汽车发动机缸体缸孔精加工技术

大连机床集团有限责任公司 （辽宁 116620） 张树礼

编者按：大连机床集团在研制汽车发动机加工专用机床方面颇具实力，特别是其柔性自动线技术已处于国内领先水平，为此，本刊记者特约大连机床集团重型机床研究所设计室主任张树礼撰写此文。

近年来，我国汽车工业迅速崛起，成功走出了一条民族工业振兴之路，已成为世界上最大的汽车消费市场和最大的生产国之一。然而，国产汽车的制造能力和水平与国外发达国家同类产品相比仍存在较大差距，其根源在于汽车发动机关键件（缸体、缸盖、曲轴、活塞、连杆等）的加工技术落后于国外。

数控加工新技术在汽车发动机上的应用

近几十年来，机械加工技术的发展很快，各种新技术在不断发展和应用。尤其是以数控机床发展为先导，即以数控机床专机化或者是以专用机床数控化来解决柔性和高效率的矛盾。

目前，汽车零部件的生产大多采用高速加工中心组成的敏捷生产系统。欧美及日本等国不仅掌握了设备制造的专用技术，而且都非常重视汽车制造工艺流程的开发，他们能够实现交钥匙工程，拥有自己的系统开发能力，机床可靠性指标极为先进，制造成本不断降低，新产品投放周期大大缩短。可见，是加工设备的落后导致了国产发动机水平的落后。

国内发动机缸体缸孔加工现状

仅以发动机缸体而言，缸体缸孔及其止口孔的精加工，缸体三轴孔的精加工是很难的，因为这几道关键工序图样的要求精度高，一般柴油机缸体缸孔精度达到IT6，缸孔与主轴孔垂直度为0.015～0.02mm，缸孔圆柱度为0.006～0.008mm，缸孔止口深度误差为0.02～0.025mm。而轿车发动机缸体缸孔的精度更高，我国大都从国外进口专用精密机床或是加工中心机床来完成上述高精加工的要求。

为了使国产机床提升到国际先进水平，打破国外机床生产商对我国的垄断，近些年来，大连机床集团研制的精镗缸孔及精车止口数控专用机床已投放市场，而后又成功地开发出了我国首条专门用于精铣缸体顶面，精镗缸孔及精车止口的数控机床自动线，使其加工精度达到了国外同类产品的先进水平（精铣缸体顶面精镗缸孔止口数控自动线照片参见图1）。

图1 精铣缸体顶面精镗缸孔止口数控自动线

发动机缸体缸孔和止口加工技术的发展

发动机是汽车的心脏，而缸体又是发动机最为关键的零件之一。缸体缸孔止口深度误差0.02～0.025mm的加工是很难保证的，缸体缸孔加工如图2所示。以前，国内机床生产厂只能提供半精加工的精镗机床。可见，要想满足止口深度0.02～0.025mm的误差要求，机床要具备许多关键技术，如精密镗头技术，高刚度精密镗杆技术，刀具补偿技术，测检技术，高速高精切削稳定性及参数优化技术，机床高刚度轻量化技术及数控驱动技术等。

