

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.06.004

光伏组件汇流条直角焊接机的研制

张艺超^{1,2}, 俞建峰^{1,2}, 傅剑^{1,2}

(1. 江南大学 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室, 江苏 无锡 214122;
2. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘要:针对目前光伏组件汇流条手工焊接工艺存在自动化程度低、焊接质量差等缺点,研发一款高速、高精度光伏组件汇流条直角焊接机。选择了合理的运动方案,制定了汇流条焊接工艺流程,设计了总体结构,包括总体框架、条料工装机构、上下料机构、取放料机构、焊接机构等;采用PLC控制系统控制设备运行。研制的直角焊接机焊接时间为2 s,单件焊接周期为10 s。应用结果表明该设备具有焊接效率高、汇流条焊接质量好等优点,可以有效地改善光伏组件串焊工艺,提高光伏组件的生产效率。

关键词:焊接机;汇流条;焊接机构;光伏组件;PLC控制

中图分类号: TG433 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2017)06-0016-06

Development of Welding Machine for Bus Bars of Photovoltaic Module

ZHANG Yichao^{1,2}, YU Jianfeng^{1,2}, FU Jian^{1,2}

(1. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment & Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;
2. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: To solve the disadvantages of low automation level and poor welding quality in the current hand-welding process of photovoltaic (PV) module bus bar, a high-speed and high-precision welding machine with one right angle was designed for junction bars. A reasonable movement scheme, the fabrication process and the overall structure including the whole frame, bus-bar fixture, loading module and welding module were designed. With the control system, the welding time was 2 s for one point and the welding cycle of single product was 10 s. The application results show that the device has the advantages of high welding efficiency and good welding quality, and can effectively improve the welding process of the PV module and improve the production efficiency of the PV module.

Keywords: welding machine; bus bar; welding mechanism; photovoltaic module; PLC (programmable logic controller) control

太阳能作为一种绿色清洁能源,成为国内外发展新能源的重要选择^[1]。为了促进先进光伏产品的应用和产业升级,太阳能组件生产车间的自动化设备和生产线需要进一步发展升级^[2]。设备自动化程度提高与工艺改进成为推动光伏产业发展的重要动力。光伏组件生产流程^[3]如下:

单片焊接→串联焊接→叠层→层压→装框→清洗→电性能测试→包装入库。

太阳能电池单片功率一般为2~4 W,电压仅为

0.5 V,难以满足常规用电需求,需要将其串联或者并联以达到负载的电压及功率要求,焊接工艺在光伏组件生产过程中起着举足轻重的作用^[4]。光伏组件是将单个电池片通过互联条连接成电池串,然后通过汇流条将电池串连接成大的电池板^[5]。

目前,国内光伏组件汇流条的焊接仍然以手工方式为主,劳动强度大,受外界干扰因素多,焊接质量很难完全保证,难以满足现代化生产的需求^[6]。由于太阳能组件已基本发展为常规组件,需批量稳定化生产,

收稿日期:2017-03-14;修回日期:2017-04-24

基金项目:江苏省2016年度普通高校研究生实践创新计划项目(SJLX16-0488);江苏省前瞻性联合研究项目(BY2015019-28)。

第一作者简介:张艺超(1989),男,河南郑州人,硕士研究生,主要从事食品加工装备研究。E-mail: zzyycc333@163.com

同时也需提高产品的安全性和可靠性,所以采用机械自动化设备进行封装焊接是行业发展的必然趋势^[7]。通过机械设计和自动化技术相结合,太阳能组件直角焊机将大大提高汇流条焊接质量和焊接效率。本课题组设计1台光伏组件汇流条自动焊接设备,以满足当前企业生产需求。该设备应用可提高自动化程度,降低劳动成本,提高企业生产效率。

1 工艺流程设计

根据光伏组件的生产工艺要求,需要将2根焊条焊接成直角。为了实现汇流条自动化焊接,需要设计出焊条的自动送料、自动焊接和自动下料等机构的运动方案。在确定的运动方案基础上,设计出汇流条的生产工艺流程,见图1。

