

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：T2020218

技術類別：《齒輪應用》

技術類別	齒輪應用
篇名	小齒輪及齒條之需求查核
重點	小齒輪及齒條之需求查核
產出日期	2020/03/06
資料來源	日本 KHK / 台灣昭源提供 麗台國際有限公司整理

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



問：

我目前開發機台有使用小齒輪及齒條之需求，以軸向來分，各軸向齒條之荷重及移動

速率如下表所示：

軸向	安裝方向	需要行程(m)	預估載重 (kgf)	實際齒條荷重 (kgf)	最大速率 (m/min)
Y 軸	水平	4	1250	F₁ = 125	S = 5
X 軸配重軸	水平	1.5	300	F₂ = 30	S = 5
X 軸	水平	4	250	F₃ = 25	S = 5
Z 軸	垂直	1.5	200	F₄ = 200	S = 5

使用之馬達：台達 ECMA-C110-10 伺服馬達

定額功率 (kW)	額定扭矩 (N-m)	最大扭矩 (N-m)	額定轉速 (r/min)	最大轉速 (r/min)
1.0	T_M = 3.18	9.54	N = 3000	5000

使用之減速機：精銳 AB115M1-050-S1-P2 標準背隙行星減速機，軸心 φ 32mm

減速比	額定輸出扭矩 (N-m)	最大輸出扭矩 (N-m)	額定輸入轉速 (r/min)	最大輸入轉速 (r/min)
E = 50	330	594	4000	8000

小齒輪將直接套在減速機之輸出軸上，以小齒輪帶動齒條移動，請建議適合的小齒輪及齒條型號，謝謝。

答：

1. 速率計算及小齒輪大小之查核

令伺服馬達之轉速為 N (RPM) ，

標準背隙行星減速機之減速比 E

經過減速機減速後的轉速為 n (=N / E，亦為小齒輪之轉速 RPM) ，

齒條的移動速率為 S (m/min) ，

小齒輪的節圓直徑 C (mm) ，

則有下列的關係式：



$S = (\pi \times C \times n) / 1000$ ，或 $C = (S \times 1000) / (\pi \times n)$ ，或 $n = (S \times 1000) / (\pi \times C)$
 今設， $S = 5$ ， $n = N / E = 3000 / 50 = 60$ ，計算得出之小齒輪節圓直徑 $C = (5 \times 1000) / (\pi \times 60) = \varphi 26.526 \text{ mm}$ ，顯然要比減速機之輸出軸心還大，不符合要求。

因此必須選擇節圓直徑夠大的小齒輪，不過此時的小齒輪轉速必須放慢，才能達到齒條移動速率之要求。

假設，小齒輪之節圓直徑 $C = \varphi 65 \text{ mm}$ ，則此時之小齒輪轉速 $n = (S \times 1000) / (\pi \times C) = (5 \times 1000) / (\pi \times 65) = \mathbf{24.485 \text{ RPM}}$ ，而伺服馬達之轉速需由 3000 RPM 降至 $N = n \times E = 24.485 \times 50 = 1224.266 \text{ RPM}$ ，才能得到所需的速率 (5m/min)

現在再假設，節圓直徑為 $\varphi 65 \text{ mm}$ 之小齒輪，相對應的 KHK 齒輪規格為 SS2.5-26J32 (正齒輪，模數 2.5，26 齒)，因此與小齒輪配對的齒條模數也應該為 2.5。

依需求的齒條長度 (行程)，則假設 KHK 齒條之型號為：SRFD2.5-1500 及 SRFD2.5-2000，這兩種規格的強度是相同的，因此選擇其中之一來計算即可。

接著，便以此小齒輪與齒條之規格來計算強度。

2. 強度計算

A. 小齒輪：

當小齒輪使用 SS2.5-26J32 時，小齒輪的節圓半徑 $r = 2.5 \times 26 / 2 = 32.5 \text{ mm} = 0.0325 \text{ m}$ ，則小齒輪的負荷力矩 $T = F \times r$ ，表列如下：

軸向	安裝方向	實際齒條荷重 F (kgf)	實際齒條荷重 F (N)	小齒輪節圓半 徑 r (m)	小齒輪負荷力 矩 T (N-m)
Y 軸	水平	$F_1 = 125$	1225.8312	0.0325	38.8295
X 軸配重 軸	水平	$F_2 = 30$	249.1995	0.0325	9.5615
X 軸	水平	$F_3 = 25$	245.1662	0.0325	7.9679
Z 軸	垂直	$F_4 = 200$	1961.33	0.0325	63.7432

