■ 大连连城数控机器股份有限公司/张树礼

曲轴加工柔性自动线的应用

近年来，我国汽车工业迅速崛起，成功地走出了一条民族工业的振兴之路，已成为世界上最大的汽车消费市场和最大的汽车生产国。汽车行业是拉动国民经济增长的支柱产业，为了加快汽车装备制造技术提升的步伐，国家在中长期发展规划中明确将“高档数控机床与基础制造装备”列入16个重大科技专项中，面向汽车等四个行业领域所需的高端机床予以重点支持，目标是，到2020年，四大行业所需要的高档数控机床与基础制造装备80%以上要立足国内生产。柔性自动线是高效高精加工汽车发动机关键零件不可或缺的重要装备。随着市场竞争的日趋激烈和市场需求的日益多样化，原有的单一品种、大批量生产的刚性生产线不能适应多品种、变批量生产方式的需要。柔性自动线在发动机关键零件加工中被人们广泛关注。

我国汽车发动机关键零件加工装备技术经历了技术的引进、消化吸收、自主开发及产业化等几个阶段，经过几十年的不懈努力，在汽车发动机关键零件加工装备及关键技术方面取得了明显的进步，部分加工技术指标达到国际先进水平，为我国高档数控机床产业的发展奠定了基础。在汽车发动机关键零部件加工中，其中缸体、缸盖柔性加工自动线的进程和水平均略高一筹。在许多人看来，缸体、缸盖是发动机最关键的零件，许多机床制造商把大部分精力都用于此，其实对发动机整体而言，曲轴也是不可小视的关键件之一。从某种意义上讲，曲轴加工柔性线的技术含量要高于缸体、缸盖柔性生产线。缸体、缸盖柔性线主要由加工中心组成，而曲轴柔性生产线不仅有加工中心，而且还有数控车床、曲轴油孔数控钻床、沉割槽数控滚压机床、数控外铣机床、数控车拉机床、数控磨床及砂带磨床等，专有技术可谓多而难，从以下介绍中足以窥见一斑。

曲轴加工工艺及柔性线总体布局

目前国内曲轴加工，部分陈旧生产线多由普通机床和专用机床组成，生产效率和自动化程度相对较低。粗加工设备多采用多刀车床车削曲轴主轴颈及连杆轴颈，工序质量稳定性差，容易产生较大的加工应力，难以达到合理的加工余量。机床数控化以来，高速、高效加工技术及装备在汽车制造业大量采用，生产效率得到了很大的提高，发动机曲轴生产线上的生产设备数量正急剧减少，尽管加工曲轴的设备专用性很强，但现已日趋柔性化，加工不同规格的曲轴，只要将机床做一些调整就能够实现变品种的加工，这是当今曲轴加工技术的一大进步。由于汽车的品种不同，曲轴的规格不同，采用的设备及工艺方法也不同。附表所列工序是加工某曲轴（见图1）的一个例子，通过它可以看到曲轴加工柔性化的现状。曲轴柔性加工自动线布局如图2所示（此图略去了曲轴校直、工序间的检测、清洗等工序。1～8表示杵架，→表示工件流向）。

曲轴加工工序

工序编号	工序内容	采用的设备
OP10	加工两端面及其孔	加工中心
OP20	法兰端面及外圆	数控车床
OP30	小端轴颈	数控车床
OP40	主轴颈、连杆颈加工	外铣机床
OP50	油道孔加工	油孔钻床
OP60	圆角滚压	滚压机床
OP70	两端面孔系加工	加工中心
OP80	磨小端轴径及止推面	磨床
OP90	磨大端法兰面及外径	磨床
OP100	磨主轴颈及连杆颈	磨床
OP110	磨大端中心孔	磨床
OP120	曲轴平衡、去重	动平衡机
OP130	主轴颈、连杆颈抛光	抛光机
OP140	清洗	清洗机
OP150	终检	专用检测仪器

