

曼商用车主动锥齿轮 柔性线的开发

□ 中国重汽集团济南桥箱有限公司/刘胜勇

通过气路设计、PMC/PLC程序编制和加工程序修改，生产线上设备具备了自动门机能，实现了尾座顶尖前进/后退与循环起动的机器人侧控制机能，增加了自动吹屑机能及尾架顶尖2次夹/松机能，进而使流水式半自动化的主动锥齿轮生产线成功升级为柔性制造线。

近年来，MAN锥齿轮副需求不断增大，产品种类逐渐增加，重、中、轻型商用车用锥齿轮副达22种之多。为快速推进企业智能制造的实施，降低操作者人工上/下料（如小速比的主动锥齿轮重达20kg以上）的劳动强度，提升主动锥齿轮加工质量，某公司利用现有的卧式车床和直齿滚齿机等数控装备，决定对在用的2条流水式半自动化主动锥齿轮生产线（见图1）进行“机器换人”式升级改造，使之成为自动化程度较高的柔性制造线（Flexible Manufacturing Line，简写FML）。其中，第1条生产线包含2台FANUC OiTD系统的WIA L280型数控卧式车床（下称CNC车床）、2台SINUMERIK 802D solution line（下称802Ds1）系统的YKX3132M型数控滚齿机（下称滚齿机）、2台SINUMERIK 840D power line系统的Oerlikon C50型铣齿机（下称C50）和2套SIMATIC-300PLC的环线送料器。第2条生产

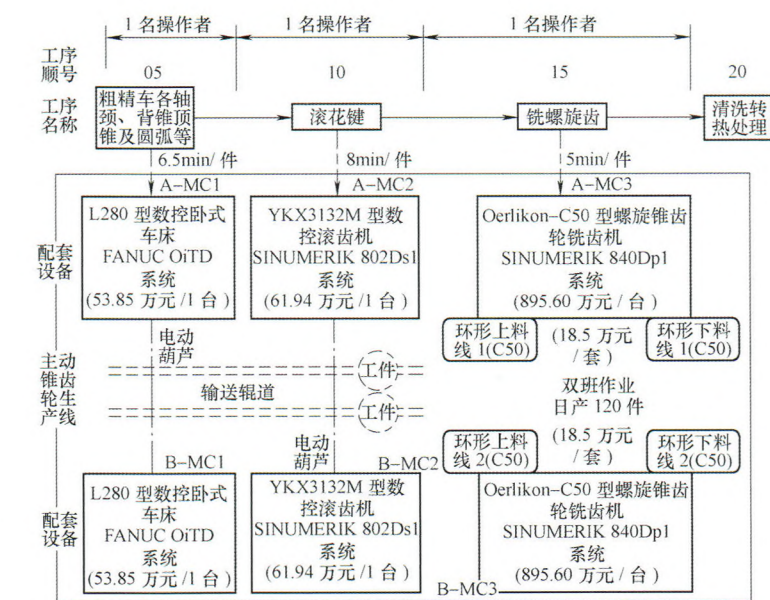


图1 主动锥齿轮机加工流程及原生产线

线相比第1条少配置1台C50和1套环线送料器。

柔性制造线的方案设计

结合智能化机器人的生产效能，借鉴转向节、减壳和差壳等产品的FML样例，基于生产效率和稳定性方面考虑，为每条生产线装

配1台行走距离8m的KAWASAKI BX200L型六自由度关节机器人。由此，既要实现毛坯的自动取料、4台车床和4台滚齿机的自动上下料、环线送料机的自动装料；又要具备线外检测功能，按检验频次自动送检，并可随时抽检；还要拥有机床故障停机短信报警、边存储报

警信息边传送故障记录至不同级别
的管理人员。升级后的主动锥齿轮

柔性制造线如图2所示。
该柔性线开发涉及的内容见表1。

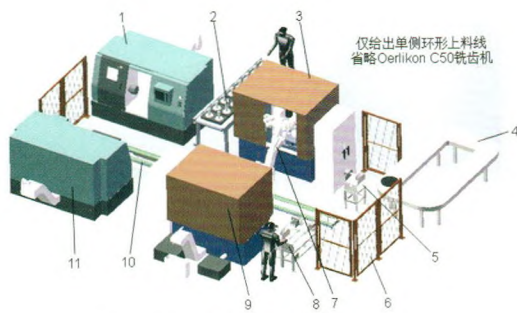


图2 升级后主动锥齿轮柔性制造线

1、11.数控卧式车床 2.上料输送链 3、9.数控滚齿机
4.环形上料线 5.工件姿态转换台 6.全封闭型防护网
7.六自由度关节机器人 8.双工位产品抽检装置 10.行走轴

