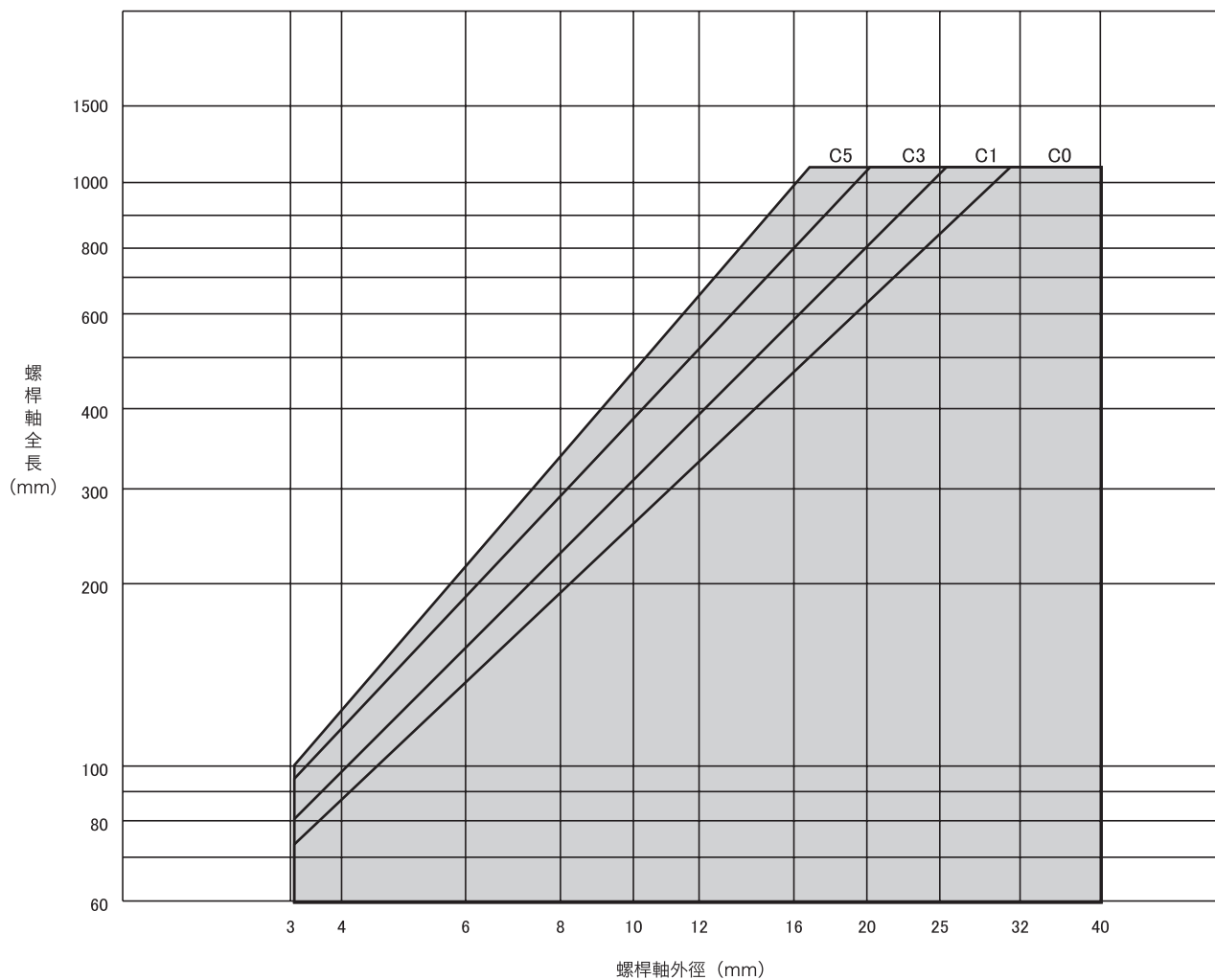
1. 軸端未加工品 (全牙螺桿製作) 、短納期可對應
2. 軸端形狀可以依照客戶指定的形狀進行加工
3. 中精度等級 (C7、C10) 等級皆可對應
4. 螺紋長度MAX = 700mm，可販售螺桿單體
5. 轉造時採用特殊的支持工法、轉造安定性高及導程精度容易掌握
6. 搬送用、高速用、低價格 (C7、C10) 轉造滾珠螺桿選用最適合

4. 螺桿軸的設計

4.3 螺桿軸的製作範圍

圖 5 表示按照滾珠螺桿軸等級進行分類的螺桿軸製作範圍。若您需要的螺桿軸尺寸不在圖 5 所列範圍內，請與敝公司聯繫。

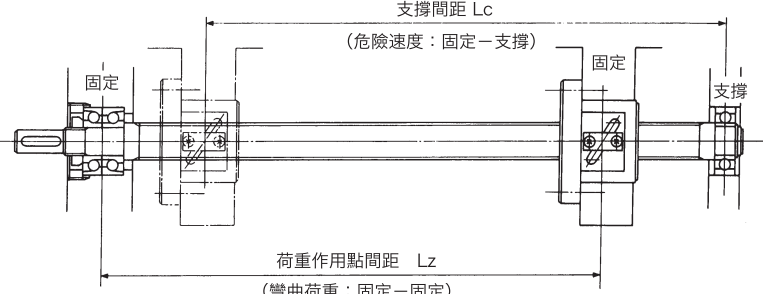
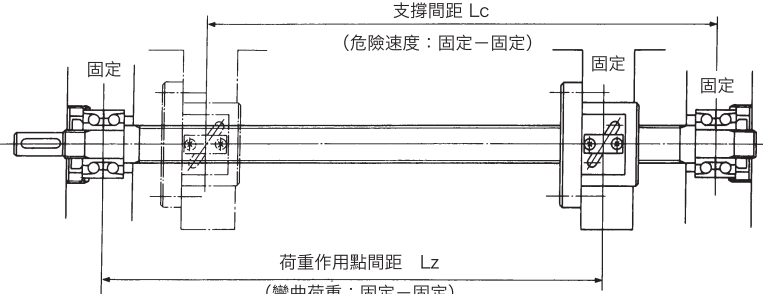
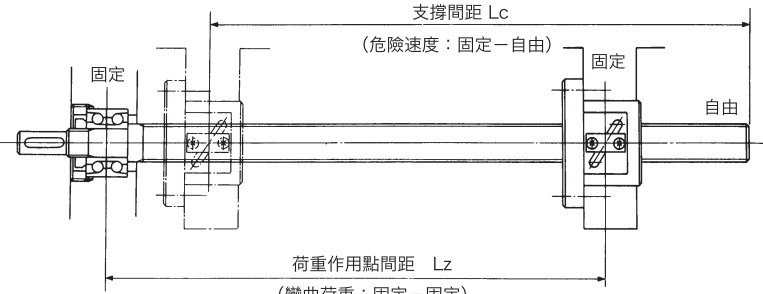
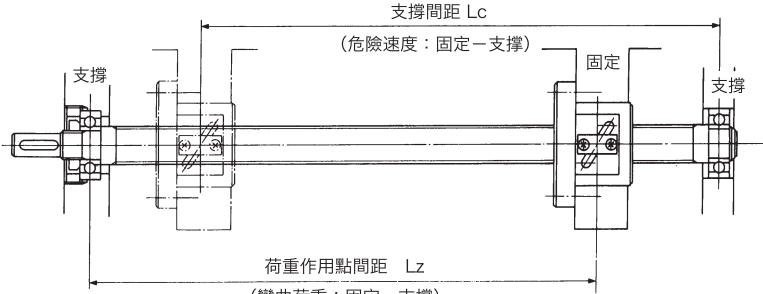
圖 5 按滾珠螺桿等級進行分類的螺桿軸製作範圍



