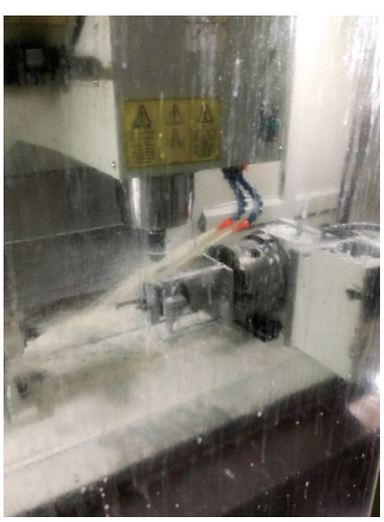
# 短轴大孔零件高效加工技术

■ 航宇救生装备有限公司 （湖北襄阳 441003） 金 鑫 姜忠平 金润一

**摘要：**针对数控铣削加工中毛坯异形件主体孔轴线短、直径大，轴线与端面呈非正交状态，工艺方案常分步骤多次装夹加工，操作繁琐，尺寸易偏离等问题，以加工可靠、质量稳定和缩短生产周期为目标，分析确定合理的装夹方案，制作新型夹具，进而提高了生产效率。

**关键词：**铸造毛坯；大孔；短轴；圆锥膨胀；楔块膨胀



近年来，机械行业发展较快，对设计、制造和管理的要求进一步提高，相比之下，我公司某型产品重要件左支架的加工生产对整机装配交付有一定影响，生产中在数控加工技术灵活运用方面有待进一步提高。

## 1. 左支架工艺特点

左支架（见图1）作为弹射救生设备重要构件，主要功能是支撑和引导机构正常运行。零件材料为ZL201-T5，铸造毛坯件，是由$\phi$64mm管体、40°倾斜平板和凸台等几何体组成的异形零件。其工艺特点如下：

1）零件共91个设计尺寸，工艺路线长，共75道工序。

2）普加工序均为粗加工或制单一基准形面。

3）数铣工序共 73个尺寸，主要加工具有装配关系的空间高精度尺寸。4道数铣工序分5个工步（见图2）装夹加工完成，准备频次多。

4）整个工艺过程各步骤用时如图3所示。

由图 3 可以看出，经过长期试制和定型生产实践，技术协调用时、首件检验用时和装夹找正用时（单件）占了很高的比例。加工一个零件，有1/3的时间用在了装夹上，装夹/加工用时比例在1/2甚至3/4。生产操作工步多、动作频次过高，说明工作中还存在着制约生产、需要解决的问题。

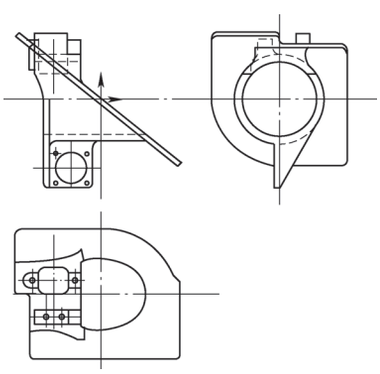


图1 左支架

## 2. 加工难点分析

该零件加工难点如下：

1）工艺毛坯形态为异形组合体，凸台、管体和耳片的组成结构奇异，对定位方式和夹持力度极具挑战性，操作难度较大。

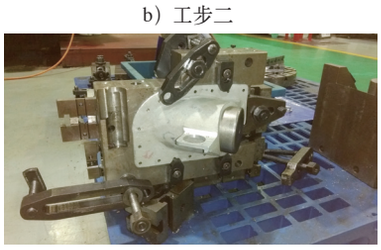
2）零件材料的加工性能一般，材质黏度较高，不适合高速切削。

3）前工序加工去除余量后，定位面均有不同程度变形，严重影响装夹操作的可靠性，大大增加了空间尺寸的加工难度，造成质量问题频发。

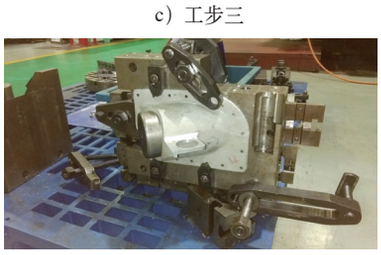
4）每件定位找正，输入数据，劳动强度高，在大批量生产中有误操作。

a）工步一

b）工步二



c）工步三



d）工步四

e）工步五

图2　加工工步

5）工序多次装夹加工过程中，虽然始终以$\phi 64^{+0.074}_{0}$mm孔和$40°^{+30'}_{-30'}$斜面定位，但由于零件变形、结构强度不高、定位面支撑力不够以及夹持力靠人工感觉等情况，造成操作者装夹过程中要同时关注多点调配，即$\phi$64mm管腔与心轴轴线重合，40°斜面与定位点、面贴合，还要压紧这个压板，调整那个压点和压力，此时又发现定位面翘起、管腔偏移，如图4所示。