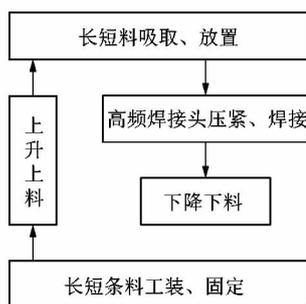


图1 汇流条焊接工艺流程

Figure 1 Welding process of bus bars

1.1 工艺要求

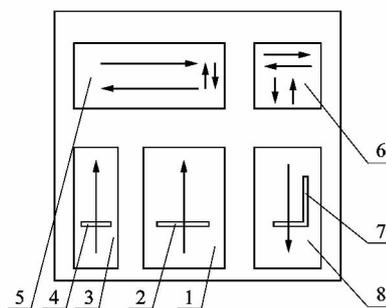
汇流条的焊条分为长短焊条,长焊条尺寸为 $453\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times 0.35\text{ mm}$;短焊条尺寸为 $83\text{ mm} \times 6\text{ mm} \times 0.25\text{ mm}$ 。长、短焊条均由镀锡铜片制成,焊条中的镀锡层可以紧密地附着在铜的表面,防止铜氧化;而锡的氧化物的导电率比铜的氧化物要高^[8],因此镀锡层在此处起到焊接和防氧化双重作用。由于生产工艺的相关要求,需要将2条焊条以直角搭接的形式焊接而成,形成可靠的电接触^[9]。

汇流条需要满足以下基本工艺要求^[10]:

- 1) 长、短焊条通过直角搭接;
- 2) 焊接温度在 $180 \sim 350\text{ }^\circ\text{C}$ 之间;
- 3) 焊接部位平滑、无毛刺,进行焊接强度检验,即拉力测试,拉力值达到 50 N ;
- 4) 焊接表面的镀锡无明显损坏。

1.2 运动方案设计

基于汇流条焊接的工艺要求,生产要达到自动化要求,需要对焊条的整个运动过程进行分析设计。直角焊机的运动可以分为4大部分:上料运动、取放料运动、压紧焊接运动、下料运动,见图2。



1—长条料上料机构;2—长焊接条料;3—短条料上料机构;4—短焊接条料;5—气动取放料机构;6—高频焊接头;7—直角汇流条;8—下料机构。

图2 运动方案设计

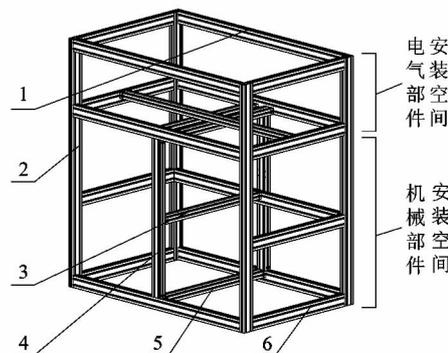
Figure 2 Kinetic scheme design of mechanism

2 直角焊机机械机构

本课题组设计的是1台焊接时间为 2 s ,单件焊接周期为 10 s 的汇流条直角高频焊接设备。直角焊机以高频钎焊、机械自动化为基础进行开发的,在确定了各个机构运动原理的基础上,对机械机构进行细化设计。

2.1 总体框架

考虑到设备的整体性,采用电控与机械机构一体化设计的原则,设备框架内部包含电控柜和机械动作部件两大部分。采用6063-T5铝型材,规格4080,长度不等。总体框架设计如图3所示,上层空间用于电气安装,下层空间用于机械部件安装。同时,为了提高焊接速度,框架采用左右对称的空间布局,两侧设备可以同时独立完成汇流条的焊接工艺,从而可以提高直角焊接机的焊接速度。



