

热处理后锥齿轮副生产线 智能化建设

□ 中国重汽集团济南桥箱有限公司/刘胜勇

本文根据用户要求，从空间布局和网络拓扑方面介绍了热处理后锥齿轮副智能化生产线的建设过程，详述各环节的工作任务和动作机能，给出了主要零部件的结构图样，生产线投入使用后，成效显著。

目前，在智能制造风潮的簇拥下，制造业的广大用户既要降低劳动强度、减少用工数量，又要去除人为因素、保证中间过程、提升产品质量，还需提高生产效率，增进智能化水平，打造核心竞争力。在此背景下，国内某商用车生产商投入600多万元，建设1条锥齿轮副智能化生产线，以完成热处理后（下称热后）主、从动锥齿轮的车削、磨削和检测任务，剔除先前人力为

主的落后生产方式，提升锥齿轮副的质量一致性，实现计划、调度、质量、生产和能效的全程闭环管理。

用户要求

拟设计的锥齿轮副智能化生产线既要实现MCY13系列驱动桥用主、从动锥齿轮（下称主、从动轮）的减材制造，具备相似产品的快速拓展能力，保证单套产品的加工节拍小于6min；又要实现智能监

控加工环境，自动完成零件装卸，自动测量各项尺寸，实时采集机床状态，采集分析质量数据等。

材质为20CrNiMo的主动轮的热后加工流程：毛坯（即热处理完的半成品）取料→上线扫码→车削外圆面、螺纹及铣削键槽（20工序）→磨削外圆面及端面（25工序）→磨削另端外圆面（30工序）→自动检测→完工扫码→成品下料（见图1）。

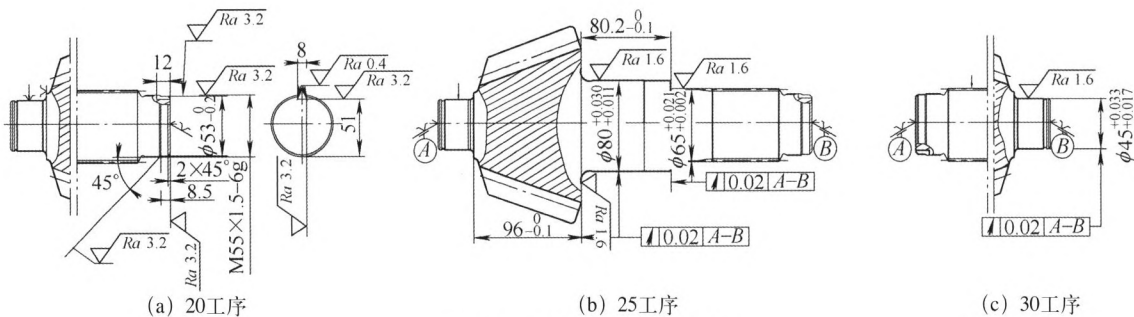


图1 主动锥齿轮热后工序尺寸控制

材质为25CrMo4E的从动轮（见图2）的热后加工流程：毛坯取料→上线扫码→车削内孔及大平面（30工序）→完工扫码→成品下料。

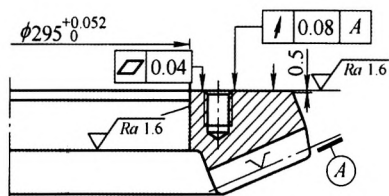


图2 从动锥齿轮热后工序尺寸控制

建设方案

1.空间布局及主要任务

锥齿轮副智能化生产线的空间布局如图3所示。该生产线主要由1台QTN250 II ML500卧式车床(下称卧车)、2台YV-500E立式车床(下称立车)、2台MKS1632A×750外圆磨床(下称磨床)、1台FANUC R-2000iC/165F型六自由度关节机器人(以下简称RT)、1台主动轮自动测量机、2套康耐视读码器、上料装置、下料装置、缓存台、姿态转换台、抽检台及附属装置组成,各款主要设备的单价依次为81.2万元、80万元、75万元、28万元、18万元和7.9万元。其中,卧车承担主动轮20工序外圆面与螺纹的车削加工以及键槽的铣削加工,单件节拍225s;磨床1、2分别承担主动轮25、30工序外圆面的磨削加工,对应的单件节拍为171s和121s;立车1、2均承担从动轮30工序内孔及大平面的车削加工,单件节拍449s,两者加工动作相同。配有气动抓手的RT在8m长的导轨上不停穿梭,完成工序间取件和放件。上料装置附近及姿态

