

车桥自动化加工的分析与应用

Analysis and Application of Axle in Automatic Machining

供稿|王雷, 张希芳, 王一迪 / WANG Lei, ZHANG Xifang, WANG Yidi

内容导读

介绍了汽车加工制造行业的自动化发展趋势, 分析了车桥的加工工艺以及自动化要求。选取了专用的加工设备, 设计了专用浮动涨块夹具及自动托料架, 配备了专用的安全检测装置, 并将此方案应用于自动化生产线中, 实际生产验证了方案的可行性和专用夹具的可靠性, 提高了生产效率, 降低了劳动强度, 值得在汽车车桥类零件加工中推广应用。

汽车关键零部件之一——车桥在车辆行驶系统中具有重要的作用。汽车行驶时, 车桥需要承受来自驱动轮的各种作用力、反向力、力矩等, 汽车车桥会保持左右车轮位置相对固定; 同时, 车桥壳还要承担车本身的重量。据统计, 国内每年汽车车桥加工量为几百万根, 数控机床对汽车车桥的加工工艺在国内已经有了比较固定的加工方案, 各生产厂家基本上形成了专业化、系列化、批量化生产的局面。车桥行业的应用范围特定, 其发展和汽车制造及维修行业息息相关, 汽车由于单价较高, 属于较重的固定资产, 一般在经济发达的地区需求量较高。从近几年各地区的汽车市场情况来看, 华东、华南和华北地区仍是汽车行业的主要市场。

从目前国内车桥企业发展来看, 技术创新一直是企业产品研发的重要发展方向, 未来以劳动密集型的价格取胜优势将逐渐弱化, 技术创新将成为动力增长的源泉, 相比目前的加工方式, 车桥自动化生产线具有以下优势: (1) 提高生产效率和质量, 降低人工操作带来的差错; (2) 减少人工投入, 降

低劳动成本; (3) 改善生产环境, 将工人从有害环境中解放出来。因此自动化加工显得极其重要。结合目前的各类技术, 车桥自动化加工的发展趋势如下: (1) 通过人工智能技术实现自动化生产过程的智能化控制; (2) 机器人辅助应用, 解放部分人力劳动, 提高效率; (3) 虚拟仿真技术, 降低真实生产环境的风险; (4) 智能制造技术的应用, 将产品的全过程信息进行共享, 实现高效协同^[1]。

对于一个企业而言, 企业需要考虑如何以低成本获得高效益。对于产品而言, 不仅需要结构设计和工艺方面必要的变革, 而且在工艺装备方面也需要将不利因素进行改善, 如专用夹具需与新产品的生产特点适应配套。下面针对车桥专用数控车床在自动化生产线中加工挂车车桥的案例, 将其中的关键点为读者进行介绍^[2-3]。

工艺方案及自动化要求

设备选用

图 1(a) 为挂车车桥图片, 根据工艺要求, 需要

加工车桥两端外圆部分，为保证零件精度及加工效率，选用车桥类专用数控车床 CQ550，见图 1(b)，该数控车床为双刀架数控车床，可按用户需要配置成单刀架机床，主要用于汽车桥壳两端和大规格轴类零件的粗、精加工。机床具有以下特点：回转直

径大、高刚性、高精度、高效率及精度保持性好等特点。整机采用封闭式全防护结构，符合人机工程学原理，门玻璃为耐冲击防爆玻璃板，机床宜人性好，便于操作。机床采用机、电、液一体化结构，整体布局紧凑合理，便于保养和维修。

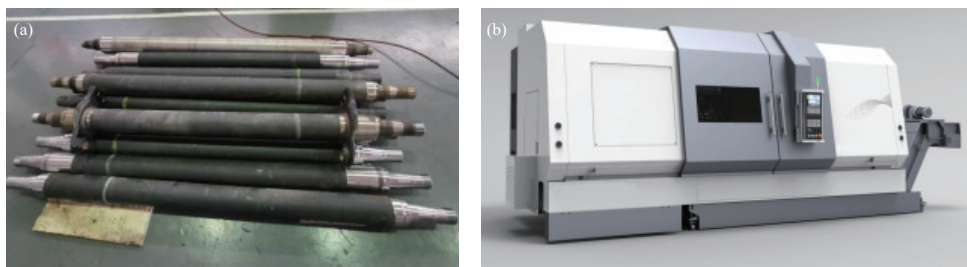


图 1 挂车车桥 (a) 与数控车床 (b)

