



哈尔滨量具刃具集团有限责任公司 谭光恒



谭光恒

哈尔滨量具刃具集团有限责任公司副总工程师兼数控机床公司总经理。自2000年开始从事并联机床的研究,先后承担了哈尔滨市科技攻关项目“BXK-4027六足并联机床”、黑龙江省重点科技攻关项目“七轴联动混联式并联加工中心”、国家863计划“面向复杂曲面、叶片加工并联加工中心关键技术研究及应用”等项目,这些项目分获哈尔滨市科技进步二等奖、黑龙江省科技进步二等奖、机械行业科技进步二等奖。

**LINKS-EXE700 新一代并联机床**无论是在刚性、高速性能,还是在精度等方面较之前的并联机床都有大幅度的提高,可满足需灵活加工技术的航空航天和汽车工业等领域的需要。

自1994年第一台并联机床诞生之日起,其动态性能和灵活性便引起人们的高度重视,世界各国专家学者进行了大量的研究工作,并一度出现了并联机床热,并联机床风靡全球,曾有人把并联机床的诞生称为21世纪的机床革命。时至今日,尽管国内外专家学者一直在进行不懈的研究,但并联机床产业化方面的进展并不快。阻碍并联机床发展的原因主要有:

(1) 典型并联机构(如由六根伸缩杆组成Stewart机构)的工作范围有限,特别是动平台的姿态角一般在 $30^\circ$ 左右,使刀具可加工的区域很有限,大大限制了其应用范围。

(2) 为扩大并联机床的加工范

围,人们尝试着采用并联机构和串联机构相结合的混联技术构成新的机床,以期达到高灵活性和大的加工范围,但总的看来,现存结构的两自由度和三自由度活动关节还是比较多,降低了机床的刚度和精度,抑制了并联机床运动部分重量轻、高速性能好的优势;即使是国际上知名的Tricept机床,已降到7个活动关节、18个自由度,但仍存在着刚性不足的问题,特别是在加工范围的边缘区域,这种现象更为严重。尽管一些专业厂家对并联机床的关节做了大量的研究,在国际市场上也有销售,但昂贵的价格和其尚存的局限性,使没有没有在并联机床上得到广泛的应用。关节结构复杂且难以实现高刚性,制

约了各种并联机床特别是具有大的加工范围的混联机床的发展。

哈量集团应用瑞典爱克斯康(Exechon)公司的最新并联机床技术,开发的LINKS-EXE700新一代并联机床成功地解决了这一并联机床发展的瓶颈,该款机床无论是在刚性、高速性能,还是在精度等方面较之前的并联机床都有大幅度的提高,可满足需灵活加工技术的航空航天和汽车工业等领域的需要。

### LINKS-EXE700 并联机床的主要特点

LINKS-EXE700 并联机床的设计理念解决了前面所述的并联机床问题,并且突显了并联机床的所有目标,如高刚性与极好灵活性和动态性的结合。LINKS-EXE700 并联机床在各致动器与下平台之间的铰链仅有一个摆动的自由度,其中两个致动器与上平台之间的连接采用2个自由度的虎克铰结构,中间一个致动器与上平台连接为一个3个自由度的虎克铰,这种设计使得并联机构仅有6个活动关节,10个自由度,是目前世界上现存的并联机构中活动关节和自由度最少的。这种设计形成的实体结构可以完全去除施加给机床各方向的挠曲和扭矩力。当给机床主轴施加一个作用力时,动平台将产生扭转趋势,通过1个自由度的铰链和各致动器,将力均匀地传递给上平台,大大地提高了机床的刚性。

该机床的3根致动器也采用了与以前的并联机床明显不同的结构,以前的并联机构普遍采用套装的伸缩杆结构,刚性差,而LINKS-EXE700采用的是整体结构,刚性大幅度提高。

LINKS-EXE700 机床的主要技术指标和特殊性能可描述如下:

#### (1) 加工范围。

X轴2000mm;Y轴1500mm;Z轴500mm;A轴270°;B轴360°。

#### (2) 加速度。

X、Y轴:2g;Z轴:1g。

#### (3) 电主轴。

功率32kW;转矩28N·m;转速18000r/min;夹持刀柄CAPTO C6。

#### (4) 圆检测精度。

最大误差不超过0.01mm。

#### (5) 静态刚性。

该机床的设计静态刚性为15N/ $\mu\text{m}$ ,且在机床加工空间任何位置均保持一致。

#### (6) 在线生产验证ILP。

LINKS-EXE700 并联机床应用了一种最新的实时仿真软件,即ILP,该软件可以执行数控系统的操作指令(G代码和M代码),可以在屏幕上显示刀具、加工状况、工装位置及加工过程是否干涉,如果干涉,在干涉区域将显示不同颜色,并可以自动记录下出现干涉时的程序段,以便于修改程序。

