Ka波段电磁监测天线机械加工方法

张刚，倪娜，樊鹏飞
天津航天机电设备研究所　天津　300458

摘要：阐述Ka波段电磁监测天线的结构特点及各部分零件在机械加工中遇到的技术难题，通过工艺分析，采取有效的加工手段，最终解决技术难题，并通过产品检测，验证了加工方法的合理性和有效性。

关键词：Ka波段；电磁监测；天线；薄壁；定位；变形；振动；控制

1　序言

Ka波段天线在空间方面主要应用于卫星通信、飞机上的通信及警报设备以及飞船与地面的通信等。另外，在宇宙空间方面主要应用于资源探测，在地面应用方面主要针对地面通信或对空中飞行物的定位、定向等。Ka波段天线属于多种零件组合而成的一种机构，主要由薄壁类零件、支架类零件组合而成。

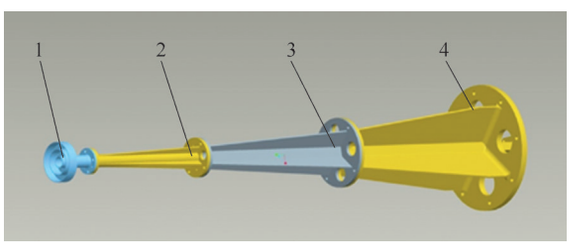
如何控制薄壁零件的变形是加工中的难题，而支架类零件的加工难点是定位准确性，以及加工中变形与振动的控制。

通过合理安排加工工序，解决关键工序中的技术难点，制作辅助支撑工装，控制零件的变形、振动，可实现零件的高质量、高效率和低成本加工。

2　产品结构

图1所示Ka波段电磁监测天线主要由扼流环、支架1、支架2和支架3四种零件组合而成。产品之间通过（2±0.005）mm的销钉定位、螺钉联接，装配后总高571.5mm，各零件内腔装配后在同一方圆过渡上，联接面的好坏直接影响天线信号的质量。

其中支架1、支架2和支架3三种零件的内腔之间都是方圆联接，相互之间采用销孔进行定位联接，定位孔直接影响装配后上下零件内腔是否能够准确对应，同时内腔的加工精度直接影响整个天线的性能。



a）三维立体图

b）实物

图1　Ka波段电磁监测天线

1—扼流环　2—支架1　3—支架2　4—支架3

3　加工难点

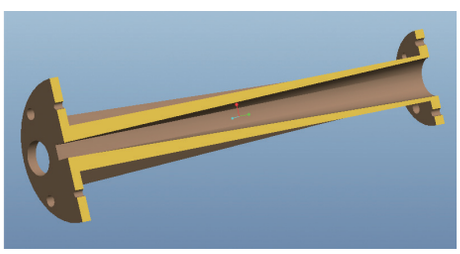
经分析，Ka波段电磁监测天线的加工存在以下难点。

1）扼流环为薄壁铝合金件，零件最薄处厚度为（0.5±0.02）mm，为典型薄壁零件。由于壁薄易变形，因此在保证加工精度的同时，关键是要控制薄壁处的变形。

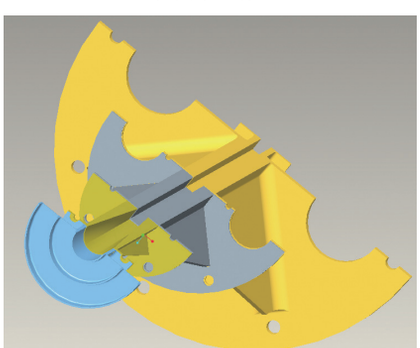
2）支架1、支架2和支架3结构相同。以支架1

为例，零件高度为180mm，两端为大小两个法兰，整体为锥体，法兰上面的两个定位孔相对于内腔的尺寸、上下两组定位孔相对于内腔的位置度，直接影响零件内腔装配后能否光滑对应。定位孔的加工精度以及加工中如何防止变形和振动，成为支架类零件的加工难点。

3）零件内腔形状如图2所示。支架1的内腔为方圆过渡，上侧为ϕ（11±0.01）mm的圆形，下侧为（8.64±0.01）mm×（4.32±0.01）mm的方形。支架2和支架3的内腔横截面为（8.64±0.01）mm×（4.32±0.01）mm的方形，和支架1底部的方形尺寸一致。内腔表面粗糙度值Ra=1.6μm，精度要求较高，在保证内腔精度的同时，如何选择合理的加工路线及定位基准是内腔加工的难点。



a）支架1剖视



b）整体组装剖视

图2　零件内腔形状

4　工艺路线

根据产品图样和工艺特性，制定扼流环加工工艺路线为：下料→粗车→热处理（人工时效）→精车→钳（去毛刺）；支架1加工工艺路线为：下料→车外圆→铣外形、加强筋→车平端面→镗定位孔→线切割内腔→镗定位孔→钳（去毛刺）。

