

缩短线性运动系统的设计时间

“导轨与组件”部门工程总监 Al Ng

Thomson Industries, Inc.

540.633.3549

540.639.4162 (传真)

www.thomsonlinear.com

Thomson@thomsonlinear.com

缩短新的线性运动系统项目的工程设计时间是降低总成本和加快面市速度不可分割的一部分。本文旨在通过最大限度地减少非增值活动（如重新设计、过度设计或范围蔓延）来帮助缩短设计时间。为此，我们将回顾基本原理，透彻了解所有应用标准，通过组件、模块和完整总成的参数测试验证计算值和分析结论，并通过测试证明预计的性能结果。

在开始新的线性运动系统设计之前，应获取尽可能多的相关应用信息以避免返回和重复部分（甚至全部）设计过程。保持谨慎并对范围更改做好准备。使用理论计算值和分析结论来确定最佳初始设计，然后将它们与使用实际设备进行的测试中所测量的主要性能属性值进行比较。通过在实际现场条件下执行循环测试来确认基准测试结果。

确定需求

主要应用信息数据

- 负载 / 速度（动态和静态）
- 电压 12, 24, 36, 48 VDC, 110, 220, VAC
- 负载方向
- 行程长度
- 使用寿命 / 占空比
- 环境
- 行程末端保护：离合器？限位开关？
- 如何控制传动装置？
- 反馈
- UL、CSA、CE
- 其他... 请向传动装置应用工程师咨询以了解其他设计注意事项。

图1: 线性运动系统的典型设计检查清单

几乎每个工程过程的第一步和非常关键的一步都是确定应用需求。每个产品可能都具有独特的会影响其性能的标准集。使用检查清单，可帮助确保考虑到在其他情况下可能会被忽略的参数。要为特定应用选择正确的滚珠螺杆总成，可能需要执行重复过程以确定最小外形和最经济有效的解决方案。设计负载、线性速度和位置精度要求用于计算适合的滚珠螺杆总成的直径、导程和负载能力。然后，可基于使用寿命、尺寸限制、安装配置和环境条件选择各个滚珠螺杆组件。

良好的开始是先定义负载的方向和量级。系统方向非常重要。采用水平方向时，驱动负载等于有效负载重量乘以摩擦系数，而采用垂直方向时，驱动负载等于重量。作用于线性轴承和导轨的负载可以是垂直负载、水平负载或间距、转动或偏转力矩负载，也可以是这些负载的任意组合。负载的量级和方向也可能不同。由于不能仅基于系统总体负载矢量来估计预期寿命，因此，每个轴承的合成负载矢量必须使用线性轴承系统所承受的各种负载矢量的正确组合来建立。每个线性轴承所承受的负载称为该给定轴承的等效负载。然后，可基于负载最重的轴承的型号来确定系统型号。有关等效负载的计算方法的更多信息，请参考线性轴承和导轨供应商的目录。

例如，滚珠螺杆总成用于承受轴向负载，将旋转运动转换为轴向运动。滚珠螺杆在压缩负载下的抗屈能力称为裂断强度。螺杆承受的轴向负载与传至滚珠螺母及其补充组件的负载相比，实际上是数量相等但方向相反，且通过设计几何学与驱动电机的力矩相关。一般情况下，裂断强度是限制性设计参数，因为当长度更大时，该值可能远低于材料的实际抗压强度。由于净长度与直径的比率与纵向弯曲密切相关，因此，对于给定直径而言，滚珠螺杆的轴向负载能力取决于其净长度。

线性运动系统的使用寿命可基于其运转情况进行预测。简单的方法是，统计滚珠螺杆每天运转多少小时、每周运转多少天以及每年运转多少周。对于更复杂的应用或更准确的寿命预测，则需要积累详细且复杂的运动轨迹，将运动分解为基本为直线的线段。对于运动轨迹的每个线段，都需要了解以下信息：线段开始和结束处的速度、线段的持续时间以及该时间段内的力矩。

确定应用要求的定位精度和可重复性。例如，英制滚珠螺杆一般有两个制造等级：Precision（精密）和 Precision Plus（高精）。精密级滚珠螺杆适用于要求相对粗糙的移动的应用或利用位置的线性反馈的应用。高精级滚珠螺杆适用于微米级内的可重复定位至关重要且未使用线性反馈设备的应用。精密级与高精级螺杆相比，前者在螺杆的有效长度上的累积偏差值更大，而后者会限制导程误差的累积值，可在螺杆的整个有效长度上提供更精确的定位。

