

高精度上下异型多腔一体波导件加工技术研究

杨冬¹ 彭思平² 王敏² 张权¹

(1. 中国人民解放军空军驻上海地区军事代表室, 上海 200090; 2. 上海无线电设备研究所, 上海 200090)



摘要: 针对波导件精度高、上下异型、多腔一体的结构特点, 分析了工艺实现难点, 提出了慢走丝线切割加工上下异型腔体的工艺策略, 探讨了结构复杂、具有多个上下异形腔体工件的线切割加工原理和关键问题, 并就多腔整体加工的工艺路线进行了设计。加工零件的检测数据表明: 一体化慢走丝线切割加工工艺路线和方法能实现上下异型、多腔一体波导件的高精度加工。

关键词: 高精度; 上下异形; 多型腔; 一体式; 线切割加工

Machining Technology of Laid Abnormity and Multi-cavity Waveguide Pieces with High Precision

Yang Dong¹ Peng Siping² Wang Min² Zhang Quan¹

(1. The Air Force Army of PLA Military Representative Office in Shanghai, Shanghai 200090;

2. Shanghai Institute of Radio Equipment, Shanghai 200090)

Abstract: According to the characteristics of laid abnormity and multi-cavity waveguide pieces with high precision, this paper analyzed the machining difficulties and proposed processing strategy by WEDM. The principle and key problem were discussed and processing route was designed. The measuring results proved that WEDM processing can satisfy the requirements of laid abnormity and multi-cavity waveguide pieces with high precision.

Key words: high precision; laid abnormity; multi-cavity; integrated; WEDM

1 引言

波导件在微波组件测试过程中发挥着非常重要的作用。为正确反映被测对象的性能, 要求测试环节带来的测试误差尽可能小, 对波导件的加工精度要求非常高。本文研究的微波组件测试波导件由于需具备五个波导口的测试转接功能, 为减少各测试口波导件在测试组合中的误差, 设计将五口测试波导件集中在一个零件上, 使零件结构变得异常复杂, 工艺实现难度大。为解决该零件加工工艺难题, 在分析结构特点后, 提出了慢走丝线切割加工上下异型腔体的工艺策略, 探讨了结构特征复杂, 具有多个上下异形腔体工件的线切割加工原理和关键问题, 设计了多型腔整体

加工的工艺路线。加工效果及检测数据表明: 采用的工艺路线及慢走丝线切割加工的方法满足上下异型、多腔一体波导件高精度加工要求。

2 结构特点

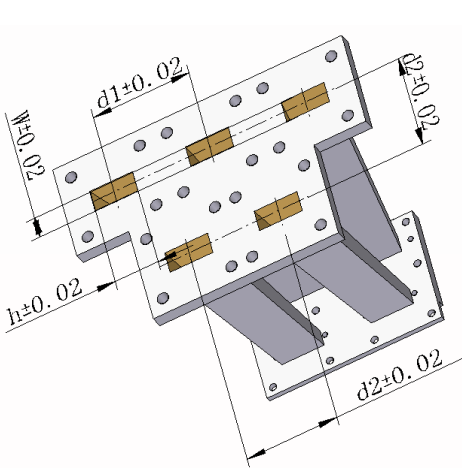
测试波导件结构示意图如图 1 所示。从图 1 可以看出, 测试波导件在结构上具有以下特点:

- 波导腔体多, 共五处, 腔体分布不规则;
- 波导腔体上下面异型;
- 腔体中心线与转接板特征不垂直, 成一定角度;
- 波导腔体尺寸及各腔体相对位置精度高, 为

作者简介: 杨冬 (1978-), 工程师, 机械制造工艺与装备专业; 研究方向: 特种工艺。

收稿日期: 2014-06-20

- $\pm 0.02\text{mm}$;
- e. 腔体深，与零件等高，为 100mm ；波导壁薄，为 $(1\pm 0.05)\text{mm}$ ；
- f. 腔体表面光洁度高，为 $R_a0.8\mu\text{m}$ ；



