

# Linear Shaft Motor



# ■ 线性磁轴电机 Linear Shaft Motor

## 线性磁轴电机——下一代传动装置

由日本脉冲马达株式会社(NPM)提供的线性磁轴电机是下一代线性无刷电机。当可靠性、零维护、零齿槽效应和精度至关重要时，NPM 的线性磁轴电机是理想的选择。

## 什么是线性磁轴电机？

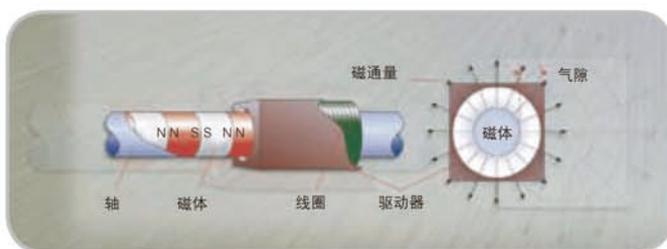
是由一个磁轴和一个电流控制的圆柱绕组线圈滑块组成的直驱式线性无刷伺服电机。

### ◆ 线性磁轴电机的三个设计理念如下：— 简单 — 高精度 — 非接触 —

线性磁轴电机非常简单。仅由两个部件组成，一个磁轴和一个圆柱绕组线圈“滑块”。

线性磁轴电机的精度非常高。在滑块和轴内没有铁，这样就实现了无芯设计的精度和零齿槽效应。而线性磁轴电机的线圈本身形成了铁芯，从而实现了铁芯电机的刚度。

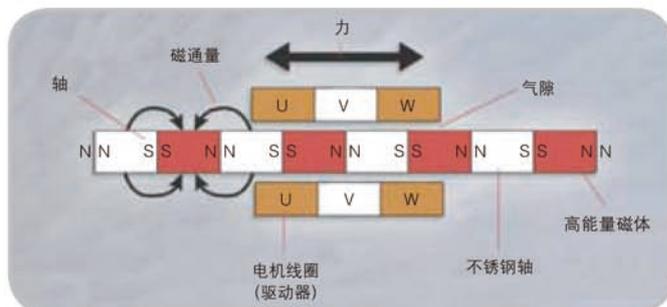
线性磁轴电机为非接触式。因为线圈完全绕住了磁体，所以所有磁通量都得到了有效利用。这样就实现了大公差环形气隙(0.5至1.75 mm)。该气隙并非很关键，也就是说随着设备行程的气隙变化，力并没有变化。



## 下一代线性电机

### 线性磁轴电机的基本结构

线性磁轴电机的基本结构是由一个带内置高能量永磁体的不锈钢轴和一个含有线圈的滑块组成。因为线圈完全绕住了磁体，所以磁通量都得到了有效利用，实现了在其他线性电机中不可能实现的大推力和高效率。得益于其简单的结构，线性磁轴电机能够实现 $0.14\text{nm}^1$ 的高分辨率。线性磁轴电机具有各种不同的特点。



### 线性磁轴电机的突出特点

- 高推力(2340 N)，最高可达8000N
- 因为无摩擦，所以非常安静，唯一的机械接触部分为线性滑轨。(采用气动滑块实现了完全的非接触运行。)
- 简化的设备结构实现了长达 3 米的行程
- 高精度( $0.14\text{nm}^1$ )
- 高速传动(6.5m/s)
- 低速传动( $8\ \mu\text{m/s}$ )
- 速度均一性(100mm/s 时为  $\pm 0.006\%$ )
- 耐久结构，即使在水中或真空中也能运行

<sup>1</sup> 重复定位的精度取决于光栅尺的分辨率。此外，还需要有足够的机器硬度。同样，绝对定位精度也完全取决于光栅尺。其不取决于线性磁轴电机发热引起的膨胀或收缩。

## 线性磁轴电机与其他技术

### 线性磁轴电机

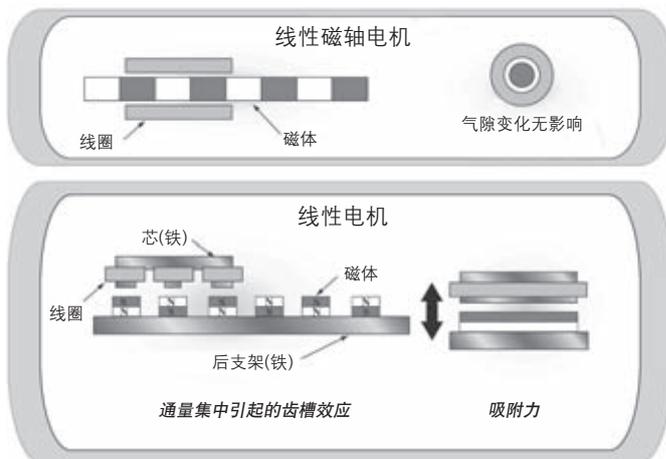
传统意义上，线性电机的设计理念是将其旋转部件“水平打开”。这与穿过传统电机转子和定子然后将其打开是相同的。虽然这也是一种解决方案，但是也存在一些固有缺点。

线性磁轴电机模仿滚珠丝杠，不像其他线性技术那样是水平的旋转电机。线性磁轴电机含有一个活动线圈组件(滑块)，其环绕着圆磁轴。轴组件内的磁体并未暴露出来。由于这样的设计，滑块能够完全利用磁通量。因此，气隙并非很关键，在滑块和轴之间的公称环形气隙通常为 0.5–1.75mm(0.02”–0.07”)。大的气隙便于对中。

除了圆柱形和水平构造的明显区别之外，另一个区别是多数电机的磁路由磁铁制成，而线性磁轴电机则不是。因此，优质线性磁轴电机没有含铁的芯，所以在滑块和轴之间也就没有磁引力。

