

水轮机导叶轴加工工艺分析及工装研制

■ 威特龙消防安全集团股份有限公司（四川成都 611731） 侯志刚

■ 西华大学土木建筑与环境学院（四川成都 610039） 栗庄宇 贾霖

摘要：基于卧车加工零件的特点，设计出了有较大裙边法兰的活动导叶的轴颈加工辅助工装。该工装结构简单，制造方便，解决了卧车加工这类导叶轴颈的问题，同时对卧车具有保护作用，为类似辅助工装设计提供参考。

1. 设计原因

水轮机的导水机构（见图1）一般由控制环、导叶臂、顶盖、活动导叶（见图2）和底环等组成。通常，顶盖和底环固定不动，控制环能相对于顶盖绕着水轮机轴线来回转动，再带动与之相连的导叶臂动作。导叶臂一动作，则会传递动力给活动导叶，然后活动导叶会绕着顶盖、底环上的导叶轴孔的轴线来回转动。当活动导叶转到一定角度，相邻导叶的头部和尾部搭接，导水机构关闭，当往回转动到一定角度，则导水机构完全打开，通过这种方式，导水机构可起调节或截断水流的作用。为了保证活动导叶能在顶盖和底环的导叶轴孔中灵活回转，同时保证导水机构在全关时相邻导叶瓣体的头部与尾部之间的立面间隙，以及在各种开度下导叶瓣体的端部与顶盖、底环之间的端面间隙满足设计要求，则在加工活动导叶时，

圆柱度和同轴度必须得到保证，同时也必须保证导叶瓣体的形线轮廓尺寸，以及它与导叶轴线的位置度。

为了满足活动导叶的工作要求，设计出了导叶轴颈加工辅助

工装，解决了卧车加工较大裙边法兰导叶时，中段轴颈尺寸和形状精度达不到要求的问题。

2. 导叶的加工

（1）活动导叶的刚性分析。

在机械结构中，零部件都具有一定的刚性，刚性是零部件固有的特性，导水机构中的活动导叶也不例外。根据导叶的结构特点，其刚性一般取决于导叶轴的大小和长短，以及导叶瓣体的高度和厚度。导叶的轴颈大、长度小，导叶瓣体高度小、厚度大（因瓣体轮廓是曲线，这里所说的瓣体厚度是在轴颈尺寸范围内的瓣体的各厚度），则活动导叶的刚度好，改变其中一项，其刚性随之变弱。为了节约材料和减轻活动导叶质量，特别是为了增加导水机构的过流量，通常所设计的导叶瓣体的厚度要比导叶轴颈小（见图1）， D 大于 T ，从而导致导叶瓣体厚度方向的刚性差，这将影响到导叶的加工精度，特别是中段轴颈的加工精度。



图1 导水机构
1.控制环 2.导叶臂 3.顶盖
4.活动导叶 5.底环

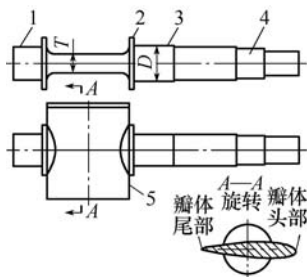


图2 活动导叶
1.下端轴 2.裙边法兰 3.中段轴
4.上端轴 5.瓣体

相对于轴颈，瓣体厚度较小，在加工导叶轴颈时，由于导叶自重和车刀径向切削力的作用，在瓣体厚度方向中段轴颈产生的挠度比其他方向的挠度大，从而可能导致该处导叶轴段的加工精度超过设计要求。

(2) 导叶的加工工序。为了确保导叶的整体加工精度，需制定正确的加工工序。在加工导叶之前，要划检导叶的加工余量，以确定每个部位是否都有加工余量。先找出导叶的轴线，以轴线划检导叶轴和导叶瓣体的加工余量，再样冲标记出导叶轴端的中心孔，然后在镗床上分别钻出两轴端的中心孔。

在卧车上采用双顶尖分别顶住两中心孔，四爪夹紧工件一轴端，粗车导叶轴，留适当的加工余量。接着以加工的导叶轴为基准，根据导叶瓣体轮廓曲面，在数控铣床上编程粗铣和精铣导叶瓣体轮廓到尺寸。因瓣体两侧的曲面不能同时加工，需翻面才可完成加工，为了保证两侧的曲面相对于导叶轴的位置精度和瓣体的整体形状尺寸，在铣导叶瓣体一侧的曲面轮廓时，需在瓣体对角方向有加工余量的端部位置分别铣一小平面，这两小平面将作为瓣体翻面时找正用的基准面。