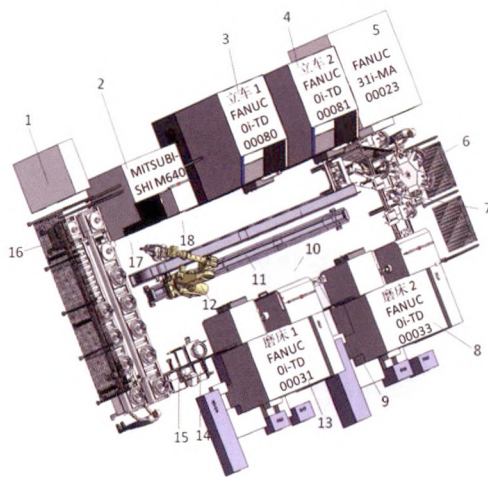


图3 锥齿轮副智能化生产线的空间布局

- 1.电控柜 2.QTN250 II ML500卧式车床 3、4.YV-500E立式车床
5.Oerlikon L60研齿机 6.下料装置 7.从动轮姿态转换台 8、13.MKS1632A×750外圆磨床
9.主动轮自动测量机 10、17、18.缓料台 11.第7轴地轨
12.FANUC R-2000iC/165F机器人 14.从动轮抽枪台 15.主动轮抽枪台 16.上料装置

转换台上方各安装1套康耐视读码器，分别用于毛坯上线与成品下线的确认。

2.网络拓扑及关键功能

锥齿轮副智能化生产线的网络拓扑如图4所示。整个控制采用工业以太网连接,涉及总控制台PC、5台加工机床、1套测量单元和2套扫码单元等,配远程诊断系统。生产线装用MELSEC-Q系列PLC,配有MDC生产数据采集分析管理系统(下称MDC),经I/O信号与上料装置、下料装置及FANUC机器人交互,经MOXA以太网模块与公司层级MES对接,经交换机CSM1277与主动轮自动测量机(下称测量机)通信。测量机自身的工控机、S7-1200PLC及图像读码器经CSM1277实现网络互通,检测数据可实时传入MDC。

(1) 总控制台PC。它既会协调5台机床、装/卸料读码、测量等工位之间的动作,完成RT的自动

跟踪监控和协调控制，又能在触摸屏侧显示整线工作状态、故障信息（诊断至点）、工艺信息和生产管理等内容。它与用户MES系统联网，可实现计划、调度、质量、生产和能效的全过程闭环管理。相关操作如下：JMES系统→“智能管理”模块→智能管控系统画面中“实时监控”下拉菜单“设备实时状态”→设备状态看板内点选生产线“齿轮分部锥齿轮副”→查询后实时监控该生产线的运行状态→状态涉及班次、完工数、负荷、主轴转数、进给速度。它也可通过电脑分屏器，实时监控主动轮自动测量机的检测状态。

(2) 加工机床。5台机床通过千兆以太网交换机接入总线网络，各自运行数据在物联网技术支持下，实时送至MDC，为用户提供机床利用率、机床故障分布等统计图表，开通6个月历史报警查询功能，提取主轴负载、刀具信息、坐标信息、进给速度和主轴转速等。

