

LM導軌的特徵

直線導向面所要求的功能

容許負荷大
所有方向都具有高剛性
定位精度高
容易獲得高度的行走精度
能長期維持高精度

無間隙輕快地運動
出色的高速性
保養簡便
可用於各種環境

LM 導軌的特徵

容許負荷大以及高剛性

通過吸收安裝面的精度誤差，實現精度平均化效果

理想的四列圓弧溝槽兩點接觸構造

DF 設計具有出色的誤差吸收能力

摩擦係數低

類型眾多的選項（QZ 潤滑裝置，疊層接觸刮刷片 LaCS 等）

得到的結果

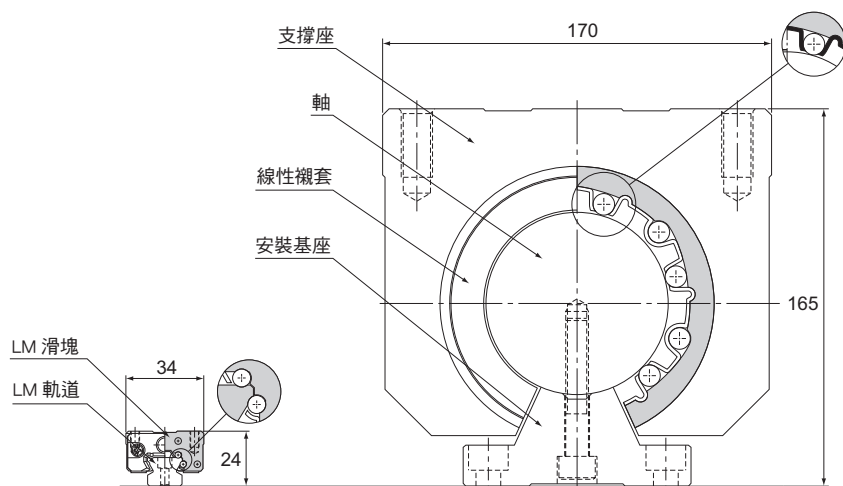
保養簡便
提高機械的生產率
節省能源效果大
總成本低
機械的高精度化
機械設計高效率化

容許負荷大和高剛性

【容許負荷大】

LM導軌採用了與滾珠徑相近的溝槽形狀，與線性襯套相比有很大的區別。如圖1所示，基本額定動負荷的大小很接近的LM導軌與直線滾珠襯套相比，外觀尺寸上差異很大。因此，使用LM導軌將能使裝置的外觀尺寸大幅度地減小。

節省空間的理由是R溝槽接觸構造與平面接觸構造的容許負荷的極大不同。其理由是，R溝槽接觸（R是球徑的5.2%）的情況與平面接觸的情況相比，每1個滾珠的容許負荷相差1.3倍，因為壽命是其3次乘方，所以壽命之比大約是2,200倍。（表1）



LM導軌 SSR15XW 型
基本額定動負荷：14.7 kN

線性襯套 LM80 OP 型
基本額定動負荷：7.35 kN

圖1 LM導軌和線性襯套的比較

表1 單顆滾珠負荷能力（P和P₁）

容許接觸面壓：4,200 MPa

滾珠直徑	R溝槽 (P)	平面 (P ₁)	P/P ₁
φ3.175 mm (1/8'')	0.90 kN	0.07 kN	13
φ4.763 mm (3/16'')	2.03 kN	0.16 kN	13
φ6.350 mm (1/4'')	3.61 kN	0.28 kN	13
φ7.938 mm (5/16'')	5.64 kN	0.44 kN	13
φ11.906 mm (15/32'')	12.68 kN	0.98 kN	13

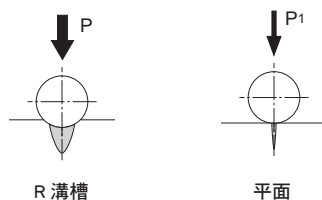


圖2 單顆滾珠的負荷能力

【高剛性】

LM 導軌能承受來自上下和左右方向的負荷。同時，因為採用了圓弧溝槽的接觸構造，如有需要的話能施加預壓來提高剛性。

與進給螺桿軸類或旋轉主軸的剛性相比，使用LM導軌的導向面的剛性是非常高的。

●LM導軌、進給螺桿軸類和旋轉主軸的靜剛性比較例

(主軸電動機7.5kW的立式機械加工中心)

