

1-13

机床主轴及在轴承行业的应用

洛阳轴研科技股份有限公司 陈长江

一、轴研科技电主轴技术发展简介

洛阳轴研科技关于电主轴的研究始于 1958 年成立的洛阳轴承研究所 308 科研组，为了满足微型轴承内圈的磨削加工要求，必须不断提高砂轮主轴的最高转速和动态精度，在此背景下，1958 年 9 月，洛阳轴承研究所在国内率先研制成功转速为 30,000 ~ 60,000r/min 高速磨用电主轴，并装机应用于微型轴承套圈的磨削加工机床，取得了良好的经济和社会效益。此后在上世纪 60、70、90 以此为蓝本，结合大量的工程实践经验，先后开发出了 DZ、GDZ、2GDZ 系列电主轴产品，为我国轴承行业装备的技术进步做出了贡献。

根据公司的主营业务、优势技术领域和发展目标，结合市场需求和行业发展需要，紧紧围绕国家、省市级科技计划项目大力开展技术创新和核心技术攻关，在机床轴承及电主轴项目领域，取得了实质性突破和跨越式发展，承担完成的国家“九五”重大科技攻关项目“内装式电主轴单元的工程化研究”，在“十五”期间承担完成了“十五”科技攻关项目“高速主轴单元的开发与应用”，研制出了具有世界先进水平的数控机床主轴单元，使我公司始终保持了在国内的电主轴技术领先地位，解决制约数控机床国产化进程的瓶颈，提升国产数控机床行业竞争力，形成“生产一代、开发一代、储备一代”的技术创新体系。同时以承担国家“九五”、“十五”科技重大攻关项目为契机，开始致力于在数控机床电主轴领域的探索和创新，先后研发了 XD(J) 系列加工中心及数控铣电主轴、CD 系列车床电主轴、ED 系列高速离心机电主轴、LD 系列旋碾电主轴等产品，产品种类从最初的单一磨用电主轴拓展到现在拥有 8 个大类，近 400 余个品种，功率范围从 0.1-150kW，转速范围从 100-150000r/min。将服务的行业从轴承行业拓展到数控机床、生物制药、内螺纹铜管加工、雕刻机、特种试验等几乎全部需要高速电机的场合。2002 年，作为滚动轴承电主轴的生产实体，洛阳轴研科技股份有限

公司主轴开发部参加中国机床工具工业协会主轴功能部件委员会并于 2007 年当选为副主任委员单位，同年被河南省科技厅认定为河南省机床主轴工程技术研究中心。2008 年作为牵头单位完成了 2 项数控机床国家标准的制定，并被正式颁布实施。

为了更好的促进科技成果产业化，洛阳轴研科技 2003 年开始启动位于洛阳国家高新区的第一产业园的建设，以特种精密轴承、高速机床主轴单元、轴承仪器与装备三大主导产品领域为发展方向，加快高新技术产业化步伐，目前已建成配套设施完善的近 10000 余平米的主轴产业园，拥有百余台用于精密机械加工的车、磨、钻、铣、加工中心等机床，拥有专用精密量具、量仪百余套，拥有真空浸漆、动平衡机等关键设备，具备完整的产业化能力。2009 年度公司抓住产业振兴机遇，申报并获批中央预算投资项目“大型数控机床电主轴及精密轴承产业化技术改造项目”，计划投资 22116 万元，新增大型数控机床电主轴制造及办公区 16400 平方米，购置大型精密数控工艺技术装备及相应的检测仪器 100 台，在精密电主轴制造、装配等产业化领域达到国际先进水平。

二、电主轴的基本结构和工作原理

电主轴即以内装主轴电机为动力源，以变频器或驱动控制器为驱动源，以各种刀具和连接机构为输出端的集高效、高精、高速、高可靠性为一体的机电一体化产品，具有低噪音、低振动、结构紧凑等特点。主要结构包括：内装电机、支承机构、润滑机构、冷却机构、刀具接口、松拉刀机构、盖体、壳体等。其工作原理是将变频器或驱动控制器传输的电能转化为轴端输出的机械能，带动各种刀具或机构进行高速高效的切削加工以及旋转运动。