4.4 組裝方法

圖 6 表示滾珠螺桿的代表性組裝方法。組裝方法不同，容許軸向荷重及容許轉速有所不同，因此在嚴酷的條件下使用產品或者要求高精度時，需要在充分論證後再行組裝。

圖 6 螺桿軸及螺母的組裝方法示例

組裝方法	主要適用情況
	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般的組裝方法 ● 中速回轉 ● 高精度
	<ul style="list-style-type: none"> ● 高速回轉 ● 高精度
	<ul style="list-style-type: none"> ● 低速回轉 ● 中精度 ● 軸較短時
	<ul style="list-style-type: none"> ● 中速回轉 ● 中精度

4.6 容許轉速

(1) 危險速度 (圖 8 的斜線部分)

請確保滾珠螺桿的轉速不與螺桿軸的固有振動產生共振。

$$N = \frac{60\lambda^2}{2\pi \cdot Lc^2} \sqrt{\frac{E \cdot I \cdot g}{\gamma \cdot A}} \times \alpha$$

- 其中 N : 危險速度對應的容許轉速 (min⁻¹)
 α : 安全係數 (0.8)
 Lc : 支撐間距 (mm) (參照圖 6)
 E : 縱向彈性係數 (2.06 × 10⁵MPa)
 I : 螺桿軸的最小截面二次力矩 (mm⁴)
 $I = \frac{\pi}{64} dr^4$
 dr : 螺桿軸底徑 (mm) (參照尺寸表)
 g : 重力加速度 (9.8 × 10³mm/sec²)
 γ : 比重 (7.65 × 10⁻⁵N/mm³)
 A : 螺桿軸底徑的截面積 (mm²)
 $A = \frac{\pi}{4} dr^2$
 λ : 取決於滾珠螺桿組裝方法的係數
 支撐-支撐 λ = π
 固定-支撐 λ = 3.927

固定-固定 λ = 4.730

固定-自由 λ = 1.875

(2) Dm · N 值 (垂直於容許轉速刻度的線)

受滾珠螺桿圓周速度極限值 Dm · N 限制。請根據支撐-支撐的刻度來選用。

$$Dm \cdot N \leq 70,000$$

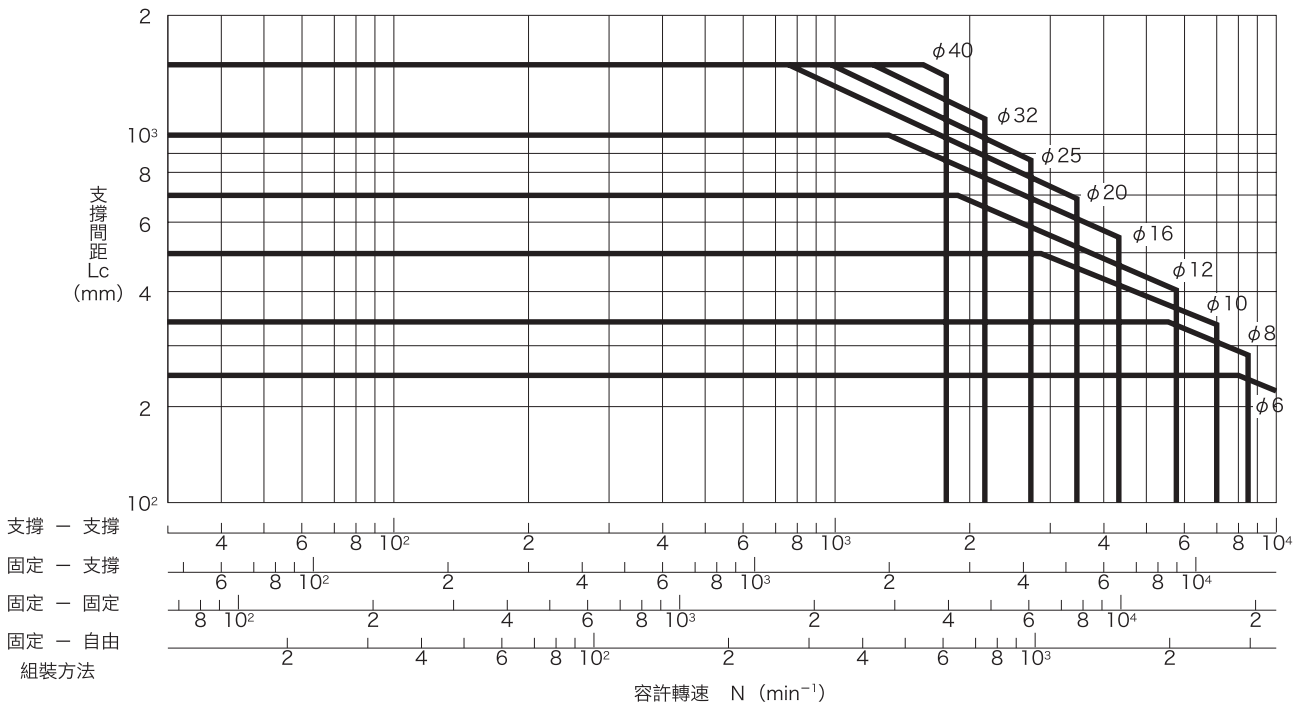
- 其中 Dm : 鋼珠的中心圓直徑 (mm)
 N : 轉速 (min⁻¹)

(3) 平行於容許軸向荷重刻度的線表示：在標準作業狀態下能夠製作的相對於螺桿軸外徑的最大長度。

螺桿軸的長度受螺桿等級所限，具體請參照圖 5 (第 11 頁)。

※ 在使用滾珠螺桿之前，請仔細確認容許轉速。購買產品時，敬請提供荷重條件。

圖 8 容許轉速曲線圖



4. 螺桿軸的設計

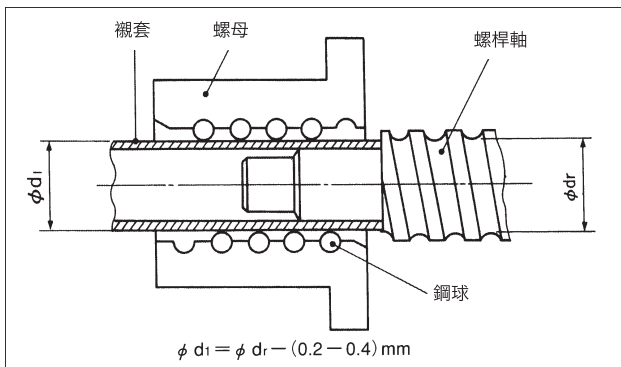
4.7 螺桿軸設計的注意事項

(1) 組裝

組裝滾珠螺桿時，請避免必須分離螺桿軸與螺母的結構設計。若將螺桿軸與螺母分離開來，有可能導致鋼珠脫落、降低螺母的位置精度、引發預壓量變化，以及導致鋼珠迴圈部位破損。無論如何都無法避免這種結構時，請提供能夠安裝在螺桿軸與螺母之間的部件。由我公司進行組裝。