在轴和滑块(线圈)之间也没有任何吸附力，从而消除了齿槽效应。

因为轴式线性电机完全利用了磁通量，所以其效率非常高。线性磁轴电机无需任何形式的正常运行冷却，因此无需在设计时考虑任何形式的冷却(热沉、液体或强制气体冷却)。

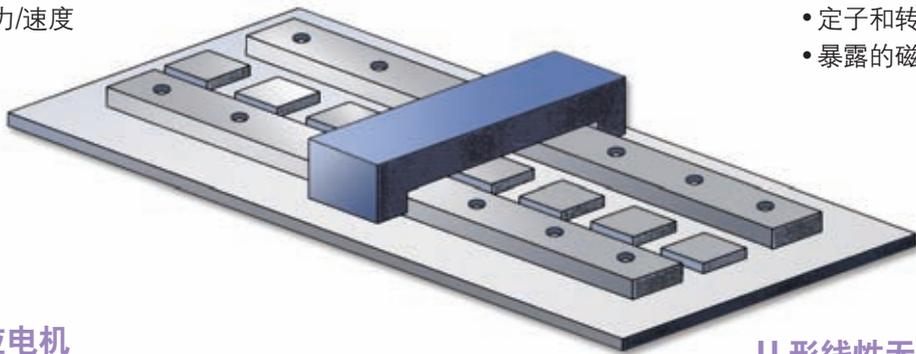


#### 优点

- |           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| • 紧凑轻便    | 与传统类型的线性电机相比重量轻。               |
| • 零齿槽效应   | 无铁芯设计实现了零齿槽效应。                 |
| • 大气隙     | 0.5mm 至 1.75mm 的公称环形气隙便于安装和对中。 |
| • 高效      | 线性电机的一些最高力常数。                  |
| • 封闭磁体    | 适合各种环境。                        |
| • 有效利用磁通量 | 滑块包住了磁体，充分利用了磁通量。              |

### 线性步进电机

- 开环或低伺服刚度
- 限制力/速度



### 线性感应电机

- 物理尺寸大
- 功率消耗高
- 必要的复合冷却
- 定子/转子之间力较大

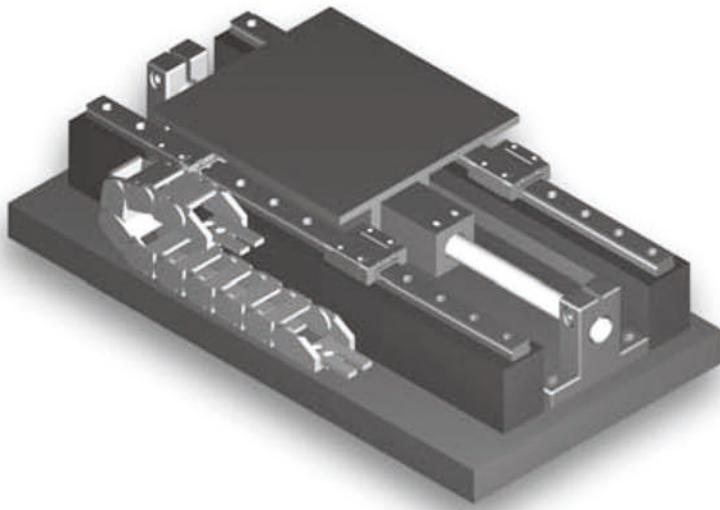
### 卷筒型线性电机

- 所需的精确气隙
- 定子和转子之间力较大
- 暴露的磁轨道

### U 形线性无刷电机

- 夹层转子线圈的散热受限
- 部分利用磁通量的设计
- 机械刚度有限

## 线性磁轴电机与旋转——线性



线性磁轴电机提供有效荷载定位的直接推力。

其无需旋转-线性转换装置。

例如：滚珠丝杠、齿条齿轮、齿带。

### 无需润滑/无需调整维护

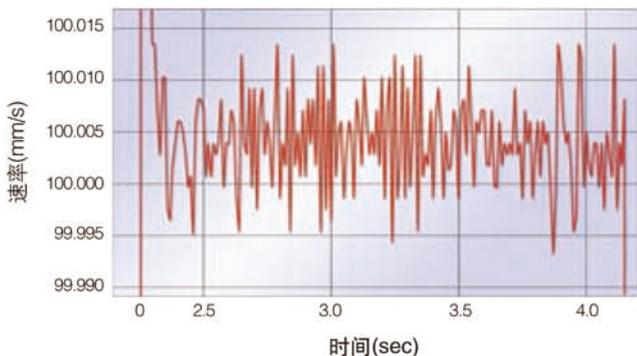
无需润滑(滚珠丝杠则需要)，而且即使磨损/老化，性能也不会削弱(滚珠丝杠和带传动系统的性能则会削弱)。因为无需维护、寿命较长，所有整个产品寿命周期的成本降低。轴和滑块之间的缝隙消除了调整的必要性(如滑轨定位或同心调整)，而使用滚珠丝杠则需要进行这些调整。

### 环保型——无噪音/无尘操作

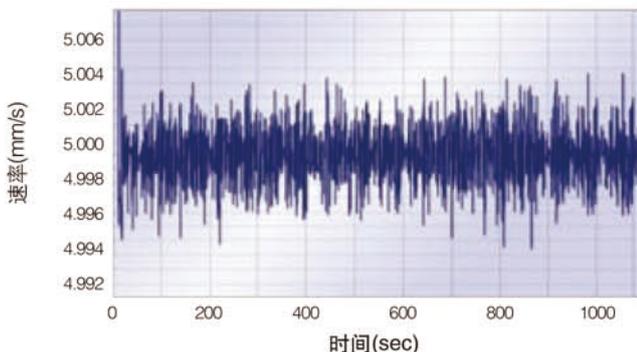
在非接触式线性磁轴电机中不存在滚珠丝杠和气动系统不可避免的灰尘和噪音。这不仅非常适用于无尘室环境，而且还通过减少噪音和灰尘而大大改善了工作环境。

### 速度波动

高速 (速率：100mm/sec)



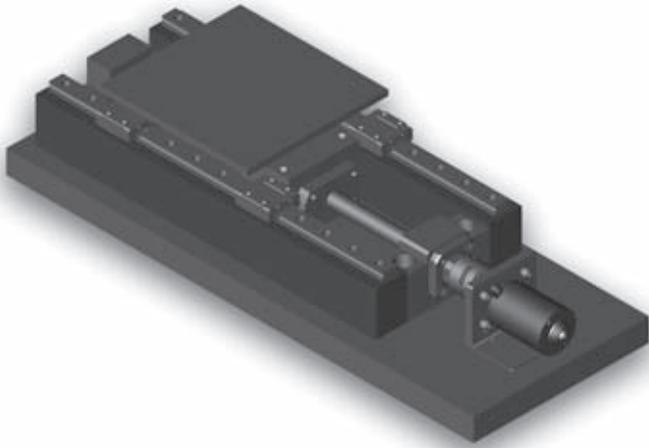
低速 (速率：5mm/sec)



