



宁江机床可提供加工中心和车削中心，以满足喷油器体的车削、铣削、钻削以及攻丝的工艺要求。

——四川普什宁江机床有限公司
总工程师 刘雁

喷油器体加工装备

□ 四川普什宁江机床有限公司/刘雁

喷油器体是汽车喷油嘴的关键零件，该零件结构复杂，加工工序多，如图1所示；零件材质为20CrMo，热处理为渗碳淬火28~35HRC，渗碳深度0.8~1.2mm，加工要求高。

工序包括：车削、铣削、钻削和攻丝等，这里仅介绍车削中心和复合加工中心，喷油器体的中孔珩磨技术和设备将在以后介绍。

车削中心

喷油器体柱面成形和螺纹滚压主要加工难点如下：

(1) 材料为渗碳淬火，硬度高，不易加工。

(2) 外螺纹M27×1-6h和M17×0.5-6h，内螺纹M20×1-6H均采用非常规螺纹加工工艺，外螺纹采用滚压，内螺纹采用挤压，均要求高效率和高强度。

(3) 外圆加工表面粗糙度值 $R_a \leq 1.6 \mu m$ ，尺寸公差在0.03mm以内，

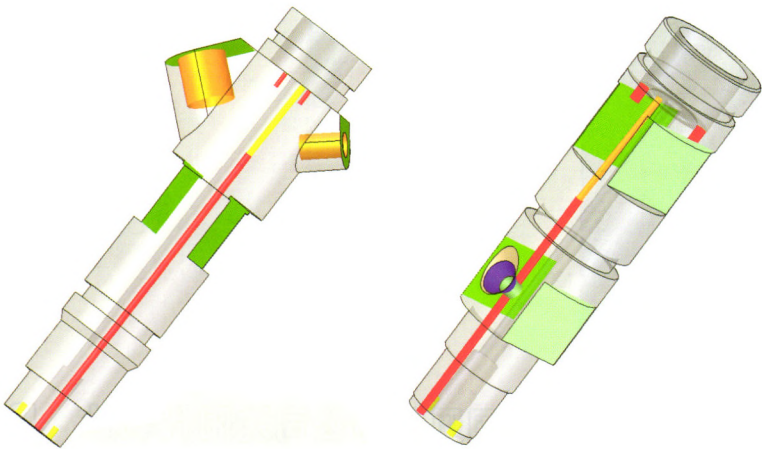


图1 喷油器体

要求尺寸稳定性高。

一次加工同轴度 $\phi 0.012\text{mm}$ 以内，二次装夹同轴度 $\phi 0.03\text{mm}$ 以内，形位公差要求高。车削图见图2。

1.车削中心特点

喷油器体柱面成形和螺纹滚压加工车削中心需要具备以下特点：

- (1) 喷油器体材质为合金结构钢，并且经过表面淬火热处理，其硬度较高，需要车削中心具备高刚性主轴和高刚性拖板系统。
- (2) 要进行螺纹滚压和挤压，要求车削中心主轴具备大转矩、高刚性的特点。
- (3) 要稳定达到喷油器体要求的尺寸公差和行为公差，要求车削中心具备高精度主轴和高精度拖板系统。
- (4) 要达到高效率的要求，要求车削中心具备高速主轴和高速拖板系统。

综上所述，加工该喷油器体需要采用高刚性、高精度和高速的车削中心。

2. 加工机床国产化难点

目前市场上的车削中心能够满足喷油器体加工要求的，均为国外品牌，如INDEX、DMG等，均为国际上知名车削中心生产商，国内还基本没有能够稳定生产该种车削中心的设备制造商。研发和制造喷油器体柱面成形和螺纹滚压加工车削中心，需要突破以下技术难点：

- (1) 突破精密、高刚性、高速主轴设计和制造技术，该种主轴要求主轴轴承规格大，主轴转速6000r/min以上，主轴精度达到0.0015mm以内，目前市场上该种主

