

我国轴承产业的特征与制造装备技术水平

■ 洛阳轴承研究所有限公司副董事长 杨晓蔚

摘要：轴承是在机械传动过程中起固定和减小载荷摩擦系数的部件，经历60多年的建设和发展我国轴承工业已经实现了从小到大、由弱到强的发展战略，形成了生产布局基本合理、大中小企业并存、产品门类比较齐全比较完整的工业体系。而且具备了较大的生产能力和较强的技术实力。



作者简介：杨晓蔚，教授级高工，洛阳轴承研究所有限公司副董事长兼国家轴承质量监督检验中心主任、全国滚动轴承标准化技术委员会主任委员、中国轴承工业协会技术委员会秘书长。

我国轴承行业的发展现状

我国轴承行业经过新中国建立60多年、特别是近十几年来的建设发展，经历了“从无到有、从小到大”历史过程，从2003年开始，已成为规模总量稳居世界第三的轴承大国，成绩显著。2013年，我国轴承行业销售收入为1 535亿元，规模以上企业为1 358家。目前，已进入

“由大到强”的关键转型期。

我国轴承行业“大而不强”，主要表现在以下几个方面：

(1) 产品技术质量水平不高。以近10年来的国家监督抽查结果为例，平均抽样合格率仅为70%左右，远远低于全国工业品平均抽样合格率90%以上的水平。

(2) 企业市场核心竞争力不足。除中低端轴承主要靠低价优势占据市场外，在高速铁路、民用航空、高档机床、高级汽车、盾构机、计算机硬盘驱动器等领域，由于技不如人，至今没有实力与国外品牌轴承相抗衡，长期被排除在高端轴承市场之外。

(3) 行业技术创新能力薄弱。缺乏具有自主知识产权的核心技术，在轴承基础理论和国际标准方面几无贡献，在世界轴承工业技术领域尚没有取得与之相对称的话语权。

在上述差距中，体现在最基础的产品质量方面，可归结如下：

在精度上，主要存在精度离散性、精度储备率和精度保持性等问题。

在性能上，以最常规的动态性能中的振动与噪声为例，主要是

“异音”和振动（噪声）水平保持性等问题。

在寿命及可靠性上，以最基本的疲劳寿命为例，一般仅为国外著名公司产品的1/2、1/3甚至更短，有些滚子轴承连额定寿命都不到，可靠度普遍偏低。

国产轴承存在技术质量水平不高的原因很多，包括设计、制造、材料、检测、试验以及管理等各个方面，但其中制造装备及加工工艺问题一直是最为关键的环节之一。

轴承工业的生产特征

现代轴承工业的起源是以1883年德国FAG公司发明了磨球机为标志。轴承工业的诞生依附于机械化，轴承工业的发展始终追求自动化，这是由于轴承作为高度“三化（标准化、系列化、通用化）”的产品，必须实现大批量规模化生产所决定的。“机械化、自动化、规模化”形成了轴承产品最显著的生产特征。

轴承属于精密机械产品，其标准规定的最低精度等级相当于手表精度水平。因此，轴承制造若采用普通机床，则精度达不到要求；若采用精密机床，则加工效率太低。

也因此，轴承制造就有了“专用机床”存在的需要。

轴承专用机床以“两沟一孔”磨床为典型代表，即主要指用于加工球轴承的外圈沟道、内圈沟道和内圈内孔的三种磨床，简称外沟磨床、内沟磨床和内径磨床。其他磨床，如用于加工滚子轴承的外圈滚道、内圈滚道、内圈挡边等的磨床，都是以“两沟一孔”磨床为基础，经局部改变而派生出来的磨床。正是有了专用机床，从而使得轴承制造的技术门槛大大降低，从第二次世界大战前只有工业发达国家才能生产，变成一般工业水平国家也能生产。也正是由于有了专用机床的不断升级换代，使得轴承制造对于装备的依赖度越来越高，没有先进的装备，现在已难以生产出具有市场竞争力的高精度储备率的轴承。

过去，轴承磨床多以手动机床发展到“机电液”控制的半自动和自动化机床为主，随着机床工业和轴承工业的技术进步，目前，数控控制机床已在轴承磨床中占据主体地位。数控磨床不仅在高精度、高效率方面特别适合于普通轴承的大批量连续性生产，而且在柔性化方面还非常契合于一些专用轴承的多品种小批量生产。因此，数控磨床以及数控车床、数控超精机等已成为轴承装备的“标准配置”和普及方向。

轴承产品的生产方式

过去，机群式是轴承零件机械加工的主要生产方式。近些年来，采用自动线的企业越来越多，主要有车加工自动线、车辗自动线、磨超自动线、磨装自动线等。有些企

业在磨削工序已全部采用了自动线。以最为主要的磨超自动线为例，据不完全统计，2004年才300多条，经过短短10年的发展，现在已达到5 000多条。采用自动线及数控化程度较高的装备，可以优化工艺参数，控制加工节拍，固化工艺纪律，使得人为因素大大减少，保证产品质量稳定达到规定要求，而且生产效率也显著提高。

对于以深沟球轴承为代表的球轴承磨超自动线，我国轴承行业大多采用是由5台机床组成的“磨超短线”，即内圈3台（磨内沟、磨内径和内沟超精各1台），外圈两台（磨外沟、外沟超精各1台，见附图）。对于圆锥滚子轴承为代表的滚子轴承的磨超短线，则一般由9台机床组成，即内圈5台（粗磨内滚道、粗磨内径、细磨滚道、细磨内径、磨挡边、滚道及挡边超精各1台），外圈4台（粗磨外滚道、精磨外径、精磨外滚道、外滚道及外径超精各1台）。这种配置尽管比较紧凑和成熟，但由于机床之间的加工节拍不尽一致（内表面加工效率低于外表面），因此造成部分机床效能得不到充分发挥，整条线的产能没有充分利用，存在浪费现象。