萬不得已必須拆下螺母時，可使用圖 9 所示的襯套，將鋼珠裝入螺母中進行拆卸。此時，襯套的外徑請設定為螺桿軸底徑（參照尺寸表）－（0.2～0.4）mm 左右。

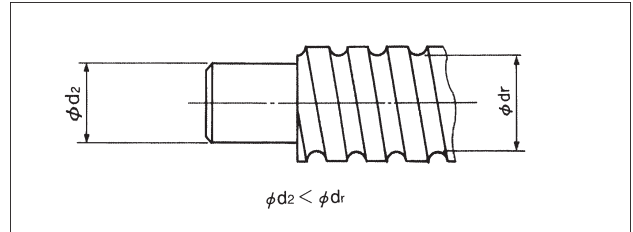
圖 9 拆卸螺母用套筒



(2) 螺桿軸端部形狀

在設計螺桿軸端部形狀時，軸端一側的直徑必須低於螺桿軸底徑（參照尺寸表），並且切通螺紋（圖 10）。內部循環式的滾珠螺桿在結構上無法進行組裝。

圖 10 螺桿軸端部形狀



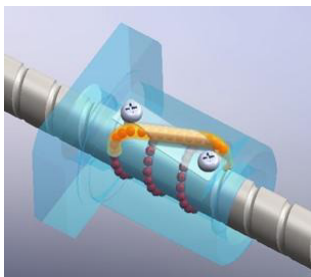
(3) 螺桿軸端部後續加工

產品交付後，若需要在螺桿軸端部加工頂出銷時，請告知加工部位及尺寸。我們將對指定部位不進行淬火處理以方便進行後續加工。

5. 螺母的設計

5.1 螺母的結構

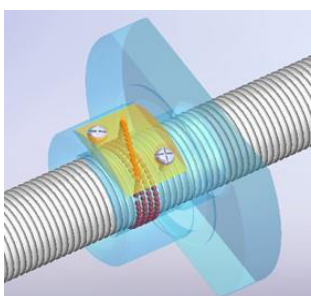
(1) 外循環



導流管式 (A系列) (チューブ TUBE)

- 鋼球在螺母的外部循環
- 因有裝置回流管、螺母的外徑為各循環方式中最大
- 導流管式循環標準為 1.5卷、2.5卷、3.5卷
- 各種外徑搭配導程的應用最為廣泛

【適用於中導程的循環方式】

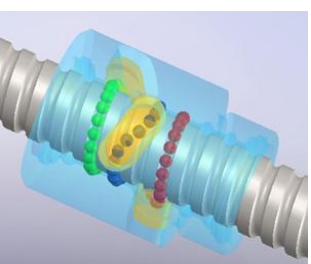


蓋板式 (D系列) (リターンガイド RETURN GUIDE)

- 鋼球在螺母的外部循環
- 微小鋼球的設計、導流管無法使用的場合
- 與內循環片比較，螺帽外徑較大

【適用於小導程的循環方式】

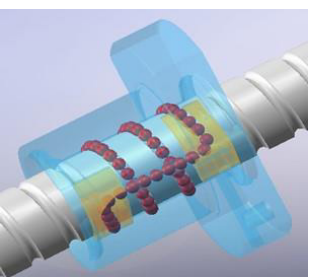
(2) 內循環



內循環片式 (K系列) (コマ KOMA)

- 鋼球在螺母的內部循環
- 為最小型、最輕量的循環方式
- 鋼球沿著內循環片的溝槽移動到相鄰的牙溝進行循環
- 良好的回轉平衡性
- 鋼球循環的列數可增加或調整
- 因為內部循環，鋼球在運轉時更安靜

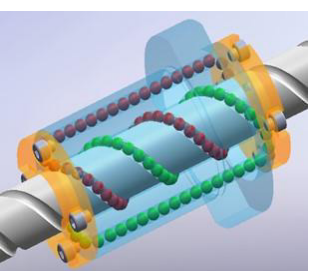
【適用於小導程的循環方式】



端塞式 (F系列) (エンドデフレクター END DEFLECTOR)

- 鋼球在螺母的內部循環
- 相較於外部循環方式，螺母的外徑可以更小型化
- 因於內部循環，鋼球在運轉時更安靜

【適用於中導程的循環方式】



端蓋式 (C系列) (エンドキャップ END CAP)

- 鋼球從螺母的內部經由端蓋進行循環
- 導程角度過大時、循環較困難的機種適用
- 鋼球高速運轉到端面後，在端蓋內以拋物線方式，讓鋼球容易回轉到負荷領域(牙溝內)的循環方式
- 2條螺牙、2倍導程以上最適合的循環方式
- 應用於高速、靜音的循環方式

【適用於大導程的循環方式】

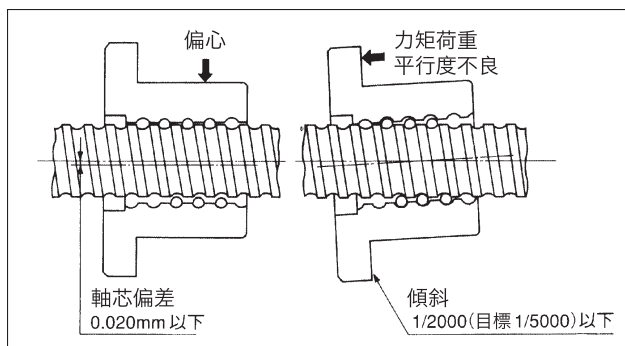
5. 螺母的設計

5.2 螺母旋轉設計的注意事項

(1) 偏荷重

滾珠螺桿的動作特性為：在螺桿軸與螺母之間滾動的鋼珠上所施加的荷重分佈越均勻越能發揮其真正價值。若在螺母上施加偏荷重（力矩荷重及徑向荷重），會使得一部分鋼珠承受集中荷重，從而不但會影響螺桿的動作特性，而且會顯著縮短其使用壽命，因此在設計及組裝時要非常小心。