线性磁轴电机为无芯设计，所以能够在较大的速度范围内实现速度均一。

### 线性磁轴电机的优点

- 简单的机械装置      活动部件数量最少
- 直推电机              无齿轮隙、无磨损
- 宽速度范围            8 μ m/sec 至 >6.5m/sec
- 平稳                      速度均一性
- 安静                      真正的无声操作
- 零维护电机            无内部活动部件
- 较小的惯性            质量较小
- 较小的功率要求      直接传动系统比耦合系统效率更高



## 高精度 / 高重复定位性 / 速度均一性

线性磁轴电机具有滚珠丝杠不能实现的高精度，而且使您能够大大提高高精度工艺的收益，而其他线性装置的收益则受限。

## 保持高精度的同时实现高速运动

高速运转时线性磁轴电机的高精度缩短了滚珠丝杠所需的行程时间。

## 应对环境变化的良好性能(如温度)

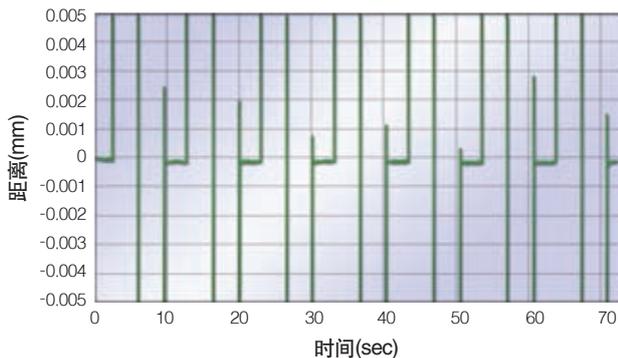
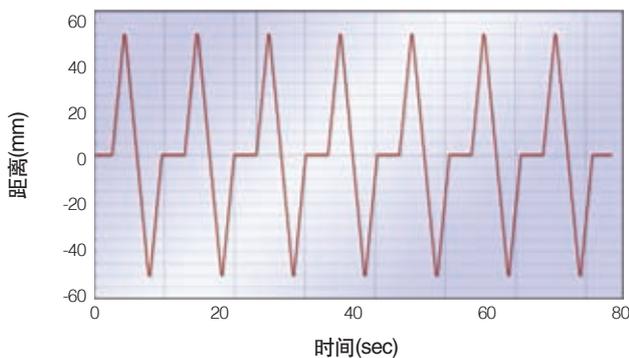
对于精度运转，其他线性装置需要严格控制包括温度在内的工作环境。而无直接接触运转的线性磁轴电机则能够实现恒定的精度，不受环境变化的影响，而且大大降低了气候控制成本。

## 使用线性磁轴电机能够：

- 减少部件数量
- 节省空间
- 无需使用定位滑轨和同心装置进行调整。

### 精度

静态定位性能 (光栅尺分辨率 8.6nm)

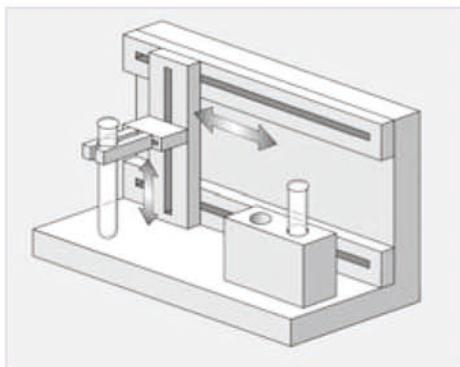


这是上图放大 1 万倍后的中心部分。

<sup>1</sup> 重复定位的精度取决于光栅尺的分辨率。此外，还需要有足够的机器硬度。同样，绝对定位精度也完全取决于光栅尺。其不取决于线性磁轴电机发热引起的膨胀或收缩。