- g. 大部分材料掏空，材料去除率高达 85%；
- 以上特征表明，测试波导件为高精度、上下异型、多腔体一体式复杂构件。

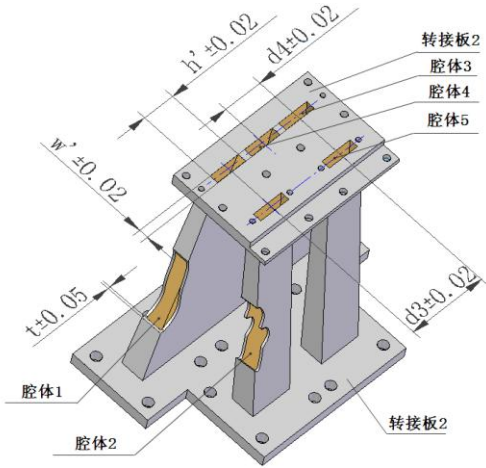


图 1 测试波导件结构图

3 工艺难点与工艺方案分析

3.1 工艺难点

针对测试波导件的高精度尺寸要求和复杂结构要求，进行工艺分析，主要实现难点有：

- a. 结构特征复杂，工艺方案设计难；
- b. 腔体数量多，相互间位置精度高，工序间工件装夹和对刀使位置精度难以保证；

- c. 精度要求高且上下异型，深度高达 100mm ，常规切削式加工无法实现；
- d. 材料去除率超过 85%，腔体壁厚仅为 1mm ，加工过程中积聚的内应力容易引起的变形，影响腔体精度；
- e. 材质为铜，与电极丝电位差接近，放电困难；
- f. 切割接触线长，放电量，表面光洁度控制难。

3.2 工艺方案分析

根据零件结构特点，制定了图 2 所示的工艺方案。

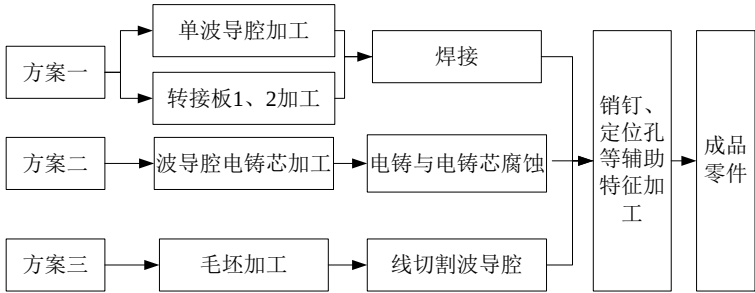


图 2 测试波导件制造工艺方案图

方案一是比较成熟的做法，将测试波导件分成 5 个零件，分别加工后采用焊接的方式形成一多腔体波导件。该加工方式的优点在于，将加工难度进行了分解，降低了整体的加工难度，使单腔体的加工工艺性得到了极大的加强，缺点是制造难度向焊接过程转移，且焊接过程可能引发的受热变形较难控制。

方案二是采用电铸特种工艺方法，先按各腔体型腔加工电铸芯，拼装后形成整体电铸芯，电铸后将芯腐蚀掉，再进行辅助的机械加工，最终获得与设计图一致的零件，该方案优点是，可以获得较高的仿形精度，缺点是各型腔芯子的拼装难以获得较高的精度。

方案三是采用慢走丝线切割的工艺方法，实现一

体式加工，该工艺优点在于可以获得较高的加工精度，过程比较简单，不足是多个异型型腔的线切割加工实现比较困难。

对比以上三种工艺方案，结合零件结构特点、精度要求及数量不构成批产的生产现状，考虑到各波导腔体虽为上下异形面，但均由直纹面组成，采用慢走丝线切割的工艺方案能更好地胜任该零件的加工，故选择方案三。

