



汽车生产自动化技术



中国汽车工业的快速发展，带动了自动化技术的发展，越来越多的自动化技术在装备制造中得到应用；同时，自动化生产线、工业机器人等人工智能设备在汽车的智能生产、绿色制造中也发挥了重要作用。近年来，劳动力成本的激增，以及节能、低耗、环保政策的限制，更进一步推动了整个中国汽车生产行业进入自动化新阶段。

策划：邵蕊



■ 大连东方专用机床有限公司/李 凡

■ 大连连城数控机器股份有限公司/张树礼

发动机缸体缸盖加工自动线 现状及发展趋势

汽车发动机缸体缸盖加工自动线是汽车制造业中应用最广的一种高效设备。与流水线不同，自动线上的被加工件不需要通过人工搬运来完成各工序的加工内容，它利用控制系统将各个工序的机床和辅助装置的动作联系起来，按规定程序自动地进行工作。由于缸体和缸盖的批量大，精度要求高，采用自动线加工的方法是最优的选择。近年来，自动线加工技术发展得越来越快，水平越来越高，而自动线的形式也在不断发生变化。在我国，加工缸体缸盖应用最多的就是组合机床自动线（见图1），其输送形式有棘爪输送、摆杆式输送和抬起步伐输送等。

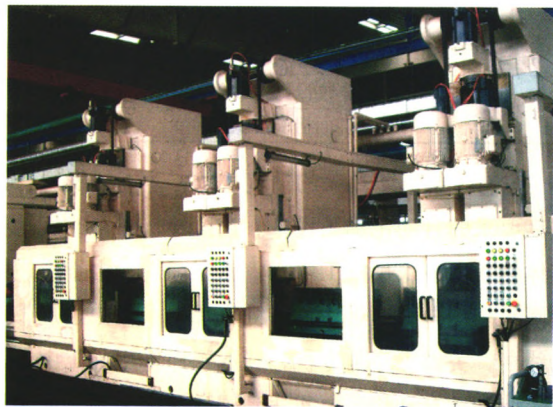


图1 国产6缸缸体精镲缸孔及止口自动线

这些加工自动线均为刚性自动线，其主机是专门为被加工工件的某一工序设计的。由于汽车产品变形更新快，刚性自动线的弱点便显现出来，其专用性已跟不上汽车变换的节拍，适合加工大批量高效率的光环不再那么耀眼，自动线中的专用机床逐渐被加工中心所取代，进而由加工中心组成的柔性加工自动线显示出更高的优越性。自动线的柔性以适应不断变化的产品转型生产，已成为制造生产线的一种流行趋势，如再配上桁架机械手空中输送，无论档次和水平，都达到了国际先进水平。在欧美，日本等发达国家，由高速加工中心和桁架机械手组成的敏捷柔性生产系统已经是主流产品，桁架机械手在高空运送零件，直接把被加工零件从一台机床输送到另一台机床上，兼有工序间运输和自动上下料功能。

国内发动机缸体缸盖自动线现状

我国汽车发动机关键零件加工装备技术先后经历了技术的引进、消化吸收、自主开发及产业化等几个阶段。经过近几十年的不懈努力，我国在汽车发动机缸体缸盖加工装备关键技术方面取得了明显进步，部分加工技术指标达到目前国际先进水平，但在高效、

高精、柔性、功能、性能和可靠性等方面与国外先进水平仍存在差距。目前，汽车发动机缸体缸盖的生产大多采用高速加工中心组成的敏捷生产系统（见图2），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，形成了技术和市场的垄断局面，国际市场占有率达90%以上。我国汽车发动机生产厂的柔性加工自动线，几乎全都从国外进口，高档柔性加工自动线被国外机床厂家垄断。

