

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：T2020266

技術類別：《齒輪應用》

技術類別	齒輪應用
篇名	轉盤機構使用齒輪之選用
重點	轉盤機構使用齒輪之選用
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



問：

最近想做個由 X 軸改變為 Z 軸的旋轉平台，經電話詢問後，貴公司人員建議傳真幾種簡單機構圖以利釐清問題，目前想到的機構有三種分別是利用小齒輪及齒條（圖 I）、蝸輪蝸桿（圖 II）、以及傘形齒輪（圖 III）來達到轉盤轉動的目的。

動作：由 X 軸→Z 軸運動，Z 軸需正反轉各 90°（正轉 90°→復原→逆轉 90°→復原，如此循環），10ms / 90°。

工作環境：無塵室 + (-70°C ~ +100°C)

荷重：約 15kg

請問

1. 哪一種方式在傳遞上較佳？
2. 有何適合的齒輪適用？
3. 在齒輪精度上或安裝精度上或旋轉的精度上最小可達到什麼程度？因為 IC 僅 2mm×2mm 十分小，一旦在旋轉後不能回到原來位置，有可能會被打壞。
4. 貴公司產品中的「轉向機」是否適用於此？（環境溫度及精度）

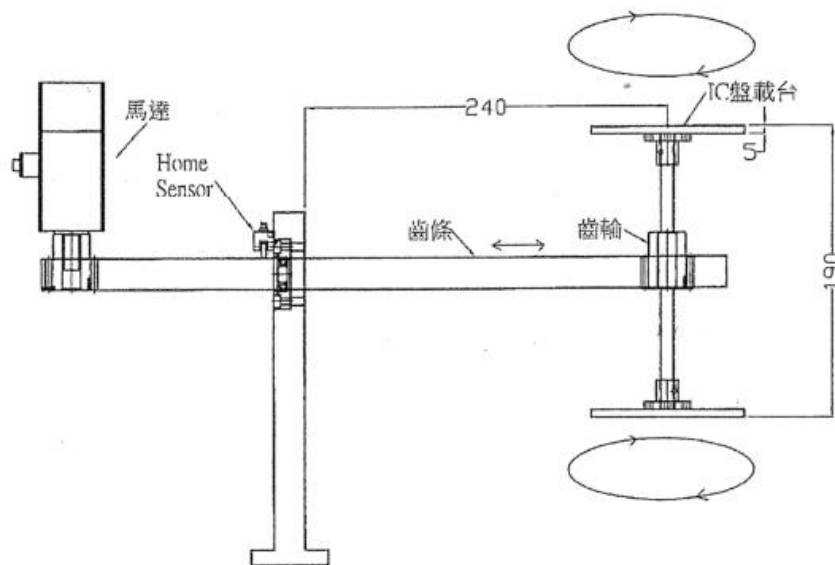


圖 I：小齒輪齒條

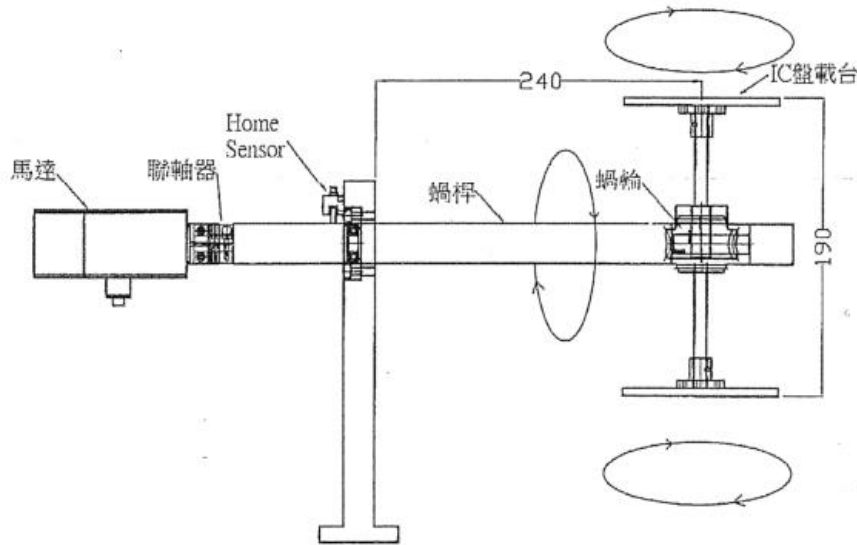


圖 II：蝸桿蝸輪

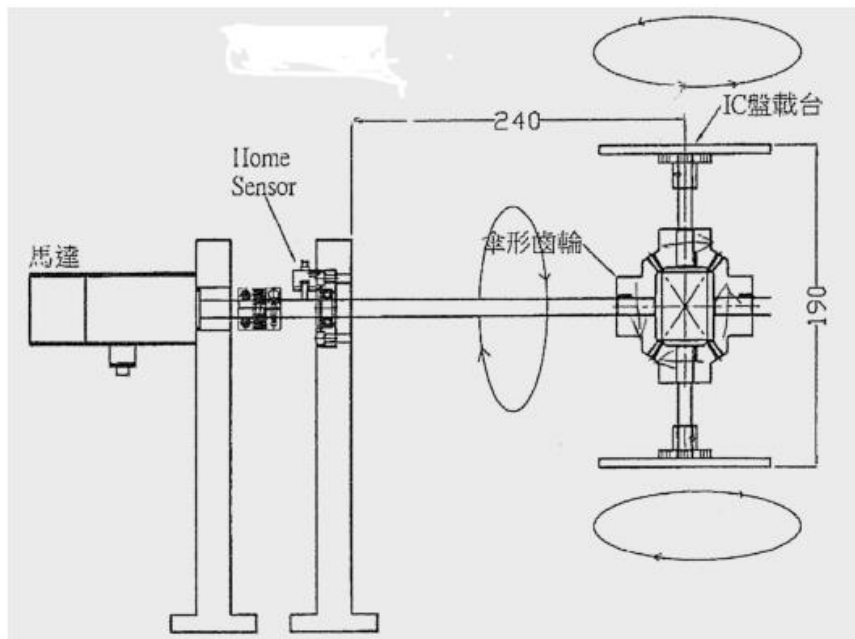


圖 III：傘形齒輪

答：

一. 機構種類的選定

由於使用的環境為無塵室，因此容易造成磨耗的機構—開放的蝸桿蝸輪機構要首先排除。

其次，縱使使用有機殼有潤滑保障的「蝸輪減速機」或「轉向機」，雖不至於發生大量磨屑粉塵，由於環境溫度在 $-70^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ ，對潤滑油來說過於嚴苛，而且齒輪箱的軸封等橡膠製品也有脆化及軟化的可能，因此也不列入考慮。



若以結構及裝配角度來看，第 III 種傘形齒輪開放機構的結構將會比較複雜，裝配難度較高，又上下轉盤的旋轉方向是不一致的。加上齒輪的接觸點多，因此這種機構建議為第二候選。

