

問：

若只作單純轉向(不減速)，但需要無背隙和壽命要求，再加上成本考量，轉速大約 200rpm，推力大約是 470kgf，torque=14.6nm，一天大約操作 1hr，預計使用 SM3-25 二個或是 SMS3-25R / L，請問會有背隙嗎？可直接用油脂潤滑嗎??壽命可計算嗎？

答：

一、齒隙：

齒輪之所以需要有齒隙（背隙），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節距、偏心及齒形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 × 溫度變化量 × 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 × 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。

但隨著機械的高精度化趨勢，小齒隙齒輪的需求也不斷增加。而減少齒隙的方法，可大致分為靜態和動態兩種。

靜態方法是指在調整出齒輪組的齒隙後，將齒輪位置固定的方法。

動態方法是指為消除齒隙而對齒輪施加作用力，使齒輪保持在無齒隙狀態下運轉。

適合傘形齒輪的調整齒隙的方法為靜態調整法中的平行移動方式。

**靜態方法(調整`固定方法)**

這種調整`固定方法基本上有如下兩種方式。其一是對齒輪做調整`固定，其二是對中心距離做調整`固定。根據其不同的組合，可以得出下列(I ~ IV)四種方式。

		調整中心距離	
		無	有
調整齒	無	I	III

輪	有	II	IV
---	---	----	----

### 方法 I

對齒輪和中心距離不做任何調整，在中心距離固定的條件下，製造出可以達到最小程度齒隙的齒輪。

### 方法 II

於齒輪可以調整的構造中，在固定中心距離下讓齒輪咬合後，再將齒輪的齒隙調小，然後再將齒輪固定。

調整齒輪齒隙的方法，有如下三種。

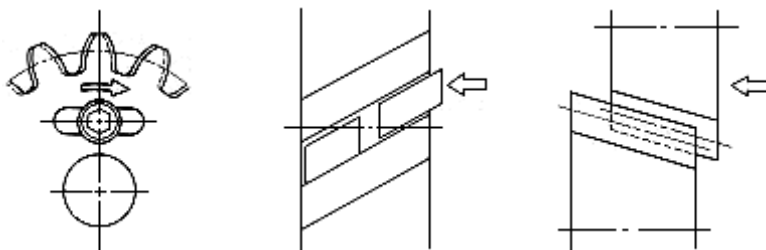
將兩片相同的齒輪重疊後，讓其中的一片沿回轉方向錯開，將齒溝(齒隙)填滿後固定此兩片齒輪。

將兩片相同帶有螺旋角的齒輪，如螺旋齒輪等，相互重疊後，將其中的一個沿軸向移動，將齒溝(齒隙)填滿後固定此兩片齒輪。

**傘形齒輪和錐度齒輪等圓錐型的齒輪，沿軸向移動(雙導程蝸輪組也屬於此類)，在齒厚較厚的部分填滿齒溝(齒隙)後，再將齒輪固定。**

上述方法如下圖 1 所示。

其中，①是回轉錯開方式，②、③是平行移動方式。



①回轉錯開方式 ②平行移動方式 ③平行移動方式

圖 1 齒輪的調節·固定方法

## 二、強度：

### SM3-25 齒輪強度計算（標準品，齒面無硬化）

[http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=53&lang=zh\\_TW&referrer=series&seihinNm=SM3-25&curPage=default#SM3-25](http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=53&lang=zh_TW&referrer=series&seihinNm=SM3-25&curPage=default#SM3-25) 中，下方的「強度計算」按鈕進入，為求安全起見，安全率取 1.2。

回轉數	<input type="text" value="200"/> rpm		
反覆回轉數	<input type="text" value="10,000,000以上"/> ▼		
過負荷係數	<input type="text" value="1.25"/>		
	衝擊來自原動機側	來自被動機械的衝擊	
		均一負荷	中度衝擊
	均一負荷	<u>1.00</u>	<u>1.25</u>
	輕度衝擊	<u>1.25</u>	<u>1.50</u>
	中度衝擊	<u>1.50</u>	<u>2.25</u>
潤滑油之動態黏度	<input type="text" value="ISO VG 100"/> ▼		
安全率	<input type="text" value="1.2"/>		
齒輪的支撐方向	<input checked="" type="checkbox"/> 單側支撐 <input type="checkbox"/> 兩側支撐		
負荷方向	<input type="checkbox"/> 單方向 <input checked="" type="checkbox"/> 兩方向		
追加熱處理	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無		
單位	<input type="checkbox"/> kgf <input checked="" type="checkbox"/> N		

**SM 直齒等比傘形齒輪 [SM3-25] 的強度計算結果（標準品，齒面無硬化）**

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---	
容許切線力(N)	1103.1347
容許力矩(N·m)	<b>33.5672</b>
容許動力 (kW)	0.7030