1—框架横梁;2—框架纵梁;3—内侧短梁;4—框架内纵梁;5—内侧长梁;6—框架侧梁。

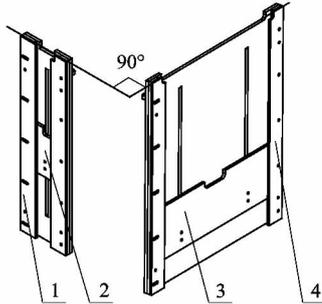
图3 总体框架布局

Figure 3 Whole structure design

2.2 上料升降机构

汇流条呈直角形状,由长短焊条料焊接而成。对

于简单的机械运动形式,在空间中的运动可分为平动和转动。为了简化运动,本设计将装载长短条料的工装架以90°相对位置放置(图4),避免上料、取放条料时产生旋转运动。

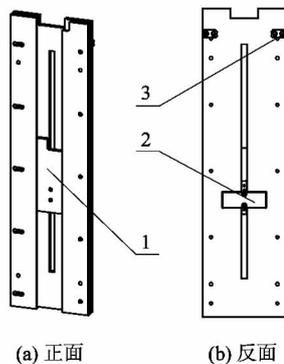


1—短条料工装架;2—短条料安放滑板;3—长条料安放滑板;4—长条料工装架。

图4 长短条料工装架安装位置布局

Figure 4 Installation distribution of bus bar fixture

短条料工装架(图5)中,1 000根短焊条料叠加在一起放置在短条料安放滑板上。根据生产提供的数据,短焊条的尺寸为83 mm×6 mm×0.25 mm。短料工装架由3层厚度、宽度不同的板料拼装而成,对焊条起到定位稳定的作用。工装滑块用来传递伺服电机的动力至安放滑板,实现安放滑板的升降,进而控制短条料的升降位置。限位挡块用来限定升降极限位置,避免产生运动干涉。



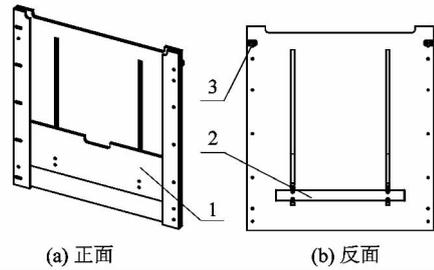
1—短料安放滑板;2—工装滑块;3—限位滑块。

图5 短条料工装架

Figure 5 Machine frame of short bus bar

长焊条的尺寸为453 mm×8 mm×0.35 mm。长料工装架(图6)根据长焊条的尺寸特征设计,长焊条是由800根焊条叠加在一起放置,也通过安放滑板支撑,整个机构设计思路与短料工装架相似。

上料升降机构由伺服电动机驱动,按照设定的位置高度进行升降定位,将长短条料定位到合适位置,供取料机构吸取、移动。



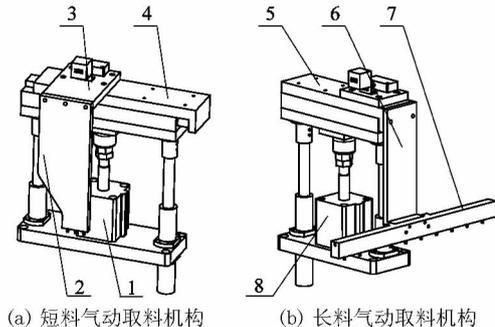
1—长料安放滑板;2—工装滑块;3—限位块。

图6 长条料工装架

Figure 6 Machine frame of long bus bar

2.3 气动取料机构

取料运动包括2部分:升降运动吸取条料、水平面运动搭接条料。为了实现条料的运动要求,取料机构采用普通气缸和气动滑台相结合的形式。如图7所示,气缸活塞的上下运动,带动机械手上下运动,吸取长短条料,使其达到合适的位置;气动滑台使长、短条料作水平面运动。长、短取料机构在总体框架上安装时,两者并列紧挨,气动滑台相互平行,长、短料吸取机械手呈90°布置,从而可以提高条料取放速度。