所以只剩下第 I 種小齒輪與齒條之機構，這種機構的結構單純，接觸點不多，精度容易達到要求，未來的檢修也比較簡單，因此就先以此來計算尺寸及強度。

二. 小齒輪及齒條的尺寸計算

首先，先要決定齒條的行程。由於 IC 盤載台旋轉的角度為 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ ，則小齒輪的旋轉角度和為 180° （半個圓周），因此小齒輪的節圓圓周長度之半即為齒條的行程。由 I 圖中得知，支柱右側至 IC 盤載台中心的距離為 240mm，若加上齒條的行程（假設為 100mm）及齒條前後端的預留空間各 80mm，則預估使用 500mm 長的齒條應該足夠。

接著來計算齒輪的尺寸，由上述假設齒條的行程為 100mm，則小齒輪的半圓周長為 100mm，小齒輪的圓周長為 200mm，節圓直徑 $= 200 \div \pi = 63.66\text{mm}$ 。若假設小齒輪及齒條的模數為 M1.5，反求小齒輪的齒數應 $= 63.66 \div 1.5 = 42.44$ 齒，接著將以小齒輪 42 齒及齒條長 500mm 來做強度計算。另外，為求齒條滑動的平順及支柱上齒條穿越孔的加工難易，齒條應使用棒狀的圓形齒條。而使用在無塵室之故，小齒輪及齒條的材料應該使用不銹鋼的質地。

三. 小齒輪及齒條的強度計算

今以 KHK 小原標準齒輪來看，小齒輪及齒條的規格暫訂為，SUS1.5-42 及 SURO1.5-500。

小齒輪的轉速為 150RPM，可由 $10\text{ms} / 90^{\circ} = 0.1\text{s} / 90^{\circ} = 0.4\text{s} / \text{rev} = 60\text{s} / 150\text{rev} = 150\text{RPM}$ 的換算得知。

SUS 正齒輪 SUS1.5-42 的強度計算結果

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
容許切線力(kgf)	101.8095
容許力矩(kgf·m)	3.2070
容許動力 (kW)	0.4940

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
容許切線力(kgf)	51.5311
容許力矩(kgf·m)	1.6232
容許動力 (kW)	0.2500