2.1 电主轴润滑及冷却方式

高速电主轴的润滑方式可分为以下四类。

2.1.1 油脂润滑

速度因数 dmn 值不甚高的电主轴可选用油脂润滑。由于油脂型电主轴是一次性装脂供使用的，因此其使用寿命有限，通常在满速运行状态下两班倒可用三个月。油脂建议使用 KLUBER 公司的 FIEX NBU-15 型高速润滑脂。填充量约为轴承空隙的 $1/6$ 。在填充油脂时，应注意周边环境的清洁度和成组轴承的排列次序。油脂润滑型电主轴在高速旋转时无气流阻隔主轴前端冷却水的侵入，因此要加装

气密封。

2.1.2 油雾润滑

速度因数 dmn 值较高的电主轴应选用油雾润滑。油雾润滑是指主轴润滑油经由压缩空气从油杯中压出, 在输油管内形成微雾随压缩空气一起喷入轴承工作区, 使主轴轴承得到充分润滑和冷却。油雾润滑型电主轴连续不间断润滑, 因此在满速运行状态下, 两班倒可使用 5-6 个月。油品建议使用 7# 主轴油或 32# 汽轮机油, 油雾器可选用二次雾化器, 进气压力控制在 0.3Mpa 左右, 用油量为 80-90 滴/分钟。油雾润滑型电主轴油雾废气无法集中排除, 因此对环境有所污染, 非全封闭设备, 无环境保护措施的工场, 应谨慎使用。

2.1.3 喷油润滑

压力润滑油通过密封的润滑管道进入轴承工作区域使之得以充分润滑的电主轴称之为喷油润滑型电主轴。由于这种形式的电主轴轴承能承受长久性的持续不断的润滑, 其轴承润滑效果极佳, 因此能获得很高的转速因数, 高速性好。

但这种电主轴必须依靠一套完整的密闭的供油系统来维持工作, 故不宜用于常规生产实践中。在国防军工试验机中时有所见。

2.1.4 油气润滑

使用油气润滑系统的电主轴称之为油气润滑型电主轴。油气润滑型电主轴选用多路、大气量、少油润滑系统, 其润滑油是应用微机控制定量泵定时定量供给的。由于油气润滑型电主轴的润滑油是定时定量供给的因此可大大减少电主轴高速旋转时的耗油。主轴轴承搅油发热程度大幅度降低, 主轴的 dmn 值得以进一步提升。一般来说, 同型号轴承采用油气润滑可比油雾润滑速度提升 15%到 20%, 属各类电主轴中可达转速最高的电主轴。由于油气润滑型电主轴用气量大, 用油量少, 故可以有效地减轻或避免对环境的污染。采用油气润滑的主要技术参数为: 气源进气压力: 0.35MPa-0.4MPa, 油黏度为 20-50mm³/s, 电源电压为 220V (单相) 功率为 60W, 油杯容量为 2-4L, 定量泵每动作一次为 0.2-1.0mL, 定量元件 0.025mL/次。

2.2 电主轴的冷却方式

为了满足高精度的加工以及提高电主轴电机的可靠性, 电主轴电机通常需要考虑冷却结构。其冷却方式主要分为强制冷却和自然冷却两类; 强制冷却有液冷、

气冷两种方式；液冷有水冷和油冷两种形式，同样条件下水冷的效果要好于油冷，但水冷对于冷却结构的密封和防锈要求要高于油冷。气冷主要是吹风和通冷气两种，前者较常见于木工雕刻电主轴，后者多用于特殊工况下的电主轴，一般认为通冷气对电主轴进行冷却接近于水冷的效果。而自然冷却就是通过电主轴壳体与外界进行热交换，其功率密度较采用强制冷却的电主轴要小的多，故而这种类型的电主轴所占比例很少。