表1 主动锥齿轮柔性制造线开发涉及的内容

No.	开发内容	No.	开发内容
1	四台WIA L280型数控卧式车床拓展机器人，主要工作有5项，即原机在用PMC数据和加工程序的备份，气路设计与I/O信号给定，Robot（下称RT）机能用FANUC-PMC程序开发，修改加工程序，编制自动门操作说明书	2	四台YKX3132M型数控滚齿机拓展机器人，主要工作有4项，即原机在用PLC程序和加工程序备份，气路设计与I/O信号给定，RT机能用SIEMENS 802Ds1-PLC程序开发，修改产品加工程序
3	三套环形上料线拓展机器人，主要工作有3项，原机在用PLC程序的备份，I/O信号给定及电路设计，RT机能用SIEMENS S7-300PLC程序开发	4	机器人侧两套工装夹具的选型及机器人各序卸料姿态的确定
5	上料输送链、工件姿态转换台及双工位产品抽检装置的研制	6	机器人行走用第7轴设计与装调
7	总控平台的设计与布置，总控侧SIEMENS S7-200PLC程序编制，带有故障停机报警的机器人自动生产系统软件在SMART700触摸屏的开发	8	精车工序缠屑及毛坯上料托盘的多品种兼顾设计

柔性制造线的主要实施细节

1.四台WIA L280型数控卧式车床拓展机器人

承担各轴颈、背锥顶锥及圆弧等部位精车削任务的05工序的CNC车床，若要开发并应用机器人机能（下称RT机能），则必须立足于原机床的硬件设施与软件环境，新增自动门气缸、相关电路（略）和气路等，新编车床与RT交互梯图

与自动门开/关梯图，新增尾座顶尖前进/后退的RT侧控制梯图，修改工件加工程序（略）。

（1）原机在用PMC数据和加工程序的备份。先是使用基于Windows平台的编程工具Ladder-Ⅲ，将车床在用的PMC数据，通过交叉TP电缆（Peer-to-Peer 直连以太网线）输出至外设PC，既做到车床改造前的PMC数据备份，又奠定车床后续PMC程序开发与PMC参数修改的基础。然后在

FANUC系统的ALL IO画面，使用机外存储卡（FAT格式的容量不超过2GB的CF卡），将车床在用的加工程序、CNC参数、刀具补偿量、宏程序变量、螺距误差补偿量和坐标系分别输出，以做好数据备份与后续修改工作。

（2）气路设计与I/O信号给定。先是现场核查车床操作门的开闭行程及安装空间后，选择行程800mm的单杆双作用SMC气缸、二位五通型SMC先导式电磁阀、AN系列消声器与减压阀，气路进气端增设亚德客气动三联件，用以实现操作门的自动控制。再经Ladder-Ⅲ提取原机在用PMC程序内空置未用的输入/输出物理地址，并按RT机能扩充要求，给定RT→车床的5个输入信号、车床→RT的7个输出信号及自动门开/关动作的8个控制信号。升级后L280型数控卧式车床的气动原理图如图3所示。

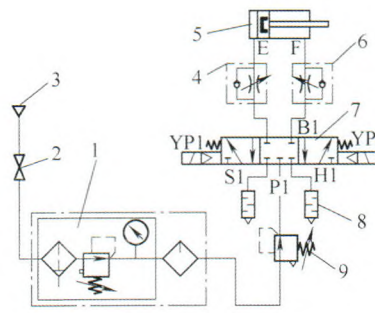


图3 升级后L280型数控卧式车床的气动原理

1.气动三联体 2.截止阀 3.气源 4、6.节流阀 5.单杆双作用气缸 7.三位五通型电磁阀 8.消声器 9.减压阀

（3）Robot（下称RT）机能用FANUC-PMC程序的开发。在配置了FANUC系统的数控机床上，若要实现输入/输出信号与M代码辅助机能的逻辑控制、完成数据的采集分析和任务处理，就得应用内置式PMC，编写具有一定逻辑顺序的梯

图程序。基于RT机能扩充要求，一是新编车床与RT交互梯图，通过RT判定车床是否就绪、有无报警、切削完毕、操作门开以及车床获知RT的实时位置等逻辑处理，使车床由早先的单机运转变为RT控制下的联机运转。二是新编自动门开/关梯图，使车床的操作门在联机方式下经由加工程序内辅助功能代码M61（M62）实现自动打开（关闭），通过光电开关判定打开（关闭）到位状态，以保证RT装/卸料的安全。三是新增尾座顶尖前进/后退的RT侧控制梯图，使车床的尾座顶尖在联机方式下经由RT控制前进/后退，并将顶尖前进夹件和后退松件的到位状态经光电开关的交互信号告知RT。

