



白皮书

通过节叉设计实现更好的转向

Alfred J. Lethbridge 和 Chris Needes

2017 年 11 月

摘要

转向柱式安装电动助力转向系统很少有部件能够改善驾驶员的转向感觉。在这方面，转向齿条导向轴承（或压块）是关键部件，并且必须在车辆的使用寿命期间确保始终如一的低摩擦。一些压块设计的压片和转向齿条之间存在线性接触，这会产生较高的磨损，而 NORGLIDE® 压片解决方案可提供更大的接触面积。这意味着轴承压力减小，从而显著降低磨损率。这样可为驾驶员提供平稳的低摩擦转向感觉，每次都能提供令人满意的驾驶体验。

2017 年 11 月

圣戈班 | www.makingabigdifference.com

www.plastics.saint-gobain.com.cn

简介

所有车辆的关键特征都在于转向能力。由于质量是导致性能不断提高的市场趋势的主要原因，转向齿条需要在车辆的使用寿命期间为驾驶员提供平稳安全转向。

A、B 和 C 段中最受欢迎的转向齿条类型是转向柱式安装电动助力转向系统，或 C-EPS（图 1）。这一选择背后的原因很大程度上取决于成本和简单性，因为电动组件装配在转向柱上，且位于车内方向盘附近。这意味着电动机本身不受发动机舱的高温环境影响，因此可以使用更便宜的材料和方法。

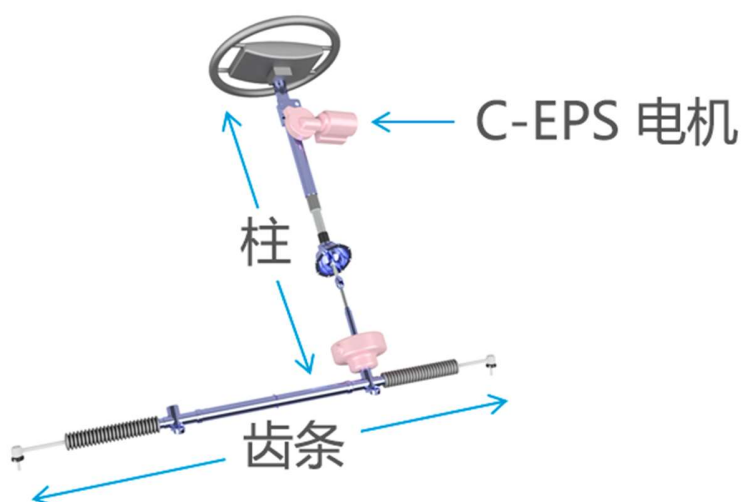


图 1：显示齿条、柱式和 C-EPS 电动机的转向系统示意图。

对于这种类型的系统，由于驾驶员双手和转向齿条之间的接触机会很少，因此没有很多部件会影响转向感觉。能够产生影响的转向系统部件列表为：

- 转向架支承衬套
- 齿条轴
- 转向齿条壳体
- 小齿轮
- 小齿轮轴承
- O 形圈
- 转向齿条导杆压块
- 压块弹簧

转向齿条压片（图 2）和压片弹簧可确保转向齿条和转向柱小齿轮之间的齿与齿始终保持啮合。如果不能始终保持啮合，转向系统会发生故障，可能造成致命的严重事故。因此，节叉轴承对于车辆的安全操作是至关重要。弹簧提供的力的典型值为 300N，并且从汽车的配重块到滑动层的齿条侧，力可以达到 12kN。因此，节叉轴承的滑动层必须保持较低的摩擦系数（CoF），以便在驾驶员左右转动方向盘时能够使转向齿条平稳流动。

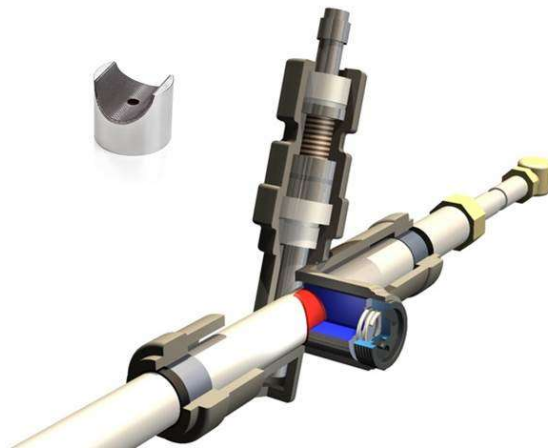


图 2：带压块滑动层（以红色显示）的转向齿条示意图。左上方显示了 NORGLIDE® 压块示例。

线性接触摩擦力很大

转向齿条导向轴承低摩擦材料的绝佳选择绝对是聚四氟乙烯（PTFE）化合物。这种奇特的材料具有不寻常的低摩擦和高压特性。因此，对于很多导向轴承和转向节叉，制造商都会选择压片和转向齿条之间线性接触的压片形状（图 3）。这会显著增加轴承压力。