5　扼流环加工方案

加工扼流环时，粗、精加工分开，同时增加人工时效和高低温冷热循环，以降低零件内应力。

因扼流环为薄壁件，尺寸较小，受结构限制不易装夹，所以制作开缝套夹持工件，用千分表找正，进行薄壁扼流环端面的加工。

6　支架1加工方案

6.1　内腔的加工

调节慢走丝工艺参数，进行内腔的线切割试加工。先通过万能工具显微镜检测内腔尺寸，再对试切件进行切割剖开检验，以检测表面粗糙度是否满足要求。

以外圆为粗基准，以镗床加工的定位孔为精基准，利用镗床加工的定位工装为线切割定位工装，使得上下工序定位基准一致，以圆锥销对零件已加工好的定位孔进行定位，确保定位的准确性。

6.2　定位孔的加工

以零件外圆为基准，首先加工好一面的ϕ（2±0.005）mm定位孔，孔距为$25^{+0.01}_{0}$ mm，再进行内腔的线切割加工，从而保证零件定位基准的一致性。支架定位销如图3所示。

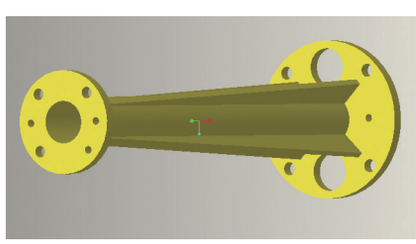


图3　支架定位销

线切割内腔加工完成后，返回镗床翻转加工另外一组定位孔。为了消除线切割内腔产生的误差，以内腔为基准进行找正。受天线产品内腔性能限制，不能使用千分表找正，以防止对内腔产生划痕。使用专用显微镜对内腔进行精确找正（见图4），分中再加工另外一组ϕ（2±0.005）mm定位孔，孔距为$20^{+0.01}_{0}$ mm。

图4　使用专用显微镜对内腔进行精确找正

定位孔的镗工序加工，以上下平面为加工基准。零件高度为130mm，在加工时由于刚性不足，不可避免地会产生振动，所以为防止振动对零件精度的影响，制作了专用辅助支撑装置（见图5）对零件进行支撑，同时用千分表打表控制零件的装夹、支撑变形（见图6），很好地解决了加工中的振动难题。

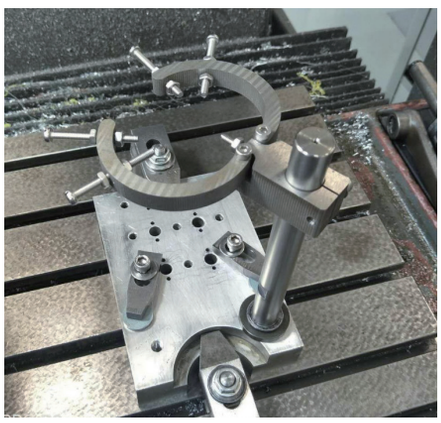


图5　专用辅助支撑装置

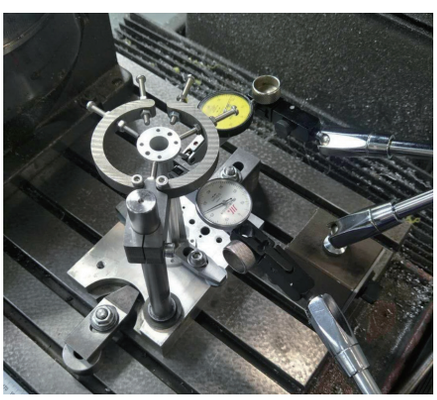


图6　用千分表打表控制零件的装夹、支撑变形

支架1、支架2和支架3均使用同一工装进行定位孔的加工，通过控制每个零件的加工精度，实现了装配后上下零件内腔光滑过渡。

7　检测

通过利用剖切、试镗的加工方法，采用万能工具显微镜和三坐标测量仪进行检测，零件的主要技术指标全部符合图样要求。零件组合装配后，内腔光滑过渡，性能指标符合技术要求。

8　结束语

综合Ka波段电磁监测天线的加工难点，通过粗、精加工分开和人工时效的方法，控制扼流环薄壁变形；在满足支架零件装配阶段内腔光滑过渡的要求下，做好加工阶段的基准选择、上下工序的基准统一以及工序的合理安排。尤其是在支架定位孔的加工以及检测手段的运用方面，采取有效的改进措施，解决了机械加工中的技术难题，为后续天线产品的加工提供了技术支持。

参考文献：

[1] 尹成湖，周湛学. 机械加工工艺简明速查手册[M]. 北京：化学工业出版社，2015.

[2] 周湛学，赵小明. 机械零件加工精度测量及实例[M]. 北京：化学工业出版社，2015.

[3] 王启平. 机械制造工艺学[M]. 5版. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2005.

[4] 韩杰. 钛合金相机结构零件的精密加工[J]. 航天制造技术，2005（1）：43-46.

MW 20210716

专家点评

本例中的Ka波段电磁监测天线由薄壁和支架类零件组合而成，加工难点是如何控制薄壁零件变形，以及支架零件的内腔和定位孔精度。作者在组合零件的加工和装配方面具有很好的分析能力，按照产品结构特征和加工难点，制定扼流环和支架1的加工方案，通过采用粗、精加工分开和人工时效的方法，减少扼流环变形；通过制作专用辅助支撑装置，解决了定位孔加工的振动难题。

文章简明扼要，论点突出，逻辑思路清晰，观点表达准确。改善措施能够抓住重点，寻找突破，在基准选择、工序安排、加工和检测手段的运用方面具有一定的创新之处。