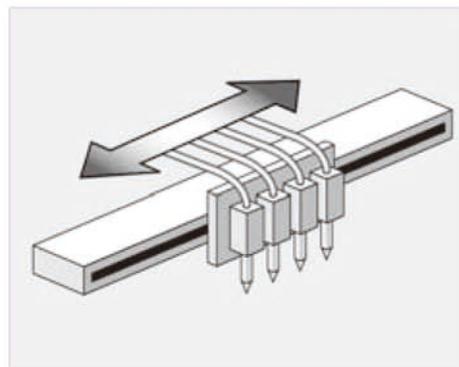
## 特点和应用

利用此页上所列出的线性磁轴电机的一个或多个特点就可以实现广泛的应用。



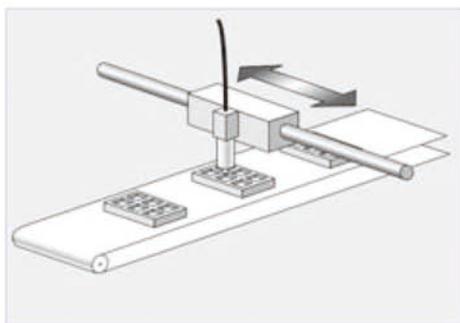
### 无摩擦、安静。

线性磁轴电机无接触的活动部件。因此，也就没有噪声源和摩擦源。这样，其可以用于安静的无尘室环境中，如实验室或医疗机构。



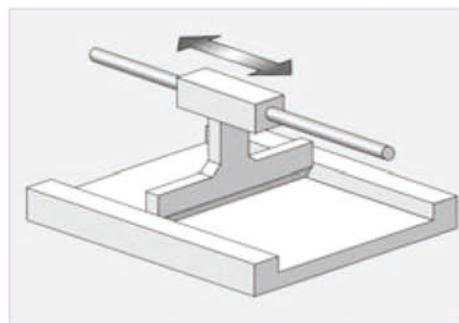
### 高速运动。

最高速度达 6.5m/s。非常适用于高速打印机的线性打印头驱动。



### 环境的兼容性。

可以在使用油或水的生产场所或真空中良好运行。



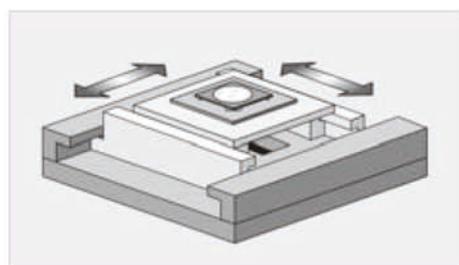
### 低速运动。

最低速度达  $8 \mu\text{m/s}$ 。非常适用于使用滚珠丝杠难以控制的设备，如生命科学设备。



### 长行程度。

最长达 3 米，可完美用于高精度传输，例如相对较长距离上的 LCD。



### 高分辨率。

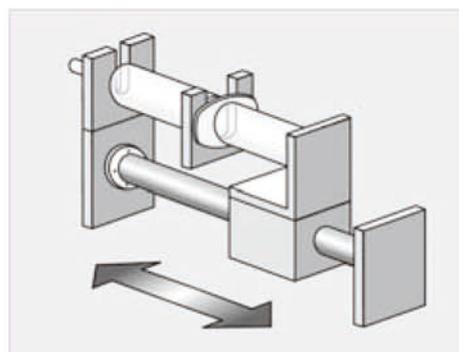
适用于半导体设备的精密微定位。



### 高推力。

标准规格峰值推力高达 2340 牛，最高可达 8000 牛。可以用于准确传输高负载，如在临床设备内或工厂地面传输生产线上进行传输。

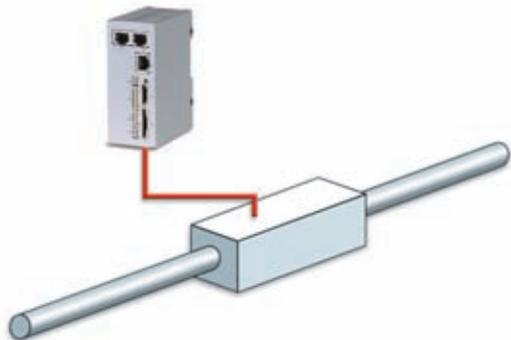
特殊要求可另行商谈。



### 无速度波动。

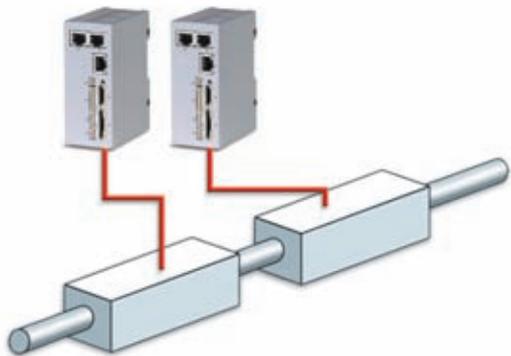
非常适用于恒速配药，而使用导螺杆或滚珠丝杠是难以实现的。

根据复杂应用，可以混合和搭配线性磁轴电机来实现所需的负载推力。



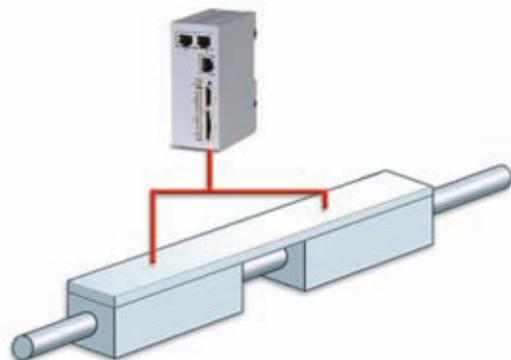
### 单驱动系统

这是基本的驱动系统。可以用 X 轴和 Y 轴来创建一个 X-Y 平台。



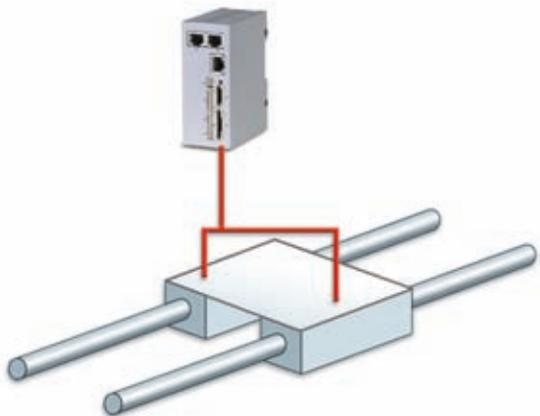
### 多驱动系统

可以使用多个滑块，采用单轴支撑一些应用的复杂运动。



### 串轴驱动系统

可以在同一个轴上使用两个或多个滑块，以增加推力。

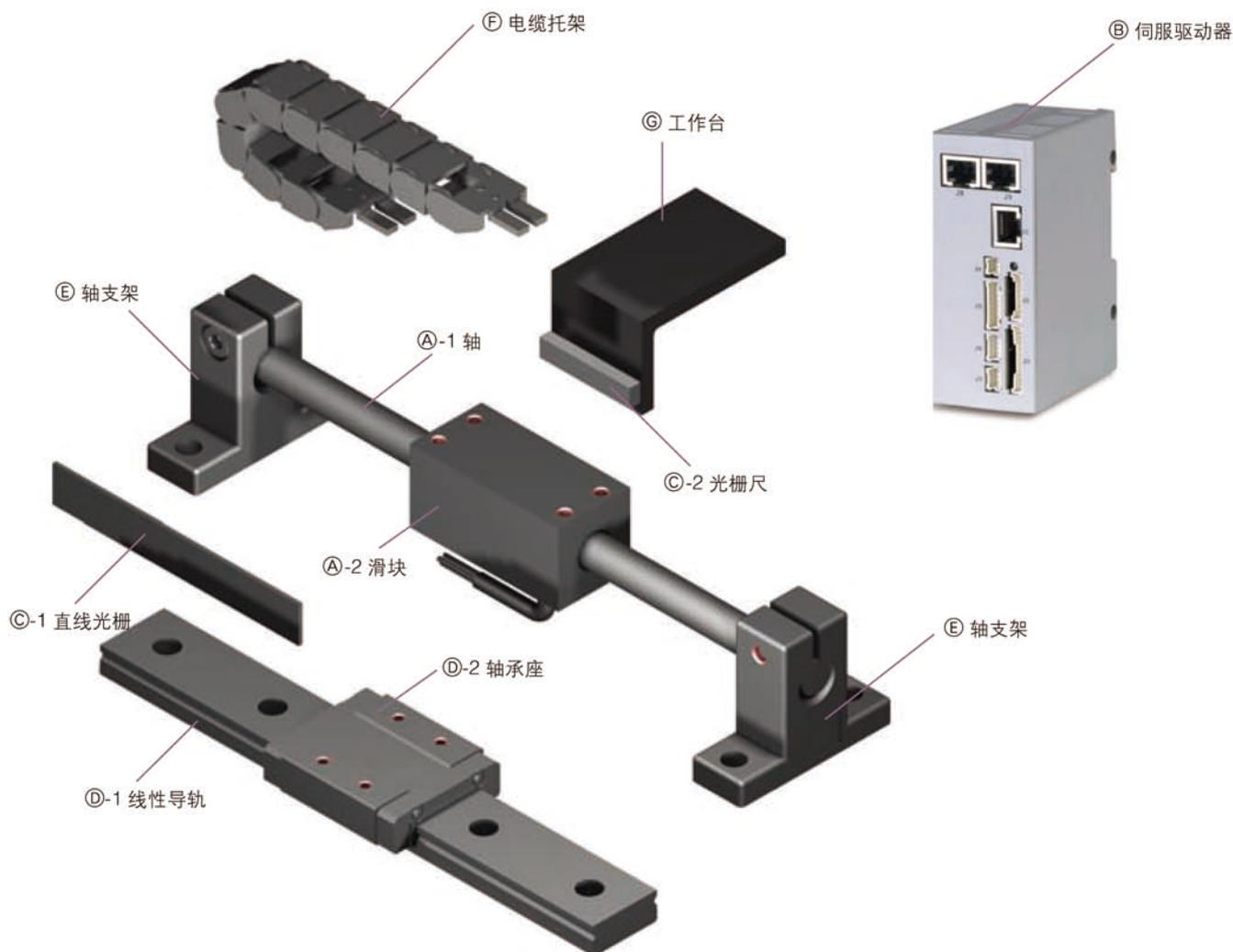