1—短料升降气缸;2—短料吸取机械手;3—短料吸取机械臂;4—短料气动滑台;5—长料起运滑台;6—长料吸取机械臂;7—长料吸取机械手;8—长料升降气缸。

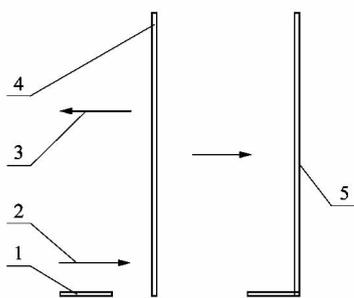
图7 气动取料机构分解图

Figure 7 Exploded picture of pneumatic loading module

长短条料需要直角搭接之后进行焊接,因此根据长短料的尺寸大小确定其平动形式。长料较长,沿着其宽度方向平动可充分利用空间;短料较短,则可沿着长度方向进行平动。长短料同时进行运动,进行直角搭接(图8)。这种平动方式对空间的利用率比较充分,机构的设计也相对合适。

2.4 高频焊接机构

直角焊机的最终目的是要实现长短镀锡铜条的焊接,因此除了上料取料机构外,采用的焊接机构是整套设备的核心机构。焊接方法通常分为熔焊、压焊和钎



1—短条料;2—短条料长度方向运动;3—长条料宽度方向运动;4—长条料;5—直角汇流条。

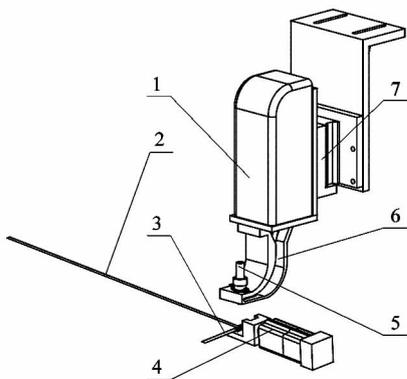
图8 长短条料直角搭接运动

Figure 8 Rectangular overlapping motion of long and short bus bar

焊三大类。汇流条的手工焊接是通过电烙铁产生高温熔化铜条表面的锡,属于钎焊。与此同时,需要在条料搭接处施加一定的压力才能保证焊接质量。

汇流条的生产过程其实是一个重复动作的过程,手工焊接过程中,焊接压紧的时间和压紧力等因素都会影响汇流条的质量。所有焊接参数都只能凭经验估算,并不能精确地控制焊接加热时间、加热温度、压紧力和焊接的部位等焊接要素。本设计基于过程控制的高频焊接方法,用机器代替人工,即用先进焊接方法代替传统焊接方法,提高了生产效率和产品质量。

焊接的整体结构如图9所示。取料机构把长焊条和短焊条运送到如图所示的位置时,电流频率调节器就开始工作,紫铜线圈里面就产生了高频电流。当工件导正气缸完成导正动作之后,焊接气动滑台便开始动作,带动焊条压紧机构向下压紧条料。压紧焊接大概2 s之后,焊接气动滑台和工件导正气缸缩回,完成焊接过程,开始下料。



1—电流频率调节器;2—长焊条;3—短焊条;4—工件导正气缸;5—焊接压紧机构;6—紫铜线圈;7—焊接气动滑台。

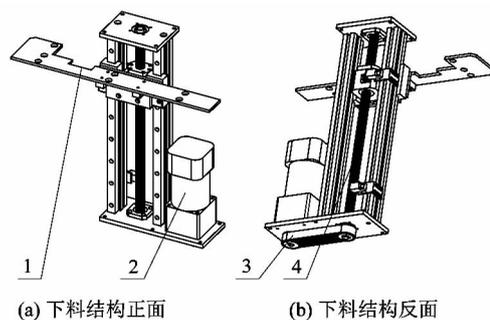
图9 高频焊接机构

Figure 9 High frequency welding module

工件导正气缸在焊接过程中起着双重作用,首先在焊接时给汇流条提供支撑,其次是对出现较大的位置偏差的工件进行位置矫正。为了提高焊接质量和焊接效率,此处采用一种新型焊接技术—高频焊。高频焊接技术(high-frequency welding),是利用导体内部电流产生的电阻热而引发的高温进行焊接的。焊接时工作线圈产生高频电流,由于互感作用在工件内产生涡流,涡流效应产生的电阻热使工件的待焊接处的表层被加热到熔化或接近熔化的塑性状态,最后根据实际需要加上一定压力才完成整个焊接过程^[11]。

