

**Tolomatic**<sup>TM</sup>  
EXCELLENCE IN MOTION

# 选择最佳的螺钉技术



# Tolomatic<sup>TM</sup>

出色的运动 EXCELLENCE IN MOTION

COMPANY WITH  
QUALITY SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV GL  
= ISO 9001 =

公司通过了挪威船级社质量体系认证 = ISO 9001 =  
认证地点: 明尼苏达州哈默尔市

## 美国-总部

### Tolomatic Inc.

3800 County Road 116  
Hamel, MN 55340, 美国  
电话: (763) 478-8000  
免费热线: **1-800-328-2174**  
sales@tolomatic.com  
[www.tolomatic.com](http://www.tolomatic.com)

## 墨西哥

### Centro de Servicio

Parque Tecnológico Innovación  
Int. 23, Lateral Estatal 431,  
Santiago de Querétaro,  
El Marqués, 墨西哥, C.P.  
76246  
电话: +1 (763) 478-8000  
help@tolomatic.com

## 德国

### Tolomatic Europe GmbH

Elisabethenstr. 20  
65428 Rüsselsheim  
德国  
电话: +49 6142 17604-0  
help@tolomatic.eu

## 中国

### Tolomatic Automation Products (Suzhou) Co., Ltd.

拓美克自动化产品(苏州)  
有限公司 (仅限ServoWeld®查询)  
中国江苏省苏州市苏州新区  
虎丘区创业街60号2幢  
邮编 215011  
电话: +86 (512) 6750-8506  
TolomaticChina@tolomatic.com

所有品牌和产品名称均为其各自公司的商标或注册商标。  
本文内容在印刷时被认为是准确的。但是, Tolomatic对其  
使用或本文件中可能出现的任何错误不承担任何责任。

Tolomatic保留更改本文所述设备的设计或操作以及任何相  
关运动产品的权利, 恕不另行通知。本文件中的信息如有  
更改, 恕不另行通知。

请访问 [www.tolomatic.com](http://www.tolomatic.com) 了解最新的技术信息

# 目录

简介 .....	4
螺杆术语 .....	5
螺杆类型 .....	7
Acme .....	7
滚珠 .....	9
滚柱 .....	11
导螺杆注意事项 .....	13
推力 .....	13
速度 .....	15
精度和可重复性 .....	16
齿隙 .....	17
分辨率 .....	18
总结 .....	19

# 简介

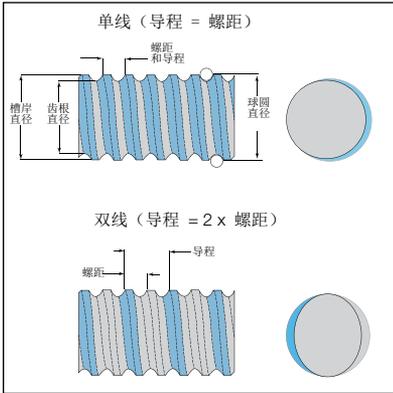
许多工业直线运动系统都会采用某种类型的螺杆机构实现所需的直线运动。此宣传册的目的是提供常用术语的解释，说明可使用的各种螺杆机构类型，并帮助读者更好地了解在选择与机电作动相关的最佳螺杆时需要考虑的事项。

那么，什么是螺杆机构呢？螺杆机构提供了通过旋转总成内的螺杆或螺母产生直线运动的方法。螺杆是一种上面制有螺纹的圆柱形元件；螺母则是与螺杆配套的组件。每个组件都能彼此独立地旋转。通过抑制其中一个元件便能产生直线运动。

广义而言，导螺杆是可应用于多种螺杆机构的通用名称。直线作动器中主要使用三种类型的螺杆：Acme、滚珠和滚柱螺杆。三者之间的差别在于螺纹形状的设计以及配套螺母的设计和操作。在稍后的章节中，将针对每种螺杆设计类型详细说明这些差别。

