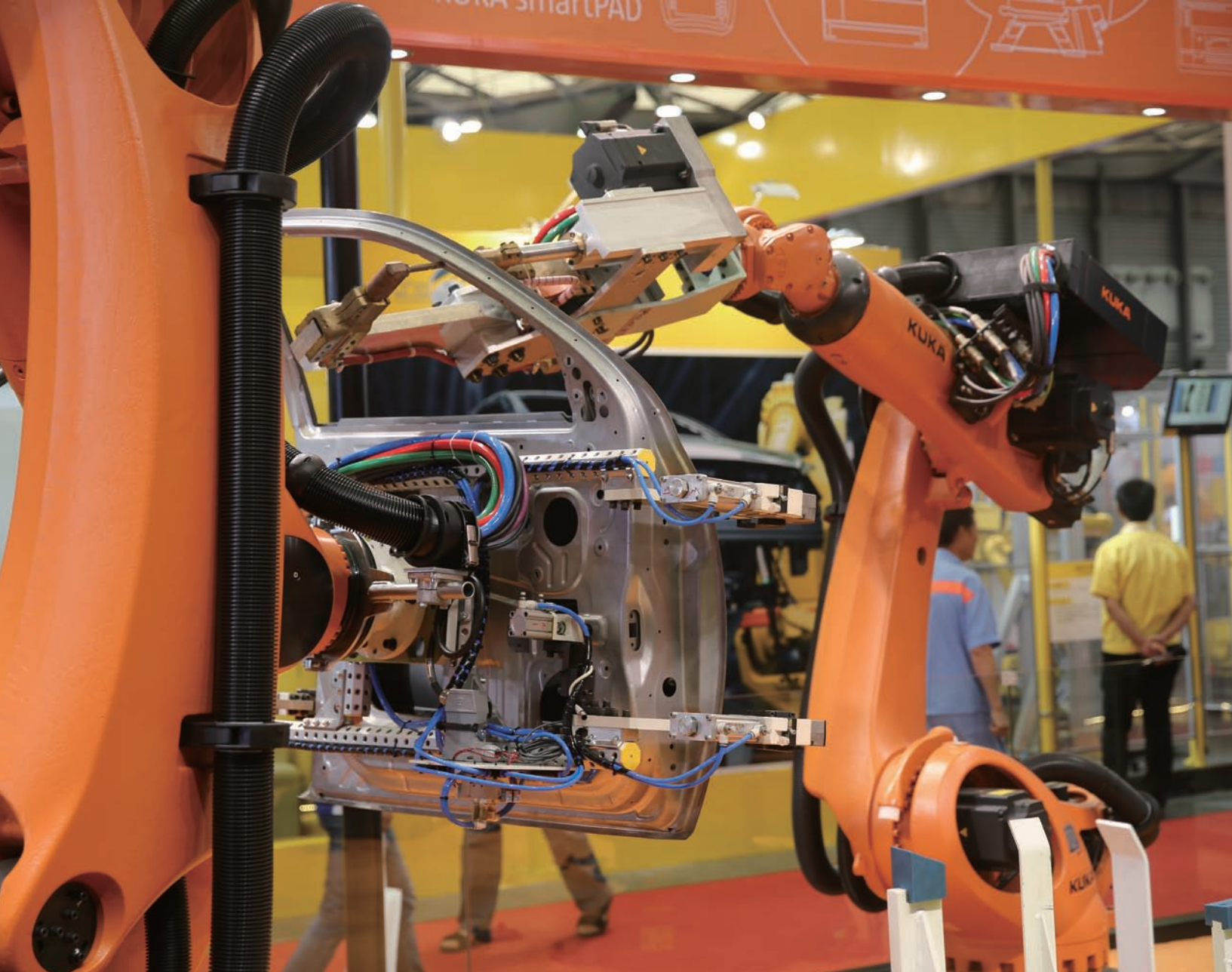




CIMES2018特刊

当前，第四次工业革命的浪潮席卷全球，工业产品的生产方式正在发生颠覆性的改变。在工业4.0时代，汽车生产方式将由目前的大批量生产转向大规模、小批量、多品种、快节拍的弹性生产，这种改变对汽车制造物流生产线的智能化水平提出了更高的要求。工业机器人是汽车行业实施自动化生产线、智能制造车间、数字化工厂、智能工厂的重要基础装备之一，更是汽车工业通向工业4.0道路上的一块巨大且重要的基石；智能测量将对生产过程进行高效监控，保证最终产品质量；高效机床和刀具将完成零件从毛坯到成品的加工。本期策划将关注这些设备在汽车工业的应用，敬请关注。

策划人：于永初

汽车盘套类零件的加工解决方案

□ 北京工研精机股份有限公司 / 高红 贺大兴 李云飞

本文着重就带轮的加工展开论述，介绍车磨复合加工机床的结构特点和加工工艺。通过用户的实际应用，机床各项性能指标及加工水准可以与德国机床相媲美，性能优异，完全可以代替进口机床。

随着经济全球化和市场一体化进程的推进，汽车零部件产业在汽车工业体系中的市场地位逐步得到提升。行业发展趋势大大推动了汽车零部件行业的市场发展，并创造出庞大持续的市场需求。为有效降低生产成本，提高生产效率，增强产品的竞争力，原有单一的加工模式逐步被多工序的复合加工取代，个性化的设计和应用与日俱增，复合机床便是应运而生的产品。

自主研发

在汽车CVT无级变速器中，有两种关键的零件——带轮和带轮轴（见图1和图2），由于加工精度要求高，又是难加工材料，长期以来，一直依赖进口机床加工。由于机床费用昂贵，所以零件生产运行成本很高，制造成本居高不下。

我公司根据用户的实际需求，成功研制了 $\mu 4000TG$ 和 $\mu 4000VG$ 机床（见图3），专门针对汽车零部件中盘套类、轴齿类、轴套类零件热处理后的终极加工，解决了加工