表2 靜剛性的比較 單位:N/μm

構成部件	X軸方向	Y軸方向	Z軸方向
LM導軌	—	2400	9400 (徑向) 7400 (反徑向)
滾珠螺桿	330	—	—
主軸	250	250	280

注)進給螺桿軸類的剛性中，包括軸端支撐軸承的剛性。

[構成部件]

LM導軌:SVR45LC/C0

(C0間隙:預壓負荷=11.11kN)

滾珠螺桿:BNFN4010-5/G0

(G0間隙:預壓負荷=2.64kN)

主軸:一般切削用主軸

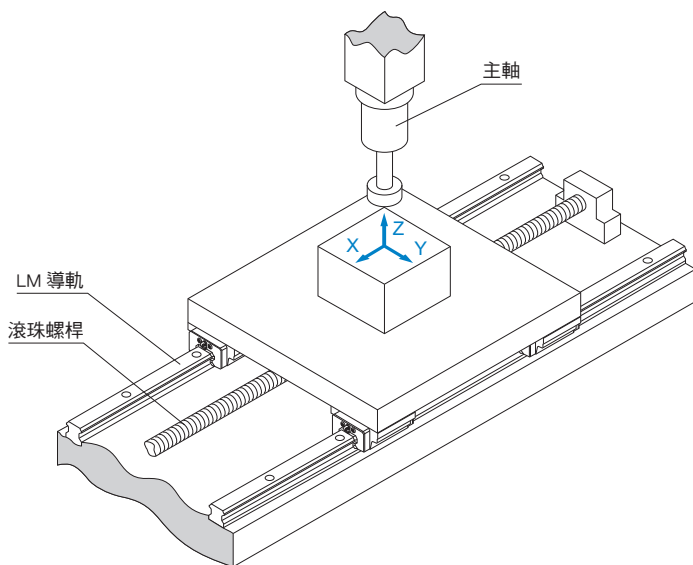
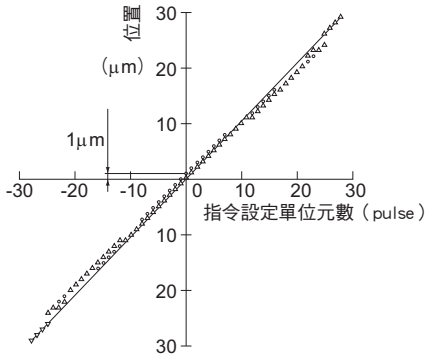


圖3

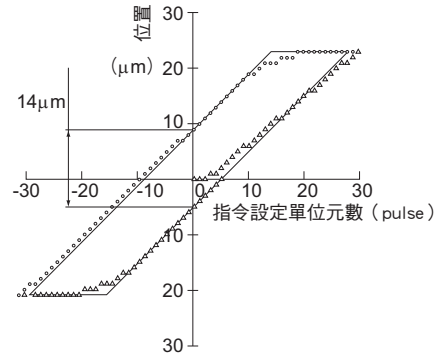
運動精度高

【無效運動很小】

LM導軌是理想的滾動導向裝置，動摩擦與靜摩擦之差很小，幾乎不產生空轉運動。



LM 導軌 HSR45 型



方形硬軌 + Turcite 耐磨片

(單軸工作臺承受 500kg 重量負荷時的測量值)

圖4 LM導軌與滑動導軌的空轉運動的比較

表3 空轉運動的比較

單位:μm

類型	間隙	測試方法			
		根據 JIS B 6330			根據最小設定 單位元進給的方法
		10mm/min	500mm/min	4,000mm/min	
LM導軌 (HSR45)	C1間隙 (參閱下表)	2.3	5.3	3.9	0
	C0間隙 (參閱下表)	3.6	4.4	3.1	1
方滑板 + Turcite	0.02mm	10.7	15	14.1	14
	0.005mm	8.7	13.1	12.1	13

