

## 精密滚珠丝杆的特点

### 一. 与滑动丝杠相比，驱动扭矩仅为滑动丝杠的1/3

滚动丝杆副是由丝杆、螺母、滚珠、密封件等零件组成的高精度机械传动部件，由于滚珠丝杆副的丝杆与螺母之间有滚珠在做滚动运动，所以能得到较高的运动效率，与滑动丝杆相比，驱动扭矩在1/3以下。因此，不仅能把回转运动转变为直线运动，也能容易地将直线运动变为回转运动。下图1、图2即反映出滚珠丝杆与滑动丝杆传动效率的关系以及滚动丝杆传动效率与摩擦系数、导程角的关系。

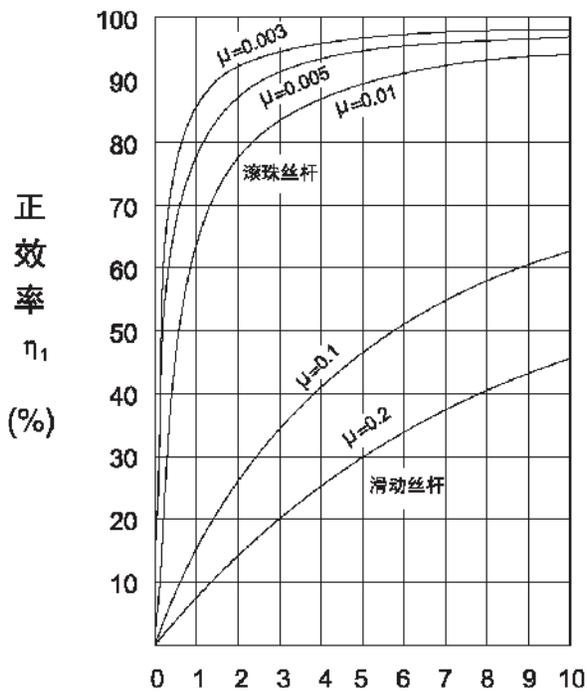


图1：正效率（旋转→直线）

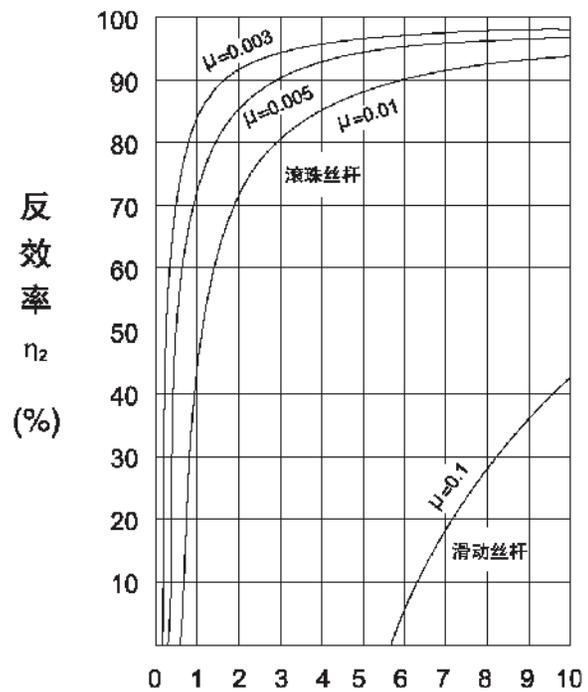


图2：反效率（直线→旋转）

### 导程角的计算方法

$$\tan\beta = \frac{\rho_h}{\pi \cdot d_p} \dots\dots\dots (1)$$

β：导程角 (度)

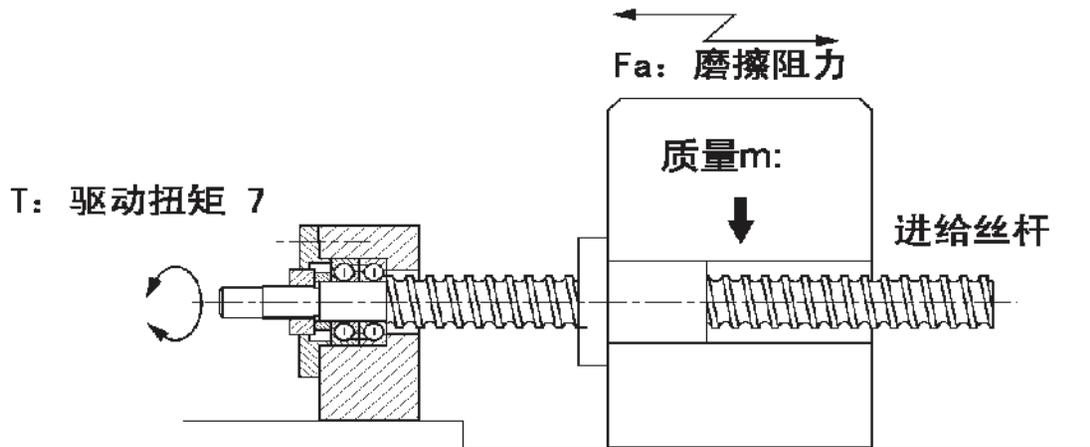
d<sub>p</sub>：滚珠中心直径 (mm)

ρ<sub>h</sub>：进给丝杠的导程 (mm)

## 二. 推力与扭矩的关系

当施加推力或扭矩时，所产生的扭矩或推力可用 (2) ~ (4) 式计算。

### 1. 获得所需推力的驱动扭矩



$$T = \frac{F_a \cdot L}{2\pi \cdot \eta_1} \dots\dots\dots (2)$$

- T: 驱动扭矩
- Fa: 导向面的摩擦阻力
- Fa=  $\mu \times mg$
- $\mu$ : 导向面的摩擦系数
- g: 重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)
- m: 运送物的质量( kg )
- L: 进给丝杠的导程( mm )
- $\eta_1$ : 进给丝杠的正效率 (图1)

### 2. 施加扭矩时产生的推力

$$F_a = \frac{2\pi \cdot \eta_1 \cdot T}{\rho_h} \dots\dots\dots (3)$$

- Fa: 产生的推力 ( N )
- T : 驱动扭矩 ( Nmm )
- $\rho_h$ : 进给丝杠的导程 ( mm )
- $\eta_1$ : 进给丝杠的正效率 ( 图1 )

### 3. 施加推力时产生的扭矩

$$T = \frac{F_a \cdot \rho_h \cdot \eta_2}{2\pi} \dots\dots\dots (4)$$

T: 驱动扭矩 (Nmm)

F<sub>a</sub>: 产生的推力 (N)

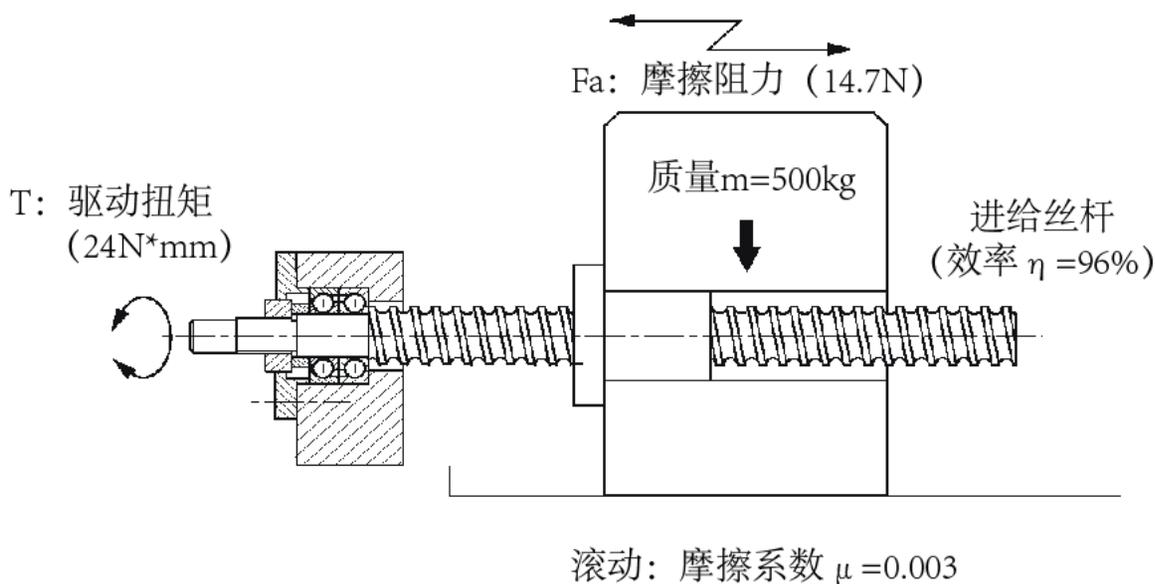
ρ<sub>h</sub>: 进给丝杠的导程 (mm)

η: 进给丝杠的正效 (图2)

### 4. 驱动扭矩的计算例

用有效直径是: 32mm, 导程: 10mm (导程角: 5° 41' 的丝杠, 运送质量为500Kg的物体匀速运动, 其所需的扭矩如下

(1) 滚动导向 (μ=0.003), 效率 (η=0.96)



导向面的摩擦阻力

$$F_a = 0.003 \times 500 \times 9.8 = 14.7 \text{ N}$$

驱动扭矩

$$T = \frac{14.7 \times 10}{2\pi \times 0.96}$$

### 三. 临界转速

当发生共振时的速度，称为临界转速。共振产生时会造成加工品不良，甚至造成设备损坏，所以一定要避免电机的转速和滚珠螺杆菌的自然频率发生共振。临界转速 $n$ 取决于丝杆的直径、安装形式以及自由长度 $L$ 。非预紧螺母不用考虑导向间隙。工作转速最大只可取到临界转速的80%。

f	安装方式	
27.4	固定	固定
18.9	固定	支撑
12.1	支撑	支撑
4.3	固定	自由

$$n = f \cdot \frac{d_1}{L^2} \cdot 10^7 (\text{min}^{-1})$$

$$n_k = n \cdot 0.8 (\text{min}^{-1})$$

$n$ =临界转速 ( $\text{min}^{-1}$ )

$n_k$ =允许工作转速 ( $\text{min}^{-1}$ )

$f$ =系数，由安装形式决定

$d_1$ =螺纹根径 (mm)

$L$ =安装间距 (mm) (丝杆两端之间的相对距离)

### 四. 允许轴向负载

因为工作台，工件…等自重，对丝杆产生的压缩负载，所以必须验算对螺杆菌轴的弯曲安全性。丝杆工作允许轴向负载是丝杆理论允许轴向负载一半。

m	安装方式	
2.6	固定	固定
10.2	固定	支撑
20.4	支撑	支撑
40.6	固定	自由

$$F = m \cdot \frac{d_1^4}{L^2} \cdot 10^4 (N)$$

$$F_k = \frac{F}{2} (N)$$

F=丝杆理论允许轴向负载

F<sub>k</sub>=丝杆工作允许轴向负载

m=系数，由安装形式决定

d<sub>1</sub>=螺纹根径（mm）

L=安装间距（mm）（丝杆两端之间的相对距离）

## 五. 刚性的计算

为提高NC机床及精密机械进给丝杠的定位精度，以及减少因切削力所引起的位移，有必要综合考虑各个组成元件的刚性来进行设计。

### 进给丝杠系统的轴向刚性

进给丝杠系统的轴由刚性用K表示，轴向弹性位移量由（5）式求出。

$$\delta = \frac{Fa}{K} \dots\dots\dots (5)$$

δ: 进给丝杠系统的轴向弹性位移量（μm）

Fa: 轴向负荷（N）

进给丝杠的系统的轴向刚性 (K) 由6式求出。

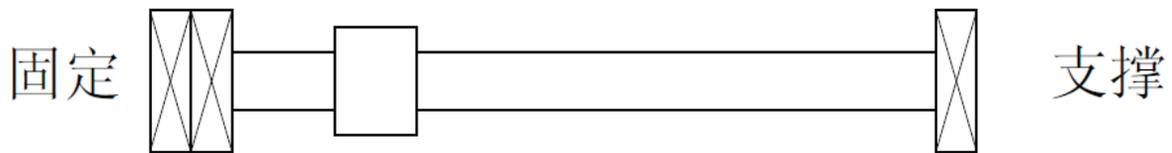
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_H} \dots\dots\dots (6)$$

- K: 进给丝杠系统的轴向刚性 (N/μm)
- K<sub>S</sub>: 丝杠轴的轴向刚性 (N/μm)
- K<sub>N</sub>: 螺母的轴向刚性 (N/μm)
- K<sub>B</sub>: 支撑轴承的轴向刚性 (N/μm)
- K<sub>H</sub>: 螺母支座及轴承座的刚性 (N/μm)

1. 丝杠轴的轴向刚性

丝杠轴的轴向刚性，因丝杠轴的安装方法。不同会有差异

(1) 当安装方法是 (固定---支撑) 时



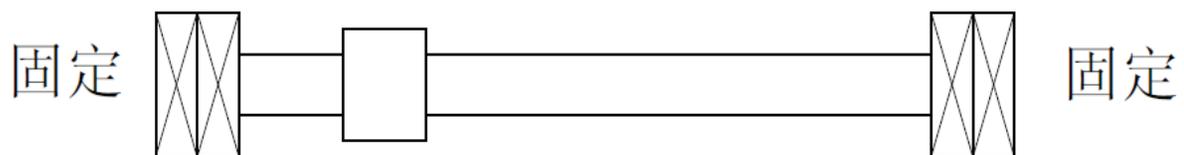
$$K_S = \frac{A \cdot E}{1000 \cdot L}$$

A: 丝杠轴断面的面积 (mm<sup>2</sup>)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2$$

- d<sub>1</sub>: 丝杠轴沟槽底径 (mm)
- E: 纵向弹性系数 (2.06 × 10<sup>5</sup> N/mm<sup>2</sup>)
- L: 安装间距 (mm)

(2) 当安装方法是 (固定---固定) 时



$$K_S = \frac{A \cdot E \cdot L}{1000 \cdot a \cdot b} \dots\dots\dots (8)$$

当在  $a = b = \frac{L}{2}$  的位置时,  $K_S$  的值为最小, 弹性位移量为最大

$$K_S = \frac{4A \cdot E}{1000L}$$

## 2. 螺母的轴向刚性

根据预压的不同, 螺母的轴向刚复自用性会有很大的差别。

### (1) 无预压型式

在施加基本额定动负荷 ( $C_a$ ) 的30%的轴向负荷时, 基理论轴向刚性值记载在尺寸表中。这个数值不包括螺母支座等有关安装零部件的刚性, 一般来说, 请以表中数值的80%为基准。

轴向负荷不等于基本额定动负荷 ( $C_a$ ) 的30%时, 其刚性值由 (9) 式求出。

$$K_N = K \left( \frac{F_a}{0.3C_a} \right)^{\frac{1}{3}} \times 0.8 \dots\dots\dots (9)$$

$K_N$ : 螺母的轴向刚性 (N/μm)

$K$ : 尺寸表中的刚性值 (N/μm)

$F_a$ : 轴向负荷 (N)

$C_a$ : 基本额定动负荷 (N)

### (2) 预压型式

施加基本额定动负荷 ( $C_a$ ) 的10%的预压时, 其理论轴向刚性值记载在尺寸表中。这个数值不包括螺母支座等有关零部件的刚性, 一般来说, 请以表中值的80%为基准。

预压负荷不等于基本额定动负荷 ( $C_a$ ) 的10%时, 其刚性值由 (10) 式求出。

$$K_N = K \left( \frac{F_{a_0}}{0.1C_a} \right)^{\frac{1}{3}} \times 0.8 \dots\dots\dots (10)$$

$K_N$ : 螺母的轴向刚性 (N/μm)

$K$ : 尺寸表中的刚性值 (N/μm)

$F_{a_0}$ : 轴向负荷 (N)

$C_a$ : 基本额定动负荷 (N)

## 3. 支撑轴承的轴向刚性

滚珠丝杠支撑轴承的刚性, 根据所使用轴承的不同会有差异。具有代表性的角接触球轴承刚性的计算, 如 (11) 式所示。

$$K_B = \frac{3Fa_0}{\delta a_0} \dots\dots\dots (11)$$

$K_B$ : 支撑轴承的轴向刚性 (N/μm)

$Fa_0$ : 轴向负荷 (N)

$\delta a_0$ : 轴向位移量 (N/μm)

$$\delta a_0 = \frac{0.45}{\sin\alpha} \left(\frac{Q}{Da}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$Q = \frac{Fa_0}{Z\sin\alpha}$$

$Q$ : 轴向负荷 (N)

$Da$ : 支撑轴承的球径 (mm)

$\alpha$ : 支撑轴承的初期接触角 (度)

$Z$ : 滚珠数

## 六. 滚珠丝杆副精度

### 1. 导程精度

威远精密滚珠丝杆副的导程精度，以ISO 3408-4为基准，根据使用范围及要求将滚珠丝杆副分为定位滚珠丝杆副(P)、传动滚珠丝杆副(T)，精度分别为1、2、3、4、5、7、10共7个等级，1级精度最高，依次逐渐降低。

任意300mm行程内和2π弧度行程内的行程变动量（见表1）

表1: 单位 μm

序号	检验内容	符号							
			1	2	3	4	5	7	10
1	任意300mm行程内变动量	$V_{300p}$	6	8	12	16	23	52	210
2	2π弧度内行程变动量（本项仅使用于P类滚珠丝杆副）	$V_{2\pi p}$	4	5	6	7	8	-	-

2. 有效行程内的目标行程公差 (ep) 和行程变动量 (Vup) (见表2)

表2: 单位 μm

	1		2		3		4		5	
	ep	Vup	ep	Vup	ep	Vup	ep	Vup	ep	Vup
≤315	6	6	8	8	12	12	16	16	23	23
>315-400	7	6	9	9	13	12	18	18	25	25
>400-500	8	7	10	9	15	13	20	19	27	26
>500-630	9	7	11	10	16	14	22	20	32	29
>630-800	10	8	13	11	18	16	25	22	36	31
>800-1000	11	9	15	12	21	17	29	24	40	34
>1000-1250	13	10	18	14	24	19	34	27	47	39
>1250-1600	15	11	21	16	29	22	40	31	55	44
>1600-2000	18	13	25	18	35	25	48	36	65	51
>2000-2500	22	15	30	21	41	29	57	41	78	59
>2500-3150	26	17	36	24	50	34	69	49	96	69
>3150-4000	32	21	45	29	62	41	86	58	115	82
>4000-5000	-	-	-	-	76	49	110	70	140	99
>5000-6300	-	-	-	-	-	-	-	-	170	119

注:

①Lu有效行程 Lu=L1-2Le

Lu有效行程, mm

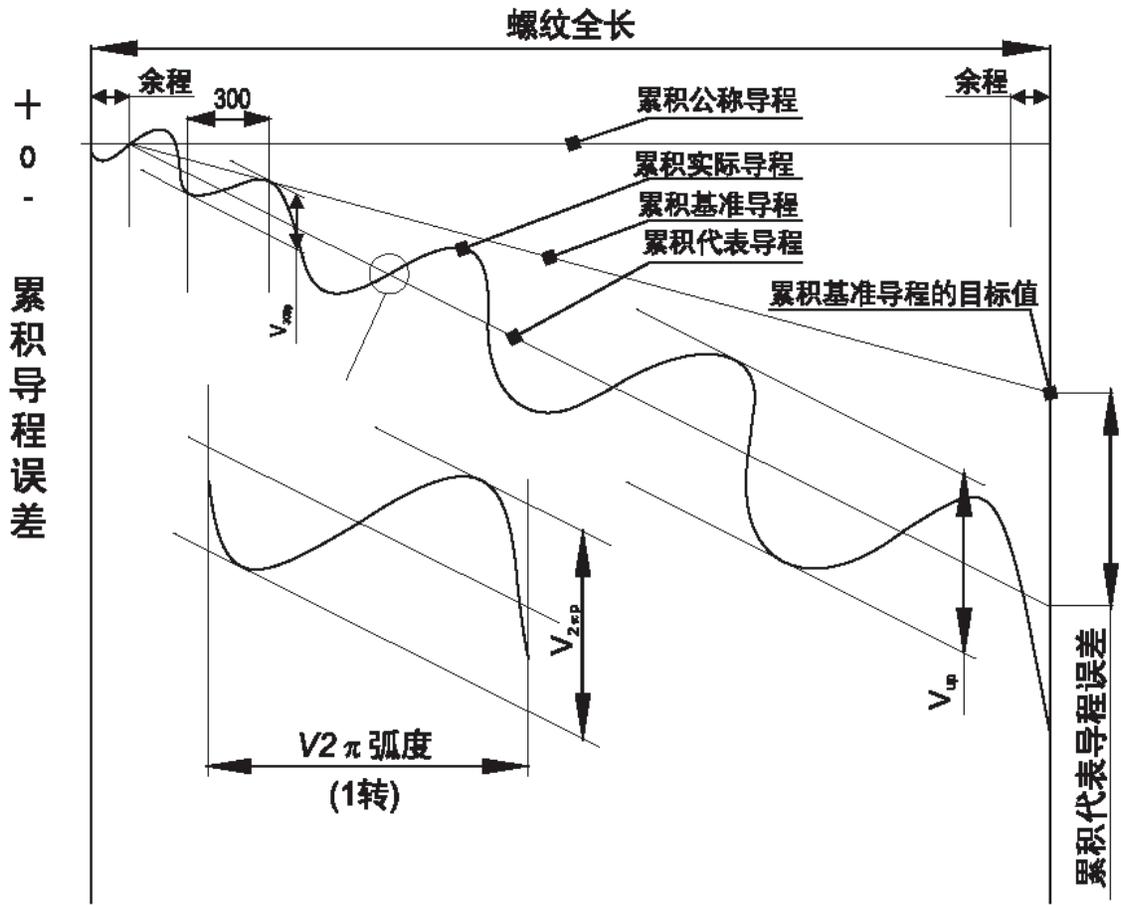
L1丝杆螺纹全长, mm

Le余程, mm

②T类滚珠丝杆副的有效行程Lu内行程变动量 (见公式12)

$$e_p = \frac{2Lu}{300} \cdot V_{300p} \dots\dots\dots (12)$$

3. 导程精度图示说明 (图3)



4. 轴向间隙

丝杆副可根据客户要求做到有预紧或有间隙，最大间隙如下表：

表3 滚珠丝杆副的轴向间隙

丝杆公称轴外径	轴向间隙 (最大)
6—12	0.05
14—28	0.1
30—32	0.14
36—45	0.17
50	0.2

## 5. 滚珠丝杆安装部位精度及测试方法

### 安装部位精度

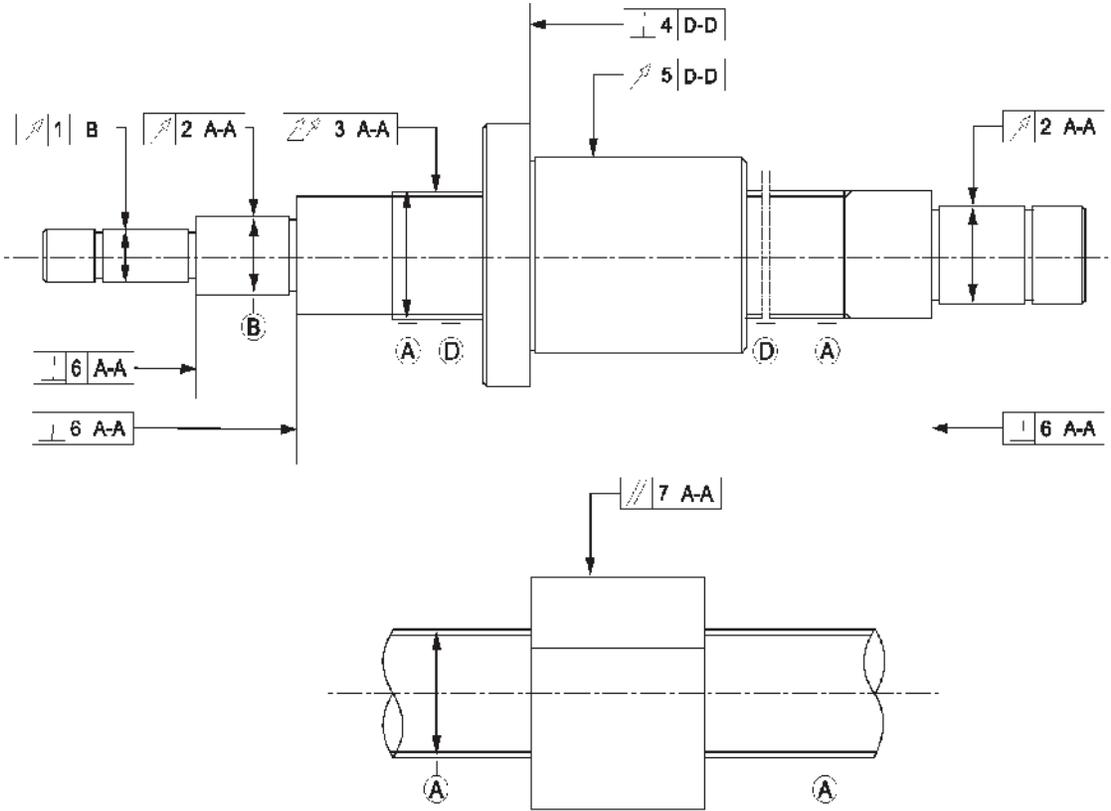


图4 滚珠丝杆安装部位的精度

检测方法具体要求参照GB/T17587.3-1998