

广钟机芯零件——塔轮的数控加工工艺

潘朝 赵战峰 朱派龙

(广东轻工职业技术学院, 广东 广州 510300)

摘要: 广钟作为中国传统钟表工艺的瑰宝, 其机芯是确保钟表运行精准和稳定的关键, 而机芯塔轮又是广钟机芯的动力之源。本文深入研究了广钟机芯塔轮的制作过程, 包括材料的选择、加工方法、组装技巧等方面, 并对制作过程中难点问题进行了分析和探讨。结果表明, 合理的材料选择和精细的加工工艺是确保塔轮性能优良的关键。本文的研究对于推动广钟工艺的传承与发展具有重大的意义。

关键词: 广钟机芯; 塔轮; 数控加工; 五轴数控编程; 加工工艺

作为清朝时进贡给皇帝的贡品, 广钟存世少、价格高, 绝大部分收藏在大型博物馆中, 能私人拥有的藏品极少。由于存世稀少和史料不多, 广钟一度被蒙上厚厚的历史尘埃, 消失在人们的记忆里。

经历了这么长的历史沉淀, 博物馆的广钟不免会有些损坏, 以及藏品经常送到其他地方去参展, 在运输过程中也会对其造成一定的损坏。所以广钟的修复以及仿制对推动广钟工艺的传承与发展具有重大的意义。

广钟机芯的源动力采用的发条是涡卷弹簧, 这种发条的满弦和落弦的力量落差非常大。为了使广钟的走时轮系获得恒定的力矩, 达到比较好的走时精度, 恒定力矩输出装置起着关键作用, 这个装置的关键零件就是塔轮和芝麻链。塔轮又名均力圆锥轮 (fusee), 均力圆锥轮最先应用在军事设备上, 而并非钟表上, 其结构如图 1 所示。旋转发条的圆桶通过一根芝麻链与塔轮相连。当主发条上紧时, 芝麻链缠绕在塔轮上, 施力点位于塔轮半径较小的一头, 这时力臂较小, 发条弹簧力量较大; 随着时钟运行, 发条弹簧逐渐释放, 力量逐渐减小, 芝麻链逐渐回缠到圆桶上, 芝麻链在塔轮上的施力点半径逐渐变大; 通过芝麻链传递力、塔轮调节力臂, 保证塔轮轴输出到头轮的力矩恒定。传递到计时齿轮系的力矩保持恒定。

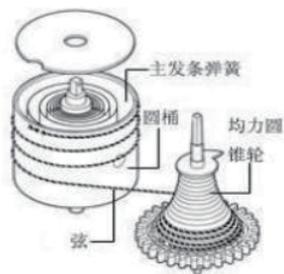


图 1 均力圆锥轮

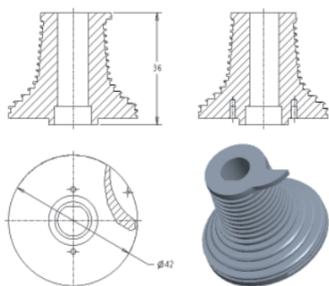


图 2 塔轮工程图

一、加工工艺及设备

(一) 开料

开料采取一开二的方式, 也为了方便装夹, 减少因装夹而浪费的材料。这次开料就直接开两个零件的长度, 零件总体尺寸为 $\Phi 42 \times 36$, 加上切断长度, 所以取毛坯尺寸 $\Phi 45 \times 78$ 。

(二) 车削

开好料之后, 用三爪卡盘夹住一端, 露出 40mm 的长度, 先车端面, 然后取 $\Phi 8$ 的钻头将其钻穿, 利用尾座钻孔, 主轴转速: 800r/min。钻好孔后用内圆车刀车内孔并倒角; 车完内孔后用外圆车刀车台阶轴, 并车到 $\Phi 42$ 的外径。完成第一个塔轮的一端的加工。掉头夹住车好的一端, 用同一工艺完成另一个塔轮的加工, 并用切断刀切断。完成第一个端面后, 掉头车端面并倒角。此时可以找一小根 $\Phi 50$ 或者更大一点的铝棒夹在车床上车如, 因外圆和内孔是一次装夹完成的, 所以可以用外圆作为基准定位, 注意螺栓预紧后应用百分表打表后再进行锁紧, 然后完成如图 3 的外圆车削, 完成塔轮的车削工作。车床粗加工参数: $n=400\text{r}/\text{min}$; $f=0.2\text{mm}/\text{r}$; $ap=0.5\text{mm}$ 。精加工参数: $n=800\text{r}/\text{min}$; $f=0.1\text{mm}/\text{r}$; $ap=0.1\text{mm}$ 。

(三) 钻削

在塔轮上有两个 M2 的孔是用来锁紧塔轮棘轮用的, 装夹的时候可以用压块将塔轮直接压在工作台上进行钻孔, 先用 $\Phi 1.6$ 的钻头钻两小孔, 然后用 M2 丝锥攻螺纹。钻孔参数: $n=9900\text{r}/\text{min}$; $f=540\text{mm}/\text{min}$; $ap=0.5\text{mm}$ 。攻螺纹参数: $n=4000\text{r}/\text{min}$; $f=0.5\text{mm}/\text{r}$; $Q=0.25\text{mm}$ 。

(四) 线切割

塔轮通过芝麻链与发条盒连接, 上紧发条后, 在发条释放力的时候再由塔轮上的齿轮传递到其他的齿轮上。当发条在满弦的时候, 塔轮承受的力是很大的, 因此塔轮与塔轮轴之间会有很大的扭矩在传递。为了防止传递扭矩的时候轴芯与塔轮打滑, 这次设计的塔轮内孔为异形孔, 异形孔采用线切割的办法进行加工。线切割加工时需调整好钼丝的角度, 保证钼丝与塔轮的轴线平行, 保证在安装的时候使塔轮的轴线与芯轴的轴线同轴。

