

# 带减速箱的线性致动器 微型驱动系统



# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

### 基本技术信息

FAULHABER线性致动器L系列尺寸紧凑，性能很高，可支持大输入速度、高输出力，适用于机器人、工业机器和实验室设备等广泛应用。

由于它们具备大量均匀分布的减速比，因此用户可以选择最佳的配置，以符合实际应用所要求的各种力或速度操作点。

此系列新产品可提供不同尺寸和类型的丝杠，因此具有高度的灵活性。此外，还有大量选项可供用户选择，可以满足不同的环境条件要求。不同的法兰和螺母配置，使应用内部的机械集成更快、更顺畅。

FAULHABER新型L系列带减速箱线性致动器的主要优点：

- 高性能
- 设计非常坚固
- 大量丝杠和螺母类型可供选择并可修改
- 全范围减速比
- 丰富的可组合电机

### 工作寿命

带减速箱线性致动器与电机组合的使用寿命由以下因素决定：

- 丝杠<sup>1</sup>和螺母类型以及材料
- 产生输出功率的轴向负载和线速度
- 电机工作温度
- 工作模式和负载循环
- 工作条件（环境条件、温度、灰尘等）
- 工作环境以及与其它系统的集成

由于每个应用都涉及到大量的参数，因此几乎无法确切说明特定类型的丝杠或电机减速箱组合的预期使用寿命。我们的销售团队可以帮助您找到适合您特定需求的最佳解决方案。

### 丝杠类型（丝杠与滚珠丝杠）

新的L系列产品提供了众多丝杠解决方案，每种类型都有其自身特点，有助于用户找到最适合自己的应用需求的方案。

滚珠丝杠和丝杠之间的基本区别是滚珠丝杠螺母的滚动运动，这消除了丝杠典型的滑动摩擦，从而产生非常高的效率。

在某些应用中，丝杠比滚珠丝杠更适用。反之亦然。下表对两者的主要特点进行初步比较：

| 特点        | 导螺杆   | 滚珠丝杠<br>(仅限22L和32L) |
|-----------|-------|---------------------|
| 高额定负载     | ●●●   | ●●●●●               |
| 效率        | ●●●   | ●●●●●               |
| 自热        | ●●●   | ●●●●●               |
| 精度高       | ●●●   | ●●●●●               |
| 可靠性和长使用寿命 | ●●●   | ●●●●●               |
| 可定制       | ●●●●● | ●●●                 |
| 材料选择      | ●●●●● | ●                   |
| 环境条件阻力    | ●●●●  | ●●●                 |
| 低维护       | ●●●●● | ●●●●                |
| 低噪音       | ●●●●  | ●●                  |
| 成本效益      | ●●●●● | ●●●                 |
| 自锁        | y     | n                   |

### 电机组合

带减速箱的L系列线性致动器可以与各种有刷电机、四磁极和双磁极无刷电机和步进电机组合。该系列线性致动器已得到优化，能够最大限度利用FAULHABER不同系列电机的转矩和转速范围。

<sup>1</sup>可以根据ISO 3408标准计算滚珠丝杠的理论使用寿命。该值仅与滚珠丝杠相关，不包括其他组合部件，如耦合器和电机。

# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

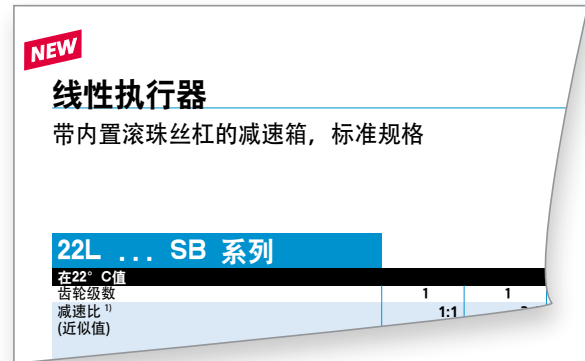
### 修改和标准选项

带减速箱的FAULHABER L系列线性致动器有大量的标准选项和改型。其中部分选项适用于有特殊环境要求的应用领域，另一些选项则用于简化产品在应用系统内的集成，还有一些选项可增强特定性能参数以满足特殊的要求。

