

桁架机械手及其在曲轴加工自动线上的应用

■ 大连连城数控机器股份有限公司教授研究员级高级工程师 张树礼

摘要：本文通过桁架机械手在曲轴加工自动线上的应用，介绍了桁架机械手的结构、原理及特点等，阐明了桁架机械手是自动化加工向智能化生产转化进程中不可替代的一种输送工具，是敏捷柔性加工自动线的重要标志。



抬起步伐输送和棘爪输送带的方法，开始采用桁架机械手来代替，这不仅体现出自动线输送的柔性，更体现出智能化的优势。

1. 桁架机械手的特点

桁架机械手是目前自动线加工系统中较为常见的一种输送装置。根据其作用和结构，归类于工业机器人之列。单从表面上看，桁架机械手似乎不如工业机器人那么华丽，智能化程度也不尽“人”意，一个是“手”，一个是“人”。但是，一旦机器人加了定冠词“工业”二字，那么实际上二者的功能是没什么差别的，不论是三个坐标的机械手还是多关节机械手都被称为机械手；在金属加工机床上最主要的功能就是输送和搬运，也都被称为机床的辅助设备或装置，二者对主机性能的作用是一样的，是主机实现自动化、智能化不可或缺的重要组成部分。

金属加工机床体现的是加工，是刀具和工件之间的关系。这种关系影响机床的加工性能，而机械手它不能直接参与对零件

“工业4.0”的提出，给装备制造制造业带来了强有力的震撼，可谓一石激起千层浪，这无疑是制造业未来的发展趋势和努力的方向。“工业4.0”是德国提出的，是指利用物联信息系统将生产中的供应、制造、销售信息数据化和智慧化，最后达到快速、有效、个人化的产品供应。2015年，笔者有幸参观了德国西门子智能化生产工厂，对“工业4.0”有了更深的理解，也大开了眼界。“工业4.0”是一个多学科集成的、庞大的系统工程，信息互联、物流互联、智能化生产管理等不仅是时尚的诠释，也是构成

“工业4.0”不可或缺的重要组成部分。目前，就国内金属切削加工整体技术水平而言，还是处在数控技术上升阶段，虽然掌握了单个机床的五轴联动加工技术和柔性加工自动线技术，但离智能化物流生产还有相当大的差距。

近年来，工业机器人的热浪伴随着“工业4.0”的提出而不断涌动，且一浪高过一浪。关节机器人、桁架机械手、多功能机械手等生产厂家逐年增多，市场需求也在看涨。特别是国产汽车行业中的汽车发动机缸体、缸盖、曲轴等关键零件的加工自动线，已开始摒弃了传统的摆杆输送、

的加工，只起到输送的作用。机床主机用什么样的机械手是根据机床的加工形式和被加工零件的形状、尺寸、重量特性以及储料和输送空间等多种因素来决定的，并非自由度越多越好。比如，桁架机械就适合直线形式的输送，其特点是结构简单，输送快捷、精准、可靠、柔性，便于组合，特别是适合长距离变步距的输送。在传统的自动线加工中，棘爪输送带、抬起步伐输送带、摆杆输送带均为定步距输送，被称为刚性输送；而桁架机械手输送则升级为柔性输送，这种方法更适应现代制造业快速、敏捷、多变的需求。

2. 桁架机械手的结构形式及原理

桁架机械手由多轴运动主体、驱动系统和控制系统三大部分组成。按机械手结构形式可为直角坐标型，机械手沿二维直角坐标系移动。主体部分通常采用龙门式结构，由y向横梁与导轨、z向滑枕、十字滑座、立柱、过渡连接板及基座等部分组成。z向的直线运动均为交流伺服电动机通过蜗轮减速器驱动齿轮与y向横梁、z向滑枕上固定的齿条作滚动，驱动移动部件沿导轨快速运动。移动部件为质量较轻的十字滑座和z向滑枕，滑枕采用由铝合金拉制的型材。横梁采用方钢型材，在横梁上安装有导轨和齿条，通过滚轮与导轨接触，整个机械手都悬挂在其上，如图1所示。

由于桁架机械手输送的速度快、加速度大、加减速时间短，因此，当输送较重的工件时惯量大，伺服驱动电动机就要有

足够的驱动和制动的能力，支撑元件也要有足够的刚度及强度。只有这样，才能使伺服电动机满足桁架机械手输送的高响应、高刚度和高精度的要求。在选择合适伺服电动机的情况下，根据物料运动的距离和运行节拍，计算出伺服系统的位移和轨迹，对驱动器PID参数进行动态调整。桁架机械手根据接收到的位移、速度指令，经变化、放大并调整后，传递给运动单元，通过光纤传感器对运行状态进行实时检测，在高速搬运过程中，运动部件在极短的时间内到达给定的速度，并能在高速行程中瞬间准停，通过高分辨率绝对式编码器的插补运算，控制机械误差和测量误差对运动精度的影响。由于被输送的工件不同，质量也不同，因此，桁架机械手有多种规格和系列。在选择时，根据被输送工件的质量，加工的节拍来选取。但机械手的手臂和夹持方式，则需要根据被输送工件的形状、结构及机床夹具的定夹方式来设计，如图2、图3所示。