为从整体上了解螺杆的选择，有必要首先定义通用螺杆术语，并说明不同类型的螺杆。

# 螺杆术语



导程 – 螺杆或螺母旋转一周产生的直线性程距离。按每转单位数计量，例如“毫米/转”。

螺距 – 螺线之间的直线距离。当螺杆有多个螺线时，螺距不一定等于螺杆的导程。按单位数计量，例如“毫米”。

转数 – 行进给定的距离所需的转数。

齿隙 – 螺杆与螺母之间的自由运动量。

导程精度 – 标准螺杆长度内的行程距离可能产生的变动。按每单位数单位计量，例如“毫米/米”。

精度 – 系统到达目标直线位置的能力。

可重复性 – 系统在重复尝试中到达同一确切位置的能力。

额定静载荷 – 可应用于静止的螺杆和螺母系统而不造成损坏的最大载荷。

额定动载荷 (**DLR**) – DLR 是一个轴承术语，表示确保滚珠轴承设备能够达到 1,000,000 转额定寿命或 L10 预估寿命并保持 90% 可靠性的适用恒定载荷 (包括方向和大小)。

预载荷 – 为消除机械总成内的松动 (游隙) 而向轴承系统施加的拉力或预先施加的作用力大小。这既适用于螺杆和螺母组合，也适用于直线轴承总成。对滚珠螺杆系统而言，这将减小轴向和径向游隙，并提高系统的刚度和可重复性。

# 螺杆术语

反向驱动力 – 以相反方式旋转螺杆或螺母所需的直线力或推力。例如，垂直系统中的重力可以反向驱动螺杆系统，从而产生扭矩和/或直线运动。

滚轧 – 通过使用高压作用力在螺杆轴上形成螺纹牙型的制造工艺，期间，包含所需螺纹牙型的旋转模头被挤压在坯轴上，将材料置换为所需的螺纹形状。

磨削 – 一种非常精密的制造工艺，可用于通过使用砂轮去除材料，在螺杆轴上形成螺纹牙型。

临界速度 – 螺杆的极限旋转速度，达到此速度将会由于轴的自然谐振频率而产生振动。通常也称为“螺杆抖动”，取决于支撑点之间的螺纹直径和长度。

占空比 – 应用的运转时间量与空闲时间量比较得出的百分率。如果连续运转，则应用的占空比为 100%；如果运转 15 秒然后在完成下一个周期之前空闲 45 秒，则应用的占空比为 25%。

# 螺杆类型



## Acme 螺杆

Acme 螺杆开发于 1895 年，采用的螺纹形状为一般梯形牙型，通常以滚轧方式压入钢轴。该螺纹形状自身强度很高，直线力自螺纹形状齿面上的滑动表面传送至实心螺母。

实心螺母系统的效率取决于螺母的材料和导程，其相对较低，范围为 20% 至 40%。此效率水平通常令载荷或外部作用力无法反向驱动螺杆机构，这一点可成为一大优势。但缺点是系统的损耗量过大，与其他螺杆技术相比，需要的电机扭矩输入更大。

常见的螺母材料包括自润滑塑料或树脂以及黄铜或青铜等金属。由于摩擦系数较低，非金属螺母材料的效率通常较高，并且不需要润滑。青铜等金属材料能够承受更高的工作载荷，但可能需要润滑，由于污染的原因，这在某些环境下可能引发问题。

Acme 螺母的磨损特性取决于螺母材料、环境和应用要求。由于存在很多变数，因此通常很难预测磨损量和磨损率。为补偿螺母磨损造成的不利影响，一些制造商将偏向彼此的两半螺母与一个弹簧机构配合构成 Acme 螺母。采用此设计的螺母通常被称为“消除螺母”或“无侧隙螺母”。需要注意的是，这类螺母可能会增加系统摩擦。

## 螺杆类型：**Acme** 螺杆

Acme 螺杆提供各式各样的直径和导程以匹配应用要求。此外还提供公制版本的 Acme 螺杆，通常也称为梯形螺杆。尽管这两种设计的齿形非常相似，但由于存在  $0.5^\circ$  的牙侧角差异因而无法互换。