产品选项可以指耦合器、丝杠或两者，例如：

- 丝杠类型和长度
- 螺母类型和长度
- 环境条件，比如特殊温度范围或真空等特殊环境条件
- 将产品组合装入系统时，机电缆或接线端的不同定位方向。

大多数选项均为基于标准产品的修改，这可能导致产品特性变化，从而与标准产品不同。在选择选配项时需要考虑到这一点。如有任何疑问请联系当地经销商。



### 参数表说明

#### 未规定的公差

如果没有明确规定，公差应符合ISO 2768-m（中等）的要求，也就是：

- 不超过6 mm：±0,1 mm
- 6 mm以上至30 mm以下：±0,2 mm
- 30 mm以上至120 mm以下：±0,3 mm
- 120 mm以上至400 mm以下：±0,5 mm
- 400mm以上至1000mm以下：±0,8 mm

#### 减速比, $i$

所列比率仅为公称值，每个减速箱减速比的确切比率可通过适用于每种类型的级比率计算得出<sup>2)</sup>。

#### 持续输出转速最大值 $v_{c \max}$ [mm/s]

指定最大允许持续线速度。最大线速度 [mm/s] 允许的最大线速度。这是最大推荐连续转速和螺纹导程的乘积。

$$v_{c \max} = \frac{\rho \cdot n_{c \max}}{60 \cdot i}$$

$v_{c \max}$  = 持续输出速度  
 $n_{c \max}$  = 减速箱最大持续输入速度  
 $i$  = 减速比  
 $\rho$  = 螺纹导程

<sup>2)</sup> “线性致动器，减速比”文件中包含完整的标称减速比与绝对值对照表。

# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

### 峰值输出转速最大值 $v_{p \max}$ [mm/s]

指定最大允许的峰值线速度。这是最大允许峰值转速和螺纹导程的乘积。

$$v_{p \max} = \frac{\rho \cdot n_{p \max}}{60 \cdot i}$$

$v_{p \max}$  = 峰值输出速度  
 $n_{p \max}$  = 减速箱最大峰值输入速度  
 $i$  = 减速比  
 $\rho$  = 螺纹导程

### 持续输入转速最大值 $n_{c \max}$ [min<sup>-1</sup>]

持续工作的推荐最大输入转速用作指南。可以采用更高的转速操作带减速箱的线性致动器。

在需要保证持续工作和长使用寿命的应用中，为了获得最佳使用寿命，应该考虑推荐的转速。

### 峰值输入转速最大值 $n_{p \max}$ [min<sup>-1</sup>]

峰值输入线速度值可以在短时间内应用。它应该只用于短时间段，并且不超过持续负载循环的20%。不建议以高于最大峰值的线速度操作带减速箱的线性致动器，因为这将大大缩短使用寿命，并且在某些情况下还可能造成产品提前受损和突然停机。

### 持续轴向力平均值 $F_{m \max}$ [N]

设定持续工作过程中最大推荐平均轴向输出力。带减速箱的线性致动器也可以采用更高的平均轴向输出力工作。为了获得最佳使用寿命和工作性能，在任何工作阶段都不应超过该平均值水平。