机械手能够借助可编程序来处理和执行任务。机械手主要由手臂、回转装置、运动部件和驱动部件组成，通过对工件外形或工件上定位支撑点定位夹持工件。例如，在汽车发动机加工柔性自动线物流输送中，桁架机械手的夹持模块会根据缸体、缸盖、曲轴等工件的外形特点，选取不同的定位和夹持方式。柔性机械手上采用气缸和电动机进行

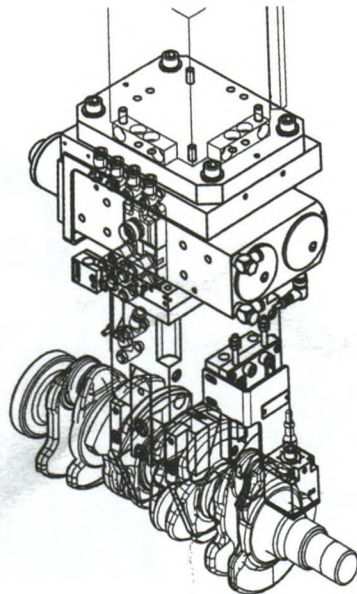


图 2



图 1

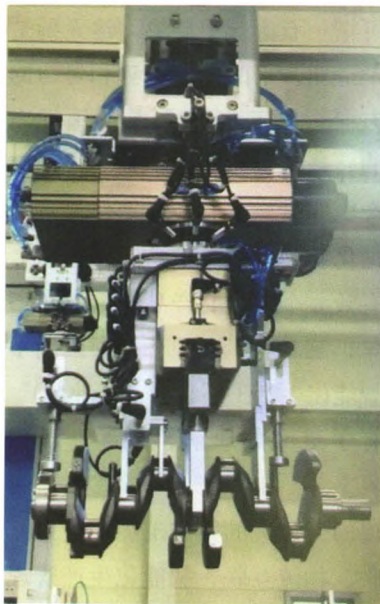


图 3

定位和夹持模块的切换驱动，一套机械手可完成不同品种的工件搬运工作。夹持定位模块可根据产品质量和外形的大小采用系列化设计，机械手上的夹持定位模块安装方式相同，针对不同系列的工件，只需切换相应的夹持定位模块即可，满足快速切换的需要。这样，当加工不同品种的工件时，只须变换夹持模块就可实现，提高了桁架机械手的柔性化。

3. 桁架机械手在曲轴加工自动线上的应用

汽车发动机上的缸体、缸盖和曲轴，号称为发动机的三大核心部件，其加工自动线技术水平甚高，一直是设备制造商最为关注和重视的关键技术，是各自参与市场竞争的看家底牌和战胜对手的“亮剑”。尤其是曲轴加工自动线，技术复杂，难度大。因为缸体、缸盖零件，几乎都是面和孔的加工工艺，故采用设备种类少，一般柔性线大都由立式和卧式加工中心机床组成。而曲轴加工自动线采用的机床种类较多，除了采用加工中心外，还有数控车、车拉拉机床、圆角滚压机床、外铣机床及粗精磨床等。由于汽车的品种不同、曲轴的规格不同、产量不同，采用的设备及工艺方法也不尽相同。附表所列工序是加工某曲轴的一个例子，通过它可以看到曲轴加工自动线采用桁架机械手的优势。

曲轴加工自动线布局如图4所示。由图4可以看到，此条曲轴加工自动线是由13台设备组成（方框虚线中的设备是根据产量增加时所采用的），以主干和支路输送形式决定了自动线的布

局结构。主干输送采用了分段交替的地面输送形式，而支路则采用桁架机械手空中输送。正是因为采用了桁架机械手，加大了输送速度和准确性，输送位置通过控制程序而随意改动，进而才使得主干路交替输送的实现。在每个支路上，桁架机械手将上一段主干路输送过来的曲轴抓到支路所在的机床上进行加工，加工后再将曲轴抓放到检测工位检测，合格后再抓放到主干路下一段输送带上，输送带将其输送到下个工序，不合格的曲轴放在不合格区，待人工根据不合格情况和类型决定是否返修或打废。

如图5、图6所示，桁架机械手使自动线的布局更加灵活，改变了以往刚性输送只能成一直线的输送方式，而最关键的是采用

桁架机械手后，输送效率有很大的提高，支路上的机床加工节拍不受严格的限制，因是空中输送，减少了自动线的占地空间。欧美及日本等国的先进机床制造商均在十几年前就开始研发出柔性加工自动线了，而我国的曲轴加工自动线采用桁架机械手输送，只是近几年才开始研发，且市场占有率很少，依然被国外垄断。