LM導軌的徑向間隙

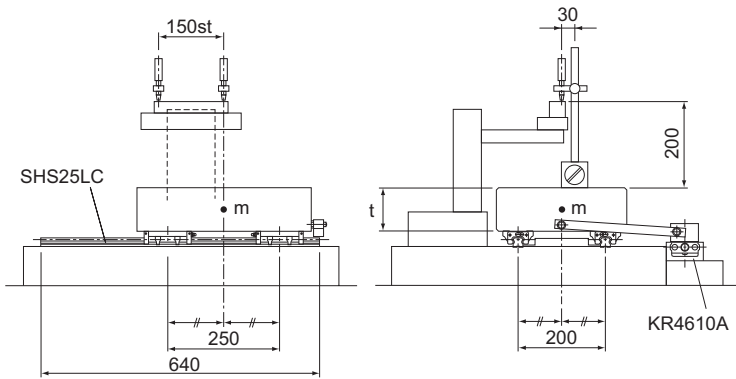
單位:μm

標記	C1	C0
徑向間隙	-25~-10	-40~-25

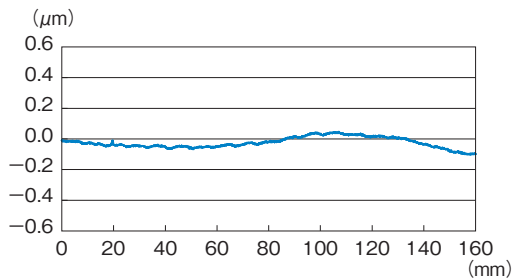
【行走精度高】

使用LM導軌可讓您實現高運動精度。

〔測量方法〕



俯仰精度



偏轉精度

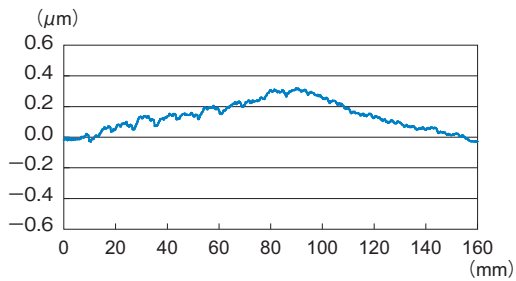


圖5 單軸工作臺的定位精度

【能長期維持高精度】

LM導軌是理想的滾動導向裝置，磨損非常小，即使長時間使用其精度都不會發生變化。如圖6所示，施加預壓後承受負荷進行使用，運動2,000km以後，預壓的殘存率為90%以上。

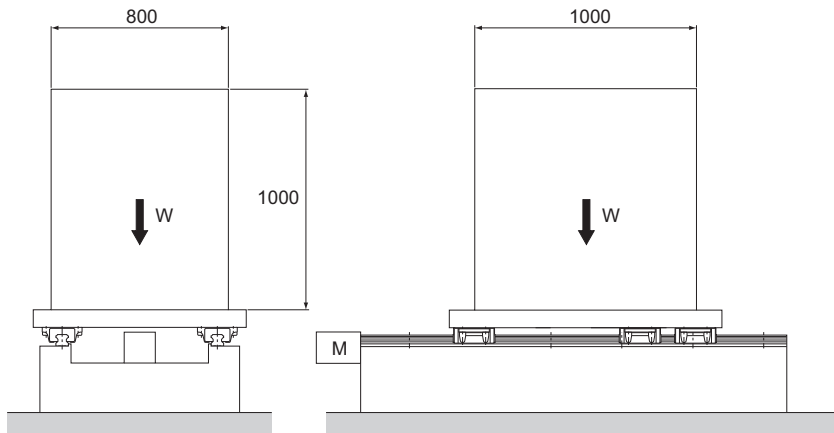


圖6 使用條件

〔使用條件〕

- 型號 : HSR65L
- 徑向間隙 : C0 (預壓負荷:15.7 kN)
- 行程 : 1,050mm
- 速度 : 15 m/min (在兩端部停止5秒)
- 快進時加減速度時間 : 300 ms (加速度: $\alpha = 0.833 \text{ m/s}^2$)
- 質量 : 6,000kg
- 驅動 : 滾珠螺桿
- 潤滑 : 鋰肥皂基潤滑脂2號
(每100km給脂)

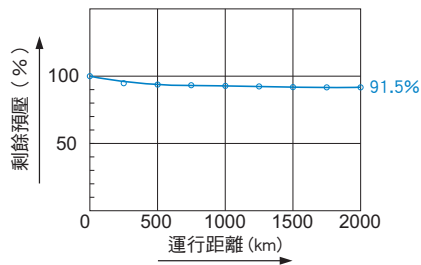


圖7 行走距離與預壓殘存率

通過吸收安裝面的精度誤差，實現精度平均化效果

LM 滾動導軌組件是將真圓度很高之滾珠組裝於滑塊內、而達到一種無間隙之結構。而且，它可以在不同軸上平行組合，形成多軸配置的導軌系統。因此，LM 導軌能夠通過誤差平均化，吸收平直度、平面度或平行度方面的中心位置差異，在加工LM導軌安裝機座過程中或者在安裝LM導軌時可能會發生這些差異。根據中心位置差異的長度或尺寸，LM 導軌上承受的預壓以及多軸配置中的導軌數目不同，平均化效果的幅度各異。當如圖 8 所示平臺上的 LM 軌道之一出現中心位置差異時，平臺差異幅度和實際動態精度（水平方向上的平直度）如圖9所示。