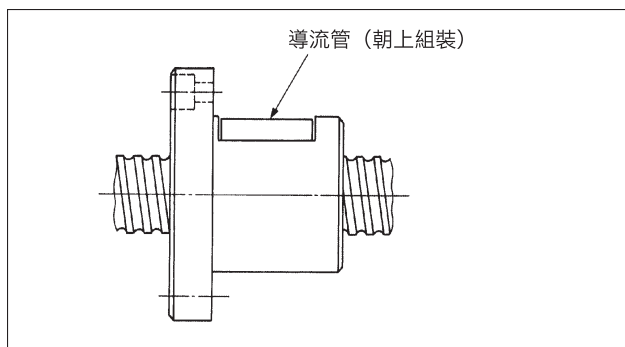
圖 13 偏荷重



(2) 返回型導向方式螺母的安裝方向

返回型導向方式的滾珠螺桿為，在鋼珠循環部位的構造上，將返回型導向的部位組裝在上方的組裝方式 以期使得回轉更為圓滑。

圖 14 返回導向型螺母的安裝方向



6. 精度設計

6.1 傳送螺桿的剛性

在具有傳送功能的自動控制設備及精密設備中，若要求保證高精度的定位，需要考慮傳送螺桿各結構要素的軸向剛性。

6.1.1 傳送螺桿的軸向剛性

(1) 傳送螺桿的軸向剛性： K_T

傳送螺桿的軸向剛性採用如下公式計算。

$$K_T = \frac{F_a}{\delta}$$

$$\frac{1}{K_T} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_H}$$

- 其中 K_T ：傳送螺桿的軸向剛性 (N/ μ m)
 F_a ：施加在傳送螺桿上的軸向荷重 (N)
 δ ：傳送螺桿的軸向彈性位移量 (μ m)
 K_S ：螺桿軸的軸向剛性 (N/ μ m)
 K_N ：螺母的軸向剛性 (N/ μ m)
 K_B ：支撐軸承的軸向剛性 (N/ μ m)
 K_H ：螺母及軸承安裝部位的軸性剛性 (N/ μ m)

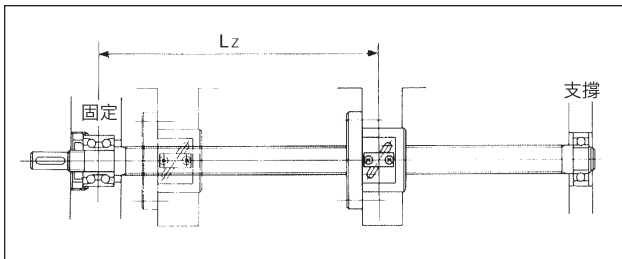
(2) 螺桿軸的軸向剛性： K_S

(a) 固定—固定 (支撐方法) 以外時

$$K_S = \frac{A \cdot E}{L_z} \times 10^{-3}$$

- 其中 K_S ：螺桿軸的軸向剛性 (N/ μ m)
 A ：螺桿軸截面積 (mm²)
 $A = \frac{\pi}{4} d_r^2$
 d_r ：螺桿軸底徑 (mm) (參照尺寸表)
 E ：縱向彈性係數 (2.06 × 10⁵MPa)
 L_z ：荷重作用點間距 (mm)

圖 15 固定—固定 (支撐方法) 以外時

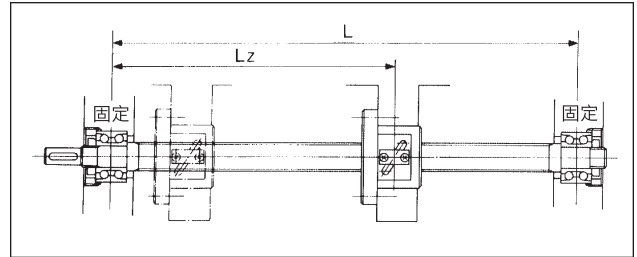


(b) 固定—固定 (支撐方法) 時

$$K_S = \frac{A \cdot E \cdot L}{L_z (L - L_z)} \times 10^{-3}$$

- 其中 K_S ：螺桿軸的軸向剛性 (N/ μ m)
 L ：組裝間距 (mm)

圖 16 固定—固定 (支撐方法) 時



(說明) 取決於螺桿軸軸向荷重的位移量

(a) 固定—固定 (支撐方法) 時

$$\delta_L = \frac{F_a}{K_S} = \frac{F_a}{A \cdot E} \left(1 - \frac{L_z}{L}\right) L_z \times 10^3$$

其中 δ_L ：取決於軸向荷重的位移量 (μ m)

(b) 固定—固定 (支撐方法) 以外時

$$\delta_L = \frac{F_a}{K_S} = \frac{F_a \cdot L_z}{A \cdot E} \times 10^3$$

其中 δ_L ：取決於軸向荷重的位移量 (μ m)
 採用固定—固定 (支撐方法) 時， $L_z = L/2$ 位置產生最大軸向位移。

$$\left(\delta_L = \frac{F_a \cdot L}{4A \cdot E} \times 10^3 \right)$$

因此，採用固定—固定 (支撐方法) 與不採用此法的情形相比，前者的最大軸向位移是後者的 1 / 4。

(3) 螺母的剛性： K_N

(a) 間隙品的剛性

施加基本額定動荷重 C_a 30% 的軸向荷重時，根據螺紋槽與鋼珠之間的彈性位移量所求得的剛性理論值 K 請參閱尺寸表。考慮到螺母自身的剛性值，一般情況下取尺寸表的 80% 為基準。

軸向荷重 F_a 與 $0.3C_a$ 不同時的剛性值 K_N 用以下公式可

6. 精度設計

$$K_N = 0.8 \times K \left(\frac{F_a}{0.3C_a} \right)^{1/3} \quad (N/\mu m)$$

其中 K : 尺寸表中的剛性值 ($N/\mu m$)

F_a : 軸向荷重 (N)

C_a : 基本額定動荷重 (N)

(b) 預壓品的剛性

施加相當於基本額定動荷重 C_a 10% (超大尺寸鋼球預壓方式為 5%) 的預壓荷重且軸向荷重起作用時, 根據螺紋槽與鋼珠之間的彈性位移量所求得的剛性理論值 K 請參閱尺寸表。考慮到螺母自身的剛性值, 一般情況下取尺寸表的 80% 為基準。

預壓荷重 F_{a0} 與 $0.1C_a$ ($0.05C_a$) 不同時的剛性值 K_N 用以下公式可計算。

$$K_N = 0.8 \times K \left(\frac{F_{a0}}{\varepsilon C_a} \right)^{1/3} \quad (N/\mu m)$$

其中 K : 尺寸表中的剛性值 ($N/\mu m$)

F_{a0} : 預壓荷重 (N)

ε : 剛性計算基準係數

$$\varepsilon = 0.10$$

$$\varepsilon = 0.05 \quad (\text{超大尺寸鋼球預壓方式})$$

(4) 支撐軸承的剛性: K_B

根據所選用的軸承種類 (滾珠軸承、滾軸軸承) 及預壓量等決定。選用滾珠軸承施加預壓時的剛性 K_B 按如下公式計算。

$$K_B = \frac{3F_{a0}}{\delta_{a0}} \quad (N/\mu m)$$

其中 F_{a0} : 預壓荷重 (N)

δ_{a0} : 相對於預壓荷重的軸向彈性位移量 (μm)

但是 $0 < \text{軸向外荷重} \leq 3F_{a0}$

(a) 推力角接觸球軸承 (滾珠螺桿支撐用)

及角接觸球軸承的軸向彈性位移量

$$\delta_a = \frac{2}{\sin \alpha} \left(\frac{Q^2}{D_a} \right)^{1/3} \quad Q = \frac{F_a}{Z \cdot \sin \alpha}$$