2. 四台YKX3132M型数控滚齿机拓展机器人

承担花键滚切任务的10工序的滚齿机，若要开发并应用RT机能，则必须立足于原机床的硬件设施与软件环境，新增自动门气缸、自动吹屑气阀、相关电路（略）和气路（参见图3）等，新编滚齿机与RT交互梯图、自动门开/关梯图、自动吹屑梯图及尾架顶尖2次夹/松梯图，修改工件加工程序略。

（1）原机在用PLC程序和加工程序的备份。先是使用基于Step7-Micro/WIN32基础开发的编程工具PLC802，将原机在用802Dsl内置PLC程序上装至外设PC备份。再用机外存储卡（FAT32格式的定容量CF卡），将原机在用的加工程序输出，做好备份与后续修改工作。外设PC与滚齿机802Dsl系统PCU的连接如图4所示。

（2）RT机能用SIEMENS



图4 外设PC与滚齿机802Dsl系统PCU的连接

802Dsl-PLC程序开发。在配置了SINUMERIK系统的CNC滚齿机上，若要实现过程映像输入/输出信号与M代码辅助机能的逻辑控制、完成数据的采集分析和任务处理，就得应用内置式PLC，编写具有一定逻辑顺序的梯图程序。基于RT机能扩充要求，一是新编滚齿机与RT交互梯图，使滚齿机由先前的单机运转变为RT控制下的联机运转；二是新编自动门开/关梯图，使滚齿机的操作门在联机方式下经由加工程序内辅助功能代码M46（M47）实现自动打开（关闭）；三是新编自动吹屑梯图，使滚齿机切削区的积屑由先前的外挂气枪手动清除升级为辅助功能代码M54电控吹除（M55为停止吹屑）；四是新编尾架顶尖2次夹/松的RT侧控制梯图，使滚齿机的尾架顶尖在联机方式下经由RT控制夹件/松件，并可在1次指令下2次夹紧工件。

3. 三套环形上料线拓展机器人

承担螺旋齿切削任务的15工序C50切齿机因自带内置型上下料机械手，故机器人与C50机械手间的工件交接需经由环形上料线作为媒介，即新增机器人先将10工序产品卸料至环形上料线托盘上，环形上料线再将托盘坯料转送至C50机械

手抓取位后，供C50机械手装料。为此，立足于原机的硬件设施和软件环境，新增联机按钮、RT卸料检测开关及相关电路，新编环形上料线与RT交互梯图、联机/手动/自动模式用梯图（略）。

（1）原机用PLC程序的备份。使用标准工具Step7，经由CP5512或CP5711通信卡，将原机用SIMATIC-300PLC程序上安装外设PC，以做好备份并奠定后续新增PLC程序开发的基础。

（2）I/O信号给定及电路设计。基于RT机能扩充要求，在中央机架Rack0槽号为2的CPU313C-2DP自带数字量输入/输出信号组中，选择I0.5、I0.6和Q0.2分别为环线托盘运行至RT卸料位信号、环线手动模式信号、环线请求RT上料信号。在槽号为4的附加数字量输入模块SM321中选择I2.5和I3.5分别为环线联机模式信号、RT卸料至环线完成信号。

4. 机器人侧两套工装夹具的选型及机器人各序卸料姿态的确定

（1）机器人侧两套工装夹具的选型。为提高机器人工序间传送效率，结合主动轮产品外观和质量，选用最大负载30kg的带有双工位抓手的雄克气动夹具（见图5），来满足机器人的装/卸料和装夹要求。在抓手上，设置材质为PP塑料的V形工艺垫板，防止夹伤工件；安装吹气铜管，对夹紧部位进行吹扫，以去除污物并提高夹持稳定性。

（2）机器人在各工序卸料姿态的确定。基于现场设备的布局和机器人的工作范围，机器人经其示

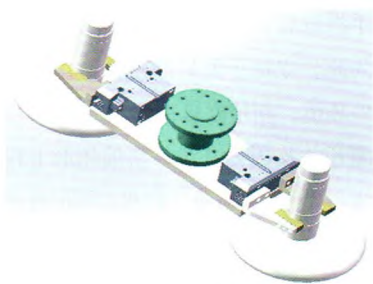


图5 双工位抓手的雄克气动夹具示意

教器编程前，需要抓着工件在手动方式下分别移动1~7轴，确定数控卧式车床侧、数控滚齿机侧和环形上料线侧的卸料姿态，保证机器人卸料的安全性及其各轴均在有效行程内。

5. 上料输送链等装置的研制

(1) 设计上料输送链。为满足柔性线在3~4h内无人干预的自动化要求，设计长宽高尺寸为3 200mm×1 300mm×750mm的上料输送链（见图2的件号2）。它在步进电动机的驱动控制下，通过更换不同规格的32工位数的PP塑料定位托盘，来传送适合品种的主动轮毛坯至机器人取料位。输送链上机器人取料位的前端设有二次定位装置，用于毛坯抓取后的二次定位，进而提高毛坯放入车床的精度。