【使用條件輸入值】

配對種類	[齒條]
------	--------

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



配對齒數	-
配對齒面寬	[15]
配對齒輪加工法	[切削]
回轉數	[150.0] rpm
反覆回轉數	[10,000,000 以上]
負荷方向	[兩方向]
過負荷係數	[1.0]
潤滑油之動態黏度	[ISO VG 680] 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	15.0000
齒形係數	2.3874
荷重分配係數	0.5400
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	1.0000
安全率	1.2000
容許彎曲應力	7.0000

[注] 齒形經過修正 JIS 4 級

--- 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	1.1500
粗度係數	1.1070
滑動速度係數	0.9000
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
荷重分布係數	1.2476
動荷重係數 [注]	1.0000
過負荷係數	1.0000
安全率	1.2000
容許赫茲應力	41.3000



SURO 不銹鋼圓形齒條 SURO1.5-500 的強度計算結果

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA401-01] ---	
容許切線力(kgf)	89.3022
容許力矩(kgf-m)	0.0000
容許動力 (kW)	0.4333

--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
容許切線力(kgf)	29.2233
容許力矩(kgf-m)	0.0000
容許動力 (kW)	0.1418

【使用條件輸入值】

配對種類	[正齒輪]
配對齒數	[42]
配對齒面寬	[15]
配對齒輪加工法	[切削]
回轉數	[150.0] rpm
反覆回轉數	[10,000,000 以上]
負荷方向	[兩方向]
過負荷係數	[1.0]
潤滑油之動態黏度	[ISO VG 680] 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	12.5275
齒形係數	2.0665
荷重分配係數	0.5400
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]	1.1000
過負荷係數	1.0000
安全率	1.2000
容許彎曲應力	7.0000

[注] 無齒形經過修正 JIS 5 級



--- 面壓強度 [JGMA402-01] ---	
有效齒面寬	9.0000
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	1.1500
粗度係數	1.1070
滑動速度係數	0.9000
硬度比係數	1.0000
尺寸係數	1.0000
荷重分布係數	1.2000
動荷重係數 [注]	1.1000
過負荷係數	1.0000
安全率	1.2000
容許赫茲應力	41.3000

四. 小齒輪及齒條機構的討論

由上述 KHK 計算得知，不論是小齒輪或是齒條的彎曲強度或是面壓強度的容許切線力都能大於 15kgf 的荷重條件。其實精確地講應該要討論的是轉動慣量及轉動力矩才正確，由於轉動慣量求得不易，加上齒條的強度一定會大於小齒輪的強度，因此以小齒輪的轉動力矩來討論。若切線負荷為所述的 15kgf，則將 15kgf 乘以小齒輪的節圓半徑 $63 \div 2 = 31.5\text{mm} = 0.0315\text{m}$ ，得出小齒輪的負荷力矩 $= 15 \times 0.0315 = 0.4725\text{kgf}\cdot\text{m}$ ，小於小齒輪的容許彎曲負荷及容許面壓負荷，因此小齒輪的強度無虞，進而齒條的強度也是符合的。

另外，所稱荷重應是指載台機構的重量，而在實際上由於有軸承等降低摩擦的設計，因此轉動力矩會比由 15kgf 乘以轉動半徑所得之值來得小很多。

不過，圓形齒條再行程中通過支柱上的通過孔時無法達到密封的效果，為這個機構的最大缺點。附圖為小齒輪 SUS1.5-42，齒條 SUR1.5-500 的尺寸圖。

五. 傘形齒輪機構的尺寸計算

由於上述小齒輪及齒條機構的模數選用為 M1.5，運用在傘形齒輪時，由於傘形齒輪的模數是由傘形齒輪的大端開始向小端縮小，且以大端的模數為公稱模



數，因此模數應該要取得比小齒輪及齒條機構的大一些才行，暫時選定外徑約略與小齒輪大小相似的 M2.5 齒數 25 齒的等比傘形齒輪，KHK SUM2.5-25，皆下來再查核其強度。

六. 傘形齒輪機構的強度計算

則 SUM2.5-25 的節圓直徑為 62.5mm，切線負荷為 15kgf，則將 15kgf 乘以齒輪的節圓半徑 $62.5 \div 2 = 31.25\text{mm} = 0.03125\text{m}$ ，得出齒輪的負荷力矩 = $15 \times 0.03125 = 0.46875\text{kgf}\cdot\text{m}$ 。

SUM 不銹鋼直齒等比傘形齒輪 SUM2.5-25 的強度計算結果

【計算結果】

--- 彎曲強度 [JGMA403-01] ---		--- 面壓強度 [JGMA404-01] ---	
容許切線力(kgf)	49.8702	容許切線力(kgf)	9.5446
容許力矩(kgf·m)	1.2940	容許力矩(kgf·m)	0.2477
容許動力 (kW)	0.1993	容許動力 (kW)	0.0381

