

問：

昭源企業你好：

想請問貴司齒條組問題

Q：規劃走行總長  $S = 11,000\text{mm}$ ，需在 20 秒內完成！

雙邊各有一組滑軌輔助支撐負載，齒輪只做帶動，載台及負載總重量約 300 kgf；

啟動時間 = 0.5 sec，制動時間 = 0.5 sec；

動力來源伺服馬達，2,000RPM，850W（7 比減速機）；

減速機出力軸（ $\varphi 22\text{ mm}$ ）搭配 KEY6。

想請教齒輪應該選用貴公司產品中哪一個型號（PS 目前規劃為正齒模數為 M2 不知是否足夠），能符合強度及低噪音之需求。

謝謝您

答：

謝謝您的提問，這是一個典型的設計計算，我們將按照以下的步驟來完成齒輪及齒條的查核及選用：1. 速度計算，2. 負荷計算，3. 強度計算，4. 結論。

### 1. 速度計算

- ① 概算：走行總長（總行程） $S = 11,000\text{mm} = 11\text{m}$ ，在 20 sec 內走完，則平均行走速率約為  $11/20 = 0.55\text{ m/sec}$
- ② 減速機輸出定額轉速 =  $2000\text{ rpm}/7 = \underline{285.7143\text{ rpm}} = 4.7619\text{ rps}(\text{rev/sec})$   
（減速機的最高轉速）
- ③ 小齒輪每轉之載台行程 =  $\text{①}/\text{②} = 0.55\text{ m/sec} / 4.7619\text{ rev/sec} = 0.1155\text{ m/rev}$
- ④  $0.1155\text{ m}$  約為小齒輪之節圓圓周長 =  $115.5\text{ mm}$ ，小齒輪之直徑 =  $115.5/\pi = \varphi 36.765\text{ mm}$
- ⑤ 低噪音之需求應優先選用齒研齒輪及齒條，但若必須再考慮成本時，則只在小齒輪上使用研磨產品，搭配使用一般等級的齒條，也能降低部分的噪音。
- ⑥ 設計者規劃齒輪之模數 = M2，則小齒輪的齒數約為  $36.765/2 = 18.38\text{T}$ ，先假設為 20T，查 KHK 的型錄，SSG2-20 或許可成為選用的對象，但如果考慮減速機的軸心 =  $\varphi 22\text{ mm}$ ，則 SSG2-20 顯然是不適用的（SSG2-20 之孔徑上限為  $\varphi 18$ ）。齒條則以 SRF2-1000 作為小齒輪之搭配。
- ⑦ 檢視 KHK 型錄中，SSG2-23 的孔徑上限為  $\varphi 22\text{ mm}$ （SSG2-23J22，鍵槽 =  $6 \times 2.8$ ）符合旋轉速率及尺寸上的需求。
- ⑧ 以 SSG2-23J22 為計算查核基準，節圓圓周長 =  $2 \times 23 \times \pi = 144.5136\text{ mm}$ ，在  $4.7619\text{ rps}$ （ $285.7143\text{ rpm}$ ）的轉速下平均速率 =  $144.5136 \times 4.7619 =$

688.16 mm/sec = 0.68816 m/sec ( 載台的最高移動速率 ) 。概略來說走完 11 m 需時約  $11/0.68816 \approx 16$  sec 。如果要精密計算，則尚需考慮啟動及制動時間。

- ⑨ 設計者提供的啟動時間及制動時間皆為 0.5 sec，根據牛頓運動方程式  $V = V_0 + at$ ，末速  $V =$  載台的最高移動速率 = 0.68816 m/sec， $V_0 = 0$ ， $t = 0.5$  sec。  
 $\therefore 0.68816 = 0 + a \times 0.5$ ，可得出 啟動加速度  $a_1 = 1.37632$  m/sec<sup>2</sup>，制動加速度  $a_2 = -1.37632$  m/sec<sup>2</sup>
- ⑩ 啟動時間內載台移動的距離  $S_1 = |V_0 \cdot t_1 + a \cdot t_1^2 / 2| = |0 + 1.37632 \times 0.5^2 / 2| = 0.17204$  m。
- ⑪ 制動時間內載台移動的距離  $S_2 = |V_0 \cdot t_2 + a \cdot t_2^2 / 2| = |0 - 1.37632 \times 0.5^2 / 2| = 0.17204$  m。
- ⑫ 載台移動總行程  $S = S_1 + S_2 + S_3$ ， $S_3 =$  載台的最高移動速率移動距離。所以  $S_3 = S - S_1 - S_2 = 11 - 0.17204 - 0.17204 = 10.54592$  m，而  $S_3$  又  $= V \times t_3 = 0.68816 \times t_3$ ，所以載台最高速率的移動時間  $t_3 = 10.54592 / 0.68816 \approx 15.325$  sec
- ⑬ 載台移動總行程所需時間  $t = t_1 + t_2 + t_3 = 0.5 + 15.325 + 0.5 = 16.325$  sec

