

【技术计算】线性系统的寿命计算1

容许负载

●基本动态额定负载(C)

基本动态额定负载是指在相同条件下，分别使一群相同的线性系统行走时，其中90%不会发生因滚动疲劳而造成材料损伤，并且能行走 $50 \times 10^3 \text{m}$ 的方向及大小一定的负载。

●基本静态额定负载(Co)

基本静态额定负载是指在承受最大应力的接触区域，滚动体的永久变形量与滚动面的永久变形量之和为滚动体直径0.0001倍的静止负载。

●容许静态力矩(MP、MY、MR)

力矩负载发生作用时所承受的静态力矩负载限值由基本静态额定负载Co与相同的永久变形量决定。

●静态安全系数(fs)

静止时或低速运动时所承受的基本静态额定负载Co根据使用条件，除以表一1所示的静态安全系数fs后使用。

表一1 静态安全系数 (fs的下限)

使用条件	fs的下限
正常运行条件时	1~2
要求有平滑运行性能时	2~4
有振动、冲击时	3~5

容许负载 $(N) \leq C_0/f_s$
容许力矩 $(N \cdot m) \leq (M_P、M_Y、M_R)/f_s$

fs: 静态安全系数 Co: 基本静态额定负载(N)
MP、MY、MR: 容许静态力矩(N·m)

寿命

线性系统在承受负载并进行直线往复运动时，由于重复应力经常作用于滚动体或滚动面上，因此会出现被称为材料疲劳性剥落的鳞状损伤。

发生这一最初剥落之前的总行走距离被称作线性系统的寿命。

●额定寿命(L)

额定寿命是指在相同条件下，分别使一群相同的线性系统行走时，其中90%不发生剥落而达到的总行走距离。

额定寿命可根据基本动态额定负载与施加在线性系统上的负载按下列公式求出。

$$\text{滚珠时 } L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot 50$$

$$\text{滚柱时 } L = \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} \cdot 50$$

L: 额定寿命(km)
C: 基本动态额定负载(N)
P: 作用负载(N)

●实际使用线性系统时，首先应进行负载计算。要通过计算求出直线往复运动中的负载并不容易，因为运动过程中存在振动或冲击，并且还要充分考虑振动或冲击相对于线性系统的分布状况。另外，使用温度等也会对寿命产生很大影响。将这些条件加在一起，上述计算公式变成下式。

$$\text{滚珠时 } L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot P}\right)^3 \cdot 50$$

$$\text{滚柱时 } L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot P}\right)^{10/3} \cdot 50$$

L: 额定寿命(km)
fH: 硬度系数(请参阅图一1)
C: 基本动态额定负载(N)
fT: 温度系数(请参阅图一2)
P: 作用负载(N)
fC: 接触系数(请参阅表一3)
fW: 负载系数(请参阅表一4)

使用寿命可通过求出单位时间的行走距离来计算。行程长度与行程次数一定时，可由下式求出。

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot l_s \cdot n_1 \cdot 60}$$

Lh: 使用寿命(hr)
ls: 行程长度(m)
L: 额定寿命(km)
n1: 每分钟往复次数(cpm)

摩擦阻力和必要推力

摩擦阻力(必要推力)可根据负载与系统所固有的密封阻力按下式求出。

$$F = \mu \cdot W + f$$

F: 摩擦阻力(N)
μ: 动摩擦系数
W: 负载
f: 密封阻力(2N~5N)

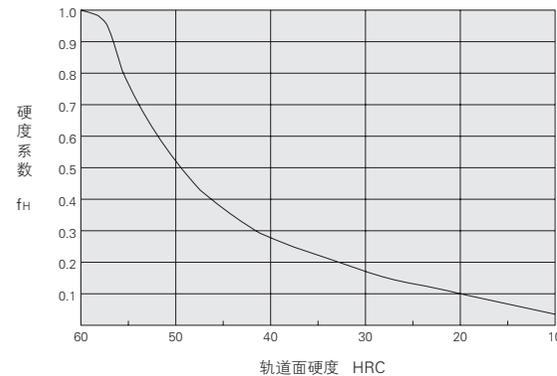
表一2 动摩擦系数

种类	动摩擦系数(μ)
微型直线导轨	0.004~0.006
中载直线导轨	0.002~0.003
线性滑道	0.001~0.003
线性工作台	0.001~0.003
直线轴承	0.002~0.003
线性滚珠衬套	0.0006~0.0012