当精车导叶轴时，需先找到导叶瓣体轮廓的对称中心线，它垂直于导叶轴线。按此中心线，精车导叶瓣体端面、导叶轴和轴端。根据导叶的结构特点，只有确定出正确的瓣体对称中心线，才可保证导叶瓣体轮廓相对于导叶轴的位置精度。

(3) 导叶轴颈的加工方法。

按加工成本考虑，通常，导叶轴的加工一般在卧车上进行，其装夹及加工方式如图3所示，即导叶轴一端被床头的三爪夹住，另一端被尾座的顶尖顶住。车削轴段时，导叶在卧车的三爪带动下转动，此时，卧车的溜板箱和刀架带动车刀在导叶轴向和径向动作，则能完成导叶轴的加工。当加工小型导叶时，由于导叶整体长度较短，导叶瓣体高度小，则导叶的刚性相对较高。进行车削时，在导叶瓣体厚度方向导叶的中段轴颈处产生的挠度小，加工出来的中段轴颈的精度能满足使用要求。

当对大型或特大型导叶的导叶轴进行加工时，如果采用图3的加工方式，要保证导叶轴的加工精度非常困难，因导叶轴长，导叶瓣体高，导叶中段轴颈处产生较大的挠度，在卧车上加工后，中段轴颈的圆度将达到2mm左右，大大超出了设计要求。为了减小加工精度误差，可考虑采用正刀架和背刀架相结合的方式车削导叶轴，即按图3的加工方式，在正刀架对面再加一刀架，两车刀相对，在水平方向达到力的平衡，再同时车削轴段，能适当提高导叶轴的加工精度，因导叶自重和刚性的影响，在竖直方向中轴段的挠度较大，同样会影响加工精度。

对于有实力的厂家，在加工精度要求高的活动导叶时，通常采用特制的旋风铣床加工导叶

轴，其方法为：机床的顶尖分别顶住导叶轴两端中心孔，在导叶瓣体处有支座，以平衡导叶的自重，可减小中段导叶轴的挠度，固定住导叶，使其不动。动力装置在机床导轨（导叶轴线与导轨平行）上做直线运动，同时动力装置的铣刀绕着导叶轴线高速旋转，动力装置可分别进行纵向和横向进刀，以实现加工导叶轴的目的。采用这种方式加工导叶轴，虽然能解决导叶轴颈的加工精度问题，但旋风铣床投资大、加工成本高和通用性不强，对于小厂家来说承担不起费用，只有在万不得已的情况下才使用旋风铣床加工导叶轴。

3. 导叶的辅助工装

(1) 中型活动导叶的导叶轴的加工分析。中型活动导叶的大小介于小型和大型之间，通常都有较大的裙边法兰，其整体刚性也介于两者之间。在加工导叶轴时，一般卧车加工可以保证精度要求不高的导叶。对于尺寸和几何公差要求高的导叶，如图4所示的导叶，假如采用图3的加工方式，则很难达到图样要求。由于导叶的尺寸、几何公差和表面粗糙度要求很高，在卧车上加工轴段和瓣体端面时，导叶的刚性，特别是瓣体厚度方向的刚性将影响最终加工精度。假如使用正刀架和背刀架的加工方法车削导叶轴，操作起来比较繁琐，调整车刀麻烦，且只能有限地提高加工质量。根据导叶的结构特点，可以考虑增加辅助工具，以提高导叶瓣体厚度方向的刚性，即使在卧车上加工导叶轴也能达到图示所要求的精度。

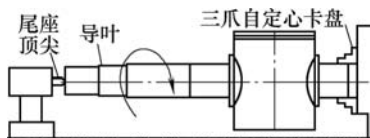


图3 卧车车削导叶轴

(2) 工装设计及工作原理。

为了在卧车上加工图4中的活动导叶，可利用导叶瓣体和裙边法兰来设计特定的工装，以增强瓣体厚度方向的刚性，同时可调整导叶的重心，使得导叶的重心处在导叶的轴线上。根据已粗车的导叶轴和已精铣的瓣体轮廓，设计计算导叶工装，其最终结构如图5所示。通过配重块的作用，该工装可保证导叶的重心在导叶轴线上，防止在加工导叶轴时因偏心产生的附加力对卧车轴承作用，使轴承承受更大的力，产生更大的磨损，因而降低使用寿命。