--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
容許切線力(N)	126.5900
容許力矩(N·m)	<b>3.8520</b>
容許動力 (kW)	0.0807

算得齒輪 SM3-25 的容許彎曲強度為 30.5156N·m，大於設計值 14.6N·m，OK。容許面壓強度 3.8520N·m，小於設計值 14.6N·m，在運轉上雖無力及崩齒的疑慮，但若長期使用或使用在供作母機上，則由疲勞損壞之疑慮，因此建議應將齒輪的齒面另行硬化處理，這會提高齒輪的面壓強度。

## 【使用條件輸入值】

回轉數	[ 200.0 ] rpm
反覆回轉數	[ 10,000,000 以上 ]
負荷方向	[ 兩方向 ]
過負荷係數	[ 1.25 ]
潤滑油之動態黏度	[ ISO VG 100 ] cSt
齒輪的支撐方向	[ 單側支撐 ]
信賴度係數	[ 1.2 ]

## 【各項係數直】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---	
齒形係數基本值	2.5344
齒形係數	2.5344
荷重分配係數	0.5922
螺旋角係數	1.0000
工具直徑影響係數	1.1500
壽命係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
齒筋荷重分布係數	1.8000
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.2500
信賴度係數	1.2000
容許彎曲應力	12.6667

[注] JIS 3 級

--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
材質係數	60.6037
壽命係數	1.0000
潤滑油係數	1.0000
粗度係數	0.7744
潤滑速度係數	0.9000
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
領域係數	2.4946
咬合率係數	1.0000
螺旋角係數	1.0000
荷重分布係數	1.8900
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.2500
信賴度係數	1.2000
容許赫茲應力	49.0000

**SM3-25 齒輪強度計算 (標準品, 齒面另行硬化)**

[http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=53&lang=zh\\_TW&referrer=series&seihinNm=SM3-25&curPage=default#SM3-25](http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=53&lang=zh_TW&referrer=series&seihinNm=SM3-25&curPage=default#SM3-25) 中, 下方的「強度計算」按鈕進入, 為求安全起見, 安全率取 1.2。

回轉數	<input type="text" value="200"/> rpm																				
反覆回轉數	<input type="text" value="10,000,000以上"/>																				
過負荷係數	<table border="1"> <tr> <td><input type="text" value="1.25"/></td> <td colspan="3">來自被動機械的衝擊</td> </tr> <tr> <td>衝擊來自原動機側</td> <td>均一負荷</td> <td>中度衝擊</td> <td>激烈衝擊</td> </tr> <tr> <td>均一負荷</td> <td><u>1.00</u></td> <td><u>1.25</u></td> <td><u>1.75</u></td> </tr> <tr> <td>輕度衝擊</td> <td><u>1.25</u></td> <td><u>1.50</u></td> <td><u>2.00</u></td> </tr> <tr> <td>中度衝擊</td> <td><u>1.50</u></td> <td><u>1.75</u></td> <td><u>2.25</u></td> </tr> </table>	<input type="text" value="1.25"/>	來自被動機械的衝擊			衝擊來自原動機側	均一負荷	中度衝擊	激烈衝擊	均一負荷	<u>1.00</u>	<u>1.25</u>	<u>1.75</u>	輕度衝擊	<u>1.25</u>	<u>1.50</u>	<u>2.00</u>	中度衝擊	<u>1.50</u>	<u>1.75</u>	<u>2.25</u>
<input type="text" value="1.25"/>	來自被動機械的衝擊																				
衝擊來自原動機側	均一負荷	中度衝擊	激烈衝擊																		
均一負荷	<u>1.00</u>	<u>1.25</u>	<u>1.75</u>																		
輕度衝擊	<u>1.25</u>	<u>1.50</u>	<u>2.00</u>																		
中度衝擊	<u>1.50</u>	<u>1.75</u>	<u>2.25</u>																		
潤滑油之動態黏度	<input type="text" value="ISO VG 100"/>																				
安全率	<input type="text" value="1.2"/>																				
齒輪的支撐方向	<input checked="" type="checkbox"/> 單側支撐 <input type="checkbox"/> 兩側支撐																				
負荷方向	<input checked="" type="checkbox"/> 單方向 <input type="checkbox"/> 兩方向																				
追加熱處理	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無																				
單位	<input checked="" type="checkbox"/> kgf <input type="checkbox"/> N																				

**SM 直齒等比傘形齒輪 [SM3-25] (追加熱處理) 的強度計算結果 (標準品, 齒面另行硬化)**

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---	
容許切線力(N)	1002.8498
容許力矩(N·m)	<b>30.5156</b>
容許動力 (kW)	0.6391

--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
容許切線力(N)	521.5086
容許力矩(N·m)	<b>15.8689</b>
容許動力 (kW)	0.3324