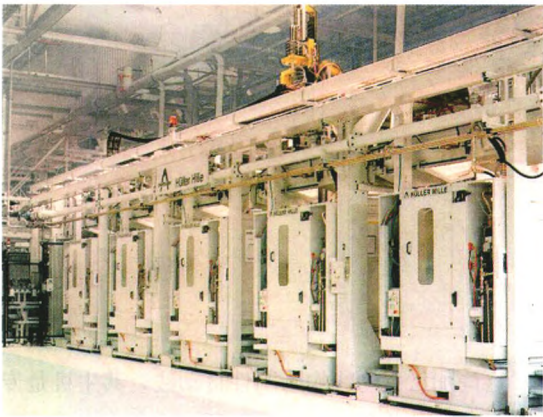


图2 国外敏捷柔性自动线

上海通用L850发动机生产线的缸体缸盖自动线就是由德国GROB公司总承包。缸体自动线由23台G500高速加工中心（见图3）、GROB专机、清洗机、拧紧机、试漏机、压装机在线检具、辅机及珩磨机组成柔性生产线。缸盖自动线由26台G300、4台G500高速加工中心、清洗机、拧紧机、试漏机、压装机在线检具、辅机及珩磨机组成柔性生产线。整个缸体线采用串、并行混合布置的方式，大部分CNC加工中心由于

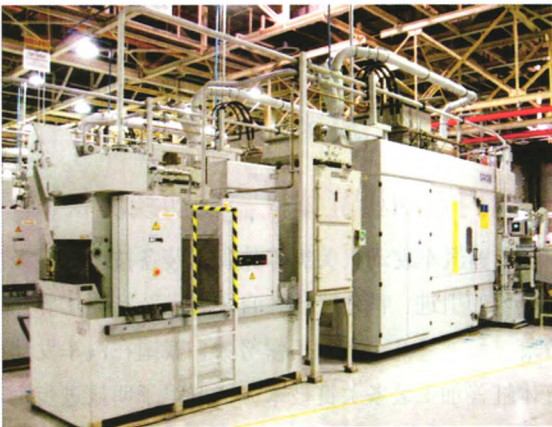


图3 G300高速加工中心

节拍较长，分成A、B两个模块，而辅机、清洗机和珩磨机则两个模块共用。

江苏无锡柴油发动机厂的缸体缸盖柔性加工自动线也由德国GROB公司总承包，由BZ800加工中心、GROB专机、清洗机、拧紧机、试漏机、压装机在线检具、辅机及珩磨机组成。输送采用空中桁架机械手和机动滚道自动线输送。

与国外的差距，便是我国机床制造商努力的方向，而采用高效、高精的柔性加工自动线是加工缸体缸盖的发展趋势。就目前国内自动线的水平，需要解决高效高精柔性自动线加工技术的创新问题。

自动线关键技术亟待攻关

发动机是汽车的心脏，而缸体和缸盖则是心脏中的关键零件。它们的质量决定了发动机的性能。因此，加工出高质量的缸体缸盖才是关键。这就要求机床制造商必须研究缸体缸盖的加工工艺，了解缸体缸盖的关键精度要求。目前，缸体、缸盖孔系主要加工精度指标见表1和表2。

表1 缸体主要加工精度指标

尺寸精度	IT6
表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	0.8~1.6
缸孔与主轴孔垂直度/mm	0.015~0.02
缸孔圆柱度/mm	0.006~0.008
缸孔止口深度误差/mm	0.020~0.025
主轴孔圆柱度/mm	0.005~0.008
各主轴孔同轴度/mm	$\phi 0.02$
端面销孔与主轴孔位置度/mm	$\phi 0.06$

表2 缸盖主要加工精度指标

气门导管		压后精加工
气门导管孔	尺寸精度	IT6~IT7
	对底面的垂直度/mm	0.03
	直线度/mm	100:0.01
	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	0.8
	圆柱度/mm	0.008
阀座锥面	对导管孔的跳动/mm	0.02
	表面粗糙度值 $R_a/\mu\text{m}$	0.8

只有了解缸体缸盖的精度要求，才能研发适合该精度要求的自动化加工设备。在国外，轿车的发动机缸体缸盖大多采用加工中心，而在国内，由于上述精度要求较高，大多采用专用机床加工。在柔性加工自动线中，关键工序是专机，其他工序采用加工中心，称之为刚柔自动线。要想达到国际先进水平，应采用加工中心机床来加工缸体的缸孔及止口、主轴孔和缸