### 最大峰值动态轴向力 $F_{p \max}$ [N]

指定运行期间最大推荐峰值轴向输出力。在任何运行阶段都不应超过该水平，以获得最佳寿命性能。

请注意，计算作用力也要考虑系统惯量，该参数具有特殊意义，可防止高动态运动。

### 最大峰值静态轴向力 $F_{stat \max}$ [N]

丝杠的最大允许静态轴向力。在任何工作阶段或停机期间，都不允许达到该值，以避免永久损坏系统。为防止超过允许负载，应在必要时限制电机电流。

### 最大输出功率 $P_{out \max}$ [N]

指定运行期间的最大推荐输出功率。在任何运行阶段都不应超过该水平，以获得最佳寿命性能。

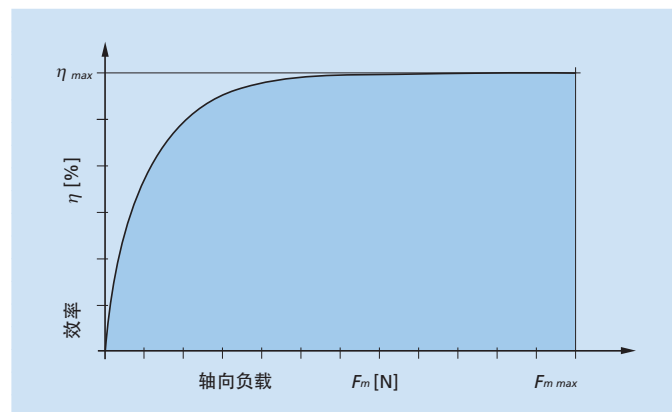
### 减速箱/耦合器的最大效率 $\eta_{g \max}$ [%]

最大效率指持续工作模式。该值根据级数的不同而变化，也可能取决于减速比。减速箱/耦合器的效率因工作点而异。

### 最大丝杠效率 $\eta_{s \max}$ [%]

描述在轴向负载  $F_{m \max}$  下丝杠的功率输入和功率输出之间的比率。

请注意效率与轴向负载的相互关系。在选择驱动器时，如果轴向负载小，则尤其要考虑到这一点；应该考虑选择效率高的工作点。



### 包括丝杠的最大质量惯量 $J$ [gmm<sup>2</sup>]

最大输入惯量可用于确定确保系统的特定加速度所需的转矩，该转矩通常用于高动态定位应用。该惯量值是指在电机输出轴包括电机小齿轮处的线性致动器输入值。该值取决于减速箱的配置（例如：行星齿轮的数量）、级别数量和所选丝杠。在此给出的是考虑不同减速箱配置的最大值（丝杠为标准长度）。

### 最大精度、丝杠标准长度 $\sigma_a$ [ $\mu$ m]

设定带减速箱和标准丝杠的线性致动器的最大机械定位精度。为丝杠精度、螺母轴向窜动和耦合器/减速箱回差导致的结果。



# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

### 最大径向负载（距离法兰15 mm）[N]

最大丝杠负载是指可在距输出法兰特定距离处径向施加的最大动态负载（丝杠旋转时），并且滚珠轴承系统可在不影响使用寿命的情况下支持该最大动态负载。如果径向负载应用于其它距离，则应适当调整该值。

### 空载时减速箱回差典型值 [°]

回差是指在减速箱输入固定的情况下，空载旋转减速箱/耦合器输出轴时出现的角度窜动。该角度窜动考虑不施加转矩情况下，输出轴在顺时针和逆时针方向终端位置之间的角度。

### 距离法兰10 mm的径向窜动丝杠 [mm]

径向窜动是在距前法兰特定距离处测量时，丝杠可以径向移动的最大距离，不包括系统的弹性变形。

径向窜动的测量取决于沿丝杠的测量位置和用于测量的力。

### 丝杠轴向窜动 [mm]

丝杠的轴向窜动是当丝杠被推离减速箱/耦合器的内侧或外侧时，它的最大轴向移动距离。此轴向窜动值取决于滚珠轴承系统和特定的预负载。对于此轴向窜动来说，假设的前提条件是不超过数据表中给定的最大静态峰值轴向力。未考虑系统的弹性变形。

