

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：T2020041

技術類別：《齒輪應用》

技術類別	齒輪應用
篇名	小齒輪及齒條之選用計算案例
重點	小齒輪及齒條之選用計算案例
產出日期	2020/02/10
資料來源	日本 KHK / 台灣昭源提供 麗台國際有限公司整理



想請問關於齒條組的問題

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。

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 = $2000\text{ rpm}/7 = \underline{\underline{285.7143\text{ rpm}}}$ = 4.7619 rps(rev/sec)（減速機的最高轉速）
- ③ 小齒輪每轉之載台行程 = ① / ② = $0.55\text{ m/sec} / 4.7619\text{ rev/sec} = 0.1155\text{ m/rev}$
- ④ 0.1155 m 約為小齒輪之節圓圓周長 = 115.5 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 = 6×2.8 ）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 rps（285.7143 rpm）的轉速下平均速率 =



$144.5136 \times 4.7619 = 688.16 \text{ mm/sec} = 0.68816 \text{ m/sec}$ (載台 的最高移動速率)。概略來說走完 11 m 需時約 $11/0.68816 \approx 16 \text{ sec}$ 。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， $V_0 = 0$ ， $t = 0.5 \text{ sec}$ 。∴ $0.68816 = 0 + a \times 0.5$ ，可得出 啟動加速度 $a_1 = 1.37632 \text{ m/sec}^2$ ，制動加速度 $a_2 = -1.37632 \text{ m/sec}^2$
- ⑩ 啟動時間內載台移動的距離 $S_1 = |V_0 \cdot t_1 + a \cdot t_1^2 / 2| = |0 + 1.37632 \times 0.5^2 / 2| = 0.17204 \text{ m}$ 。
- ⑪ 制動時間內載台移動的距離 $S_2 = |V_0 \cdot t_2 + a \cdot t_2^2 / 2| = |0 - 1.37632 \times 0.5^2 / 2| = 0.17204 \text{ m}$ 。
- 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 $S^3 = S - S^1 - S^2 = 11 - 0.17204 - 0.17204 = 10.54592 \text{ m}$ ，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 $t_3 = 10.54592 / 0.68816 \approx 15.325 \text{ sec}$
- ⑬ 載台移動總行程所需時間 $t = t_1 + t_2 + t_3 = 0.5 + 15.325 + 0.5 = 16.325 \text{ sec}$

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 $r = 2 \times 23 / 2 = 23 \text{ mm} = 0.023 \text{ m}$
- 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 $300 \times 1/10 = 30 \text{ kgf}$
- ③ 因此加諸在小齒輪上之 負荷力矩 $T' = F' \times r = 30 \times 0.023 = 0.69 \text{ kgf-m}$ ，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 $= 300 \text{ kgf} / 9.8 = 30.612245 \text{ kg}$ ， $a_1 =$ 啟動加速度。所以 啟動力 $F_1 = m \cdot a_1 = 30.612245 \times 1.37632 = 42.1322 \text{ kgf}$
- ⑥ 以相同方法可算得 制動力 $F_2 = m \cdot a_2 = 30.612245 \times -1.37632 = -42.1322 \text{ kgf}$ ，這和起動力大小相同方向相反。
- ⑦ 啟動負荷力矩 $T_1 = F_1 \times r = 42.1322 \times 0.023 = 0.969 \text{ kgf-m} \approx 1 \text{ kgf-m}$
- ⑧ 制動負荷力矩 $T_2 = F_2 \times r = -42.1322 \times 0.023 = -0.969 \text{ kgf-m} \approx -1$



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 **$T=1 \text{ kgf-m}$**
- 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&curPage0=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=default#SRF2-1000

SRF2-1000 齒輪強度計算

配對齒輪	齒條
配對齒數	23
配對齒面寬	20
配對齒輪加工法	研磨
回轉數	
反覆回轉數	
過負荷係數	
潤滑油之動態黏度	
安全率	
齒輪的支撐方向	
負荷方向	
單位	