2.5 下料机构

焊接机构完成焊接任务之后,焊接完成的汇流条经由上安装板的直角槽口直接落到下料机构平台上。下料机构(图10)开始工作,完成汇流条的自动下料。下料机构平台在丝杆模组的驱动下完成升降下料动作。



1—平台;2—减速电机;3—同步带传动机构;4—丝杆模组。

图10 下料机构

Figure 10 Loading module

平台用于堆放焊接完成的汇流条,整个机构安装时,有7根棒料穿过平台上的7个孔,起到汇流条堆放限位作用。减速电机通过同步带带动丝杆转动,而丝杆与滑块是螺纹配合,结构上又限制丝杆只能转动,因此旋转运动转变成滑块在滑轨的导引下做上下直线运动。

同步带传动是通过带齿与带轮齿槽的啮合来传递动力的一种传动方法。带与带轮之间无相对滑动,能保证准确的传动比;传动时无需润滑、无污染、小噪音;传动效率可达98%,速比范围一般可达1:10。

3 控制系统

从整个系统来看,动作执行机构主要包括气动元件、电动执行器和丝杆模组3大块,分别由空气压缩机、伺服电机和减速电机提供动力源。为实现自动化焊接过程,整个过程通过PLC进行控制^[12]。同时,为了提高系统的可操作性和满足焊接过程的可控性,利

用触摸屏对工作环节进行实时监测和在线控制^[13]。伺服电机由 PLC 进行位置模式的控制,减速电机直接由 PLC 实现启停的控制,而气动元件的控制比较复杂。下面就控制系统的软件、硬件设计分别做出分析。

3.1 硬件设计

控制系统的核心是三菱公司的 FX3U-128MR 型号 PLC,属于三菱第 3 代小型可编程控制器。控制系统按照既定的程序对各机构的驱动元件进行位置、速度控制。控制系统的硬件部分(图 11)主要由伺服电动机、减速电机、气动元件、电磁阀、电流频率调节器等组成^[14]。

控制按钮用于人工对设备的启动、停止、急停操作;选用台湾阳明公司的 PL-05N 型号限位开关来限定上料升降机构电动执行器的上下极限位置;利用欧姆龙公司的 TL-W5MC1 型号的限位开关来断定长短料工装架的正常放置;采用欧姆龙公司的 E32G-D61 型号光电开关对送料位置精确定位;利用真空发生器使取料机械手的爪部产生真空,吸取长短料;同时,选用松下的 DP101 数显真空压力表进行定量调节和实时监测真空状态。

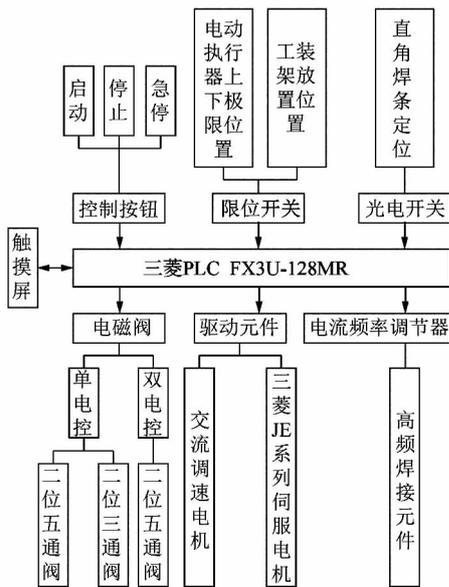


图 11 控制系统硬件组成图

Figure 11 Hardware schematic of control system

由于系统使用的气路较多,因此需要通过汇流板进行分流输出。根据气动元件的流量、压力和动作要求等相关参数进行电磁阀的选型^[15],最终选择单电控二位五通电磁阀 SY5120 和双电控二位五通电磁阀 SY5220。根据设备的工艺要求,长、短料升降气缸和长、短料气动滑台并无初始位置的问题,则应该选用双

