

基于 DMU125P 的一种复杂空间斜面加工方法

张泽斌^{1,2}, 张立平¹, 刘刚¹, 乔克¹, 苗健宇¹

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 空间光学部, 长春 130033; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 采用人机结合的加工思路, 解决了结构复杂的光学仪器支架的加工问题, 充分发挥了 125P 五轴联动加工中心以及 Millplus 操作系统的优势, 实现了人、机、软件的互动, 有效保证了光学仪器的指向精度, 大大提高了加工精度和效率, 降低了成本。

关键词: 5 轴联动加工中心; 人机互动; Millplus; 光学仪器; 支架; 指向精度

中图分类号: TP305

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2008) 01 - 0053 - 04

Method of Processing the Complicated Inclined Plane Which Based on DMU 125P

ZHANG Zebin^{1,2} ZHANG Liping¹ LIU Gang¹ QIAO Ke¹ MIAO Jianyu¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract: The thought of man-machine conversation was used to solve a list of problems when machining the baroque bracket which used in optical instrument. The advantage of 5 axis CNC Machining Center and Millplus operating system was exerted perfectly. It achieved the conversation among human, machine and software. It succeeded in insuring the pointing precision of optical instrument, and making the job more and more efficient. It reduced the cost and accomplished the task.

Key words: 5 axis CNC Machining Center; Man-machine conversation; Millplus; Optical instrument; bracket; Pointing precision

对于高精度的光学设备, 其光轴指向和光轴指向的稳定性都有较高的要求, 尤其是在恶劣的力学环境下工作的光学仪器, 不仅对光学仪器本身有较高的设计要求, 用于保持光学仪器光轴指向的支架也同样要有很高结构稳定性要求, 而对于夹角关系复杂的整体光学设备, 其支架有着不规则的外形, 这给支架的加工制造带来了很大的困难。本文探讨一种基于 DMU125P 五轴联动加工中心的简易的加工方法。

1 光学仪器支架的设计

设计一种光学仪器支架结构形式如图 1 所示。此支架由 3 个圆柱筒状结构和一个空心圆锥结构相

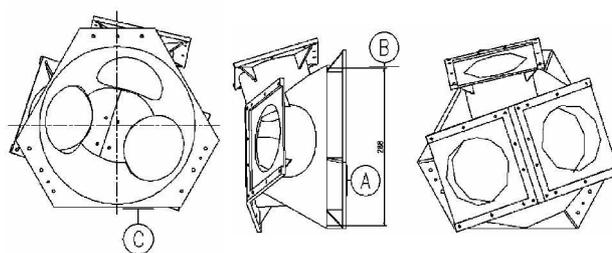


图 1 光学仪器支架结构
Fig.1 Structure of the bracket

贯而成, 每个圆柱筒的一端有方形法兰, 用于连接光学仪器。圆锥底面再通过一个大的圆环与底面六边形板状结构相连, 圆环外圆与底面六边形棱边相切。六边形上的 9 个光孔和 2 个销孔起固定整台光学设备的作用。支架采用铸造成型, 材料选用牌号

收稿日期: 2007-10-13

项目基金: 总装备部资助项目

作者简介: 张泽斌 (1982-), 男, 硕士, 实习研究员, 主要从事精密机械结构设计, E-mail: ciompzzb@sohu.com.

通讯作者: 张立平 (1957-), 男, 研究员, 主要从事光机结构总体设计。

为 ZTC4 的钛合金材料。由于铸造角度关系难以精确保证,铸造中将所有加工面都留了较大的加工余量,所有精确的夹角关系通过加工实现。不难看出,此支架的加工精度直接决定了其上安装的光学

表 1 机床加工性能比较表

Tab.1 machining capability of Machine tools

	普铣	光学坐标镗床	五轴联动加工中心
空间夹角精度	10	15	5
空间距离和位置精度	$\pm 0.2\text{mm}$	$\pm 0.03\text{mm}$	$\pm 0.015\text{mm}$
斜面内空刀面	加工效果很差	加工效果很差	插补加工效果很好
加工时如何测量	基本上靠划线,加工精度很差,人为因素起关键作用	靠表通过机床坐标值测量,人为因素关键	三维测头测量精度很高,程序控制,基本无人因素
空间尺寸计算	靠划线时计算	计算过程复杂,容易造成误差过大,影响整体精度	计算简单,机床操作系统内部计算,误差很小
斜面上的孔	孔位靠划线,钻头钻孔或用镗刀镗孔	移动坐标值可加工出位置比较准确的孔,钻头钻孔或用镗刀镗孔	可加工出位置很高的孔,除钻孔和镗孔外可用铣刀插补铣圆孔
加工斜面所用时间	12 小时	14 小时	3 小时
成本(单件加工)	较高(来自辅助成本)	较高	一般