国外先进的磨超生产线通常采用长线或称复线的形式，如日本的球轴承磨超自动线由12台机床组

成，其中内圈7台（磨内径3台、磨内沟两台和内沟超精两台），外圈5台（磨外沟3、外沟超精两台），整条线的生产节拍匹配协调，生产效率大大提高。此外还有9台、15台、21台和25台机床等多种组合。我国部分轴承企业现在也开始尝试采用复线形式，生产方式与国际先进水平接轨，从自动生产线向自动生产工段、自动生产车间的雏形转变。

一些国外著名轴承公司，近期已开始采用“一个流”等更先进的机床配置与生产流程。“一个流”生产，即各工序间只有一个工件在流动，使加工过程始终处于不停滞、不堆积、不超越的流动状态，生产节拍完全同步，各种问题和浪费明显化。相应，对装备的功能要求也趋于单一化或最简化，以期保证其具备高可靠性和高稳定性。

我国轴承制造装备的技术水平

我国轴承行业对制造装备的技术进步一直充满热情。例如，对国产数控机床的推广应用，早在1990年代中后期就已形成了一定规模。2004年前后，有关方面曾经开展过一次覆盖汽车、航天、航空、船舶、兵器、模具、农机、工程机械和电站设备等众多行业的调研，其中唯有轴承行业采用国产数控机床



球轴承磨超短线

较多且认可度较高,形成了“国产数控机床在轴承行业一枝独秀”的独特现象。

国产数控机床能够很早就在轴承行业打开局面,主要原因在于当时(1980年代以后)引进的国外数控机床尽管技术先进、性能优异、水平很高,但存在着价格昂贵、维修困难、开放性差、不便于升级换代等严重问题。因此,在企业的技术改造中,以数控轴承磨床为代表的国产数控轴承机床开始崭露头角,并逐渐形成了主导地位。

早期的国产数控轴承磨床,普遍存在着数控系统不稳定,尤其是机械传动部分故障较多,更换工装夹具及重新调整定位时操作复杂,以及电器寿命短、液气密元件不过关等问题。随着不断改进完善,目前在中小型轴承磨床方面,技术上已趋于成熟且达到一定水平,不仅国内企业大量采用,而且,许多国际著名轴承公司如SKF、Schaeffler、NSK、NTN和Timken等都已开始采购。

国产轴承制造装备目前存在的问题是:可靠性与稳定性波动较

大;加工精度的离散度较大;大多集中于中低档的“同质化”水平。

因此,在高端轴承领域,轴承企业首选仍然是进口机床,如在军工轴承、铁路轴承和机床精密轴承等的关键工序仍以采用国外品牌机床为主。

与国外先进机床相比,国产轴承制造装备中重点需要在以下方面取得改进或突破:

(1) 进一步提高磨用电主轴的功率、刚度和精度寿命。

(2) 头架、砂轮修整器推广应用液体静压主轴。

(3) 采用高精度、高刚度滚珠丝杠、导轨。

(4) 广泛采用在线监测和保护技术。

(5) 提高机床的工序能力指数,至少应达到 $C_{pk} > 1.33$,甚至 $C_{pk} > 1.67$ 。

(6) 推广应用磨超复线和磨装长线。

(7) 推广应用外表面磨削线速度80m/s以上、内圆磨削线速度60m/s以上高速磨削技术。

(8) 研发稳定批量生产P4,

特别是P2公差等级轴承的高精度数控机床。

结语

轴承作为精密机械产品,要保证其高精度等基本技术特性,在影响产品质量“人、机、料、法、环”的5个要素中,“机”是最重要的。各国际著名轴承公司,无不高度重视制造装备的不断升级换代,很多核心专用设备均以自主研发和集成为主,单机自动化、数控化和自动生产线、无人化车间程度非常高,充分体现了现代轴承工业制造技术的发展方向。

我国要想实现轴承强国的目标,必须首先在制造装备技术上取得显著突破,包括在数控机床、自动生产线上不断改进提高,也包括在更高起点上进行切入,如直线电动机、工业机器人以及柔性化、智能化等技术的应用等,只要遵循世界轴承工业发展规律,并充分利用中国经济发展的各种红利因素,我国轴承工业就一定会继续取得更大的发展。**MW**

(收稿日期:20140915)

低驱动力自润滑的直线系统Drylin W

该系统涉及手动滑动的应用,如机床移门、安全门、控制面板和舞台设备,使用Drylin W混合直线轴承可实现免润滑安静运行。实现滑动轴承与滚轮的完美结合,低驱动力、免润滑。

易格斯Drylin W导轨的混合滑块采用硬质阳极氧化铝制成,兼备滑动和滚动的特点,免润滑并且具备较大的负载,不需要很大的驱动力。这种节省安装空间的单导轨设

计适用于移门的开合,具有很大的设计自由度。调整简单,运行安静。Drylin W混合滑块还有仅90 mm的紧凑型设计,设计师可以在更紧凑的空间使用混合滑块。整体结构小,不需要第二轴作为支撑。在较大尺寸的应用中,滚轮固定在轴上,以免运行中滑落。

与易格斯的滑动轴承一样,Drylin W混合导轨是自润滑的。一方面,能使用在食品与包装领域,

因为没有油或油脂与食品接触。另一方面,还可用于危险环境中,如机床。灰尘和污垢不会附着在轴承上,以保证长久运行。更多的尺寸将陆续实现供货。



易格斯混合轴承综合了滑动和滚动轴承的优点,自润滑