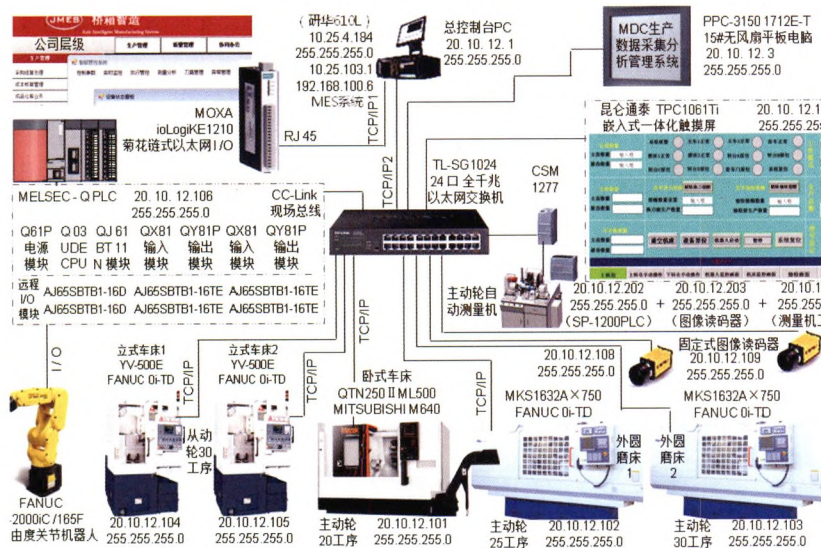


图4 锥齿轮副智能化生产线的网络拓扑示意

两台立车均配有Marposs T25触发式测头，用以完成从动轮车削、后的实时测量及刀具数据的在线补偿。

(3) 测量单元——主动轮自动测量机（见图5）。RT经其夹具

抓取主动轮放入预定位块→接近开关获知主动轮就位→主定位顶尖前进→辅助定位顶尖前进→测量部前进→伺服电动机旋转→弹性拨销卡入键槽并带动主动轮旋转→9路传感器经采样方式进行数据采集（采

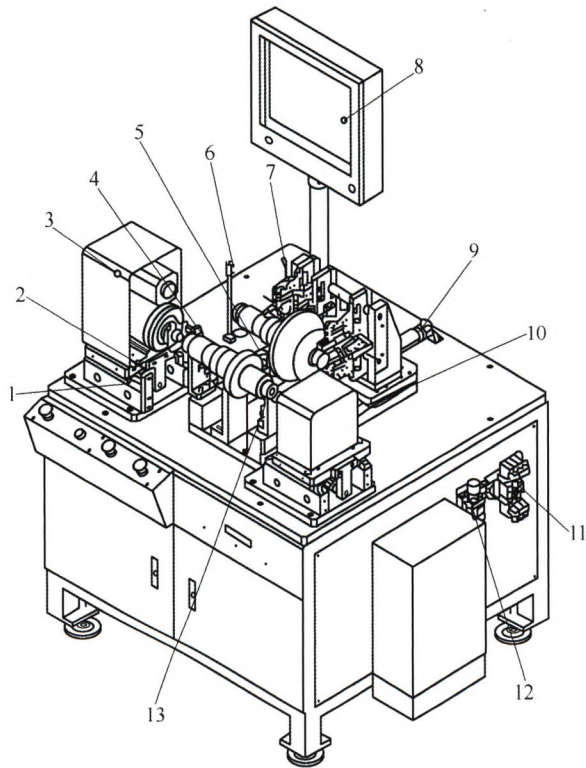


图5 主动轮自动测量机外观

1、10.导轨 2、9.气缸 3.电动机 4.接近开关 5.拖链 6.反射开关 7.传感器 8.工控机 11.电磁换向阀 12.过滤调压阀 13.缓冲器

样点数越多，测量结果越精确）→测量完后顶尖退回以松开主动轮→RT抓主动轮去姿态转换台处扫码。测量机内嵌测控软件会对图1中25、30工序的外径、跳动及轴向尺寸进行SPC分析，生成均值极差控制图Xbar-R、单值—移动极差图X-MR、直方图和散布图等统计图表。SPC分析结果送至MDC后，在线修调两台磨床的磨削进给量。

3.生产线流程

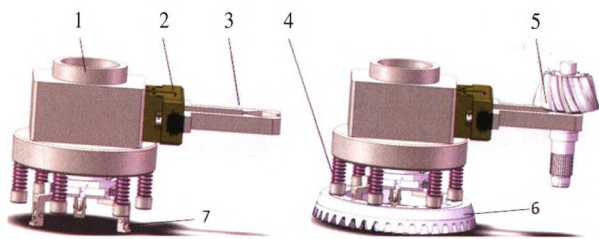
确认各机床状态正确→确认各设备处于原位状态→确认RT信号的初始状态（D0257~D0288均为OFF）→生产线手动起动→所有报警复位→生产线自动起动→RT据HL、VL的装料请求命令为其对应装载主动轮和从动轮→机床加工→RT卸料与装料→完工扫码后成品下料。其中，机床状态包括：联机方式、无料且请求RT装料、无报警、CG位置正确（装料无干涉）、CG和VL的操作门开到位（机床M代码控制门开/闭）、HL的操作门关到位（RT控制门开/闭）。设备原位状态包括：上、下料装置处于初始位置，姿态转换台在初始位置，HL门关到位，测量机处于初始位。

