



文件序號：T2020271

## 技術類別：《齒輪應用》

技術類別	齒輪應用
篇名	影響齒輪噪音的因素
重點	影響齒輪噪音的因素
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



## 影響齒輪噪音的因素

整理自：「トラブルのない歯車」、大山政一 石川昌一 技術評論社 1974

影響齒輪裝置的精度如齒輪精度、軸心、軸承、齒輪箱、裝配組裝精度...等，最終會在組裝後，以齒輪箱運轉的噪音、振動及發熱（溫度）來展現。

在這些引發噪音振動的因素中以設計、製造、使用及裝配來分別，各占 35%、30%、20%、15%，由此也可明白，雖然噪音及振動的來源並不全然僅是齒輪的問題，但不可否認的齒輪的問題占有相當大的份量。將這些因素概述如下：

1. 良好的齒輪咬合接觸面（tooth bearing）情形，通常會讓聲音變小，而咬合精度的良否與咬合接觸面的形狀、位置、面積都有關係。
2. 齒輪齒隙（背隙）的大小並不影響齒輪的性能，不過在齒輪運轉中齒隙大小的變動，是引起噪音的原因之一。
3. 齒輪軸所傳動力矩的脈動變化，會造成敲打齒面程度的劇烈變化，使聲音惡化，這會在齒隙過大時更加明顯。另外在正逆轉向變換時也會發生噪音。
4. 一般而言，齒輪的精度等級較高時噪音較小，而精度低時噪音較大。
5. 節距誤差對噪音的影響程度最大。
6. 齒形誤差和節距誤差對噪音有同等的影響力，齒形誤差越大則噪音越大，尤其正（+）向的齒形誤差是絕對禁止的。
7. 單單是齒溝的偏擺（偏心）對噪音影響不大，不過如果是因此而對齒隙產生大小過大的變化，則會產生週期性的噪音。
8. 齒面的粗度越大則噪音越大，反之則越小。
9. 齒輪螺旋角、齒厚、偏擺、無齒隙時的中心距離變化（總咬合誤差），和聲音沒有必然的關係。



10. 對噪音而言，中心距離朝向偏大（+）的公差，會比偏小（-）的情形較安全。
11. 當一對齒輪的噪音過大時，更換其中一個齒輪，可能會找出噪音較小的齒輪組合。
12. 對噪音較小的齒輪對，中心距離的變化對噪音影響程度不大。反之，在噪音較大的齒輪對上，中心距離的變動則會影響噪音的變化。如中心距離變小則噪音變大，而中心距離增大時噪音會降低。
13. 轉速越高噪音越大，轉速越低噪音越小。
14. 圓周切線速率較小時，將沒熱處理且較大的齒輪用有熱處理但較小的齒輪來取代，所發出的噪音會降低。
15. 不一定是在負荷變大時才會發出噪音，有時負荷變大時噪音反而會變小，這是由於齒輪接觸面的情形發生改變之故。
16. 用耳朵來判定噪音時，會有因人而異的情形。因此用儀器來鑑定相對的來得客觀。
17. 當被有經驗的人判定為噪音情形不好的齒輪時，通常齒輪的振動數變化是集中在某一個頻率的範圍，而且每秒的咬合齒數和振動數是一致的。
18. 噪音聲響的週期性變化，會讓噪音感覺上更強烈。如果噪音是大的，但是在用耳朵聽久了之後，也會感到遲鈍而變成沒什麼感覺。相反的，換成是有節奏的噪音時，雖然很小聲，感覺上則會十分強烈。
19. 大體上，齒輪的全部精度良好的話，的確會使噪音降低。但是到底要精密到哪種程度才不會讓聲音變差，則沒有定論。
20. 滾珠軸承或滾柱軸承也是齒輪箱噪音的來源之一，特別是在必須要預壓的情形時，若預壓調整不適當，不僅會造成預壓壓力下降，使軸承的滾珠或滾柱產生過大的摩擦。有時也會因為滾珠或滾柱的破損，而間接影響到齒輪的損壞。



21. 雖然轉位齒輪和標準齒輪在噪音的產生上，比起其他因素，差異不大，但較大的轉位量尤其是正（+）轉位，會使咬合壓力角變大咬合率降低，而引起較大的噪音。
22. 較硬的齒輪運轉時所發出噪音，頻率較高。
23. 齒輪箱雖不會自己發出聲響，但由於共振或共鳴作用所引發的噪音擴大現象也是相當可觀而不可忽視的。
24. 噪音最少的交錯軸傳動或蝸桿蝸輪組，由於滑動摩擦相當大，傳動效率比起其他種齒輪來得低，因此容易發生大量的磨耗及熱量。