电控电磁阀。对于工件导正气缸、长料工装压紧气缸和焊接气动滑台而言,具有初始状态,则可采用单电控电磁阀控制。其中工件导正气缸属于双行程气缸,因此控制时需要 1 个二位五通和 1 个二位三通阀。由于取料是通过真空发生器产生真空实现的,需要 2 个二位三通电磁阀。但是考虑到气源共用等问题,此处仍然采用二位三通电磁阀,堵住其中一个口,改成三通使用。气路控制如图 12 所示。

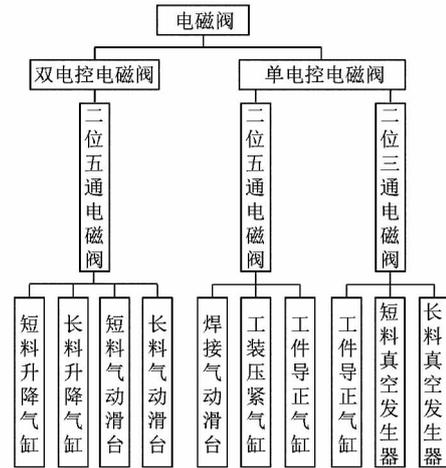


图 12 电磁阀气路控制示意图

Figure 12 Pneumatic control schematic of electromagnetic valve

3.2 软件设计

汇流条直角焊接运作的整个过程主要包含上料、取料、焊接和下料的过程。其中,上料过程涉及到位置的精度控制。根据焊条的几何、物理参数可知,一般的传感器难以准确稳定的检测定位,因此采用循环动作的运动模式,避免由于机械失步而造成的动作故障。取料和焊接过程是整个工程中耗时最长的环节,需要采用动作效率高的运动方式,采用气动元件执行动作。为了提高机械使用效率,下料机构不能一直处于动作状态,因此采用累计计数的运动方式,即下料机构内达到一定数量的成品料之后才执行动作。整个焊接过程的工步如表 1 所示。

表 1 直角焊接机工步流程

Table 1 Working steps of welding machine for bus bars

工步	动作状态
送料	上升 停止 下降 上升 停止
取料	吸料 上升 平移 下降 停止
导正	伸出 停止 导正 停止
焊接	下降 上升 停止
下料	下降

4 结语

文中设计的光伏组件汇流条直角焊接机采用合理的运动方案以减少运动距离,设计了紧凑、对称的整体结构以提高空间利用率。高频焊接技术可以在 2 s 内完成焊接,提高了焊接速度与质量。通过样机的运行调试,检验了设备的稳定性与可靠性。因此,本设备可以满足实际生产中对光伏组件汇流条生产效率及品质的要求。

参考文献:

- [1] 王瑶. 单晶硅太阳能电池生产工艺的研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010:1-6.
- [2] 徐远志. 光伏产业现状分析及展望[J]. 云南冶金, 2014, 43(5): 47-53.
- [3] 陈敬欣, 孙啸, 房煜杰, 等. 聚烯烃热收缩材料在光伏组件封装中的应用研究[J]. 太阳能, 2013(7): 23-24.
- [4] WEBER A. Welding photovoltaic modules [J]. Assembly, 2011, 54(8): 30-33.
- [5] 王海东, 帅争锋, 王鹤, 等. 晶体硅太阳能电池焊接技术及其发展趋势[J]. 电子工艺技术, 2012, 33(3): 136-138.
- [6] 施学斌. 太阳能电池焊接工艺改进及全自动焊接机的介绍[J]. 制

造业自动化, 2013, 35(8): 17-28.