### 并轴驱动系统

如图示，可以并轴使用线性磁轴电机(两个或多个滑块和两个轴连接同一负载)实现移动重物体所需的大推力。

## 系统配置

线性磁轴电机的设计使您能够采用线性磁轴电机取代标准滚珠丝杆系统，并实现更快的速度和更高的分辨率。但是，要使用线性磁轴电机系统实现最佳性能，必须对整个系统结构进行优化。请注意很多设计与传统的伺服系统略有不同。我们将讨论创建线性磁轴电机系统所需的主要部件以及设计系统时需要考虑的问题。



### 配置线性磁轴电机

使用线性磁轴电机配置系统需要使用下列周边设备：

- A. 线性磁轴电机
- B. 伺服驱动器
- C. 光栅尺(光学或磁性)

项目 D(线性滑轨)是系统(滑块或轴)的必需部件，但是必须更多地考虑应用、要求规格和环境条件。

其他项目(E-G)是选购件，需要根据应用来选用。

### 装配线性磁轴电机系统的步骤

根据力和行程的要求选择线性磁轴电机。



根据力和行程的要求选择轴支架。



根据成本和平稳性(性能)的限制选择线性滑轨(轴承)。



选择光栅尺，实现所需的定位分辨率。



选择伺服驱动器，配合线性磁轴电机的功率要求。



选择 OTL、限位开关和其它部件并组装线性磁轴电机。



## 选择伺服驱动器，配合线性磁轴电机的功率要求。



选择符合您所选线性磁轴电机功率要求的伺服驱动器。为帮助选择正确伺服驱动器，请尽管利用“工程注释”部分的“驱动器尺寸指南”。可以使用任何三相无刷直流伺服电机驱动器来驱动线性磁轴电机。选择伺服驱动器时，请检查探测磁位的方式。

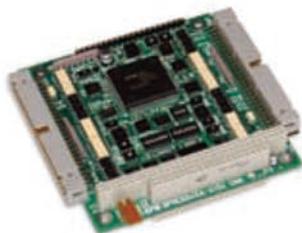
因为线性磁轴电机的标准配置中没有霍尔传感器，所以如果您所选的伺服驱动器需要霍尔传感器，则应该

另加这一选购件。如果伺服驱动器无需使用霍尔传感器，则您可以使用其标准配置中的线性磁轴电机。

多数伺服驱动器使用峰值单位表示额定电压和电流，而多数伺服电机(如线性磁轴电机)则使用 RMS 单位。选择伺服驱动器时请注意这些单位。“工程注释”部分有将峰值转换为 RMS 值的公式。

## 运动控制卡

NPMC/PPCI 系列板级运动控制器为多轴数字伺服电机控制器。4轴 PC/104 总线(NPMC6045A-4104)和 4 轴 PCI-总线(PPCI7443)的板有供货。



一般特点有高脉冲速率性能(6.5Mpps)、S曲线、编码器反馈输入以及直线、圆弧插补。NPMC/PPCI 系列功能强大，便于编写您自己的运动程序(该软件使用Microsoft Windows™ 进行快速启动和测试，含有 C程序库)。