2.3 电主轴的支承方式

2.3.1 角接触球轴承支承

以角接触球轴承为支承的电主轴高速性能好，精度高，结构简单，既能承受较大的径向负荷，又能承受相当的轴向负荷，是主轴行业中量大面广的支承方式。根据轴承配置组合的不同，这类电主轴又可分为两种方式。

2.3.1.1 双联配置

电主轴轴承双联配置可分为串联式（DT）组合和背对背（DB）、面对面（DF）组合。串联式（DT）组合，两套轴承相同，同向排列。既能承受径向负荷，又能承受一个方向较大的轴向负载 F 。按 A 型排列的电主轴能承受较大的轴向推力 F ，按 B 型排列的电主轴，能承受较大的拉力 F' ，此时轴承承受的总负荷 F （ F' ）均分在组合的每套轴承上。即每套轴承的负荷量 $f=1/2 F$ （ F' ）。

并联（DB、DF）式组合，两套轴承对称排列。其中 DB 为背对背排列，能承受径向负荷，能同时承受两个方向的轴向负荷，能承受较高的倾覆力矩。DF 为面对面组合，能承受径向负荷，同时承受两个方向的轴向负荷，其承受倾覆力矩能力较差，但有微量调心功能。

2.3.1.2 多联配置

为获得更高的承载能力及刚度，角接触轴承可分为三联、四联和五联等多联配置。其中常用三联和四联轴承。TT 配置的轴承能承受较大的轴向推力，TT 配置的电主轴通常用在高速旋碾内螺纹铜管上。TBT 配置的轴承能承受较大的轴向推力，同时能承受一定的轴向拉力，这种配置适用于高速加工中心用电主轴。QBC 配置的轴承能承受较大的双向轴推拉力，这种配置适用于大型加工中心用电主轴。角接触球轴承精度高，高速性好，一般都用在主轴轴系的前端。

2.3.2 以双列短圆柱轴承为支承的电主轴

线接触的双列短圆柱轴承承载能力和轴承刚度都明显高于点接触的角接触球轴承，但其允许的转速要相应低一些，精度也相应要低一些。此类轴承能承受较大的径向负荷但不能承受轴向负荷，因此，只能与角接触球轴承组合使用，不能单独使用在电主轴中。它往往被装在主轴尾端，利用其内外圈可分离特性来消解电主轴热伸长之影响。

2.3.3 以圆锥滚子轴承为支承的电主轴

单列圆锥滚子轴承可承受径向负荷和单一方向的轴向力，若成对圆锥滚子轴承配合使用则可使主轴轴承在承受径向负载的同时，承受较大的双向轴向负载，但由于其转速性能较低，旋转精度也相对较低，因此，不宜用来装备高速、高精度电主轴。

2.3.4 其它

在高速高精度电主轴中还有用气静压轴承支承的电主轴。在高速高精度电主轴中这种支承仅仅只是作为滚动轴承的补充而存在，它适应于超高速，超低振动的加工范围。但由于空气轴承的支承刚性差，且轴承受气体压力变化影响大，因此应用范围不甚广。

用磁悬浮轴承为支承的电主轴是电主轴中的佼佼者。只要控制系统稳定，这种主轴的寿命从理论上讲是永久型的。这种主轴轴承属智能型电主轴通过调整控制器系统可获得理想的轴承参数或改变轴承的承载参数。由于轴承控制器难度比较大，因此此类电主轴目前尚未在工业化领域大规模应用。

三、轴研科技主轴产品的分类及介绍

3.1 磨用电主轴

磨用电主轴是电主轴中量大面广的传统产品。这种电主轴通常都是恒转矩工作制式。其标定的额定转速即电主轴的可达最高转速。磨用电主轴通常选用 S6 工作制。

磨用电主轴分三个系列：DZ、GDZ、2GDZ。DZ 为普通功率电主轴，适应于内表面 35m/s 以下的切削速度，与 MZ208, MZ2015, MZ1410 等轴承磨床相匹配。该系列的电主轴除 DZ24 外现今在轴承内表面磨加工中心很难遇见。GDZ 系列电主轴为适用于内表面 45m/s-55m/s 磨削速度的电主轴，该系列电主轴轴径普遍比 DZ 系列增加 5-10mm，电机输出功率比 DZ 系列增加 20%-30%，与 3MK 系列内表面