## 2. 負荷計算

我們將以 1. 速度計算中所得出的小齒輪 SSG2-23J22 作為負荷計算之計算基礎

- ① SSG2-23J22 節圓半徑  $r = 2 \times 23 / 2 = 23$  mm = 0.023 m
- ② 依照所提供的載台及負載總重量約 300 kgf，並在雙邊各有一組滑軌輔助支撐負載來看，推動載台及負載( 抵抗摩擦負荷 )之負荷推力  $F'$  約需  $300 \times 1/10 = 30$  kgf
- ③ 因此加諸在小齒輪上之 負荷力矩  $T' = F' \times r = 30 \times 0.023 = 0.69$  kgf-m，這是抵抗摩擦負荷之定額負荷力矩。
- ④ 但在本案例中，有啟動及制動的問題，因此我們必須要再計算啟動及制動力矩。
- ⑤ 根據牛頓運動方程式  $F = m \cdot a$ ， $m =$  載台及負載總質量 =  $300 \text{ kgf} / 9.8 =$  30.612245 kg， $a_1 =$  啟動加速度。所以 啟動力  $F_1 = m \cdot a_1 = 30.612245 \times 1.37632 = 42.1322$  kgf
- ⑥ 以相同方法可算得 制動力  $F_2 = m \cdot a_2 = 30.612245 \times -1.37632 = -42.1322$  kgf，這和起動力大小相同方向相反。
- ⑦ 啟動負荷力矩  $T_1 = F_1 \times r = 42.1322 \times 0.023 = 0.969$  kgf-m  $\approx 1$  kgf-m
- ⑧ 制動負荷力矩  $T_2 = F_2 \times r = -42.1322 \times 0.023 = -0.969$  kgf-m  $\approx -1$  kgf-m
- ⑨ 比較  $T'$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ ，取其中的最大值作為負荷力矩。得知：本案例之 負荷力矩  $T = 1$  kgf-m

- ⑩ 比較  $F'$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ ，取其中的最大值作為負荷力矩。得知：本案例之 負荷力  $F$   
 $= 42.1322 \text{ kgf}$

### 3. 強度計算

這裡所指的強度計算，是指齒輪或齒條在上述 1. 的速度條件下，所能承受的最大負荷，亦即齒輪或齒條的容許推力、容許力矩、容許動力。當算得的齒輪或齒條之容許強度大於負荷力矩  $T$  時，表示所選用的齒輪或齒條是合適的。若否，則需改變齒輪或齒條的齒數、模數或材質，必須由速度計算重新開始。如此反覆計算到得出合於設計的負荷為止。齒輪與齒條的強度計算是以 KHK 網頁型錄中的「強度計算」功能來計算的。

- ① 小齒輪 SSG2-23J22 之容許強度計算

[https://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=2&lang=zh\\_TW&referrer=series&seihinNm=SSG2-23J22&curPage=default#SSG2-23J22](https://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=2&lang=zh_TW&referrer=series&seihinNm=SSG2-23J22&curPage=default#SSG2-23J22)

#### SSG2-23J22 齒輪強度計算

配對齒輪	齒條
配對齒數	--
配對齒面寬	20
配對齒輪加工法	切削
回轉數	285.7143 rpm
反覆回轉數	10,000,000 以上
過負荷係數	1.25
潤滑油之動態黏度	ISO VG 100
安全率	1.2
齒輪的支撐方向	單側支撐
負荷方向	兩方向
單位	kgf

#### SSG 齒研正齒輪 [SSG2-23J22] 的強度計算結果

##### 【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
容許切線力(kgf)	224.2799
容許力矩(kgf·m)	5.1584
容許動力 (kW)	1.5136

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
容許切線力(kgf)	126.1544
容許力矩(kgf·m)	2.9016
容許動力 (kW)	0.8514

【各項係數值】省略

不論是在彎曲強度的計算上或是在面壓強度的計算上，SSG2-23J22 的容許力矩 ( 5.1585 kgf·m 或 2.9016 kgf·m ) 都大於負荷力矩 T ( 1 kgf·m ) ，表示 SSG2-23J22 在設計條件下是能被使用的。

