

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.ltac.com.tw ,

Email : salestw@ltac.com.tw



文件序號：T2020272

技術類別：《齒輪應用》

| | |
|------|-------------------------------|
| 技術類別 | 齒輪應用 |
| 篇名 | 齒隙 6 問答 |
| 重點 | 齒隙 6 問答 |
| 產出日期 | 2020/05/20 |
| 資料來源 | 日本 KHK / 台灣昭源提供 麗台國際有限公司整理 |



問 1 :

1. 依據公式所計算之背隙於相同精度及模數下會隨齒數增加而加大，為何不是個定值？
2. 與中心距離一樣會影響背隙的跨齒厚 S_m 其公差要如何訂定？

答 1 :

齒輪之所以需要有齒隙，其最大的著眼點在於「膨脹」。由於膨脹會使齒與齒輪漲大，因此若沒預留足夠的空間，則齒輪在運轉後有可能會因為熱膨脹而卡死，這個預留的空間稱之為齒隙。齒隙的作用除了吸收熱膨脹外，由於齒隙，潤滑油才得以容易留存於兩咬合齒面間。另外吸收齒輪加工上的偏心及誤差也是齒隙存在的大功用。

齒隙既然是和齒輪的膨脹有關，根據「長度變化量 = 原有長度 \times 溫度變化量 \times 膨脹係數」的關係可以瞭解，膨脹的大小和齒輪本身的大小及溫度變化量與膨脹係數有正比例關係。如果在溫度變化量與膨脹係數固定不變的情形下，只看齒輪的大小一項，便可更瞭解齒輪大小（節徑、外徑、齒厚）和膨脹的函數關係，而節徑是齒數與模數的乘積（節徑 = 齒數 \times 模數），跨齒厚與模數和齒數也有函數關係。因此得知在相同的模數下膨脹和齒數是相關的。也就是說齒隙和齒數是有關係的，不可以模數的大小而只給予齒隙一個定值，齒隙必須隨著齒數的增多、膨脹的變大而增加。

至於如何得到齒隙，在中心距離不變的先決條件下，只有於加工時將齒厚變薄一途了，這可以由齒輪齒隙的規範中「單邊齒厚減少量」得知。單邊齒厚減少量同樣也和節徑有關（節徑的立方根，見下表），每一齒輪等級都有其最大值最小值（上下限）的規定。將兩個齒輪個別的單邊齒厚減少量相加，所得之數值便是齒隙了。不過我們光看規範上的上下限數值就可以知道計算出的齒隙的容許範圍頗大，因此不應照抄採用。單邊齒厚減少量在量測上的表現是卡弦齒厚及跨齒厚 S_m ，其中又以跨齒厚及其上下寬容度（公差）最常被指定在設計圖面上。要注意的是單邊齒厚減少量指的是節圓上的圓弧長，而跨齒厚及其公差指的則是基圓上的圓弧長，兩者有一定的換算關係，即 $\cos\alpha$ ；以壓力角 20° 為例， $\cos 20^\circ \approx 0.939$ ，因此換算後相差不大，若不計較則可直接使用。

在實際使用時，設計者應就其設計理念，於單邊齒厚減少量之上下限內決定一中心值，再依此中心值取一上下寬容值（公差）規定在圖面上，做為加工的依



據。請注意：此公差應依加工精度及方法（研磨齒或一般滾齒）的不同來賦予，千萬不可規定得過小，造成加工者的困擾。

JIS 規範中一般動力傳達用正齒輪單邊齒厚減少量之容許最大最小值

| 等級 | 最小值 | 最大值 | 等級 | 最小值 | 最大值 | 等級 | 最小值 | 最大值 |
|------------------|-----|-------|------------------|-----|-------|-------------------|-----|-----|
| JIS 0 級 (N 4) | 10W | 25W | JIS 3 級 (N 7) | 10W | 25.5W | JIS 6 級 (N 10) | 10W | 50W |
| JIS 1 級 (N 5) | 10W | 28W | JIS 4 級 (N 8) | 10W | 40W | JIS 7 級 (N 11) | 10W | 63W |
| JIS 2 級 (N 6) | 10W | 31.5W | JIS 5 級 (N 9) | 10W | 45W | JIS 8 級 (N 12) | 10W | 90W |

註：其中， $W = \sqrt[3]{do} + 0.65 \times ms(\mu m)$ ， $do = \text{節圓直徑} = z \times ms$ ， $ms = \text{軸直角斷面模數（正面模數）}$ ，而（N XX）為新規定之 JIS 齒輪精度級數代號。

