

# 低振动低噪声泵体加工 工艺分析



扫码了解更多

■ 合肥通用机械研究院 (安徽 230088) 丁强民 文宏刚 刘海山 刘 杰 张兴林

**摘要：**针对泵体加工工艺进行研究，阐述了残余应力对切削变形的影响，通过优化泵体加工路线、调整切削参数以及安排粗加工时效等措施充分释放应力，达到了整机减振降噪的目标。



舰船尤其是潜艇的振动和噪声问题是影响其水下隐蔽性的关键因素，而隐蔽性又是舰船生命力和战斗力的核心之一。舰船尤其是潜艇航行时，其水下辐射噪声主要由机械噪声、螺旋桨噪声与水动力噪声组成。当潜艇在低速静音航行时，机械噪声主要由安装在舰船上的一系列动力及辅机设备工作时产生，机电设备的振动通过弹性安装结构、管路流体以及空气噪声传递到水交界的

艇体结构，艇体表面振动产生辐射形成水下噪声。因此，直接降低机械设备的振动噪声，控制振动噪声产生的源头，是降低由设备机械噪声而引起的舰船水下辐射噪声的直接有效方法。

均衡泵是舰船操纵控制系统中的关键动力设备，主要用于浮力调整、应急疏水、消防和蓄电池组冷却供水等。随着潜艇隐身性要求的日益提高，低振动低噪声均衡泵研究已迫在眉睫，查阅文献，已经有很多文章分

析和解决水力模型、结构对振动噪声的影响，但鲜有文章分析和解决加工工艺路线对振动噪声的影响，本文从泵体加工工艺路线进行分析研究，希望能达到抛砖引玉的效果。

## 1. 泵体结构

泵体是过流的主要零件，如图1所示，里面安装导叶、叶轮，外面接电动机、进出口管路（见图2），是低振动低噪声泵的骨架，故必须严格保证泵体加工尺

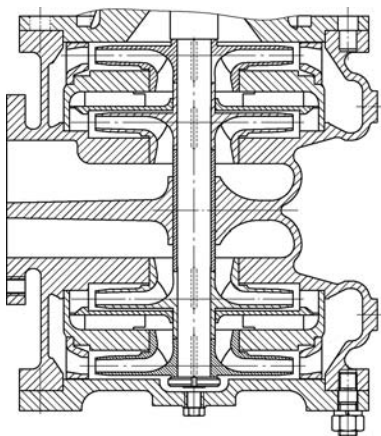


图1 低振动低噪声泵装配示意图

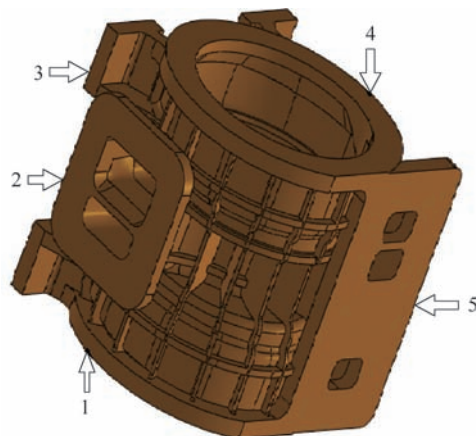


图2 低振动低噪声泵泵体立体图

1.下法兰 2.入口法兰 3.泵脚  
4.上法兰 5.出口法兰

寸的公差、形位公差，才能使泵保证低振动低噪声指标，研究泵体的加工工艺很有必要。

2.原加工工艺路线对泵体变形的影响

原加工工艺路线：①铸造成型，并去应力处理。②立体划线各加工面。③卡上法兰，粗加工下法兰端面及内孔，各面各留1mm加工余量。④调头，卡下法兰找正，粗加工上法兰端面及内孔，各面各留1mm加工余量。⑤镗床加工泵脚面到位。⑥铣床加工入口法兰面、出口法兰面，两面各留1mm加工余量。⑦划钻各面孔。⑧水压检验泵体。⑨精加工上法兰及内腔各面各孔。⑩精加工下法兰及内腔各面各孔。⑪精加工入口法兰面、出口法兰面。