请注意，在测量图纸中给出的跳动值时未考虑径向窜动。

### 螺母轴向窜动 [mm]

在螺母和丝杠没有相向扭转的情况下，螺母相对于丝杠的最大轴向位移。

### 距离法兰的标准丝杠长度 [mm]

指定外壳前端和丝杠末端之间的丝杠长度。

### 距离法兰的最大丝杠长度 [mm]

可以在规定的最大值范围内订购其它丝杠长度（以5 mm增量）。

请注意，改变丝杠长度会影响临界速度和屈曲负载等参数。

### 质量 [g]

带减速箱的线性致动器（标准长度的丝杠）的平均质量。

### 丝杠类型

#### ■ 直径 (Ø) [mm]

用于指定的公称直径。

#### ■ 螺纹导程 $p$ [mm]

相对于滚珠丝杠螺母旋转360°时的轴向位移。请注意，对于单线丝杠来说，导程相当于螺距，即螺纹之间的距离。

#### ■ 丝杠精度（仅滚珠丝杠）

根据ISO 3408-3的精度等级。

### 以下国际标准适用：

#### ■ 滚珠丝杠 (SB/PB) : DIN ISO 3408。

#### ■ 丝杠：米制螺纹 (ML) , DIN 13。

梯形螺纹 (TL) , DIN 103。

### 丝杠材料

标准配置的丝杠材料和表面保护。

### 螺母材料

标准配置的螺母材料、其他材料可选。

### 减速箱外壳材料

标准配置的外壳材料和表面保护。

### 齿轮材料

标准配置的齿轮材料。

### 输出法兰上的轴承

输出法兰上的轴承系统。

### 工作温度范围 [° C]

参见参数表规定的标准范围。

# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

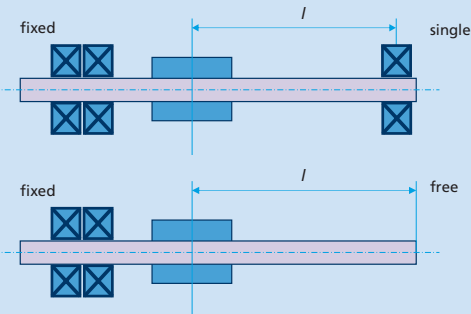
### 临界速度 [mm/s]

当丝杠的旋转频率等于其第一固有频率时达到临界速度，从而引起共振。

临界速度取决于丝杠的几何形状和轴承种类。根据下面的公式，还考虑了安全因素，以考虑其他影响因素，如最终安装中的对准因素。

为了避免任何系统损坏风险，在任何工作阶段都不能达到临界速度。

$$n_{cr} = k \cdot 10^6 \cdot \frac{d_r}{l_{max}^2} \cdot S$$

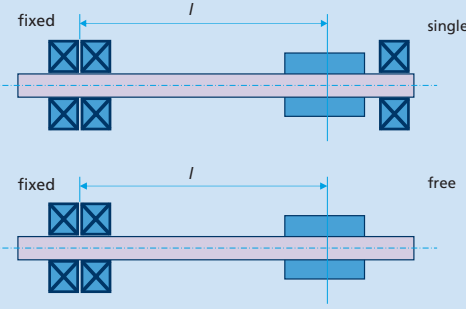
$$v_{cr} = \frac{\rho \cdot n_{s\_crit}}{60}$$


$n_{cr}$  = 丝杠的临界转速  
 $k$  = 轴承配置常数 (固定 - 单一 = 190; 固定 - 自由 = 43)  
 $d_r$  = 丝杠固位直径  
 $l_{max}^2$  = 最大冲程  
 $S$  = 安全系数 (典型值0.8)  
 $\rho$  = 螺纹导程

### 屈曲力 [N]

当受到轴向压力时，丝杠会永久变形并最终断裂（屈曲）。根据下面的公式，最大压力取决于丝杠的几何形状和轴承种类。

由于屈曲无法重新消除，还必须采用安全系数。

$$F_b = k_b \cdot \frac{(d_r)^4}{l_{max}^2} \cdot S \cdot 10^3$$


$F_b$  = 避免屈曲的最大允许力  
 $k_b$  = 按轴承种类划分的常数 (固定 - 单一 = 200; 固定 - 自由 = 25)  
 $d_r$  = 丝杠固位直径  
 $l_{max}^2$  = 最大冲程  
 $S$  = 安全系数 (典型值0.5)

### 不带电机的长度L2 [mm]

数据表中规定的长度L2（不带电机）是独立减速箱/耦合器的长度，不包括适配法兰和丝杠。

### 带电机的长度L1 [mm]

带电机的长度L1为组合的总长度，该组合包括电机在内，但不包括任何适配法兰和丝杠。

# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

### 如何选择带减速箱的线性致动器

我们的线上Faulhaber驱动器选择工具可根据您的特定应用和需求，帮助您找到合适的解决方案。

本节提供了在恒定环境条件下为应用选择线性致动器的基本程序。

#### 应用数据:

|         |                                   |        |
|---------|-----------------------------------|--------|
| 丝杠类型    | 滚珠丝杠/丝杠                           |        |
| 轮毂长度    | l                                 | [mm]   |
| 丝杠支撑    | 是/否                               |        |
| 最大直径    | Ø                                 | [mm]   |
| 最大驱动器长度 | L1                                | [mm]   |
| 所需力     | F <sub>1</sub> ... F <sub>n</sub> | [N]    |
| 所需速度    | V <sub>1</sub> ... V <sub>n</sub> | [mm/s] |
| 循环      | t <sub>1</sub> ... t <sub>n</sub> | [s]    |