磨床配套，成为当今内表面磨削的中坚。2GDZ 系列电主轴能适用于内表面 65m/s 以下的高速高效磨削。在同档速度前提下，其轴径比 GDZ 系列增加 5mm, 其电机输出功率比 GDZ 系列增加 20%-30%，是 3MZ 数控内圆磨床首选主轴，也是当今国内同档速度下轴径最粗，功率最大的电主轴。考虑到内磨机床的发展，近期国内 3GDZ 系列电主轴即将问世。该系列电主轴轴承选用陶瓷球混合型角接触球轴承，润滑系统选用油气润滑系统。其轴径又将比 2GDZ 增加 5mm，功率又将比 2GDZ 系列增加 20%-30%。届时，砂轮表面线速度将达到 75m/s。

3.2 小型数控铣及雕铣机电主轴

随着模具行业的突飞猛进，小型数控铣，数控模具型腔铣，数控雕铣机，木工雕铣机电主轴应运而生，此类主轴通常选用 ER 卡头作为电主轴装夹工具，其功率一般比较小，既有恒转矩制的也有恒功率制的。转速自 6000r/min-42000r/min 不等。

主轴一般采用立式向下，部分电主轴带有自动松拉刀油缸用于锁紧 SK 系列刀柄。用于加工中心的增速头是旧设备改造，扩大机床使用范围的功能部件。该主轴采用 BT30、40、50 型尾锥与机床主轴锥孔相联。使用时将增速头装在机床主轴锥孔上，接通增速头的水冷系统和变频电源，启动增速头电主轴到需要值。机床主轴不转，移动数控滑台及垂直升降，即可获得所需的几何加工表面。

3.3 大型数控铣和加工中心用电主轴

电主轴精度高，振动小的特点，十分符合数控铣及加工中心等高性能机床的加工要求。现代大型数控铣和加工中心切削速度高，切削力大，要求电主轴具备较高的转速和低速大扭矩特点。加工中心用电主轴由于机床配带刀库，同时又要适应刚性攻丝。因此必须采用闭环伺服驱动系统。

用于大型数控铣的电主轴一般采用开环驱动即变频驱动。这种电主轴有松拉刀系统及油缸但无定向定位准速功能。通常用在大型有色金属数控切削设备上。用于加工中心的电主轴通常都采用速度链闭环控制驱动系统，即在电主轴上装有传递速度信号和位置信号的编码器。

当电主轴承载时速度发生变化，此时编码器将采集到的速度信号反馈给驱动控制器，使控制器自动提升主轴转速。同样，主轴停止时编码器将位置信号传回驱动控制器，使主轴停在指定位置上。

目前，轴研科技用于加工中心的电主轴最高转速可达 50000r/min，最大输出扭矩可达 260N·m，配用的刀柄有 SK16、HSKE-40、HSKE-50、HSKA-63、BT30、BT40、BT50 等。可适用于国内自行开发的立式、卧式、龙门加工中心及多面加工、多工位和虚拟并联机床。

随着国内驱动控制业的发展，国产闭环式伺服驱动控制器已能与国内电主轴联配供应主机厂，从而大幅度降低了高性能主轴的生产成本。

3.4 PCB 板钻孔用电主轴

电子工业 PCB 板焊装元器件的小孔是应用钻削小孔的电主轴加工的。用于 PCB 板钻孔用电主轴称为钻削用电主轴。

ZYS 钻削电主轴可分为滚动轴承支承及空气轴承支承两种类型。滚动轴承支承的电主轴通常为 60000r/min 和 80000r/min 两种。超过 80000r/min 的电主轴即 105000r/min、120000r/min、180000r/min 的电主轴，通常采用空气轴承支承。ZYS 目前能生产 60000、80000r/min 的滚动轴承支承的电主轴和 105000r/min、120000r/min 的气静压轴承支承的电主轴。180000r/min 的电主轴正在研制开发中。