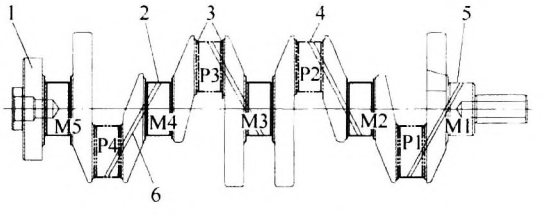

图1 曲轴加工示意

1.大端法兰 2.主轴颈 3.沉割槽 4.连杆颈 5.主轴颈 6.油道孔

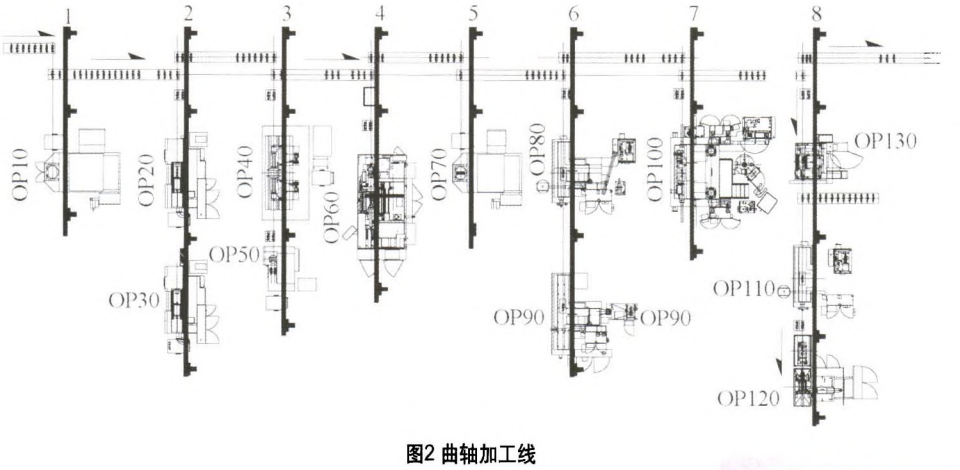

图2 曲轴加工线

由图2可以看到，本曲轴柔性加工自动线由13台设备组成，以主干和支路输送形式决定了自动线的布局结构。主干输送采用了分段交替的地面输送形式，而支路则采用桁架机械手空中输送。正是因为采用了桁架机械手，所以加大了输送速度和准确性，输送位置通过控制程序而随意改动，进而才使得主干路交替输送的实现。

在每个支路上，桁架机械手将上一段主干路输送过来的曲轴抓到支路所在的机床上进行加工，加工后再将曲轴抓放到检测工位检测，合格后再抓放到主干路下一段输送带上，输送带将其输送到下个工序，不合格的曲轴放在不合格区，待人工根据不合格情况和类型决定是否返修或报废。

自动线采用的关键设备及加工原理

1.曲轴主轴颈及连杆颈随动外铣机床

现在的数控外铣机床，采用了模快化设计，使外铣数控机床具备可变形的多种不同结构，从而适应曲轴品种规格变化的需要。曲轴外铣数控机床主要部件结构是经过优化设计的，减少了移动部件的重量。整机采用了有限元动力分析方法，预测出整机的固有频率，找出解决和提高固有频率的方法，避免机床在工作时产生共振。在进行曲轴零件加工时，由于圆盘铣刀本身结构的影响，刀刃与工件始终是断续接触，有冲击。因此，机床整个切削系统中控制了间隙环节，降低了加工过程中因运动间隙产生的振动，从而提高了加工精度和刀具的的使用寿命。本外铣机床由两个外铣刀盘组成（见图3），刀盘在做主运动切削的同时还可以上下摆动，从而适应加工连杆颈的需要。此时，曲轴转动，连杆颈绕主轴颈中心转动，铣刀盘随连杆颈旋转而上下摆动，实现随动切削。由于两铣削头可沿着主轴轴心线移动，从而完成对曲轴每个主轴颈和连杆颈的铣削。