### **Acme** 螺杆的优点：

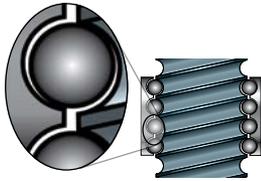
- 通常成本较低
- 工作噪音较低（使用塑料螺母时）
- 可降低或消除反向驱动
- 适合具有以下要求的应用
  - 低速到中速
  - 定位要求较低
  - 占空比较低
  - 低到中等推力载荷容量

### **Acme** 螺杆的局限：

- 实心螺母设计可能磨损并影响定位
- 额定效率较低，需要更高的输入扭矩
- 无法预测使用寿命
- 环境等外部因素可能影响螺杆寿命



# 螺杆类型



## 滚珠螺杆

滚珠螺杆使用的螺纹形状为圆形或尖顶（歌德式尖拱）。螺母具有匹配的螺纹形状，以便在两片凹槽之间配合的滚珠轴承能够高效率（通常为 80-95%）地传送作用力和相对运动。

在发生旋转和直线运动时，滚珠轴承可通过一个或多个回路滚动和再循环。滚珠螺杆的螺母有多种不同的设计，差别在于滚珠回路的数量和滚珠再循环路径的控制方式。滚珠轴承路径是决定该机构的最大速度的关键因素。内部路径或末端回路等替代设计在提高速度和最大限度减小工作噪音等方面可带来微弱的优势。但大多数滚珠螺母设计的工作方式非常相似。

滚珠螺杆提供了各式各样的直径、导程和精度以及公制和英制导程设计。已建立等级体系对滚珠螺杆的导程精度进行分类，并遵守 ISO-3408 的规定。目前市面常见的滚珠螺杆分为如下所示的 5 个等级。

等级	导程精度
1	6 $\mu\text{m}$ / 300mm (~ 0.0002 in / ft)
3	12 $\mu\text{m}$ / 300mm (~ 0.0005 in / ft)
5	23 $\mu\text{m}$ / 300mm (~ 0.0010 in / ft)
7	52 $\mu\text{m}$ / 300mm (~ 0.0020 in / ft)
10	210 $\mu\text{m}$ / 300mm (~ 0.0080 in / ft)

滚珠螺杆的等级值可用作确定指定系统的导程精度的准则，并以累加方式计算。这些精度等级没有考虑任何齿隙规格。达到所述等级的制造方法受制于制造能力；不过 1 级和 3 级螺杆几乎总是采用磨削工艺，以达到较高的精度水平。磨削虽然精度高，但也非常耗时，是一种成本较高的制造方法。滚轧是制造其他等级的螺杆最常用的制造方法。

## 螺杆类型：滚珠螺杆

滚珠螺杆的齿隙可以定制，并通过多种方法实现。常用的方法是在每个滚珠回路中载入直径可实现所需齿隙水平的滚珠。此方法也可用于实现预载系统。也可通过安装两个偏向彼此的螺母并锁定到位来实现预载。在一个滚珠螺杆中包含两个螺母不会令系统的力性能加倍。

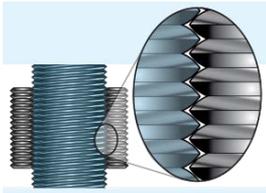
### 滚珠螺杆的优点：

- 相比实心螺母推力性能较高
- 可预测的更长使用寿命
- 效率更高 (80% – 95%)
- 齿隙较小 (典型值为 .0025 mm (.0001 in) 到 .127 mm (.005 in))
- 适合需要高占空比、中等到高推力以及中速到高速的应用

### 滚珠螺杆的局限：

- 滚珠螺母很容易受到反向驱动 (取决于导程)
- 与 Acme 螺杆相比，初期成本较高
- 产生的噪音往往比 Acme 螺杆高

# 螺杆类型



## 滚柱（行星式）螺杆

滚柱螺杆的螺纹形状通常为三角形，并通过螺母内一组配套的多个螺纹滚柱传送作用力。这些滚柱可在接触螺杆的螺纹形状的同时，在螺母内旋转。滚柱螺母有一组滚柱，与滚珠螺母相比能够在相同的空间内提供多得多的螺杆接触点，从而获得极高的力传送能力，与类似直径的滚珠螺杆相比使用寿命也更长。