通過應用平均化效果所獲得的這種特性，可以很容易地建立高運動精度的導向系統。

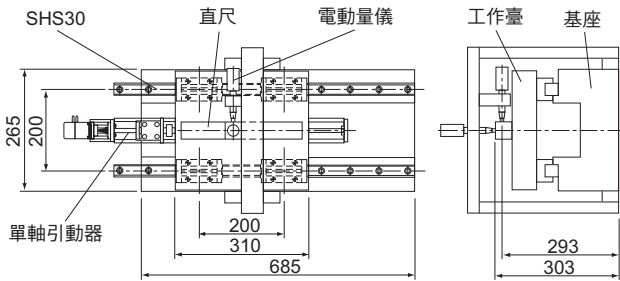


圖8

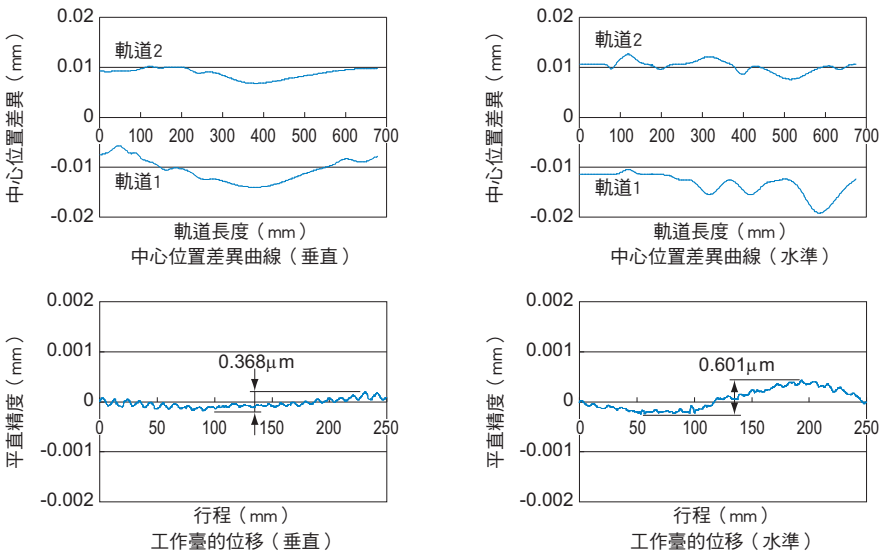


圖9

即使在未完成的安裝面上，LM導軌也大幅度地增加了工作臺上面的運動精確度。

【安裝例】

比較安裝面精確度 (a) 和工作臺運動精確度 (b) 時，結果如下：

上下	$92.5\mu\text{m}$	→	$15\mu\text{m}$	=	$1/6$
左右	$28\mu\text{m}$	→	$4\mu\text{m}$	=	$1/7$

表4 實際測量安裝部精度 單位： μm

方向	安裝面	平直度	平均 (a)
上下	底面 A	80	92.5
	底面 B	105	
左右	側面 C	40	28
	側面 D	16	

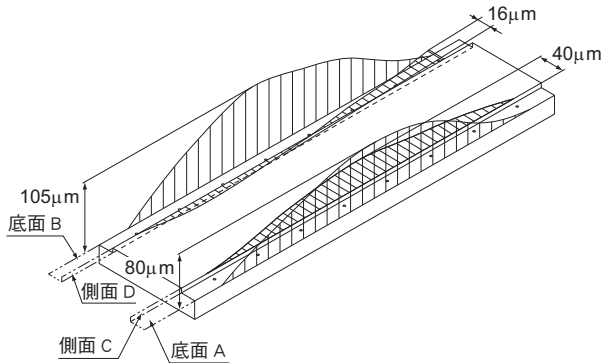


圖10 LM導軌安裝底座的安裝面精度 (僅銑削面)

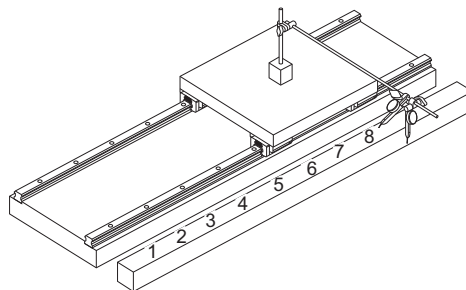


圖11 LM導軌安裝後的行走精度

表5 實際測量工作臺上的行走精度 (以圖10和圖11中的測量為基礎) 單位： μm

方向	測量點								平直度(b)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
上下	0	+2	+8	+13	+15	+9	+5	0	15
左右	0	+1	+2	+3	+2	+2	-1	0	4

