

自动化上下料系统叉取式RGV的设计与应用研究

贾大夺

云科智能制造(沈阳)有限公司 辽宁 沈阳 110023

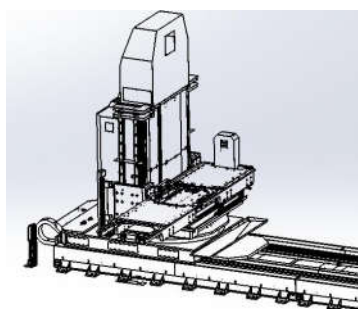
摘要: 随着工业的不断发展国能大部分小型机床设备已经完毕自动化升级,机床上下料行业中,中大型加工中心用户对自动化、信息化、智能化、升级充满信心。然而面对中大型加工中心的上下料搬运,必然需要解决“大负载”“大悬伸”问题,以前多采用进口关节机器人或者选用进口RGV实现,在此过程中我们的企业受到了货期太长,预算不足,后期服务不佳等诸多问题。我们自主品牌的中大型加工中心搬运系统必将打破用户的痛点,为全面实现自动化,信息化,智能化进一步贡献力量。

关键词: 卧加上下料;中大型机床上下料;RGV;叉取式货叉;子母板

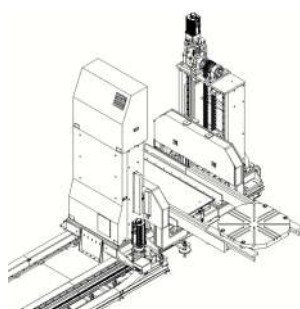
我国作为工业大国,工业强国,自20世纪90年代自动化开始兴起,随着科技的进步,计算机能力的不断提升,机械加工行业逐渐去人工化,走向自动化,数字化,智能化。之前我们的中大型加工中心一直以关节机器人和进口RGV作为上下料的首先选择。然而进口关节机器人负载600-2000kg型号价格高达200-300万人民币,货期与价格均不能被广大用户所接受。进口RGV以瑞士、日本、德国、意大利为首,价格一直居高不下,货期与后期服务一直被国外供应商遏制。因此诞生了一批自主品牌的上下料系统及叉取式RGV,主要用于解决2500kg以下负载搬运,典型代表设备卧式加工中心、立式车削中心、立式加工中心等。极大的降低了用户的使用成本,增强了用户的使用信心,提高项目国产化率,彻底解决中大型加工中心上下料难的问题,为卧式加工

中心,立式车削中心,立式加工中心等设备实现自动化,智能化提供坚实基础。

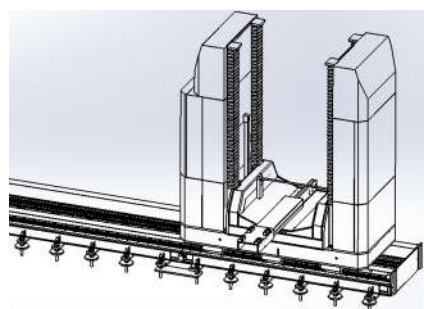
叉取式RGV由地轨机构,车体机构,提升机构,载货台机构,伸缩货叉组成。RGV通过叉取子板实现工件运输,将子板在机床加工中心,装卸站,缓存库位间搬运。RGV采用3轴移动方式,分为水平轴,提升轴,货叉伸缩轴。RGV工作时水平轴移动到目标,提升轴将货叉带动到指定高度,货叉轴伸出进入到子板下方,提升轴提升,子板母板脱离,货叉轴收回,RGV移动到目的地,货叉轴伸出,升降轴下落,货叉轴收缩,实现子板运输。3个轴均采用配备绝对值的伺服电机驱动,配备零点检测开关和激光测距系统,实现闭环控制,确保安全稳定运行。



常规双立柱式RGV



回转式RGV



大负载式RGV

传统RGV地轨(水平轴)采用“火车轮”配合国标钢轨,配备包夹轮形式驱动,实现地轨轴移动,当前行业中仍然有在应用,但是由于轨道铺设的直线度和两条轨道的平行度问题,导致抱夹轮与轨道侧面存在间隙,当RGV取料时载货台提升后,RGV将处于倾覆状态,即导向间隙产生的夹角,此夹角将在缩方向夹角放大,进而产生2个问题。

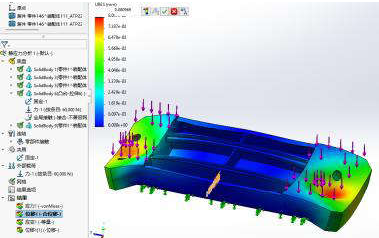
- (1) 夹角增加了子板和母板的对接难度。
- (2) 影响伸缩方向定位精度。