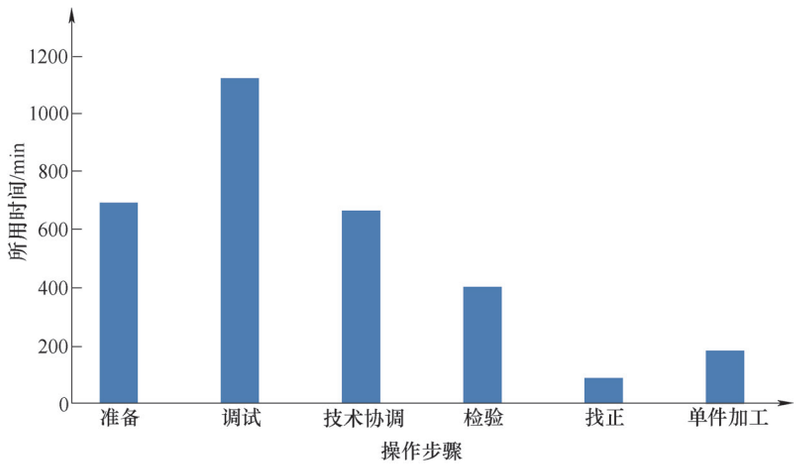



图3　各步骤用时

### 3. 工艺分析

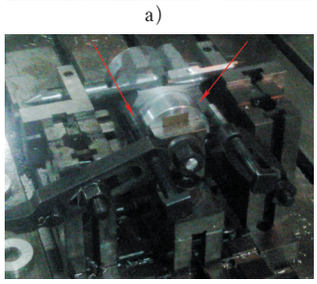
1）观察零件的核心结构孔，发现孔径大且轴线长度小于直径，是孔系定位的难题，且孔端面与轴线呈非正交状态，使得定位难度进一步加大（见图5）。

2）在各工序加工过程中始终以$\phi 64^{+0.074}_{0}$mm孔和$40°^{+30'}_{-30'}$斜面定位，心轴与孔为主配合面。当为了方便装夹而配合间隙稍大时，会发生管腔偏移、支撑力不够的现象，如图6a所示；当为了装夹稳定，减小配合间隙而提高心轴精度时，零件放入因变形而极其困难，如图6b所示。

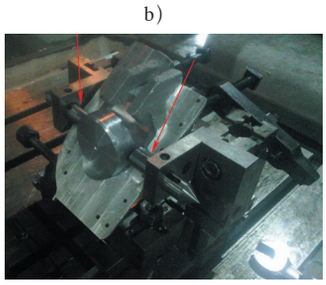
### 4. 解决方案分析

（1）圆锥膨胀方案　膨胀心轴是目前较为适合的解决方案，在胀紧孔径的同时也绷直了轴线，一举两得。直圆锥轴起主体定心作用，膨胀簧沿圆锥轴推进而膨胀，胀紧零件内孔。但是进一步观察发现，零件上部需加工贯穿方孔（见图7），与定位孔相