問 2：

齒厚與齒隙的關係為何？

答 2：

使齒輪產生齒隙的方法有兩種，一是將齒厚變小，二是將中心距離拉大。一般來說，前者較為常用。這裡將介紹齒厚變小的方法。

前面已經介紹過齒輪的齒厚計算方法，所計算得出的齒厚稱為齒輪的標準齒厚（計算齒厚，無齒隙齒厚），也就是說，將擁有標準齒厚的一對齒輪安裝在標準中心距離下，其咬合狀態下之齒隙量為 0。若將一對相互咬合的正齒輪，令小齒輪的圓弧齒厚減小 Δs_1 ，大齒輪的圓弧齒厚減小 Δs_2 時，其圓周齒隙 $j_t = \Delta s_1 + \Delta s_2$ 。

在標準壓力角 $\alpha = 20^\circ$ 下，若將齒厚減少量 Δs_1 ， Δs_2 分別設為 0.08, 0.12，則圓周齒隙 j_t 為：

$$j_t = \Delta s_1 + \Delta s_2 = 0.08 + 0.12 = 0.2$$

將其換算成法線齒隙 j_n ，則：

$$j_n = j_t \cos \alpha = 0.2 \cos 20^\circ = 0.1879$$

若換算成中心距離方向齒隙 j_r ，則：

$$j_r = \frac{j_t}{2 \tan \alpha} = \frac{0.2}{2 \tan 20^\circ} = 0.2747$$



實際上需要減少圓弧齒厚來增加齒隙時，應該參考 JIS 的齒隙規範來操作。JIS 的齒隙規範包括 JIS B1703-76(正齒輪及螺旋齒輪的齒隙)和 JIS B1705-73(傘形齒輪的齒隙)。規範所規定的齒隙為軸直角平面上的圓周齒隙 j_t 或 j_{tt} 。規範中的數值大小是一般情況下的標準齒隙值。根據使用目的，亦可採用規範外的齒隙。

圖面上在註明齒厚時，除記入齒厚之標準值外，還應該記入齒厚的尺寸容許公差及齒隙。例如：

| | |
|------|---------------------------|
| 圓弧齒厚 | $3.141_{-0.100}^{-0.050}$ |
| 齒隙 | 0.100~0.200 |

由於齒厚的容許公差決定了齒隙的大小，所以是非常重要的公差尺寸。

問 3：

計算轉位齒輪的尺寸時，如預先賦予齒隙時則全齒高 $h = h_o + ym - (x_1 + x_2)m + as$ (as 因齒隙的中心距離增加量)請問 as 在應用時重要嗎？可以不加嗎？(因為有的書有加 as 有的沒有)如果不加 as 那齒頂隙 km 不就增大了嗎？

答 3：

問題中之公式， $h = h_o + ym - (x_1 + x_2)m + as$ 較不常見。按轉位齒輪齒深的公式常見的有下列三個簡易型態：

$$h = (2 + ym - (x_1 + x_2))m + ck$$

$$h = (2.25 + ym - (x_1 + x_2))m$$

$$h = h_o + ym - (x_1 + x_2)m, h_o = \text{標準齒輪齒深} = 2.25m。$$

這三個簡易型態的齒深公式，皆表示在轉位中心距離下不考慮齒隙（0 齒隙時）的理想狀態下之齒深。待加工時再賦予齒厚減少量，則可簡單的同時顧及中心距離和齒隙。此公式的精神是—「於加工時賦予齒隙」。

如果採用轉位齒輪大師 中田孝博士的齒深公式：

$$h = h_o - (x_1 + x_2 - y)m + as, \text{其中 } as = cn / (2\sin\alpha),$$

則為精密型態的齒深公式，由於已經將因齒隙所引起的中心距離增加量考慮進齒深的公式中，所以於切齒時不必再考慮齒厚減少量的賦予，以零齒隙的姿態切齒加工。此公式的精神是—「於設計時賦予齒隙」。



精密法通常比較會讓學者採用，不只於計算，就連切齒加工時齒輪的深度也要講究，一切按照計畫來進行馬虎不得。而簡易法所留的彈性較大，僅在切齒加工時控制齒厚減少量就可以掌握齒隙的分寸。

不加 as 是可以的，不會因為少了 as 而讓齒頂隙增加。最大的理由是當設計者在考慮轉位齒輪的中心距離時，其實已經內含了因齒隙所引起的中心距離變化量了。

問 4：

我認為計算時先附與齒隙 C_n 時，其中心距離增加了 as 的距離，也就是說兩個齒輪拉開了 as 的距離 而為使齒頂隙保持一個已規定的數值 $K_m(K=0.25)$ ，只好把全齒深再加上 as 如果全齒深不加 as 時，齒頂隙會等於 K_m+as ，因為 as 很小所以可以將它忽略不加。