数控车床配置左、右双刀塔，可一次性装夹，同时加工车桥两端，既可以保证加工精度，也可以提高效率。另外左、右刀塔上均安装工件检测装置，使用该装置对工件进行检测，既可以实现工件自动定位，又可以保证加工尺寸的一致性，加工精度可达到 IT6 级。

CQ550 系列车床为模块化设计，可根据用户不同的需要进行选配。作为通用型机床，特别适合汽车、摩托车、电子、航天、军工等行业对大规格轴盘零件进行高效、大批量、高精度的加工^[4-5]。

加工工艺方案

采用双刀架同时进行加工，可以提高 1 倍的加工效率，同时刀架上配备工件检测装置，无需人工参与检测，避免了检测误差。加工前，工件检测装置先对车桥进行检测，测量出车桥的外圆直径尺寸，数控车床根据加工程序对车桥进行加工，加工完成后，检测装置再次对车桥进行检测，并将信息反馈给上级单元^[6]。

自动化要求

使用自动化生产线加工车桥，要求机床上的各类工装必须同步实现自动化加工功能，另外从提高生产效率和降低操作者的劳动强度方面考虑，工件的整个定位和装夹过程全部由液压系统完成。具体的操作流程如下：工件采用两边涨紧形式；机床设计专用托料架，托料架可升降，可左右移动。机械

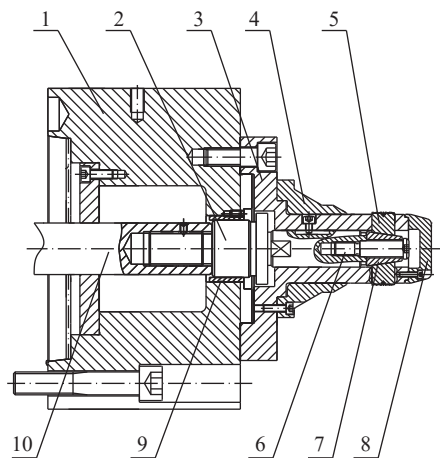
手将工件放在托料架上后自动向主轴方向移动。将工件送入涨套，然后尾台移动将工件顶紧，夹具涨紧工件。加工完成后托料架抬升，接住工件，涨套松开；然后托料架返回原位，机械手取走工件，加工完成。

此外，在运行过程中，只需要在机床上执行相应的代码，整个加工过程就会自动完成，不需要人为调整，同时机床配备刀具寿命管理系统，通过实时监控电机电流，即可反映出刀具的破损情况，达到自动监测的目的。提醒加工者及时更换刀具，避免出现大批量零件报废的情况，降低了产品的报废率，节约了成本，进一步实现了自动化加工。

专用工装

浮动涨块式夹具

图 2 为加工车桥的浮动涨块式专用夹具装配图。夹具体安装在机床主轴上，以主轴短锥形式定位，通过螺钉紧固在主轴上。过渡套安装在夹具体上，可以根据车桥内孔不同，实现夹具的快速互换。定位套安装在过渡套上，起到轴向定位作用。锥套通过小轴安装在导向体上，导向体通过拉杆连接尾部油缸。涨块通过锥面与锥套配合，外侧的环槽内用弹簧钢丝将其紧固，保证涨块与涨套始终贴合。端盖可以防止铁屑等进入夹具，大角度锥角可以方便工件装夹时的进入，避免与工件产生刮碰。



1——夹具体；2——导向体；3——过渡套；4——定位套；5——涨块；6——小轴；7——锥套；8——端盖；9——拉杆；10——轴承环

图2 涨块式夹具装配图

液压油通过油缸推动拉杆向右移动，锥套在拉杆的推动下，通过锥面使涨块在径向方向移动，直至涨紧工件内孔。由于涨套与小轴之间存在间隙，会避免出现过定位现象，实现浮动夹紧，反之，则松开工件。

由于工件是挂车车桥，工件相对质量小，而且整体质量分布比较均匀，不会产生较大的离心力，因此采用主轴端涨块式结构夹具，尾台端使用专用合金顶尖顶紧工件。这样既能满足精度要求，同时也降低了夹具成本。

