

曼锥齿轮副 智造系统的应用

□ 中国重汽集团济南桥箱有限公司/刘胜勇

本文以国内某企业的曼锥齿轮副智造系统为例，介绍了从动锥齿轮柔性制造线、主动锥齿轮柔性制造线、热后齿轮副研配柔性制造线、铣齿刀具磨装数字线和KIMos5集成设计中心的组成与功能，对未来的齿轮智能制造具有借鉴意义。



在弧齿锥齿轮副生产中，一种具有自感知、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式——锥齿轮副智能制造正陆续被各齿轮制造企业所引入。他们有的是以系统的形式，全套加工设备购自德国或美国；有的是部分关键核心设备国外进口，车削、钻削和装/卸料等设备国内购置；有的是与国内高校、机床制造企业、集成制造商等多家联合，自主研制具有自主知识产权的锥齿轮智造装备。其终极目的，就是向用户提供使用寿命高、低噪声、一致性好、接触印迹好的高品质弧齿锥齿轮副。

锥齿轮副智造系统的大量应用

在经济全球化深入发展和世界

经济格局不断变化的今天，国内某齿轮制造企业本着“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念，打破桎梏，统筹规划，全面改革，理性投资，通过增设智能装备、强化网络建设、搭建仓储系统和融入实时监控等措施，全力建设了一套

曼锥齿轮副智造系统（见图1），用以满足曼技术为主的商用车上弧齿锥齿轮副的个性化生产需求。

1. 智造系统的概况

图1所示的曼锥齿轮副智造系统总造价约1.4亿元，由2条从动锥

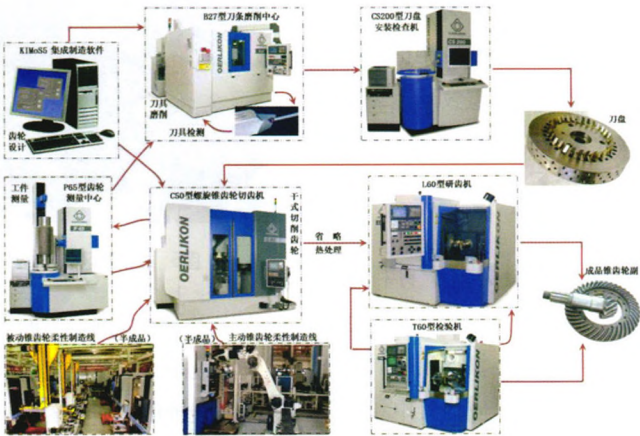


图1 曼锥齿轮副智造系统示意

齿轮柔性制造线、2条主动锥齿轮柔性制造线、1条热后齿轮副研配柔性制造线、1套铣齿刀具磨装数字线及KIMos5集成设计中心等环节组成，主要涉及8台Oerlikon C50型弧齿锥齿轮切齿机（下称C50切齿机）、3台Oerlikon L60型研齿机（下称L60研齿机）、2台Oerlikon T60型配对检验机（下称T60配对机）、2台Oerlikon B27型刀条磨削中心（下称B27磨刀机）、1台Oerlikon P65型齿轮测量中心（下称P65测量机）和1台Oerlikon CS200型刀盘安装检查机（下称CS200装刀机）等关键性工作母机。曼锥齿轮副智造系统具有图2所示的12个特点。

2.从动锥齿轮柔性制造线的布局

在图1所示的曼锥齿轮副智造系统中，2条从动锥齿轮柔性制造线彼此都包含4台FANUC 0iTD系统的PUMA V405立式数控车床（见图3）、2台FANUC 0iMD系统的NM515立式加工中心、2台SINUMERIK 840Dpl系统的C50切齿机、1套带Delta-HMI的机械手输送机构和2套SIMATIC-300PLC的环线送料机构。从动锥齿轮柔性制造线的布局及加工流程如图4所示。

其中，德国产C50切齿机是一种利用持续分度法或个别分度法对所有节距形式的弧齿锥齿轮进行干式切削的11轴6联动型数控机床（见图5），涉及3个垂直结构布置且直接传动的驱动系——刀具驱动系、工件驱动系和基角驱动系。刀具驱动系既含控制刀具旋转的A轴（刀盘主轴），又有用于刀具切深进给且行程为610mm的X轴（铣削

深度），既有进行刀具水平定位且行程为820mm的Y轴，又含控制倒角滚刀旋转的Q轴和定位用的X₂轴。工件驱动系既含控制工件旋转的B轴，又有用于工件水平定位且行程为230mm的Z轴。基角驱动系仅有1根用于工件摆动控制且回转范围±90°的C轴(基角)。