带轮和带轮轴这一加工难题，使制造成本大幅降低，并在用户工厂得以很好的应用，解决了生产瓶颈问

题。而且机床不局限于加工带轮和带轮轴，还可用于加工汽车零部件中盘套类、轴齿类、轴套类零件。本文着重介绍盘套类零件的加工。



图1 CVT带轮



图2 CVT带轮轴



(a) $\mu 4000TG$ 车磨复合机床



(b) $\mu 4000VG$ 外球道磨削机床

图 3

带轮的技术参数

CVT变速器中的带轮材料为20CrMnTiH合金钢，采用毛坯渗碳淬火后，表层硬度达到58~62HRC，加工余量0.15~0.25mm。

其加工工序包括（见图4）：

- （1）3个呈120°分布的φ6mm球道的磨削。
- （2）锥面加工（硬车和磨削）。
- （3）φ42mm和φ35mm的圆柱面及其组成的台阶面磨削。

加工工艺分析

（1）3个呈120°分布的φ6mm球道的磨削加工，由于球道很深，孔径又小，磨削余量大，所以用通常的高速电主轴带砂轮的加工方式，刚性不足，速度也上不去，砂轮磨损大，难以进行批量的高效生产，这种方式不可取。根据使用状况，我公司专门设计了一套新型的专用磨削机构来实现大磨削量高速加工。

为了使工件的初始位置进行定位，还专门研制了在线检测装置，使工件的3个呈120°分布的φ6mm球道可停留在设定的位置。

（2）锥面的车削。由于工件热处理后表层硬度在58~62HRC之间，余量在0.15~0.25mm之间，涉及到大切削量的硬车削，所以必须选用高刚度的刀座、刀柄及CBN刀具。

（3）锥面的磨削，特别设计了同步电动机的电主轴，内部用水冷方式冷却，使主轴发热得以很好的控制，保证机床长期工作精度的稳定性。砂轮选用CBN砂轮，实际加工速度可达100m/min，极大地