仪器的指向精度,根据光学设备要求,光轴指向精度应优于 10',这样的结构和精度给加工带来了一定难度。

2 机床的选择

采用传统的加工方法进行加工,不仅需要繁琐的(空间角度位置关系)计算,而且由于机床主轴自由度的限制,需要设计复杂的夹具才能实现对此工件的加工,这对于单件小批量生产来说大大提高了生产成本。此外,普通机床的加工精度有限以及大量的人为因素引起的误差的引入,这都将导致产品难以满足使用要求。

光学坐标镗床中的加工误差除了有量具误差、机床定位精度和重复定位精度带来的误差、机床几何精度误差、所用基准面的误差影响外,装夹变形引起的误差以及大量的人为误差都不可避免。

采用德国 DECKEL MAHO 公司生产的 DMU125P 五轴联动加工中心,配备 HEIDENHAIN 公司的 Millplus 操作系统,无须专门的夹具,只需一次装夹。其三维测头误差小于 $1\mu\text{m}$,另外其机床定位精度和重复定位精度为加工中心本身的一个指标,带来的误差归为系统误差,可在加工中控制其对加工精度的影响。

通过实际操作中的验证,比较了采用普通铣床,光学坐标镗床和加工中心进行加工的优缺点。归纳出三类机床的加工性能如表 1 所示。

由表可以看出,在加工此类零件时,五轴联动

加工中心存在较大的优势,因此选择 125P 五轴联动加工中心进行加工。

3 工艺过程

3.1 坐标系设置

根据 125P 五轴联动加工中心的加工要求,在程序编制过程中需要定义各被加工面的坐标位置关系。在这里定义 3 个用于安装光学仪器的法兰面分别为法兰 1、法兰 2、法兰 3,如图 2 所示。

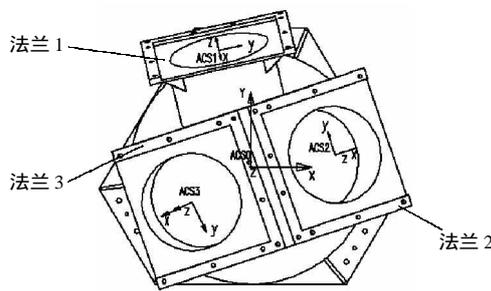


图 2 坐标系设置

Fig.2 coordinates setting

每个法兰面上设置一个坐标系;沿圆筒轴线方向指向设备以外作为+Z轴,六边形安装面的中心建立如图 2 所示坐标系。根据仪器要求,ACS1, ACS2, ACS3 分别相对于 ACS0 的夹角关系如表 2 所示(为了说明问题,这里只给出了粗略值),可以看出,三个被加工面都与装夹基准有着复杂的空间角度关系,法兰 1 的加工需要刀具主轴(或工件)进行两个方向的转动以及三个方向的移动才能实现对刀(ACS1 的+Y 轴平行于安装基准面),法兰 2、法兰 3 则需要刀具和工件进行六个自由度的相对运动方可实现对刀。

3.2 基准设置与装夹

零件结构不规则,给装夹带来了一定困难。在实际加工中选择了 3 个加工基准如图 1 所示,底面

表 2 各坐标轴夹角关系表 (单位:度)

Tab.2 angles among coordinates

	ACS1			ACS2			ACS3		
	+X 轴	+Y 轴	+Z 轴	+X 轴	+Y 轴	+Z 轴	+X 轴	+Y 轴	+Z 轴
+X 轴	86.4	12.7	102.2	30.0	108.7	67.8	160.1	71.3	96.5
ACS0 +Y 轴	106.4	77.3	20.9	72.5	18.7	83.5	108.4	161.3	93.1
+Z 轴	16.8	90.0	73.2	113.2	89.2	23.2	97.2	90.8	732

精加工用作基准 A, 要求达到平面度 $5\mu\text{m}$, 基准 A 与加工中心工作台面接触; 精车大圆环内表面, 用作基准 B, 靠基准 B 找正工件上 ACS0 坐标系的 +Z 轴与工作台的中心, 用胎具装夹; 棱边加工, 用作基准 C, 再通过基准 C 调整工件与刀具的位置关系; 最后压紧工件。三个基准实现了对工件的定位。此处引入的装夹误差在传统机床甚至普通的数控机床上难以避免, 而在 125P 上则可在加工中心的 Millplus 操作系统中自动修正, 提高了加工精度。