#### (7) 强大的后置处理系统。

该机床采用了加拿大ICAM公司为它定制的功能强大的后置处理软件,该软件可兼容目前世界上流行的CAD/CAM软件,方便用户使用。

## 1 敏捷加工

传统3轴加工时,经常出现工件坐标系的参照点在工件内部或者与工件的中心线不一致的问题,因此调整工件在机床坐标系中的位置是一项耗时又耗资的工作。所以传统机床只好使用昂贵且不灵活的伺服控制夹具,或使用高级的脱机测量设备手工调整每个工件。

并联机床可以轻松地使用激光或传统测头并结合并联机床特有的5轴联动和高速度、高加速度运动的性能,在加工前能够很快地测完工件基准,并很容易地建立起工件坐标。特别是在大的表面上具有复合角度的工件,很多情况下,需要加工的部位是以工件的某一要素作为基准的,用并联机床最为快捷。

## 2 一次装夹加工

传统3轴加工的另外一个问题是工件所有6个面的加工最少需要2个夹具,有时用3个夹具。这种加工技术需要多次工件装夹,这会造成很多的问题。诸如,产生重复装夹误差,Cpk值降低,制造夹具的成本增高,使用过程中定期的校准、维护也给生产管理带来不少麻烦。

并联机床具有很大的灵活性,其主轴矢量方向可以覆盖空间的任意

## 并联机床的应用领域



方向,这种独特的性能使得并联机床从理论上能够在一次装夹便可加工工件的所有面。如果此技术采用上述测头的话,那么使用精度不必很高,但稳定性和刚性好、成本低的夹具就有可以了。由于产生重复装夹误差的因素随之消失,工件的Cpk值也会增加。同时,也节省了大量的辅助时间,提高了生产效率。

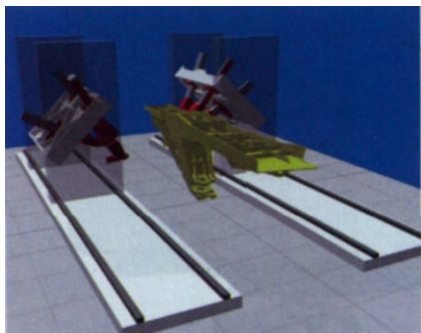
### 3 复合角度加工

随着飞机和汽车设计技术的不断升级,对复合角度和圆插补的复杂加工需求也与日俱增。如果采用传统的五轴龙门型机床做这类加工,5个笨重的轴需要不断再定位,机床在加工时很难高速运行,在加工过程中,通常还会出现路径跟随误差过大及生产率低等问题。

并联机床具有高度的动态性能,平面或者复合角度面对它来说都是一样的,因此它适于未来汽车制造期望的所有复杂加工。不难想象,飞机、火车或建筑机械上的部件需要更先进的加工技术,目前传统机床无法做到的,并联机床却可以实现。

### 4 多重路径混合加工

三轴传统加工中的一个老问题就是很难加工完美的纯平表面。采用多重路径加工要求机床的刚性和精度非常好,即使条件满足,也不可能完全避免出现路径之间的纹楞。传统机床主要通过两种途径来解决这个问题,一是使用运动轨迹可覆盖整个表面的刀具,但需要机床具有更大的功率和更好的刚性;二是从机



双面加工多用途机床加工飞机零件仿真图

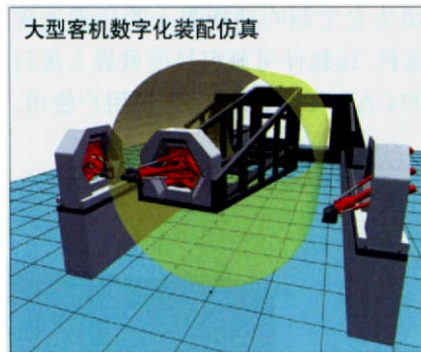
械方面将主轴沿运动方向上倾斜很小的角度,所有的走刀路径按同一方向切削,效率很低。

前面提到,并联机床不管其主轴与工件表面是否垂直,用一个按工件被加工面确定的倾角就很容易给并联机床进行预编程,加工表面时就用这个角度。另外,加工钛合金等硬度高的材料时,刀具背面不接触工件,增加了刀具的使用寿命。

## 应用案例

由于该机床的3个致动器均装在上平台上,与其他环节无关,故上平台可以与地面以任何夹角布置,如 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 等,甚至可以使致动器向上布置,这样就给机床设计和现场应用,特别是飞机制造领域带来了极大的方便。现今,如上所述的布置,都被一些飞机制造公司所选用。