3.5 数控车削用电主轴

数控车削用电主轴是 ZYS 电主轴大家族中唯一的工件轴。它具有精度高、转速高、振动小等优点。在精密有色金属零件车制过程中，该轴正在展示着其它主轴无法比拟的优势。该主轴加装编码器可实现螺纹车削加工。加装油缸及动量卡盘，可实现工件毛坯自动装卡与加工。

目前数控车用电主轴外形安装接口有 A2-6、A2-5、A2-4、A2-3 四种，其最高转速分别为 6000、8000、10000、12000r/min。中空主轴内孔分别为 $\phi 50$ ， $\phi 45$ ， $\phi 40$ ， $\phi 33.5$ ， $\phi 25$ 五种。

3.6 高精度切割用电主轴

用于硅片切割机的高精度切割用电主轴是高转速高精度电主轴中的精品。

该主轴使用空气静压轴承为支承，其静态精度极高为 $1\mu\text{m}$ 。用安装在主轴上的刀片切割硅片，其精度为 0.03 ± 0.005 ，使用常规空压机便能获得主轴所需的 0.5Mpa 气压。此时电主轴便可正常运行。

3.7 高速旋碾电主轴

内螺纹精碾铜管是空调、制冷行业热交换必不可少的材料，我国内螺纹铜管精碾工艺已基本普及，同时已开始向海外发展。高速旋碾用电主轴是内螺纹铜管旋碾机的核心。

ZYS 的高速旋碾电主轴分 15000r/min(旋碾 ϕ 15 的铜管)、18000r/min(旋碾 ϕ 12 的铜管)、24000r/min(旋碾 ϕ 9 的铜管)、35000r/min(旋碾 ϕ 7 的铜管)、45000r/min(旋碾 ϕ 5 的铜管) 五种，各自有各自的特点。15000r/min、18000r/min、24000r/min 的电主轴使用油雾润滑。24000r/min、35000r/min、45000r/min 的电主轴使用油气润滑。其中 45000r/min 的旋碾电主轴安装有陶瓷球轴承，钛合金旋压套，属当今转速最高的滚动支承旋碾电主轴。

3.8 高速离心机用电主轴

高速离心机用电主轴就其功能而言分为三类，其一为离心分离，第二为离心干燥，第三为离心试验。

离心分离用电主轴是立式垂直向上安装的电主轴。离心室与电主轴间由基座分离，通过传动机构使之以额定速度高速旋转。位于离心室内的流体，在高速离心力的作用下，分离出不同质量密度的群体。高速离心分离用电主轴大体有 6 个型号其转速分别为 5000、7000、12000、24000、30000、80000r/min。高速离心干燥用电主轴垂直向下安装于密闭的干燥箱顶端。溶液由电主轴进料管口进入装在电主轴上的雾化盘内，流体以高速从雾化盘喷口喷出，当喷出的流体被雾化成小颗粒遇到干燥箱内的高温时，即被干燥成微小的颗粒沉降在干燥箱底部经管道被抽到采集箱内，分装成成品，供应市场。高速离心干燥用电主轴有 10 个型号，其转速分别为 10000r/min~40000r/min。

部分军工部件（如锂电池、炮弹雷管等）需要进行高速离心试验，以检验其特殊环境下的适应性，高速离心试验用电主轴就是最理想的工具。高速离心试验用电主轴有 4 个型号，其转速分别为 15000、24000、30000、50000r/min。

3.9 特种状态下的高速试验机用电主轴

航天火箭氢氧发动机上的液氢泵环境温度为 -253°C ，其工作转速为 50000r/min，试验液氢泵轴承必须符合上述两个基本条件。用于试验 -253°C 液态氢气条件下，转速高达 55000r/min 的深冷试验机的电主轴能胜任上述任务。火箭燃烧室点火系统环境温度为 1450°C ，要求试验机转速为 50000r/min。利用电