3.主动锥齿轮柔性制造线的布局

在图1所示的曼锥齿轮副智造系统中，2条主动锥齿轮柔性制造线彼此都包含2台FANUC 0iTD系统的WIA L280型卧式数控车床、2台SINUMERIK 802Ds1系统的YKX3132M型数控滚齿机、

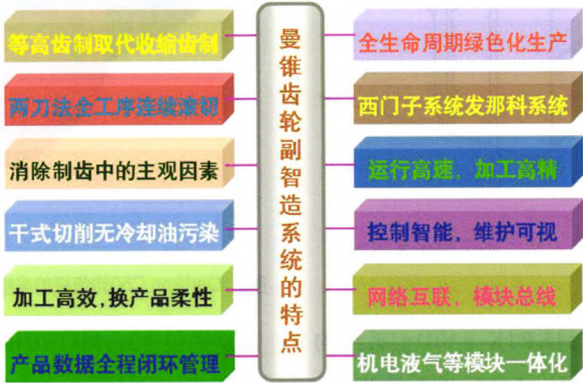


图2 曼锥齿轮副智造系统的特点



图3 工作中的PUMA V405立式数控车床

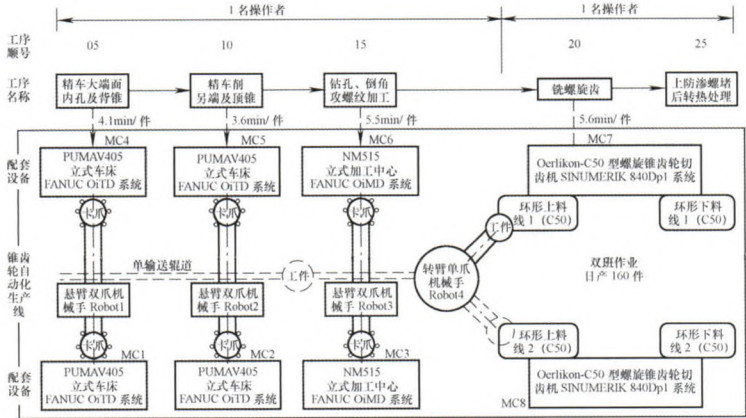


图4 从动锥齿轮柔性制造线的布局及加工流程

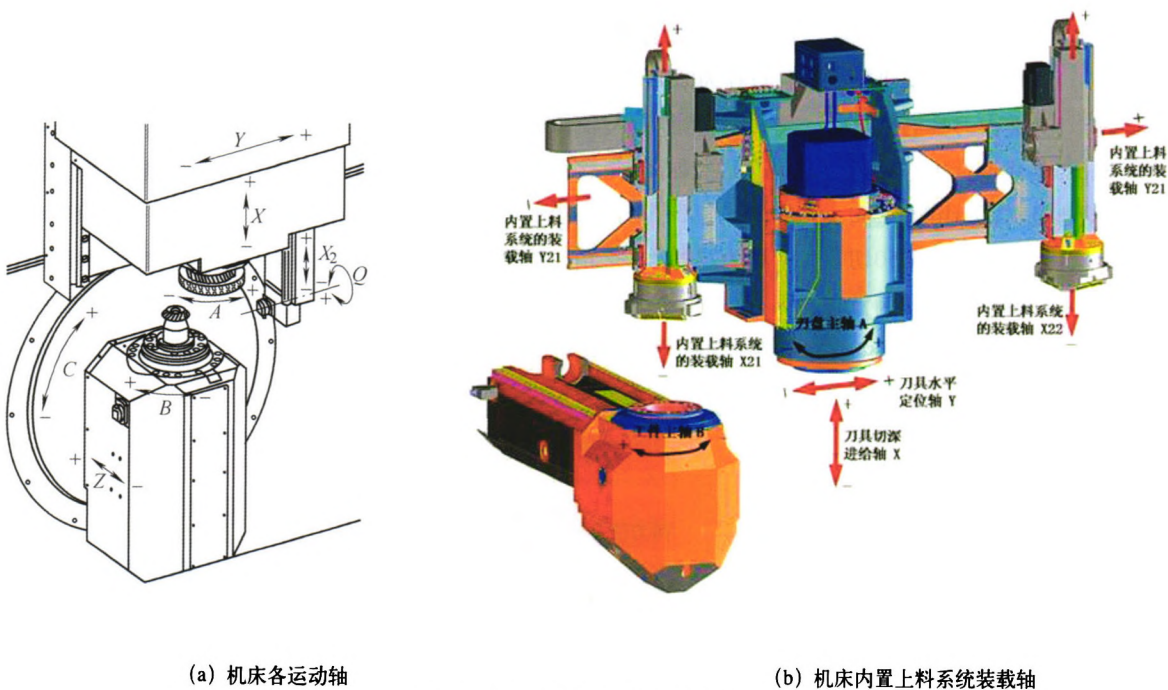


图5 Oerlikon C50切齿机的坐标轴分布及方向

2台SINUMERIK 840Dpl系统的C50切齿机、1台行走距离8m的KAWASAKI BX200L型六自由度关节机器人和2套SIMATIC-300PLC的环线送料机。主动锥齿轮柔性制造线的布局及加工流程如图6所示。