(b) 圓錐滾軸承的軸向彈性位移量

$$\delta_a = \frac{0.6}{\sin \alpha} \times \frac{Q^{0.9}}{\ell_a^{0.8}} \quad Q = \frac{F_a}{Z \cdot \sin \alpha}$$

(c) 推力球軸承的軸向彈性位移量

$$\delta_a = 2.4 \left(\frac{Q^2}{D_a} \right)^{1/3} \quad Q = \frac{F_a}{Z}$$

其中 δ_a : 軸向彈性位移量 (μm)

α : 接觸角

Q : 單個轉動體的荷重 (N)

D_a : 鋼珠直徑 (mm)

ℓ_a : 滾軸的有效接觸長度 (mm)

F_a : 軸向荷重 (N)

Z : 轉動體的數量

(5) 螺母及軸承安裝部位的剛性: K_H

在設計傳送裝置時, 請注意保證安裝部位的高剛性。

6.1.2 螺桿軸的抗扭剛性

螺桿軸的扭力所產生的扭轉角按如下公式計算。

$$\theta = \frac{32T \cdot L}{\pi \cdot G \cdot d_r^4} \times \frac{360}{2\pi} = 7.21 \times 10^{-2} \frac{T \cdot L}{d_r^4}$$

其中 θ : 扭轉角 (deg)

T : 扭力 ($N \cdot mm$)

L : 扭力作用點間距 (mm)

G : 橫向彈性係數 ($7.9 \times 10^4 MPa$)

d_r : 螺桿軸底徑 (mm) (參照尺寸表)

由扭轉角引起的軸向位移量的延遲 Δ 按如下公式計算。

$$\Delta = \ell \times \frac{\theta}{360} \times 10^3 \quad (\mu m)$$

其中 ℓ : 滾珠螺桿導程 (mm)

6.1.3 滾珠螺桿的預壓

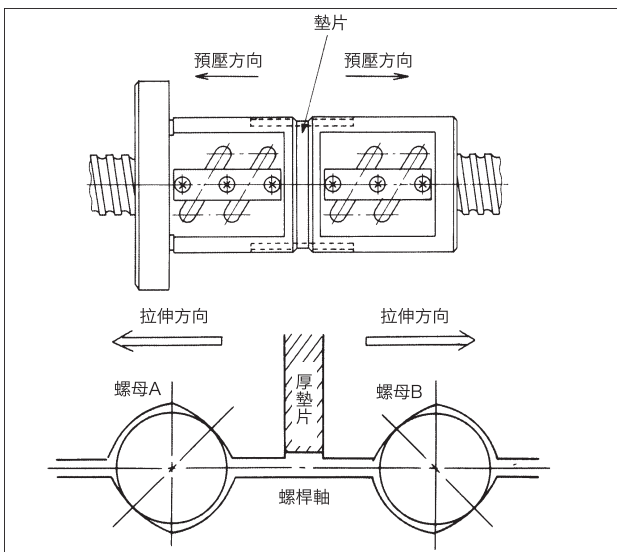
在進行高精度定位時，預先將滾珠螺桿的軸向間隙調整為 0，這種減小其軸向荷重彈性位移量是向螺桿施向預壓、提高剛性的常見方法。

(1) 預壓方法

(a) 雙螺母預壓方式（墊片預壓）

在兩個螺母之間插入墊片進行預壓的方式，可分為兩種形式。一種是如圖 17 所示，在兩個螺母之間插入只承受預壓量的厚墊片進行預壓的方式。此種預壓方式稱為“拉伸預壓”。

圖 17 拉伸預壓

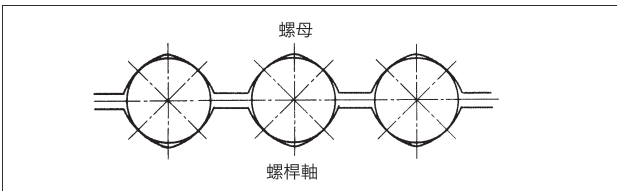


還有一種是在兩個螺母之間插入只承受預壓量的薄墊片進行預壓的方式。此種預壓方式稱為“壓縮預壓”。

(b) 單螺母預壓方式（超大尺寸鋼球預壓）

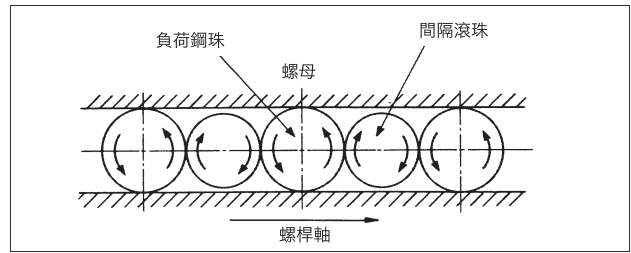
使用 1 個螺母進行預壓的方式如圖 18 所示，是一種插入比螺紋槽間隙略大的鋼珠（超大尺寸鋼球），通過鋼珠 4 點接觸進行預壓的方式。

圖 18 超大尺寸鋼球預壓



為提高動作性，採用間隙滾珠（1：1）為標準（圖 19）。

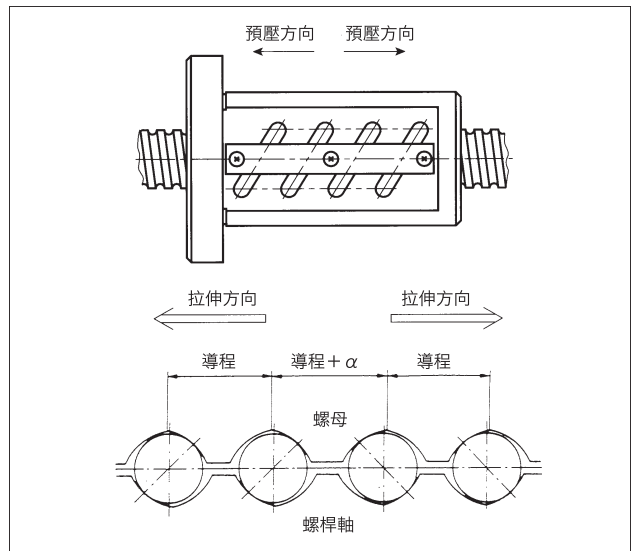
圖 19 間隙滾珠



(c) 單螺母預壓方式（導程偏移預壓）

使用 1 個螺母進行預壓的方式如圖 20 所示，是一種按所需要的預壓量 α 使螺母中間位置的螺紋導程產生偏移的預壓方式。

圖 20 導程偏移預壓



(2) 軸向彈性位移

滾珠螺桿一旦承受軸向荷重，在鋼珠及螺紋槽面會產生變形。軸向彈性位移量 δa 與軸向荷重 Fa 的關係與滾珠軸承相同，從 Herz 的點接觸理論可以推出

$$\delta a \propto Fa^{2/3}$$

的結果。

(a) 單螺母（無預壓）的軸向彈性位移量： δa

$$\delta a = \frac{2.6}{\sin \alpha} \left(\frac{Q^2}{Da} \right)^{1/3} \times \zeta \text{ (}\mu\text{m)}$$