盖气门导管孔,从而实现国产的全部由加工中心组成的高水平的柔性加工自动线。目前,国内虽然生产出了由加工中心组成的柔性加工自动线(见图4),但缸体缸盖关键工序是半精加工,精加工在线外还是用专用机床或自动线加工。因此,提高国产高速加工中心技术水平是关键。



图4 国产缸体柔性加工自动线

国产立、卧加工中心要解决如下几个方面的技术问题,以适应加工缸体缸盖自动化加工的需要:

- 1) 高速机床高刚度轻量化优化技术。
- 2) 高速高精度整机动态性能测试与评价技术。
- 3) 高速高精度机床精度保持性技术。
- 4) 高精度机床误差检测补偿技术。
- 5) 高速高精度高表面质量伺服优化技术。
- 6) 高速切削动态稳定性技术。
- 7) 高速切削加工工艺参数优化和系统可靠性技术。
- 8) 在线测量技术。

对机床的主要要求是高速、高精度以及高精度保持性。因为用于敏捷柔性自动线的高速加工中心,快移速度已达 $60\sim 100\text{m/min}$,加速度达 $0.6\sim 1.5\text{g}$,主轴最高转速达 $8\,000\sim 15\,000\text{r/min}$,定位精度/重复定位精度——工作台在 1m 以下为 $8\,\mu\text{m}/4\,\mu\text{m}$,工作台 1m 以上为 $10\,\mu\text{m}/5\,\mu\text{m}$,主轴普遍应用电主轴,进给运动普遍采用直线电动机,同时普遍运用三坐标模块化和箱中箱结构,机床非常简约,外购件比例增加,交货期大大缩短。为此,国产高速加工中心要达到如CINCINNATI LAMB公司的HPC80hp加工中心、CROSS HULLER公司的“啄木鸟”加工中心,以及MAZAK公司新一代UH“瘦身”型加工中心的先进水平,是柔性加工自动线的发展趋势。

自动线的输送及辅助设备同样有技术问题要解决。国产带桁架机械手输送的柔性加工自动线如图5所示。要实现敏捷柔性自动线,必须解决高速桁架机械手关键技术:

1) 桁架机械手的快速运动单元制造技术。实现高速、高效、高精度的搬运功能,其传输单元及支撑单元必须在高速运动载荷情况下,有足够的刚度及强度。

2) 桁架机械手的快速运动单元高速、高精度控制技术。快速运动单元高速、高精度控制主要表现为伺服电动机高响应、高刚度及高精度的控制技术。在高速搬运过程中要求运动部件在极短的时间内到达给定的速度并能在高速行程中瞬间停准。

3) 快速物流单元与加工中心协调控制技术。对于自动线中的加工设备之间进行物料运输,桁架机械手与加工设备之间存在严格的物流分配控制。

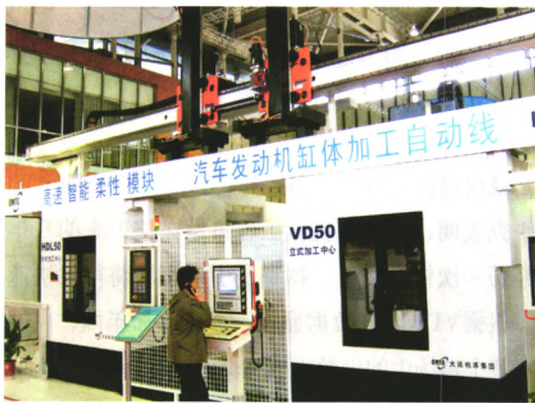


图5 国产桁架机械手输送柔性加工自动线

结语

国内机床制造商要真正树立以用户为中心的市场持续改进的思想,紧紧抓住汽车产业大发展的战略发展机遇,加速汽车制造技术及装备创新体系建设,只有这样,我国的汽车发动机缸体缸盖自动线技术和水平赶超先进发达国家才会成为可能。

关键词:

发动机 缸体 缸盖 自动生产线

(收稿日期20140331)