精镗头是加工缸体缸孔和止口最重要的部件之一，它与组合机床的通用精镗头不同。由于工件缸孔止口深度尺寸精度高，故在镗头的设计上增加了轴向的定

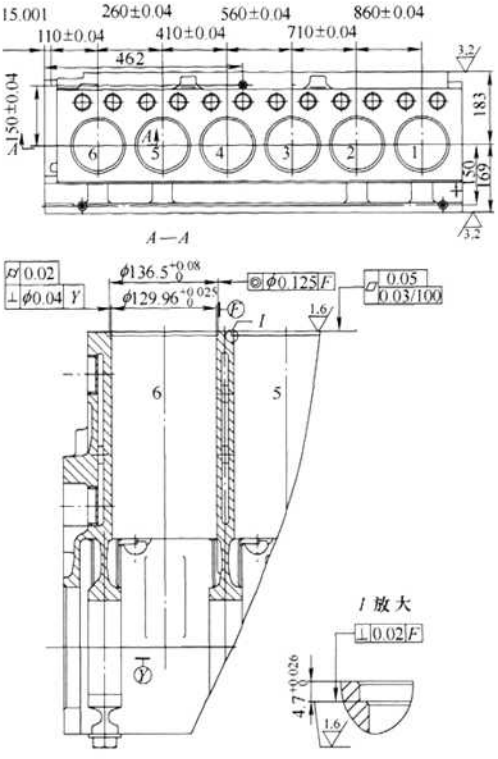


图2 缸体缸孔加工

位系统，即镗头带有轴向浮动功能，如图3所示。因为汽车发动机缸体大都在4缸、6缸以上，为了体现出组合机床高效的特点，一般每台机床一次要加工两个以上的缸孔，也就是说，同一个滑台上，要安装至少两个镗头，而这两个镗头的进给是由同一个滑台驱动的。因此，用常规的通用镗头很难保证缸孔止口深度的一致性。为了解决这一难问题，镗头就必须采用浮动主轴，并在主轴的前端安装挡铁。而挡铁与刀尖的尺寸极易调整。在加工过程中，挡铁顶到缸体顶面，而此时，车止口刀正好达到加工的深度，即使滑台继续进给，主轴也停止不动，只是镗头体相对主轴与滑台同步微量进给，直到另一个镗头主轴前端挡铁顶上缸体后，滑台才停止进给，从而使每个镗头加工的止口深度均达到一致性。这种结构的镗头，制造工艺较复杂，弹簧的选配，镗头轴承与箱体孔与主轴的配合有严格的要求，加之采用进口轴承保证了镗头的旋转精度和高刚度。

镗头是该类机床的关键部件，而驱动部件的运动精度更为重要，因此，一改以往组合机床的设计理念，而采用三导轨数控机械滑台驱动。一般的组合机床均采

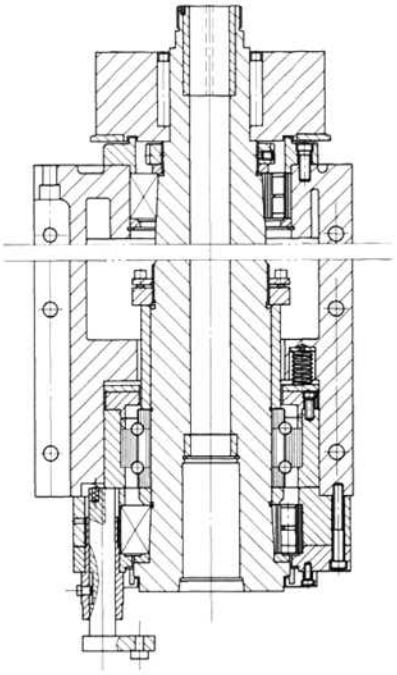


图3 镗头结构

用两根矩形导轨或单导轨双侧导向，或两导轨外侧导向的滑台。但受力或动力头转速超过一定范围的情况下，精度不稳定，甚至还要受到主轴头旋向的影响。而三导轨滑台，单导轨导向，且是中间的镶钢导轨，它处于滑台受轴向力的中心位置，受力情况好，力矩小，导向约束稳定，刚度高，受热变形小。加上采用贴塑导轨板，动态性能好。采用精密滚珠丝杠及伺服电动机同步齿形带驱动，使滑台保持高的进给精度。

此外，采用自动补偿镗杆（见图4），保证了加工

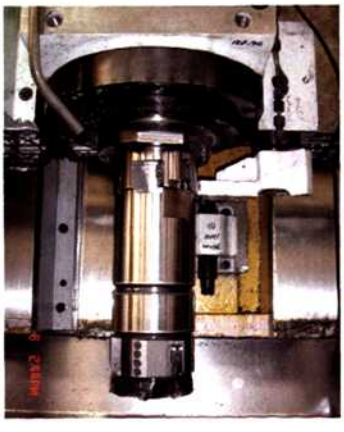
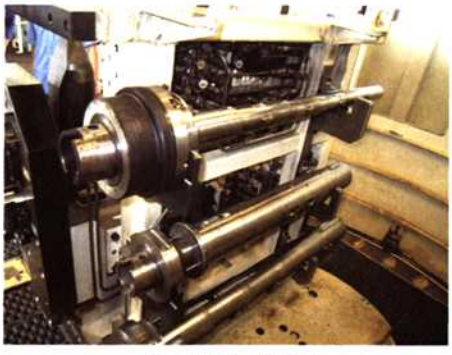