使用应用图表进行定型和选择

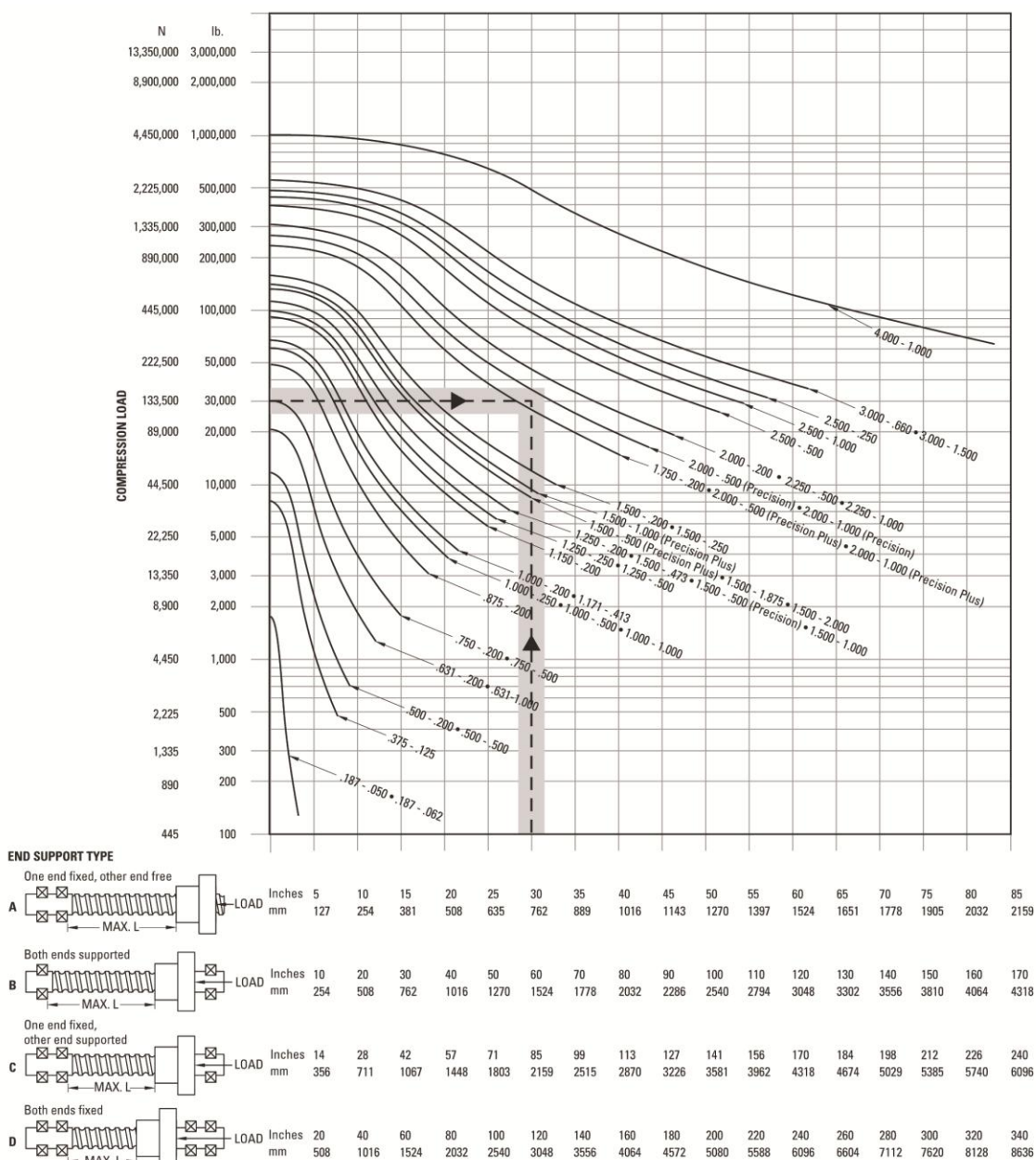


图2: 压缩负载与长度关系图

要正确定型和选择线性运动系统，使用线性运动系统供应商提供的图表是一种省时的快捷方式。例如，图2简化了针对特定压缩负载选择滚珠螺杆直径的过程。曲线通过或超过标绘点线而延伸到该线右侧的所有螺杆都适合该例。上图中所示的适合的压缩负载是不超过最大静态负载能力，该能力值可在额定值表中的各滚珠螺母总成下找到。例如，对于一端固定，另一端带有支撑的螺杆而言，长度为85 in. (2159mm) 的最大系统负载为30,000 lb. (133,500 N)。