- [7] 宋天虎. 焊接技术的发展与未来[J]. 中国机械工程, 1994, 5(3): 61-63.
- [8] 王春喆, 赵维维, 郭政阳, 等. 光伏组件焊带短试验分析[J]. 科技与企业, 2014(4): 336-336.
- [9] SCHULTE-HUXEL H, KAJARI-SCHRODER S, BRENDDEL R. Thermal processes driving laser-welding for module interconnection [J]. IEEE photovoltaic specialist conference, 2015, 41(6): 304-307.
- [10] 任现坤, 徐振华, 姜言森, 等. 晶体硅太阳能电池焊接工艺研究[J]. 当代化工, 2013, 42(6): 781-783.
- [11] 张秋峰. TC4 钛合金与 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的扩散焊接工艺研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008: 1-6.
- [12] 乔东凯, 杨向宇, 李多民, 等. 基于 PLC 对三维立体运动系统的电气控制及应用[J]. 工程设计学报, 2012, 19(6): 465-468.
- [13] 王开, 刘美, 黄少辉, 等. 基于 PLC 与触摸屏控制的圆弧自动焊接机的设计[J]. 工业自动化, 2014, 43(8): 4-7.
- [14] 李丹, 周建平, 梁楚华, 等. T 形管自动焊接机控制系统设计[J]. 现代制造工程, 2007(12): 122-124.
- [15] 武晓志. 温挤压生产系统自动化设计与研发[D]. 镇江: 江苏大学, 2013: 61-65.

(上接第 15 页)

向刚度之间也有所不同;工作台在相同方向不同半径下, 2 种安装方式下的轴向刚度和径向刚度均不同, 且与工作台半径之间呈非线性关系, 整个工作台面轴向刚度和径向刚度变化较大。

2) 划分出了转台加工质量较好的区域, 即 $\varnothing 130 \sim \varnothing 210$ mm 的区域。卧式安装下该区域内静刚度变化量减小了 49.2%, 径向刚度变化量减小了 55.8%; 立式安装下该区域内静刚度变化量减小了 46.2%, 径向刚度变化量减小了 54.1%, 且刚度波动均变小。

3) 卧式安装和立式安装对转台的径向刚度大小和波动情况影响不大, 但卧式安装下转台比立式安装下的轴向刚度更好。

参考文献:

- [1] ZHANG Bi. An investigation of the effect of machine loop stiffness on grinding of ceramics [J]. CIRP annals-manufacturing technology, 2001, 50(1): 209-212.
- [2] 张功学, 杜贝, 刘澜, 等. 龙门加工中心工作台筋板布置对静刚度

的影响[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2015, 35(4): 136-139.

- [3] 孙永平, 王德伦, 马雅丽, 等. G 型结构立式镗铣机床位置刚度数值模拟与试验[J]. 大连理工大学学报, 2013(3): 364-369.
- [4] 李殿新, 赵沿民, 张建富, 等. 立式加工中心静刚度细化试验与有限元分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 262-267.
- [5] 袁卫华. MGK7350 数控高精度卧轴圆台平面磨静刚度分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2009: 11-12.
- [6] WANG J H, LI G, LIU Z F, et al. Studies of static and dynamic characteristics of the EDM machine based on the ANSYS workbench [J]. Strength of materials, 2015, 47(1): 87-93.
- [7] CHEN Dongju, FAN Jinwei, ZHANG Feihu. Dynamic and static characteristics of a hydrostatic spindle for machine tools [J]. Journal of manufacturing systems, 2012, 31(1): 26-33.
- [8] KOTESWARA RAO A B, SAHA S K, RAO P V M. Stiffness analysis of hexaslide machine tools [J]. Advanced robotics, 2005, 19(6): 671-693.
- [9] 刘悦, 汪劲松. 基于轴承及导轨接触刚度的混联机床静刚度研究及优化[J]. 机械工程学报, 2007, 43(9): 151-155.
- [10] 杜义康. 铣车复合加工中心直驱转台动静特性分析及结构优化[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2013: 44-45.