●硬度系数(fh)

使用线性系统时，即使是滚珠接触的轴也必须具有充分的硬度。如果达不到适当的硬度，容许负载将减小，从而缩短使用寿命。请用硬度系数补偿额定寿命。

图一1. 硬度系数



●接触系数(fc)

实际使用线性系统时，通常在1个轴上使用2个以上的线性系统。在这种情况下，施加在各线性系统上的负载因加工精度而异，不会成为均衡负载。其结果，每个线性系统的容许负载会因每个轴上的线性系统数量而异。请用表一2的接触系数补偿额定寿命。

●负载系数(fw)

计算作用于线性系统上的负载时，除物体的重量外，还必须正确地求出运动速度引起的惯性力或力矩负载以及它们的时间变化等。但在往复运动中，除经常伴随有重复起动与停止外，还要考虑振动、冲击等因素，很难进行正确的计算。因此，可使用表一3所示的负载系数以简化寿命计算。

直线轴承

额定寿命可根据基本动态额定负载与施加在线性滑动衬套上的负载按下式求出。

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot P}\right)^3 \cdot 50$$

L: 额定寿命(km) fH: 硬度系数(请参阅图一1)
C: 基本动态额定负载(N) fT: 温度系数(请参阅图一2)
P: 作用负载(N) fC: 接触系数(请参阅表一3)
fW: 负载系数(请参阅表一4)

使用寿命可通过求出单位时间的行走距离来计算。行程长度与行程次数一定时，可由下式求出。

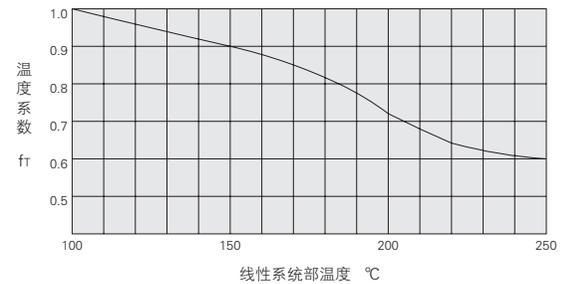
$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot l_s \cdot n_1 \cdot 60}$$

Lh: 使用寿命(hr) ls: 行程长度(m) L: 额定寿命(km)
n1: 每分钟往复次数(cpm)

●温度系数(ft)

如果线性系统的温度超过100℃，线性系统与轴的硬度就会下降，容许负载会减小到低于常温使用时的负载，寿命也随之缩短。请用温度系数补偿额定寿命。

图一2. 温度系数



表一3. 接触系数

1根轴上组装的直线轴承数量	接触系数fc
1	1.00
2	0.81
3	0.72
4	0.66
5	0.61

表一4. 负载系数

使用条件	fW
没有外部冲击与振动，速度也较慢时 15m/min以下	1.0~1.5
没有特别明显的冲击与振动，速度为中速时 60m/min以下	1.5~2.0
有外部冲击与振动，速度为高速时 60m/min以上	2.0~3.5

线性滚珠衬套

额定寿命可根据基本动态额定负载与施加在直线轴承上的负载按下式求出。

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot f_C \cdot C}{f_W \cdot P}\right)^3 \cdot 50$$

L: 额定寿命(km) fH: 硬度系数(请参阅图一1)
C: 基本动态额定负载(N) fT: 温度系数(请参阅图一2)
P: 作用负载(N) fC: 接触系数(请参阅表一3)
fW: 负载系数(请参阅表一4)