3.3 编程与加工

由于是单件生产, 计算所给出的坐标位置在装夹摆正之后会发生变化, 这对于 125P 来说并不影响其加工精度。在 Millplus 操作系统中采用增量/绝对坐标偏移的方法实现对刀和走刀, 对于此加工中心, 坐标系原点在刀具的刀头固定不变, 刀轴为 Z 轴, X、Y、Z 对应 A、B、C 轴, G53 为机床机械坐标系, 不可清零, 不可变。G54-G59 为工件坐标系, 可任意设置, 随意清零, 十分方便。根据仪器要求, 重点要保证三个法兰面之间的相对位置关系, 因此一次装夹, 三个法兰面的加工使用同样的加工基准就显得非常重要。而这在 125P 中可以轻易实现。下面具体说明各个法兰面的加工。

3.3.1 法兰 1 的加工过程

刀具与被加工面的相对位置关系如图 3 所示, 1 为被加工面与基面的交线, α_1 为被加工面与 A 基准面的实际夹角。 β_1 为工作台的转角。

由于刀具刀头与转台中心 (O 点) 的位置关系在加工中心内部是已知的, 因此只要再知道 O 点在坐标系 ACS1 中的坐标, 便可实现对刀, 即将刀具刀头置于 ACS1 的坐标原点, 转动 C 轴, 使 1 面与 ACS0 坐标系的 Y 轴平行, 也即 ACS1 中的 Y 轴与加工中心的 B 轴平行, 在安全距离 (位置) 情况下, 采用程序 G7 B5= α L1=2 使刀具绕 B 轴旋转角度 α , 使之与 1 面垂直, 移动 X、Y、Z 坐标, 使刀尖移动到 1 面坐标原点, 此时在 MDI 状态下手动坐标系清零, 只要简单地给出刀具沿 X 轴、y 轴的位移量即可实现加工, 通过三轴联动, 插补 1 面。

在 Pro/Engineering 软件中对工件进行三维立体造型, 以上所需数据在软件中可以很容易获取, 在实际操作中只要将数据赋到程序中即可。

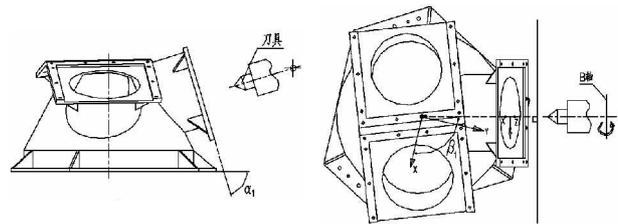


图 3 法兰 1 的加工示意图

Fig.3 sketch map of machining flange1

3.3.2 法兰 2 的加工

类似于法兰 1 的加工, 给出 O 点在坐标系 ACS2 中的坐标和刀具的转角 α , 以及 C 轴的转角 β , 可实现对刀。与加工法兰 1 不同之处在于加工过程中刀具移动的轨迹并不平行于任何一个坐标轴, 如图 4 所示, ACS1 上的任何一个坐标轴均与 B 轴不平行, 这在 Millplus 操作系统中也并非难题, 只要再给出被加工面上刀具轨迹与坐标轴的夹角, 加工中心就能计算出刀具轨迹实现加工。

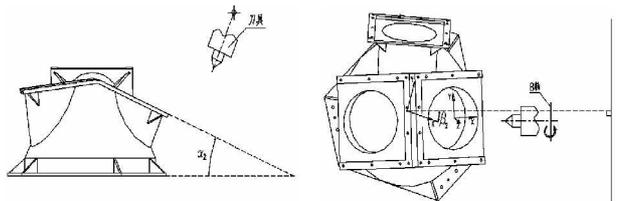


图 4 法兰 2 的加工示意图

Fig.4 sketch map of machining flange2

3.3.3 法兰 3 的加工

同法兰 2 的加工类似, 这里不再赘述。

最后, 以法兰 2 的加工为例说明程序, 法兰 2 的加工程序编制如下:

```

G17 G54 G90
T8 M6 .....调用 φ 14 合金立铣刀
G0 B0
M3 S1200
Z 300
C0
G7 B5=23.2 L1=2.....倾斜操作平面
G0 X0 Y0
Z 10