受力分析及夹紧力计算

如图3所示，为涨块在推力作用下的受力分析简图，可以按照斜楔式夹紧的原理来分析其所受的作用力，其中 P 为对涨块所加的推力； Q 为对工件产生的理论夹紧力； f 为锥套与涨块之间的摩擦力； N 为锥套的反作用力。夹紧力计算公式如下：

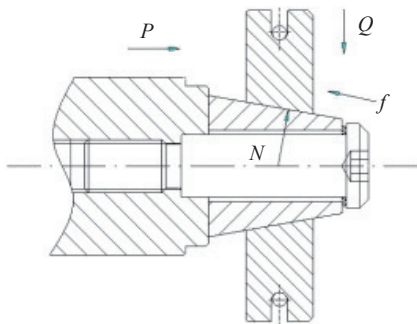


图3 受力分析图

$$Q = \frac{P}{\tan(\theta + \varphi_1)} \quad (1)$$

式中， θ 为锥套圆锥角的一半； φ_1 为涨块与锥套之间的摩擦角^[7-8]。

按要求对涨块施加 P 为30 kN的推力，涨块夹具的锥套圆锥角为 20° （不会产生自锁现象），因而 $\theta=10^\circ$ ；假设涨块与锥套之间的摩擦系数 $\mu_1=0.2$ ，根据摩擦力公式：

$$\mu_1 = \tan \varphi_1 \quad (2)$$

计算出 $\varphi_1=11.3^\circ$ ，根据公式，其所产生的理论夹紧力 Q 约为77 kN。

夹紧力校核

夹紧力校核时，为了便于夹紧力的计算，估算夹紧力时往往将工件和夹具作为一个整体的刚性系统。根据工件所受不同的切削力及夹紧力的作用情况，以加工过程中对夹紧最不利的状态进行计算，先通过切削力的计算软件，得出切削时的理论车削力，再将理论车削力乘以安全系数作为实际车削力，并将其作为夹紧力校核的依据，其表达式为：

$$Q_2 = K Q_1 \quad (3)$$

式中， Q_2 为实际车削力， Q_1 为理论车削力， K 为安全系数，通常粗加工时的数值取2.5~3，精加工时的数值取1.5~2^[9]，本次取2。由于车削力的计算比较复杂，本文根据实际的切削参数，通过切削力的计算软件，得出理论车削力 $Q_1=2$ kN，则实际车削力为 $Q_2=2$ kN $\times$ 2=4 kN。

车削时，若要保证工件不会发生转动或者移动，则要求工件夹紧时的摩擦力扭矩大于实际车削力所产生的扭矩，而阻止工件转动和移动的力为涨块夹紧力所产生的摩擦力 f_1 ，通过下式计算：

$$f_1 = \mu_1 Q \quad (4)$$

摩擦系数 $\mu_1=0.2$ ，计算得出 f_1 为15.4 kN。根据公式

$$M_1 = f_1 r \quad (5)$$

$$M_2 = Q_2 R \quad (6)$$

为了便于计算，将车桥等效为外径 $\phi 300$ mm，长2100 mm，壁厚12.5 mm的圆柱筒料，则车桥内径 r 和外径 R 分别为0.1375 m和0.15 m，计算摩擦

力产生的扭矩 $M_1=15.4 \times 0.1375=2.1175 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2117.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，实际切削力产生的扭矩 $M_2=4 \times 0.15=0.6 \text{ kN} \cdot \text{m} = 600 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。实际切削力产生的扭矩小于摩擦力产生的扭矩，因此，夹具的夹紧力是安全的，车削时不会引起工件的滑移或者转动。

车桥工件质量 (m) 180 kg，主轴转速 (n) 从 0 加速到 300 r/min，所需要的时间 (t) 为 1 s，根据公式：

$$J = \frac{m(R^2 - r^2)}{2} \quad (7)$$

式中， J 为转动惯量，计算出转动惯量 $J \approx 0.32 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 = 0.32 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$ ，根据角速度 (ω) 计算公式 $\omega = 2\pi n$ 和角加速度 (α) 计算公式 $\alpha = \omega/t$ 计算出角加速度 $\alpha = 31.4 \text{ r/s}^2$ ，则计算出离心力扭矩 $M_3 = J\alpha = 0.32 \times 31.4 = 10.05 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。夹紧时摩擦力产生的扭矩 $M_1 = 2117.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ ，可见此扭矩远大于转动时的离心力的扭矩，因此在此转数下旋转，工件不会产生滑移。