假设各数据如下:

|         |              |        |
|---------|--------------|--------|
| 丝杠类型    | 滚珠丝杠         |        |
| 轮毂长度    | 150          | [mm]   |
| 丝杠支撑    | 是            |        |
| 最大直径    | 22           | [mm]   |
| 最大驱动器长度 | 任何           | [mm]   |
| 所需力     | 100 - 0 - 30 | [N]    |
| 所需速度    | 50 - 0 - 50  | [mm/s] |
| 周期      | 3 - 1 - 3    | [s]    |

请注意，本示例基于标准应用参数，可能还有其它相关限制条件，如系统精度、温度范围和所用材料。

#### 预选

##### 1. 机械要求

根据应用要求，你可以先通过丝杠类型和可用空间筛选适用产品。

上面的示例针对带减速箱和滚珠丝杠，最大直径为22 mm的线性致动器，因此选择了**22L SB xx;1 6x2 150**。

##### 2. 线速度

第二步检查是否可以通过所有可用丝杠获得所需的力和速度。

###### a) 临界速度高于所需的最大速度。

在数据表图表中，根据丝杠轴承（固定 - 自由或固定 - 单一）检查丝杠的实际临界速度 ( $v_{cr\_std}$ )。

如果行程不同于标准长度，则可以使用以下公式计算实际 $v_{cr}$ ：

$$v_{cr\_l} = v_{cr\_std} \frac{l_{std}^2}{l^2}$$

在以上示例中，我们考虑轴承类型

**22L SB xx;1 6x2 150**，支撑（固定 - 单一）：

$$v_{cr\_l} = v_{cr\_std} = 690 \text{ mm/s}$$

确保临界速度高于最大循环速度，也就是不会出现共振问题：

$$v_{cr\_l} > v_{max}$$

在我们的示例中，所有要求都得到满足：

$$v_{cr\_l} = 690 \text{ mm/s} > v_{max} = 50 \text{ mm/s}$$

###### b) 最大峰值输出速度 $v_{p\_max}$ 高于所需的最大速度。

对于每个可用的减速比，检查最大所需速度是否低于给定限值<sup>3</sup>：

$$v_{p\_max} \geq v_{max}$$

在我们示例中，**22L SB xx;1 6x2 150**型号必须排除所有大于6.6:1的比率。

###### c) 最大持续输出速度 $v_{c\_max}$ 高于所需的平均速度。

平均输出速度可根据以下公式计算：

$$v_m = \sum_{j=1}^n v_j \cdot \frac{t_j}{t_{tot}}$$

在我们的示例中，考虑了循环输入数据：

$$v_m = \frac{(50 \cdot 3 + 0 \cdot 1 + 50 \cdot 3)}{7} = 42,9 \text{ mm/s}$$

对于每个可用的减速比，检查所需的最大平均速度是否低于给定限值<sup>3</sup>：

$$v_{c\_max} > v_m$$

在我们的示例中，22L SB型号必须排除所有大于6.6:1的比率（已在b点中执行）。

<sup>3</sup>可在参数表上找到每个致动器级对应的最大输出转速和最大持续力范围。在“线性致动器，减速比”文件中还可以查看完整的速度和力与减速比的对照表。

# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

### 3. 轴力

下一步是检查剩余的线性致动器配置是否能够支持所需的力。

#### a) 屈曲力高于所需最大力。

在数据表图表中，根据丝杠轴承系统（固定-自由或固定-单一）检查丝杠的实际屈曲力 ( $F_{b\_std}$ )。如果冲程不同于标准长度，则按以下公式计算实际  $F_b$ ：

