

天线外导体的车削技术

■ 天津航天机电设备研究所 (300458) 李晓宝

摘要: 针对天线外导体属于细长轴的难加工特性, 从材料、受力等方面对加工难点进行了分析, 并从优化切削条件、创新加工工艺等环节提出合理解决方案。

1. 概述

随着我所机加水平的迅速提升, 在星上机构产品的加工制造日益成熟的基础上, 卫星天线装置的定型制造, 成为我所机加能力升级、星上产品新领域拓展的重要突破。天线类产品制造过程中面临着诸多新材料、新工艺的挑战。外导体是对地数传天线中的核心零件, 它的加工精度直接影响着数传天线的电性能参数。经过反复攻关、试制, 掌握了外导体的加工技巧, 完成了加工方案的定型。

2. 外导体的加工特性

外导体的材料为铍青铜 (QBe), 该合金铜的弹性模量小, 只有钢的 1/2, 线膨胀系数大, 为 45 号钢的 1.7~1.8 倍。因此该材料在切削力和夹紧力的作用下, 会产生较大的弹性变形。同时受切削热的影响, 热胀冷缩现象反应明显, 刀具后刀

面和已加工表面间的摩擦力增大, 刀尖极易磨损, 从而影响了加工精度。

该工件长径比 (L/D) 超出 20 倍, 属于典型的细长轴类零件。工件刚性差, 在车削过程中极易受切削力的作用而弯曲变形, 严重时使车削无法进行。

工件中心加工 $\phi 4.6$ mm 通孔使用的是专用深孔机床。根据深孔机床的加工要求, 工件外圆及长度方向需留足够的切削余量和夹头。这就使得精车内孔后的外形尺寸, 在去除大余量的切削过程中相对内孔的同轴度公差及 $\phi 7$ mm 外圆的直线度难以保证。

该材料在车削过程中应力变形极其严重。材料在去除过程中, 应力叠加和表面成形时的拉压应力使得变形量较难控制, 从而影响了零件的表面质量。

在确保零件满足图样要求的前提下, 需制定高可靠、易操作的加工工艺, 以适应后续产品的定型批产。

3. 外导体加工过程分析

(1) 加工设备选择: 多年来我所细长轴类零件的加工全部在卧式车床加工完成。在卧式车床上加工细长轴时, 常使用跟刀架、中心架等辅助支撑, 将其安装在车床的拖板和导轨上, 并使支撑爪头与工件外圆弧度相符。车削时使支撑爪头与工件的已加工表面接触, 调整支撑力与车刀各方向切削分力相平衡, 以保证车削质量和精度要求。为防止切削热的影响需浇注充分的切削液, 同时适时调整顶尖压力。卧式车床加工细长轴时还常使用弹性顶尖、反向走刀等加工手段。但卧式车床加工细长轴时对操作者的技能水平要求较高, 加工效率较低, 不适应定型批产的需求 (见图 2)。

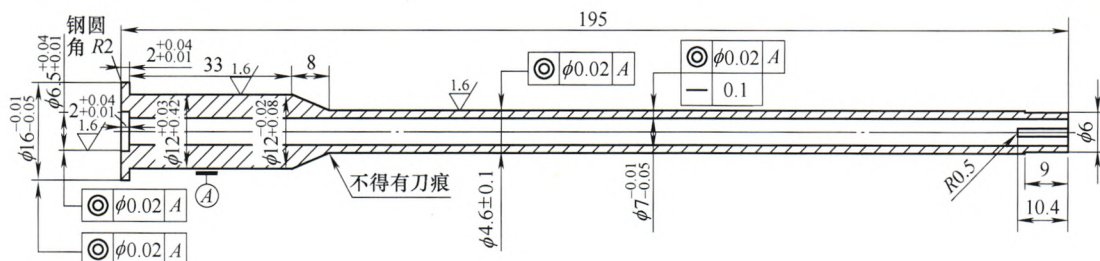


图 1

纵切车床（走心机）车削细长轴具有高精度、高效率的特点（见图3）。但纵切车床对工件毛坯表面精度要求严格，工艺夹头较长。外导体内孔加工后的外形尺寸不能满足纵切车床的定位要求，同时内外圆0.02 mm的同轴度要求也无法保证。