4. 热后齿轮副研配柔性制造线的布局

在图1所示的曼锥齿轮副智造系统中，1条热后齿轮副研配柔性

制造线包含3台MITSUBISHI M700系统的QTN250 II ML/500型卧式数控车床（见图7）、4台FANUC 0iTD系统的MKS1632A×750型数控端面外圆磨床、3台FANUC 31iMA系统的Oerlikon L60型研齿机和3台IRB 6700-155/2.85型ABB工业机器人。热后齿轮副研配柔性制造线的布局及加工流程如图8所示。

其中，德国产L60研齿机是一



图7 QTN250 II ML/500型卧式数控车床

种利用120#绿碳化硅和齿轮油混合的研磨液，对轴交角90°的弧齿锥齿轮副进行全自动研磨的7轴5联动型数控机床（见图9a）。它既有主动轮旋转轴B、从动轮旋转轴C、从动轮头架垂直移动轴X（V）、主动轮头架水平移动轴Y（H）、啮合侧隙控制轴Z（J），又含Z轴线性尺寸控制轴W、改变轴交角的调整轴A（选配）。研磨齿轮副时，经三个坐标轴V、H和J的正确角度摆动实现接触印痕的控制（见图9b）。

5. 铣齿刀具磨装数字线的布局

在图1所示的曼锥齿轮副智造系统中，铣齿刀具磨装数字线包含

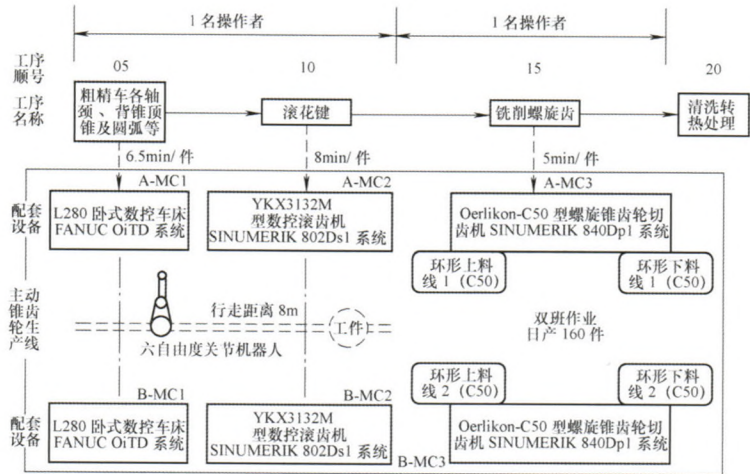


图6 主动锥齿轮柔性制造线的布局及加工流程

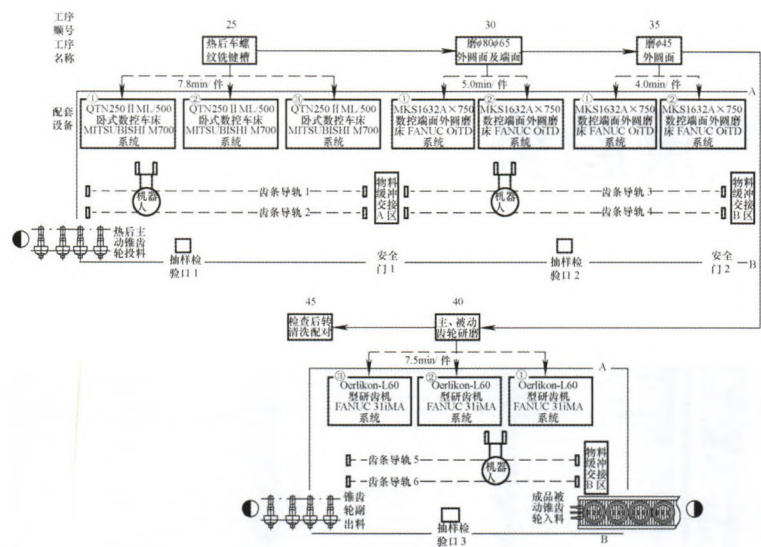
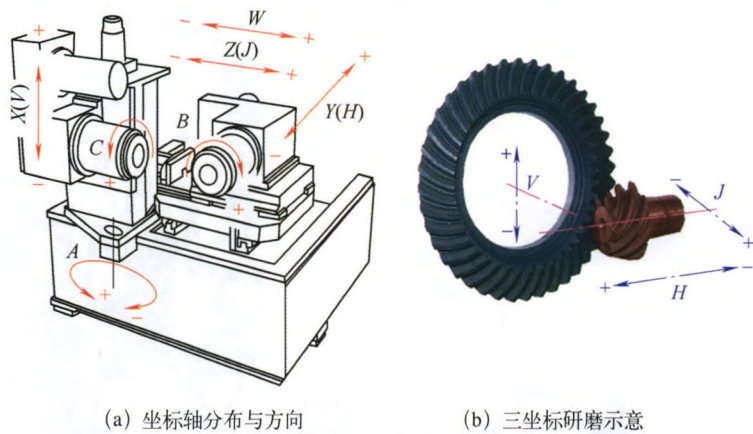