$$F_{b\_l} = F_{b\_std} \cdot \frac{l_{std}^2}{l_s^2}$$

在我们的示例中，采用轴承型号22L SB（固定 - 单一）：

$$F_{b\_l} = F_{b\_std} = 2562 \text{ N}$$

确保屈曲力高于最大循环力，也就是不会出现屈曲问题：

$$F_{b\_l} > F_{max}$$

在我们的示例中，所有要求都得到满足：

$$F_{b\_l} = 2562 \text{ N} > F_{max} = 100 \text{ N}$$

#### b) 最大峰值轴向力 $F_{p\_max}$ 高于所需的最大力。

对于每个可用的减速比，检查最大所需轴向力是否低于给定限值<sup>3</sup>：

$$F_{p\_max} \geq F_{max}$$

在我们的示例中，所有比率都满足要求。

#### c) 最大持续轴向力 $F_{m\_max}$ 高于所需平均力

使用以下公式可以计算出平均输出力：

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{j=1}^n \frac{F_j^3 \cdot n_j \cdot t_j}{n_m \cdot t_{tot}}}$$

在我们的示例中，考虑了循环输入数据：

$$F = \sqrt[3]{\frac{100^3 \cdot \frac{50 \cdot 60}{2} \cdot \frac{3}{7} + 0 + 30^3 \cdot \frac{50 \cdot 60}{2} \cdot \frac{3}{7}}{\frac{42,9 \cdot 60}{2}}} = 80,1 \text{ N}$$

对于每个可用的减速比，检查所需平均力是否低于给定限值<sup>3</sup>：

$$F_{m\_max} \geq F_m$$

在我们的示例中，所有比率都满足要求。

请注意，可以采用更高的平均轴向力操作带减速箱的线性致动器。但为了获得最佳使用寿命，应采用推荐值。

### 4. 功率

最后，检查线性致动器输出功率是否符合应用需要。

#### a) 最大输出功率 $P_{max}$ 高于所需的最大机械功率。

对于每个循环步骤，可使用以下公式计算机械功率：

$$P_j = \frac{v_j \cdot F_j}{1000}$$

每个线性致动器级的最大值必须低于给定限值：

$$P_{out\_max} \geq P_m$$

在我们的示例中，最大功率为

$$P_m = \frac{50 \cdot 100}{1000} = 5 \text{ W}$$

因此必须排除4级的配置。

根据上述预选可以选择可能配置的子集。

在上述示例中，以下配置符合应用要求：

- 22L SB 1:1 6x2 150
- 22L SB 3:1 6x2 150
- 22L SB 3.6:1 6x2 150
- 22L SB 4.5:1 6x2 150
- 22L SB 6.6 6x2 150

<sup>3</sup> 可在参数表上找到每个致动器级对应的最大输出转速和最大持续力范围。在“线性致动器，减速比”文件中还可以查看完整的速度和力与减速比的对照表。



# 带减速箱的线性致动器

## 技术信息

### 输入数据计算：转速和转矩

必须使用以下公式为每个可用的解决方案计算输入转速和转矩：

$$M_{in\_j} = \frac{F_j \cdot \rho \cdot 100}{2\pi\eta_{screw}} \cdot \frac{100}{i \cdot \eta_{coupler}} \quad [\text{mNm}]$$

$F_j$  = 循环“j”步所需的力 [N]  
 $\eta_{screw}$  = 丝杠效率 [%]  
 $\eta_{coupler}$  = 耦合器效率 [%]  
 $\rho$  = 螺纹导程 [mm]

$$n_{in\_j} = \frac{60 \cdot i \cdot v_j}{\rho} \quad [\text{min}^{-1}]$$

$v_j$  = 循环“j”步所需的丝杠输出速度 [mm/s]  
 $i$  = 减速比  
 $\rho$  = 螺纹导程 [mm]

在我们的示例中，**22L SB 1:1 6x2 150**循环期间的转矩和输入转速为：

|      |                 |                      |
|------|-----------------|----------------------|
| 所需转矩 | 37.2 - 0 - 11.2 | [mNm]                |
| 所需速度 | 1500 - 0 - 1500 | [min <sup>-1</sup> ] |
| 周期   | 3 - 1 - 3       | [s]                  |