保養簡便

與滑動導向裝置不一樣，LM 導軌不易發生磨損。所以，由於偏磨損所引起的滑動面的再調整作業，或精度的再調整等作業已不需要。同時，使用滑動導向裝置時因為必需在滑動面上形成油膜，需要將大量的潤滑油進行強制潤滑。可是使用 LM 導軌時，只需要定期補給少量的潤滑脂就可以了，保養很簡便。同時，有利於工作環境的清潔。

節省能源效果大

如表6所示·LM導軌節省能源的效果大。

表6 滑動和滾動特性的比較資料

機 械 樣 式		
機械類型	單軸平面研磨床(滑動導軌)	三軸平面研磨床(滾動導軌)
全長×全寬	13m×3.2m	12.6m×2.6m
總質量	17,000kg	16,000kg
工作臺質量	5,000kg	5,000kg
研磨面積	0.7m×5m	0.7m×5m
工作臺導向部	使用V-V導向的滑動	使用LM導軌的滾動
砂輪軸數量	單軸(5.5 kW)	三軸(5.5 kW + 3.7 kW×2) 研磨能力:3倍或更高

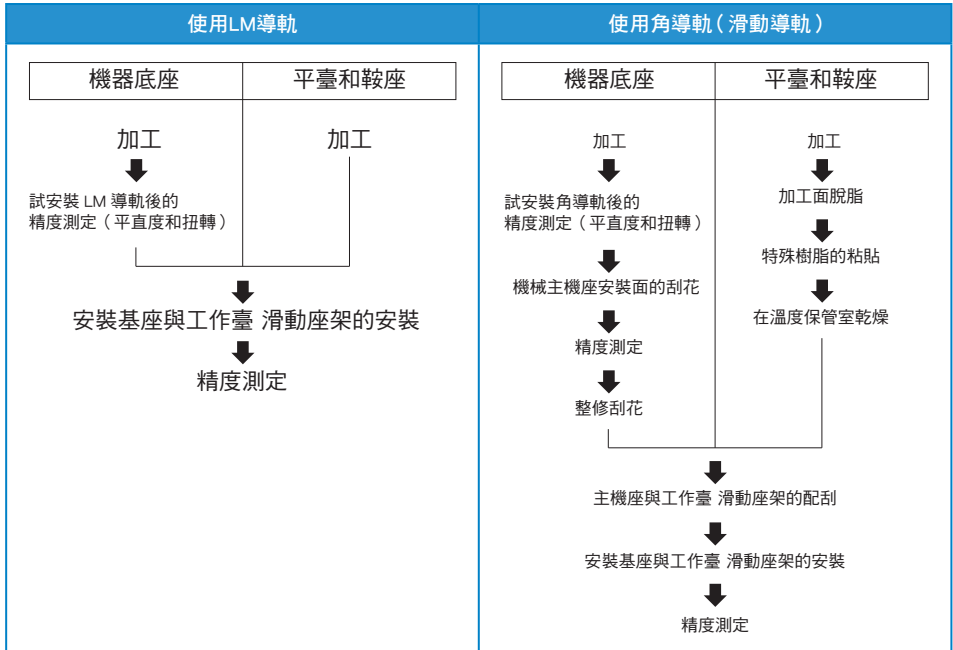
工 作 臺 驅 動 樣 式			比率
使用電動機	38.05kW	3.7kW	10.3
驅動油壓	內孔徑 ϕ 160×1.2MPa	內孔徑 ϕ 65×0.7MPa	—
推力	23,600N	2,270N	10.4
電力消耗量	38kWH	3.7kWH	10.3
驅動油壓油消費量	400 ℓ/年	250 ℓ/年	1.6
潤滑劑消費量	60 ℓ/年(油)	3.6 ℓ/年(油)	16.7

總成本低

LM 導軌與滑動導向裝置相比，能節省機械安裝時的勞力、時間及不需要熟練的調整作業等，因此安裝工時減少，有利於機械、安裝的低成本化。下面作為例子來說明，在機械加工中心機上，將滑動導向裝置換成LM導軌時，安裝步驟的差異。

若採用滑動導向裝置，安裝導軌的表面通常必須做研磨加工。但 LM 導軌即使用銑床加工或刨床加工也能獲得高精度。因而LM導軌減少了加工工時數，降低了加工成本。

[機械加工中心機的安裝步驟]