小齒輪 SS2.5-26J32 以轉速 24.485RPM 運行時，最大負荷力矩為 63.7432 N-m，以此做為基準來查核小齒輪的強度。

利用 KHK 網頁型錄中的強度計算功能，計算 SS2.5-26J32 的齒輪強度：
<http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=4&lang=>



[zh_TW&referrer=series&seihinNm=SS2.5-26J32&curPage=default#SS2.5-26J32](#)

SS2.5-26J32 齒輪強度計算

輸入畫面：

配對齒輪	<input checked="" type="checkbox"/> 正齒輪 <input checked="" type="checkbox"/> 齒條 <input checked="" type="checkbox"/> 內齒輪			
配對齒數	<input type="text"/>			
配對齒面寬	<input type="text" value="25"/>			
配對齒輪加工法	<input checked="" type="checkbox"/> 切削 <input checked="" type="checkbox"/> 研磨			
回轉數	<input type="text" value="24.485"/> 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 checked="" type="checkbox"/> 兩側支撐			
負荷方向	<input checked="" type="checkbox"/> 單方向 <input checked="" type="checkbox"/> 兩方向			
追加熱處理	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無			
單位	<input checked="" type="checkbox"/> kgf <input checked="" type="checkbox"/> N			



SS 正齒輪 [SS2.5-26J32] 的強度計算結果

【計算結果】：

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
容許切線力 (N) F_A	3572.4168
容許力矩 (N·m) T_A	116.1035
容許動力 (kW) P_A	0.2977

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
容許切線力 (N)	647.4911
容許力矩 (N·m)	21.0435
容許動力 (kW)	0.0540

【使用條件輸入值】：

配對種類	[齒條]
配對齒數	-
配對齒面寬	[25]
配對齒輪加工法	[切削]
回轉數	[24.485] 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]
安全率	[1.2]

【各項係數值】：

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
有效齒面寬	25.0000
齒形係數	2.6091
荷重分配係數	0.5553
螺旋角係數	1.0000
壽命係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.2500

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



安全率	1.2000
容許彎曲應力	12.6667

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
領域係數	2.4946
材質係數	60.6037
咬合率係數	1.0000
螺旋角係數	1.0000
壽命係數	1.0000
潤滑油係數	1.0000
粗度係數	1.1089
潤滑速度係數	0.9000
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
荷重分布係數	1.4308
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.2500
安全率	1.2000
容許赫茲應力	49.0000

[注] 齒形經過修正 JIS 4 級

B. 齒條：

當齒條使用 SRFD2.5-1500 時，齒條的負荷切線力（荷重），表列如下：

軸向	安裝方向	實際齒條荷重 F (kgf)	實際齒條荷重 F (N)
Y 軸	水平	$F_1 = 125$	1225.8312
X 軸配重軸	水平	$F_2 = 30$	249.1995
X 軸	水平	$F_3 = 25$	245.1662
Z 軸	垂直	$F_4 = 200$	1961.33

當與齒條配合之小齒輪 SS2.5-26J32 以轉速 24.485 RPM 運行時，齒條的最大負荷切線力為 1961.33 N，以此做為基準來查核齒條的強度。



利用 KHK 網頁型錄中的強度計算功能，計算 SRFD2.5-1500 的齒條強度：

http://www.khkgears.co.jp/khkweb/search/sunpou.do?indexCode=24&lang=zh_TW&referrer=series&seihinNm=SRFD2-500&curPage=default#SRFD2-1500

SRFD2.5-1500 齒條強度計算

輸入畫面：

配對齒輪	<input checked="" type="checkbox"/> 正齒輪 <input checked="" type="checkbox"/> 齒條 <input checked="" type="checkbox"/> 內齒輪			
配對齒數	<input type="text" value="26"/>			
配對齒面寬	<input type="text" value="25"/>			
配對齒輪加工法	<input checked="" type="checkbox"/> 切削 <input checked="" type="checkbox"/> 研磨			
小齒輪回轉數	<input type="text" value="24,485"/> 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	1.00	1.25	1.75
	輕度衝擊	1.25	1.50	2.00
中度衝擊	1.50	1.75	2.25	
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 checked="" type="checkbox"/> 兩側支撐			
負荷方向	<input checked="" type="checkbox"/> 單方向 <input checked="" type="checkbox"/> 兩方向			
追加熱處理	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無			
單位	<input checked="" type="checkbox"/> kgf <input checked="" type="checkbox"/> N			