其中 α ：鋼珠與螺紋槽的接觸角度（ 45° ）

D_a ：鋼珠直徑（mm）

Q ：單個鋼珠的荷重（N）

$$Q = Fa/Z \cdot \sin \alpha$$

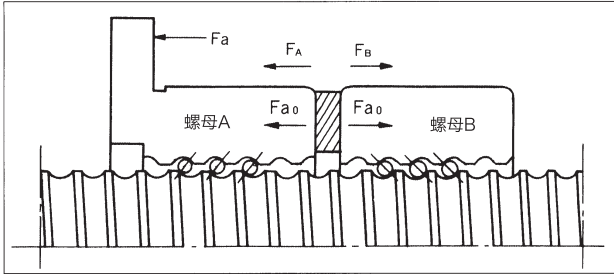
Z ：鋼珠數量

ζ ：精度、結構所決定的係數

6. 精度設計

(b) 施加預壓的滾珠螺桿軸向彈性位移

圖 21 雙螺母預壓



如圖 21 所示，在兩個螺母 A、B 上施加預壓 F_{a0} ，則螺母 A、B 均產生偏移至 X 點的彈性位移。若施加外力 F_a ，則螺母 A 從 X 點移動到 X_1 點，螺母 B 從 X 點移動到 X_2 點（圖 22）。

$\delta a \propto F_a^{2/3}$ 的關係設定比例常數為 k，

$$\delta_{a0} = k \cdot F_{a0}^{2/3}$$

螺母 A、B 的位移量為：

$$\delta_A = k \cdot F_A^{2/3}$$

$$\delta_B = k \cdot F_B^{2/3}$$

由於承受外力 F_a 的 A、B 所產生的位移量相同，

$$\delta_A - \delta_{a0} = \delta_{a0} - \delta_B$$

並且螺母 A、B 所承受的外力只有 F_a ，

$$F_A - F_B = F_a$$

因此 F_a 若變大，在 $\delta_B = 0$ 之前，施加在螺母 B 上的外力由於被螺母 A 所吸收而變小。

由以上可算出，

$$\delta_B = 0 \text{ 時}$$

$$k \cdot F_A^{2/3} - k \cdot F_{a0}^{2/3} = k \cdot F_{a0}^{2/3}$$

$$F_A^{2/3} = 2F_{a0}^{2/3}$$

$$F_A = \sqrt[3]{8} F_{a0} \doteq 3F_{a0}$$

另，由 $\delta_A - \delta_{a0} = \delta_{a0}$ 可算出

$$\delta_{a0} = \frac{1}{2} \delta_A$$

的結果。

因此，當軸向荷重為預壓荷重的 3 倍時，承受預壓的滾珠螺桿與未承受預壓的滾珠螺桿相比，前者位移量為後者的 $\frac{1}{2}$ ，而剛性則是後者的 2 倍（圖 23）。

$$K = \frac{F_a}{\delta_{a0}} = \frac{3F_{a0}}{0.5\delta_a}$$

其中 K：剛性 (N/ μm)

F_a ：軸向荷重 (N)

δ_{a0} ：承受預壓的滾珠螺桿的軸向彈性位移量 (μm)

F_{a0} ：預壓荷重 (N)

δ_a ：未承受預壓的滾珠螺桿的軸向彈性位移量 (μm)

圖 22 預壓曲線圖

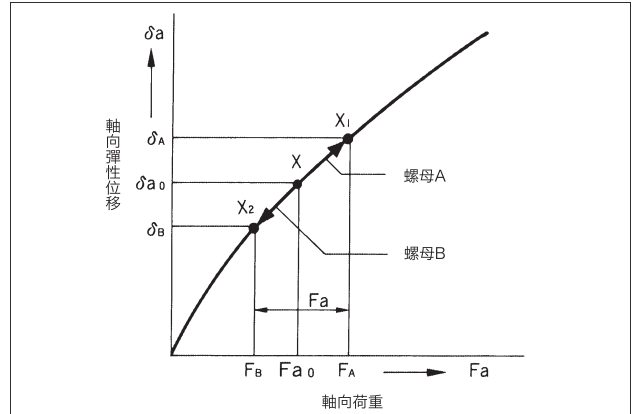
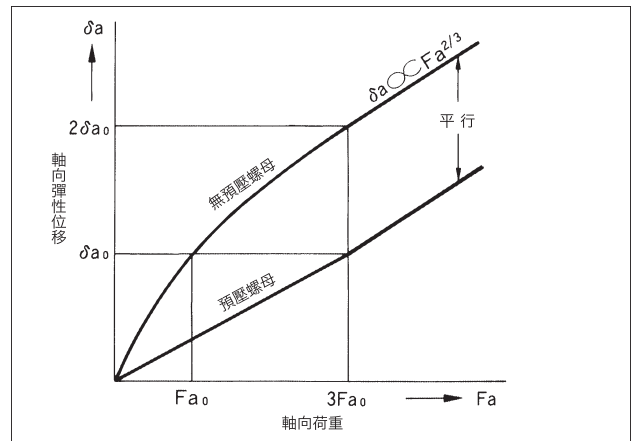


圖 23 彈性位移曲線圖



(3) 預壓荷重的設定

預壓荷重值推薦使用最大軸向荷重的 $\frac{1}{3}$ 左右。

此外，若預壓荷重過大，會縮短產品壽命及導致發熱而產生不利影響，因此最大預壓荷重的參考值為基本額定動荷重 Ca 的 10%。

標準預壓荷重如表 7 所示。

表 7 標準預壓荷重

單位 N

分類	輕預壓	中·高預壓
預壓荷重	0.05Ca 以下	0.05 ~ 0.10Ca

7. 壽命設計

7.1 滾珠螺桿的壽命

滾珠螺桿的壽命主要可分為剝離導致的疲勞壽命及使得精度降低的磨損壽命等。

7.2 疲勞壽命

疲勞壽命可以由使用與滾動軸承相同的基本額定動荷重來推算。

7.2.1 基本額定動荷重：Ca

基本額定動荷重是指：在同樣的條件下轉動一組相同的滾珠螺桿，其中的 90% 不發生剝離的情況下回轉壽命達到 10^6 周時的軸向荷重。基本額定動荷重請參閱尺寸表。

7.2.2 疲勞壽命

(1) 壽命計算

疲勞壽命一般用總回轉周數來表示，但有時也可用總回轉時間或者總行走距離來表示。疲勞壽命可按如下公式計算。

$$L = \left(\frac{Ca}{Fa \cdot fw} \right)^3 \times 10^6$$

$$Lt = \frac{L}{60n}$$

$$Ls = \frac{L \cdot \ell}{10^6}$$

- 其中
- L : 額定疲勞壽命 (rev)
 - Lt : 壽命時間 (hr)
 - Ls : 行走距離壽命 (km)
 - Ca : 基本額定動荷重 (N)
 - Fa : 軸向荷重 (N)
 - n : 轉速 (min^{-1})
 - ℓ : 導程 (mm)
 - fw : 荷重係數 (由運行條件所決定的係數)