主轴的高速性，很容易能实现其基本要求。用于火箭推进器上的高压油泵必须能承受 20G 加速度的振动负荷，利用电主轴制造的高速、高压油泵试验机能顺利满足上述要求。石化部门专用的高速干式密封件试验机是电主轴应用到民用行业中的又一实例，数控机床中的高速动力卡盘，高速旋转油缸试验机使动力卡盘及旋转油缸的超速试验成为可能。运用高速电主轴还可以在各种领域内实现超速试验。使我国科技事业得以进一步发展。

四、轴研科技主轴产品技术特点介绍

轴研科技在电主轴技术领域内的特点是：

(1)掌握电主轴及高速主轴电机的设计技术

从用户的需求出发，以实际的工况为设计的出发点，利用主轴转子动力学分析 CAD 软件和高速电机设计分析 CAD 软件，高效率、高准确度的在设计阶段模拟实际工况的要求，对电主轴进行力学分析，计算主轴的共振频率点和一、二、三阶振型，确保主轴的常用转速工作区远离其共振频率转速点。同时对主轴高速电机进行 2D 电磁场分析优化，分析主轴在额定工作点的扭矩、过载能力等输出特性，计算模拟工况条件下的电机发热情况，确保电主轴在额定点或者常用工作区能够提供满足要求的出力。

(2)掌握主轴高精密零部件的设计和加工制造技术

根据主轴设计结构以及最终精度的保证要求，选择合适的材料，如 40Cr、20Cr、38CrMoAl、1Cr18、3Cr13 等，通过调质、淬火、渗碳、渗氮等工艺满足主轴零件耐磨、高硬度等特性。采用硬车工艺，减少了主轴关键部件的加工工时，提高了效率，保证了加工质量的稳定性和加工余量的一致性。采用轴承行业特有的电磁无心夹具结构加工主轴前后轴承座、前后盖等零件，保证了内外同轴度在 0.002mm 以内。采用“支外磨内”工艺，保证壳体关键内配合面与最终安装表面的内外同轴度。在制造基础上，合理配置了国内外中高档加工机，在车削加工、钳加工、磨加工、动平衡等关键工序均根据加工要求设计生产了专用工装，一方面保证零件的加工精度，一方面提高了加工制造效率。

(3)掌握了高速主轴轴承（包括气浮轴承、磁浮轴承）的设计、制造技术

作为国内轴承行业的技术归口所，轴研科技在高速精密角接触球轴承的研发与制造上有深厚的技术积淀。可以针对电主轴不同工况下的要求，开发适合如高

速、重载、抗冲击负荷、双向轴向力等多种工况的特殊轴承，通过优化轴承的结构设计、保持器材料及结构、引导方式、润滑通道等，实现轴承在主轴全寿命期内的最长精度寿命，在轴承的加工制造商全部采用进口或者自制的高精度加工机床，用高精度的设备和完善的质量管控体系保证了轴承产品的高品质。在气浮轴承上，针对国产高速硅片划片机的要求，结合主轴部早期在开发气浮轴承 PCB 钻孔电主轴上获得的经验，开发了转速 40000r/min，动态回转精度在 1 微米以下的高精度硅片划片机，成功应用于国产硅片划片机行业。在磁浮轴承领域，先后与西交大、上海大学、合肥工业大学等高校合作开发了采用磁浮轴承支承的电主轴，但鉴于其控制器和传感器国产化程度低且价格昂贵，造成主轴产品的价格居高不下，国内用户较难接受，目前未在国内市场上大面积推广应用。

(4)掌握主轴高速电机的制造技术

针对高速电主轴电机的特点：转子线速度高、功率密度尽可能大、定、转子发热量需要控制、绝缘等安全要求高。电机冲片材料采用 0.35mm 片厚以下的冷轧无取向硅钢片，经过特殊热处理工艺和高速复合冲工艺，保证电机冲片自身特性的最优化和加工精度的一致性；电机下线，选用高等级的中高频抗电晕绝缘漆包线；采用真空压力浸漆工艺保证定子各部绝缘层的均匀一致和高致密度。运用多项检测手段保证电机定、转子在加工全过程中质量和品质得到全程监控。

