

在任何特定机器上，当确定使用哪种制动器时，要考虑许多因素。例如：制动器的功能是什么？是否存在任何外部负载？是否有时间延迟？

主要考虑应回答这个问题：“您想要制动器做什么？”

应用通常属于三个主要类型中的一个：

• 静态保持

在这类静态应用中，总是应使用一个合适的系数来补偿异物污染制动盘表面的可能性和刹车片表面修整不及时，并根据刹车片材料、法规或其它要求提供适当的安全余量。

• 动态停止和紧急制动

在动态应用中，制动器必须停止机器的所有运动零件。作为紧急制动功能，有制动要求时常需要此功能。在这种情况下，基本计算应包括对工作温度、功率消耗（确保刹车片保持良好状态）和期望的刹车片寿命的估算。

• 张紧（连续负载）制动器

当要求制动器对通过机器的材料提供连接的扭矩或张力时，出现这种应用，如在张力卷取机上。为确保适当的刹车片寿命，需要进行特殊的考虑。

制动计算是选好制动器的基础。以下计算只对想自己做选择的用户提供一些指导。要想以所建议的制动系统进行更详细的分析，Twiflex应用工程师可以用专业软件帮助您提供所有期望的操作特性的详细情况。

制动术语的定义

夹紧力 (F_n) 是将每个刹车片压到制动盘上的力。

制动力 (F_b) 是作用在刹车片和制动盘之间的切向摩擦力。

$$F_b = 2 \cdot \mu \cdot F_n$$

式中： μ 是刹车片和制动盘之间的摩擦系数（标准材料的修整完好的刹车片的标称值假定为0.4）。

制动扭矩 (T_b) 是围绕转动中心的制动力的力矩。

$$T_b = F_b \cdot r_e$$

式中 r_e 是有效盘半径。

针对一系列标准盘尺寸计算出的Twiflex系列制动钳的制动扭矩列在了一本小册子中。

制动计算

符号和单位

进行计算时，一定要使用一套统一的单位。

符号和单位

ω_m	最大盘速	[弧度/秒]
ω	制动减速度	[弧度/秒 ²]
J	折合成到被制动轴上的总惯量	[千克·米 ²]
m	外部负载	[千克]
T_B	总制动扭矩	[牛顿·米]
T_L	负荷扭矩 (不平衡扭矩)	[牛顿·米]

T_J	惯性力矩	[牛顿·米]
T_F	摩擦力矩	[牛顿·米]
t_b	制动时间	[秒]
t_d	制动器信号延时	[秒]
t_s	总停止时间	[秒]
g	重力加速度	[米/秒 ²]

制动计算基础

制动计算的基础是确保：

- 有足够的扭矩停止机器并使其保持不动
- 对于动态停止，针对所使用的刹车片的面积，功率消耗可以接受
- 制动盘的工作温度受控，以避免制动器性能衰退和降低

进行最初计算所需的基本数据是作用在机器上的任何不平衡的力和机器运动零件的总惯量。

总制动扭矩定义如下：

$$T_B = T_J + T_L - T_F$$

一般来说，对于所需制动扭矩的保守估计，摩擦力的影响可以忽略不计。

重要的是在所有动态制动情况下，当计算 T_J 时，所有运动零件的惯量被折合成到被制动轴上（见下）

制动计算

基本制动计算由简单力学进行推导。需要计算不平衡负载的影响和停止惯量所需的名义扭矩。

负荷扭矩 T_L

当机器上加有任何不平衡负载时，必须计算有效的不平衡扭矩。例如：在有悬挂负载的情况下，可以用下式简单地计算

$$T_L = m \cdot g \cdot r \text{ [Nm]}$$

式中 r 是负载的作用半径（基于卷筒直径、卷轴直径等）。在制动器开始使机器慢下来前，它将需要克服此负载；（假设不平衡对制动器的作用）。如果负载是静止的，静态制动扭矩将阻止负载运动。在实际应用中，如果只要求制动器保持此负载不动且只偶尔在动态方式实现制动，应使用一个安全系数。在这种情况下，推荐使用2倍的保险系数，以便为外界环境条件酌情留出余量，即制动器的额定参数应是计算值的两倍