無衝擊順暢運行時	1.0 ~ 1.2
普通運行時	1.2 ~ 1.5
伴隨衝擊及振動運行時	1.5 ~ 3.0

(2) 平均荷重

(a) 荷重與轉速分級時 (圖 24)

軸向荷重 (N)	轉速 (min^{-1})	所用時間或者所用時間比例
F_1	n_1	f_1
F_2	n_2	f_2
\vdots	\vdots	\vdots
F_n	n_n	f_n

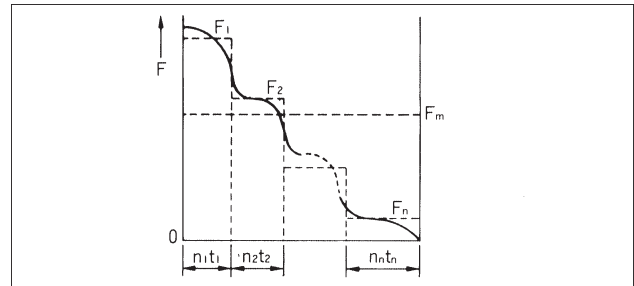
平均荷重 F_m 可用以下公式求得。

$$F_m = \left(\frac{F_1^3 \cdot n_1 \cdot t_1 + F_2^3 \cdot n_2 \cdot t_2 + \dots + F_n^3 \cdot n_n \cdot t_n}{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + \dots + n_n \cdot t_n} \right)^{1/3} \text{ (N)}$$

另，平均轉速 N_m 可用如下公式求得。

$$N_m = \frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + \dots + n_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \text{ (min}^{-1}\text{)}$$

圖 24 分級變化荷重



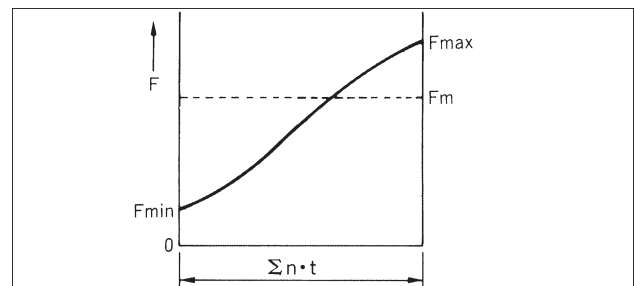
(b) 荷重基本呈直線變化時 (圖 25)

平均荷重 F_m 可用以下公式求得近似值。

$$F_m = \frac{1}{3} (F_{\min} + 2F_{\max}) \text{ (N)}$$

- 其中
- F_{\min} : 最小軸向荷重 (N)
 - F_{\max} : 最大軸向荷重 (N)

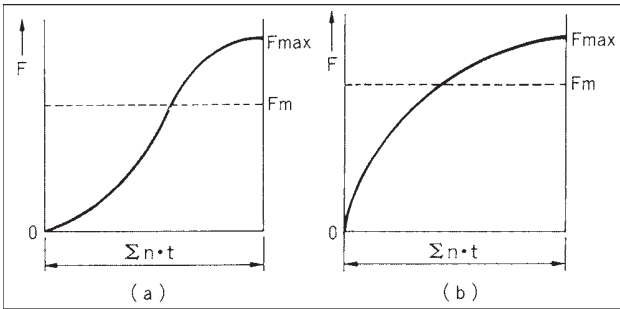
圖 25 單純變化荷重



7. 壽命設計

(c) 荷重呈正弦曲線變化時 (圖 26)
 平均荷重 F_m 可用以下公式求得近似值。
 圖 26 (a) 時 $F_m \approx 0.65F_{max}$ (N)
 (b) 時 $F_m \approx 0.75F_{max}$ (N)

圖 26 呈正弦曲線變化的荷重



7.2.3 設計壽命時間

在選用滾珠螺桿時，為一味追求更長的疲勞壽命而選擇大一號的滾珠螺桿，並非經濟的做法。應根據使用條件的不同來選擇。以下是一般情況下的壽命時間，供作參考。

- 工作機械..... 20,000 小時
- 產業機械..... 10,000 小時
- 自動控制裝置..... 15,000 小時
- 測量裝置..... 15,000 小時

7.3 螺桿溝槽部的容許荷重

即便是在滾珠螺桿的使用頻率低、或是低速使用等足夠滿足疲勞壽命的使用條件下，也需要選擇最大軸向荷重遠小於基本額定靜荷重的型號。

7.3.1 基本額定靜荷重： C_{0a}

基本額定靜荷重是指：承受最大應力的螺桿軸及螺母的螺紋槽接觸部位與鋼珠的永久變形量之和達到鋼珠直徑的 0.01% 時所承受的軸向靜荷重。

7.3.2 容許荷重

最大容許荷重 F_{max} 可用以下公式求得。

$$F_{max} = C_{0a}/f_s \text{ (N)}$$

其中 C_{0a} : 基本額定靜荷重 (N)

f_s : 安全係數 (由運行條件所決定的係數)

普通運行時	1 ~ 2
伴隨衝擊及振動運行時	2 ~ 3

7.4 材料與硬度

7.4.1 標準材料

表 8 材料與硬度

部 品 名	材 料	熱處理方法	硬 度
螺 桿	AISI4150	高週波	58 ~ 62HRC
	S55C	高週波	58 ~ 62HRC
	SCM415	滲碳淬火	58 ~ 62HRC
螺 母	SCM415	滲碳淬火	58 ~ 62HRC

※ 可根據客戶要求進行產品的表面處理。

7.4.2 硬度係數

若使用與表 8 所列標準材料不同的材料，當材料的表面硬度在 58HRC 以下時，需要對基本額定動荷重 (C_a)、基本額定靜荷重 (C_{0a}) 進行修正。尺寸表中所列的 C_a 、 C_{0a} 值可用如下公式進行修正。

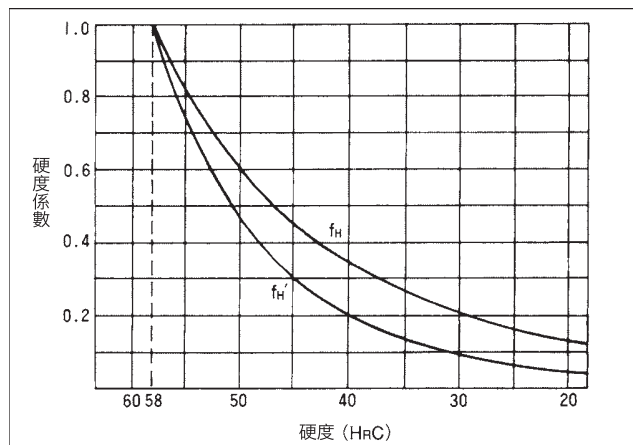
$$C_a' = f_H \cdot C_a \text{ (N)}$$

$$C_{0a}' = f_H' \cdot C_{0a} \text{ (N)}$$

其中 f_H : 硬度係數

f_H' : 靜硬度係數

圖 27 硬度係數



8. 驅動扭力

8.1 滾珠螺桿的扭力

(1) 正動作

將回轉運動變換為直線運動（正動作）時的扭力按如下公式計算。

$$T_a = \frac{F_a \cdot \ell}{2\pi \cdot \eta_1}$$

其中 T_a : 正向動作扭力 (N · cm)