图8 热后齿轮副配柔性制造线的布局及加工流程



(a) 坐标轴分布与方向 (b) 三坐标研磨示意
图9 Oerlikon L60研齿机的坐标轴分布及三坐标研磨示意

2台FANUC 31iMA系统的Oerlikon B27磨刀机、2台刀条比较检查仪SMK200、1台Oerlikon CS200装刀机和1台Oerlikon P65测量机。

B27磨刀机是一种利用电镀金刚石砂轮对8台C50切齿机用硬质合金刀条进行双工磨削的9轴5联动型数控机床，具有5根机床轴和4根装卸站轴，可实现磨削过程和刀条装/卸的全程自动化。5根机床轴分别是磨削台面往复轴X、垂直磨削轴Y、水平磨削轴Z、旋转轴C和摆动轴A，4根装卸站轴分别是刀盒库（24个刀盒，每盒18根刀条）上/

下轴B、拉出站轴U、夹爪轴V和水平传送轴W，各轴分布及方向如图10所示。双工磨削时，先用砂轮的锥面和柱面以成形磨削的摆动方式粗磨削刀面，再用砂轮的环形前端面以展成磨削的方式精磨削刀面，磨削示意如图11所示。磨削所需的第1支刀条（即样刀）的几何形状数据来自于KIMos5设计中心的中性数据，磨削完的该刀条在P65测量机上全项检测并与中性数据进行比较；待P65的Meterorit软件计算出修正值后，将其反馈至B27内，实行后续刀条几何形状数据的修正

并保存。在样刀制成后，B27磨制的其他刀条便以此样刀为基准，经SMK200进行比对检测后，差值反馈至B27内，实行下一根刀条几何形状数据的修正并磨削。

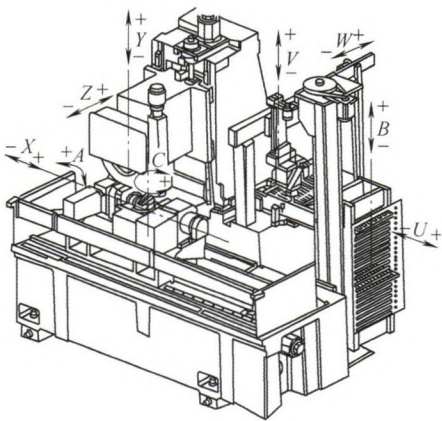
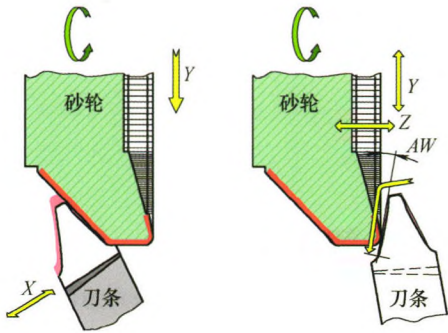
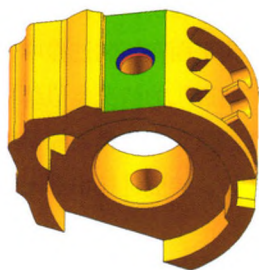