轴技术主要由国外专业主轴生产商和大品牌设备制造商掌握，国内没有成功的案例可以参考。要突破该项技术，需要掌握电主轴技术、主轴轴承油气润滑技术、精密零件制造技术和精密组装技术等。

- (2) 突破高速、高精度和高刚性拖板系统，快移速度30m/min以上甚至达到60m/min，加速度达到1g以上，重复定位精度达到0.002mm以内。要突破该项技术，需要掌握精密拖动技术、精密光栅检测和细分优化技术、直线电动机应用技术等。

- (3) 在斜床身卧式车床上配置Y轴，因其结构特点，采用楔形拖板或特殊结构，可以提高机床拖板刚性，目前国内没有在斜床身卧式车床上成功使用楔形拖板的案例。必须突破楔形拖板技术，才能研发出高刚性的喷油器体柱面成形和螺纹滚压加工车削中心拖板系统。

- (4) 因机床结构比较复杂，需要采用高端数控系统，最好采用三通道数控系统，通道1控制主轴和左拖板系统，通道2控制副主轴和右拖板系统，通道3控制自动化系统，数控系统功能强大，调试试车难度大。要突破该项技术，需要掌握数控系统优化技术。

3. 车削中心亮点

根据喷油器体车削中心要求，宁江机床研发了喷油器体柱面成形和螺纹滚压加工高精度车削中心，该车削中心经过研发和制造，呈现如下亮点。

- (1) 采用FANUC 31i-TB三通道高端数控系统，三个通道可以同步、

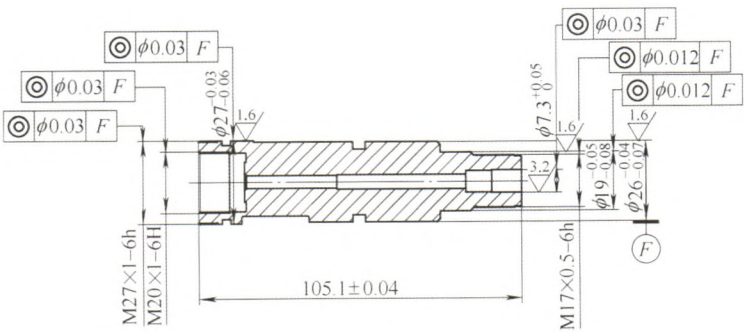


图2 喷油器体车削图

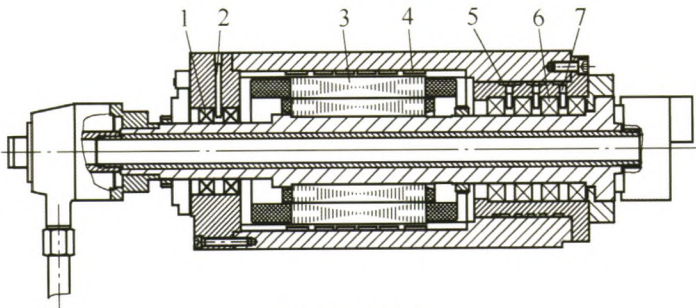


图3 精密高速主轴

- 1.后轴承 2.油气润滑喷嘴 3.内置电动机 4.电动机冷却槽 5.轴承冷却槽 6.主轴前轴承 7.油气润滑喷嘴

混合加工，机床可以实现车削、铣削、攻丝、滚螺纹等功能，功能齐全。

(2) 采用宁江机床公司自己设计制造的高刚性精密电主轴，主轴轴承直径达 $\phi 110\text{mm}$ ，主轴轴承采用油气润滑装置和冷却装置，主轴转速达 $6\,000\text{r/min}$ ，主轴跳动达 0.0015mm 。该主轴采用精密主轴轴承，并与轴承座和主轴对位位置配磨尺寸，使主轴轴承达到最佳工作状态，采用FANUC双绕组内置主轴电动机并配有冷却装置，最大功率达 25kW ，最大输出转矩达 $292\text{N}\cdot\text{m}$ ，如图3所示。