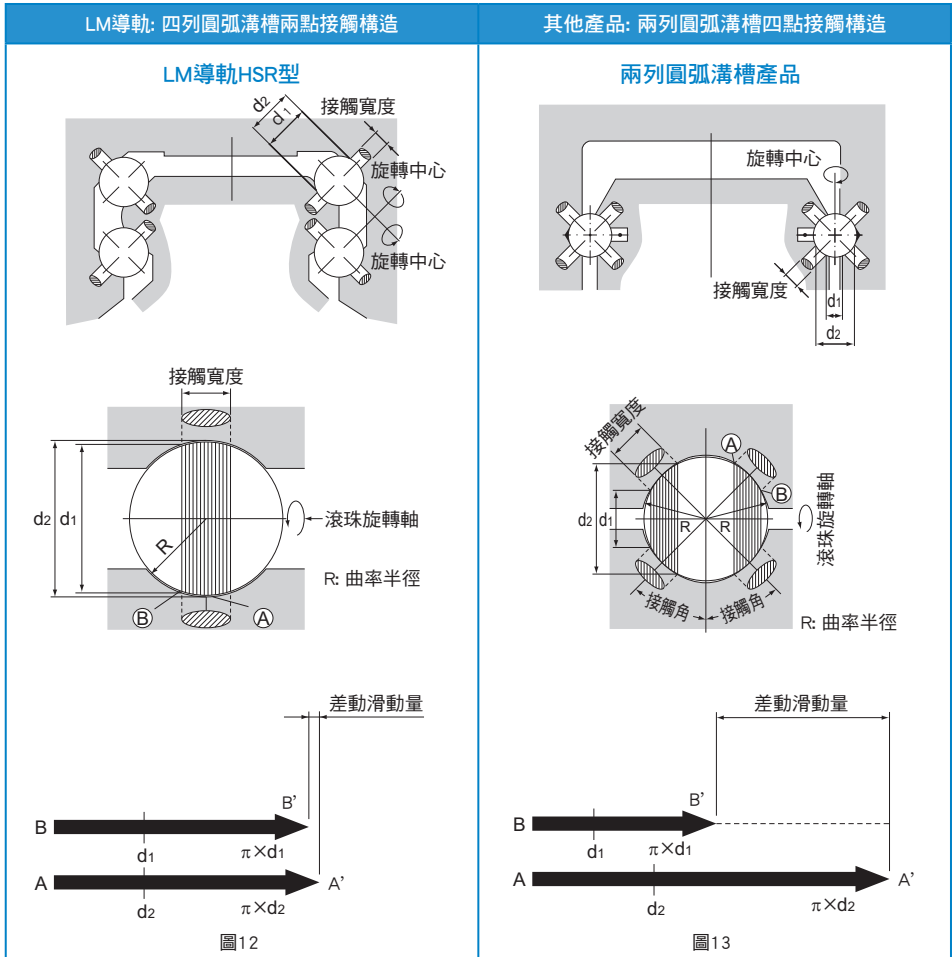


同時，不需要高精度時（如運動精度），LM導軌可安裝在未加工的鋼板上使用。

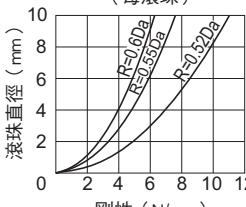
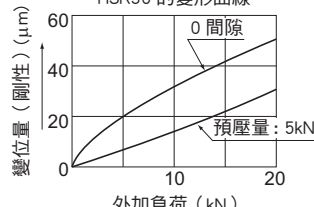
理想的四列圓弧溝槽兩點接觸構造

LM導軌具有競爭對手產品所不具備的自動調整能力。
這種特點是通過一套完美的四列圓弧溝槽兩點接觸構造來實現的。

[LM導軌和相似產品的特性比較]



如圖12和圖13所示，當滾珠旋轉一周時，滾珠滑動的位移為內表面直徑圓周 (πd_1) 和外接觸面直徑圓周 (πd_2) 之差。(該滑動位移稱為差動滑動量。) 如果差異較大，滾珠在滑動的同時旋轉，摩擦係數會增加超過10倍，而且摩擦阻力也顯著增加。