a）



b）



c）

图4　装夹

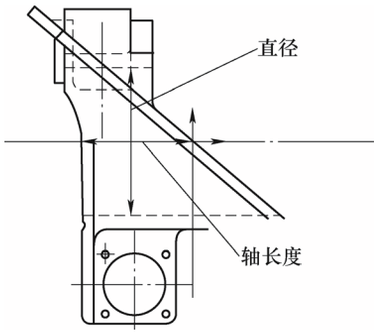
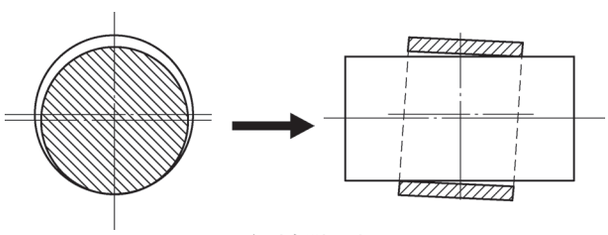
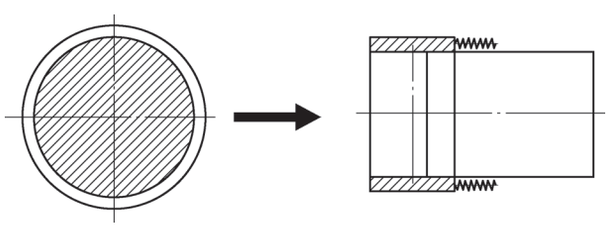



图5　孔与轴线的位置关系



a）小间隙配合



b）微间隙配合

图6　装夹示意

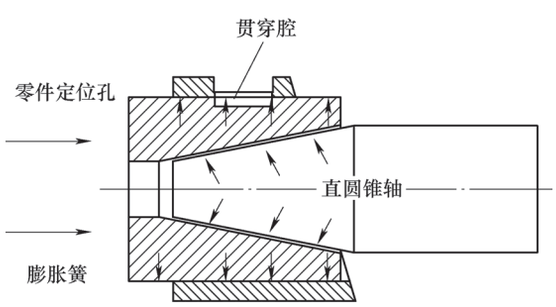



图7　圆锥膨胀方案示意

贯，必然切伤膨胀簧，致使其失去精度和定位作用。

（2）楔块膨胀方案　根据零件定位孔的形态特点，可以确定膨胀方式定位较为合理、适用，如图8所示。为后续加工穿透型方孔腔预留空间，增强主体刚性，稳定楔块。膨胀运动既胀紧孔径，又绷直了轴线，一举三得。40°斜面由4点可确定位置。

### 5. 楔块膨胀方案的实施

1）针对定位孔的形态特点，制作具有自锁功能的半圆楔块膨胀方式夹具。设膨胀率$K=0.158$，半径膨胀量为$\Delta R$，轴向推进量为$\Delta L$，则膨胀量计算公式为：$\Delta R=\Delta L\times K$，如图9所示。

2）采用半圆楔块膨胀方式夹具，集合工步三、四、五内容对零件毛坯进行试加工（见图10）。选择刚性较好的设备，$A$轴卡盘夹持柄部，以互锁机构锁紧一爪传递$A$轴切削扭矩，心轴跳动≤0.03mm。零件以简便、分步、可测量方式安置到位，紧固可靠后，以1/2原加工参数进行试切削，观察零件与夹具的组合体在切削过程中的情况，确认紧实稳定后，调节机床进给倍率，提高加工效率。为避免基准误差和

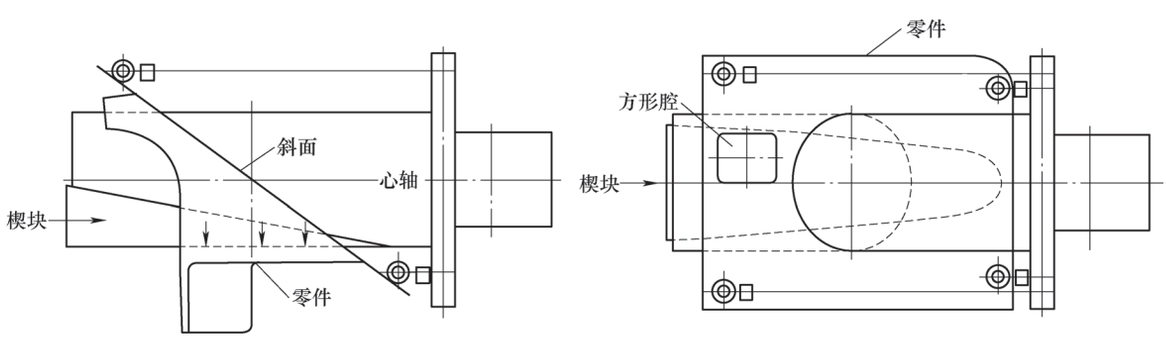



图8　楔块膨胀方案示意

人工装夹误差等原因所产生的偏移，先期对敏感空间尺寸进行粗加工（形面预留余量≥1mm），经计量检查合格后再进行精加工。

### 6. 加工效果

1）采用半圆楔块膨胀方式夹具，集合3道工步内容对D1701（72件）批次零件毛坯进行生产加工，原3个工步改进为1个工步、6个动作完成，切削过程稳定，夹具定位可靠，零件尺寸合格，质量稳定（见图11）。