(3) 采用先进的楔形拖板结构，不但保证机床Y轴行程，还大大保证了拖板的刚性，采用有限元优化技术，将移动的拖板内部筋结构设计在最优状态，如图4所示，拖板系统采用精密滚珠丝杠直联伺服电动机进行驱动，采用精密光栅尺进行反馈，并将光栅尺反馈进行优化，重复定位精度达到 0.002mm 以内，快移速度达 30m/min ，加速度达 $1g$ ，其中 Y_1 和 Y_2 轴采用大推力直线电动机驱动，快移速度达 60m/min ，加速度达 $1.5g$ 。

(4) 外螺纹 $M17 \times 0.5-6\text{h}$ 采用径向滚压装置，该种滚压装置的优点是可以加工零件中间部位的螺纹，缺点是调整相对比较麻烦，如图5所示；外螺纹 $M27 \times 1-6\text{h}$ 采用轴向螺纹滚压装置，该种滚压装置的优点是调整简单，缺点是只能加工零件端部螺纹，零件中间螺纹比较难加工，如图6所示；内螺纹 $M20 \times 1-6\text{H}$ 采用专用挤压丝锥进行挤压成形。

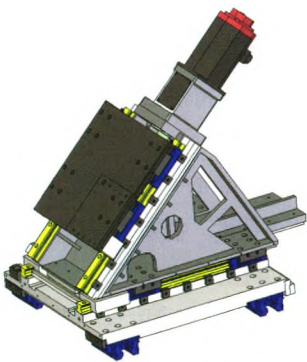


图4 楔形拖板

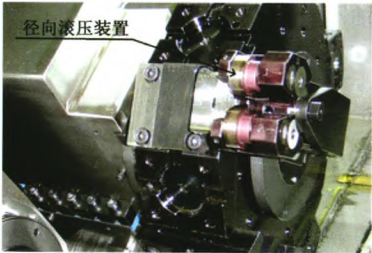


图5 径向滚压装置

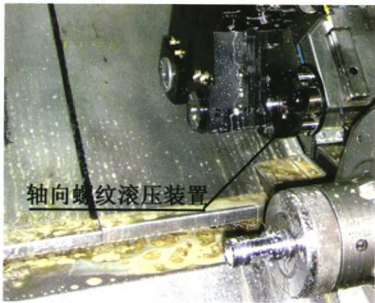


图6 轴向滚压装置

复合加工中心

喷油器体结构如图7所示，加工难点如下：

- (1) 交叉深小孔加工。
- (2) 一次装夹需在空间上完成铣平面、钻孔、铣螺纹、铰孔、枪钻深孔等工序，且位置精度要求高。

以6DL喷油器体为例，加工精度指标包括三个方面：内凹端销孔位置度 $\phi 0.08\text{mm}$ ，进油孔距离 $4.7 \pm 0.05\text{mm}$ ，小端面销孔孔径 $\phi 1.9^{+0.025}_{-0.005}\text{mm}$ 等。

加工这样的产品，按传统加工方式需要多台不同品种设备加工。如数控车床、枪钻、加工中心等，宁江机床研发的高精度多轴复合加工中心是将多台加工机床加工的内容集成到一台机床上。在一次装夹下实现了多种工序的集中加工，确保了面、孔、螺纹等较高的位置精度，同时减少了多次装夹和零件工序周转时间。

1. 该复合加工中心的特点

- (1) 自行开发制造了高速、高精度的电主轴。实现对小孔的钻削及小销孔的铰孔工艺。
- (2) 集成了枪钻。研制了较高的主轴中心冷却压力，保证了枪钻深孔时的有效排屑，同时高精度主轴保证了枪钻钻头的使用寿命。
- (3) 设备需具备五轴四联动及以上功能。实现一次装夹对工件上空间交叉孔、交叉平面的加工。
- (4) 配备了全自动上下料系统，实现了加工过程的高自动化。
- (5) 兼容多个品种零件加工。