然后可以按照每个电机系列的相关技术参数选择电机。

请注意，上面的计算是为了快速确定可行的解决方案。正确选择驱动器可能还需要其它电机参数，例如：

- 与高动态应用相关的系统惯量
- 线性运动方向，在非水平运动的情况下，必须考虑重力
- 采用预紧螺母时的转矩

此外，应选择功率够大的电机，以避免电机在工作过程中处于持续高温状态。高温状态下过多的热量会被传递到带减速箱的线性致动器内，导致润滑油提前失效，缩短驱动组合的使用寿命。

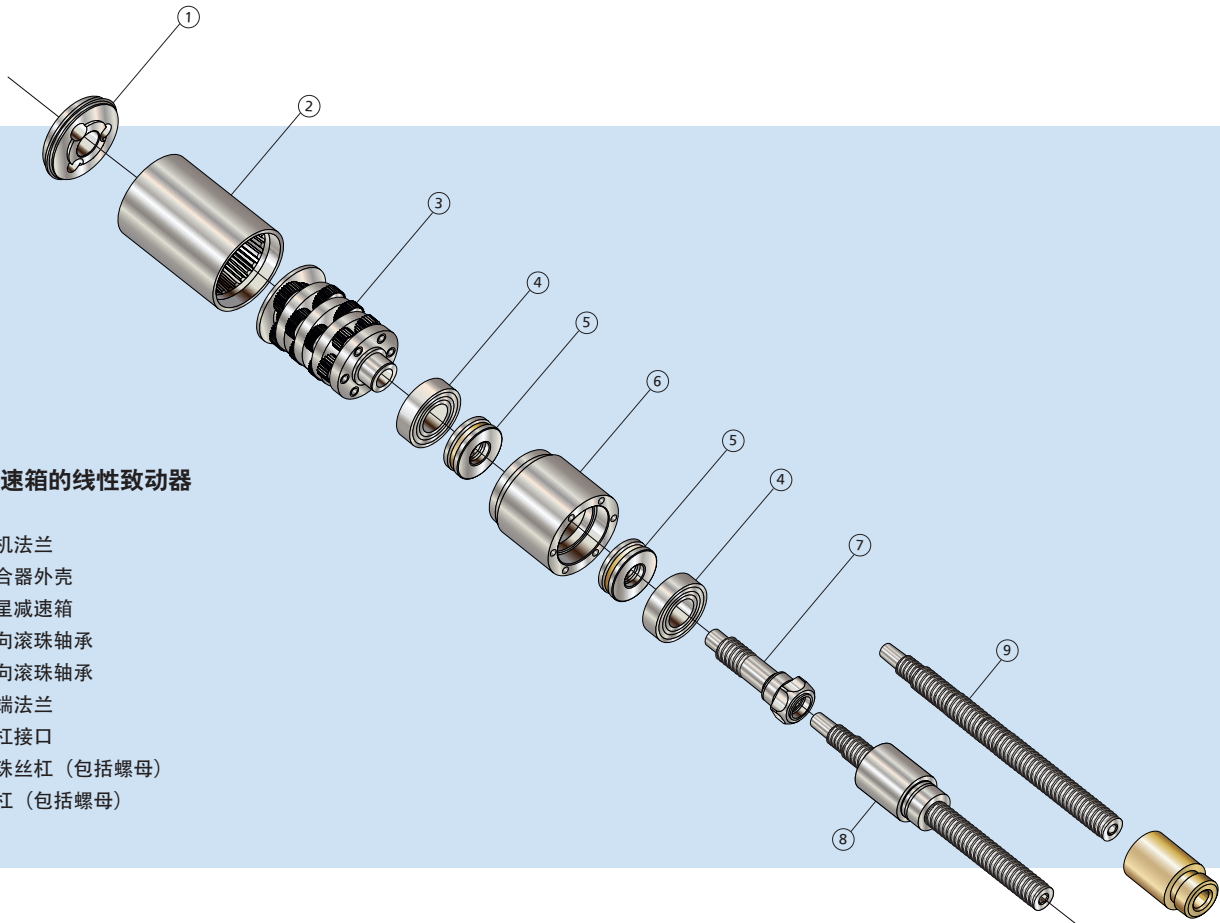
为延长使用寿命，一般情况下应确保电机在持续工作时的温度不超过60 °C到70 °C，这样即可避免润滑油过早失效。