(五) 铣削

铣削是完成塔轮功能特征的最重要的一道工序。铣削任务在五轴加工中心中心进行, 夹具为三爪卡盘。加工零件之前还要做一个辅助夹具, 取一棒料夹紧在三爪卡盘上, 利用五轴加工中心加工出平面、与塔轮相配合的沉孔, 以及螺纹。利用螺栓将塔轮

固定在上面,如图4所示。这样就可以一次装夹把铣削部分全部加工完,避免多次装夹产生的误差,保证了产品各特征的位置精度。

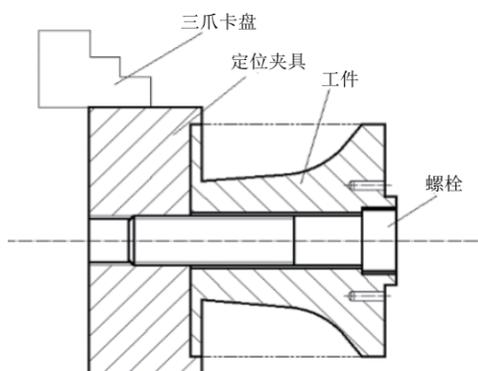


图3 车削夹具示意图

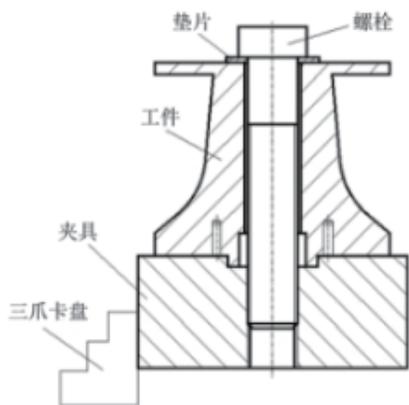


图4 铣削夹具示意图



图5 塔轮主体

在塔轮的前端设计了一个像钩子一样的凸台,其主要的目的是在上发条的时候,当芝麻链扭到塔轮前端的时候,凸台限制芝麻链的缠绕长度,避免芝麻链缠绕过长以致掉出塔轮,造成芝麻链的断裂。铣削第一步先铣该凸台端面,是为了在加工螺旋槽的时候不会让刀具与工件之间发生碰撞,而且也会阻碍观察铣螺旋槽的刀具轨迹。D6 四刃平底铣刀粗加工参数: $n=8000r/min$; $f=2100mm/min$; $ap=2mm$; $ae=1.2mm$ 。精加工参数: $n=12000r/min$; $f=1000mm/min$; $ap=0.1mm$ 。

在铣螺旋槽之前,需要先把螺旋槽的槽顶加工出来。螺旋槽

宽度为1.5mm,故选用直径为1.5的2刃槽铣刀。取螺旋槽的上表面的轮廓线作为四轴加工的加工曲线,因加工余量较少,所以分两刀加工,一刀粗加工,精加工背吃刀量为0.05mm。D1.5槽铣刀粗加工参数: $n=20000r/min$; $f=3000mm/min$; $ap=0.12mm$; $ae=1.5mm$ 。精加工参数: $n=30000r/min$; $f=1000mm/min$; $ap=0.05mm$ 。

螺旋槽的深度为0.7mm,取螺旋槽的底面轮廓线作为四轴加工的加工曲线,粗加工分3刀,一刀0.2mm精加工背吃刀量为0.05mm。

在塔轮的末端,还设计了一个月牙形的圆弧槽。它的主要作用是把芝麻链的一端固定在塔轮上。以为芝麻链两端都是有一个钩子的,所以在设计的时候,为了方便钩子顺利勾住销钉,我把该槽设计成弧形槽。加工的时候选弧形槽的底部轮廓线作为加工曲线进行加工。

(六) 钻削

在刚完成的弧形槽的位置,钻1mm的孔。该步骤可在钻床上完成。首先划线,然后打定位孔。因为该孔是销孔,先用0.9mm的钻头先钻孔,然后再用1mm的铰刀进行铰孔。

通过以上的工艺过程完成塔轮制作,如图5所示。

二、问题与改进

当前广钟机芯塔轮制作工艺仍存在一些问题和挑战,如芯轴与塔轮主体装配时同轴度不能调整。针对这个问题,可以先把芯轴毛坯(不锈钢)和塔轮毛坯(黄铜)通过过盈配合方式连接,然后使用车铣复合机床进行加工,减少装夹次数,可以减少因装夹和装配产生的累积误差,大大地提高机芯塔轮的制作水平和产品质量。

三、结论与展望

本文通过对广钟机芯塔轮制作工艺的深入研究,总结了其制作过程中的关键技术和难点问题,并提出了相应的改进措施和建议。研究表明,合理的材料选择和精细的加工工艺是确保机芯塔轮性能优良的关键。未来,随着科技的不断进步和工艺的不断革新,广钟机芯塔轮的制作工艺将会得到进一步的提升和完善,为广钟工艺的传承与发展注入新的活力。

参考文献:

- [1] 赵战峰,朱派龙.机械制造工艺与夹具设计[M].北京:化学工业出版社,2023.
- [2] 赵战峰,等.Creo Parametric 三维零件设计——实例教程[M].北京:中国轻工业出版社,2019.
- [3] 张浩,易良培.UG NX 12.0多轴数控编程与加工案例教程[M].北京:机械工业出版社,2020.

作者简介:潘朝,男,1987年8月出生,广东阳春人,大学本科,助理实验师,研究方向:机械制造技术。