4 工艺路线与慢走丝线切割工艺策略

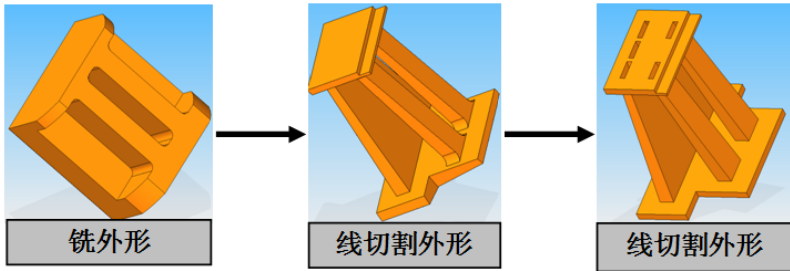


图 3 主要工序过程图

4.2 慢走丝线切割工艺策略

本文研究的上下异形多腔一体波导零件，有五个方形腔体从上往下沿不规则路径贯穿，且腔体在上下表面的几何轮廓不同，而侧面母线都为直线，依照上、下表面的轮廓点光滑过渡形成直纹面，符合上下异形体线切割加工特征。上下异型腔体线切割加工原理如图 4 所示。

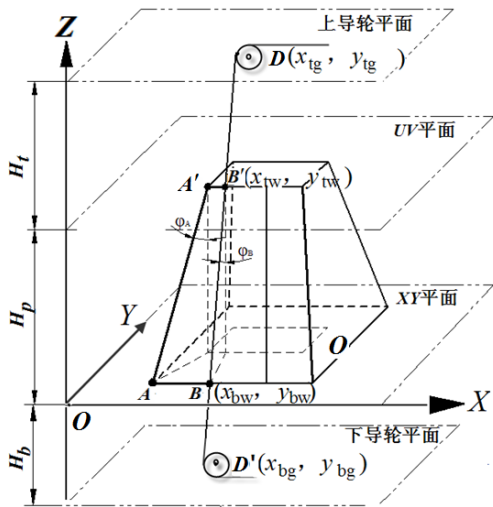


图 4 上下异型件加工原理图

图 4 中，工件上表面为 UV 平面，下表面为 XY 平面。 AA' 为线切割加工过程中电极丝运动形成直纹

4.1 加工工艺路线

在确定采用慢走丝线切割的工艺方案后，就可以进行详细工艺路线的制定，由于线切割为微应力加工，因此，各腔体精加工前，可根据零件特征尺寸加工到位，考虑到两端转接板上有螺纹孔及定位销孔，这些孔和腔体均有相对位置关系，为使后续加工基准可靠，在外形加工时，转接板两侧直角边作为后续直角边的加工工艺基准，其尺寸要严格控制。主要工序过程如图 3 所示。

面的初始位置，此时，电极丝与工作台 Z 轴形成 ϕ_A 的夹角。当工作台带动被切割零件沿 $X-Y$ 轴运动时，被切割零件与电极丝在 XY 平面的交点由初始位置 A 点运动到 B 点。与此同时，上下导轮沿 $U-V$ 轴移动，带动电极丝摆动，被切割零件与电极丝在 UV 面的交点从 A' 点到达 B' 点，与工作台 Z 轴形成 ϕ_B 夹角。在该过程，电极丝与 XY 平面的交点沿一种图形轨迹 (A 、 B) 运动，而与工件 UV 平面的交点则在导轮的带动下沿另一图形轨迹 (A' 、 B') 运动，工作台带动零件在 X 、 Y 轴走过的轨迹与电极丝在 U 、 V 轴的走过的轨迹相叠加，就形成了所需要的上下异形零件的曲面形状。其上下导轮的坐标计算如下：

$$\begin{cases} x_{tg} = x_{tw} - \frac{H_t}{H_p}(x_{bw} - x_{tw}) \\ y_{tg} = y_{tw} - \frac{H_t}{H_p}(y_{bw} - y_{tw}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_{bg} = x_{bw} - \frac{H_b}{H_p}(x_{bw} - x_{tw}) \\ y_{bg} = y_{bw} - \frac{H_b}{H_p}(y_{bw} - y_{tw}) \end{cases} \quad (2)$$