答 4：

此情形下，由於轉位齒輪加深切齒 as 後，齒底也同時變深，安裝在轉位後之中心距離上時，便會自動產生因 as 而來的 C_n 齒隙。
在齒輪外徑不隨著 as 而改變的情形下，齒頂隙是會變大的沒錯，但可以不必在意（因為不是變小），齒頂隙小範圍地變大是不影響齒輪的運轉。
由於加工時切齒深度的控制較齒厚減少量（跨齒厚）的控制來得不易，因此太強調齒深，容易掉入齒深問題的迷霧中。

問 5：

計算無齒隙時的跨齒厚要予以補正，因實際有齒隙存在（實用齒輪設計總覽 P-368） $(S_m)B=S_m-C_n/2$ 由此了解有齒隙計算時齒厚會比無齒隙經補正後的齒厚大。

答 5：

我們在使用上通常不採用補正後的跨齒厚，而使用正常轉位跨齒厚的計算值不加已修正，於加工時再依下面舉例賦予跨齒厚的公差。

問 6：

「在實際使用時，設計者應就其設計理念，於單邊齒厚減少量之上下限內決定一中心值，再依此中心值取一上下寬容度（公差）規定在圖面上，做為加工的依據。」，以上這段話不大瞭解，請再惠予說明

1. 怎樣決定中心值？是上下平均值嗎？



2. 依中心值取上下公差應取多少才合理？
3. 能不能舉例說明？

答 6 :

1. 中心值的決定沒有一定的標準，取上下平均值也可以，這是設計理念的一部份。或者不採取中心值方式，直接決定一最小值，再加上公差得到最大值也可以。
2. 應取決於加工機械的能力範圍，譬如說，滾齒機一次進刀量的最小容許誤差為 0.05mm，則上下公差的寬容度就不能比 0.05mm 還小。這只是舉例而已，實際上應再考慮切齒機的進刀量（可視為中心距離變化量 Δa ）與齒直角（法向）齒隙 C_n 變化量之關係， $\Delta a = C_n / (2 \sin \alpha)$ 。
3. 舉例如下，

| 表一 輸入齒輪基本資料 | 已知轉位係數 | |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| | 小齒輪 Z1 | 大齒輪 Z2 |
| 齒直角模數 m_n | 3 | |
| 齒數 z_1, z_2 | 25 | 50 |
| 壓力角 α_n° | 20 | |
| 螺旋角 β_0° | 35 | |
| 齒直角轉位係數 χ_n | 0.15 | 0.25 |
| 正面（軸直角）模數 m_s | 3.662323766 | |
| 正面壓力角 α_s° | 23.957 | |
| $\text{inv} \alpha_s$ | 0.026200518 | |
| 轉位係數和 | 0.4 | |
| $\text{inv} \alpha_{bs}$ | 0.030082867 | |
| 正面嚙合壓力角 α_{bs}° | 25.0282953 | |
| y 係數 | 0.391700495 | |
| 中心距離 A0 | 138.5122427 | |
| 基準節徑 d_0 | 91.55809416 | 183.1161883 |
| 基圓直徑 d_g | 83.67053347 | 167.3410669 |
| 嚙合節徑 d_b | 92.34149515 | 184.6829903 |
| 齒冠（齒頂）高 h_k | 3.425101484 | 3.725101484 |
| 全齒高 h | 6.725101484 | |
| 齒頂徑（外徑） d_k | 98.40829712 | 190.5663913 |
| 齒底徑 d_r | 84.95809416 | 177.1161883 |
| 正面嚙合率 ε_α | 1.225720304 | |



| | | |
|----------------|-------------|-------------|
| 跨齒數 z_m | 6 | 10 |
| 跨齒厚 s_m | 50.86451931 | 88.34184113 |
| 轉速RPM | 100 | 50 |
| 切線速度 v (m/s) | 0.483498938 | |
| 輸入齒輪舊 JIS 等級 | 3 | |
| 齒輪新 JIS 等級 (N) | 7 | |