算得齒輪 SM3-25 的容許彎曲強度為 30.5156N·m, 大於設計值 14.6N·m,

**OK。容許面壓強度 15.8689N-m，也大於設計值 14.6N-m，OK。**

【使用條件輸入值】

回轉數	[ 200.0 ] rpm
反覆回轉數	[ 10,000,000 以上 ]
負荷方向	[ 兩方向 ]
過負荷係數	[ 1.25 ]
潤滑油之動態黏度	[ ISO VG 100 ] cSt
齒輪的支撐方向	[ 單側支撐 ]
信賴度係數	[ 1.2 ]

【各項係數直】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---	
齒形係數基本值	2.5344
齒形係數	2.5344
荷重分配係數	0.5922
螺旋角係數	1.0000
工具直徑影響係數	1.1500
壽命係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
齒筋荷重分布係數	1.8000
動荷重係數 [注]	1.1000
過負荷係數	1.2500
信賴度係數	1.2000
容許彎曲應力	12.6667

[注] JIS 4 級

--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
材質係數	60.6037
壽命係數	1.0000
潤滑油係數	1.0000
粗度係數	0.8962
潤滑速度係數	0.9500
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
領域係數	2.4946
咬合率係數	1.0000
螺旋角係數	1.0000
荷重分布係數	2.1000
動荷重係數 [注]	1.1000
過負荷係數	1.2500
信賴度係數	1.2000
容許赫茲應力	90.0000

**SMS3-25R / L 齒輪強度計算 (標準品, 有齒面硬化)**

[http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=49&lang=zh\\_TW&referrer=series&seihinNm=SMS3-25R&curPage=default#SMS3-25R](http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=49&lang=zh_TW&referrer=series&seihinNm=SMS3-25R&curPage=default#SMS3-25R) 中, 下方的「強度計算」按鈕進入, 為求安全起見, 安全率取 1.2。

回轉數	<input type="text" value="200"/> rpm			
反覆回轉數	<input type="text" value="10,000,000以上"/>			
過負荷係數	<input type="text" value="1.25"/>			
	衝擊來自原動機側	來自被動機械的衝擊		
		均一負荷	中度衝擊	激烈衝擊
	均一負荷	<u>1.00</u>	<u>1.25</u>	<u>1.75</u>
	輕度衝擊	<u>1.25</u>	<u>1.50</u>	<u>2.00</u>
中度衝擊	<u>1.50</u>	<u>1.75</u>	<u>2.25</u>	
潤滑油之動態黏度	<input type="text" value="ISO VG 100"/>			
安全率	<input type="text" value="1.2"/>			
齒輪的支撐方向	<input checked="" type="checkbox"/> 單側支撐 <input type="checkbox"/> 兩側支撐			
負荷方向	<input type="checkbox"/> 單方向 <input checked="" type="checkbox"/> 兩方向			
單位	<input type="checkbox"/> kgf <input checked="" type="checkbox"/> N			

**SMS 彎齒等比傘形齒輪 [SMS3-25R] 的強度計算結果**

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---	
容許切線力(N)	1220.1179
容許力矩(N·m)	<b>37.1269</b>
容許動力 (kW)	0.7776

--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
容許切線力(N)	943.0837
容許力矩(N·m)	<b>28.6970</b>
容許動力 (kW)	0.6010

算得齒輪 SMS3-25R / L 的容許彎曲強度為 37.1269N·m, 大於設計值 14.6N·m, OK。容許面壓強度 28.6970N·m, 也大於設計值 14.6N·m, OK。

## 【使用條件輸入值】

回轉數	[ 200.0 ] rpm
反覆回轉數	[ 10,000,000 以上 ]
負荷方向	[ 兩方向 ]
過負荷係數	[ 1.25 ]
潤滑油之動態黏度	[ ISO VG 100 ] cSt
齒輪的支撐方向	[ 單側支撐 ]
信賴度係數	[ 1.2 ]

## 【各項係數直】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---	
齒形係數基本值	2.3781
齒形係數	2.3781
荷重分配係數	0.7580
螺旋角係數	0.7500
工具直徑影響係數	0.9500
壽命係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
齒筋荷重分布係數	1.8000
動荷重係數 [注]	1.1000
過負荷係數	1.2500
信賴度係數	1.2000
容許彎曲應力	14.0000

[注] JIS 4 級

--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
材質係數	60.6037
壽命係數	1.0000
潤滑油係數	1.0000
粗度係數	0.8962
潤滑速度係數	0.9500
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
領域係數	2.1307
咬合率係數	0.8706
螺旋角係數	1.0000
荷重分布係數	2.1000
動荷重係數 [注]	1.1000
過負荷係數	1.2500
信賴度係數	1.2000
容許赫茲應力	90.0000