(5)拥有自主知识产权的高速轴系、高速电机计算机 CAD 软件

与国内知名高校清华大学、合肥工业大学合作，融入轴研科技在高速轴系动力学分析以及高速主轴电机设计上的专家经验和数据库，开发了专用于电主轴轴系动力学分析以及高速主轴电机设计的软件，对于分析不同受力情况下、不同支承跨距下、轴承-转轴耦合转子系下的电主轴轴系以及快速准确的进行电机设计计算有较好的指导作用，精确度较高。

(6)公司作为主承担单位完成了国家 863 项目子项中数控机床电主轴国家标准的制定工作

2007 年轴研科技接到国家标准委的委托，负责牵头起草电主轴两项国家标准，经过 1 年多，4 次标准讨论会议，最终在 2008 年 6 月形成了标准的报批稿，同年 11 月或准颁布实施。标准的制定工作结束了国产电主轴产品一直无标准可循的局面，对于规范国产电主轴的设计、制造、检验、评定等起到了巨大的推动

作用。

(7)公司 2007 年被认定为河南省机床主轴工程技术研究中心，目前正在申报国家级主轴工程技术研究中心

作为从科研院所改制而成的规范的科技型上市公司，以及 50 余年在电主轴技术领域的积累，2007 年，河南省科技厅认定洛阳轴研科技股份有限公司主轴部为河南省机床主轴工程技术研究中心，为轴研科技的主轴技术研发和推广增添了更加广阔的平台。

(8)已掌握永磁同步电主轴的设计、制造技术

与哈尔滨工业大学合作，立足于自身研发，从 2008 年开始进行永磁同步电主轴的研发工作，从永磁电机设计、制造工艺、装配工艺等领域入手，先后开发了低速永磁同步床头主轴、高速微伸长量纺织用永磁电主轴等新产品，目前正在开发转速最高 40000r/min，额定转速 10000r/min，功率 20kW 的高速加工中心电主轴。

洛阳轴研科技作为前身为专业研究所的高科技企业，一直以来始终占据着国内数控机床电主轴领域的行业技术进步和科技创新的龙头地位。在电主轴领域具有较为全面的综合技术优势，其电主轴配套的高精度轴承、内装电机、主轴松拉刀机构、动力油缸或气缸、主轴轴承润滑油品等全部由自己设计、研发、生产，可以针对不同的要求和使用场合进行优化组合，具有较强的灵活性和针对性。

五、ZYS 主轴技术、生产及管理体系介绍

ZYS 严格遵照 ISO9001 质量管理体系的要求，针对主轴产品的特点，建立了完善的质量管理体系，同时邀请公司质保部和外部第三方质量审核机构对主轴研发、生产制造、销售等各个环节进行不间断的审核。

主轴部下辖技术部、生产部、销售部等职能部门，分别负责主轴产品的技术研发、生产制造、销售等业务。

技术研发和生产管理的各流程目前已全部实现计算机信息化管理，产品数据管理 PDM 系统、生产流程管理 PRM 系统在日常生产中发挥了重要作用，有效提高了生产流程的管理效率和精确度。

六、轴研科技主轴典型产品介绍

1. 260XDJ10Y 加工中心电主轴

国家“九五”科技攻关项目衍生产品，最高转速：10000r/min，最大扭矩120NM，油脂润滑，具备准速、准位、准停功能，配装于哈量集团为哈尔滨汽轮机厂研发的六足并联叶片铣机床，刀具： $\phi 50$ 盘刀，安装四把 SANDVIK 刀片，切深4mm，切宽40，进给600mm/min，切削HRC35的锻件，表面达到镜面效果。