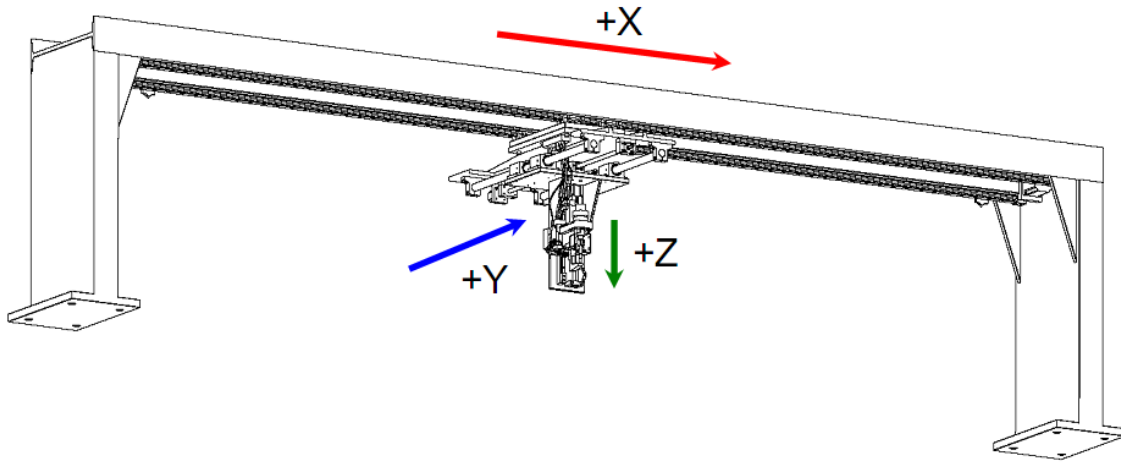


图3: 焊接龙门架应用

使用目录公式进行定型和选择

现在，我们以三轴焊接龙门架应用为例，来说明如何使用目录公式确定滚珠螺杆的型号并进行选择。滚珠螺杆行经整个 x 轴，两端由轴承支柱提供支撑。为简单起见，我们假设螺母使用法兰安装、材料为合金钢、使用右旋螺纹且产品系列为公制。此应用中的系统方向与螺杆驱动设计平行，x 轴的长度为 6 米，两端固定，采用热稳定法兰安装形式。

在方形导轨上骑行的滑架施加的负载为 2,668.9 N (600 lbs)。行进长度为 4.5 m (177.165 in)，无支撑长度为 5.818 m (229.055 in)。所需速度为 0.1 m/s (3.927 in/s)，加速度为加减 2.5 m/s² (98.4 in/s²)。占空比为每天 8 小时，每周 5 天，每年 50 周，每小时平均 10 次循环。对于使用寿命，要求滚珠螺杆为 20 年，组件为 5 年。附加要求是电气工程部门偏好使用步进电机。

接下来，我们将为 x 轴选择线性轴承。此应用的主要要求是高负载能力和高刚度。此应用的行进距离相对偏长，为 5.500 米 (18 英尺)；不过，使用 6 米长的螺杆，无需对接。低维护是此应用的一项重要要求。结果是选择 500 系列滚珠方形线性导轨。Thomson 500 系列滚珠线性导轨坚固耐用，具有卓越的刚度、高动态和静态负载能力、高力矩负载承受力、高运行精度、多种密封选件以及多种润滑油注入选件。

