

麗台國際有限公司

Lead Taiwan International Corporation

台中市台灣大道二段 285 號 20F

TEL : 886-423232026 , Website : www.ltic.com.tw ,

Email : salestw@ltic.com.tw



文件序號：T2020170

## 技術類別：《齒輪應用》

技術類別	齒輪應用
篇名	有關雙導程蝸桿蝸輪之裝配精度及潤滑問題
重點	有關雙導程蝸桿蝸輪之裝配精度及潤滑問題
產出日期	2020/03/27
資料來源	日本 KHK / 台灣昭源提供 麗台國際有限公司整理



有關雙導程蝸桿蝸輪之裝配、精度及潤滑問題。

## 1. 雙導程蝸桿蝸輪組及蝸桿蝸輪組的檢驗與裝配之重點

在於齒面的接觸狀況（齒承，Tooth bearing，先使用紅丹將蝸輪齒面染色，轉動蝸桿後，於齒面所留下的接觸印痕，詳第 9 項之說明）與齒隙（Backlash，詳第 6 及 8 項之說明）。掌握這兩個重點，則會帶領出良好的蝸桿蝸輪組之精度。

## 2. 蝸桿蝸輪裝配得精良與否，直接影響工件的摩耗程度。裝配時，必定要注意：

**確認**蝸桿的軸與蝸輪的軸是否互相垂直後固定之。

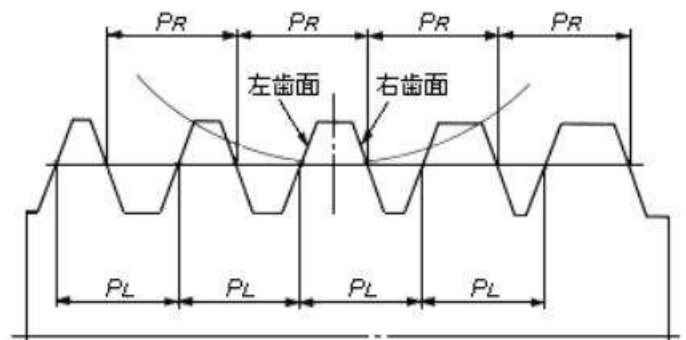
**確認**蝸桿的軸的中心是否維持在蝸輪齒幅的中央平面上。

**確認**齒面的接觸狀況（齒承，Tooth bearing）。

## 3. 雙導程蝸桿的左齒面與右齒面導程長度不同，造成右齒面間的節距（導程）與左齒面間的節距（導程）不同。因此由於導程的差，使得齒厚變為非固定，是一種齒厚有連續變化的齒形。蝸輪的齒面也為了與蝸桿的齒面配合，而製作成左右不同的齒面。

因為蝸輪是圓柱齒輪，所以所有的齒面節距相等（齒厚相同）。像這樣的蝸桿蝸輪於一定的裝配距離下裝配後，若蝸桿沿軸方向移動時，由於嚙合部蝸桿的齒厚是變化的，因此齒隙的調整才變為可能。

雙導程蝸輪蝸桿的左齒面節距  $P_L$  和右齒面節距  $P_R$  不相等。以右圖為例  $P_R > P_L$ 。與之咬合的蝸輪。是用與雙導程蝸桿同樣，左右齒面的節距分別為  $P_L, P_R$ ，之滾齒刀切削出來的。  
由於蝸桿的齒厚由左到右逐漸變厚。所以將蝸桿沿軸方向左右移動調整。即可得到所要求的齒隙。



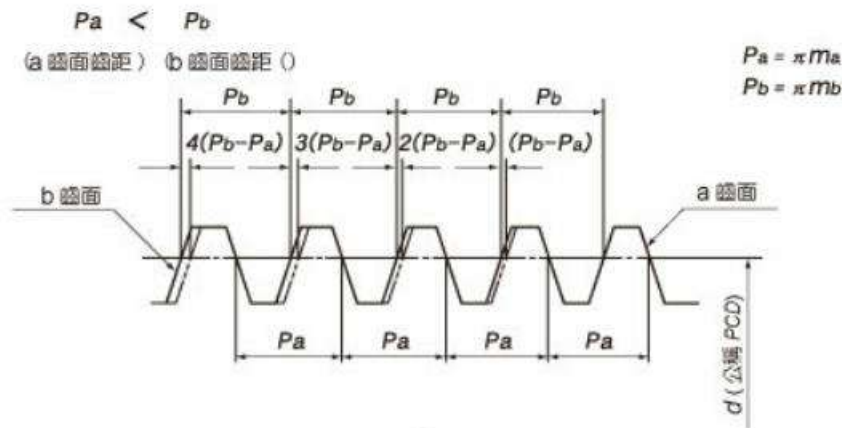


圖 1

**(附註)** KHK 雙導程蝸桿的嚙合部沿軸向移動  $V$  (mm) 時齒隙的變化量  $\Delta j$  (mm) 可由下面的公式計算。

$$\Delta j = 2V \frac{m_b - m_a}{m_a + m_b}$$

其中

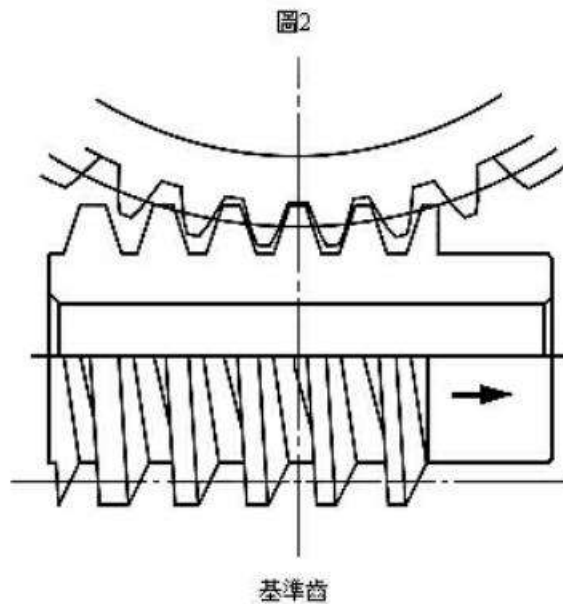
$m_a$  = 公稱軸向模數 - (0.01 × 公稱軸向模數)