因为，采用桁架机械手输送的柔性加工自动线，其包含的许多关键性技术我国与国外还有一定的差距，如模块化高速桁架机械手关键技术、柔性随动夹具技术，信息流的调度、管理和控制技术，自动线的工件精度检测与质量控制技术，自动线的刀具破损状态监测技术等。其中，模块化高速桁架机械手关键技术主要有以下几点：①桁架机械手的快速运动单元制造技术，可实现高速、高效、高精度的搬运功能，其传输单元及支撑单元必须在高速运动载荷情况下，有足够的刚度及强度。②桁架机械手的快速运动单元高速、高精度控制技术，主要表现为伺服电动机高响应、高刚度及高精度的控制技术，使桁架机械手在高速搬运过程中要求运动部件在极短的时间内到达给定的速度并能的高速行程中瞬间停准。③快速物流单元

曲轴加工自动线工序表		
工序编号	工序内容	采用的设备
OP10	加工两端面及其孔	加工中心
OP20	法兰端面及外圆	数控车床
OP30	小端轴颈	数控车床
OP40	主轴颈、连杆颈加工	外铣机床
OP50	油道孔加工	油孔钻床
OP60	圆角滚压	滚压机床
OP70	两端面孔系加工	加工中心
OP80	磨小端轴径及止推面	磨床
OP90	磨大端法兰面及外径	磨床
OP100	磨主轴颈及连杆颈	磨床
OP110	磨大端中心孔	磨床
OP120	曲轴平衡、去重	动平衡机
OP130	主轴颈、连杆颈抛光	抛光机

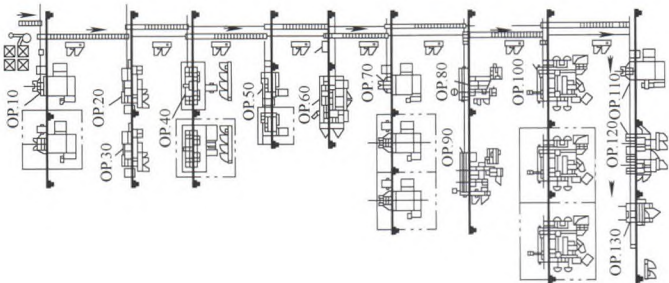


图 4



图 5



图 6

与加工中心协调控制技术,对于自动线中的加工设备之间进行物料运输,桁架机械手与加工设备之间存在严格的物流分配控制。

4. 结语

桁架机械手是自动化加工向

智能化生产转化进程中不可替代的一种输送工具,是敏捷柔性加工自动线的重要标志,尽管还与国外有着一定的差距,但相信伴随“工业4.0”的发展,桁架机械手在我国制造业中将会得到越来越多的应用。

参考文献:

- [1] 吕景泉. 工业机械手与智能视觉系统应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [2] 孟少农. 机械工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

MW (收稿日期: 20170115)

(上接第4页)

造,核心是数字化和大数据。数字化主要包括机床的数字化、机器人的数字化、检验设备的数字化及附属设备的数字化等,大数据也不仅仅是收集生产过程中的各种信息,还要有智能化分析整理功能。这需要机床生产厂家与控制系统配套商双方共同努力,这还有很长的路要走。

(3) 机器人方面。这两年国内出现了很多机器人企业,但有自主知识产权的企业很少,机器人的核心部件减速机还主要靠进口,机器人的控制系统也以国外的系统为主,另外,该性能的伺服电动机和驱动也是依赖进口,这些都是国产机器人发展的瓶颈。机器人的稳定性也是一直因

扰机器人生产企业的问题。

(4) 配套设备方面。机器人末端工装的主要部件目前是以台湾和日本的品牌为主,国产品牌在产品品质和品种上还有待提高。用于自动线在线检测的产品检验设备,以日资品牌为主。自动输送线上使用的随行夹具及零点工装等,还没有国内的生产厂家能够完成。

(5) 集成能力方面。目前,国内集成能力较强的是几家规模较大的机器人生产企业,比如沈阳新松、广州数控、华中数控、艾芙特等,大多数机器人经销商集成能力还较弱或

还没有集成能力,并没有出现像德国雄克公司那样的专业集成商。从整个行业看,与国际先

进水平差距也不小。起步晚当然是原因之一,但技术设计人才的缺乏则是主要原因。

4. 结语

道路是曲折的,但前途是光明的,我们看到了差距,有压力、有困难,但这同时也是机遇。相信在国家的宏观政策指引下,《中国制造2025》这个梦想一定会实现。

参考文献:

- [1] 王喜文. 中国制造2025解读: 从工业大国到工业强国[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [2] 乌尔里希·森德勒, 邓敏, 李现民. 工业4.0: 即将来袭的第四次工业革命. 北京: 机械工业出版社, 2014.

MW (收稿日期: 20170118)