可以将结果与FAULHABER在线Drive Selection Tool提供的建议值进行比较。

我们的销售技术人员乐意为您核对选型，或者根据您的特殊要求，如特殊的环境条件、机械极限等，协助您找到适合您应用的解决方案。

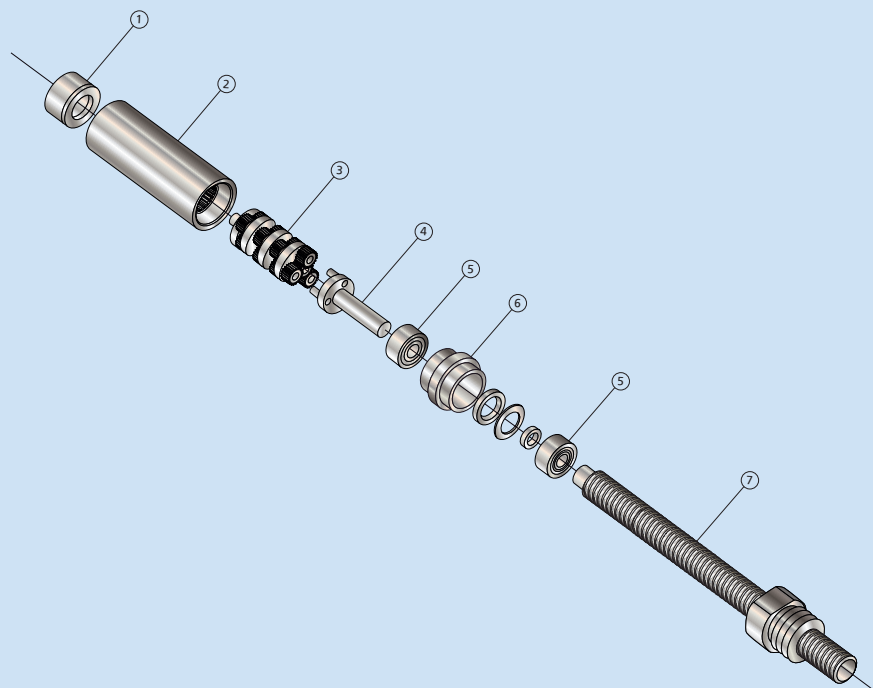
## 带减速箱的线性致动器

### 基本结构



#### 带减速箱的线性致动器

- ① 电机法兰
- ② 耦合器外壳
- ③ 行星减速箱
- ④ 径向滚珠轴承
- ⑤ 轴向滚珠轴承
- ⑥ 前端法兰
- ⑦ 丝杠接口
- ⑧ 滚珠丝杠 (包括螺母)
- ⑨ 丝杠 (包括螺母)



#### 带减速箱的线性致动器

- ① 电机法兰
- ② 耦合器外壳
- ③ 行星减速箱
- ④ 输出轴
- ⑤ 滚珠轴承
- ⑥ 前端法兰
- ⑦ 标准丝杠 (包括螺母)

# 笔记

---



## 更多信息

福尔哈贝传动技术(太仓)有限公司

江苏省太仓市北京西路

6号孵化楼东楼 215400

电话: +86(0)512 5337 2626

info@faulhaber.cn

www.faulhaber.com.cn

**As at:**

17th edition, 2022

### Copyright

by Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG

Daimlerstr. 23 / 25 · 71101 Schönaich

All rights reserved, including translation rights. No part of this description may be duplicated, reproduced, stored in an information system or processed or transferred in any other form without prior express written permission of Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG.

This document has been prepared with care.

Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG cannot accept any liability for any errors in this document or for the consequences of such errors. Equally, no liability can be accepted for direct or consequential damages resulting from improper use of the products.

Subject to modifications.

The respective current version of this document is available on FAULHABER's website: [www.faulhaber.com](http://www.faulhaber.com)