四列圓弧溝槽兩點接觸構造	兩列圓弧溝槽四點接觸構造
平滑的運動	
<p>由於滾珠在負荷方向上有兩點與溝槽接觸，如第 B 1-19 的圖 1 2、圖 1 3 所示，即使在有預壓或正常負荷情況下，d_1 和 d_2 之間的差異較小，因此差動滑動量降低到最低，從而實現平滑的滾動運動。</p>	<p>如第 B 1-19 圖 1 2 和圖 1 3 所示，接觸面上 d_1 和 d_2 之間的差異較大，因此，如果發生以下任何情況，滾珠會產生差動滑動量，導致摩擦力與滑動阻力一樣大，而且由於異常摩擦，導致壽命縮短。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 承受預壓時； (2) 承受橫負荷時； (3) 安裝 2 軸以上時平行度不好的情況下 (4) 發生自轉現象時
安裝面的精度	
<p>在完美的兩點接觸構造中，四列圓弧溝槽均擁有適當的接觸角度。在這種構造下，由於滾珠彈性變形和接觸點的移動，因此安裝面的少量變形可以在 LM 滑塊內被吸收，從而實現自然而平滑的運動。這樣，對於傳輸系統之類的機器，無需高精度、高鋼性的堅固安裝基座。</p>	<p>在哥德式溝槽產品中，每一個滾珠與溝槽的接觸點有四個，其本身無法實現彈性變形並且接觸點無法移動（即不具備自調節能力）。因此，即使是安裝面出現輕微變形或者軌道底座出現精度誤差，均得不到吸收，所以無法實現平滑運動。相應地，必須加工一套剛性高、精度好的安裝基座，並安裝一套精密的軌道。</p>
剛性	
<p>在兩點接觸構造下，即使出現相對較大的預壓，滾動阻力並不會異常增大，可以獲得較高的剛性。</p>	<p>由於四點接觸會導致差動滑動量，因此無法承受足夠的預壓，並不能獲得較高的剛性。</p>
額定負荷	
<p>由於滾珠滾道的曲率半徑為滾珠直徑的 51% 到 52%，因此可以達到較大的額定負荷。</p>	<p>由於哥德式溝槽的曲率半徑為滾珠直徑的 55% 到 60%，因此額定負荷比圓弧溝槽的額定負荷降低了大約 50%。</p>
剛性的差別	
<p>如圖 14 所示，根據曲率半徑不同或者預壓的差異，剛性的變化非常顯著。</p>	
曲率半徑和剛性	
<p style="text-align: center;">曲率剛性的比較 (每滾珠)</p> 	<p style="text-align: center;">預壓與變位量 HSR30 的變形曲線</p> 
圖 14	
工作壽命的差別	
<p>由於哥德式溝槽的額定負荷比圓弧溝槽的額定負荷降低了大約 50%，因此工作壽命也降低至 87.5%。</p>	

[安裝面的精度誤差和滾動阻力的試驗資料]

接觸構造的差異轉變為滾動阻力。

在哥德式溝槽接觸構造中，每一個滾珠均四點接觸，如果為增加剛性而施加預壓，或者如果安裝精度的誤差較大，則會產生差動滑動量或自轉現象。這會顯著增加滾動阻力並導致在早期出現異常磨耗。

以下是通過比較四列圓弧溝槽兩點接觸構造的LM導軌與兩列哥德式溝槽四點接觸構造產品得出的試驗資料。

〔樣本〕

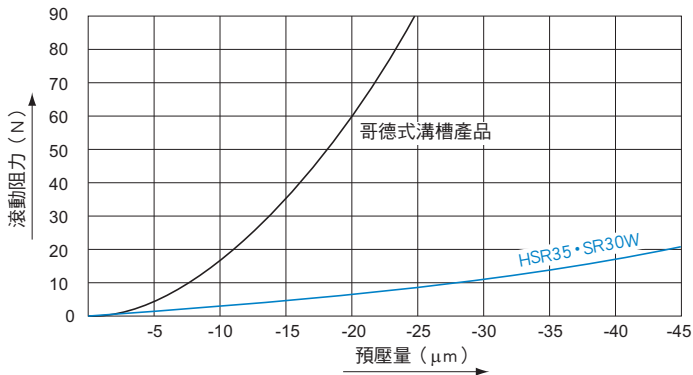
- | | |
|---------------|----|
| (1) LM導軌 | |
| SR30W(自調整型) | 兩組 |
| HSR35(四方向等負荷) | 兩組 |
| (2) 兩列圓弧溝槽產品 | |
| 與HSR30尺寸相似的型號 | 兩組 |