F_a : 軸向荷重 (N)

ℓ : 導程 (cm)

η_1 : 正效率 (0.9 ~ 0.95)

(2) 反動作

將直線運動變換為回轉運動（反動作）時的扭力按如下公式計算。

$$T_b = \frac{F_a \cdot \ell \cdot \eta_2}{2\pi}$$

其中 T_b : 反動作扭力 (N · cm)

η_2 : 反效率 (0.85 ~ 0.9)

(3) 預壓扭力

承受預壓的滾珠螺桿的基準扭力按如下公式計算。

$$T_P = 0.05 (\tan\beta)^{-0.5} \frac{F_{a0} \cdot \ell}{2\pi}$$

其中 T_P : 基準扭力 (N · cm)

F_{a0} : 預壓荷重 (N)

β : 導程角 (deg)

8.2 馬達的驅動扭力

(1) 均速時的驅動扭力

為對抗外部荷重而均速驅動滾珠螺桿時所需要的扭力 T_1 按如下公式計算。

$$T_1 = (T_a + T_P + T_B) \times \frac{N_1}{N_2}$$

其中 T_a : 定速時的驅動力矩 = $\frac{F_a \cdot \ell}{2\pi \cdot \eta}$ (N · cm)

$F_a = F + \mu \cdot W$ (N) ……水準姿勢時

F : 螺桿軸向的切削力等 (N)

μ : 滑動面的摩擦係數

W : 移動物重量 (N)

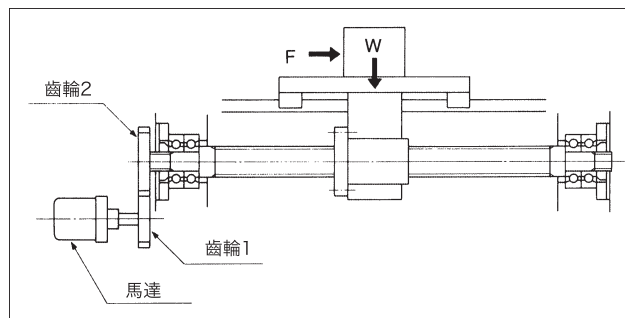
(工作臺重量+工件重量)

T_B : 支撐軸承的摩擦扭力 (N · cm)

N_1 : 齒輪 1 的齒數

N_2 : 齒輪 2 的齒數

圖 28 驅動



(2) 加速時的驅動扭力

為對抗軸向荷重加速驅動滾珠螺桿時，需要最大扭力。此時所需要的驅動扭力可用如下公式計算。

$$T_2 = T_1 + J \cdot \dot{\omega}$$

$$J = J_M + J_{G1} + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 (J_{G2} + J_s + m \left(\frac{\ell}{2\pi}\right)^2)$$

其中 T_2 : 加速時的最大驅動扭力 (N · cm)

$\dot{\omega}$: 馬達的角加速度 (rad/sec²)

J : 施加在馬達上的慣性力矩 (kg · m²)

J_M : 馬達慣性力矩 (kg · m²)

J_{G1} : 齒輪 1 的慣性力矩 (kg · m²)

J_{G2} : 齒輪 2 的慣性力矩 (kg · m²)

J_s : 螺桿軸的慣性力矩 (kg · m²)

m : 移動物質量 (kg)

(注釋) 圓筒體 (滾珠螺桿、齒輪等) 的慣性力矩

$$J = \frac{\pi\gamma}{32} D^4 \cdot L \text{ (kg · cm}^2\text{)}$$

其中 γ : 材料的比重 (7.9 × 10⁻³kg/cm³)

D : 圓筒體的直徑 (cm)

L : 圓筒體的長度 (cm)

9. 潤滑與防塵

9.1 潤滑

考慮滾珠螺桿的磨損壽命及機械效率，需要適當的潤滑。螺桿的潤滑劑有潤滑脂潤滑及潤滑油潤滑。採用潤滑脂時，使用鋰皂基潤滑脂；使用潤滑油時，使用 ISO 等級 32 ~ 100 的潤滑油。一般情況下，高速、低溫、輕荷重推薦使用基油黏度低的

潤滑劑，而搖動、低速、高溫、高荷重時推薦使用基油黏度高的潤滑劑。

表 9 表示檢查潤滑劑及補充潤滑劑時的一般指標。

表 9 潤滑劑的點檢及補充

潤滑方法	點 檢	點檢項目	補 充
潤滑脂	開動初期 2 ~ 3 個月	汙物或異物的混入等	通常每年補充一次（根據檢查結果可適當調整），補充時請先行擦乾淨舊的潤滑脂再行補充。
油	每週	油量及汙物等	每點檢一次補充一次。

9.2 防塵

同滾珠軸承一樣，如果有汙物、異物混入滾珠螺桿內，會加快其磨損、損傷螺紋槽面等，甚至可能破壞循環功能使得螺桿無法動作。為防止外部汙物、異物等混入，可使用圖 29 所示的蛇紋管或螺旋罩等防塵裝置，將螺桿軸完全保護起來。

若出於設計上的考慮，無法使用以上防塵罩時，可在螺母的兩端裝上密封（圖 30）起到防塵作用。只是，其防塵效果有限。

Nidec 精密滾珠螺桿可根據顧客要求裝上密封。

圖 29 防塵罩

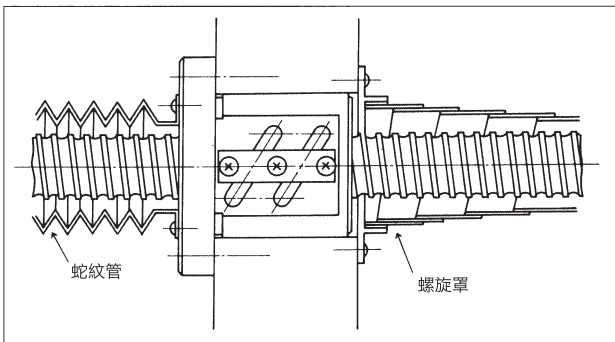


圖 30-a 迷宮式密封

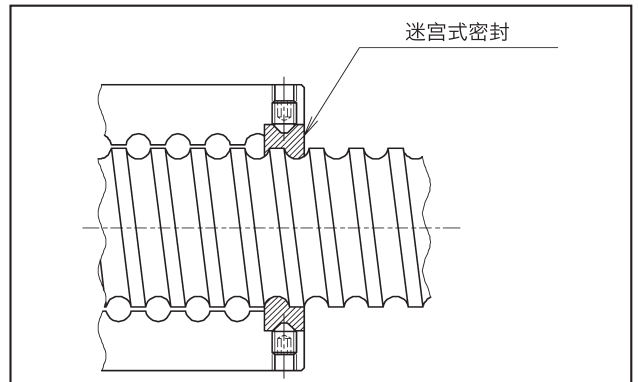


圖 30-b 唇形密封