自动托料架

图 4 为自动托料架三维图，共分为 3 层，最下层为基础板，通过滑块与机床床身的直线导轨连接在一起，可在导轨上自由移动。中间层为支架层，分别安装有左右支架，左右油缸等。左右支架均为可调整支架，通过燕尾槽形式与基础板连接在一起，用 T 型螺栓固定在基础板上。根据零件的长短，可用专用手柄转动调整机构，通过齿轮齿条来

调整左右支架的距离，使支架移动至适合的位置，之后锁紧 T 型螺栓。支架可在 1900~2500 mm 的范围内进行调整，适合长度在此范围内的车桥进行加工。最上层为中心架层，也是通过燕尾槽形式与支架层连接在一起，用 T 型螺栓固定在支架板上，可用专用手柄转动调整机构，通过齿轮齿条来调整左右中心架支架的距离，使支架移动至适合的位置，之后锁紧 T 型螺栓。支架层及中心架层均为模块式结构，可随意更换，在加工过长过细工件时，可以通过燕尾安装中心架等附件辅助支撑，方便快捷。

托料架的上、下料均是通过液压控制实现的，再配合桁架机械手就可以实现自动上、下料。托料架上料顺序如下：机械手夹持工件触碰到专用的压触开关，开关发出信号，机械手松开，将工件放在托料架的 V 型块上，基础板下面的 Z 轴油缸向左推动基础板（实现 Z 轴方向的上料），使工件进入涨块式夹具，尾台专用顶尖左移顶紧工件，到位后，夹具涨紧工件内孔。然后左右支架上的油缸同时下降，工件开始加工。托料架下料顺序如下：工件加工完成后，左右支架上的油缸同时上升托住工件，夹具松开，液压尾台撤回，基础板下面的 Z 轴油缸向右推动基础板（实现 Z 轴方向的下料），桁架机械手取走工件。同时，机床配置了工件测量装置，可对工件进行位置标定，以避免与其它部件发生碰撞现象，保证加工安全可靠。

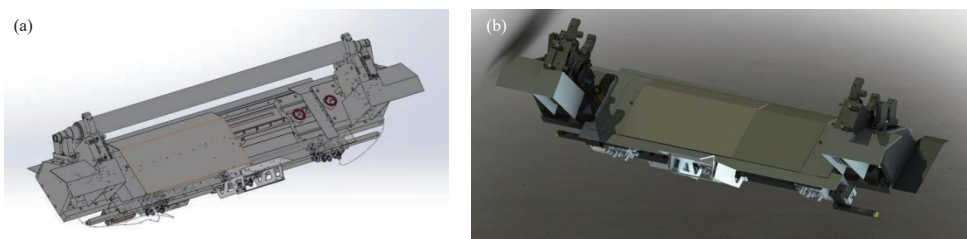


图 4 自动托料架示意图: (a) 三维图; (b) 带防护渲染图

应用实例

图 5 为车桥自动化生产线中工厂的专用车桥数控车床的现场应用照片。在工件换产时，可根据工件的不同规格，将托料架上的垫块制作成不同的厚度，换产时只需更换垫块，实现快速换产。

综上所述，从最初的工艺方案制定、设计结构

分析、设计方案确定，到最后应用，车桥自动线项目取得成功，所设计的专用浮动夹具以及自动托料架均采用液压控制，运转平稳，安全可靠。满足自动化需求。同时在加工节拍，加工精度等方面也都达到要求，值得在汽车车桥类零件加工中推广应用，同时也为以后的车桥自动化加工设计，积累了宝贵的经验。

