

五轴联动叶片加工中心 发展现状及其结构特点

沈阳机床股份有限公司 (辽宁 110142) 颜克辉 孔详志 罗志久 徐吉存 李 鹏

叶片是汽轮机、航空航天发动机等的核心部件之一。叶片型面为空间曲面,形状复杂,叶根圆角由多个变直径的圆弧组成,有的叶身中部还带有阻尼台。国内目前加工叶片主要采用以下设备和方法。

(1) 三轴机床 用来加工形状相对简单的叶片,先铣削叶片一面,然后翻面装夹,再铣削另一面。此方法往往需要多次的翻面,是一种低效率的加工方法,但是该方法应用较早,积累了大量的经验,目前国内还在用。

(2) 配A轴的四轴机床 无需手动翻面,效率有所提高。

(3) 五轴联动叶片加工中心 当叶片有阻尼台或者加工两端有干涉时,用五轴联动叶片加工中心采用螺旋加工法来加工叶片,无论从加工质量还是加工效率方面均有质的飞跃。

目前,叶片的形状越来越复杂,三轴、四轴联动机床已难以加工,同时市场对叶片的需求量巨大,叶片加工能力严重不足。国外五轴联动叶片加工中心,不但购买、维修价格昂贵而且购买受限。

五轴联动叶片加工中心的发展现状

五轴联动叶片加工中心是专门用来加工汽轮机、航空航天发动机等叶片和其他窄长型具有空间复杂曲面零件的机床。该类型机床由X、Y、Z、A和B轴组成,A轴为叶片的回转轴,B轴为刀具摆动轴,3个直线轴X、Y、Z的布置类似立式加工中心的布置形式,但相对立式加工中心Y、Z轴行程短一些,X轴行程长一些,如果想满足长叶片的加工,X轴行程就需更长。

国内五轴联动叶片加工中心起步较晚,生产该类型机床的有北京机电院高科技股份有限公司、新瑞机床(集团)有限公司和四川长征机床集团有限公司

等。目前,国内的航空航天发动机厂、汽轮机厂以及叶片专业生产厂,使用的大多是进口五轴联动叶片加工中心,叶片的精加工市场完全被国外机床厂家所垄断。

国外生产五轴联动叶片加工中心的厂家比较知名的有瑞士的斯达拉格—海科特(Starrag Heckert)、利吉特(Liechti)、威力铭—马黛尔(Willemin Macodel),意大利的法拉利(C.B.Ferrari),德国的哈缪尔(Hamucl)等。

五轴联动叶片加工中心机床的结构特点

如果以B轴与刀具主轴的联接形式来划分,可把国内外的五轴联动叶片加工中心分为以下几类:

(1) 以Starrag Heckert为代表的B轴回转中心与刀具主轴的回转中心成 45° Starrag Heckert是专业生产五轴联动叶片加工中心厂家中最知名的,其机床规格齐全,结构特点鲜明(见图1);B轴的回转中心与刀具主轴成 45° ,同时刀具主轴的刀尖处在B轴的回转中心上。这样可消除多余的X、Z轴插补运动,提高工件的表面加工质量;同时,由切削力产生的扭矩也不会被传输到B轴。直线轴X、Z通过工件移动来实现,直线轴Y通过刀具移动来实现。

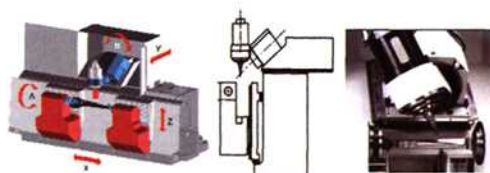


图 1

(2) 以C.B.Ferrari、Liechti等为代表的B轴回转中心与刀具主轴的回转中心成 90° B轴的回转中心与刀具主轴的回转中心成 90° ,可以有两种方案:方案一,B轴回转中心基本与刀具主轴的重心重合;方案二,B轴

