

## 压强速度（PV）对梯形丝杠的影响

Robert Lipsett, 工程经理

Thomson 公司

[www.thomsonlinear.com.cn](http://www.thomsonlinear.com.cn)

[sales.china@thomsonlinear.com](mailto:sales.china@thomsonlinear.com)

在梯形丝杠组件采用聚合物螺母时，压强速度（PV）因素是正确选型的一个关键设计参数。尽管大多数工程聚合物都列出了该参数，但在考虑螺母额定负载时，这个参数一般都被忽略了。它更多地应用于径向衬套和滑轨场合。PV 参数可通过螺母和丝杠之间压强和速度的乘积来定义梯形丝杠组件的性能范围。塑料都具有一个固有的 PV 额定限值，因为我们可以求出在一定条件下运行的系统 PV 值。简单地说，作用到梯形丝杠上的负载越大，它必然转动得越慢，以避免超过螺母的 PV 限值。反之亦然，速度越大，负载容量越小。

塑料的 PV 额定值是由特定产品的复合材料公司赋予的。常见的复合塑料有杜邦公司的 Delrin® AF、Quadrant 公司的 Torlon®和 GE Plastics 公司的 LNP Lubriloy。复合材料公司负责对所选的树脂和添加剂进行配方设计。添加剂通常用来提高结构和摩擦性能。复合材料公司一般在一个钢表面上滑动材料圆盘来进行 PV 测试。通过不断改变试样的负载和速度，就可以测出磨损拐点，从而测出材料的 PV 限值。虽然基础树脂都具有一个特定的 PV 额定值，但通过添加润滑剂和其他复合物，可大大提高该额定值。这样就为设计人员提供了很大的灵活性，使他们可以根据应用获得合适的 PV 范围。应该注意的是，由于各个公司的测试方法有所不同，在选择材料时，最好要对来自一个复合材料公司的不同塑料进行比较。我们将会看到，通过改变梯形丝杠部件的几何形状也可以来改变系统的 PV 值。

出乎意料的是，大多数设计人员在设计他们的系统时，只是简单地考虑了螺母负载额定值，而忽略了速度的影响。这会导致迅速而突然的失效。梯形丝杠的主要失效原因是磨损和 PV。由于设计是在 PV 值范围内进行的，所以失效原因只有磨损一个。磨损是一种速度较慢和线性程度较大的失效类型，可以在设计中加以考虑。

任意给定材料的 PV 限值都可通过 PV 图来表示（见图 1）。该曲线图是通过将压强和速度的乘积设置为材料的 PV 限值来获得的（见等式 1）。压强指作用到螺母上的轴向力除以它的轴承投影承载面积所得的结果，而速度则指两个表面之间的相对滑动速度。通过求解压强（或速度），就可以绘制出所需速度（或压强）范围内的曲线。为了防止失效，必须将系统的 PV 值保持在材料 PV 曲线的下面。

为了确定材料的 PV 限值如何与梯形丝杠组件的系统 PV 值相关，就需要对其几何形状进行分析。第一步是先通过获得螺旋线长度来计算螺母和丝杠的螺纹之间的投影啮合投影面积（见等式 5）。螺旋线指在发生理论螺纹啮合的节圆直径上沿螺纹行进的一条假想线。通过将螺纹的螺旋线展开，我们可以通过一个三角形对其进行分析，其中直角三角形的斜边代表螺纹旋转一圈的螺旋线长度（见等式 4）。节圆直径和螺纹导程为直角三角形的底和高。对斜边进行求解，并乘以螺母中的螺纹圈数和螺纹头数，就会得到螺旋线总长度。将螺旋线长度乘以螺母与丝杠之间的螺纹啮合深度，可计算出二者之间的接触面积（见等式 2）。表面速度可通过将每圈的螺旋线长度乘以旋转速度来计算（见等式 3）。