2. 200XDJ240 加工中心电主轴

国家“十五”科技攻关项目产品，最高转速24000r/min，最大扭矩32Nm，额定转速6500r/min，采用油气润滑，DmN值200万，外形尺寸 $\Phi 200h5 \times L670$ mm，法兰外径 $\Phi 238$ mm，安装螺钉中心节圆 $\Phi 216 \pm 0.15$ mm，装12-M8内六角螺钉，油气润滑带轴承卸荷装置，OTT油缸及松拉刀机构，具有准速、准位、准停功能，HSK-E50刀柄，中空吹气及刀具冷却结构，陶瓷球轴承。

3. 170LD350A 高速旋碾电主轴

最高转速35000r/min，恒扭矩电机，额定转速35000r/min，额定功率12kW，外形尺寸 $\Phi 170h5 \times L350$ mm，油气润滑，陶瓷球轴承，钛合金旋压套，目前广泛应用于国内高速旋碾 $\Phi 8$ mm以下制冷设备用内螺纹铜管加工机上，保守估计已配装至少500台、套。

4. 400MD036Y115 大型金属板带抛光磨削电主轴

最高转速3600r/min，最大输出功率115kW(S1-100%)，最大输出扭矩610Nm，额定转速1800r/min，采用双动主轴结构设计，外转轴旋转同时，内转轴以每秒3Hz的频率进行往复运动，对大型金属板带进行抛光磨削以达到镜面效果。

5. 440MD02Z240 高速铁路无砟混凝土轨道板磨削电主轴

最高转速2000r/min，油脂润滑，液体冷却，最大输出功率150kW(S1-100%)/240kW(S6-60%)，最大输出扭矩1200Nm，采用多项特殊结构设计，主要用于对高铁无砟混凝土轨道板地面和侧面的成型磨削，具有高精度、大功率、高刚性的特点。目前已经成功应用于宁江机床开发的双头龙门轨道板磨削机床，其磨削的轨道板已在京广高速铁路工程中应用，效果良好。

七、轴研科技主轴在轴承行业的应用介绍

磨用电主轴是电主轴中量大面广的传统产品，广泛应用于轴承行业的内圆或滚道磨削机床上，保守估计，轴研科技的磨用电主轴产品在轴承行业的保有量大约有2万台套以上，主要配装于洛阳精密、新乡日升、无锡开源、上海莱必

泰等公司生产的轴承专用磨床上。

轴研科技的磨用电主轴目前有三个系列：DZ、GDZ、2GDZ。DZ 为普通功率电主轴，适应于内表面 35m/s 以下的切削速度，与 MZ208, MZ2015, MZ1410 等轴承磨床相匹配。该系列的电主轴由于刚性和电机功率较低，目前除 DZ24 外在轴承内表面磨加工机床上已很难遇见。GDZ 系列电主轴为适用于内表面 45m/s-55m/s 磨削速度的电主轴，该系列电主轴轴径普遍比 DZ 系列增加 5-10mm，电机输出功率比 DZ 系列增加 20%-30%，与 3MK 系列内表面磨床配套，成为当今内表面磨削的中坚。2GDZ 系列电主轴能适用于内表面 65m/s 以下的高速高效磨削。在同档速度前提下，其轴径比 GDZ 系列增加 5mm, 其电机输出功率比 GDZ 系列增加 20%-30%，是 3MZ 数控内圆磨床首选主轴，也是当今国内同档速度下轴径最粗，功率最大的电主轴。考虑到内磨机床的发展，近期国内 3GDZ 系列电主轴即将问世，各项参数指标达到或超过同期 GMN 公司产品。该系列电主轴轴承选用陶瓷球混合型角接触球轴承，接口类型多样化，既有传统的直孔加螺纹形式，又有 HSK-C 型手动换刀结构，润滑系统将统一选用污染少、耗油量小的油气润滑系统。其轴径将比 2GDZ 系列增加 5mm，功率又将比 2GDZ 系列增加 20%-30%。届时，砂轮表面线速度将达到 75m/s。

（陈长江：工程师，洛阳轴研科技股份有限公司精密轴承主轴公司主轴部副部长）

BEARING • 2010

2010 上海国际轴承峰会演讲之十三（2010/9）