## 二、壽命：

上述計算中，不管是彎曲強度或是面壓強度的計算式中，關於壽命係數（彎曲強度為  $K_L = 1.0$ ，面壓強度為  $K_{HL} = 1.0$ ）都是以重複接觸次數 =  $10^7$  次來考量，（但不是說一旦達到  $10^7$  次時，齒輪就一定會損壞）。以此觀



點來檢視齒輪的轉速，可推導出理想狀況下齒輪應有的可靠壽命。

由於已知齒輪在每次運轉時的轉速為 200rpm，每天會有 1 小時的運轉。粗略以  $10^7$  除以 200，可得出 50000 分鐘，相當於 833.33 小時，亦即起碼會有 833 天（每天以 1 小時計算）的使用壽命。

另一個重點是潤滑，潤滑得當的齒輪比潤滑不當的齒輪，壽命要來得長。這點必須認真以對不可忽視。

### 三、齒輪的潤滑

齒輪的潤滑，要使用性能合適、黏度足夠的潤滑油或潤滑脂，在齒輪的面壓計算公式中也有一項係數是關於潤滑的，稱為潤滑係數 ZL。潤滑的有無或合適與否，雖不會對齒輪產生立即性的損壞，但不良的潤滑，長期上會使齒輪造成漸進性的孔蝕等對壽命不良的影響。請參閱「齒輪之潤滑」、「齒輪的損傷狀態及其用語」

### 四、作用在齒輪上的力

#### SM3-25：

傘形齒輪之齒輪傳動力計算

2012/05/31

齒輪種類	GLEASON 等比直齒傘形齒輪	
軸角	90°0' 0"	
正面模數	3	
齒直角壓力角	20°0' 0"	
	小齒輪	大齒輪
齒數	25	25
圓錐距離	53.03301	
齒幅	20	
基準圓直徑（節圓直徑）	75	75
基準圓錐角	45°0' 0"	45°0' 0"
中央節圓直徑	60.85786	60.85786
傳達力矩(N·m)	470	470
切線力(N)	15445.82626	15445.82626
軸方向力(N)	3975.22775	3975.22775
徑方向力(N)	3975.22775	3975.22775

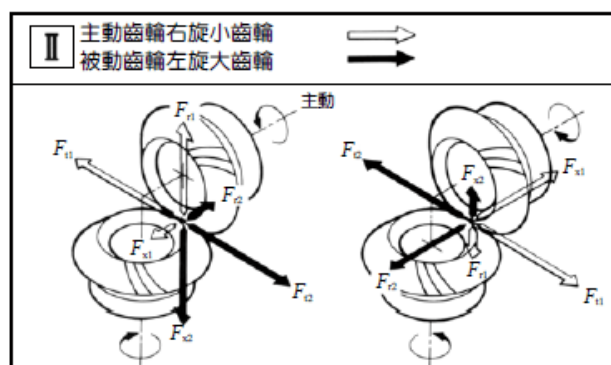
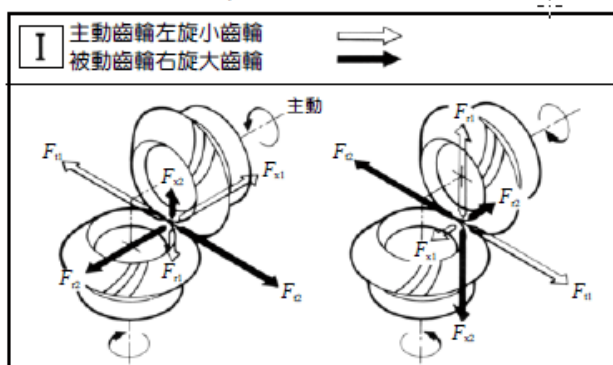
**SMS3-25R / L :**

傘形齒輪之齒輪傳動力計算

2012/05/31

齒輪種類	GLEASON 等比彎齒傘形齒輪	
軸角	90°0' 0"	
正面模數	3	
齒直角壓力角	20°0' 0"	
	小齒輪	大齒輪
齒數	25	25
圓錐距離	53.03301	
齒幅	20	
基準圓直徑 (節圓直徑)	75	75
基準圓錐角	45°0' 0"	45°0' 0"
中央節圓直徑	60.85786	60.85786
傳達力矩(N·m)	470	470
切線力(N)	15445.82626	15445.82626
作用齒面	凸齒面	凹齒面
軸方向力(N)	-2794.70362	12500.41767
徑方向力(N)	12500.41767	-2794.70362
作用齒面	凹齒面	凸齒面
軸方向力(N)	12500.41767	-2794.70362
徑方向力(N)	-2794.70362	12500.41767

$\Sigma = 90^\circ \quad \alpha_n = 20^\circ \quad \beta_m = 35^\circ \quad u < 1.57357$



請參閱「作用在齒輪上的力」