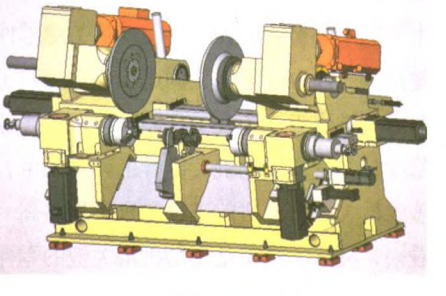

图3 双刀盘外铣机床

2.曲轴主轴颈、连杆颈圆角滚压机床

近年来，滚压机床应用越来越多，主要是为了提高曲轴的疲劳强度。据统计资料显示，球墨铸铁曲轴经圆角滚压后的曲轴寿命可提高120%～230%；锻钢曲轴经圆角滚压后寿命可提高70%～130%。滚压的旋转动力来源于曲轴的旋转，带动滚压头中的滚轮转动，而滚轮的压力是由液压缸实施的。滚压力的大小直接影响到滚压的效果。压力大则在短时间内就会滚压出规定的深度，但由于压力过大，除了易使滚压轮破损外，更易使曲轴整体产生弯曲变形。为此，液压缸的压力是可变、可调的，在曲轴旋转过程中的任一角度都可随时变化，靠液压伺服阀控制，实现脉冲滚压。在滚压过程中，因滚压轮薄、硬度高，在压力作用下超过一定的时间会破损，因此，滚压头具有滚压轮破损检测报警功能。由于在滚压过程中曲轴的高速旋转，受滚压力的作用及滚压臂的随动负载影响，尽管脉冲滚压能保证曲轴在滚压过程中的变形很小，但曲轴还是存在变形。因此，滚压机床采用了在线检测技术，测头可在任意位置对曲轴进行弯曲变形检测，若变形超差，确定变形方向，通过专家系统控制，使滚压液压缸力根据变形方向而变化，从而达到校直的目的，一般需19～21kN的校直力。

在滚压加工过程中，为了控制滚压力的大小，在滚压臂最易产生变形的位置安装了一个应变仪，通过滚压臂受张力产生变形的大小，来监控滚压力，从而对压力进行控制。滚压原理及结构如图4所示。

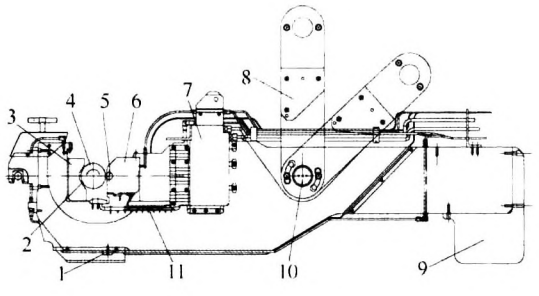

图4　液压臂

1.应变仪 2.支撑轮 3.支撑体 4.曲轴 5.滚轮 6.压头 7.液压缸 8.吊挂 9.配重 10.铰链 11.直线导轨

3.曲轴油道孔数控钻削机床

曲轴油道孔的加工经历了普通钻床、组合机床、枪钻等不同时代的不同加工方法，如今已开始采用数控柔性钻床，如图5所示。其结构特点是：采用带中孔的涂钛硬质合金钻头；采用油气通过钻头中孔对切削部位进行润滑，其用油为菜子油，不含硫、硅、氯等成分，也不含石油成分，润滑效果好；可同时加工两根曲轴；可自动换刀；油道孔加工角度在一定范围内可调；实现六轴运动，即主轴运动、主轴头摆动、主轴头前后移动、主轴头左右移动（换刀和油道孔加工位置用）、主轴头上下进给运动及被加工曲轴的转动。这种钻床，弃用了传统采用大量冷却油冷却加工的方法，而且提高了加工的柔性。

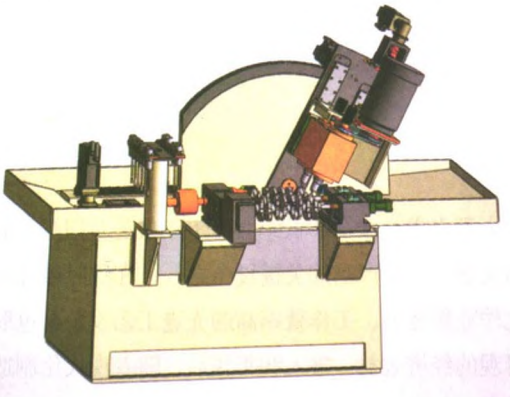

图5　油孔钻

结语

如上所述，本文谈及了曲轴柔性自动线中的几个关键设备，未提及磨床、砂带抛光机等。严格说来，整条线中的每一台加工设备都是曲轴加工的关键设备，只是上述提及的设备都是根据曲轴的结构而专门设计的曲轴加工专用性的通用设备，它们不像加工中心和数控机床那样宽泛地应用，但特点更独特，是加工高质量曲轴所必须应用的机床。因此，从广义上讲，曲轴加工柔性自动线还不够“柔性”，但对只加工曲轴来讲，柔性却很十足。这是当今比较先进的曲轴加工方法，相信在未来的制造装备技术不断的发展进程中，曲轴加工柔性自动线技术会再次飞跃。

关键词：柔性自动线　曲轴加工　应用　发动机

（收稿日期：20131206）