实际操作会产生一个复杂因素。由于螺母所用聚合物材料的固有刚度，在螺母和丝杠的螺纹之间会发生变形（见图 2）。这种变形可导致螺母的螺纹发生像梁弯曲中发生的那种旋转，使螺母与丝杠之间的接触面积降低。随着这种接触面积降低的发生，接触面进一步向丝杠螺纹的牙侧上方移动，直到大部分负载被传递到螺纹大径附近（见图 3）。这种情况会对给定负载下两个部件之间的压强产生负面影响。实际上，很难计算出这种面积的减少究竟有多大。不幸的是，面积会随负载的增加而降低，这样就加重了与 PV 相关失效的趋势，因此保持在性能范围以内显得十分重要。要解决这个问题，需要在投影面积应用一个校正系数（Cf）。随着负载从轻负载增加到满额定负载容量，此系数通常在大约 0.75 至 0.25 范围内。

通过计算螺旋线长度，测定压强并将压强乘以表面速度，就可以计算出一个系统 PV 值。确保单位为 psift/min 或 MPam/s。这样就可以将结果与材料的 PV 额定值进行比较。建议安全系数取 2。人们已注意到，当系统压强（PV）超过 PV 限值的二分之一时，磨损就会加速。因此，即使不会发生突然失效，但系统的磨损寿命将会缩短。

另外，还可以绘制一个负载和螺母 RPM 或线性速度的关系曲线图。通过将压强除以校正后的接触面积，可绘制一条针对负载的 PV 曲线。并且可以对 RPM 进行求解（等式 3），以便可以将表面速度换算为旋转速度。其结果就是，可以针对特定梯形丝杠系统绘制出一个允许负载与速度的简易图形关系曲线。当位于曲线下面区域时，梯形丝杠装置的失效形式仅表现为磨损失效。

注意控制 PV 性能的方式主要有以下几种。改变聚合物复合材料或基础树脂可导致 PV 限值增加。这样就有效地将 PV 曲线在 PV 图上向上和向右移动，从而提高系统的性能（图 1）。降低部件之间的摩擦也可导致 PV 限值增加。降低摩擦的方式包括将润滑剂复合到塑料中、向丝杠中加入润滑脂或使用干膜润滑剂。此外，改变螺母的几何尺寸可降低给定负载和速度下的系统 PV 值。例如，较长的螺母将会降低螺纹上的压强。在一个长度为丝杠直径 4 倍的螺母周围的某个位置上，会发生回程减小的情况。

由于梯形丝杠系统的 PV 值计算具有某种程度的固有复杂性，因此所得的结果总存在某些不确定性。但是，了解其中的各种关系和影响将会非常有助于进行功能设计。另外，梯形丝杠的厂商还应该提供应用支持。这或许是对 PV 值进行验证的最好方法，因为他们拥有最可靠的材料和系统 PV 信息。在缺乏这种信息的情况下，请参考以下经验，即假定多数产品样本额定负载值大约在 500rpm 的转速下都是准确的。高于该值的转速工作负载需要相应降低。遵循这个规则，使您远离麻烦!

## 常见问题

### 1. 什么会引起 PV 失效?

在严重的情况下，当摩擦产生的热量积累到超过螺母的最高使用温度时，就会导致快速失效。在 PV 值较低时，磨损速度率增加，从而缩短螺母的使用寿命。

### 2. 我可以在短时间内超过 PV 限值吗?

如果实际的占空比很小的话，是可以的。但一旦摩擦产生热量，散热过程就会花费大量的时间。甚至 50% 占空比，也会在超出螺母工作温度之前增加散热时间。在应用中，当大幅超过 PV 限值时，应将占空比控制在 10%或 20%。切记，如果超过螺母的额定载荷，将会导致结构或构造的失效，请咨询制造商的意见。

### 3. 如果向梯形丝杠添加润滑剂，能提高多少 PV 限值?

实际上，为了实现满负载 500 转/分钟，大多数梯形丝杠螺母的额定负载是在 500 转/分钟速度下，并假定油脂或干膜润滑剂充分的情况下标定的。相比其他的方法，减少梯形丝杠系统的摩擦能大大地提高梯形丝杠系统的工作性能。应采取尽可能多的措施降低梯形丝杠的摩擦系数。有关系统在没有润滑剂的情况下持续运行的任何时间，请咨询制造商。

等式 1

$$PV = \frac{\text{作用力 (lb 或 N)}}{\text{投影承载面积 (in.}^2\text{ 或 m}^2\text{)}} \times \text{线性速度 (ft/min 或 m/s)}$$