$m_b$  = 公稱軸向模數 + (0.01 × 公稱軸向模數)

4. K H K 雙導程蝸桿的軛輪徑上的箭頭標誌，既是指示裝配的方向，亦是齒隙調整的移動方向。當箭頭指向為右時，齒幅右側的齒厚較薄，左側的齒厚較厚，也就是說 KHK 雙導程蝸桿的左齒面節距  $P_L >$  右齒面節距  $P_R$ 。

所以當蝸桿向右移動調整時，實際上的嚙合齒面將向左移動（此處齒厚較厚），因此使得齒隙變小。所有 K H K 雙導程蝸桿，都是以蝸桿在軸方向每移動 1mm 時，齒隙變化量為 0.02mm 的基礎所設計出來的。

K H K 雙導程蝸桿的軛輪徑上的箭頭標誌，既是指示裝配的方向，亦是齒隙調整的移動方向。當箭頭指向為右時，齒幅右側的齒厚較薄，左側的齒厚較厚。所以當蝸桿向右移動調整時，實際上的嚙合齒面將向左移動(此處齒厚較厚)，因此使得齒隙變小。(下圖)



按箭頭方向移動蝸桿時齒隙會變小

**【附註】** 所有KHK雙導程蝸桿,是以蝸桿在軸方向每移動1mm,齒隙變化量為0.02mm的基礎來設計的。

5. 由於K H K雙導程蝸桿蝸輪的左右齒面模數不同,所以蝸桿和蝸輪必須有正確的裝配方向及裝配位置。請確認以下事項,以確保蝸桿及蝸輪的正確裝配。

### 裝配方向的確認

雙導程蝸桿和蝸輪產品上刻有箭頭標記,指示裝配方向。裝配時,首先確認蝸輪的正反面,以蝸輪與蝸桿上箭頭一致的面與方向為裝配方向。裝配方向的錯誤,會造成中心距離( $a$ 值)比標準值大,以致無法裝配或無法正確嚙合,齒面的接觸狀況(齒承, Tooth bearing)也不會正確。

### 裝配基準位置的確認

雙導程蝸桿的齒頂圓上車有 $v$ 形小溝( $60^\circ$ ,深度0.3mm),以此標示基準齒的位置(標準齒厚的位置)。裝配時此 $v$ 溝應對準蝸輪的回轉中心。基準齒對準後,並安裝在標準中心距離 $a$ (中心距離 $a$ 應取H6之公差)下,此時的齒隙應為(設計齒隙) $0(\pm 0.03)$ 。確認基準位置後,才能以此為準調整所需要的齒隙。

6. 齒輪的齒隙

一對齒輪要想達到平順穩定的運轉,需要有齒隙。齒隙是指一對齒輪咬合



時，齒面間の間隙。根據量測方向的不同，齒隙被分為圓周齒隙  $j_t$ ，法線齒隙  $j_n$ ，徑向齒隙  $j_r$  和回轉角度齒隙  $j_\theta(^{\circ})$ 。

### 各種齒輪的齒隙

下表中，列出了各種齒輪的圓周齒隙，法線齒隙及徑向齒隙之間的關係式。

#### 齒隙關係式

序號	齒輪種類	圓周方向 $j_t$ 與法線方向 $j_n$ 的關係式	半徑方向 $j_r$ 與圓周方向 $j_t$ 的關係式
1	正齒輪	$j_n = j_t \cos \alpha$	$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha}$
2	螺旋齒輪	$j_{mn} = j_{nt} \cos \alpha_n \cos \beta$	$j_r = \frac{j_{nt}}{2 \tan \alpha_t}$
3	直齒傘形齒輪	$j_n = j_t \cos \alpha$	$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha \sin \delta}$
4	彎齒傘形齒輪	$j_{mn} = j_{nt} \cos \alpha_n \cos \beta_m$	$j_r = \frac{j_{nt}}{2 \tan \alpha_t \sin \delta}$
5	蝸桿	$j_{mn} = j_{nt} \cos \alpha_n \sin \gamma$	$j_r = \frac{j_{nt}}{2 \tan \alpha_x}$
	蝸輪	$j_{mn} = j_{nt} \cos \alpha_n \cos \gamma$	

圓周齒隙與回轉角度齒隙之間的關係式如下。

$$j_\theta = j_t \times \frac{360}{\pi \cdot d} \text{ (度)}$$

### 蝸輪組的齒隙

右圖為蝸輪組的齒隙。

在蝸桿的節平面上：

$$\begin{cases} j_{tn} = j_{tt1} \sin \gamma \\ j_{tn} = j_{tt2} \cos \gamma \\ \tan \gamma = \frac{j_{tt2}}{j_{tt1}} \end{cases}$$

在蝸桿的軸直角平面上：

$$\begin{cases} j_{nt1} = j_{tt1} \cos \alpha_t \\ j_r = \frac{j_{tt1}}{2 \tan \alpha_t} \end{cases}$$



在蝸輪的軸直角平面上：

$$\begin{cases} j_{nt2} = j_{tt2} \cos \alpha_x \\ j_r = \frac{j_{tt2}}{2 \tan \alpha_x} \end{cases}$$