2. 突破的关键技术

宁江机床的工作人员在产品开发前期进行了大量的工艺调研和工艺试验验证工作，同时加强了与无锡泵所的工艺交流。克服了高速向精度电主轴研发技术；枪钻加工工艺和枪钻在五轴加工中心上的复合技术；整机刚度分析及抑振技术以及研究和掌握兼容三种零件的自动上下料系统的设计和制造技术。

- (1) 高速电主轴系统设计与制造。针对枪钻加工喷油器体小深孔的工艺要求，须开发配置高转

速、高精度、刀具中心冷却高压、较高功率和转矩的电主轴系统。该电主轴系统还增加了更多的配套设计，如：刀具外冷功能系统；前后轴承油气润滑系统以及轴承及电动机定转子配置精密油冷系统等。

该电主轴系统最高转速达到15 000r/min，为轴承选型、精密冷却、精密润滑提出了更高要求，主轴装配完成后动平衡校正等级要求更高。主轴径向跳动为0.002mm，轴向跳动0.001 5mm，要求更高的回转主轴零件、前后轴承套等精密组件的工精度和装配精度。

为使主轴温升控制在合理范围内，对润滑流量精度及轴承冷却系统精度提出了更高的要求。

(2) 高精度数控可倾回转工作台的设计和制造。为了实现自动上下料功能，工件夹持夹具必须采用液压夹具，实现自动校正、自动夹紧。而承载夹具的数控可倾回转工作台存在两个回转轴系，如何在两个回转轴系中顺利实现同时为夹具提供液压油路校正气路，成为设计、制造的难点。*A*、*B*轴采用伺服电动机驱动高精度蜗轮蜗杆副，*A*轴两端采用大直径高精度圆锥滚子轴承作为支承，*B*轴采用大直径高精度圆柱滚子组合轴承作为回转支承，高精度圆柱滚子组合轴承与*B*轴翻转座和工作台直接联接确保了刚性，在*B*轴底部设置了为工作台上的夹具提供油、气，供零件自动夹具使用。

(3) 自定心液压夹具设计和制造

为了满足零件快速装夹，减少零件上下料辅助时间，提高机床加

工节拍，适应大批量生产，同时，还为了满足零件精度高的要求，夹具须具备结构紧凑、夹持精度高、自动找正工件、多零件品种兼容以及从工作台内部为夹具供油、供气等特点。

自动上下料系统须兼容两种以上零件，成为自动输送线设计制造的难点。系统由左右两部分组成，分别为输送线和机器人，输送线上设有兼容不同长度的工件的调节机构和零件品种相异时的相位定位机构。部分试验设备如图8~11所示。

重大收获

通过04专项的研发，宁江机床收获颇丰。

(1) 电主轴技术成果可直接应用到公司其他加工中心产品中，公司的电主轴设计、制造水平得到了实质的提升。

(2) 配置可倾回转工作台，使机床具备了加工更高端零件的能力。配可倾回转工作台的加工中心，可通过配置五轴五联动数控系统实现加工中心五轴五联动加工，能胜任航空航天、军工、船舶等行业的零件加工任务。