等式 2

$$A = l_H \cdot d_t \cdot C_f (\text{in}^2 \text{ or m}^2)$$

等式 3

$$V = \frac{l_{HR} \cdot rpm}{60} \text{ m/sec ... or}$$

$$V = \frac{l_{HR} \cdot rpm}{12} \text{ ft/min.}$$

等式 4

$$l_{HR} = \sqrt{(p \times D_p)^2 + L^2} \text{ (in or m)}$$

等式 5

$$l_H = l_{HR} \cdot \frac{l_N}{L} \cdot S_t \text{ (in or m)}$$

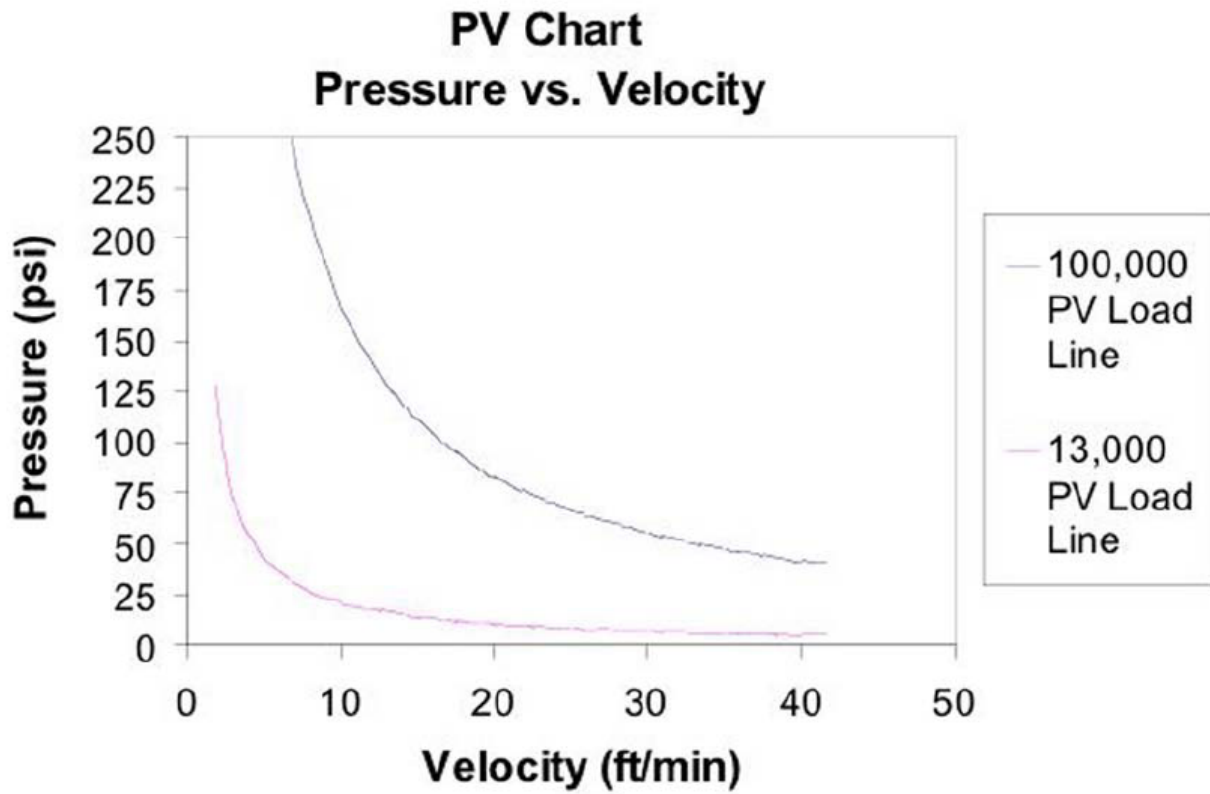


图 1

注释:

Pressure vs. Velocity 压强 vs.速度

Pressure (psi) 压强 (psi)

Load Line 负载曲线

Velocity (ft/min) 速度 (ft/min)