与滚珠螺杆一样，滚柱螺杆也有较高的额定效率，因为它们与 Acme 螺杆的滑动元件不同，采用的都是滚动元件。由于增加了接触面积，效率相对滚珠螺杆可能略低，范围通常为 70% 至 90%。

滚柱螺杆与滚珠螺杆一样，依据 ISO-3408 等级体系生产，因此它们具有相似的导程精度注意事项。滚柱螺杆通常采用磨削工艺制造，以提供连续的接触区、平滑的运动和高推力输出。但一些滚柱螺杆现在也可借助精密滚轧，在牺牲部分性能的情况下提供更低成本的解决方案。

## 标准行星式滚柱螺杆

标准滚柱螺杆在精密磨削之前进行了外壳（表面）硬化，从而大幅增加了外壳硬化深度和 DLR。更深的表面硬化和更高的 DLR 使得该设计在寿命（和操作润滑度）方面相比逆向行星式滚柱螺杆设计具有很大的优势。



## 螺杆类型：滚柱（行星式）螺杆



### 逆向行星式滚柱螺杆

逆向滚柱螺杆使用不同于磨削的工艺，以经济的方式沿内螺纹螺母方向形成螺纹。因此，硬化工艺是在完成内螺纹螺母的加工之后进行的。与标准行星式滚柱螺杆相比，所需的硬化工艺产生的外壳硬化深度较浅，螺纹强度也较低。这导致DLR（和寿命）大幅下降，并且更难以保持润滑度。

### 滚柱螺杆的优点：

- 极高的推力性能
- 超长的使用寿命
- 可实现更高的速度和加速度
- 维护需求低
- 效率高

### 滚柱螺杆的局限：

- 三种螺杆类型中成本最高
- 在垂直应用中，当失去电机扭矩时，螺杆可能受到反向驱动或自由下落
- 螺母总成具有较大的外径

# 选择导螺杆的注意事项

## 推力

应用所需的推力或轴向力大小是选择螺杆机构时最重要的因素之一。较高的推力要求往往意味着增大螺杆直径，因为螺杆与支柱相似，需要同时承受拉压载荷。在压缩载荷作用期间，需要避免螺杆弯曲或偏斜。在拉力载荷作用期间，支柱必须能够支撑载荷而不失效。

按公制单位，计算支柱强度（以牛顿计）的理论公式为：

$$P_{cr} = \frac{96.9 \times 10^9 \times F_c \times d^4}{L^2}$$

其中：

**P<sub>cr</sub>** = 最大载荷 (N)

**F<sub>c</sub>** = 端部约束系数

**.25** 一端固定，一端自由时

**1.00** 两端均受到支撑时

**2.00** 一端固定，一端简单时

**4.00** 两端均为刚性时

**d** = 螺杆的齿根直径（米）

**L** = 螺母与承载轴承间的  
距离（米）

按美国标准单位，计算支柱强度（以磅计）的理论公式为：

$$P_{cr} = \frac{14.03 \times 10^6 \times F_c \times d^4}{L^2}$$

其中：

**P<sub>cr</sub>** = 最大载荷 (lbs)

**F<sub>c</sub>** = 端部约束系数

**.25** 一端固定，一端自由时

**1.00** 两端均受到支撑时

**2.00** 一端固定，一端简单时

**4.00** 两端均为刚性时

**d** = 螺杆的齿根直径（英寸）

**L** = 螺母与承载轴承间的距离（英寸）

## 选择导螺杆的注意事项

对于直线作动器应用，应考虑两个不同的推力值：峰值推力和连续推力。峰值推力的存在时间通常较短，例如高速运动曲线下的加速或减速，或产品推压期间。根据具体应用，峰值推力可能是连续推力的 3 到 5 倍，也可能等于连续推力。