### 1 各种大型型材加工

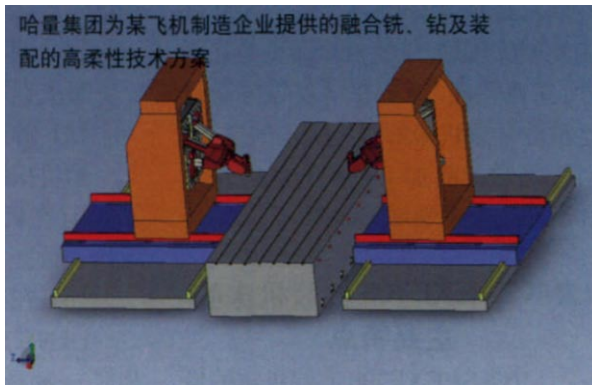


加工大型冷拔型材,由于工件自身有一定的扭曲,按传统的方式加工极为困难,甚至无法加工;应用并联机床则很容易来完成这项工作。其加工机理就是充分利用该机床的灵活、敏捷加工的特点。加工时将工件随意装夹在工作台上,工件是否有少量的弹性变形关系不大,先用十字激光瞄准装置快速检测出工件侧面的法线方向及边缘位置,根据这些数据,建立工件坐标系,确保加工部位与边缘的距离,并使刀具与加工表面

垂直,然后进行加工,这样,不必使用昂贵且需复杂调直的夹具,可大幅度地降低加工成本。

### 2 数字化装配

航空航天领域的数字化装配工



程是我国即将实施的重大战略项目,由于并联机床可实现敏捷加工,可以用激光瞄准装置非常快捷地以工件的某一要素(或工装上的定位点)来重新建立工件坐标系,并可方便地找到曲面工件的法向,确保铣削或钻孔时沿法向进刀,从而保证加工精度。另外,该机床配置自动铆接装置,即可实现一次完成钻孔、铆接工作,大大提高装配质量和效率。实现该工艺过程的方法是使用2台或更多台的LINKS-EXE700型机床,两面对置,钻孔时,各自分摊一部分,铆接时,两台机床核心构件联合工作。哈量集团为某飞机制造企业制定了高柔性的、可铣钻又可实现数字化装配的技术方案。

为扩大机床的加工范围,在每一台机床上增加了纵向和竖直方向的导轨,以带动工作头移动。加工时,将其移动到加工区域后,将这两个方向的导轨锁紧,利用机床核心部分的运动来加工,从而保证了机床的高速性。加工完该区域后,机床再移动到下一个工作区域,重复上述过程,这样就可以实现大工件的高速加工,在每次移动到新的位置时,可以根据加工工艺的要求,在工件或夹具上建立新的坐标系。

### 3 大型或超大型工件的倒置式加工

该机床的灵活性还体现在飞机大型工件的加工中,并联机床的高速、灵活、可加工复合角度及可重构的特点可充分展示,有的飞机制造公司已确定了将机翼等大型构件支撑在机床上面,机床在工件下面加工,将机床布置成致动器向上的方案,加工时,仍然采用以工件的要素作为参考点建立工件坐标系,进行分段加工,机床从一个区域移动到另一个区域时,通过一个气浮装置将机床整体浮起,用拖车或机床自身的驱动装置将机床整体移动,借助 GPS 定位系统,对机床进行初步的位置确定,再通过激光定位装置在本区域建立新的工件坐标系,随后即可对该区域进行加工。该方案的特点是取消了移动机床的两个方向的导轨,机床的运动和工件的工装设计更加灵活,适用范围广。

#### 4 自动化及人工装配的结合

一般情况下,钻孔是飞机装配过程中最为关键的工序之一。另外一种技术方案是双面装配,机床安装在夹具的一侧,机床主要用于钻孔、清理毛刺等,另一面由人工手动装入铆钉,然后配合着机床共同进行铆接工作,如此布置机床,取消了自动铆接系统,且仅用一台机床的核心部件,相对来讲,机床造价大幅度降低,机床加工及铆接的编程也相对简单,易于掌握。

哈量曾为某航空公司提供了将自动和人工装配结合的技术方案。

#### 5 模拟飞机框架结构五面加工及直升飞机框架高速加工

对于飞机框架的内、外、上、下、左、右各侧面的钻孔和加工,应用传统机床很难在一台机床上一次装夹来完成全部工序,而应用 LINKS-EXE 机床则很容易实现,只要采用合理的装夹方式,将各需要加工的表面暴露出来,就可实现一次装夹,完成各表面的加工。该机床还特别适合加工航空薄壁件,由于该机床相对

龙门铣床等大型机床而言,具有较高的速度和加速度,故在加工形状相对复杂的铝合金薄壁件时,可始终保持高效加工,特别是在插补加工圆弧或其他各种曲线轨迹时,与传统的龙门铣床相比,该特点尤为突出。