2）运用创新夹具后，加工效率不断提高（见图12），总工步由5个改为3个，动作频次由45个改进为16个，生产用时大幅度缩减，取得了良好的成效。

### 7. 综合效益

（1）社会效益　①降低了左支架零件在机时间，为完成其他大量的、必上加工中心的试制、批产零件提供了有利条件。②提高了瓶颈设备产出率，使相关技术人员开拓了思路，以此类推，提高其他*A*轴零件的生产效率。③降低工人劳动强度，使其能够将精力、体力放在观察设备运行、掌控零件质量、提高操作效率以及优化工作秩序等方面上来。④提高满足客户市场紧急需求的能力，有了不断积累的技术方法，有了高效稳定的操作方案，必然催生出响应外在需求变化的快速反应能力。⑤提高团队协作、组织分工和学习传承的能力，亲身经历者其感受和各方面能力的变化是显而易见的，更多的是相互之间的默契配合和鼓励。

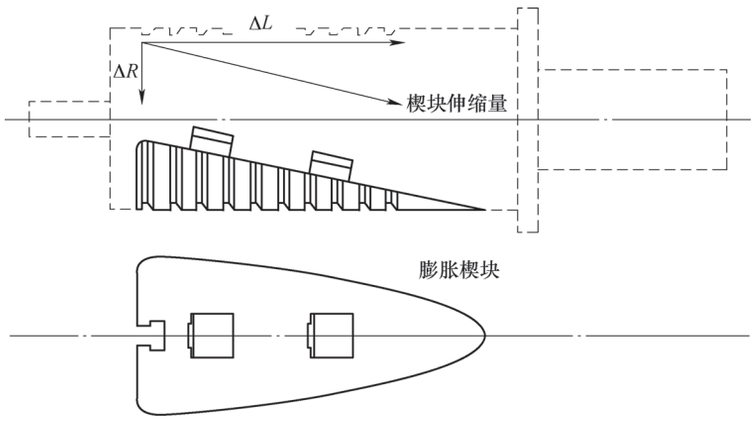
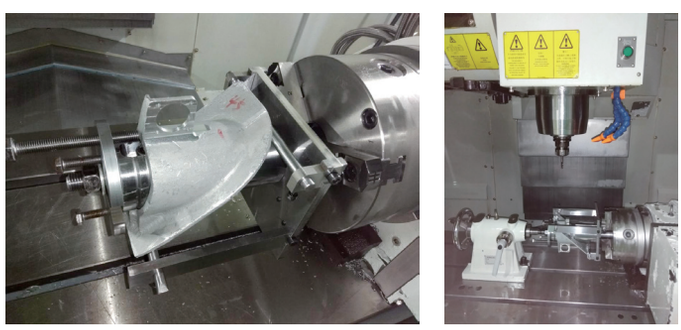



图9　楔块膨胀工作示意



a)　　b)

图10 工件的试加工

图11　成品

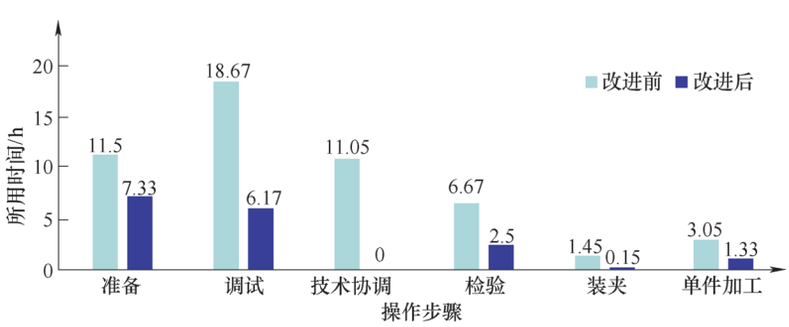



图12　工艺改进前后各步骤用时对比

（2）创新技术的推广　作为公司的拳头产品，该型航空救生防护产品未来十年必有较大发展，各种改型必然不断涌现，而其核心的机构和稳定的性能只会更好、更完善。对称件右支架（见图13）结构相似，通过运用、改进此装夹方式（见图14），也取得了大幅提高生产效率和质量的效果。