图4 自动补偿镗杆

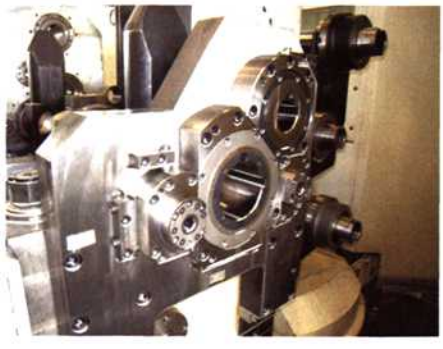
高精度孔系的要求。发动机缸体是汽车发动机的关键件，而气缸孔及止口的精度好坏，将直接影响到发动机性能的好坏。因此，缸孔的加工是缸体中的关键工序，本机床的刀杆采用的是与德国MAPAL共同设计、MAPAL制造的镗刀杆，并带有刀具的自动补偿系统，补偿电动机为伺服电动机直接驱动。半精镗、精镗刀片分开使用，只有精镗刀有补偿，镗杆后端带有镗车止口刀，从而达到了缸孔加工的精度要求。

发动机缸体曲轴孔和凸轮轴孔加工技术

发动机缸体的另一道关键工序是曲轴孔和凸轮轴孔的加工，就目前大连机床研制的三轴孔加工机床或数控专用机床，虽然加工精度已经达到国际同类产品的先进水平，但与国外相比，仍有着很大的差距。无论是缸体的缸孔加工还是三轴孔的加工，国外均已采用加工中心来完成（国外采用加工中心加工三轴孔的方法见图5），这就使机床的柔性化大大提高。而且实现了整个缸体的加工，均采用由加工中心组成的柔性敏捷自动线



(a) 三轴孔加工镗杆库



(b) 三轴孔加工夹具镗模架

图 5

（见图6），采用桁架机械手输送，真正实现高速、高效、高精的生产制造模式，非常适用中小批量的生产，适应多品种的加工。大连机床集团近年来为汽车生产厂提供了多条柔性线，为二汽生产的缸体加工柔性自动线，采用了桁架机械手输送（带有桁架机械手的柔性加工线参见图7），但缸体关键工序的加工，如缸体三轴孔，缸体缸孔等还是采用专用数控机床来加工。

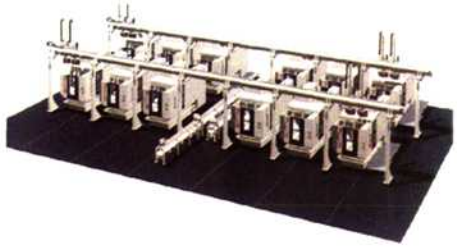


图6 国外柔性敏捷线

图7 带桁架机械手的缸体加工线缩型

结语

近年来，国家对装备制造业的扶持和投入加大了力度，汽车发动机关键零件的高速、高精柔性自动线创新平台的建设落户大连机床集团，大大地加快了我国汽车发动机关键零件柔性自动线研制的步伐。目前，全部采用加工中心而完成缸体、缸盖所有工序加工的柔性自动线正在研发阶段。轻量化技术，在线检测技术，刀具补偿技术及切削参数优化，高速驱动及加工技术，可靠性技术，桁架机械手输送，人工智能、专家系统及智能传感技术等先进技术成功应用，相信不久的将来，国产柔性自动线的技术将达到国外同类产品的先进水平。

MW（收稿日期：20101221）