SRFD 裝配加工齒條 [SRFD2.5-1500] 的強度計算結果

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
容許切線力 (N) F_A	4747.8088
容許力矩 (N·m) T_A	0.0000
容許動力 (kW) P_A	0.3956

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
容許切線力 (N)	743.2933
容許力矩 (N·m)	0.0000
容許動力 (kW)	0.0619

【使用條件輸入值】

配對種類	[正齒輪]
配對齒數	[26]
配對齒面寬	[25]
配對齒輪加工法	[切削]
回轉數	[24.485] 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]
安全率	[1.2]

【各項係數值】

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
有效齒面寬	25.0000
齒形係數	2.0665
荷重分配係數	0.5553
螺旋角係數	1.0000
壽命係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.2500

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



安全率	1.2000
容許彎曲應力	13.3333

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
領域係數	2.4946
材質係數	60.6037
咬合率係數	1.0000
螺旋角係數	1.0000
壽命係數	1.0000
潤滑油係數	1.0000
粗度係數	1.1089
潤滑速度係數	0.9000
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
荷重分布係數	1.4308
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.2500
安全率	1.2000
容許赫茲應力	52.5000

[注] 齒形經過修正 JIS 4 級

C. 討論：

由於小齒輪之運行轉速僅 24.485 RPM，而運動之切線速率 = 齒條之移動速率 $S = 5 \text{ m/min} = 8.33 \text{ cm/sec}$ ，因此查核齒輪、齒條強度時，使用彎曲強度來查核即可。

小齒輪 SS2.5-26J32：

軸向	安裝方向	實際齒條荷重 F (N)	小齒輪容許切線力 F_A (N)	小齒輪負荷力矩 T (N-m)	小齒輪容許力矩 T_A (N-m)
Y 軸	水平	1225.8312		38.8295	



X 軸配重軸	水平	249.1995	2572.4168 OK	9.5615	116.1035 OK
X 軸	水平	245.1662		7.9679	
Z 軸	垂直	1961.33		63.7432	

則，不論是小齒輪的容許切線力 F_A ，或是小齒輪的容許力矩 T_A ，都大於實際之荷重或是負荷力矩，OK。

齒條 SRFD2.5-1500：

軸向	安裝方向	實際齒條荷重 F (N)	齒條容許切線力 F_A (N)
Y 軸	水平	1225.8312	4747.8088 OK
X 軸配重軸	水平	249.1995	
X 軸	水平	245.1662	
Z 軸	垂直	1961.33	

則，齒條的容許切線力 F_A ，大於實際之荷重，OK。

3. 減速機輸出力矩之查核

以小齒輪之彎曲強度來說明，則小齒輪的容許力矩 T_A 為 $116.1035 \text{ N}\cdot\text{m}$ = 減速機所需之輸出力矩。

而實際使用減速機（精銳 AB115M1）之額定輸出力矩 = $330 \text{ N}\cdot\text{m}$ > $116.1035 \text{ N}\cdot\text{m}$ 因此 OK。

4. 伺服馬達功率查核

以小齒輪之彎曲強度來說明，則小齒輪的容許動力（功率） P_A 為 0.2977 kW = 減速機之輸出功率。

而假設減速機之效率為 80%時，則伺服馬達所需輸出之功率 = 減速機之輸入功率 = $0.2977 / 80\% = 0.3721 \text{ kW}$ 便已足夠。

因此實際使用伺服馬達（台達 ECMA C110-10）之功率 = 1.0 kW > 0.3721 kW ，是 OK 的。

5. 各軸向使用之小齒輪及齒條型號之建議

軸向	安裝方向	需要行程 (m)	KHK 型號	數量 (個)
小齒輪			SS2.5-26J32	4
Y 軸	水平	4	SRFD2.5-2000	2
X 軸配重軸	水平	1.5	SRFD2.5-1500	1
X 軸	水平	4	SRFD2.5-2000	2

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



Z 軸	垂直	1.5	SRFD2.5-1500	1
-----	----	-----	--------------	---