由此以上原因地轨机构采用碳钢焊接方式,采用直线导轨导向,齿轮齿条驱动,配备高度调节地脚,地脚调节高度 $\pm 20\text{mm}$ 。地脚采用空心螺栓方式调节高度,化学螺栓固定,最大程度消除底层的精度影响。

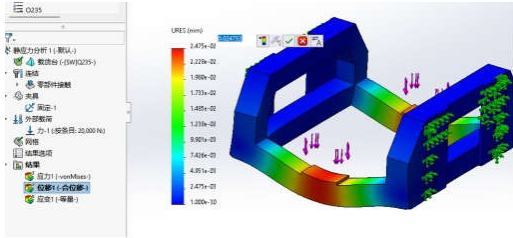
车身机构采用Q345B焊接,Q345B材料的优良力学

性能使其在受力状态下表现出更强的承载能力，有助于提高结构的整体稳定性和安全性。Q345B在低温环境下仍能保持良好的韧性，减少因温度变化导致的脆性破坏，适用于各种环境下的焊接结构。Q345材料在应用中可以减

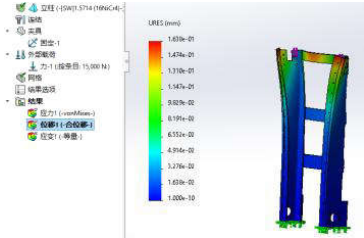
少材料的用量，降低项目成本。结构设计完毕后整体采用solidworks simulation进行模型强度校核，对应力集中部分加强，对合位移量大于0.1mm塑性变形处进行修改加强。以下为三个主体零件模型简化后的有限元分析结构。



底座滑板有限元分析



载货台有限元分析



立柱有限元分析

提升机构主要由立柱作为主体，减速电机作为动力带动负载升降，升降重量可由数百公斤到数吨，经由

导向机构实现自由度限制完成提升运动，常见组合形式如下：

导向方式	传动	效率	定位	效果	运行速度	优势	劣势
直线导轨	链条	90%	0.1mm	良好	< 15m/min	加工件要求低，成本低	需要定期保养点检链条
直线导轨	丝杠	95%	0.1mm	极佳	> 15m/min	提升速度高，减速机机座号小	零件加工要求高，成本高
直线导轨	齿条	95%	0.1mm	良好	< 15m/min	定位精度高，适合大负载，可以加配重	升降机构大，成本略高
包夹轮	齿条	95%	0.1mm	一般	< 15m/min	定位精度高，适合大负载，可以加配重	成本略高，载货台传动有间隙
包夹轮	钢丝绳	90%	2mm	较差	> 15m/min	成本低，常见与堆垛机式RGV	钢丝绳维护麻烦需要定期更换
包夹轮	链条	85%	0.1mm	较差	> 15m/min	成本低，常见与堆垛机式RGV	需要定期保养点检链条

当前行业内部主要以直线导轨+链条驱动，齿条+包夹轮驱动，包夹轮+链条形式，由于受到成本，使用场景，负载量等综合因素，均由使用。其中以直线导轨作为导向机构对机床上下料实现的效果最佳。可最大程度消除传动间隙产生的重复定位精度误差，尤其是对子板母板配合式上下料的机床表现尤其良好。

提升动力以1500kg负载（典型卧加子板负载）为例；链轮直径200mm；运行速度8m/min。加速度a = 0.1。设计载货台重量800kg，货叉700kg。合计提升重量约3000kg；链条效率90%

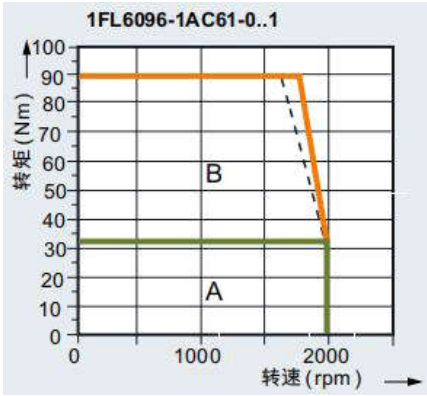
$M_{匀} = mgr = 3000kg \times 9.8 \times 100mm = 2940NM$ （理论需求扭矩）