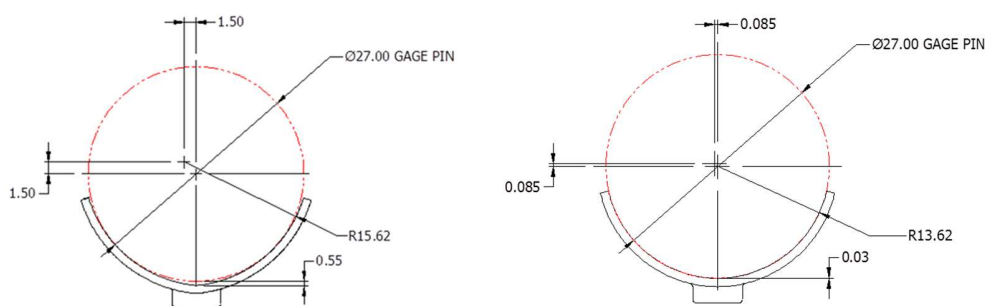


图 3: NORGLIDE® 压片和齿条轴之间的偏移量比替代压片解决方案小一个数量级。左侧压片设计的偏移量为 0.55 mm，而右侧 NORGLIDE® 转向压片的偏移量为 0.03 mm。这样可以使 NORGLIDE® 转向压片更靠近齿条，扩大接触面积，从而减小压力和磨损。

例如，取图 3 中的两个压片形状，对齿条轴 1 kN 的力施加的压力进行有限元分析（FEA），得到的结果如图 4 中所示。在这里我们可以看到接触面积越小，线性接触形状的压力越大，从而使系统的磨损率更高。

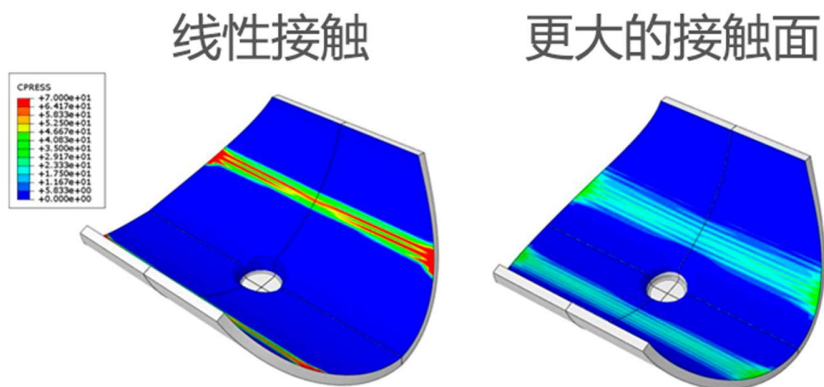


图 4: 齿条轴 1 kN 载荷在图 3 所示的两个压片形状上施加的压力的有限元分析：左侧为线性接触；右侧为更大的接触面积。

从理论上讲，线性接触可在车辆使用寿命开始时提供低摩擦；但包含使用寿命性能在内的详细测试表明摩擦力会发生重大变化。与线性接触相关的高压会导致 PTFE 层磨损率更高。这可能不是 NORGLIDE® 轴承独特结构的问题，而对于其他压片材料也是如此，这意味着在烧结的青铜上相对快速运行的转向压片会导致摩擦力显著提高。

未来的形状

如 图 3 中所示，更接近齿条形状压片形状产生的轴承压力更小，因此可以减小磨损。图 5 显示了 180,000 次周期后产生的磨损深度。此研究表明，采用线性接触压片形状替代 PTFE 基轴承会产生 90 μm 的磨损深度，这远远大于接触面更大的 NORGLIDE® 轴承所产生的磨损深度。

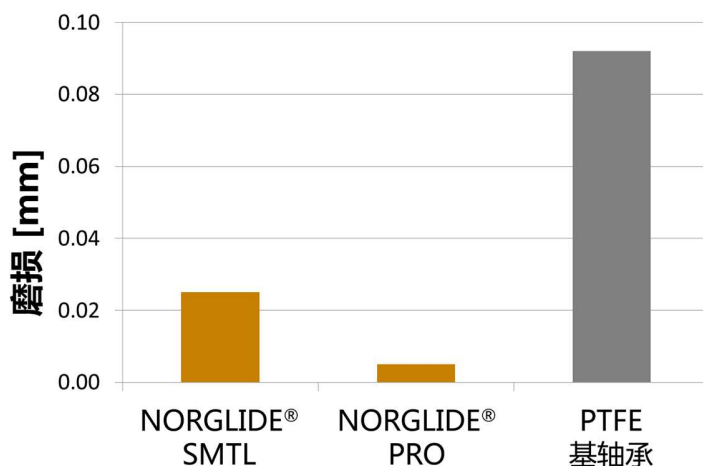


图 5: NORGLIDE® 转向齿条压片在使用寿命测试中产生的磨损要少得多。高磨损率会造成系统产生间隙，这会导致齿条和小齿轮啮合处发出嘎嘎声。测试条件：速度 = 66.7 mm/s，室温，行程 = 50 mm，Multitemp AC-P，周期 = 180K，正交力 = 2.7 kN。