(3) 开发的新型自定心液压夹具结构紧凑、特殊，经过改动，可用于夹持其他零件。

(4) 掌握的工业机器人的结构设计和控制技术移植到其他产品上，能有效提升产品的自动化程度，提升产品的市场竞争力。

(5) 掌握了不同电气控制系统的集成管理，为单台加工中心扩展成柔性制造单元奠定了基础。

(6) 掌握了在卧式加工中心上集成枪钻钻削的功能。实现了对工件的一次装夹，完成对工件

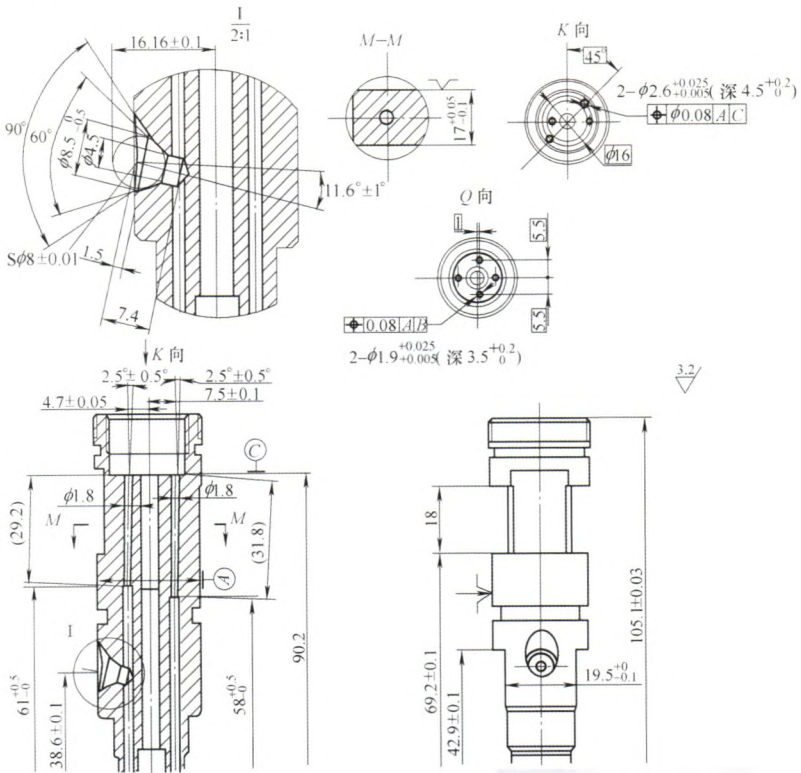


图 7



图 8

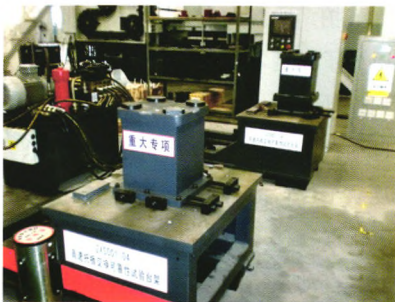


图 9

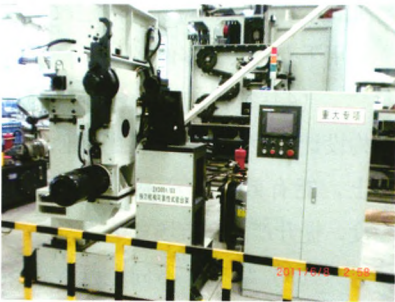


图 10



图 11

- 的铣削、钻孔、攻丝、镗孔、枪钻深孔等多种工序。
- (7) 掌握了采用直线电动机实现大推力、快速高精度直线运动的关键技术，保证了1.5g加速和60m/min快速移动。
- (8) 掌握了两种外螺纹滚压装置和内螺纹挤压丝锥的应用技术。
- (9) 掌握了实现高定位精度0.003mm和重复定位精度0.002mm的方法。

(10) 掌握了大转矩、高精度主轴径向跳动0.001 5mm和轴向跳动0.001 5mm车床电主轴的设计和制造技术。制造中宁江机床成立了专项电主轴攻关小组并协同主轴轴承制造商，从设计初期着手，经过四次技术方案的优化调整，在设计制造过程中，又经过多次的优化改进，经过反复的工艺攻关和工艺验证试验，最终形成以一套完整的大转矩高精度车床电主轴设计流程和控制关键点，并形成了与之配套的一整套加工工艺和装配调试工艺，充实了宁江机床电主轴设计和制造技术积累。

(11) 培养了一批年轻技术人员。采取老、中、青技术人员的高低搭配模式，既保证了课题研发的质量，又让年青技术人员得到了历练，这些年轻人的技术水平取得了大幅度的提升，宁江机床原先的“后备力量”的技术水平得到了较大的提升。**AME**