对有些类型的机器，下坡输送带或自动扶梯，有一个负载分量作用在运动方向上。在这种情况下，应使用下面的公式：

$$T_L = m \cdot g \cdot r \cdot \sin \theta \text{ [Nm]}$$

式中 θ 是运动方向与水平方向的夹角。在负载不在被制动的轴上产生直接扭矩的情况下（如负荷轴与制动器之间有变速箱），应相应地计算负荷扭矩。

在动态制动的情况下，负荷扭矩不恒定，例如在风力涡轮机上，空气动力载荷随机器速度变化，计算 T_L 的公式变得很复杂，建议选择时咨询Twiflex。

惯性力矩 T_J （仅用于动态制动）

在克服了外力后，需要附加制动扭矩来停止机器的所有运动零件。此附加扭矩计算如下：

$$T_J = J \cdot \omega \text{ [Nm]}$$

使用本公式，可以从制动时间容易地计算出所要求的减速度。

$$\omega = \omega / t_b$$

在有些特殊情况下，可能需要对速度和时间进行更精确的计。

系统的转动惯量（ J ）应表示所有运动零件。例如：在升降机计算中，应给出余量，以使电机、制动盘、变速箱、卷筒、绳子等都包含合适的余量，以便发挥系统各种零件的任何机械。

有效负载惯量用下式简单地计算：

$$J = m \cdot r^2 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

对于卷筒，可以使用下面的成熟的公式估算惯量（也可用于扁平制动盘）：

$$J = \pi \rho l (D^4 - d^4) / 32 \text{ [kgm}^2\text{]}$$

式中 l 是卷筒长度；

D 是外径；

d 是内径， ρ 是材料的密度（钢为7840 千克/米³）。

计算中也应包括电机的惯量。这些值可以估计，但理想的方式应是从制造商处直接得到。

注意：所有惯量必须折合到被制动的轴上。

例如：如果制动器定位在机器的低速轴上（变速箱输出轴），所有计算的惯量值（电机、联轴器等）必须折合到此轴上。

当将惯量 J_B 从转速为 ω_B 的轴折合到另一个转速为 ω_A 的轴上时，使用公式：

$$J_A = J_B (\omega_B / \omega_A)^2$$

特殊要求

在特定情况下，进行制动计算时要直接考虑一些其它的因素。

矿用升降机中规定了保险系数的容许等级，特别是载人的升降机。

对于自动扶梯，在地方标准中可以规定允许的停车距离或均匀的减速度。

在这类特殊情况下，Twiflex可以提供计算帮助

制动计算

其它考虑因素

为优化制动性能，还必须考虑其它一些因素。

摩擦速度

对于高速应用，要进一步考虑制动器制动时制动盘和刹车片之间的线速度。这个很重要，通常在有效半径处测量。

因此，摩擦速度用下式计算：

$$\text{摩擦速度} = \omega_m \cdot r_e \text{ (m/s)}$$

一般情况下，对标准刹车片材料，推荐30米/秒的最大速度。超过此值后，有效摩擦系数很可能降低，导致制动性能下降。对于摩擦速度特别高（高达100米/秒）的特定应用，有由烧结材料制成的专用刹车片。详细情况请咨询Twiflex。

工作温度

在制动器的动态应用过程中，机器的能量将转换成热量，在刹车片和制动盘之间产生。通常用制动盘表面的温度估算制动性能。不考虑峰值温度可因制动器老化而导致制动性能降低。使用标准刹车片，我们发现可以接受250°C的峰值温度，虽然在特定情况下可以允许更高的温度。在使用烧结刹车片的情况下，峰值温度可能超过600°C。工作温度也决定刹车片的磨损。温度越高，刹车片磨损速度就越快。这些计算需要详细的分析，由应用工程师在Twiflex用专用软件进行。

功率消耗

为了使制动器的性能一贯受控，检查制动过程中消耗的功率也很重要。这会影响刹车片的状态。

要计算功率消耗，需要计算制动过程中吸收的总能量，估算如下：

$$\text{动能 (KE)} = J \cdot \omega_m^2 / 2 \text{ (焦耳)}$$

在有外部负荷的情况下，应对系统势能的变化给出更大的余量。例如：在升降机的情况下，这由制动循环中负载下降多远来决定。因此，平均功率消耗由下式计算：

$$\text{平均功率消耗} = KE / t_b \text{ (瓦特)}$$

这通常换算成用来评价刹车片性能的称为“平均比功率消耗”（千瓦/厘米²）的参数，即平均功率消耗除以刹车片面积。

对于周期约10秒的紧急停车，可以接受0.7千瓦/厘米²的值，只要刹车片嵌好且调整好。对于更短的停车时间，可以使用更高的值。

对于张紧任务，平均比功率消耗的值常常在0.06千瓦/厘米²左右。不遵守此基本选择标准会导致很差的制动性能和有限的刹车片寿命。

Twiflex应用工程师非常愿意为选择过程提供帮助，以满足您的应用要求。