如前所述，如果选择了正确的材料和润滑脂，轴承压力越大基本上意味着摩擦系数 (CoF) 越低。这是一般倾向于选择线性接触轴承产品的原因，但这种效果并不能持久。通过在耐久性测试期间测试转向齿条和压片轴承之间的摩擦，选择线性接触的缺点变得非常明显。在 图 6 中，动态和滞滑（静态）摩擦趋势最高可达 120 K 个周期。

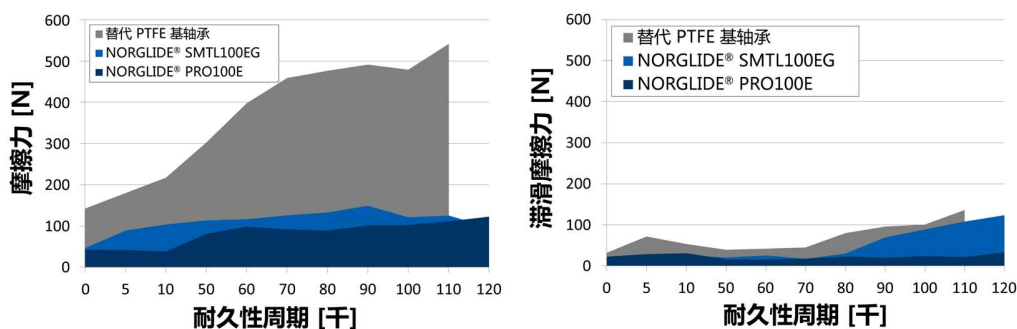


图 6: 进行了耐久性测试以研究磨损对性能的影响。分别测量了动态摩擦 (a) 和滞滑摩擦 (b) 的摩擦力，其中： $F_{stick-slip} = F_{peak} - F_{dynamic}$

通过转换为接触面更大的条件，不仅动态（滑动）摩擦力会减小，滞滑摩擦也会随着使用寿命测试增加。

随着摩擦力增加，摩擦系数也会增加，这一点可以在图 7 中看出，图中标出了 NORGLIDE® SMTL & PRO 解决方案与替代 PTFE 基轴承的耐久性测试的第一个周期、中间周期和最后一个周期的摩擦系数（CoF）。

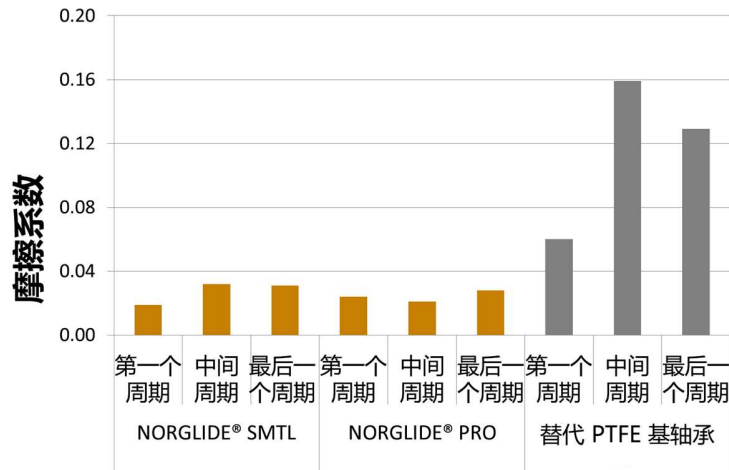


图 7: 使用寿命测试测量了摩擦系数以研究磨损对性能的影响。此测试表明了转向压片在整个车辆使用寿命中性能。如图所示，NORGLIDE® 转向压片在整个测试过程中性能始终如一。而替代 PTFE 基节叉的线性接触面会产生更大的压力，造成 PTFE 层磨损增加，从而导致转向系统摩擦力增加。

结果表明 NORGLIDE® 解决方案从第一个周期到最后一个周期都能保持始终如一的性能，而线性接触的竞争产品在测试时摩擦系数会随时间增加。转向齿条压片轴承始终如一的摩擦系数的优势在于，当输入条件更加一致时，电子控制单元（ECU）的编程就更加容易。圣戈班工程师竭尽全力站在客户的立场上考虑问题，这样他们就能了解客户的系统以及客户遇到的问题。本着这一承诺，圣戈班团队正在不懈努力提高自身转向部件测试能力，以实现全面的转向系统测试。测试能力的提升也将让我们进一步了解 NORGLIDE® 产品对于转向感觉的影响。

结论

为了实现高品质的转向系统感知，系统小部件的影响绝对不能忽略，因为微不足道的小部件也会产生巨大的影响。在这种情况下，选择齿条啮合性更好的 NORGLIDE® 压片轴承而非 PTFE 轴承意味着，车辆不仅能够在第一天提供优秀的转向性能，而是在整个使用寿命期间都能提供始终如一的卓越转向性能。轴承压力越小意味着磨损率越低，因此摩擦感也就更小并且更加一致。这可以让车辆驾驶员从第一天驾驶到最后一天都能感受到齿条轴在轴承中顺畅运行。

如需更多信息

2017 年 11 月

圣戈班 | www.makingabigdifference.com

www.plastics.saint-gobain.com.cn



请联系 sales.pp|cn@saint-gobain.com

版权信息：© 2017 圣戈班。保留所有权利。