提高了零件的加工效率。在主轴内部，内置了AE声音传感器和平衡系统，使砂轮可在线平衡，降低了砂轮磨损不均匀带来的振动，提高了零件加工的表面质量。AE可起到砂轮防碰撞功能，并使加工过程和修整过程可视化，通过图像直接反映加工状态，提高了生产效率，安全性得以增强。

（3）φ42mm和φ35mm的圆柱面及其组成的台阶面磨削。选用GMN的高速电主轴，砂轮通过金刚滚轮修整，呈台阶状，可同时将φ42mm和φ35mm的圆柱面及其组成的台阶面磨削成形。

工件主轴及夹盘的研制

由于工件要承受较大的切削量，而且锥面边缘又较薄，仅有

4mm，所以工件的装夹在加工中特别重要。我公司专门针对工件设计了五爪自定心夹盘，使装夹位置在圆周上均匀分布，工件不容易产生变形。

图5是机床的布局图，机床可在一次装夹中实现完成对零件外圆、端面、内孔及内球道的高效、高精度连续车削、磨削的加工过程和对砂轮的修整过程。

带轮实际加工工艺路线

最终，确定带轮实际加工工艺路线为装夹工件→检测球道位置→磨削球道→车削外锥面→磨削外锥面→磨削台阶孔。

1. 装夹工件

根据工件装夹部位的薄弱环

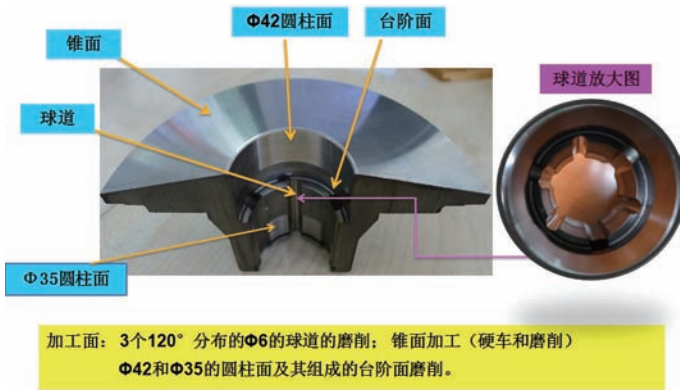


图4 带轮的剖面

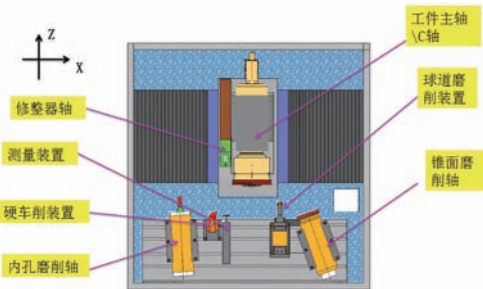


图5 机床布局

节，采用5个滑动夹爪（见图6），可通过轴向位移，改变其径向距离，通过气压调节改变对工件的夹紧力；卡盘配有断气自锁功能，通过弹簧机构进行锁紧，保证机床操作的安全性。

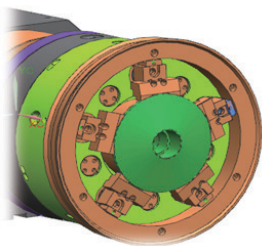


图6 工件夹盘

2. 检测工件球道位置

工件装夹后须首先要确定球道的位置。球道直径6mm，分布在 $\phi 35\text{mm}$ 的圆周上（见图7），呈 120° 均分。球道的测量通过一套专用测量装置实现。

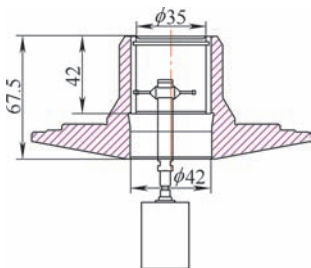


图7 球道的检测图

3. 磨削球道

毛坯内淬火后内球道的加工余量较大，一般在 $0.15\sim 0.25\text{mm}$ 之间，要求砂轮有较高的效率来完成加工。三个球道位于 $\phi 35\text{mm}$ 的圆周面上，空间很狭窄，加工位置距磨削轴端又较远。砂轮在极高的转速下，磨削液很难进入到加工区，导