```

G1 Z0 F200
 G 201 Y0.2 Z-6 B2 I50.....始型腔轮廓循环，
 加工法兰 2
 J1 K1 R7 F200 N1=9991 F2=80
 G 203 X69.18 Y -109.34 Z0 N1=9993.....开始
 型腔轮廓描述
 G1 X -111.56 Y-88.05
 X -88.05 Y111.56
 X92.697 Y90.27
 X69.18 Y-109.34
 G204...终止型腔轮廓描述，结束法兰 2 的加工
 G202.....终止型腔轮廓循环
 G200.....创建型腔铣循环宏程序
 G201 Y0.3 Z-10 B2 I50 J1 K1 R7 F200 N1=9999 F2=80
 G203 X71.8 Y-86.99 Z0 N1=9994
 G1 X -86.58 Y -68.33
 X -68.33 Y 86.58
 X71.8 Y-86.99
 G204
 G202
 G 0 Z300
 G7 L1=1 M30.....程序结束

4 结论

这种加工方法抛开传统的依赖于机械图纸的加

工方法，采用人机结合的加工思路，利用三维软件的仿真优势，提供加工中心所需的复杂的加工数据，实现了人、机、软件的互动，有效解决了结构复杂的光学仪器支架的加工问题，充分发挥了 125P 五轴联动加工中心以及 Millplus 操作系统的优势，通过一次装夹实现了各法兰面的精确加工，有效保证了光学仪器的指向精度，对于单件小批量的产品来说，采用这种加工方法大大提高了加工精度和效率，降低了成本，完成了图纸加工较难完成的任务。

这种加工思路理论上完全可行，在实际生产中也有一定的实用性和代表性。采用此方法加工的零件作为关键件之一已应用于某大型航天项目。

参考文献

- [1] HEIDENHAIN. User's manual for Conversation format [M]. Germany ,HEIDENHAIN ,2002.
- [2] 张桂木 杨玉海 赵树国 等. 钛合金斜轴机加工工艺研究 [J].机械设计与制造 2007 ,1(1) 89-90.
- [3] 王德跃 王华乔 李新洲. DMU125P 数控立卧转换加工中心的应用与编程 [J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2004 ,10(10) :72-74 .

(上接第 59 页)

检测系统的水平分辨率为 $\eta_1(\mu\text{m}/\text{pixel})$ ，取决于显微物镜的有效放大率 β 和 CCD 相机的水平分辨率 w ，考虑到增大该系统的测量范围，取 $\beta=3\times$ ，CCD 相机的有效像素 752 (h) \times 582 (v) pixel，对应的实际尺寸为 6.4 (h) \times 4.8 (v) mm，则系统的水平分辨率为：

$$\eta_1 = w/\beta = 6.4/(752 \times 3) = 2.8 \mu\text{m}/\text{pixel};$$

同理，可求得系统的垂直分辨率 $\eta_2 = 2.7 / \text{pixel}$ 。可见，检测系统的分辨率与显微物镜的有效放大率 β 和 CCD 相机的分辨率成正比。

该系统结构简单，操作方便。可实现微小物体的高精度、非接触、实时检测，其中包括圆形、矩形、三角形以及椭圆。基于 VC++ 的数字图像处理与检测程序，大大提高了检测速度和测量的精度。系统的显微物镜的机械结构具有相容性，即可以根据测件的精度要求选择不同倍率的显微物镜。提高显微物镜的放大倍率和 CCD 相机的分辨率均可以

提高测量精度。例如，如果选用放大倍率为 10 倍的显微物镜，则该系统的分辨率将提高 3.33 倍，测量精度到达 $1\mu\text{m}$ 。同时，选用合适的照明光源也很重要。

参考文献

- [1] 张建,王智宏,温坚.微小尺寸精度图像处理检测系统的研究[J].仪器仪表学报,2001,22(3):223-224.
- [2] Zhang Ye ,Wensheng Wang ,Yangxue Guo ,et al .Non-contact and automatic measurement of 2d size with CCD Matrix and computer system [J] .Semiconductor Photoconics and Technology 2003 ,3 :189-192 .
- [3] 张少军 艾矫健 李忠富 .利用数字图像处理技术测量几何尺寸[J] .北京科技大学学报 ,2002 ,24(3) 284-297 .
- [4] 杨淑莹 .VC++图像处理程序设计[M] .北京 :清华大学出版社 ,2005 :143-151 .
- [5] 朱训生 王超 .各种球度测量方法的分析与展望[J] 机械制造 2003 ,41(4) 34-36 .