数控车床的装夹定位精度高，重复装夹精度在0.006 mm以内，刀塔重复定位精度达到0.003 mm。液压卡盘能精确控制夹紧力的大小。数控车床在车削过程的冷却极为充分。但数控车床无法安装跟刀架等辅助支撑，因此按照常规的工艺方法车削细长轴受切削力的影响极易弯曲变形。

通过以上几种工艺方式的分析比对，结合外导体材料、外形及工步的特性，采用卧式车床和数控车床相结合对外导体进行加工。

（2）加工方案：精加工前的工件外形，以零件内孔作为定位基准，在手动高精度车床上采用两顶装夹（见图4），将外圆车正，使得内外圆同轴度保证在0.01 mm以内。外圆直径尽量最大，外圆直线度控制在0.02 mm内。此时工件长径比为11倍，因此工件的尺寸和形位精度易于保证。

外导体的精加工在数控车床上进行。精车时为了有效的减小切削力，经过试车比较，使用YG8手工刃磨90°车刀替代机夹刀进行车削，手磨刀具刀尖锋利，刀尖圆弧小于R0.1 mm。相比机夹刀减少了刀刃和工件的接触长度，避免了工件的受力变形。

（3）工艺路线的确定：首先使用一夹一顶的安装方式进行定位加工。当外圆车至 $\phi 13$ mm，走刀至70 mm长时，工件已加工表面在切削力的作用下出现明显的弯曲现象。

然后改用左右掉头装夹工件，夹持左端车削右端时，左端夹持外圆在机创卡盘的装夹积累误差影响下相对右端已加工表面轴线发生0.03 mm的误差。同时一次装夹车削长度达到100 mm，材料切削应力释放集中，左右掉头加工完毕，自然状态下零件直线度大于0.2 mm，超出工件的直线度公差要求。

最终采用分三步装夹工件，第一步将工件伸出75 mm装夹，切削 $\phi 6$ mm槽至尺寸， $\phi 7$ mm长70 mm；第二步伸出135 mm， $\phi 7$ mm外圆加工成形；第三步工件完全伸出，锥面和 $\phi 12$ mm精车至尺寸（见图5）。每步装夹车

削时，又分三到四段精车外形至尺寸。

分三步装夹时，工件的悬伸长度缩短，车削过程中的转矩和切削力主要由 $\phi 18$ mm的夹持外圆来传递承受，降低了切削力对工件的影响。各段精车吃刀0.08~0.15 mm，为刀尖圆弧半径的1.2~2倍，减小了切削力和加工表面的弹性变形量，使各段间的接刀痕小于3 μ m。每一步分多段逐段精车使各安装工步的切削应力逐步释放，应力变形显著降低。同时，随着工件的逐步伸长，装夹误差逐步减少。

在三步多段的加工过程中，机床尾座的压力控制极为关键，顶尖压力过大，会加大工件因刚性不足而产生的让刀现象，从而增加弯曲变形量。顶尖压力较小时，使得切削一开始就发生振动，会影响车削的正常进行。在装夹工件时，先将尾座移至相应位置，将工件推至与顶尖接触，然后夹紧工件，低速旋转工件，捏住顶尖使之不跟随旋转即可，这样在车削过程中，顶尖只起到扶持限位的作用，避免了工件受轴向压力而产生的应力变形。

经过反复试切，采用手动高精度车床与数控车床相结合，合理优化切削三要素和切削刀具，创造性的使用三步多段的车削工艺，使外导体的车削完全满足图样要求，关键尺寸直线度小于0.1 mm，同轴度在0.02 mm以内。

4. 结语

外导体的车削加工，为细长轴类零件在数控车床上不使用辅助支撑进行加工创新了思路，提供了解决方案，为我所后续天线产品的定型批产奠定了基础。MW

（收稿日期：20140602）



图 2

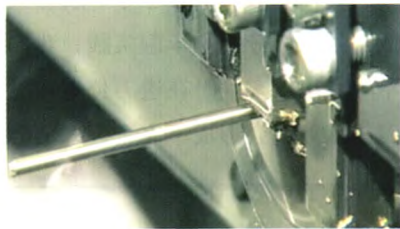


图 3



图 4

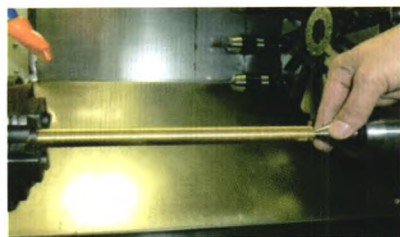


图 5