连续推力是计算平均值，也称为 RMS（即均方根）值。连续推力也可能是在较长的冲程上保持的推力，例如容积活塞泵应用中的推力。不论峰值推力值还是连续推力值，都要验证螺杆轴能否支撑施加的作用力，这一点很重要。连续推力也是确定滚珠或滚柱螺杆的 L10 预估寿命的重要变量之一，这一点将另文讨论。

另一个重要的因素是螺母设计和螺母材料。对于 Acme 螺杆，选择复合树脂或金属材料对可用推力的影响很大。以导程为 3 mm 的 25.4 mm（1 英寸）公制 Acme 螺杆为例，树脂材料制成的螺母的额定工作载荷可能为 2.75 kN (625 lbs)，相比之下，青铜螺母则为 5.50 kN (1,250 lbs)。

对于滚珠螺杆，螺母设计和导程可能影响螺母内再循环的滚珠轴承数量和直径。随着螺母内滚珠数量的增加，推力支撑接触点的数量也在增加，从而提高了推力性能。作为比较，考虑两个 50.8 mm（2 英寸）滚珠螺杆，第一个的导程为 5 mm (0.200 in)，第二个的导程为 12 mm (0.500 in)。第一个螺杆的额定动态载荷为 4.33 kN (973 lbs)，并设计为单线螺杆，两个滚珠回路，每个回路 40 颗滚珠。第二个螺杆的额定动态载荷为 3.50 kN (786 lbs)，并设计为双线螺杆，两个滚珠回路，每个回路 30 颗滚珠。在这两个螺杆中，螺母中的滚珠数量在决定推力性能上发挥了重要作用。

滚柱螺母中的滚柱数量在推力载荷容量上具有相似的效果。

# 选择导螺杆的注意事项

螺杆的导程也会影响直线作动器系统的推力载荷容量。要计算螺杆机构的直线推力输出，可使用以下公式：

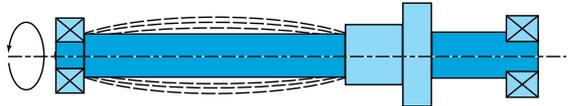
$$\text{扭矩} = \frac{\text{需要的推力} \times \text{螺杆导程}}{2\pi \times \text{效率}}$$

例如：使用导程为 5 mm (0.2 in)，效率为 40% 的 25.4 mm (1 in) Acme 螺杆产生 450 N (100 lbs) 的连续推力。根据此公式，需要的输入扭矩为 .30 Nm (8 lb in)。如果将导程更改为 12 mm (0.5 in)，则需要的输入扭矩为 2.15 Nm (20 lb in)。

以上计算假定系统的损耗为零。上述公式还需要考虑其他作用力，例如轴承预载荷、重力、摩擦和起步扭矩等。要考虑所有作用力，最轻松、简单的方法是使用调整工具，例如 Tolomatic 的调整和选择软件。

## 速度

速度通常是选择螺杆时需要评估的第二重要的参数。所有螺杆都有临界速度 – 螺杆的极限旋转速度，超过此速度将会由于轴的自然谐振频率而产生振动。通常也称为“螺杆抖动”，取决于支撑点之间的螺纹直径和长度。值得注意的是，螺杆的临界速度与方向（水平、垂直等）无关。



临界速度的理论计算适用于螺杆的两端均受到支撑的情况，不过，建议最大速度低于此计算结果的 80%。

按公制单位：

$$N = \frac{1.21 \times 10^8 \times d}{L^2}$$

按美国标准单位：

$$N = \frac{4.76 \times 10^6 \times d}{L^2}$$

# 选择导螺杆的注意事项

其中:

**N** = 临界速度 (RPM)

**d** = 螺杆的齿根直径 (mm 或 in)

**L** = 轴承支撑之间的长度 (mm 或 in)

在滚珠螺母中, 轴承沿螺杆与螺母之间滚轧或磨削的轨道并通过再循环机构运转。随着螺杆速度的增加, 滚珠速度也在增加, 直至在其通过滚珠回路时成为抛物物。这一复杂的运动需要得到控制, 也可能对速度形成制约。