## 网络

运动控制网络系统是能够实现成本和布线节省同时提供高速串行通讯(20Mbps)和高精度运动控制的通讯系统。

运动控制网络系统是一种模块化串行通讯产品，使您能够创建所需的配置。

运动控制网络系统有三种设备：

### 主要设备

PCI PPCI-L112

PC/104 NPMCMNET-I/O104

### 输入/输出设备

32 - 数字输入 MNET-D340

32 - 数字输出 MNET-D304

16 - 数字输入 & 16 数字输出 MNET-D322

### 运动控制设备

MNET-M101-DUM

## 选择 OTL、限位开关和其它部件并组装线性磁轴电机。

### 温度传感器

可以在驱动器主电源上加一个温度传感器 OTL(过温限制)，如果由于过载而导致过热，则 OTL 会切断电机电源。线性磁轴电机线圈的最高温度限制为 135°C。

### 限位开关

可以将限位开关装在轴上负载的任何一侧，以防止负载过大，导致损害。很多光栅尺都有限位开关。

### 布线和电缆托架

通常，线性磁轴电机采用一个固定轴和一个活动滑块来运转。由于这样的配置，需要使用活动电缆。在机器上必须有一种设备来托住电缆。为线性磁轴电机提供一个连接器，使您能够在电缆可能活动的位置以设计的弯曲半径来连接电缆。电缆应该为铠装双绞线配置，与机器底座、伺服驱动器和电机良好接地，以降低 RFI。



### 霍尔传感器

霍尔传感器是能够感应磁位并将该信息传递给伺服驱动器的设备。一些伺服驱动器需要霍尔传感器反馈来进行交换。一些伺服驱动器使用霍尔传感器来获取相对于轴的驱动器位置交换信息。其他伺服驱动器能够获取光栅尺的交换信息。



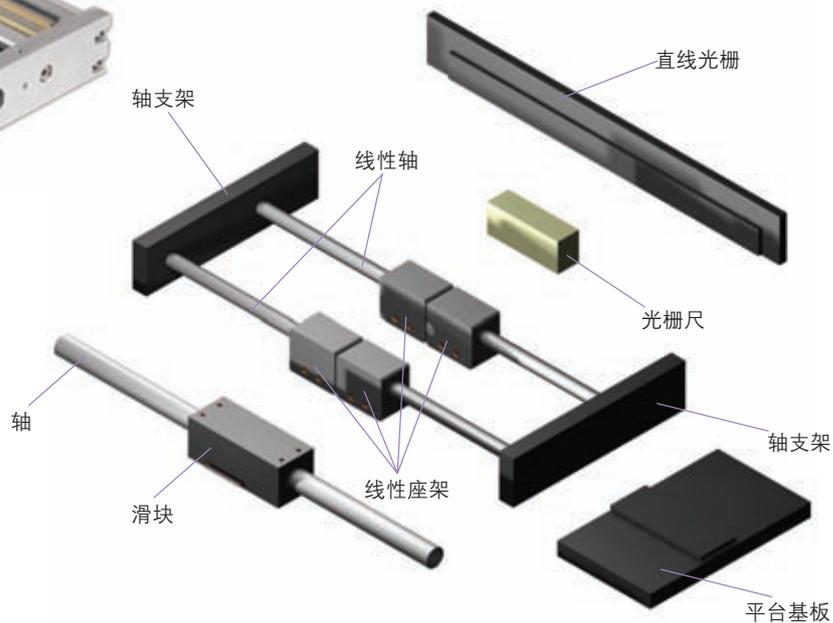
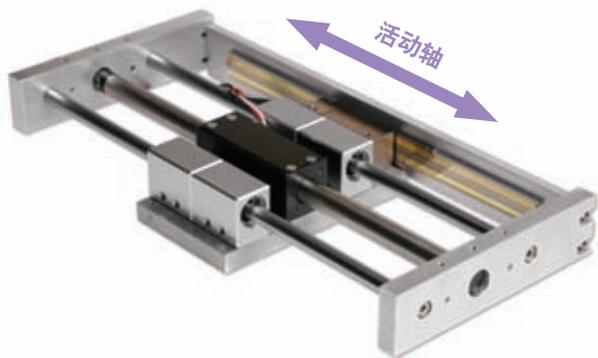
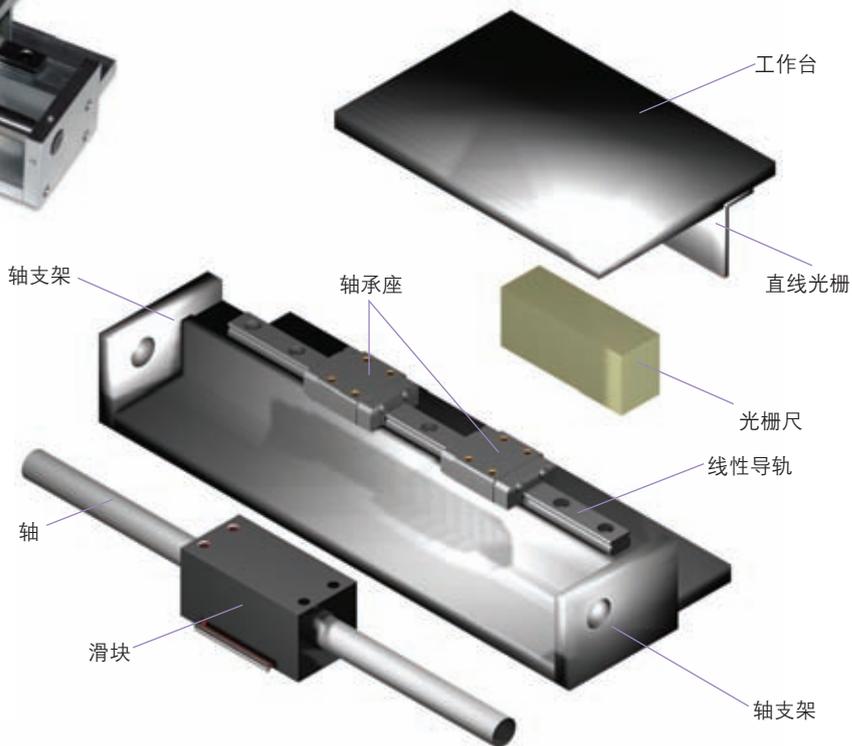
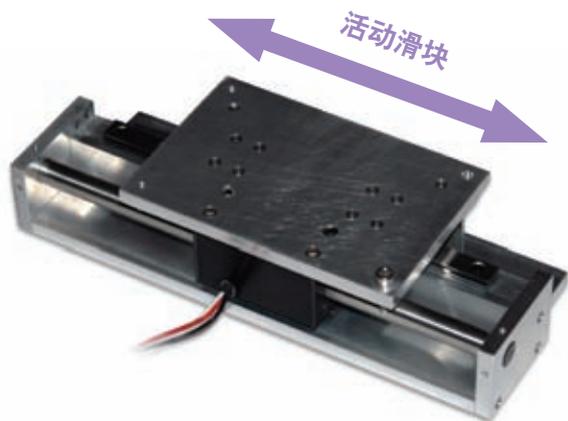
对于多数使用伺服驱动器的水平应用而言，无需使用数字霍尔传感器。交换基于在调整过程中创建的交换平台，因此来自于光栅尺。对于多数垂直应用而言，最好使用数字霍尔传感器。因为线性磁轴电机的标准配置中没有霍尔传感器，所以如果您所选的伺服驱动器需要霍尔传感器，则应该另加这一选购件。