加工完成后，在三坐标测量机上对泵体整体进行测量，以关键的第一装配面——上法兰的端面和内孔作为测量基准，检测数据如表1所示，其中仅有一个重要指标合格，其余均超差，尤其是下法兰指标严重超差。

3.原因分析

(1) 对下法兰内孔进行测量（见图3），分析超差位置。由实测值分析，椭圆最大处为泵脚中间位置，测量值为+0.13mm，椭圆最小处为最大处垂直位置，测量值为-0.06mm，变形最小处为出口法兰位置，测量值为+0.035mm。

原因分析：从测量值直观上分析，直径变大的地方是泵脚中心直径处，泵脚相当于大筋板，直径变小最大处是没有大筋板的地方，直径变化最小的地方是出口法兰处，出口法兰是铸件厚大处。

(2) 对超差最大的下法兰内孔椭圆进行分析。从下法兰内孔

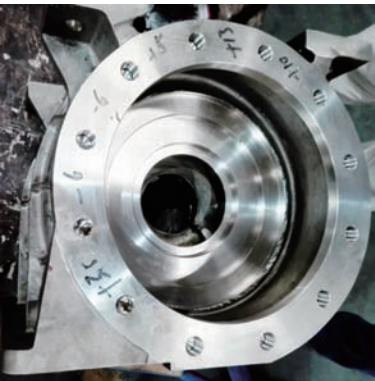


图3 下法兰测量值（单位：0.01mm）

实测尺寸和位置分析，初步判断产生变形的原因是加工残余应力的作用。残余应力对构件变形的影响主要包括两个方面：一是零件抵抗动静载荷的变形能力；二是载荷卸载后变形的恢复能力。在切削加工的过程中，随着被切削材料的去除，切削层中的残余应力被逐渐释放，零件自身的刚度也发生了变化，原始的自平衡状态破坏，零件只有通过变形来达到新的平衡状态，这是残余应力对切削加工变形影响的基本原理。不同切削参数产生的残余应力对加工变形会产生影响，切削深度越大，残余应力引起的变形量变化越慢；进给量越大，残余应力导致的变形越大。

从下法兰的内孔变形位置，结合残余应力的特点，在厚大部位变形较小，稍薄壁处变形较大。通过以上分析，泵体的入口法兰、出口法兰、泵脚不是对称布置，导致在加工中有残余应力，是产生变形的主要原因。

4.改进后的加工工艺路线

通过以上原因分析，对加工工艺进行改进，一是增加主孔

表1 低振动低噪声泵泵体检测数据

| 测量名称        | 要求公差/mm              | 测量偏离最大值/mm | 是否合格 | 超差原因 |
|-------------|----------------------|------------|------|------|
| 上法兰平面（平面基准） | 平面跳动0.025            | 基准         | /    | /    |
| 上法兰内孔（内孔基准） | 圆度 ( $^{+0.025}_0$ ) | +0.12      | 超差   | 椭圆   |
| 安装上中段平面     | 平面与基准平面平行度0.025      | 0.043      | 超差   | 扭曲   |
| 安装上中段内孔     | 圆度 ( $^{+0.025}_0$ ) | +0.05      | 超差   | 椭圆   |
|             | 与基准孔同心度0.025         | 0.020      | 合格   | /    |
| 下法兰平面       | 平面与基准平面平行度0.025      | 0.088      | 超差   | 扭曲   |
| 下法兰内孔       | 圆度 ( $^{+0.025}_0$ ) | +0.18      | 超差   | 椭圆   |
|             | 与基准孔同心度0.025         | 0.103      | 超差   | 扭曲   |
| 安装下中段平面     | 平面与基准平面平行度0.025      | 0.034      | 超差   | 扭曲   |
| 安装下中段内孔     | 圆度 ( $^{+0.025}_0$ ) | +0.07      | 超差   | 椭圆   |
|             | 与基准孔同心度0.025         | 0.034      | 超差   | 扭曲   |