② 齒條 SRF2-1000 之容許強度計算

[https://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=22&referrer=series&lang=zh\\_TW&seihinNm=SRF2-1000&curPage=defauIt#SRF2-1000](https://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=22&referrer=series&lang=zh_TW&seihinNm=SRF2-1000&curPage=defauIt#SRF2-1000)

**SRF2-1000 齒輪強度計算**

配對齒輪	齒輪
配對齒數	23
配對齒面寬	20
配對齒輪加工法	研磨
回轉數	285.7143 rpm
反覆回轉數	10,000,000 以上
過負荷係數	1.25
潤滑油之動態黏度	ISO VG 100
安全率	1.2
齒輪的支撐方向	單側支撐
負荷方向	兩方向
單位	kgf

**SRF 兩端面加工齒條 [SRF2-1000] 的強度計算結果**

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
容許切線力(kgf)	<b>307.3341</b>
容許力矩(kgf·m)	0.0000
容許動力 (kW)	2.0740

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
容許切線力(kgf)	<b>63.8570</b>
容許力矩(kgf·m)	0.0000
容許動力 (kW)	0.4309

【各項係數值】省略

不論是在彎曲強度的計算上或是在面壓強度的計算上，SRF2-1000 的容許切線力 ( 307.3341 kgf 或 63.8570 kgf ) 都大於負荷力 F ( 42.1322 kgf )，表示 SRF2-1000 在設計條件下是能被使用的。

#### 4. 結論

- ① 伺服馬達 850W · 最高轉速 2,000RPM ( 7 比減速機 ) ·
  - ② 減速機輸出軸最高轉速 : 285.7143 rpm · 輸出軸直徑 :  $\phi 22$  mm
  - ③ 啟動時間 : 0.5 sec · 制動時間 : 0.5 sec
  - ④ 載台總行程 : 11 m
  - ⑤ 載台單程行走時間 : 16.325 sec
  - ⑥ 載台及負載總重量約 300 kgf
  - ⑦ 負荷力矩  $T = 1$  kgf-m
  - ⑧ 負荷力  $F = 42.1322$  kgf
  - ⑨ KHK 小齒輪 SSG2-23J22 x 1 個
  - ⑩ 搭配 KHK 齒條 SRF-1000 x 11 支使用。
- 齒輪及齒條之圖面如下頁所示

多數的機構，都可應用這個步驟來做：

1. 速度計算
2. 負荷計算
3. 強度計算

以上說明敬請參考

謝謝

J系列的产品, 追加加工部分不再做表面氧化處理.

(1)加工一般公差

尺寸類別	中級
Up ~ Max.	mm
0.5~6	±0.1
6~30	±0.2
30~120	±0.3
120~400	±0.5
400~1000	±0.8
1000~2000	±1.2
角度	±0.5°

齒研正齒輪規格

精度等級	1/15 ± 1/100-1	N7 級
齒輪基準斷面		
齒形	標準全齒深齒	
模數	2	
壓力角	20°	
齒數(齒數)	23	
螺旋角·旋向		
節圓直徑	46	
齒位係數		
齒冠高	2	
齒高	4.5	
齒頂圓直徑	50	
跨齒厚( )		
齒隙		
配對齒數		
高周波熱處理	HRC50 - 60	
附註		

件號 名稱 S45C 材質 原材料尺寸

製圖 18.05.02 圖名

審核

比例尺 1:1

**KKH**  
for Web Catalog

圖號

KHK SSG2-23J22  
追加加工後之齒輪精度等級為近似等級。

染黑處理

(1)加工一般公差

尺寸類別	中級
Up ~ Max.	mm
0.5~6	±0.1
6~30	±0.2
30~120	±0.3
120~400	±0.5
400~1000	±0.8
1000~2000	±1.2
角度	±0.5°

兩端面加工齒條規格

精度等級	1/15 ± 1/100-1	4 級
齒輪基準斷面		
齒形	標準全齒深齒	
模數	2	
壓力角	20°	
齒數(齒數)	160	
螺旋角·旋向		
節圓直徑		
齒位係數		
齒冠高	2	
齒高	4.5	
齒頂圓直徑		
跨齒厚( )		
齒隙		
配對齒數		
附註		

件號 名稱 S45C 材質 原材料尺寸

製圖 18.05.02 圖名

審核

比例尺 1:1

**KKH**  
for Web Catalog

圖號

KHK SRP2-1000