### 其他部件

为减少调节时间，每个部件必须具有最小的质量和最高的机械刚度。通常采用中空肋壁部件或蜂窝结构加上特殊材料来达到这一目的。要获得最高的机械刚度和最小的质量，需要将线性电机作为运动系统的一个整体部件来看待，而不是附加部件。

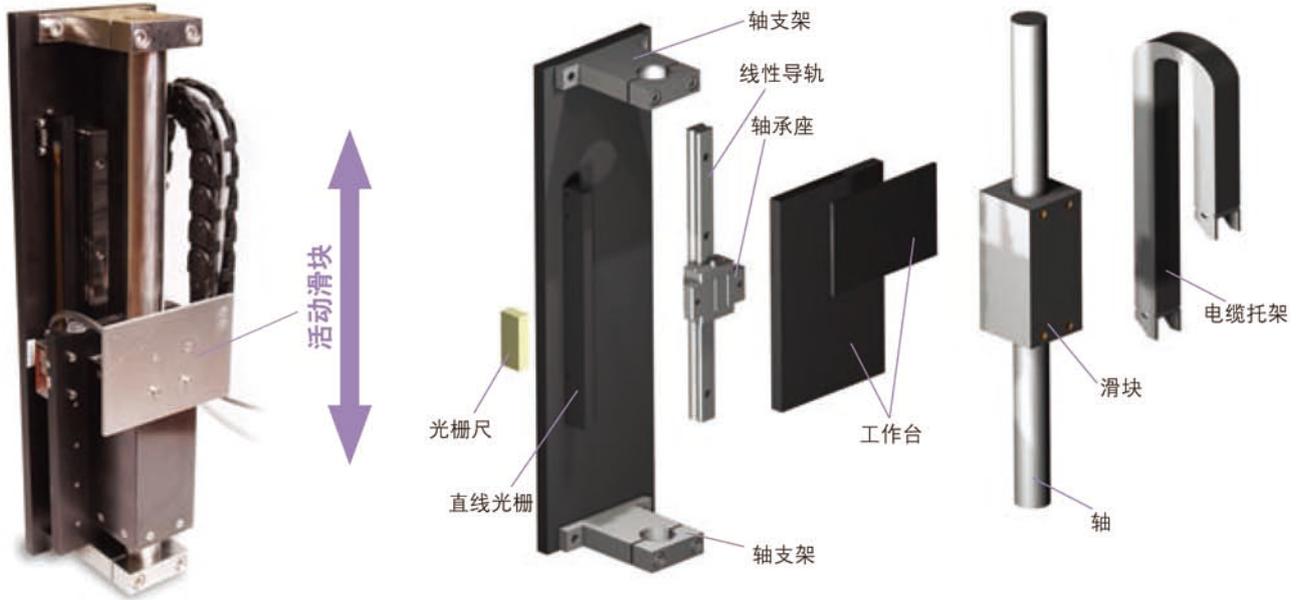
## 线性磁轴电机模组 · 水平配置

当在水平应用中使用线性磁轴电机时，通常会有一个施加在滑块上的负载，以实现非常简单和精确的线性运动。在线性磁轴电机系统中，两端的轴支架支撑着轴，负载沿着滑动导轨、线性轴承或气动轴承移动。在导轨上加一个直线光栅，对伺服控制的线性定位进行反馈。



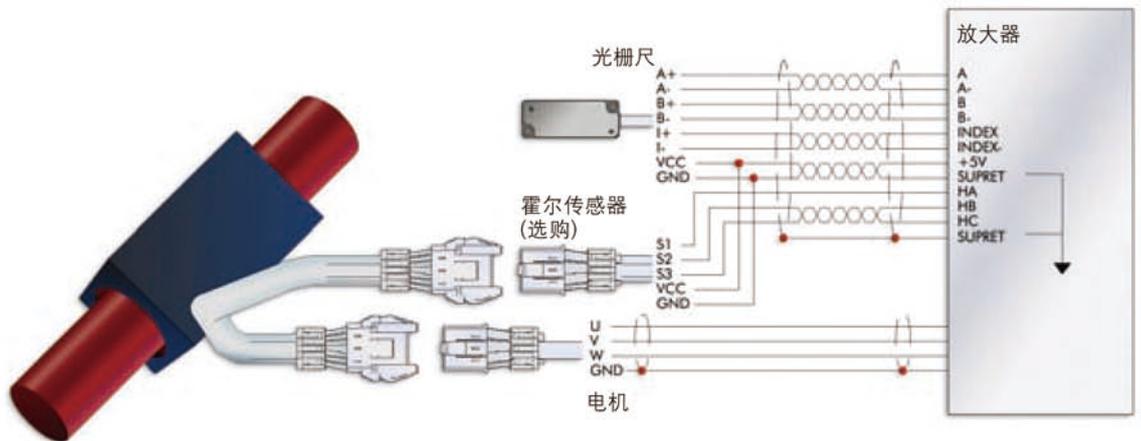
## 线性磁轴电机模组 · 垂直配置

当在垂直应用中使用线性磁轴电机时，通常需要一个平衡装置或刹车装置，防止电源中断时负载掉落。平衡装置还可以通过支撑重力负载来降低电机上的净负载。典型的平衡技术有气气缸、弹簧或砝码。



## 工程注释

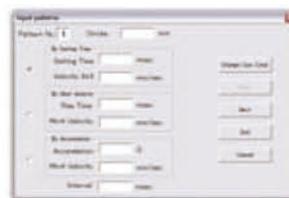
### 推荐接线



### SMART

(线性磁轴电机应用资源工具)