主要零部件结构

为完成主、从动轮的抓取，上料输送，机床夹紧，中间缓存，下料码垛，对应设计RT复合夹具，上料装置，机床工装，主动轮缓料台和下料装置等机械装置。

1.RT复合夹具

RT既要满足主动轮的抓取，又要符合从动轮的装卸，为此设计图6所示的RT复合夹具。该复合夹具经法兰安装架装于RT的J6轴上，它的从动轮夹具包含定位检测、二指夹爪、夹爪垫块、开关支架和轴承导套等零部件，主动轮夹具包含阀岛、电磁换向阀、三指夹爪和夹爪垫块等零部件。



(a) 空载状态 (b) 满载状态

图6 RT复合夹具结构示意图

1. 法兰安装架 2.主动轮夹具 3.二指夹爪
4.定位检测 5.主动轮 6.从动轮 7.三指夹爪

2.上料装置

如图7所示，上料装置主要由输送辊道、转台、上料载具、定位环节和挡停环节等组成。它用于锥齿轮副的装料，其布置形式为环形循环，采取积放式传输。装料时，从动轮的弧形齿贴近上料载具的承载面，主动轮经轴颈和轴端定位于上料载具的竖直孔中。自动模式下，主、从动轮随上料载具按既定的逻辑动作行进至抓取工位，在此挡停并精确定位，等待RT抓取。

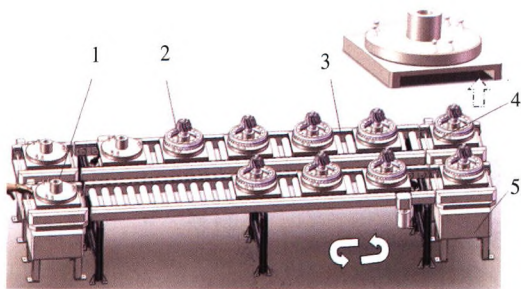


图7 上料装置示意

1.上料工位 2.抓取工位 3.输送辊道 4.上料载具 5.转台

3.机床工装

(1) 立式车床上从动轮夹紧装置。为满足从动轮在两台立车上的车削，设计图8所示的从动轮夹紧装置。该工装的6个球头销用于从动轮的定位，提供加工中所需定位精度及支撑刚性；3套压紧机构用于从动轮的液压夹紧，用以保证车削精度。夹紧（松开）时，旋转液压缸的拉杆下降（上升），拉板3带动拉杆5随之向下（向上），在铰链副的耦合下，压板11向

下（向上）压紧（松开）工件。

(2) 两台外圆磨床用工装。在磨削25工序 $\phi 80\text{mm}$ 、 $\phi 65\text{mm}$ 的外圆面时，采用图9所示工装：RT抓取主动轮后，送至磨床1顶尖中心处，活动顶尖移动夹紧，弹簧拨销卡入相邻弧形齿间，提供加工所需驱动力。在磨削30工序 $\phi 45\text{mm}$ 的外圆面时，采用图10所示工装：RT自缓料台上抓取主动轮（翻转 180° ），送至磨床2顶尖中心处，活动顶尖移动夹紧，两端弹簧拨爪带动限位片滑进花键槽中，所需动力来自于旋转的头架主轴。

4.主动轮缓料台

为协调多套主、从动轮的加工节拍，提高生产线效率，特在卧式车床的左右各增加1处缓料台，在磨床1、2间增加1处缓料台。左缓料台承接主动轮毛坯，右缓料台承接车削完的主动轮半成品，磨床处缓料台承接25工序磨削完的主动轮半成品。

缓料台主要由整体支架、台板、V形块、锡青铜板、橡胶挡块及其支架等部件组成。除锡青铜板、橡胶挡块与标准件外，其余均为Q235板料的焊接件。

5.下料装置

下料装置主要由下料载具、中间放置台、定位环节和挡停环节等组成，如图11所示。它用于锥齿轮副的卸料，其布置形式为环形循环，采取积放式传输。卸料时，从动轮经转换台过渡后，竖直挂放于下料载具侧，弧形齿朝外；主动轮由RT直接水平放置于下料载具的V形铁上。自动模式下，RT抓取加工

