DOI:10.16173/j.cnki.ame.2019.12.016

多品种小批量阀体共用自动线布置方案

□ 纽威数控装备（苏州）股份有限公司 / 卫继健 曹春

多品种小批量加工需求是目前大部分生产企业所面临的主要生产现状，解决此问题是众多机床制造企业的共同追求，本文通过案例分享此方案的解决方法，一定程度上体现了一个数字化工厂构建过程中的各个方面。

应客户生产需求，纽威为其定制一条自动线，主要解决22种阀体多品种小批量加工生产的需求，通过机械手、液压夹具、自动识别以及MES系统的相互配合，最终实现客户需求。

客户需求分析

本项目加工产品为变矩器定压阀体、安全阀体、换挡阀体、应急阀体等一共22种产品类型，阀体材料为2A14铝，外形比较规整的四方铝块，加工后热处理状态为T6，产品内部密布复杂孔系，精度要求普遍较高，其中阀芯孔要求圆柱度0.005mm（见图1，由于保密需要截取局部图样），对机床精度、长时间稳定性等都提出极高的要求。

在与客户进行充分技术交流后，将客户需求明细梳理如下：

（1）设备机型　满足产品加工精度要求，在节拍效率满足使用条件的情况下，机床数量要少，占地面积要小。

（2）夹具　各类型产品一共22种，尺寸差异比较大，全部要满足上线加工需求。由于加工工序决定了刀具位置，而刀具位置又决定了夹具形式，一套夹具要满足所有产品的加工，在夹具设计上本体的设计难度极高，在多产品要求共用

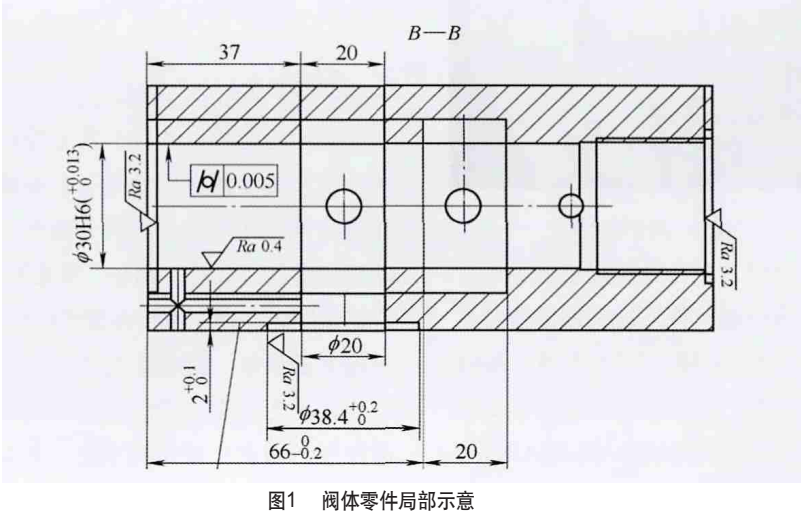

图1　阀体零件局部示意

的情况下，夹具部件优先选用标准品，如不能满足的情况下才能选择非标准品，但数量需要尽可能少。

（3）刀具　工件孔系复杂且数量多，要求刀具在能够共用的前提下必须保证加工精度和加工效率的需求。由于工件材料为铝，在一定程度上降低了对刀具的要求，但对刀具寿命要求依然很高，要求刀具必须长时间保证其锋利程度，而且效率不能下降。

（4）MES　在国内日益高涨的自动线需求下，单纯的自动化上下料已不再满足客户需求，生产过程中要求所有数据和信息能够可视化，按照生产计划实时排产，过程跟踪，最终满足客户实际的生产和展示需求。

（5）自动线　22种产品外形尺寸差异比较大，机械手在抓取、上料、翻转以及下料等位置上都需要能够实现准确定位，因此在自动线的对应位置上都需要做定向和有效推靠的结构，保证无论是哪一种毛坯料都能够定位准确。另外还需要在多种尺寸相近的毛坯之间进行区分，防止上错料带来的刀具、夹具的损坏。