#### 6 飞机修理

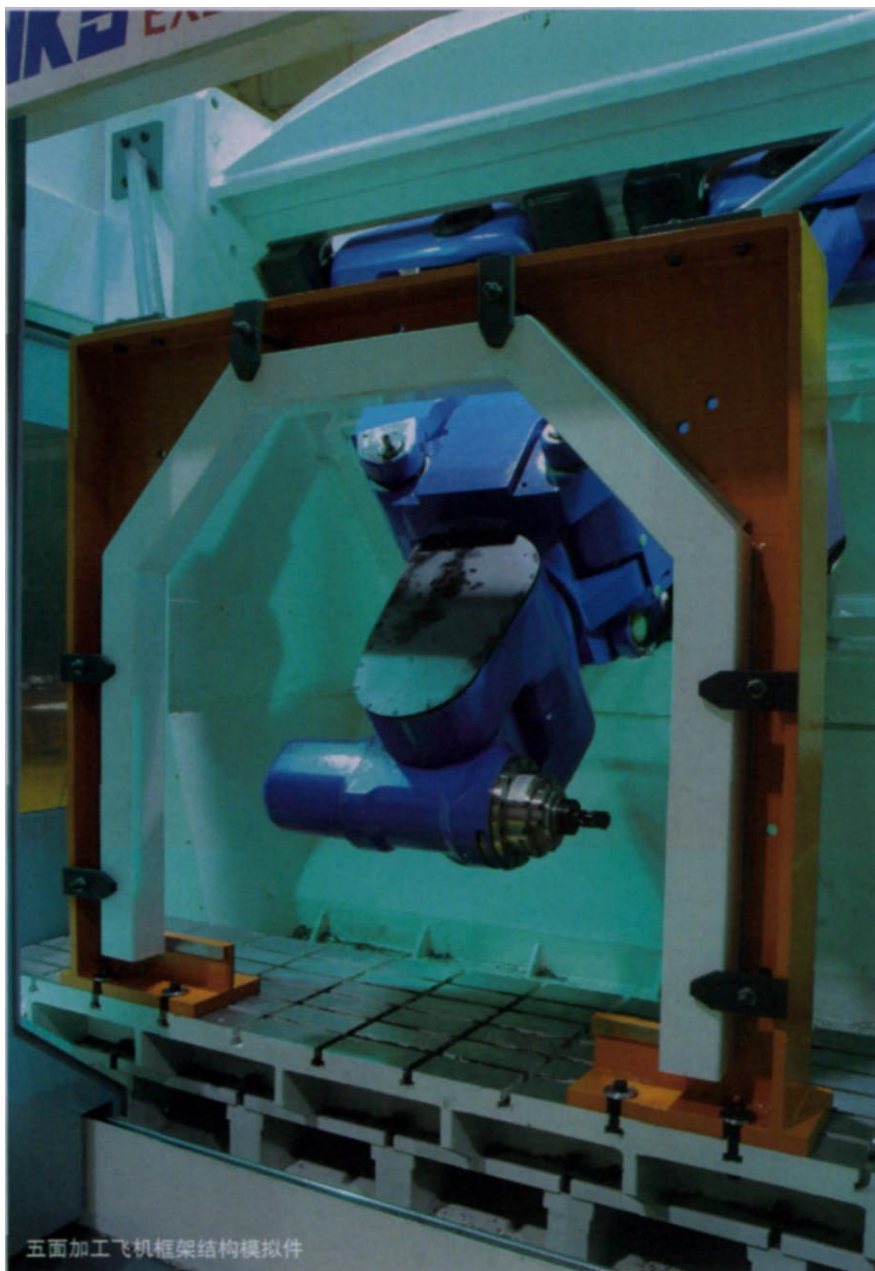
在机床上增加一个垂直方向的运动,可使机床平台上下移动,可以用于飞机的蒙皮修理,将机床移至飞机蒙皮破损点附近,铣掉破损面蒙皮,并在四周钻孔,采用激光瞄准系统,找出飞机蒙皮的法线,以确保

在加工时无论是铣削还是钻孔工序,都可以方便地保持刀具轴线落在飞机蒙皮的法线上,再按相应的工艺清洗、涂胶,将事先加工好的新蒙皮粘接,并进行铆接即可。

#### 7 加工大型叶片

在工作台上安装两台同步运动的数控转台,与机床核心的五轴构成新的六轴联动系统,可以旋转加工大型叶片(如核电站汽轮机的叶片),由于该机床的高速性能优越,故用该机床可以实现高效率叶片加工。

(责编 金卯)



五面加工飞机框架结构模拟件

# 航空制造技术

2008年第6期 总第303期

50  
创造价值  
贡献航空  
1958—2008

CCMT  
特别策划

封面文章

新型并联机床

论坛

自主创新 助力国防

市场报告

2007年机床工具行业

经济运行分析及2008年预测

特别关注

海克斯康，全球计量技术的领导者

专稿

高温吸波材料研究应用现状



www.mte.net.cn

ISSN 1671-833X



06