图10 Oerlikon B27磨刀机的坐标轴分布及方向



(a) 摆动粗磨削 (b) 展成精磨削
图11 Oerlikon B27磨刀机的双工磨削示意

CS200装刀机是一种基于摩托罗拉Power-PC工控机平台与直线电动机驱动技术的集安装和测量于一体的4轴3联动型数控机床，涉及工件旋转轴C、水平方向位移轴X、竖直方向位移轴Z和径向伸缩轴Y，如图12所示。工作时，它先从KIMos5设计中心获取对应C50的刀具中性数据，再在数字式三维测头的实时监测下，将B27磨削合格并涂层处理的硬质合金刀条装于整体刀盘上，后经专用程序显示出刀尖（下转第60页）



绿色：装配面为平面
蓝色：倒角60°
红色线条：倒圆角过渡
图31 换挡凸轮优化后效果图

结语

综合上述分析，SC12/16、SH12/15/20系列存在装配弹性销的地方，或多或少的都会产生铁屑，产生铁屑会损伤零件，使弹性销存在失效的风险，同时影响到变速器总成的清洁度铁屑产生的原因与装配弹性销孔与倒角产生的相交线、弹性销孔倒角角度、弹性销装配面等因素有关。

对此，通过优化弹性销孔倒角由 $0.5 \times 45^\circ$ 更改 $0.5 \times 60^\circ$ ；优化弹性销孔与倒角产生尖角过渡更改为圆角过渡；优化弹性销装配曲面更改为平面等措施，可以减少弹性销装配过程中产生铁屑。
同时，也可以将上述方面的优化方案运用于类似装配弹性销的结构中，减少铁屑的产生，提高总成清洁度，降低弹性销失效的风险。
AUTO1950

(上接第31页)

的轴向偏差和刀条切削刃的径向偏差，以便操作人员对超差的内外刀条进行调整，直至符合要求。

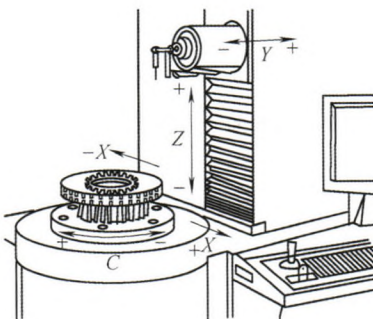


图12 Oerlikon CS200装刀机的坐标轴分布及方向

P65测量机是一种基于摩托罗拉Power-PC工控机平台与直线电动机驱动技术的用以弧齿锥齿轮形貌检测和周节检测的5轴3联动型数控机床，涉及切线测量轴X、径向测量轴Y、垂直测量轴Z、工件旋转轴C和顶尖上/下轴G，如图13所示。工作时，它先从KIMos5设计中心获取锥齿轮的名义数据，再经由专用程序和测量控制系统操纵数字式三维测头靠近待测齿轮，随后计算出对应C50的参数调整数值并通过局域网送至正确的C50。

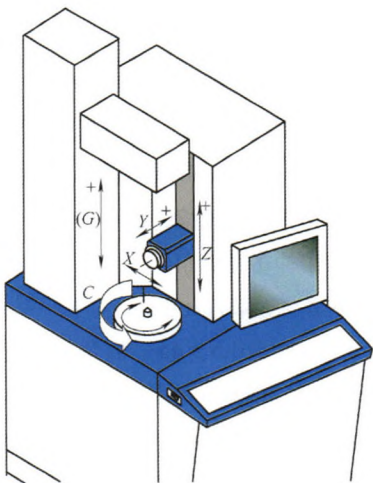


图13 Oerlikon P65测量机的坐标轴分布及方向

6. KIMos5集成设计中心任务

在图1所示的曼锥齿轮副智造系统中，KIMos5集成设计中心是系统的中枢神经系统，主要由尺寸计算、间隙优化后的接触分析、生成名义值、适应测量值或名义值的计算修正、承载齿面接触分析、刀条系统的刀具计算、数据库管理等不同的基本模块组成。它支持不同齿制的弧齿锥齿轮的制造，通过对制造过程的模拟和由此过程生产的齿面的啮合，不仅获得弧齿锥齿轮运转性能的持续优化数据，还取得齿面拓扑测量的理论公称数据、机

床加工参数修正数据等，海量数据存于中心数据库；随后，经局域网传送至工作母机C50、B27、P65和CS200。

结语

曼锥齿轮副智造系统加工高效、高精，实现了柔性化、绿色化生产，通过KIMos5集成设计中心数据库的建立，实现了智能控制，可视化管理，满足了曼技术为主的商用车上弧齿锥齿轮副的个性化生产需求，对未来的齿轮智能制造具有借鉴意义。
AUTO1950



刘胜勇
高级工程师，中国科普作家协会会员，研究方向为车辆工程、数控技术，出版著作8部，发表论文41篇。