工艺分析

方案制定按照OP10/OP20卧式加工、OP30立式加工的方式进行。OP10以毛坯外形定位夹紧工件，铣削端面及两侧面，OP20以OP10加工出的面精定位夹紧，加工端面及两侧面，OP30以一面两销定位利用四轴旋转定位加工两侧面及阀孔。机型选择HM50TD双工作台卧式加工中心，立式加工中心选择VM1160H机型，卧式加工中心两个工作台面分别加工OP10和OP20，立式加工中心安排OP30。由于OP10和OP20节拍长，为平衡OP10和OP20节拍，卧式加工中心选择使用2台，OP30选择1台，此工艺满足绝大多数产品需求。对少量节拍不平衡的阀体，此方案略有冗余，在后续可能增加的产品类型上，此加工工艺方案预留加工工艺调整空间。具体加工工序与设备见表1。

表1　加工工序与设备

工序	加工内容	加工设备
OP10	铣削端面及两侧面	卧式加工中心
OP20	加工端面及两侧边	卧式加工中心
OP30	加工两侧边及阀孔	立式加工中心

机床及配置

采用工作台面为500mm的双工位卧式加工中心，配置主轴中心出水压力2MPa、刀具寿命管理、电动机过载保护、电柜空调、I/O模块、三轴光栅尺、单独水泵进行夹具铁屑清理、液压夹具、工作台中心供油、雷尼绍测头以及对刀仪。

采用VM1160H立式加工中心，配置主轴中心出水2MPa、刀具寿命管理、电动机过载保护、电柜空调、I/O模块、单独水泵进行夹具铁屑清理、液压夹具、液压站、250四轴转台+强力尾座及HSK63机床主轴接口的转速为1000r/min。

夹具

要求生产线内夹具不需要换装夹具上任何部件，即可满足22种阀体装夹要求，夹具采用三面安装方式，将22种阀体按外形尺寸规格分三类，每面安装一类。

每台卧式加工中心安装两套夹具，每台卧式加工中心独立完成OP10/OP20工序（半精加工1/2工序）。

阀体通过关节机器人在夹具上粗定位，夹具夹紧后，利用雷尼绍测头左右分中确定坐标系。

夹具采用底面及侧边定位，上端面及侧边压紧，左右方向利用雷尼绍测头找正（夹具示意见图2）。

机器人结构

考虑到三台机床之间的距离，以及从机床顶部向下看留给机械手的上下料空间，选择了关节机械手加地轨的方式实现，如图3所示。

机器人选用ABB IRB 4600-60/2.05型号，机器人在轨道上的运行速度可调，且可根据生产需要进行设置，其定位精度和重复定位精度都满足工件在夹具上的装夹、抓取需求，机器人在轨道上能自由往复运动，在各工位之间能精准停止、抓取工件等。机器人配置清理装置，能实现抓取工件前对工件抓取部位的表面清理，机器人最大搬运质量：60kg；控制轴数：6轴；重复定位精度：±0.1mm；运动半径：2050mm；防护等级：IP67。