回转中心偏离刀具主轴重心,而与刀尖部位基本重合。

方案一的优点是刀具主轴的重心基本在其摆动中心上,摆动时比较平衡,机械设计比较简单;缺点是B轴每转动一个角度,X、Z轴都要进行插补。理论上,插补是可以的,但实际上B轴摆动角度必然会有误差,相应X、Z轴的插补也会有误差。B轴摆动角度的误差越大,带来刀尖位置的误差越大,这就要求B轴摆动的角度非常准确,给制造带来一定困难。另外,在叶片加工中,B轴摆动频繁,X、Z轴的插补运动也是随时在进行的,相对于方案二,这些是多余的运动。

方案二的优点显而易见,由于刀尖位置基本在B轴回转中心上,或者离其很近,B轴摆动时刀尖位置基本不变,或者需要插补,插补的量也非常小。这样,即使B轴摆动角度有些误差,也不会影响刀尖的位置,或影响非常小。这无疑可以提高加工精度,降低对B轴的要求,同时避免了X、Z轴频繁的插补运动。但是由于刀具主轴的重心偏离B轴摆动中心较大,在B轴摆动时带来偏心力矩的影响。当然,可以将刀具主轴摆动所产生的偏心力矩平衡掉,这给机械设计也带来一些麻烦。

C.B.Ferrari在专业生产叶片加工机床的厂家中也是非常知名的。其机床规格齐全,长、短叶片均可加工,刀具通过立柱、滑板等部件实现X、Y、Z轴运动(见图2)。



图 2

Liechti的五轴联动叶片加工中心主要是加工长叶片的机床。其XL系列机床具有用弧形导轨引导的平衡刀具主轴摆动所产生的偏心力矩机构,刀具通过立柱、滑板等部件实现X、Y、Z轴运动,立柱与水平面成20°倾角,有利于排屑和切削液的回收(见图3)。

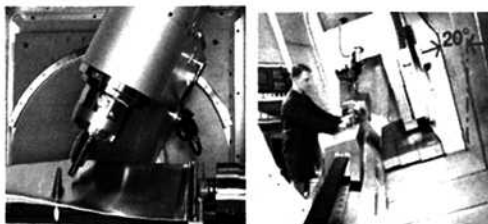


图 3

Willemin Macodel的五轴联动叶片加工中心属于小

规格的机床。其床身为“山”形;B轴轴线偏离刀具主轴中心,而与刀尖部位基本重合;刀具通过立柱、滑板等部件实现X、Y、Z轴运动,其刀具主轴没有平衡机构(见图4)。

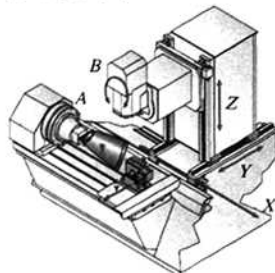


图 4

北京机电院高科技股份有限公司是国内第一家成功研制五轴联动叶片加工中心的厂家,其XKH系列机床是刀具通过立柱、滑板等部件实现X、Z轴运动,工件实现Y轴运动;B轴轴线偏离刀具主轴中心,而与刀尖部位基本重合(见图5);A、B轴可以采用力矩电动机驱动,也可以选配机械结构驱动。

新瑞机床(集团)有限公司的V5X1800机床的滑板与水平面成15°,刀具通过立柱、滑板等部件实现X、Y、Z轴运动,A轴、副A轴采用力矩电动机同步驱动,B轴采用机械结构,具有用弧形导轨引导的平衡刀具主轴摆动所产生的偏心力矩机构(见图6)。

(3)以Hamuel、AgieCharmilles等为代表的其他结构 Hamuel公司的HSTM系列五轴联动叶片加工中心采用45°斜床身,Y、Z轴运动通过刀具实现,X轴运动通过工件实现,B轴为“U”形结构(见图7)。



图5 XKH800



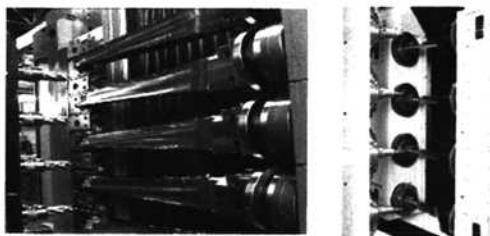
图6 V5X1800



图7 HSTM500

(4) 以Starrag Heckert、Liechti和Willemin Macodel等为代表的多主轴叶片加工中心。多主轴叶片加工中心可以一次同时加工多个叶片，在机床成本、占地面积等因素增加有限的条件下提高加工效率。