(2) 设计工件姿态转换台。机器人先从滚齿机上夹取加工完成的工件，再旋转180°后放置于环形上料线的托盘内。受其手腕部1~3轴工作行程的限制，机器人无法直接从滚齿机取料后放置于环线卸料点，故每条柔性线需要增设一套气动控制的工件姿态转换台。

(3) 设计双工位产品抽检装置。主动锥齿轮柔性制造线在3~4小时的无人化自动运行过程中，需要定量或随机抽取各工序产品的加工质量，以防出现超出图样规定的

批次质量事故。为此，每条柔性线需要设置2套气动控制的双工位产品抽检装置，用以分别承担车床和滚齿机的主动轮加工精度。

6. 机器人行走用第7轴的设计与装调

自身带有1~6轴的机器人只有在车床、滚齿机和环形上料线处不间断地快速移动，方可实现柔性制造线方式的主动锥齿轮生产。为此，须安装伺服电动机驱动的双齿条啮合式第7轴（见图6），使机器人能够在8m长度内行走工作。第7轴与机器人的信号接口全部采用数字化信号传输，以保证相互间的稳定性和可靠性。

7. 其他

(1) 总控平台的设计与布置（见图7）。主动锥齿轮柔性制造线共包含卧式车床、滚齿机、环形线、输送链、定位台、机器人、抽检台和转换台在内十几台设备，涉及的可编程逻辑控制器有FANUC PMC、SIEMENS PLC802、Step7-300PLC。若要实现机器人与其他设备之间的实时通信，必须增设基于Step7-200PLC的总控平台，用以处理现场设备间的数据传递和信号交

换，并经由人机交互界面监视机床状况、机器人状态、工件件数、刀具寿命及各类报警信息等。

(2) 总控侧Step7-200PLC程序的编制。PLC的程序整体由主程序块OB1和6个子程序块SBR(1~6)构成。其中，作为主程序的OB1是启动时必须运行的程序，其他程序若未经OB1调用，即使被下载至PLC中也不会运行；SBR0为主机与机器人信号子程序，涉及输送链请求RT取料、机床处于自动运行模式、毛坯二次定位判知、单侧/双侧运行选择等。SBR1（SBR5）为A（B）线抽检台子程序，涉及定频次抽检、抽检台气缸夹紧/松开及前进/后退等。SBR2为定时子程序，用于刀具寿命数据的处理。SBR3为转换台子程序，用于工件姿态转换台夹紧/松开的控制。SBR4为抽检手动模式子程序，用于A B线抽检台气缸夹紧/松开及前进/后退的手动控制。