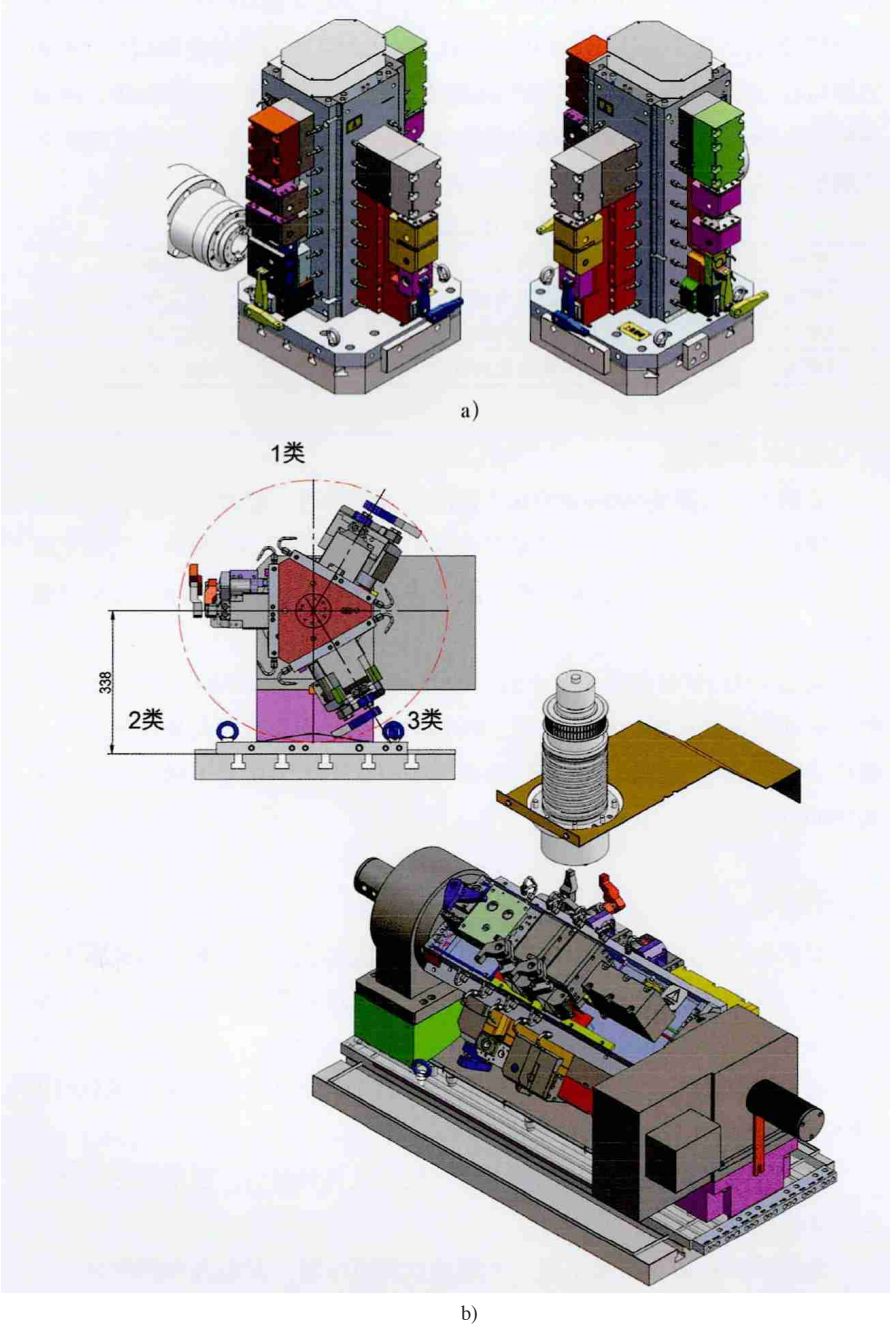

图2　夹具示意

a）夹具一　b)夹具二

地轨设计具有可扩展性，通过增加地轨长度和增加机床数量，在节拍允许的情况下，实现生产线扩展功能，地轨位置配合机器人臂展距离满足阀体生产线上下料要求。

视觉识别

机器人配置视觉识别系统，能实现抓取工件前对工件的识别，防止误上料导致的撞机、刀具破损、夹具干涉等严重后果。视觉检测可以识别出料仓上放置的是哪一种产品，料仓上有无料信号，视觉做尺寸判定的同时，用机械接触做纠错处理，上料采用2条上料仓分组上线，料仓为定节距带定位工装形式，下料采用2条步进输送机，其中一条上料仓需要判定长宽或长厚方向的尺寸，以防上错料。视觉识别如图4所示。

MES中控系统

中控系统具备监视、智能控制、计划管理以及设备状态监控等功能。详细功能见表2。

图3　机器人与地轨

图4　视觉识别

表2 MES中控系统功能描述

业务模块	功能点	系统功能点描述
系统管理	部门、用户、角色	部门、用户、角色维护，角色权限设置
基础配置	班组、班次	进行班组、班次信息的增删改查；追溯操作人员上下线
	产品信息管理<-->产品物料维护	产品信息管理 ；维护产品BOM客户可以在系统中维护产品基础信息包含产品型号、产品族、单位、原材料编码及供应商信息
	工艺路线	基础工序、基础工艺路线、产品工艺路线（针对产品形成工艺路线等待调度单调用）
	产品不良代码	维护产品的不良类
生产计划管理	生产调度单<-->生产计划	手工录入工单计划（产品、数量、开始时间、结束时间）；系统自动将要加工的产品信息下发到DNC主机。对调度单进行开工操作，同一条生产线只允许一个调度单处于开工状态；允许手动强制完工，将完工后的数量向上层层向上汇总
质量管理	品质问题上报	查看从数控系统获取到的品质异常，对应维护异常产生的原因；按照不良代码进行不良分类，形成品质问题报表
数据采集管理	产线设备状态存储与分析	机床、机器人、总控PLC的3类状态（运行、故障、空闲）
	设备实时监控	机床状态、机床参数、刀具数据、机器人状态、PLC的IO信息
	DNC下发生产信息	DNC接收系统的工单信息，将对应的加工程序下发到机床，并记录当前工单号
	DNC回报生产信息	DNC将接收到产线数据（只需要记录的关键信息）连同工单号一起写入数据库；其中关键信息如机床加工参数等需要和客户确认。DNC根据定义好的规则接收品质判断结果，连同工单号一起记录在数据库指定表中
设备管理	设备台账	维护设备类型、设备编号、设备名称以及增删改查
报表管理	生产达成率报表	
	设备OEE报表	
	品质报表	
看板管理	看板	工单信息（计划数量、完工数量等）；机床运行数据；设备状态；品质异常
数据库接口	数据库接口	提供数据库访问权限，可供工件追溯、ERP、MES系统进行数据访问及数据调用