所有导螺杆设计都在输入 rpm 和直线输出速度之间保持正比例, 这一比例取决于导程。在需要高速度的应用中, 可指定较大的导程以减小螺杆的输入 rpm。以下是计算螺杆机构所需的 RPM 的简易公式:

$$\text{RPM} = \frac{\text{速度} * 60}{\text{导程}}$$

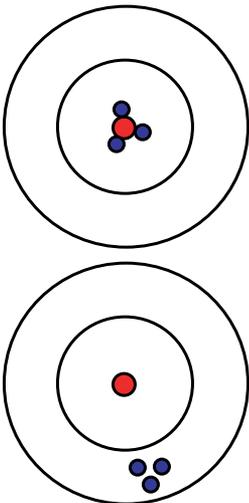
## 精度和可重复性

了解精度与可重复性之间的差别很重要, 因为这两个术语经常被互换使用。如果应用错误或造成误解, 可能会导致不必要的重大损失。

精度是在容差水平内达到确切目标位置的能力。要达到精度, 必须为应用选择具有所需导程精度的滚珠螺杆。几乎所有情况下, 精度值最高的等级都是最昂贵的。

可重复性是在多次尝试中到达同一位置的能力。许多应用不要求很高的精度, 但往往要求较高的可重复性水平。对于滚珠和其他类型的螺杆技术而言, 精度不高但可重复性水平很高是完全可能的。

滚珠或滚柱螺杆由于不会像 Acme 螺母一样发生磨损, 因而能够保持较高的可重复性水平。齿隙是下一个讨论点, 也是双向可重复性的重要考虑因素。



# 选择导螺杆的注意事项

## 齿隙

齿隙是在机构无旋转的情况下，螺杆与螺母之间的直线运动量。对于要求在两个行程方向上同时满足刚度或精度和可重复性要求的应用而言，这可能是一个关键因素。例如：您在正方向上成功行进至绝对位置 254 mm (10.000 in)。当您逆转方向并使用运动控制器行进至绝对位置 127 mm (5.000 in) 时，如果存在 0.254 mm (0.010 in) 的齿隙，则作动器可能位于 127.254 mm (5.010 in) 位置。

在确定您的应用是否需要考虑齿隙时，施加在作动器上的外部作用力也发挥着重要作用。在垂直应用中，正常情况下重力都会对作动器保持向下或负向作用力，因而不会发现齿隙产生的效应。而在一些应用中，可能对直线作动器施加了某种外部作用力，例如传送带或气缸上的产品，从而消除了齿隙效应。

大多数实心螺母在使用过程中会发生磨损并导致齿隙增大。一些实心螺母提供了消隙机构。但需要注意的是，在消隙版本中磨损依然存在，并且会影响螺母寿命期内的精度。

滚珠螺母可提供标准技术（通常为 .127-.381 mm (.005 - .015 in)）和齿隙较低的技术。通常有两种方法可获得齿隙较低的滚珠螺母。第一种方法在螺母中载入超规格的滚珠，将齿隙减小到指定的水平。这种方法很常见，并且成本效益最高。第二种方法是使用两个偏向彼此的螺母。这种方法成本更高，并且可能会增加螺母的总长度，从而影响作动器的死区长度。滚柱螺杆的齿隙特性介于 .0127-.0381 mm (.0005 - .0015 in) 之间

# 选择导螺杆的注意事项

## 分辨率

分辨率通常与直线作动器系统中的运动控制器、电机和反馈装置关系更密切。如果移动较小的增量（例如  $<0.0254\text{ mm}$  ( $<0.001\text{ in}$ )），则预载荷、起步扭矩和长螺杆的扭转也可能发挥重要作用。除了最小增量移动以外，还务必让组件供应商了解您的预期精度和可重复性要求。导螺杆的导程对于系统分辨率也有重大影响。选择的螺杆导程越精细，系统的分辨率越高。这一点值得注意，因为如果安装了分辨率较高的螺杆，则您的系统解决方案可能需要分辨率较低的反馈装置或成本较低的电机和驱动器。请记住，螺杆的导程还会影响最大直线速度和直线力输出。