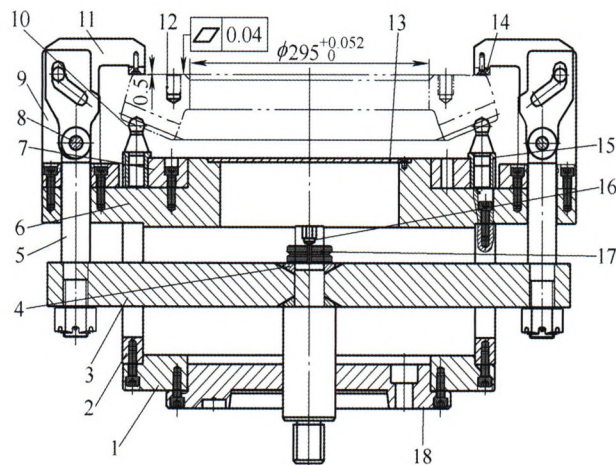


图8 立式车床上从动轮夹紧装置结构示意图

- 1.连接盘 2.支撑座 3.拉板 4.球面垫圈 5.拉杆 6.支撑板
7.定位盘 8.铰链销 9.压紧座 10.球头销 11、14.压板
12.工件 13.盖板 15.衬套 16.销轴 17.圆螺母 18.定位座

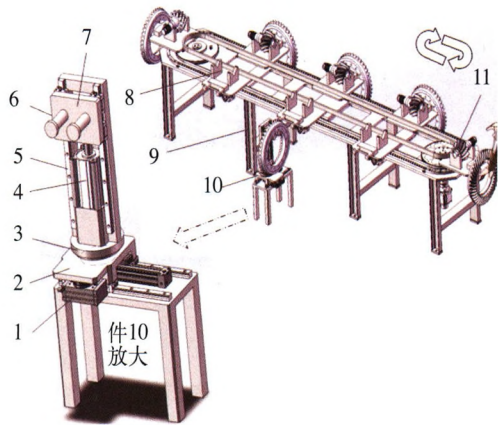


图11 齿轮下料装置示意

- 1.摆动气缸 2.平移平台 3.90° 转台 4.驱动气缸
5.直线导轨 6.从动轮挂具 7.升降平台
8.下料载具 9.输送辊道 10.姿态转换台 11.下料工位

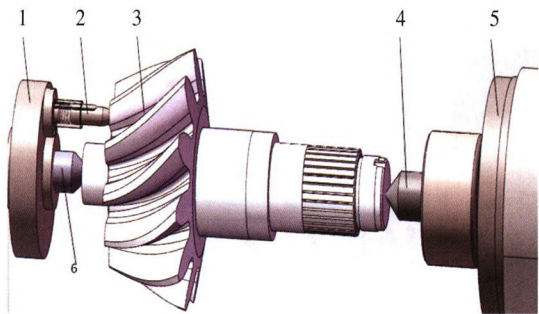


图9 25工序外圆磨床用工装示意

- 1.磨床头架 2.弹簧拨销 3.主动轮 4.活动顶尖 5.磨床尾座 6.固定顶尖

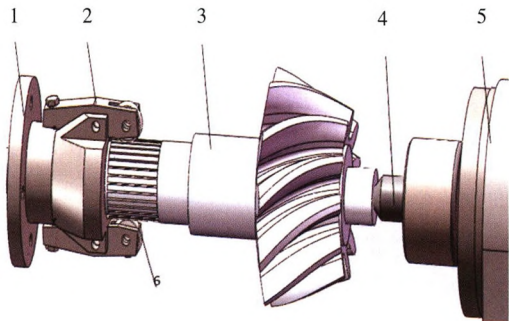


图10 30工序外圆磨床用工装示意

- 1.磨床头架 2.弹簧拨爪 3.主动轮
4.活动顶尖 5.磨床尾座 6.限位片

完的从动轮，放于挂具6上，转台由摆动气缸1控制转过90°，平移平台2缩回以靠近下料载具8；到位后，驱动气缸4控制升降平台7下降，转台3回转90°，平移平台2伸出，从动轮卸料至输送辊道9，并随下料载具按既定的逻辑动作行进至下料工位11，在此挡停并精确定位，等待人工卸下。

结语

建成投用的锥齿轮副智能化生产线使得产品质量稳定，实现了过程产品智能识别、加工环境智能监控、尺寸自动测量、刀具实时补偿、坯料按需装载、成品自动下线等预设功能。它既减少了用工数量，又降低了职工劳动强度，还大大提高了生产效率，同时简化了车间生产管理。（本文为2019第二届汽车工艺师论文大赛参赛作品）

刘胜勇，男，工程硕士，高级工程师，研究方向为机械工程，出版著作13部，发表论文56篇，中国科普作协会员、山东省高校产业教授、济南市青科协理事、泉城青春榜样。 **AUTO1950**