因此在齒輪及相關的設計上應考慮的項目有：

1. 齒輪的使用條件：由運轉條件而定，會有噪音變大的情形，據此對齒輪做設計條件上的修正，例如降低轉動的回轉速率，降低負荷等等。
2. 齒輪的負荷：負荷大的話噪音通常會隨之增大，就好像齒輪轉速增加噪音增大一樣，對大負荷齒輪賦予齒形整修會改善噪音，不過整修量不宜過大。整修量太大則在輕負荷時反而會出現噪音。
3. 齒輪的轉速：高的轉速會產生大的噪音，特別是切線速率在  $4\sim 5\text{m/s}$  以上時，齒輪的精度更要要求，不論在設計或是製造上都必須詳加考慮。
4. 咬合率：咬合率是作用線長度除以法向節距  $p_b$ ，也就是同時咬合的齒輪對數。咬合率通常必須大於等於 1，小於 1 的咬合率是無法自己滑順的運轉。一般正齒輪的咬合率介於 1 與 2 之間，例如咬合率 = 1.38 時，有  $2 \times 0.38 p_b$  的作用長度有兩對齒在咬合（分攤負荷），有  $0.62 (= 1.38 - 2 \times 0.38) p_b$  作用長度僅有一對齒在咬合（單獨負荷）。因此對單一齒對而言，齒面所受的負荷遂有時重時輕的變化，便會引起噪音。解決方法之一是採用轉位計算，通常以負（-）轉位來變大咬合率，不過會使齒輪的強度降低。或是採用螺旋齒輪，螺旋齒輪的咬合率比正齒輪多了一項重疊咬合率，因此以同樣的負荷與齒幅為條件時，作用在螺旋齒輪單一齒面上的負荷會比正齒輪來得分散，加上漸進的咬合方式，因此會降低噪音的發生。



5. 螺旋角：由於螺旋角的確會使咬合率增加是一項對降低噪音十分有利因素，不過不可諱言的也有其缺點，也就是大的螺旋角會造成大的軸向推力，對軸承的軸向負擔會加大，或者在同一軸上同時使用左旋及右旋的齒輪來抵銷軸向推力。因此選用正確的螺旋角及軸承也是門學問。
6. 齒輪本身的結構：在高負荷輕量化的概念下，齒輪的形狀構造、壁厚、肋條大小，會朝極限設計的方向發展。不過這不能僅考慮到強度的問題，還要考慮到遇到負荷時的變形（剛性設計），才能避免齒輪因變形時所產生的噪音。
7. 齒數比：齒數比通常不會影響噪音，不過當齒數過少時，則對咬合率會有不利的影響，如 4.所言。齒數採用質數比時，站在磨耗的角度而言，是比較均勻的，且能分散由製造而產生的誤差，對降低噪音而言十分重要。
8. 滑動或擦動：由於在齒輪的傳動上，齒面僅在節點的位置上是做純滾動運動的，其他的齒面位置，由於主動齒與被動齒在咬進與咬出的過程裡，相對運動方向上的不同或速度有差異，因此會產生擦動現象，有擦動便有摩擦，有摩擦便會發熱。一般而言，咬進期為逆向嵌入，咬出期為順向嵌入，咬進咬出期的摩擦有力學上不連續的方向變化，因此便產生振動。雖說滑動或摩擦所產生的噪音不大，但所產生的摩擦損耗是效率降低的主要原因。
9. 中心距離：漸開線齒形齒輪有一個優於擺線齒形齒輪的特點就是中心距離的誤差並不影響齒輪的滑順運轉。但是，中心距離過大會使咬合率降低，進而使噪音變大。反之，中心距離過小時齒隙會變小，有可能因此而產生齒形的干涉，如果再加上偏心或熱膨脹的話，忽鬆忽緊的運轉便產生週期性的噪音。一般而言，中心距離寧可偏大也不能偏小。不過隨著設計及使用理念的變化，舊 JGMA113-01「中心距的容許公差」為 H6~H8 的正公差，在新標準中考慮到齒輪鎖鏈的使用，將容許公差更改為正負公差，N3~N10（JGMA1101-01:2000 平行軸）。
10. 咬合壓力角：咬合壓力角變大的話會使得噪音也增大，例如正轉位齒輪雖能使齒輪的強度變大，但由於便隨著咬合壓力角的變大，也會使得咬合率下降，也影響了噪音的增大。
11. 模數：在相同周速及精度的條件下，模數的增加意味著齒數的減少，運轉時咬合衝擊的次數也會隨之減少，因此噪音應該會降低，但由於模數變大時，