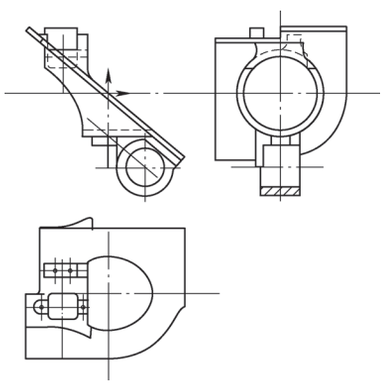
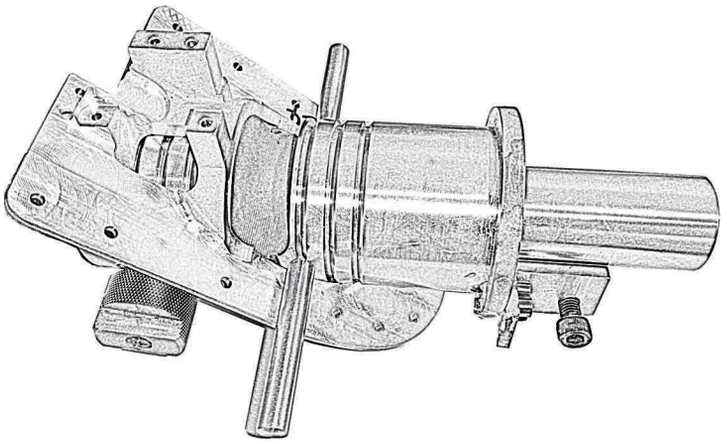
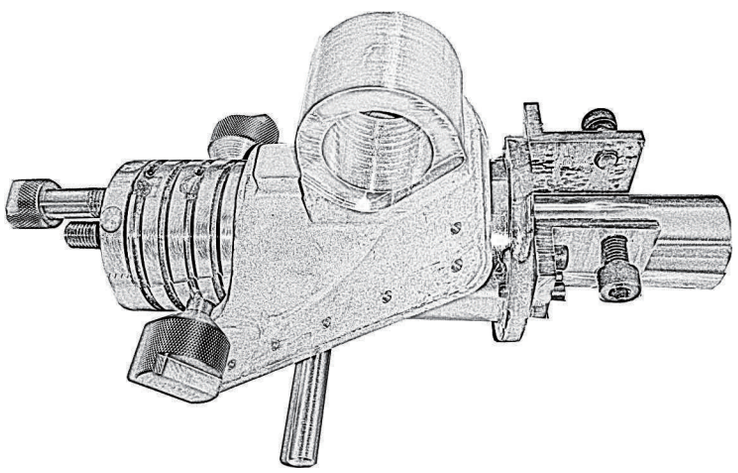


图13　右支架

（3）应用前景分析　该型膨胀自锁心轴还可以改型成两向、三向、四向及多向可调式膨胀心轴，膨胀楔块可以依据实际情况沿圆周方向不同角度安置。可用于具有与此案例相似的各产品孔型结构的定位。例如，特种车辆、军用和民用舰船、航空、航天、无人机车、无人舰艇及无人飞行器等行业相似异形零件较多，可以采用此方案。本技术方案已获国家专利。



a）零件装入夹具反面



b）零件装入夹具正面

图14　右支架夹具及装夹

**参考文献：**

[1] 陈宏钧．实用机械加工工艺手册[M]．北京：机械工业出版社，2009．

[2] 余光国，马俊．机床夹具设计[M]．重庆：重庆大学出版社，2005．

[3] 程绪琦．AutoCAD2008中文标准教程[M]．北京：电子工业出版社，2008．

[4] 杨叔子．机械加工工艺师手册[M]．北京：机械工业出版社，2001．

MW（收稿日期：20200109）

## 专家点评

本文所述异形零件，孔径大于孔长，孔壁较薄，且轴线与定位面不垂直，加工有一定难度，尤其是存在装夹变形大的问题。作者通过几种装夹方案的分析对比，最终确定了合理的装夹方案，并设计了装夹工装，圆满解决了这一难题。同行在加工类似零件时可以借鉴。