(3) 带有故障停机报警的机器人自动生产系统软件在SMART700触摸屏上的开发。SMART700的界面由首页、手动控制、刀具寿命统计、报警画面、机

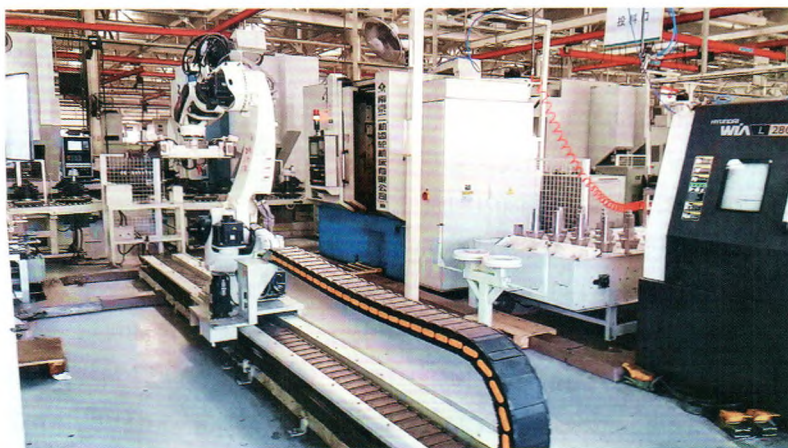


图6 BX200L机器人及其第7轴的外观

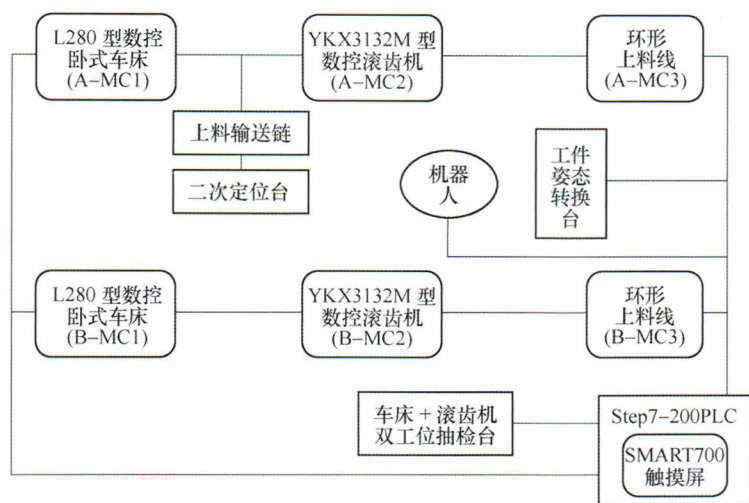


图7 主动轮柔性线总控平台的布置

机器人信号1、机器人信号2、辅助设备信号1、辅助设备信号2等8个画面组成。

柔性制造线的开发难度

主动锥齿轮柔性制造线在开发过程中，主要遇到下述四方面的难度：

(1) 面临机床原厂家的技术封锁。C50切齿机的Step7-300PLC程序下载后无注解，逻辑顺序全靠自行研究。环形上料线的Step7-300PLC被制造厂商设置了密码，既要破解PLC密码，又要自行分析无注解程序内的逻辑顺序。外设PC既要安装Step7软件及其内嵌的SINUMERIK 840D工具包，又要安装适合Windows平台位数的SIMATIC Micro/WIN软件。开发者需要准备CP5512或CP5711通信卡、交叉TP电缆、平行以太网线等通讯媒介。

(2) 工程涉及的机床种类多。这11台机床中，既有SINUMERIK 802Dsl系统的YKX3132M型数控滚齿机，又有

FANUC 0iTD系统的WIA L280型数控卧式车床，还有Step7-300PLC的环线送料线。数控系统不同，相应的操作就不同。

(3) 工程涉及的备份软件多。既有FANUC系统的Ladder-III编程工具，又有SINUMERIK 802Dsl系统的PLC802编程工具；既有SINUMERIK 840Dsl系统和Step7-300PLC的Step7标准工具，还有Step7-200PLC的SIMATIC Micro/WIN工具。

(4) 工程开发的综合性强。不仅涉及气路设计、电路设计、程序备份、软件操作、梯形图开发、机器人握手和编程等内容，还需要设计者实地动手安装。设计者既要熟知SINUMERIK 840D和802Dsl系统、FANUC 0iTD系统、Step7-300PLC和Step7-200PLC的操作，还要掌握数控机床的原理和梯形图软件的熟练应用。

柔性制造线的投用效果

主动锥齿轮柔性制造线的开发与应用，主要取得了下述五方面的

效果：

(1) 4台WIA L280型数控卧式车床的操作门由按钮手动控制改造为M代码（M61～M62）自动控制，尾座顶尖实现了机器人控制的前进与后退；不仅实现CNC车床与机器人的交互，还使车床的循环启动由单机控制改造为FML联机控制。

(2) 4台YKX3132M型数控滚齿机的操作门由按钮手动控制改造为M代码（M46～M47）自动控制，工件残屑由外置气枪手动清除改造为M代码（M54～M55）自动吹除；尾架顶尖的1次夹紧改造为2次夹紧，其循环启动的单机控制改造为FML联机控制。

(3) C50控制下的环形上料线引入了机器人卸料准停机能，现有环形上料线在先前的手、自动模式基础上增加了联机模式。

(4) 流水式半自动化生产线升级为自动化程度较高的柔性线，单条生产线双班作业下日产主动锥齿轮的数量由120件提升至150～160件；单条生产线的每班操作人数由3名减为1名，还大大减轻了操作者搬运工件的苦痛及消除了搬运中潜在的安全隐患。若按每名操作者年收入7万元计算，则2条柔性线可节约人员支出28万元。

(5) 主动锥齿轮柔性制造线的开发，既可供同行业直接引用，也可供航空、铁路、船舶等行业参考借鉴。 **AUTO1950**

刘胜勇

高级工程师

研究方向为车辆工程、数控技术，出版著作7部，发表论文33篇。