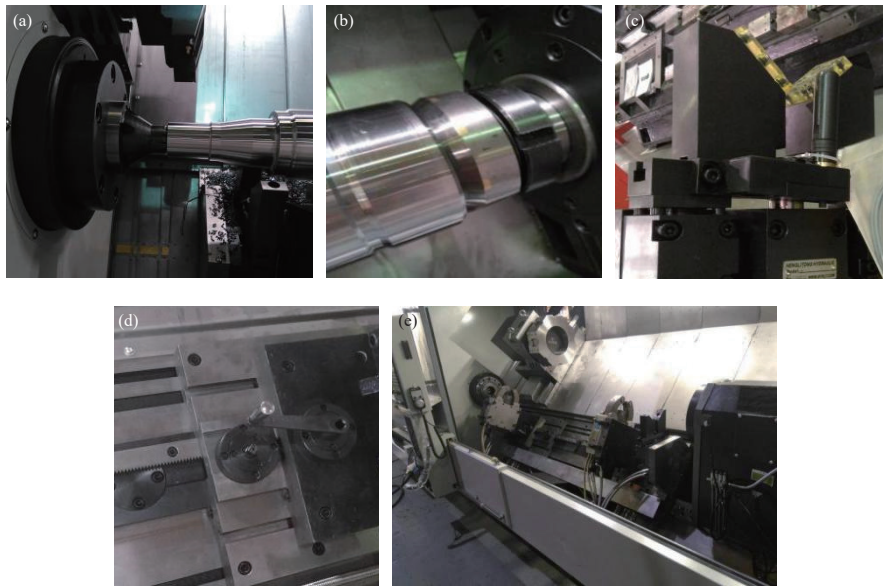


图5 现场实例: (a) 浮动涨块式夹具; (b) 合金顶尖; (c) 压触开关; (d) 齿轮齿条调整机构; (e) 自动托料架

结束语

中国汽车零部件行业的持续稳步发展和自动化生产需求的日趋强烈,使得车桥自动化加工的研究迫在眉睫。通过分析车桥的加工工艺以及自动化要求,选取了专用的加工设备,设计了专用夹具及自动托料架,并将其应用于自动化生产线中,在现实生产中验证了方案的可行性,以及专用夹具的可靠性,对于车桥的自动化加工意义重大,主要研究结论如下:

(1) 针对工件特点,选用了双刀架数控车床,可同时进行加工,加工效率提高一倍。

(2) 制定有针对性工艺方案、合理高效的加工节拍,并配备适合的刀具以及检测设备,保证了自动化加工的可靠性。

(3) 根据车桥加工的定位、装夹特点,采用了浮动涨块式专用夹具,运用多种力学公式构建了数学模型,利用数学模型对车桥工件进行了受力分析及夹紧力计算、校核等,保证理论上的可靠性。最终通过现场进行验证,结果表明此种装夹方式能达到定量分析的效果。

(4) 根据自动化要求,在原有托料架的基础上进行了改进,提出了在托料架上增加中心架的方法,建立了三维模型,生产集成式托料架。

参考文献

- [1] 张同帅, 陈秀生, 吕国栋, 等. 挂车支承桥轻量化研究现状及发展趋势. 装备制造技术, 2022(4): 126
- [2] 郑娟英. 我国重型汽车车桥历史、现状及发展趋势. 汽车实用技术, 2010(2): 19
- [3] 辛木. 商用车车桥行业现状及产品发展动向. 重型汽车, 2008(6): 29
- [4] 李颜平. 基于桥壳加工的两头同步驱动加工数控车床设计和研究. 制造技术与机床, 2017(9): 26
- [5] 大连组合机床研究所. 组合机床设计. 北京: 机械工业出版社, 1975
- [6] 玄昌英, 王静. 汽车车桥类零件的工艺分析及高效加工的相关研究. 内燃机与配件, 2019(3): 22
- [7] 许福玲, 陈尧明. 液压与气压传动. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2004
- [8] 贾冀青, 常伟军, 杨锦斌. 汽车车桥类零件的工艺分析及高效加工. 制造技术与机床, 2013(10): 129
- [9] 郝静华. 弹性夹头自动定心装置与夹紧力的计算分析. 工具技术, 2010, 44(11): 83
- [10] 成大先. 机械设计手册: 单行本·机械振动·机架设计. 北京: 化学工业出版社, 2004.

作者简介: 王雷(1983—), 男, 高级工程师, 主要从事机床专用夹具设计及工艺领域工作, 通信地址: 辽宁省沈阳市经济技术开发区开发大路17甲1号, 沈阳机床。邮箱: laolei001@163.com。