日脉贸易(上海)有限公司提供线性磁轴电机应用资源工具(SMART)。其需要 Microsoft Excel 98 或更高版本，使用宏。如需要复印，请尽管联系日脉贸易(上海)有限公司。

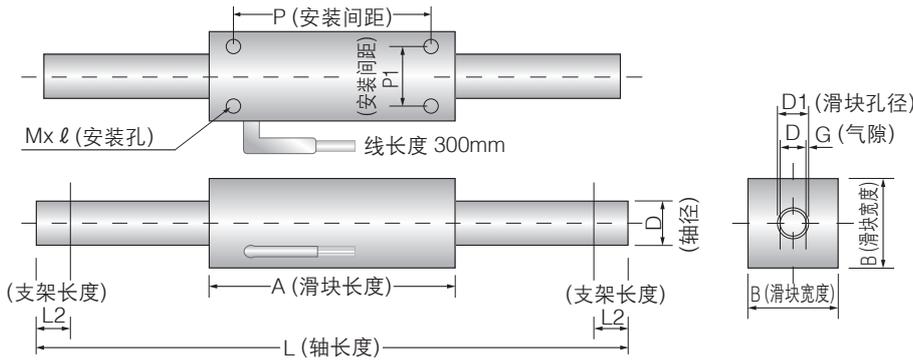


数据输入屏幕



结果示例

# 机械规格



注意:

- 尺寸 S (行程) 应该用于限位开关间隔。
- 可使用下列公式计算轴的总长度(L)  
 $L$  (总长度) =  $S$  (行程) +  $A$  (滑块长度) +  $2 * L2$  (支架长度)
- 此图中未画出 S500 的细节部分。关于详细信息, 请咨询日脉贸易(上海)有限公司。

线性磁轴电机		S040D	S040T	S040Q	S080D	S080T	S080Q	S120D	S120T	S120Q	S160D	S160T	S160Q		
尺寸															
轴径	mm	4 ± 0.1			8 ± 0.1			12 ± 0.2			16 ± 0.2				
	长度 mm	A	25	34	43	40	55	70	64	88	112	80	110	140	
滑块	宽度 mm	B	10 ± 0.2			20 ± 0.3			25 ± 0.3			30 ± 0.3			
	重量 kg		0.01	0.01	0.01	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12	0.16	0.15	0.20	0.30	
	安装间距 mm	P	21.5	30.5	39.5	34	49	64	56	80	104	70	100	130	
	安装间距 mm	P1	4 ± 0.3			10 ± 0.3			12 ± 0.3			16 ± 0.3			
	安装螺钉	Mx	4-M2x1.3			4-M3x5			4-M3x5			4-M3x5			
	孔径 mm	D1	5.0			9			13			17			
气隙	mm	G	0.5			0.5			0.5			0.5			
线性磁轴电机		S200D	S200T	S200Q	S250D	S250T	S250Q	S250X	S320D	S320T	S320Q	S350D	S350T	S350Q	
尺寸															
轴径	mm	20 ± 0.2			25 ± 0.2			32 ± 0.2			35 ± 0.2				
	长度 mm	A	94	130	166	120	165	210	390	160	220	280	160	220	280
滑块	宽度 mm	B	40 ± 0.3			50 ± 0.3			60 ± 0.3			60 ± 0.3			
	重量 kg		0.30	0.50	0.70	0.80	1.1	1.5	2.9	1.2	1.7	2.2	1.3	1.9	2.4
	安装间距 mm	P	84	120	156	105	150	195	375	140	200	260	140	200	260
	安装间距 mm	P1	20 ± 0.3			25 ± 0.3			30 ± 0.3			30 ± 0.3			
	安装螺钉	Mx	4-M4x6			4-M6x9			4-M8x12			4-M8x12			
	孔径 mm	D1	21.5			26.5			34			37			
气隙	mm	G	0.75			0.75			1.00			1.00			
线性磁轴电机		S427D/T/Q			S435D/T/Q			S500D/T/Q							
尺寸															
轴径	mm	42.7 ± 0.2			43.5 ± 0.2			50.0 ± 0.2							
	长度 mm	A	220	310	400	220	310	400	240	330	420				
滑块	宽度 mm	B	80 ± 0.3			80 ± 0.3			100 x 105 ± 0.3						
	重量 kg		3.0	4.2	5.4	3.0	4.2	5.4	10	13	15				
	安装间距 mm	P	200	290	380	200	290	380	80+80	125+125	170+170				
	安装间距 mm	P1	50 ± 0.3			50 ± 0.3			80 ± 0.3						
	安装螺钉	Mx	4-M8x12			4-M8x12			6-M8x13						
	孔径 mm	D1	46			46			53.5						
气隙	mm	G	1.65			1.25			1.75						
线性磁轴电机		S040D/T/Q			S080D/T/Q			S120D/T/Q & S160D/T/Q							
标准行程	mm	S	20, 30, 40			25, 50~200 (50间隔)			50~1050 (50间隔)		100~1050 (50间隔)				
行程	mm	S	~40			~200			~350	351~800	801~				
支架长度	mm	L2	5			10			25	40	60				
磁轴长最大可能	mm		—			290			1725	40	1975				
线性磁轴电机		S200D/T/Q			S250D/T/Q			S250X							
标准行程	mm	S	100~1550 (50间隔)			100~1550 (50间隔)			100~1550 (50间隔)						
行程	mm	S	~300	301~700	701~	~700	701~1500	1501~	~500	501~1300	1301~				
支架长度	mm	L2	25	40	60	50	70	100	50	70	100				
磁轴长最大可能	mm		2685			2535			2535						
线性磁轴电机		S320D/T/Q & S350D/T/Q			S427D/T/Q & S435D/T/Q			S500D/T/Q							
标准行程	mm	S	100~2000 (50间隔)			100~3000 (50间隔)		100~2000 (50间隔)		100~2000 (50间隔)					
行程	mm	S	~750	751~1500	1501~	~550	551~1000	1001~	~750	751~					
支架长度	mm	L2	50	70	100	60	80	100	80	100					
磁轴长最大可能	mm		2670		2480	3600		2600	3820						