【使用條件輸入值】

回轉數	[150.0] rpm
反覆回轉數	[10,000,000 以上]
負荷方向	[兩方向]
過負荷係數	[1.0]
潤滑油之動態黏度	[ISO VG 680] 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	2.5255
齒形係數	2.5255
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	1.0000
信賴度係數	1.2000
容許彎曲應力	7.0000

[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	1.1500
粗度係數	0.7683
滑動速度係數	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	1.0000
信賴度係數	1.2000
容許赫茲應力	41.3000

七. 傘形齒輪機構的討論

由上述 KHK 計算得知，單純的看，SUM2.5-25 不銹鋼等比傘形齒輪在彎曲強度上之容許力矩為 1.294kgf-m 大於 0.46875kgf-m，因此在彎曲強度方面是通過的。不過仔細地說，由於力量的傳遞由一個主動傘形齒輪一上一下地分成兩路傳達到上下 IC 盤載台，因此原來的 15kgf 荷重一分為二來傳遞。故實際作用在各齒對上的力量也隨之減半，變成 7.5kgf。所以負荷力矩也會減半成 0.234375kgf-m，此數值遠小於 SUM2.5-25 的彎曲容許力矩強度，也與面壓容許力矩相近，因此判定強度是符合需求的。

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



值得一提的是，通常在低轉速（切線速率小於 4m/s ）的場合僅需考慮齒輪的彎曲強度即可，高速回轉時由於齒面接觸的次數大增，才需考慮以材料的疲勞為立論基礎的面壓強度。以 SUM2.5-25 齒輪為例，在 150RPM 左右時之節圓切線速率約為 $= (150 \times 62.5) \div (\pi \times 60 \times 1000) = 0.049\text{m/s}$ 。另外，理論上僅使用二顆 SUM2.5-25 即可達到所需的目的，並可使上下載台同向運轉。如果加上另二顆傘形齒輪，雖然載台的旋轉方向會不一致，但可平衡上下 IC 盤載台的旋轉，增加其穩定度，因此也建議使用。

裝配上，請注意傘形齒輪的裝配距離 50mm，如為達到降低齒隙的目的，也可稍微縮減使用。附圖為等比傘形齒輪 SUM2.5-25 的尺寸圖。

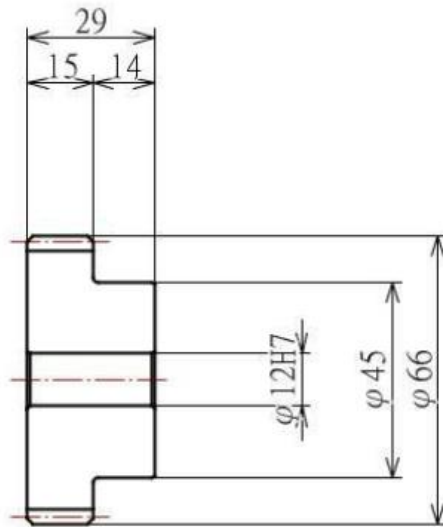
麗台國際有限公司

Lead Taiwan International Corporation

台中市台灣大道二段 285 號 20F

TEL : 886-423232026 , Website : www.ltica.com.tw ,

Email : salestw@ltica.com.tw



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°
不銹鋼正齒輪規格	
精度等級	11S B 1702-1 N8 準
齒輪基準断面	
齒形	標準全齒深齒
模數	1.5
壓力角	20°
齒數(條數)	42
角・旋向	
節圓直徑	63
轉位係數	
齒冠高	1.5
全齒高	3.375
齒頂圓直徑	66
跨齒厚()	
齒隙	
配對齒數	
調質	
熱處理	
深度	
附註	

		SUS303	
件號	名稱	材質	原材料尺寸
製圖		10.11.03	圖名
審核			
比例尺 N.T.S			
 for Web Catalog		圖號	

KHK SUS1.5-42

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



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°

不銹鋼圓形齒條規格	
精度等級	KHK R 001 5 ^級
齒輪基準断面	
齒形	標準全齒深齒
模數	1.5
壓力角	20°
齒數(齒數)	105
齒角・旋向	
節圓直徑	
轉位係數	
齒冠高	1.5
全齒高	3.375
齒頂圓直徑	
跨齒厚()	
齒隙	
配對齒數	
調質	
熱處理	
深度	
附註	

		SUS303	
件號	名稱	材質	原材料尺寸
製圖		10.11.03	圖名
審核			
比例尺 N.T.S			
KHK for Web Catalog			圖號

KHK SU01.5-500

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