Starrag Heckert的NX系列是多主轴的五轴联动叶片加工中心，一次可以同时加工4个叶片，生产效率大幅提高（见图8）。



(a) NX 154

(b) NX 254

图 8

Liechti公司有带双A轴、双刀具主轴结构的五轴联动叶片加工中心g-mill 550 twin，一次可以同时加工2个叶片（见图9）。

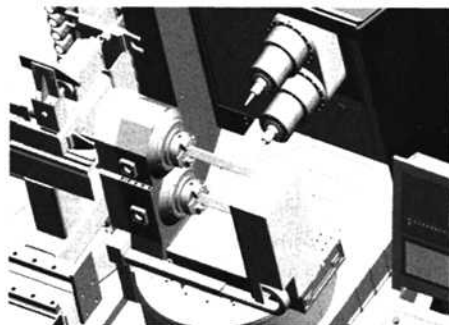


图9 g-mill 550 twin

Willemin Macodel的W-408TB、W-508TB属于小规格的叶片加工中心，最大加工长度仅为262mm，刀具主轴转速30 000r/min，采用双刀具主轴结构（见图10）。

(5) 以瑞典Neos Robotics、哈量集团为代表的并联叶片加工中心。Neos Robotics公司以其并联机床而闻名，其公司的Tricept型、Exechon型并联机床占有70%以上相关市场。在航空领域的叶片加工中有较广泛应用。国内的哈量集团已开发出了LINKS-HL5001A、LINKS-EXE700并联机床用于叶片等具有复杂曲面零件的加工。

由于叶片质量相对较轻，五轴联动叶片加工中心

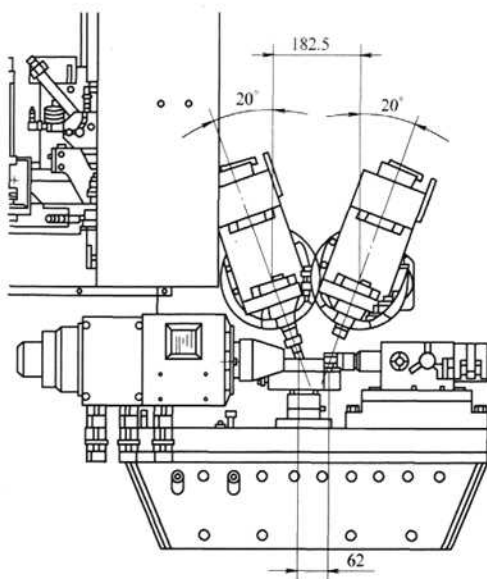


图 10

还可以按工件和刀具主轴的运动方式的不同进行划分。比如有的机床是刀具主轴通过立柱、滑板等部件实现X、Y、Z轴运动；有的是刀具主轴实现X、Z轴运动，工件实现Y轴运动；还有的是刀具主轴只实现Y轴运动，而工件实现X、Z轴运动。

结语

国外五轴联动叶片加工中心的共同特点是A、B轴普遍采用力矩电动机，刀具主轴采用电主轴结构，刀具转速在12 000~20 000r/min之间，甚至更高，刀具接口以HSK-A63居多，各直线轴快移速度在20~50m/min，以30m/min、40m/min居多。刀具主轴的刀尖普遍处在B轴的回转中心上或其附近，以提高工件表面加工质量，减少B轴所承受的切削力扭矩。

国内的五轴联动叶片加工中心起步较晚，各参数（各轴快移、精度、刀具主轴转速等）较国外相比均较低，机床结构也不如国外灵活多变。已经开发的五轴联动叶片加工中心结构主要是参考国外的同类产品，多数处于样机试制阶段，商品化的较少。

鉴于叶片加工在航空航天、能源、国防等领域中的重要战略地位，开发具有自主知识产权的五轴联动叶片加工中心意义重大。MW

（收稿日期：20101201）