根据慢走丝线切割上下异型件编程指令中 XY 和 UV 平面的插补点坐标, 通过式 (1)、(2), 可以得到上下导轮当前应该达到的理论坐标。

5 加工过程与关键尺寸的检测

各波导线切割穿丝孔加工设备选择高速电火花穿孔机, 腔体成型加工设备选择 Sodick 慢走丝切割放电加工机。

程序编制选择 Master CAM 软件, 利用设计图形, 将上下两面共 10 处腔体轮廓导出, 按照加工特征在分别绘制上下两个平面即辅助平面和程序平面的图

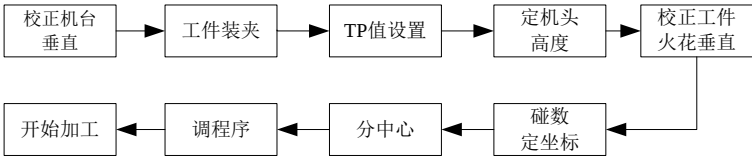


图 5 慢走丝线切割加工过程

5.2 加工参数设置

根据加工对象的材质 (Cu) 及厚度 (100mm), 慢走丝线切割加工时, 选择 $\Phi 0.3\text{mm}$ 的 KH 电极丝, 加工液为去离子水, 切割分四次进行, 具体参数设置见表 1。

表 1 加工参数设置表

切割次数	电压/V	电流/A	F 值/ mm min^{-1}	切割补偿量/mm
1	42	18	0.6~1.2	0.294
2	58	1.0	1.0~1.4	0.189
3	-	4.2	4.8~6.5	0.164
4	-	2.8	4.6~6.0	0.161

5.3 精度检测

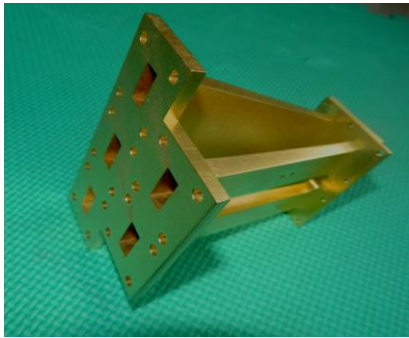


图 6 多腔一体波导件

零件加工完成后如图 6 所示, 重点对五处波导腔的出入口尺寸进行检测, 检测采用影像测量仪进行,

形, 选取辅助平面和程序平面两个面上的图形编制程序所需的对应点, 以各矩形腔体中心分别作为 X 、 Y 平面的和 U 、 V 平面的原点。再将计算得出的腔体轮廓对应点记录, 按照编程软件逐步进行设置, 完成程序编制。

5.1 加工过程

由于天线测试波导的 5 个波导腔的中心轴线与两侧的平面不垂直, 且由于腔体倾斜的角度原因, 线切割的穿丝孔无法与平面垂直, 计算出倾斜角度后, 在中心对应钻 5 个腔的穿丝孔, 再进行慢走丝线切割加工, 具体过程如图 5 所示。

检测结果表明相关尺寸均符合设计图纸要求的 $\pm 0.02\text{mm}$ 精度要求。

6 结束语

结合设计和使用要求, 从工艺实现角度分析了多腔一体式波导件的结构特点和工艺实现难点。通过对多种工艺方案进行比较, 采用了慢走丝线切割加工多异型腔于一体的工艺策略。检测结果表明采用的工艺路线和工艺策略能实现上下异型、多腔一体波导件高精度加工要求。其工艺路线和策略能够解决类似零件的高精度加工难题, 为包含上下异型腔体结构特征的复杂构件加工提供了借鉴意义。

参考文献

1 姚建盛. 上下异形零件的线切割自动编程[J]. 龙岩学院学报, 2008, 26(3): 44~46

2 郭艳玲. 用二维编程实现线切割机床三维型面加工[J]. 大连理工大学学报, 2001(5): 325~329

3 卢定军. 上下异形零件的线切割加工[J]. 现代制造工程, 2006(2): 131~133

4 刘康, 柳忠彬, 胡光忠, 等. 线切割上下异形锥度加工的双插补控制算法的实现[J]. 机床与液压, 2011, 39(8): 26~28

5 Sodick线切割放电加工机使用说明书