致磨削烧伤。所以加工尺寸较小的这种内球道，一直是国内CVT制造企业迫切急需解决的难题。

该装置用了一套增速机构，砂轮最高转速可达 $36\,000\text{r/min}$ 。工作转速为 $25\,000\text{r/min}$ ，砂轮高速旋转，以一定的切削量横向切入到球道中（见图8）。

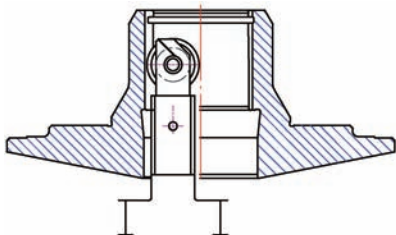


图8 球道磨削示意

工件加工时采取主轴内冲水和外部同时冲水的冷却方式，这样砂轮在大切削加工量的情况下仍可保证良好的加工质量。

4. 车削外锥面

工件热处理后外锥表面硬度达到 $58\sim 62\text{HRC}$ ，加工余量约为 $0.15\sim 0.25\text{mm}$ 。为了保证高效的加工，机床采用了高刚度刀座的Capto刀柄和CBN刀片。这种切削方式，一次进刀，全部余量可切削完成，表面粗糙度可达到 $Ra0.4\text{mm}$ （见图9）。

5. 磨削外锥面

工件车削完成后，进入磨削工序。这道工序是将车削的加工纹路覆盖掉，以更好地适应带轮传送的要求。但作为终加工，须保证 11° 的锥角精度、 61mm 的尺寸精度、锥面的直线度和跳动要求在

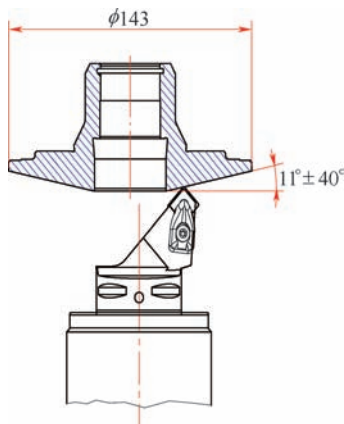


图9 外锥面车削示意

$0.015\mu\text{m}$ 之内，表面粗糙度 Ra 要在 $0.2\sim 0.4\mu\text{m}$ 。我公司研制了高刚度的磨削电主轴，砂轮采用CBN材质，砂轮工作转速设定为 110m/s （见图10）。

主轴内部应用了自动平衡装置，可进行在线平衡，自动消除砂轮的不平衡量，使砂轮在高速下偏心力始终保持在允许的范围内，保证砂轮的高精度旋转。

主轴内置了AE（声音传感器），当工件在磨削时或砂轮在修整的时候，通过声波判断工件的加工状况。通过评估声纳信号，可以检测到砂轮和工件的首次接触，并以微米计算，从而减少了非生产性空磨时间。工件与砂轮之间的碰撞

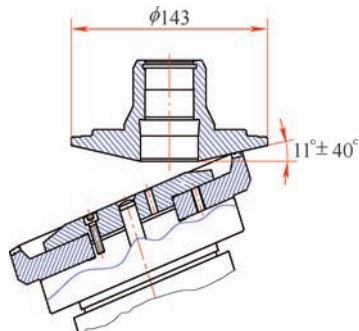


图10 外锥面磨削示意

能够立即被发现，避免和减少进一步的损失。AE还可实时监测，波形可在显示屏上显示出来。根据不同的波形判断加工状况，实现工艺过程优化。

6. 磨削台阶孔

磨削 $\phi 42\text{mm}$ 和 $\phi 35\text{mm}$ 的圆直径要求 C_{PK} 值大于1.67，圆柱度小于0.004mm，同心度小于0.008mm，端面跳动小于0.01mm，以满足相应的尺寸公差（见图11）。