〔使用條件〕

徑向間隙 $\pm 0\mu\text{m}$
 無密封墊片
 無潤滑
 負荷:工作臺質量30 kg

資料1:預壓與滾動阻力

當承受預壓時，哥德式溝槽產品的滾動阻力顯著增加，並且產生差動滑動量。即使在預壓情況下，LM導軌的滾動阻力並沒有異常增加。



資料2:兩根軸之間的平行度誤差與滾動阻力

如圖15所示，平行安裝的部分軌道被平行移動，並測量該點的滾動阻力。當平行度誤差為0.03mm時，哥德式溝槽產品的滾動阻力是34N，誤差為0.04mm時，滾動阻力是62N。這些阻力與滑動摩擦等效，表明滾珠與溝槽處於滑動接觸之中。

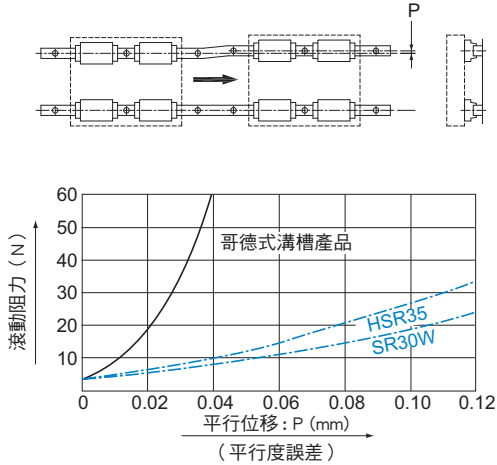
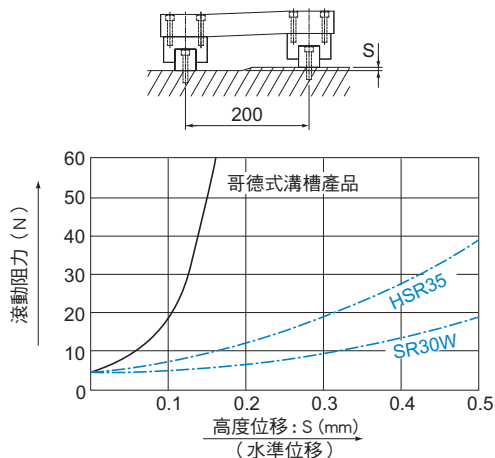


圖15

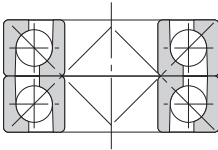
資料3:上下軌道水平面的差異與滾動阻力

移動一邊軌道的底部距離 S ，以便在兩支軌道之間產生高低差，然後測量滾動阻力。如果在左右軌道之間存在高低差，則在LM滑塊上產生扭矩，對於哥德式溝槽產品會出現自轉。而圓弧溝槽的LM導軌，即使兩支軌道之間的高低差高達0.3/200mm，LM導軌可以吸收誤差，滾動阻力沒有很大的增加。



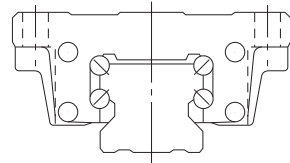
DF設計具有出色的誤差吸收能力

由於LM導軌擁有與斜角接觸滾珠軸承面對面安裝相類似的接觸構造，因此它具備出色的自調節能力。

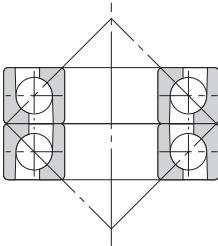


斜角接觸滾珠軸承面對面安裝 (DF型)

由於作業點之間的距離 l 較小，因此可以取得較大的容許傾斜角。(很高的自動調整能力)

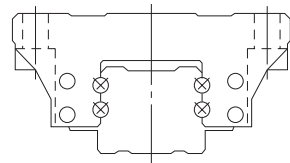


四列圓弧溝槽接觸DF型 (LM導軌)
不容易受安裝面誤差影響的內部構造



斜角接觸滾珠軸承背對背安裝 (DB型)

由於作用點之間的距離較大，因此容許傾斜角較小



四列哥德式接觸
需要很高的安裝面精度

安裝在平面上的LM滾珠導軌，由於平面度或水平度的誤差或者平臺的偏斜會承受力矩。因此，導軌具備自調節能力是基本的要求。

LM導軌HSR型	類似競爭產品
<p>由於距離軸承作用點的距離較小，安裝誤差引起的內部負荷較小，因此能輕快運動。</p>	<p>由於距離軸承作用點的距離較大，安裝誤差引起的內部負荷較大，因此自調節能力較小。</p> <p>對於擁有背對背安裝的斜角接觸滾珠軸承的LM滾珠導軌，如果出現平面度誤差或平臺的偏斜，則滑塊上承受的內部負荷約比面對面安裝構造大6倍，並且工作壽命短得多。而且，滑動阻力的波動更大。</p>