在以下示例中，考虑将一个导程为  $12\text{ mm}$  ( $0.5\text{ in}$ ) 的导螺杆与导程为  $12\text{ mm}$  ( $0.2\text{ in}$ ) 的导螺杆进行比较。观察电机每旋转一度对应的直线行程，较低成本的电机和驱动器解决方案可能产生较大的差别。

**12 mm 导程 – 0.0033 mm/deg    5 mm 导程 – 0.014mm/deg**  
**(0.5 in 导程 – 0.0014 in/deg    0.2 in 导程 – 0.0005 in/deg)**

以下图表显示了机电作动器中使用的螺杆技术类型及其对作动器性能特征产生的影响的总体比较。当为直线运动系统中的应用选择螺杆和螺母时，务必了解应用要求。

特性	螺杆类型		
	ACME	滚珠	滚柱
行程	中等	长	长
峰值速度	低到中	高	高
推力	低到中	中到高	高
精度	中等	中到高	高
齿隙	中到高	低到中	低
可重复性	低到中	中到高	高
分辨率	中到高	中到高	中到高
后驱	困难	低	低到中

# 总结

当为直线运动系统中的应用选择螺杆和螺母时，务必了解应用要求。

首先，确定以下问题的答案：

载荷：

- 是否有多个组件？
- 质量分别是多少？
- 中心位置在哪里？

方向：

- 如何放置作动器？

运动曲线：

- 总行程长度是多少？
- 最快的运动曲线是多少？
- 运动曲线的占空比或频率是多少？
- 运动需要达到的精度是多少？
- 运动需要达到的可重复度是多少？
- 是否要考虑齿隙？

这些决定不仅会影响螺杆技术的选择，还会影响总体系统性能。

## **Acme** 螺杆应用

Acme 螺杆系统的接触表面是彼此紧靠的实心表面，因此如果使用复合螺母，与滚珠螺杆机构的再循环元件相比，工作噪音较低。因此，如果应用在工作时要求近乎静音，则选择 Acme 螺杆和螺母可从中受益。

# 总结

Acme 螺杆和螺母系统也是最经济实惠的，但低成本也会带来一定的折衷。Acme 螺杆是效率最低的螺杆类型。它们具有相对较高的磨损率，并且可能因此具有最大的齿隙。Acme 系统适合重视成本，而精度和可重复性要求相对较低的应用。

由于大多数 Acme 螺杆不会产生反向驱动，因此 Acme 系统也适合希望消除反向驱动的应用，例如垂直安装应用。速度较慢、定位要求较低的应用以及人工或手动曲柄等，都适合选择 Acme 螺杆/螺母系统。

## 滚珠螺杆应用

滚珠螺杆系统提供了各式各样的直径和导程组合，并根据导程精度进行分级。它们的成本高于 Acme 螺杆系统，但具有更高的推力载荷容量、更长的使用寿命，以及更高的精度和一致的齿隙。

滚珠螺杆系统适合需要高载荷和严格定位的应用。业界提供了高度灵活的螺杆直径和导程组合。滚珠螺杆系统具有摩擦低、使用寿命相对较长和性能一致等特性。但在效率提高的同时，可能导致其更容易受到反向驱动。当用于垂直应用时，可能需要使用制动器或其他机构以确保其安全、正确地工作。滚珠螺杆系统的应用非常广泛，是直线运动系统的主力产品。

## 总结

### 滚柱螺杆应用

滚珠螺杆中的螺母滚柱与螺杆轴螺纹的接触表面积更大。相同直径下，它们的载荷能力比滚珠螺杆更高。滚柱螺杆的制造工艺非常精细，而且劳动强度很高，因此其相对成本远高于滚珠螺杆。滚柱螺杆技术非常适合需要在较小的包络内获得超高作用力或需要较长使用寿命的应用。标准行星式滚柱螺杆采用比逆向滚柱螺杆设计更深的外壳硬化工艺，因而使用寿命更长，润滑维护要求更低。如果应用需要高作用力或较长的使用寿命，滚柱螺杆技术可能是理想的选择。



# Tolomatic™

EXCELLENCE IN MOTION