完成选择后，我们现在来计算滚珠螺杆上的负载。

$$F = N \times \mu_r$$

其中， μ_r 是摩擦系数，此特定线性导轨的摩擦系数为 0.005。

$$F = 2,698 \text{ N} \times 0.005 = 13.3 \text{ N} (3.0 \text{ lbs})$$

$$F = ma = 2,668.9 \text{ N} / 9.81 \text{ m/s}^2 \times 2.5 \text{ m/s}^2 = 680.1 \text{ N} (153 \text{ lbs})$$

$$F_{eq} = 303.8 \text{ N} (68.3 \text{ lbs})$$

根据此负载情况，我们一开始先选择 NEFF KGF-D 滚珠螺母。此滚珠螺母具有一体化法兰、一体化刷子和符合 DIN 69051 标准的安装形式，滚珠螺杆的精度为 $\pm 50 \mu\text{m} / 300 \text{mm}$ 。

接下来，我们将了解此应用中的压缩负载，该负载由以下公式确定。

$$F_c [\text{N}] = C_s \times 9,687 \times 10^4 \times d_r^4 / l^2$$

其中：

F_c = 临界压曲力 (N)

C_s = 基于下表的末端固定系数：

末端固定	C_s
一端固定，一端松开	0.25
两端都带支撑	1.00
一端固定，一端支撑	2.00
两端都固定	4.00

d_r = 根部直径 (mm)

l = 无支撑长度 (mm)

输入：

$$D_r = 56.9$$

$$l = 5,818 \text{ mm}$$

$$C_s = 4.00$$

输出

$$F_c = 119,991.6 \text{ N}$$

$$F_s = F_c \times S \text{ (安全系数为 0.8)}$$

$$F_s = 95,993 \text{ N}$$

验证

$$680.1 \text{ N} < 95,993.3 \text{ N} - \text{通过!}$$

现在，检查针对寿命期望值的要求。使用寿命的一般额定值为 L_{10} ，表示滚珠螺杆的 90% 部分仍有效时所经过的运转时间。

$$L_{10} [\text{转数}] = (C_{am} / F_{eq})^3 \times 10^6$$

在此应用中，使用寿命期望值为 1,035,752.6 年。使用寿命值如此高的原因是，我们基于临界速度而不是使用寿命来选择滚珠螺杆。

最后，我们来看一下轴承支撑的使用寿命期望值。典型的固定轴承支撑为 WBK 系列。轴承支撑的使用寿命期望值可通过使用此公式确定。

$$L_{10} [\text{小时数}] = (C_{am} / P_r)^3 \times (1 \times 10^6 / 60 \times n)$$

$$P_r = (0.35 \times F_r) + (0.57 \times F_a)$$

$C_{am} = 51.5 \text{ kN (11,577.7 lbs)}$
 $F_a = 68.3 \text{ lbs} / 2 = 34.15 \text{ lbs}$
 $F_r = 0.0 \text{ lbs}$
 $P_r = 19.47 \text{ lbs}$
 $L_{10} = 22.1 \text{ 年}$
22.1 > 5 - 通过!

测试提议的设计

根据计算值选择设计后，需要进行测试以确保提议正确。测试专用于验证所提议的内容与实际相符，如果不符，则指导完成可能需要的任何纠正操作。验证测试应经过专门设计，以回答一系列问题，比如：

- 成品是否符合设计规范？
- 在实验限制内使用理论计算值时的性能是否稳定？如果不稳定，则有多不稳定以及原因是什么？
- 产品能否提供所需的可靠性级别？
- 产品有哪些潜在模式和故障点？
- 当前解决方案与替代方案的比较结果如何？

对于大型系统和机器，您可能希望先测试元件，然后再对组件进行基准测试，最后对整个装置进行测试。在测试的每个阶段，都应审核测试结果并与理论计算值相比较，以确保设计方向正确或考虑合理的改进机会。测试旨在向我们展示我们在计算和建模时可能错过的内容。

配置好的线性运动系统

在整个设计过程中，考虑到购买配置好的线性运动系统而不是自行设计和组装是否更加理性，这一点也很重要。在这种情况下，您将需要向线性运动集成商提供应用要求，比如安装配置、定位要求、环境条件、负载状况、移动要求以及任何特殊注意事项。然后，一般情况下，集成商将利用基于网络的定型和选择系统（请参见补充资料）根据您提供的信息来设计和配置定制的线性运动系统。集成商通常会在接到请求的 24 小时内提供报价和提议的设计的 CAD 文件。大多数情况下，此类系统的成本要低于各组件的总成本。此方案一般可将工程时间和组装成本减少 90% 甚至更多，通常还可节省 20% 至 30% 的材料成本。最重要的是，通过减少设计线性运动系统的时间，工程师将减少在非核心竞争力的领域所花费的时间，而将更多时间用于总体系统集成这一他们最擅长的工作。

总的来说，利用所有有用资源以节省资源和设计时间。不要小看线性运动提供商提供配置好的线性运动装置的能力，这些装置可帮助您降低工程和组装成本。评估购买组件、购买模块、购买完整系统等替代方案对设计和组装时间的影响程度。充分利用所有可用的设计工具（如图表、公式、在线选择系统以及 3D 模型）。最后，联系技术支持人员以在标准解决方案、经修改的标准解决方案和专用解决方案中利用他们在产品方面的专业知识。一定要确认供应商具有设计验证/测试/分析数据来支持设计主张和设计定位。此方案可最大限度地缩短设计时间，同时确保线性运动系统符合性能和耐用性要求。

补充资料：如何在数分钟而不是数小时内完成线性运动系统的定型和选择

经济且证明有效的标准组件符合大多数线性运动的要求。在这些应用中，基于网络的定型和选择工具真正地将系统定型和选择时间从数小时降至数分钟。

利用基于网络的定型和选择工具，比如 Thomson 的线性 MOTIONEERING® (www.linearmotioneering.com)，用户可输入应用的关键参数。这些要求通过计算值的完整集合来进行筛选。然后，该应用程序将显示出按成本排列的符合应用要求的产品列表。输出包括 3D 模型、价格、交付时间和订购信息。

步骤 1 - 确定系统方向

用户选择应用方向：反向、垂直、水平侧或水平。然后选择安装配置 - 完全支撑、末端支撑或间断支撑。

步骤 2 - 输入定位要求和行程长度（定义为硬停机之间的行程）

用户选择是否从精度、可重复性或可允许的最大间隙来定义定位要求。接着，用户将为已选定的选项选择一个值。

步骤 3 - 定义对于确定正确的材料、遮盖策略和润滑方案至关重要的环境条件

用户可从以下选项中选择一个条件：干净、水/化学喷涂/烟雾、撞击/印刷应用/振动、尘微粒级别中等至重度、高压/高温冲洗、水/化学品飞溅和无尘室。根据选择的环境，该应用程序将推荐线性滑动选件，比如镀铬滚珠导轨、不锈钢滚珠导轨、Raydent 表面滚珠导轨、CR 线性轴承、塑料滑动轴承等。用户可更改这些选件。

步骤 4 - 输入负载和施加力

负载是滑架或鞍座支撑的重量，包括有效负载、固定件和工具。用户通过输入 x、y 和 z 值找到与滑架/鞍座中心相关的负载重心。用户输入施加的力或外力。这一与工艺相关的力假定在负载重心施加。

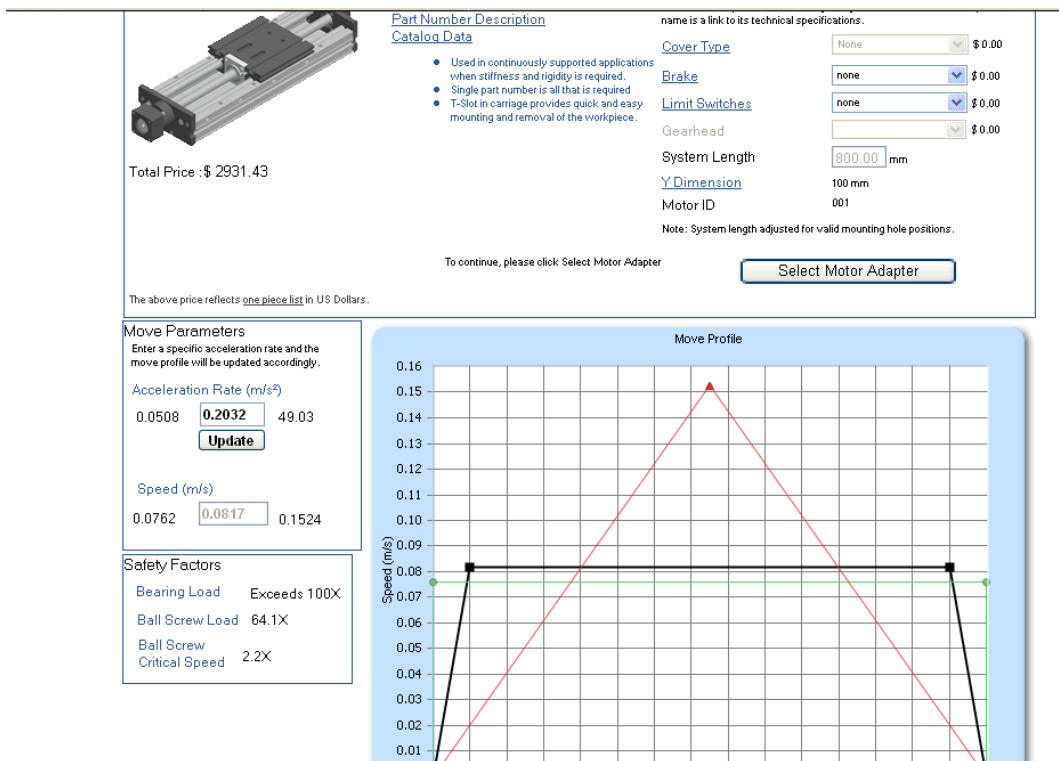


图4: 应用程序计算出的最小加速度移动轨迹 (绿色), 建议的移动轨迹 (黑色) 和最大加速度移动轨迹 (红色)。Linear MOTIONEERING (www.linearmotioneering.com) 基于网络的定型和选择工具的屏幕截图。

步骤 5 - 输入移动轨迹要求

用户输入移动距离、移动时间和停延时间。该程序为符合应用要求的每个单独系统确定适当的加速度。然后, 由用户在解决方案集中选择一个系统。该应用程序将显示出多个移动轨迹。绿色移动轨迹基于最大加速度, 红色移动轨迹基于最小加速度。用户在最大值和最小值之间确定建议的移动轨迹并提供需要的加速度。

根据建议的移动轨迹, 该应用程序将计算轴承和驱动负载以及滚珠螺杆的临界速度。用户还可输入自己的加速度。当用户完成操作并按更新按钮后, 该应用程序将显示出用户选择的移动轨迹并根据新的移动轨迹更新安全系数。

最后, 用户可以选择诸如电机安装件、盖板、制动器、限幅开关和减速机等选项。该应用程序将显示出系统总价及尺寸。用户可下载解决方案的 3D CAD 模型在本地使用, 格式包括 20 多种主要 CAD 软件包或中性文件格式。用户可查看和打印规格, 并保存应用程序或请求报价。

此方案极大减少了设计和外包线性系统的时间和成本。它为各公司提供了将珍贵的工程资源集中于核心竞争领域的机会, 同时利用线性系统供应商的丰富经验。



Linear Motion. Optimized.

此类设计工具的流行将促进制造商开发更多资源来帮助机器制造商节省时间和优化性能。

例如，Thomson 已提供了许多其他工具来帮助简化和加快设计过程，包括：

- 针对线性导轨的 Linear MOTIONEERING® -
www.thomsonlinear.com/linear_motionengineering_screws
- 针对滚珠螺杆和导螺杆的 Linear MOTIONEERING® -
www.linearmotioneering.com/screws
- 针对 Micron TRUE™ Planetary 减速机的 Micron MOTIONEERING® -
www.micronmotioneering.com
- 针对 60 Case® LinearRace 轴系的 Linear MOTIONEERING® -
www.linearmotioneering/shafting

关于 Thomson

Thomson 在 60 多年的历史中，始终致力于运动控制创新和保持高品质，是业界的主要制造商，产品包括 Linear Ball Bushing® 轴承和方形导轨轴承、60 Case™ 轴系、研磨和滚动滚珠螺杆、线性传动装置、减速机、离合器、制动器、线性系统和相关附件。Thomson 于 1945 年发明了线性滚珠衬套轴承，此后，又通过为全球商业市场以及航空航天和国防市场提供一系列卓越的机械运动控制解决方案而奠定标杆地位。Thomson Industries, Inc. 在北美、欧洲和亚洲都设有分部，在全球各地拥有 2000 多家经销商。

Thomson, 1500 Mittel Boulevard, Wood Dale, IL 60191-1073; 1-540-633-3549; 1-540-633-0294 (传真) ;
Thomson@thomsonlinear.com; www.thomsonlinear.com。