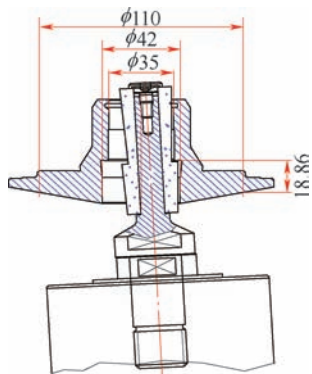


图11 台阶孔磨削示意图

机床采用了45 000r/min的高速磨削主轴，CBN砂轮，砂轮通过修整，达到形状要求。由于磨削余量较大，砂轮分为粗磨和精磨。砂轮在粗磨和精磨之间，加一道修整工序。有时砂轮也可磨削几件后修整一次，视具体加工状况确定。

7. CBN砂轮修整技术

本机床共用了三种CBN砂轮，共采用了大小两种金刚修整滚轮。修整的目的是将砂轮表面微观不平整的、磨钝的砂粒磨掉，使其露出锋利的切削刃。磨削量的大小根据砂砾的大小决定，一般磨掉砂砾的

1/3~2/3（见图12）。本机床修整工艺包括内孔砂轮的修整工艺、球道磨削砂轮的修整工艺、锥面磨削砂轮的修整工艺等。

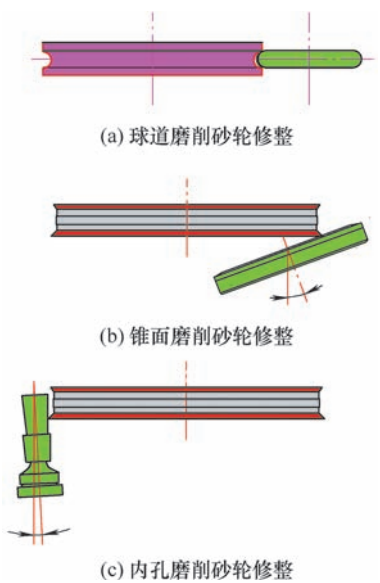


图12 CBN砂轮

8. 精度检验

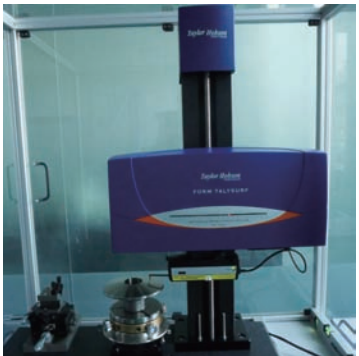
通过对工件22项参数指标的精度检验，加工精度及节拍全部合格，有些精度甚至超过了国外进口机床（见图13）。测量仪器：圆柱度仪Taylor Hobson/Talysond 565；轮廓度仪Taylor Hobson/PGI 1240；三坐标测量机：海克斯康。

结语

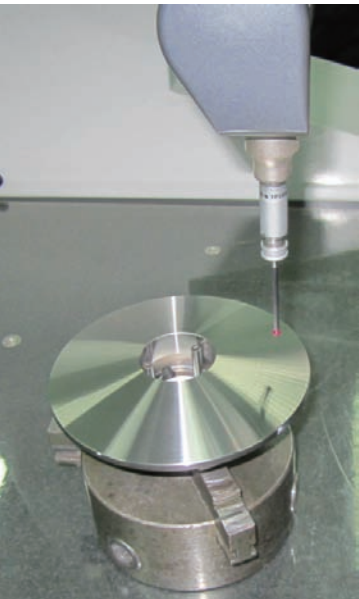
通过车磨复合加工机床的实际应用，很好地解决了汽车CVT无级变速器中关键的带轮零件的加工，也解决了汽车盘套类零件的加工，使加工精度和效率满足了应用的需求，并且大大提高了工件加工的能力。



(a) 同轴度、圆柱度检测



(b) 表面粗糙度检测



(c) 锥面精度检测

图13 工件精度检测

AUTO1950