表二 一對螺旋齒輪齒隙之計算

| 最大、最小齒厚減少量 | | 小齒輪Z1 | | 大齒輪Z2 | |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 單一齒輪 圓周方向 容許 齒厚減少量 | 齒輪 JIS 等級 | 最小值 (μm) | 最大值 (μm) | 最小值 (μm) | 最大值 (μm) |
| | JIS 0 級 (N4) | 68.88 | 172.19 | 80.59 | 201.48 |
| | JIS 1 級 (N5) | 68.88 | 192.85 | 80.59 | 225.66 |
| | JIS 2 級 (N6) | 68.88 | 216.96 | 80.59 | 253.86 |
| | JIS 3 級 (N7) | 68.88 | 244.51 | 80.59 | 286.10 |
| | JIS 4 級 (N8) | 68.88 | 275.51 | 80.59 | 322.36 |
| | JIS 5 級 (N9) | 68.88 | 309.94 | 80.59 | 362.66 |
| | JIS 6 級 (N10) | 68.88 | 344.38 | 80.59 | 402.96 |
| | JIS 7 級 (N11) | 68.88 | 433.92 | 80.59 | 507.72 |
| | JIS 8 級 (N12) | 68.88 | 619.89 | 80.59 | 725.32 |
| 一對齒輪 圓周方向 容許 齒隙 j_{tt} | 齒輪 JIS 等級 | 齒隙最小值 | | 齒隙最大值 | |
| | | (μm) | (mm) | (μm) | (mm) |
| | JIS 0 級 (N4) | 149.47 | 0.1495 | 373.67 | 0.3737 |
| | JIS 1 級 (N5) | 149.47 | 0.1495 | 418.51 | 0.4185 |
| | JIS 2 級 (N6) | 149.47 | 0.1495 | 470.82 | 0.4708 |
| | JIS 3 級 (N7) | 149.47 | 0.1495 | 530.61 | 0.5306 |
| | JIS 4 級 (N8) | 149.47 | 0.1495 | 597.87 | 0.5979 |
| | JIS 5 級 (N9) | 149.47 | 0.1495 | 672.60 | 0.6726 |
| | JIS 6 級 (N10) | 149.47 | 0.1495 | 747.34 | 0.7473 |
| | JIS 7 級 (N11) | 149.47 | 0.1495 | 941.65 | 0.9416 |
| JIS 8 級 (N12) | 149.47 | 0.1495 | 1345.21 | 1.3452 | |
| 最大、最小齒隙值 | | 小齒輪Z1 | | 大齒輪Z2 | |
| 齒輪 JIS 等級 | 齒隙種類 | 齒隙最小值(mm) | | 齒隙最大值(mm) | |
| | j_{tt} | 0.1495 | | 0.5306 | |



| | | | |
|---------------------|-------------|---------------|---------------|
| JIS 3 級 (N7) | j tn | 0.1224 | 0.4347 |
| | j nn | 0.1151 | 0.4084 |

$j\ tt$: 軸直角斷面(正面)圓周方向齒隙 = 小齒輪正面圓周方向容許齒厚減少量 + 大齒輪正面圓周方向容許齒厚減少量

$j\ tn$: 齒直角斷面圓周方向齒隙 = $j\ tt \times \cos \beta$

$j\ nn$: 齒直角斷面齒法向方向齒隙 = $j\ tt \times \cos \alpha_n \times \cos \beta$

| 表三 螺旋齒輪跨齒厚及其公差之決定 | | | | |
|--|----------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|
| 齒輪正面圓周方向及齒直角斷面齒法向方向之齒厚減少量 | | | | |
| JIS 3 級 (N7) | 小齒輪Z1 | | 大齒輪Z2 | |
| | 最小值(μm) | 最大值(μm) | 最小值(μm) | 最大值(μm) |
| 齒輪正面圓周方向 容許齒厚減少量 | 68.88 | 244.51 | 80.59 | 286.10 |
| 齒輪齒直角斷面齒法向方向齒厚減少量容許齒厚減少量 | 最小值(mm) | 最大值(mm) | 最小值(mm) | 最大值(mm) |
| | 0.0530 | 0.1882 | 0.0620 | 0.2202 |
| 決定中心值 (取中間值) | 0.1206 | | 0.1411 | |
| 容許最大寬容值, (=最大值-最小值) | 0.1352 | | 0.1582 | |
| 設計者指定寬容值, (取容許最大寬容值的一半) | 0.0676 | | 0.0791 | |
| 註: 因為齒輪跨齒厚是在齒直角斷面齒法向方向上量測的, 故齒輪跨齒厚的計算與齒直角斷面齒法向方向齒厚減少量($j\ nn$)有關 | | | | |
| | 小齒輪Z1 | | 大齒輪Z2 | |
| 跨齒厚設計計算值 | | | | |
| 齒直角模數 m_n | 3 | | | |
| 齒數 z_1, z_2 | 25 | | 50 | |
| 壓力角 α_n° | 20 | | | |
| 螺旋角 β_0° | 35 | | | |
| 齒直角轉位係數 χ_n | 0.15 | | 0.25 | |
| 跨齒數 z_m | 6 | | 10 | |
| 跨齒厚 s_m (mm) | 50.8645 | -0.0868 -0.1544 | 88.3418 | -0.1016 -0.1807 |

以小齒輪為例, 有如下的圖示關係:

