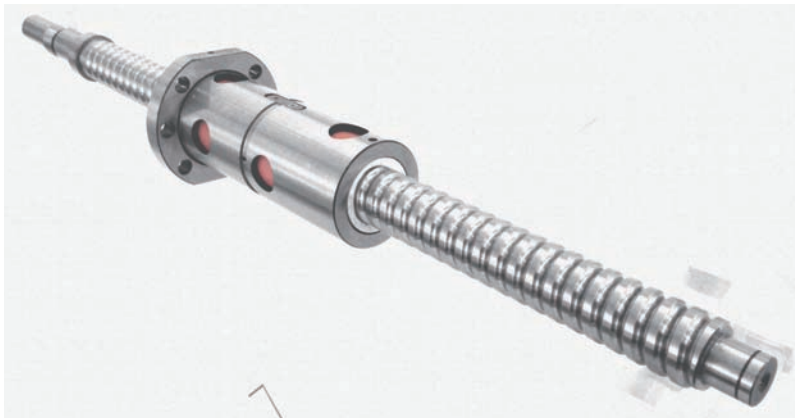




本文从功能原理、技术参数、应用实例方面对滚珠丝杠和直线电动机驱动的加工中心性能进行了全面的对比，展现了直线电动机的优越性能和发展态势。

基于直线电动机和滚珠丝杠驱动的应用对比

□ 东风日产乘用车公司 / 唐行虎

滚珠丝杠在机床行业的普遍应用，推动了加工机床行业的快速发展，但机械式传动的局限性，已无法应对日益高速化、高效化切削的发展趋势。直线电动机式就是在这种趋势的需求下产生的一种高速高效传动方式，特别是机床的高速传动发展跨上一个新台阶。

德国作为世界先进机床的先

驱，20世纪80年代就开始了高速铣削和车削技术的研发。1993年，德国EXCELLO公司推出了世界上第一个由直线电动机驱动的工作台HSC-240型高速加工中心，机床主轴最高速达到24 000r/min，最大进给速度为60m/min，加速度达到1g。当进给速度为20m/min时，其轮廓精度可达0.004mm。美国的Ingersoll

公司紧接着推出了HVM-800型高速加工中心，最大进给速度达到75.20m/min。1996年开始，日本相继研制成功采用直线电动机的卧式加工中心、高速机床、超高速小型加工中心、超精密镜面加工机床、高速成形机床等。

从此以后，直线电动机在高速数控机床的应用如雨后春笋般地迅

速发展起来。近十年来，世界上各工业发达国家纷纷投入巨资，大力研究、开发成功不少直线电动机驱动的高速数控机床，并逐渐有抢占传统滚珠丝杠市场的态势。

直线电动机加工中心在国外的宝马、通用等著名汽车公司已经有成熟的应用，在国内上汽通用、东



图 1

风雪铁龙、昌河铃木、海马汽车等也有整线的应用实例。本文从技术分析和应用实例上进行了直线电动机和滚珠丝杠驱动加工中心的对比。图1为Comau Urane25直线电动机高速加工中心。

传动原理分析对比

滚珠杠副存任的问题如下：

- (1) “旋转电动机+滚珠丝杠副”的直线驱动方式存在着多个弹性环节，当整个系统在高速运动时，会出现刚度下降，同时弹性变形使系统的阶次变高，系统的鲁棒性降低，从而使伺服性能下降。弹性变形是数控机床产生机械谐振的根源。
- (2) 中间传动环节的存在，增加了运动体的惯量，使得位移和速度响应变慢。
- (3) 间隙死区、摩擦、误差积累等因素，使进给速度和加速度

受到限制。
(4) 动转平稳性较差，在高速运动下噪声易发热。

(5) 精度保持寿命相对短。

而直线电动机以一个运动部件实现直线运动，则具有以下优点：直接驱动中力是无接触传递的，因此无磨损，使用寿命长，维护简单；传动刚性高，推力平稳，直接驱动，弹性环节减少，系统刚性提高，传动效果高；定位精度和重复定位精度高，可达亚微米级，比伺服电动机及滚珠丝杠副传动的加速度和重复定位精度提高7~10 倍。

性能指标对比

直线电动机的特点如下：

- (1) 快速响应性。一般说，机械传动件比电气元件的动态响应时间要大几个数量级。由于系统中取消和响应时间常数较大的如滚珠丝杠等机械传动件。使整个闭环的

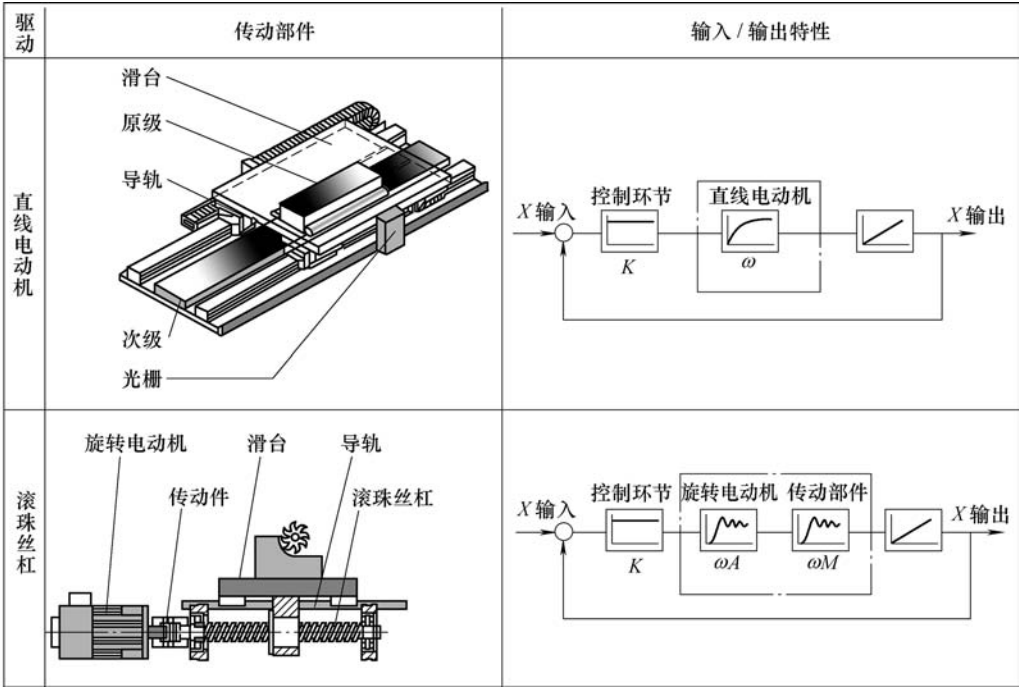


图2 机床驱动轴原理对比

控制系统动态响应性能大大提高。

(2) 结构简单, 以一个运动部件实现直线运动。直接驱动中力是无接触传递的, 因此无磨损, 使用寿命长, 维护简单。

(3) 传动刚性高, 推力平稳, 直接驱动, 弹性环节减少, 系统刚性提高, 传动效果高。

(4) 精度和重复定位精度高, 可达亚微米级, 比伺服电动机及滚珠丝杠副传动的加速度和重复定位精度提高7~10倍。

(5) 速度高, 加速度大。最大速度可达90~180m/min, 最大加速度可达10g。

(6) 行程不受限制。在导轨上通过串联直线电动机的定子可任意延长动子的行程长度, 这是滚珠丝杠所望尘莫及的。结构简单、运动平稳、噪声小, 运动部件摩擦小、磨损小、使用寿命长、安全可靠。

加工效率的对比

现以某发动机气缸盖的8个φ11H7的导管孔精加工为例, 分别用滚珠丝杠的加工中心A和直线电动机加工中心B加工, 两机床的参数如图3所示, 工艺参数及节拍见表2。

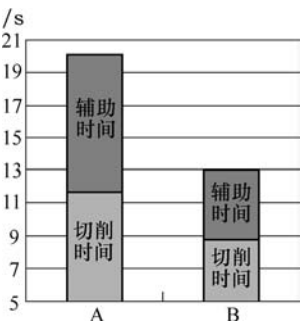


图3 工艺参数及节拍表

数据表明, 同样的加工内容和切削参数下, 直线电动机的加工中心节拍比滚珠丝杠加工中心降低近40%。直线电动机驱动产生的高速进给, 配备高速的电主轴, 大大提高了切削效率; 同时, 直线电动机极高的快移速度也大大降低了空行程时间, 这就是直线电动机加工中心生产效率高于滚珠丝杠加工中心的原因。如果生产线编排要求工序集中化、频繁重复多个同样的加工内容、加工时空行程较长、设备安装空间小、生产效率高、人员配备少, 这些情况下, 建议采用直线电动机加工直线来组成生产线; 如果工艺编排分散化、刀具性能不能满足高速加工、需要强力切削、工件装夹转换频繁, 则建议采用滚珠丝杠加工中心来组件生产线。

加工精度试验对比

两种传动方式, 从原理上存在根本的精度控制差异, 直线电动机的定位精度基本能控制在0.003mm以内, 重复精度控制在0.001mm以内, 且能保持长期的稳定; 而丝杠传动初期基本在0.005mm, 在后期磨损后精度逐步降低到0.01mm左右, 精度会越来越差, 需频繁的维护和更换。行业内一般用插补加工来对比圆度差异, 分别用直线电动机加工中心和滚珠丝杠加工中心插补铣φ50mm的孔, 丝杠传动的设备加工出来, 微观上的形状是锯齿状, 且圆度较大, 而直线电动机驱动加工的孔形状基本保持比较圆滑的过渡。圆度结果分别为: 滚珠丝杠加工中心13.4μm (见图4), 直线电动机加工中心3.1μm (见图5)。

表1 两种设备的优缺点对比

对比项目	直线电动机+电主轴	滚珠丝杠+机械主轴
主轴最高转速/r·min ⁻¹	24 000	12 000
快进速度/m·min ⁻¹	120	60
快移速度/ m·min ⁻¹	208	<60
加速度	最高已达30g	<1g
定位精度	可达0.003mm, 一般<0.005mm	一般0.008mm左右
重复定位精度/mm	<0.001	一般0.004
传动特性	单级直接传动	二级间接传动, 有反向间隙
传动磨损	磨损小, 仅导轨有磨损	直接接触磨损大
部件冷却	易发热, 强制冷却	高速加工时需冷却
可维护性	可达10年免维护	需定期维护
驱动能耗/kW·h	30~40	20~25
其他	电磁辐射问题, 需设计屏蔽防护	
建议	初期投资相对较少, 适合高速高效切削如航空件, 模具等, 后期刀具等运行成本相对较高	适用范围较广, 但效率和初期设备数量投资较高

表2 加工参数节拍对比表

机床类型	机床转速/r·min ⁻¹	每齿进给/mm·T ⁻¹	每转进给/mm·r ⁻¹	每分进给/mm·min ⁻¹	进给长度/mm	孔数/个	切削时间/s	辅助时间/s	总计时间/s
A	4500	0.05	0.2	900	22	8	11.7	8.4	20.1
B	6000	0.05	0.2	1200	22	8	8.8	4.0	12.8

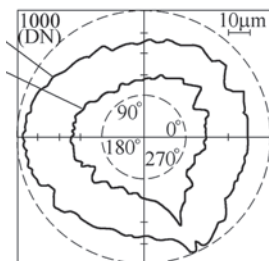


图 4

由此可见在进行圆弧插补加工时，直线电动机加工中心加工出来的孔圆度远远优于滚珠丝杠中心，

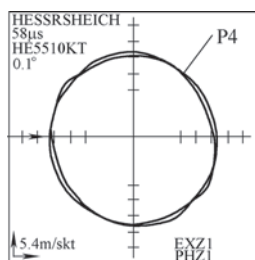


图 5

更适合用于加工精度要求较高的曲线、曲面特征，如用于高精度模具的加工。

以上是结合工作原理与试验

证结果，对直线电动机高速加工中心与传统滚柱丝杠传动的机械主轴加工中心的对比，最终应用时需结合自身产品、工艺、技术要求和投资的理念，择期适者而用之。

AUTO1950

唐行虎，东风日产乘用车公司PT技术部，机加工领域主任工程师。

罗姆海德集团中国公司盛大开业

中国南京，2018年8月10日，工件夹持、模具快换、人机装配与驱动技术高效解决方案的全球领导者罗姆海德集团（ROEMHELD Group），在南京为其中国子公司——罗姆海德工艺装备（南京）有限公司举行了盛大的开业典礼。此举标志着罗姆海德集团在中国市场的发展进入了一个崭新的阶段，充分证明了其对中国市场的重视以及立足中国的决心。庆典活动当天，来自当地政府、全国各地的客户、合作伙伴、研究院所、媒体等众多嘉宾及罗姆海德集团总部和中国区高级管理层人员共同见证了这一历史性时刻。

罗姆海德集团常务董事、德国机械设备制造业联合会（VDMA）装夹分会执行主席Hans-Joachim Molka先生表示：“机床、刀具是用户极其重要的投资，正确的工装夹具方案对减少待机至关重要。帮助中国用户提升其高端机床使用率，支持其工艺优化，一直是我们的目标。罗姆海德中国子公司的

成立，将有效加快我们的市场响应。”

罗姆海德集团拥有“ROEMHELD”“HILMA”“STARK”和“RIVI”四大品牌，为工业生产提供工件夹持技术、模具夹持与快换技术、人机装配技术和驱动技术等领域的创新产品和解决方案。四大品牌互相配合、联合创新，共同为客户带来高效、灵活的生产工艺流程。此次的开业典礼，罗姆海德集合了四大品牌的经典和创新产品并向到场的嘉宾介绍和展示了集团在高效解决方案上的最新进展。目前罗姆海德集团可提供约2.5万个标准目录册产品，全面丰富的产品系列可为客户全方位地提供日常生产所需的各类定位夹持元件、装配模块以及快换系统，满足客户大部分的生产需求。同时，面对苛刻的工作条件，如狭窄的移动空间或者更复杂的环境，罗姆海德可量身定制满足生产要求的工装夹具产品。如今，随着工业4.0以及智能制造的浪潮，越来越多的用户

提出了个性化的需求，罗姆海德表示，期望能利用自身的优势为本地用户带来更多提升生产效率的优质产品及解决方案。

罗姆海德工艺装备（南京）有限公司总经理田佳先生表示，在中国市场贯彻本地化战略包含了多方面的内容，比如产品的本地化、服务的本地化等等，罗姆海德中国正在全方位地加速客户走向成功的步伐。除了可靠性和精确性，中国客户的需求在逐步升级，在自动化、智能化等方面所面临的挑战正在增加。帮助客户认清问题、做出及时响应并提供合适的解决方案，正是罗姆海德的强项。罗姆海德的定制化解决方案将有效帮助用户进一步地降低成本、提升效益，进而向智能制造迈进。

依托南京的地理与人才优势，罗姆海德中国将辐射整个中国地区，为本地关键客户及OEM客户提供更及时的维护、咨询与技术支持，以及通过在本地建立备件仓库拓展其售后服务。