## 7. KHK 雙導程蝸桿蝸輪齒隙調整要領

**KHK 雙導程蝸桿蝸輪**，為一高精度之蝸桿蝸輪，其特點在可依使用者之需要，適當地將齒隙調整至所需之範圍內。

雖然，“高精度”是 **KHK** 公司引以為傲的一貫主張，但在實際使用上，並不鼓勵使用者讓齒輪在無齒隙的狀下運轉。最主要的原因在於，無齒隙運轉將無法避免因運轉時熱膨脹而造成的傷害，並且也會引起不必要的噪音。無齒隙運轉將使得潤滑油無法順利地進入兩接觸的齒面間，造成齒輪因無法得到潤滑而快速地磨損。

另外，由於無可避免的加工上的偏心誤差，也會因為有了齒隙而得到紓解，才不至於造成運轉上的不順利。

### **KHK 雙導程蝸桿蝸輪之說明**

**KHK 雙導程蝸桿蝸輪**，係使蝸桿上牙之左右兩側有著不同的導程（**Lead**）在相同節圓的情形下，會產生不同的左右兩個節距，就是利用此節距差，達到雙導程蝸桿上牙的齒厚，有著由厚到薄的漸進變化。而此齒厚的變化，即成為齒隙能被調整的主要原因。

吾人可利用雙導程蝸桿的左右移動，將適當齒厚的部分調整至正確位置（蝸輪中心線），得到所要之齒隙。

### **齒隙調整方法**

#### **a. 直接法**

- 確定蝸桿蝸輪上之箭頭方向是否指向相同方向。將蝸桿上 **v** 形小溝概略與蝸輪中心線對準。
- 利用銅質厚薄插片，將與所需齒隙厚度相等的厚薄插片，插入蝸桿與蝸輪之接觸面間（單邊）。
- 蝸輪不固定。
- 移動蝸桿左右移動調整裝置，調整至零齒隙（若有偏心之情形，請先旋轉蝸桿找到最緊的一點）。





- 固定蝸桿左右移動調整裝置。
- 抽出厚薄插片，得到適當之齒隙。

b. 間接法

- 確定蝸桿蝸輪上之箭頭方向是否指向相同方向。
- 將蝸桿上 V 形小溝概略與蝸輪中心線對準。
- 移動蝸桿左右移動調整裝置，調整至零齒隙（若有偏心之情形，請先旋轉蝸桿找到最緊的一點）。
- 固定蝸輪，勿使其旋轉。
- 如同鎖螺絲般地旋轉蝸桿  $\alpha$  角（參考下表），將齒厚較薄處移入至適當位置，以得到適當齒隙。
- 固定蝸桿左右移動調整裝置。
- 鬆開蝸輪。
- 得到適當之齒隙。

KHK 雙導程蝸桿旋轉角  $\alpha$  與齒隙之關係請參照下表：

雙導程蝸桿蝸輪公稱模數 m	產生 0.01mm 齒隙所需旋轉蝸桿之 $\alpha$ 角 (°)	蝸桿旋轉 90° 所產生之齒隙 mm
2.0	28.6478	0.031416
2.5	22.9183	0.039270
3.0	19.0985	0.047124
3.5	16.3702	0.054978
4.0	14.3239	0.062832
5.0	11.4591	0.078540
6.0	9.5493	0.094248

其他

- KHK 雙導程蝸桿蝸輪，為一高精度之蝸桿蝸輪，倘若在後續加工時疏忽了精度的保持，便失去了使用此高精度蝸桿蝸輪之目的。後續加工時精度的保持，最重要的是同心度，因為一切的切齒加工、研磨加工，皆由此中心線展開。

除了工作母機中心須加以注意校準外，工作物的中心孔也須於加工前清洗乾淨。準確地校正工作物的同心度、偏擺，是維持工作物精準的不二法門。



- **KHK 雙導程蝸桿蝸輪**，為一高精度之蝸桿蝸輪，蝸桿蝸輪之節距精準，蝸桿縱使稍有偏心，在運轉時也不會妨礙出力軸之等速旋轉。唯一須注意的事是，在蝸桿旋轉方向改變時，要記得補償齒隙之旋轉補償角（請參照蝸桿旋轉角  $\alpha$  與齒隙之關係表）。

## 8. 齒輪的精度

齒輪是傳達動力及回轉的機械元件，對齒輪的性能主要有下列要求。

- ① 為能傳達更大的動力
- ② 為能使用更小的齒輪
- ③ 為能安靜地轉動
- ④ 為能正確地傳達

為能滿足上述要求，無論如何，提高齒輪的精度是必要的。由於蝸桿蝸輪在 **JIS** 中尚無規定，因此這裡將借用正齒輪與螺旋齒輪的規定來描述蝸輪的精度。

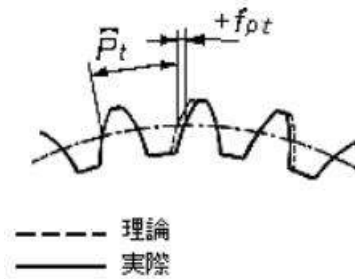
### 正齒輪與螺旋齒輪的精度

- 正齒輪及螺旋齒輪的精度，在下列規範中有明確的規定。這裡，按規範的內容順序說明。
- **JIS B1702-1 : 1998 圓筒齒輪－精度等級 第一部：齒輪的齒面相關誤差及容許值**（在此規範中，共有 13 個精度等級，從最高精度的 0 級，到最低精度的 12 級。）
- **JIS B1702-2 : 1998 圓筒齒輪－精度等級 第二部：齒面咬合誤差及齒溝偏擺之定義與精度容許差。**（由最高精度的 4 級，到最低精度的 12 級等 9 個精度等級所組成。）
- 在舊規範 **JIS B1702 : 1976** 中，精度等級被分為 0~8 級的 9 個等級。然而與新規範之間有很大的不同。為避免新、舊規範間精度等級的混亂，在 1998 年版新規範之精度等級前，加註英文字頭 **N**（稱為 **NXX 級**）以示與舊規範之區別。