$M_a = ma = 3000kg \times 0.2 = 100NM$ （加速需求扭矩）

$M_{总} = (2940NM + 100NM) \times f = 3240NM \times 1.2 = 3888NM$ （总需求扭矩）

预估功率 $P = mgv = 3000kg \times 9.8 \times 8m/min / 60min = 3920W$ ，带入传动效率 $\eta = 90\%$ ，减速机效率 $\eta = 97\%$ ，安全系数 $f = 1.25$ 功率估算 $P = 3920w / 0.9 / 0.97 \times 1.25 = 5612W$ 。

可配备西门子V90系列7kw电机1FL6096，额定转速2000r/min，额定扭矩33.4NM。



（电机扭矩数据）

减速机 $i = 2000r/min \times 0.2m \times 3.14 / 8m/min = 157$ ，减速比小于157可满足运行速度。扭矩需求减速机为2940/33.4 = 88，减速机减速比可以选择88-157，配合sew减速机K97系列123.93减速比减速机安全系数 $f = 1.15$ ，满足使用。

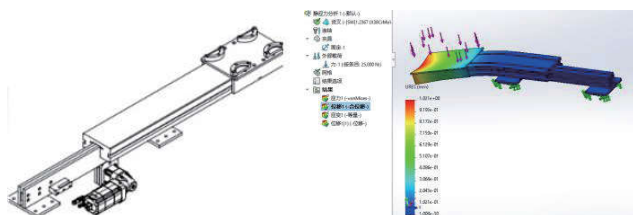
速度验算

$V = 2000 / 123.93 \times 3.14 \times 0.2 = 10.13m/min > \text{要求} 8m/min$ ，满足使用，且安全余量充足。

扭矩验算

$M = 33.4 \times 123.93 = 4139nm > \text{需求} 3888NM$ ，满足使用，且安全余量充足。

以上为典型RGV提升机构计算过程。



货叉模型与有限元分析

以1450取货长度为例，偏差角度 $0.6^{\circ} < 7^{\circ}$ （零点允许最小偏移角度量）。

伸缩货叉的主要承载部分，通常由高强度的钢材（42CrMo）制成，以确保其在搬运过程中具有足够的强度和刚性。货叉顶部采用凸轮随动器作为导向，一般采用全齿条驱动方案和齿轮齿条+链轮驱动方案，实现货叉伸缩功能，针对不同应用环境分类如下：

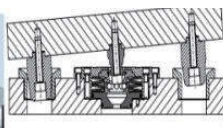
种类	优势	劣势	定位精度	备注
全齿条传动	精度高免维护	负载小成本高	$\pm 0.5\text{mm}$	挠度对齿轮齿条啮合有影响，允许最大挠度10mm
齿轮齿条+链条	负载大	需要维护检修	$\pm 2\text{mm}$	最大允许挠度20mm

RGV作为机床上下料的搬运主体，主要用来搬运子板+夹具，其中典型子板与母板配合如下图，采用粗定位导向，零点机构拉紧。

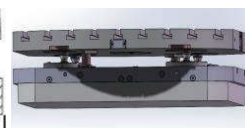
工装母板固定于机床台板上，配备零点快换“母头”，2个粗定位导向销，“母头”配备液压浮动功能。工装子板配备零点快换“公头”，2个粗定位导向孔。



母板和子板组合示意图



工装子板示意图



工装母板示意图

子母板的配合需要RGV具备稳定的定位性能，子板母板的定位配合要求，主要受到零点机构的特性影响，当前市场主流以Pascal、Schunk、System3R、ZARA等为主，传统零点定位对上下料位置要求极高，直接导致对RGV定位要求高，正因如此我们一直在加强RGV主体，

减少传动间隙，减少货叉挠度，从而降低子母板对接难度。当采用带浮动举升的零点系统后，将进一步降低定位销和销孔对接困难。子板和母板的定位导向机构，作为保护零点机构的屏障，导向间隙至关重要，经过多次项目实验收集数据如下：

零点机构分类	允许轴向角度	允许位移偏差	导向销间隙	对接效果
传统型零点	7°	± 0.3	0.5	有噪音
带浮动功能零点	15°	± 3	1	顺畅对接

随着制造业的发展和国家的大力推动，诸多大型企业已经开始产能提升计划和技改项目，中大型机床上下料的项目才是本次产能升级的核心，面对特殊企业，如；航天，兵器等企业行业敏感，必须最大程度提高国产化率，使得自主品牌的上下料系统迎来前所未有的机遇。

参考文献

- [1]王转.堆垛机货叉挠度计算[J].装备与技术.1998.2.
- [2]王金诺,于兰峰.起重运输机金属结构[M].北京;中国铁道出版社,2002.