的粗加工次数，减小每次切削深度和进给量，使加工变形多次释放，减小残余应力引起的变形；二是增加加工应力释放时间，粗加工完放置时间加长，充分释放粗加工产生的残余应力，减小最终加工对主孔的变形影响。

最终形成加工工艺为：①铸造成型，并去应力处理。②立体划线各加工面。③卡上法兰，粗加工下法兰端面及内孔，粗加工时减小每次的切削深度和进给量，各面各留2mm加工余量。④调头，卡下法兰找正，粗加工上法兰端面及内孔，各面各留2mm加工余量。⑤镗床加工泵脚面，留2mm加工量。⑥铣床加工入口法兰面、出口法兰面，两面各留2mm加工余量。⑦划钻各面孔，注意深度。⑧水压检验泵体。⑨放置24h，释放加工应力。⑩加工下法兰及内腔各面各孔，加工各面各留1mm加工余量，1mm加工余量分2次切削，进一步减小切削深度和进给量。⑪做胎具，将下法兰上到胎具上，加工上法兰及内腔各面各孔，各面各留1mm加工余量，按10mm的切削孔深度和进给量加工。⑫精加工入口法兰面、出口法兰面，2mm加工余量分3次切削，减小切削深度和进给量。⑬再次放置24h。⑭精加工下法兰及内腔各面各孔，1mm加工余量分2次切削。⑮上胎具，修正胎具，精加工上法兰及内腔各

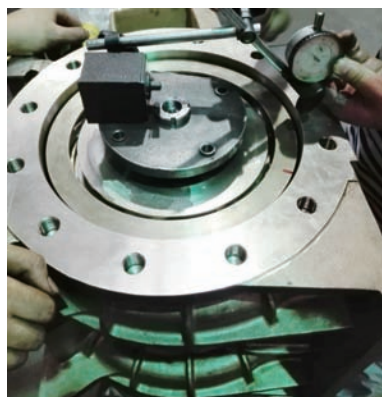


图4 转子装到泵体内后打表

面各孔，1mm加工余量分2次切削。

加工完毕后，在三坐标测量机上进行测量，实测值均能达到图样要求的指标。将泵体组装在整机上，在转子上对下法兰内孔止口打表（见图4），跳动在0.02mm以内，完全达到技术要求。对整机振动指标进行检测，测量值如表2所示，低频、高频均能达到技术指标要求。

## 5. 结语

通过对均衡泵泵体原始加工工艺路线进行分析，确定问题产生的主要原因，进一步优化泵体加工路线，使得泵体最终加工后符合图样要求，从而满足整机装配要求，达到了整机减振降噪的目标。

## 参考文献：

- [1] 付学义，刘莉．残余应力的危害及对策[J]．包钢科技，2006，32（s1）：82-84.

- [2] 韩丽丽．薄壁零件加工变形的预测及其仿真研究[D]．哈尔滨：哈尔滨工业大学，2009.
- [3] 胡吉成，刘冠成，王瑞显．基于残余应力的弱刚度结构件加工变形分析[J]．江汉大学学报（自然科学版），2015，43（3）：234-241.

MW（收稿日期：20180402）

## 专家点评



本例中泵体变形的主要原因是切削加工中的残余应力。作者以此为突破，优化泵体加工路线，通过调整切削用量，安排粗加工时效等措施，充分释放残余应力，减小变形，达到整机减振降噪的目标。

文章条理清晰，简洁有力，重点阐述了残余应力对切削变形的影响，工艺改进措施适用于壁厚不均匀且去除余量较多的复杂零件。

表2 整机振动测量值

| 工况 | 机脚振级/dB<br>(10~10 000Hz) | 机脚振级/dB<br>(10~315Hz) | 进出口法兰振级/dB<br>(10~10 000Hz) | 振动烈度/(mm/s)<br>(10~1 000Hz) |
|----|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1  | 116                      | 95                    | 122                         | 0.56                        |
| 2  | 117                      | 96                    | 121                         | 0.55                        |
| 3  | 116                      | 96                    | 123                         | 0.57                        |