### 單一節距誤差( $f_{pt}$ )

單一節距誤差是指，相鄰兩齒於同側齒面節圓上之實測節距值與理論節距值之差。

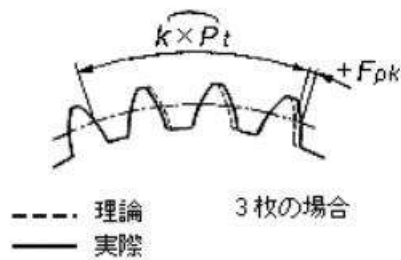




單一節距誤差  $f_{pt}$

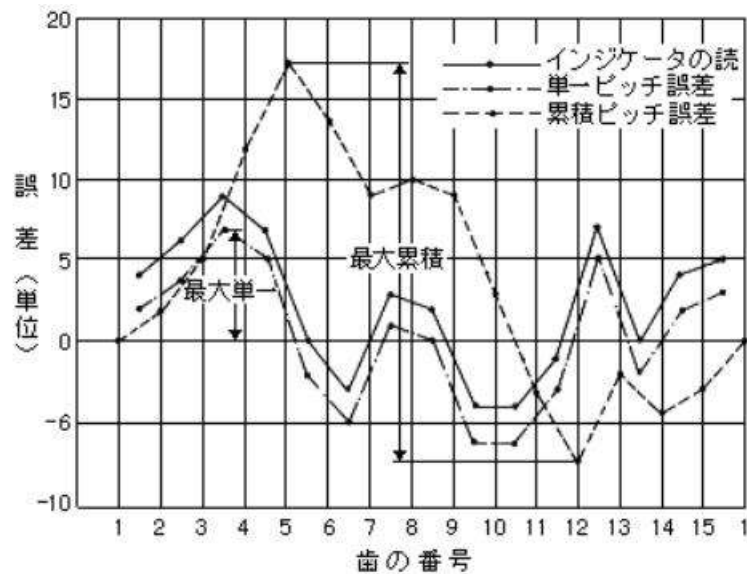
### 累積節距誤差( $F_p$ )

累積節距誤差是指，齒輪的同側齒面節圓上，跨任意齒數之實測節距值與實際值之差稱之為累積節距誤差。若以任意齒面為起點，量測全部齒面的累積節距誤差，並將繪製成誤差線圖，則線圖中最高點與最低點間的差距稱為最大累積節距誤差。



$$F_{pk} = F_{p3} \text{ (三齒的情形)}$$

累積節距誤差  $F_p$

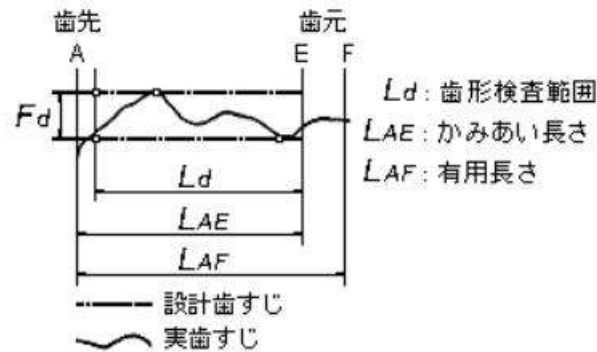


節距誤差線圖例



### 總齒形誤差( $F_\alpha$ )

總齒形誤差是指，在設定的齒形檢查範圍內，實際齒形檢測線（曲線）與設計齒形檢測線（直線）之最高最低差距值之間的距離。

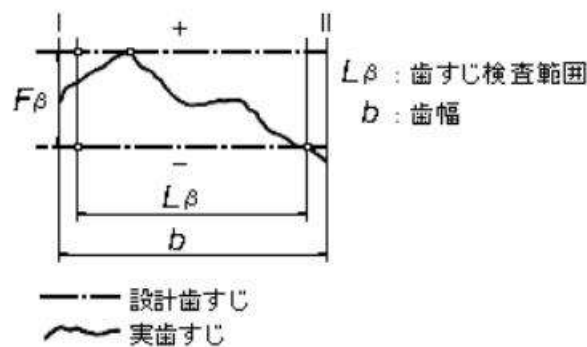


$L_\alpha$ ：齒形檢測範圍， $L_{AE}$ ：咬合長度， $L_{AF}$ ：有效長度  
 總齒形誤差  $F_\alpha$

### 總齒筋誤差( $F_\theta$ )

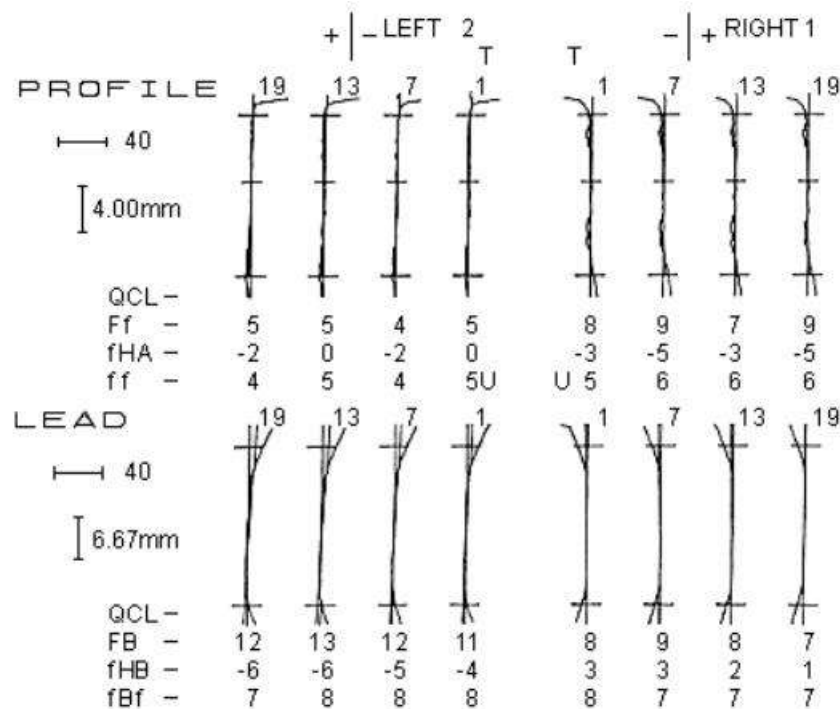
總齒筋誤差是指在設定的齒筋檢查範圍內，實際齒筋檢測線（曲線）與設計齒筋檢測線（直線）之最高最低差距值間的距離。

總齒筋誤差對齒面接觸（齒承）產生影響。誤差過大會使齒承集中在齒幅之單側，造成齒承不良。為了避免產生這種不良齒承，應對齒筋方向施行削鼓型加工或齒形修整等。



$L_\theta$ ：齒筋檢測範圍， $b$ ：齒幅  
 總齒筋誤差  $F_\theta$

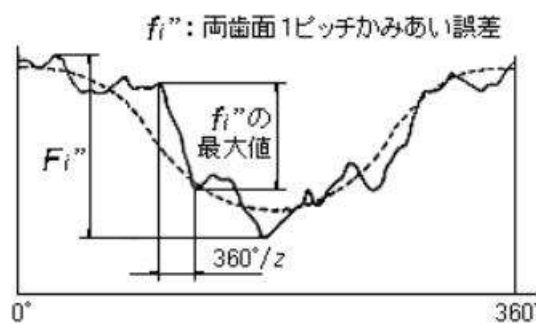
圖 14.6 是使用 ZEISS UMC550 精密測量儀器所測定之齒形及齒筋誤差。



齒形誤差及齒筋方向誤差的測定例

**兩齒面總咬合誤差( $F_i''$ )**

兩齒面總咬合誤差是指，被測齒輪的兩齒面同時與齒輪規 (Master gear) 的兩齒面在保持接觸狀態下，被測齒輪旋轉一周時，中心距離的最大值與最小值的差。



$f_i''$  : 兩齒面咬合誤差線圖

**齒溝偏擺( $F_r$ )**

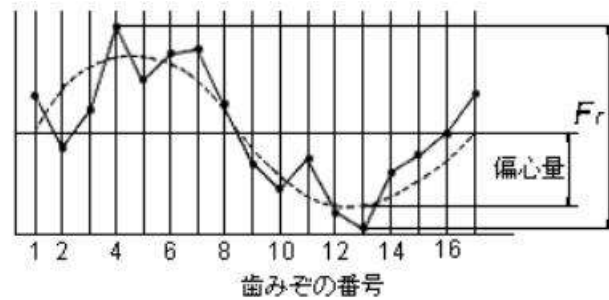
將測頭 (球、梢等) 順次插入齒輪的每一齒溝中，並記錄測頭在半徑方向的位置，在測完一整轉後，取其最大值與最小值之差是為齒溝偏擺。

齒溝偏擺會對齒輪的噪音等產生不良影響，受齒輪加工或研磨時，工作物



軸心精度及偏擺大小之影響甚鉅。最近，因為機械設備的精度需求逐漸提高，為了減少齒溝偏擺，齒輪切削或研磨時非得使用高精密的夾具不可。

圖 14.8 為齒溝偏擺線圖，在齒溝偏擺中，還包括了齒輪偏心。



齒數為 16 齒的齒溝偏擺

#### 9. 齒輪的齒承（齒面的接觸狀況）

齒承對於齒輪就如同精度對於齒輪一樣，是對齒輪的噪音及效率產生重大影響的要素之一。要想獲得好的齒承，需要注意以下幾點：

- 齒筋修整  
對齒輪施以削鼓型加工或削端加工
- 提高齒輪精度  
對齒輪施以研磨加工或對磨加工
- 提高齒輪箱精度  
提高齒輪箱之平行度與垂直度等加工精度

以上都是與齒輪及齒輪箱加工精度有關的注意事項。

但是，儘管在加工時做了以上的努力，最終裝配後齒承檢查時，也有可能發生齒承不良的問題。這種情況下，對於傘形齒輪或蝸輪組來說，將齒輪沿軸方向調整，齒承會得到某種程度的改善。

齒承是齒輪精度的一環。特別是對傘形齒輪及蝸輪組而言，是一項重要的檢測指標。與正齒輪及螺旋齒輪相比，傘形齒輪及蝸輪的精度測定較為困難，因此以齒承檢查做為最終精度的確認。

關於齒承，在 JIS B1741：1977 規範中有規定。在這個規範中，齒輪的齒承被分為 A，B，C 三級。

#### 齒承的比例



區分	齒輪類型	齒承比例	
		齒筋方向	齒高方向
A	圓筒齒輪	70%以上	40%以上
	傘形齒輪	50%以上	
	蝸輪		
B	圓筒齒輪	50%以上	30%以上
	傘形齒輪	35%以上	
	蝸輪		
C	圓筒齒輪	35%以上	20%以上
	傘形齒輪	25%以上	
	蝸輪	20%以上	

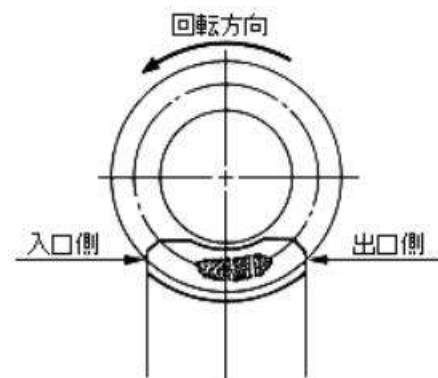
這裏指的齒承比例是，齒承的長及高相對於齒輪的有效齒筋長及有效（工作）齒高的百分比。

### 10. 蝸輪組的齒承（齒面的接觸狀況）

目前在日本國內，還沒有對蝸輪蝸桿有相關的精度規範。勉強地說，也只有 JIS B1741：1977 中的相關齒承規範。

因此，關於蝸輪蝸桿齒承及齒隙的檢查，最常用的方法是使用齒承試驗機。

齒承檢查中，理想的齒承狀態如右圖所示。

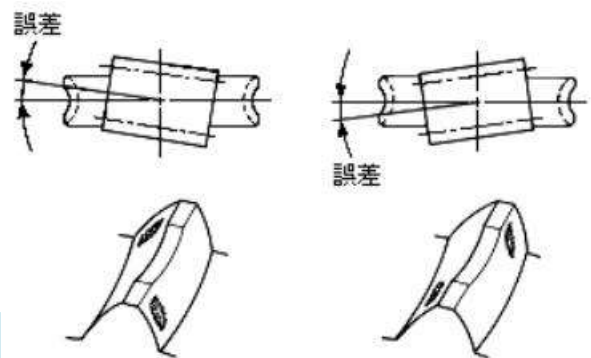


理想的齒承

圖中所示的理想齒承，位在齒筋方向的中心處且多少偏向出口側一些，因此在入口處得以確保油膜形成時所必要的間隙。

即使能製作出如此理想狀態齒承的蝸輪蝸桿，由於齒輪箱的加工精度不足，蝸輪的組裝位置不良等，仍然會導致不正確的齒承。影響蝸輪組齒承的因素，有下列三點必須考慮：

- ① 齒輪箱的軸角度誤差
- ② 齒輪箱的中心距離誤差
- ③ 蝸輪的裝配位置誤差





其中，①和②的誤差一旦形成便無法加以調整，只能重新加工齒輪箱。而③的誤差，可以藉由沿軸向移動調整蝸輪之位置獲得正確的齒承。

這三種誤差，雖然程度各有不同，但都會對齒隙產生很大的影響。

### ① 齒輪箱的軸角度誤差

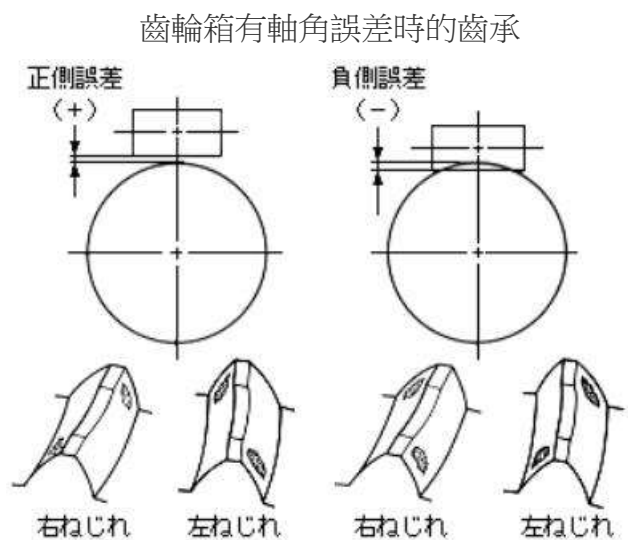
如右圖所示，齒輪箱有軸角誤差時，齒面將出現交叉狀齒承。交叉狀齒承在齒輪有齒筋方向的誤差時（螺旋角誤差）也同樣會發生。

### ② 齒輪箱的中心距離誤差

如右圖所示，齒輪箱的中心距離誤差非常大時，也將出現交叉狀齒承。

產生這種誤差時，不僅僅是齒輪的齒承，對齒隙的大小也將產生很大的影響。在正側誤差時，齒隙變大，在負側誤差時齒隙變小。

負側誤差過大會造成無齒隙狀態，導致齒輪無法裝配甚至卡死。

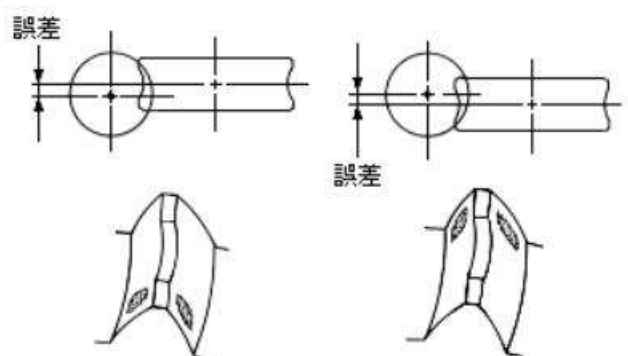


齒輪箱有中心距離誤差時的齒承

### ③ 蝸輪的裝配位置誤差

如右圖所示，蝸輪有裝配位置誤差時，齒承會向齒筋的端部移動，齒承的移動方向與蝸輪的裝配位置誤差的方向一致，裝配誤差會對齒隙產生很大的影響，並隨誤差之增加，齒隙變小。

裝配位置誤差可以藉由組裝時的墊片加以調整修正。



蝸輪有裝配位置誤差時的齒承

## 11. 齒輪的潤滑

齒輪的潤滑，主要有二個最主要的目的：

- (1) 促進齒面間的滑動，也就是說，減低齒面間的動摩擦係數  $\mu$ 。
- (2) 降低齒面間因滾動及滑動摩擦所引起的溫度上升，即冷卻齒面。





要想滿足上述兩個條件，需要適當地選擇潤滑方法及潤滑油，以避免潤滑故障的發生。

### 齒輪的潤滑法

齒輪的潤滑大致可以分為以下三類：

- ① 潤滑脂潤滑法
- ② 飛濺潤滑法（油浴式）
- ③ 強制潤滑法（循環給油方式）

潤滑方式需要根據齒輪的使用條件作適當地選擇。選擇的標準主要根據齒輪的圓周速度( $m/s$ )及轉速( $min^{-1}$ )。

潤滑法通常根據圓周速度的高低加以分類，一般而言，在低速時使用潤滑脂潤滑，中速時使用油浴潤滑，而高速時使用強制潤滑。但，這也只是最方便的選用準則，有時在相當高的轉速下，由於保養等理由，仍然採用潤滑脂潤滑。

下表中，列出了三種潤滑法所適用的圓周速度範圍。

正齒輪及傘形齒輪的圓周速度範圍 ( $m/s$ )

No.	潤滑法	圓周速度 $v (m/s)$					
		0	5	10	15	20	25
1	潤滑脂潤滑法	_____					
2	油浴潤滑法	_____					
3	強制潤滑法	_____					

蝸輪組的滑動速度範圍 ( $m/s$ )

No.	潤滑法	滑動速度 $v (m/s)$					
		0	5	10	15	20	25
1	潤滑脂潤滑法	_____					
2	油浴潤滑法	_____					
3	強制潤滑法	_____					

以下，就此三種潤滑法做以簡單的說明。

#### ① 潤滑脂潤滑法

潤滑脂潤滑法主要使用在低速的開放式及密閉式齒輪傳動中。



關於潤滑脂潤滑法，有許多必需要注意的問題。這裏，介紹下列的主要三點：

- 選擇合適針透度的潤滑脂  
 特別是在密閉齒輪箱中，為使潤滑脂有效的發揮作用，需要選擇流動性良好的潤滑脂。
- 不適合使用在高負荷，連續運轉的場合  
 因為潤滑脂的冷卻效果遠不如潤滑油，用在高負荷，連續運轉的場合，會出現溫度上升的問題，因此不適合使用。
- 潤滑脂的適量使用  
 潤滑脂過少，達不到期待的潤滑目的。相反的，在密閉齒輪箱中，潤滑脂過多則會造成攪拌損失過大，反而降低了齒輪的效率。

## ② 油浴潤滑法

油浴潤滑法是以齒輪箱做為油箱，將齒輪浸泡在潤滑油中至一定深度，讓齒輪旋轉時飛濺起來的油料潤滑齒輪及軸承部位。在低轉速使用油浴潤滑時，圓周速度應在 **3m/s** 以上。

使用飛濺潤滑法時，有許多需要注意的問題。這裏就油面高度及齒輪箱的溫度界限做說明。

### (1) 油面的高度

使用潤滑油的量越多，攪拌損失也隨之增大。反之，油量過少則達不到所期待的潤滑及冷卻效果。下表中，列出了油面高度建議值。

油面高度在齒輪運轉後會比靜止時來得低，但在油面高度差過大時，需要採取對策加以改善。譬如增高靜止時的油面或安裝油盤等。

適當的油面高度

齒輪的種類	正齒輪及螺旋齒輪		傘形齒輪	蝸輪蝸桿	
	水平軸	垂直軸	(水平軸)	蝸桿在上	蝸桿在下
油面高度上下限	3h 1h	1h 1/3h	1b 1/3b	1/3d <sub>k2</sub>	1/2d <sub>k1</sub> 1/4d <sub>k1</sub>