齒形誤差等等的誤差也會隨之增大，這點反而會讓噪音變大，因此模數變大會降低噪音的效果也變得不那麼顯著。另外，在強度允許及大小不變的條件下，盡量選擇模數小的齒輪，這會使得齒數增加，咬合率也隨之變大，噪音便減少了。

12. 齒深（齒高）：標準齒輪的齒冠為一個模數高，齒冠比一個模數還高的叫做高齒，齒冠比一個模數還低的叫低齒、矮齒。齒高的增加（高齒）會增加咬合率，使噪音下降。齒高降低（低齒、矮齒）會讓咬合率下降，噪音增加。
13. 齒幅：理論上齒幅（齒寬）增加時，會使齒面單位負荷降低，音壓也會隨之降低，實際也是如預期的噪音降低。不過，真正的理由在於齒幅變寬時，壁厚也隨之增厚重，切齒加工及熱處理時便不易變形，且固有振動頻率也會提高，避開了共振帶，因而使噪音降低。在強度許可下，選用小模數寬齒幅的齒輪，對降低噪音的效果不錯。不過要特別注意此時軸心的平行度。
14. 轉位係數：通常一般使用的轉位係數大小，對噪音影響不大。不過，在特殊場合使用過大的正轉位係數時，壓力角會變得太大，而使得噪音有增大的趨勢。
15. 齒輪的材質：齒輪的材質和噪音有著密切的關係，由材質所造成的噪音發生的難易程度由小到大分別是合成樹脂尼龍等非金屬材料輕合金銅合金等非鐵金屬鑄鐵鑄鋼及無硬化鋼材調質鋼最後就是經高周波及滲碳熱處理的表面硬化鋼材。由於小型輕量高速化概念的盛行，所使用的齒輪自然會選擇比較容易發生噪音且經過熱處理的高強度鋼材，因此對齒輪的精度形狀熱處理方式及加工方法也就必須要深加考量了。
16. 齒輪箱：齒輪箱所扮演的角色是支撐齒輪軸，給齒輪一個適當的潤滑空間及保護齒輪。齒輪箱的固有振動頻率要避開齒輪的回轉頻率範圍，且必須要有足夠的重量（壁厚）及夠強的剛性，才不至於因共鳴作用將聲音放大。根據經驗，在外表多設肋條，不僅可增加齒輪箱的剛性（輔助壁厚的增加）、重量、提高齒輪箱的固有振動頻率，還可以增加齒輪箱散熱的效率，使潤滑油溫度不至過高。至於齒輪箱的材質以鑄鐵為佳，以鋼板焊接則更容易使噪音惡化，站在防止振動角度來看鋁合金也不是良好的選項。
17. 軸承：經由計算齒輪在運作時軸向及徑向所發生的推力，來選用正確的軸承是設計者必備的功夫，不過由於軸承的精度或者剛性的不足，軸心也隨之歪



斜，使得齒面咬合接觸的位置發生偏離或集中於一側或一角，都會使噪音產生，這時在齒輪齒面做削鼓形加工是個不錯的對策。另外站在防止軸承噪音產生的角度來看，雖然採用滑動（套銅）軸承會比使用滾動軸承來得安靜無聲，不過也會在負荷能力、加工、裝配的難易度上處於比較不利的狀態。因此滾動軸承在強度、安裝性、方便性上的各項優點，便足以讓使用者犧牲噪音這項缺點。另外預壓壓力也必須正確的導入，才不會造成軸承的破損。

18. 潤滑方法：依齒輪運轉的速度、預測油溫升高程度（將齒輪箱內的所有 **Power loss**，齒輪及軸承所損失的效率，換算熱量），選擇正確的潤滑法（潤滑脂潤滑、飛濺潤滑、強制潤滑）及正確的潤滑油脂，並考慮適當的黏度及足夠的散熱面積，會使潤滑油不會因為過度攪拌、起泡、高溫氧化、乳化等因素，使油膜強度降低甚至於破裂，失去潤滑效果，引發齒輪齒面的溶着及刮痕，降低齒輪壽命，當然噪音也會隨之發生。因此選擇一些必要的合成潤滑油或有抗氧化劑消泡劑等添加劑，甚至是極壓添加劑的潤滑油。