使用寿命
· 旋转和往复运动时

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \sqrt{dm \cdot n_1^2 + (10 \cdot S \cdot n_1)^2} / dm}$$

· 往复运动时

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{600 \cdot S \cdot n_1 / (\pi \cdot dm)}$$

Lh: 使用寿命(hr) S: 行程长度(mm) n1: 每分钟转速(rpm)
n1: 每分钟行程数(cpm)
dm: 滚珠节圆直径(mm) ≈ 1.15dr
· 旋转和往复运动的容许值

$$DN \geq dm \cdot n_1 + 10 \cdot S \cdot n_1$$

●负载运算

由于线性系统在支撑物体重量的同时进行直线往复运动，因此，物体的重心位置、推力作用位置以及因起、停止

或加速、减速度变化等而施加在线性系统上的负载会发生变化。进行线性系统选型时必须充分考虑这些条件。

表一5 使用条件与负载计算公式

分类	使用条件与负载	分类	使用条件与负载
1	<p>横轴</p> $P_1 = \frac{1}{4}W + \frac{X_0}{2X}W + \frac{Y_0}{2Y}W$ $P_2 = \frac{1}{4}W - \frac{X_0}{2X}W + \frac{Y_0}{2Y}W$ $P_3 = \frac{1}{4}W + \frac{X_0}{2X}W - \frac{Y_0}{2Y}W$ $P_4 = \frac{1}{4}W - \frac{X_0}{2X}W - \frac{Y_0}{2Y}W$	3	<p>垂直横轴</p> $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{\ell_1}{2X}W$ $P_{1S} = P_{3S} = \frac{1}{4}W + \frac{X_0}{2X}W$ $P_{2S} = P_{4S} = \frac{1}{4}W - \frac{X_0}{2X}W$
2	<p>竖轴</p> $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{\ell_1}{2X}W$ $P_{1S} = P_{2S} = P_{3S} = P_{4S} = \frac{Y_0}{2X}W$	4	<p>加减速时</p> <p>●起动加速时 $P_1 = P_3 = \frac{1}{4}W \left(1 + \frac{2V_1 \cdot \ell_1}{g \cdot t_1 \cdot X} \right)$</p> <p>$P_2 = P_4 = \frac{1}{4}W \left(1 - \frac{2V_1 \cdot \ell_1}{g \cdot t_1 \cdot X} \right)$</p> <p>●停止减速时 $P_1 = P_3 = \frac{1}{4}W \left(1 - \frac{2V_1 \cdot \ell_1}{g \cdot t_3 \cdot X} \right)$</p> <p>$P_2 = P_4 = \frac{1}{4}W \left(1 + \frac{2V_1 \cdot \ell_1}{g \cdot t_3 \cdot X} \right)$</p> <p>●等速运动时 $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = \frac{1}{4}W$</p> <p>g: 重力加速度=9.8×10³mm/sec²</p>

W : 作用载荷(N) P₁、P₂、P₃、P₄: 施加在线性系统上的负载(N)

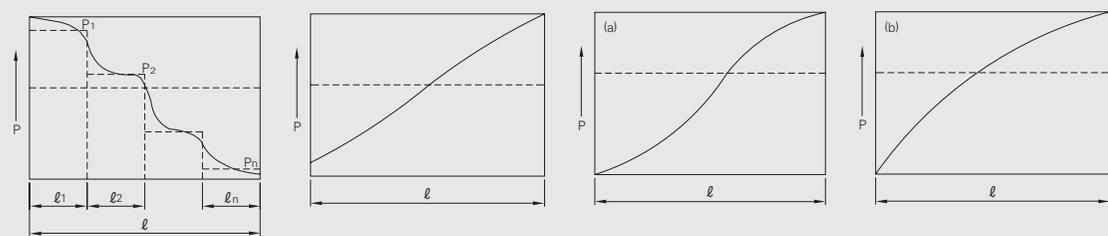
X、Y: 线性系统的跨距(mm) V: 移动速度(mm/sec)

t₁ : 加速时间(sec) t₃: 减速时间(sec)

图一3 阶段性变动负载

图一4 单调性变动负载

图一5 正弦曲线性变动负载



●变动负载的等效负载

作用于线性系统上的负载通常会因其使用方法而有各种不同的变化。例如，在往复运动的起、停止与匀速运动时，还要考虑传送时有无工件等因素。对于这种变动的负载，必须求出与该条件下相同寿命的等效负载，进行寿命计算。

①负载因距离而呈阶段性变化时(图一3)

承受负载P₁的行走距离ℓ₁
承受负载P₂的行走距离ℓ₂
⋮
承受负载P_n的行走距离ℓ_n

$$P_m = \sqrt[3]{\frac{1}{\ell} (P_1^3 \ell_1 + P_2^3 \ell_2 + \dots + P_n^3 \ell_n)}$$

P_m: 变动负载的等效负载(N) ℓ: 总行走距离(m)

②负载几乎以直线方式变化时(图一4)

等效负载P_m可近似地由下式求出。

$$P_m \approx \frac{1}{3} (P_{min.} + P_{max.})$$

P_{min.}: 变动负载的最小值(N)

P_{max.}: 变动负载的最大值(N)

③负载如图一5(a)·(b)所示以正弦曲线方式变化时，等效负载P_m可近似地由下式求出。

图一5(a) P_m ≈ 0.65P_{max.}
图一5(b) P_m ≈ 0.75P_{max.}

■直线导轨

额定寿命是指在相同条件下，分别使一群相同的线性系统行走时，其中90%不发生剥落而达到的总行走距离。额定寿命可根据基本动态额定负载与施加在直线导轨上的负载按下式求出。

$$L = \left(\frac{f_r}{f_w} \cdot \frac{C}{P} \right)^3 \cdot 50 \quad (1)$$

L: 额定寿命(km) C: 基本动态额定负载(N)

f_r: 温度系数(请参阅图一2) P: 作用负载(N)

f_w: 载荷系数(请参阅表一4)

使用寿命可通过求出单位时间的行走距离来计算。行程长度与行程次数一定时，可由下式求出。

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot \ell s \cdot n_1 \cdot 60} \quad (2)$$

L_h: 使用寿命(hr) ℓs: 行程长度(m)

L: 额定寿命(km) n₁: 每分钟往复次数(cpm)

■线性滑道

线性滑道的额定负载由滚动体(滚柱数)决定，可根据下表计算。

单轴使用	
动态额定负载(N)	$C = \left(\frac{Z}{2} \right)^{3/4} \cdot C_1$
静态额定负载(N)	$C_0 = \left(\frac{Z}{2} \right) \cdot C_{01}$
单轴纵向使用	
动态额定负载(N)	$C = \left(\frac{Z}{2} \right)^{3/4} \cdot C_1 \cdot 2^{7/9}$
静态额定负载(N)	$C_0 = \left(\frac{Z}{2} \right) \cdot C_{01} \cdot 2$
双轴并列使用	
动态额定负载(N)	$C = \left(\frac{Z}{2} \right)^{3/4} \cdot C_1 \cdot 2^{7/9}$
静态额定负载(N)	$C_0 = \left(\frac{Z}{2} \right) \cdot C_{01} \cdot 2$

C₁: 每个滚轮的基本动态额定负载

C₀₁: 每个滚轮的基本静态额定负载

Z: 转动体数量

线性滑道的寿命可由下式计算。

$$L = \left(\frac{f_r \cdot C}{f_w \cdot P} \right)^{10/3} \cdot 50$$

L: 寿命(km)

C: 动态额定负载(N)

f_r: 温度系数(请参阅图一2) P: 作用负载(N)

f_w: 载荷系数(请参阅表一4)

使用寿命

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{2 \cdot \ell s \cdot n_1 \cdot 60}$$

L_h: 使用寿命(hr)

ℓs: 行程长度(m)

L: 寿命(km)

n₁: 每分钟往复次数(cpm)