储料系统

自动线的上料仓采用皮带机加末端定位的方式，根据工件外形尺寸自动调整末端挡板来定位，满足储料加工时间≥4h，整体由钢材焊接结构、控制开关、驱动电动机、减速机、末端调整结构等组成，输送长度2700mm、宽度330mm、高度830mm。如图5所示。

关节机械手手爪

手爪模块是由旋转单元、气动手爪及视觉识别组合而成，为了保证加工后的零件表面的清洁，保证手爪系统准确抓取零件，机器人手爪配置有吹气装置，用于清理加工后残留在零件表面的铝屑。

夹持方向定为工件厚度方向，毛坯厚度差异最大为差30mm，手爪行程32mm，满足22种阀体抓取要求，采用双手爪设计，手爪如图6所示。

自动线布局

该自动线由2台卧式加工中心，1台立式加工中心组成，配1台关节机器人、1条传输地轨、2套上料道、2套下料道、1套视觉识别系

统、1套抽检工位、2套翻转工位和1套防护组成。如图7所示。

工件在机床间的物流采用机器人完成，有效控制用工人数，提高设备利用率和生产效率，减本增效。两台卧式加工中心采用并行加工方式，每台机床可完成OP10/OP20工序加工内容，如一台卧式加工中心出现故障，另外一台卧式加工中心可以和立式加工中心单独组线加工。

图5　储料系统

图6　手爪

图7　自动线布局

运行过程说明

当机床起动加工并处于自动状态后，在机器人总控制柜上的各周边设备的指示灯都为绿色后，操作人员在系统控制柜上按下系统运行按钮。整个系统就处于自动运行状态。

1）人工将毛坯零件放到料仓中，毛坯零件移动到料仓上料位，此时零件遇到传感器，料道发出物料准备完成的信号，视觉识别系统识别毛坯是否正确。如果正确，等待机器人抓取毛坯零件，如果不正确，则报警处理。

2）机器人移动至料仓上料位，机械手抓取毛坯零件后移动到OP10机床前方等待OP10机床发出上料指令。

3）1#机床发出上料指令，机器人进入1#机床内部，卸料爪卸下已完成OP10加工的零件，然后旋转至上料爪对准工装夹具，机器人配合机床将毛坯零件装夹在机床夹具上，机器人退出1#机床，工作台旋转，将OP20夹具旋转至副工作台。

4）机器人移动至翻转台上方，机器人将零件放到翻转台，翻转台将零件调头，机器人抓取调头后的零件移动至1#机床副工作台，机械手配合机床将完成OP10加工的零件装夹在机床夹具上，机器人退出1#机床。

5）2#机床发出上料指令，机器人进入2#机床内部，卸料爪卸下已完成OP10加工的零件，然后旋转至上料爪对准工装夹具，机器人配合机床将毛坯零件装夹在机床夹具上，机器人退出2#机床，工作台旋转，将OP20夹具旋转至副工作台。

6）机器人移动至翻转台上方，机器人将零件放到翻转台，翻转台将零件调头，机器人抓取调头后的零件移动至2#机床副工作台，机械手配合机床将完成OP10加工的零件装夹在机床夹具上，机器人退出2#机床。

7）3#机床发出上料指令，机器人进入3#机床内部，卸料爪卸下已完成OP30加工的零件，然后旋转至上料爪对准工装夹具，机器人配合机床将完成OP20加工的零件装夹在机床夹具上，机器人退出3#机床。

8）机器人移动至旋转料仓下料位上方并将成品放至下料位。

9）机器人按动作2～8循环给机床上下料。

结语

本文根据多品种小批量产品自动化加工的需求，制定了切实可行的方案并付诸实施，最终完成项目并顺利交付。此多品种小批量共线加工方案符合当下产业发展趋势，满足了客户日益增长的自动化要求，一定程度实现了制造的智能化，同时也为企业后续争取此类型项目的订单提供经验借鉴。