其中： $h$  = 全齒高  $b$  = 齒幅  $d_{k2}$  = 蝸輪的節徑  $d_{k1}$  = 蝸桿的節徑

### (2) 齒輪箱的溫度界限

齒輪箱內的溫度，隨齒輪及軸承的摩擦損失及潤滑油的攪拌損失等之增加而上升。溫度上升會造成各種不良的影響。



- 滑油的黏度下降
- 潤滑油劣質化
- 齒輪箱，齒輪，軸等發生變形
- 齒隙減小

最近，隨生產技術的進步，高性能的潤滑油種類不斷增加。大體上來說，**80~90°C** 左右為溫度界限。

超過這個溫度界限來使用時，需要採取增強齒輪箱的散熱性等措施，以達到冷卻齒輪箱的目的。例如，安裝散熱片，或在主動軸（蝸桿）上安裝風扇冷卻齒輪箱。

### ③ 強制潤滑法

強制潤滑法是利用油泵直接對咬合部位給油。根據給油的方式，分為滴下式，噴射式和噴霧式三種。簡單說明如下。

- 滴下式

利用導管將潤滑油直接滴注到咬合部位。

- 噴射式

利用噴油嘴將潤滑油直接噴注到咬合部位。

- 噴霧式

利用壓縮空氣將潤滑油變成霧狀，噴入齒輪的咬合部位。這種潤滑方式，除了油霧外也由於空氣的一併送入，而使其溫度降低，因此特別適用於高速傳動時。

強制潤滑法因為需要油槽，油泵，過濾器，配管等一系列的裝置，所以主要使用在特殊的高速，大型齒輪設備中。

利用強制潤滑法，可以把經過過濾，冷卻，黏度適宜的潤滑油適量地送到咬合部，是最優良的齒輪潤滑方式。

### ④ 齒輪的潤滑油

想要使齒輪維持高效率的動力傳達，必須在咬合齒面上形成安定的油膜，以隔開兩齒面的直接接觸。為此目的，對所使用的潤滑油性能及特性要求如下表。

對潤滑油性能的要求



序號	特性	內容說明
1	適當的黏度	潤滑油需能在齒輪的正常運轉及溫度下維持其適當的黏度，讓齒輪表面形成油膜以達到潤滑目的。
2	極壓性（抗容着性）	對受到重負荷齒面而言，潤滑油需具備防止因齒面摩擦而產生的融着，刮痕等所造成的損傷。
3	對氧化、熱之安定性	潤滑油在長期使用時，常因為高溫及水氣等因素，而造成潤滑油的氧化。所以潤滑油需要具有良好的抗氧化性能。
4	抗乳化性	由於上班運轉，下班停機等的日夜溫度變化所造成的水蒸氣凝結，會使潤滑油中混入水份，因此潤滑油需要具有分離沉澱水份的性能。
5	消泡性	由於齒輪在旋轉會攪拌潤滑油使之產生氣泡，氣泡是不利於油膜的形成的，所以潤滑油需要具有良好的消泡性能。
6	防蝕防銹性	潤滑油中若混有鐵銹等雜質，會造成齒面磨損及加快潤滑油的氧化。所以潤滑油必須具備防蝕及防銹的性能。

(1) 潤滑油的黏度

選擇潤滑油時，最要注意的是選用合適的黏度。關於潤滑油的黏度，規定在 JIS K2001 工業用潤滑油黏度分類規範中，下表中所列為工業用潤滑油 ISO 黏度等級。

工業用潤滑油 ISO 黏度等級 (JIS K2001)

ISO 黏度等級	動黏度中心值	動黏度範圍
	$10^{-6} m^2 / s (cSt)$ (40°)	$10^{-6} m^2 / s (cSt)$ (40°)
ISO VG 2	2.2	1.98 以上 2.42 以下
ISO VG 3	3.2	2.88 以上 3.52 以下
ISO VG 5	4.6	4.14 以上 5.06 以下
ISO VG 7	6.8	6.12 以上 7.48 以下
ISO VG 10	10	9.00 以上 11.0 以下
ISO VG 15	15	13.5 以上 16.5 以下
ISO VG 22	22	19.8 以上 24.2 以下
ISO VG 32	32	28.8 以上 35.2 以下
ISO VG 46	46	41.4 以上 50.6 以下
ISO VG 68	68	61.2 以上 74.8 以下
ISO VG 100	100	90.0 以上 110 以下
ISO VG 150	150	135 以上 165 以下
ISO VG 220	220	198 以上 242 以下
ISO VG 320	320	288 以上 352 以下
ISO VG 460	460	414 以上 506 以下
ISO VG 680	680	612 以上 748 以下
ISO VG 1000	1000	900 以上 1100 以下
ISO VG 1500	1500	1350 以上 1650 以下





除 JIS 黏度分類外，在下表中，也列出了 AGMA 黏度分類及與之對應的 ISO 黏度等級。

AGMA 黏度分類

AGMA No.		ISO 黏度等級
R&O 型齒輪油	EP 型齒輪油	
1		VG 46
2	2EP	VG 68
3	3EP	VG 100
4	4EP	VG 150
5	5EP	VG 220
6	6EP	VG 320
7	7 comp 7EP	VG 460
8	8 comp 8A comp 8EP	VG 680
9	9EP	VG 1000
		VG 1500

(2) 潤滑油的選定

選擇在齒輪裝置中使用的潤滑油黏度，可以參考各國的規格規範及製造廠家的資料。

AGMA 傳動齒輪使用潤滑油的建議號數表

齒輪型式		大小		AGMA No.	
				環境溫度°C	
		齒輪裝置大小 mm		-10~16	10~32
平行軸齒輪裝置	一段減速	中心距離 (低速側)	到 200	2~3	3~4
			200~500	2~3	4~5
			超過 500	3~4	4~5
	二段減速		到 200	2~3	3~4
			200~500	3~4	4~5
			超過 500	3~4	4~5
	三段減速		到 200	2~3	3~4
			200~500	3~4	4~5
			超過 500	4~5	4~6
行星齒輪裝置		齒輪箱外徑	到 400	2~3	3~4
			超過 400	3~4	4~5
直齒，彎齒傘形齒輪裝置		圓錐距離	到 300	2~3	4~5
			超過 300	3~4	5~6
齒輪馬達				2~3	4~5
高速齒輪裝置				1	2



下表同是 AGMA250.03 中規定適用於蝸輪組之潤滑油的建議黏度表。

AGMA 建議的潤滑油黏度表

類型	中心距離 mm	蝸桿轉速 rpm	環境溫度°C		蝸桿轉速 rpm	環境溫度°C	
			-10~16	10~52		-10~16	10~52
圓筒型	≤150	≤700			>700		8Comp
	150~300	≤450			>450		
	300~460	≤300	7Comp	8Comp	>300		7Comp
	460~600	≤250			>250		
	>600	≤200			>200		
鼓型	≤150	≤700			>700		
	150~300	≤450			>450		
	300~460	≤300	8Comp	8Comp	>300		8Comp
	460~600	≤250			>250		
	>600	≤200			>200		

下表列出了 JGMA405.01 圓筒蝸輪組強度計算式中所說的潤滑油適當黏度參考值。

適當黏度參考值 單位：cSt/37.8°C

運轉油溫		滑動速度 m/s		
運轉最高油溫	起動時油溫	小於 2.5	2.5~5	大於 5
0~10°C	-10~0°C	110~130	110~130	110~130
	0°C 以上	110~150	110~150	110~150
10~30°C	0°C 以上	200~245	150~200	150~200
30~55°C	0°C 以上	350~510	245~350	200~245
55~80°C	0°C 以上	510~780	350~510	245~350
80~100°C	0°C 以上	900~1100	510~780	350~510

根據潤滑油的用途（正齒輪，蝸桿等）和使用條件（裝置的大小，環境溫度等）選定適當的黏度後，再參考各潤滑油廠商的資料，做最後潤滑油商品編號的確認。