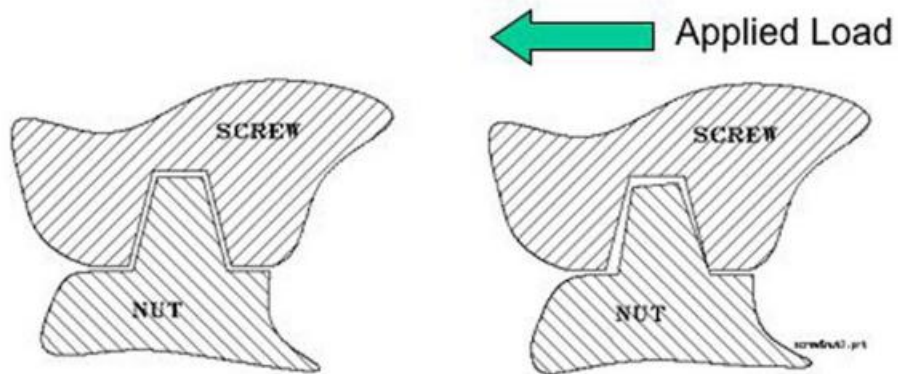


图 2

注释:

Applied Load 作用载荷

SCREW 梯形丝杠

NUT 螺母

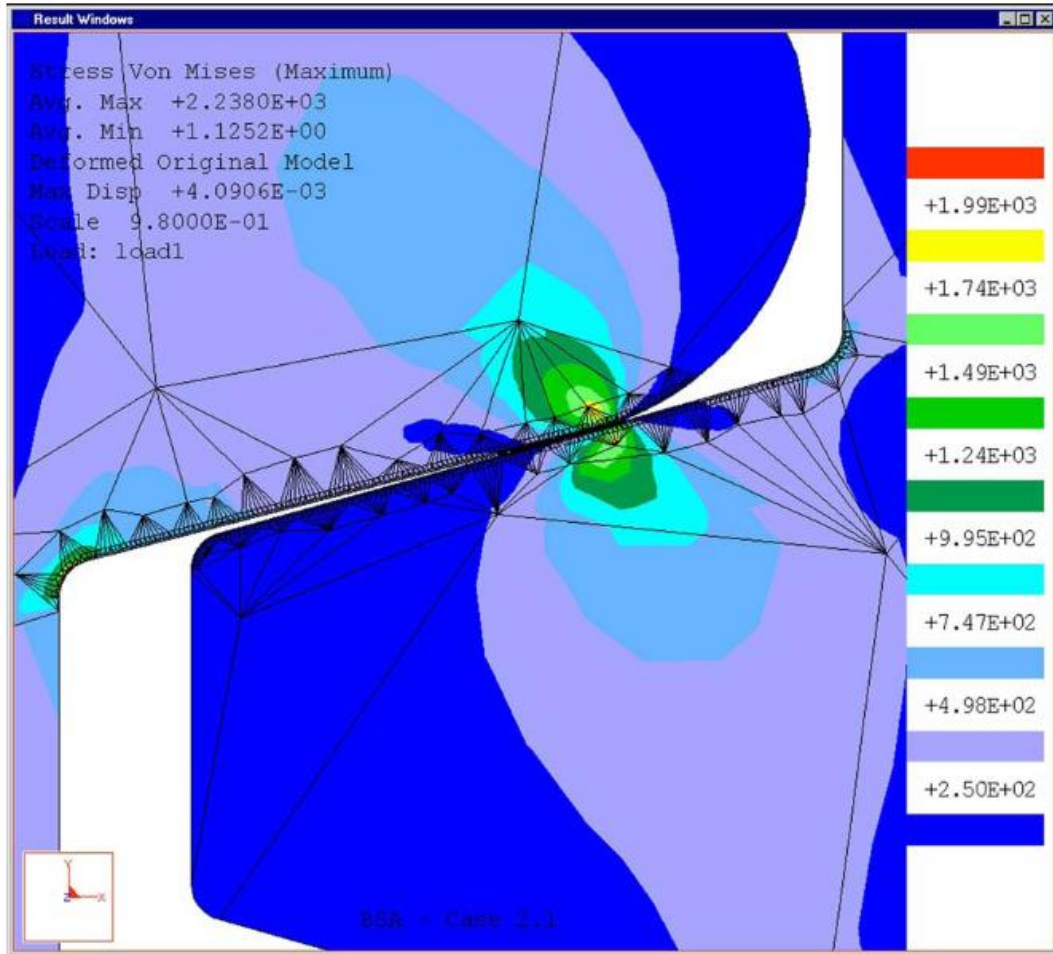


图 3