工装的组成结构包括上支撑1、上夹板2、大配重块3、垫板4、小配重块5、长螺栓6、螺

母7、下支撑8、下夹板9、短螺栓10、螺母11和微调螺杆12。根据工装的结构特点，其装配步骤为：先安装上夹板2、下夹板9，再安装垫板4、大配重块3和小配重块5，微调螺杆12装在上支撑1和下支撑8后，再将上支撑1和下支撑8分别试装在上夹板2和下夹板9上，调整位置，划出装配线。拆卸工装，再根据装配线将上支撑1和下支撑8分别断续焊接在上夹板2和下夹板9上，需采用合适的焊接方法，以控制焊接变形。若工件产生变形，则需对夹板进行矫形，以满足装配要求。然后将合格的工装按顺序装在导叶瓣体中部，紧固全部联接件。

为了使工装产生应有的效

果，需要精准的调试。取高度一样的两支撑，分别放在导叶下轴段和中轴段的位置，将导叶瓣体头部向下，吊放在两支撑上，且处于自由状态。然后在裙边法兰端面分别放置4个百分表，如图5中所示的安放位置，固定百分表在支撑上，仅表的测头与法兰接触，并使得表的指针都处在0位。调整8个微调螺杆，使得螺杆端部刚好与法兰表面接触，观察百分表，要求8个表的指针都在0位，如若不是，则需重新调整微调螺杆，直到满足要求为止。在调整螺杆时，不能对裙边法兰作用太大的力，以防止法兰产生变形，导致卸下工装后导叶回弹，影响导叶最终的加工精度。

由导叶特点和工装结构可以看出，该工装增强导叶的刚性是通过8个微调螺杆对裙边法兰作用而实现的。在加工活动导叶轴段时，影响导叶刚性最薄弱的方向为瓣体厚度方向，在此方向导叶最容易产生变形，增加工装的目的是抵抗该方向产生的变形，从而增加导叶整体刚性，提高导叶的加工精度。

(3) 加工试验。现对图4的导叶轴进行加工试验。图6为加工过程中仅使用了配重块的导叶轴的加工方式，半精车后在中段轴的圆周上测量了5点，具体尺寸如

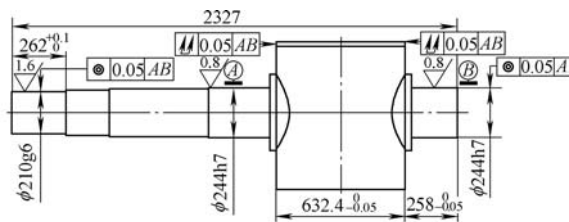


图4 高精度活动导叶

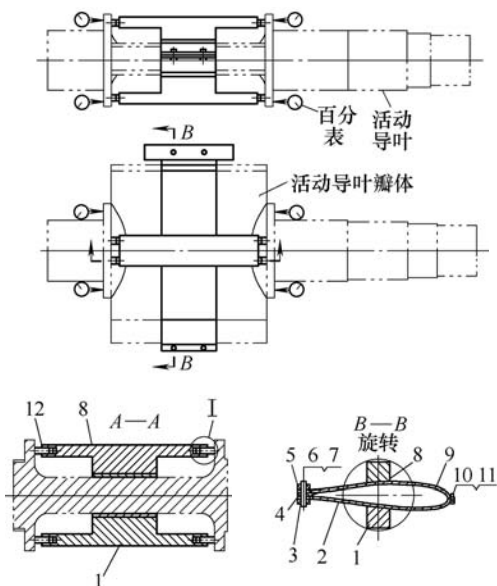


图5 辅助工装

- 1.上支撑 2.上夹板 3.大配重块 4.垫板 5.小配重块 6.长螺栓 7.11.螺母 8.下支撑
9.下夹板 10.短螺栓 12.微调螺杆



图6 未使用工装加工导叶

表1所示。表中尺寸说明，在未增加加工导叶中段轴颈时，轴颈已加工成椭圆，部分尺寸已超过设计公差，满足不了使用要求。

图7为加工过程中使用了工装的导叶轴的加工方式，半精车后在中段轴的圆周上测量了5点，加工出的导叶中段轴颈的尺寸如表2所示。表中数据说明，工装增强了导叶瓣体处的刚性，使得导叶在圆周方向刚性均衡，导叶加工



图7 使用工装加工导叶

表2 试车尺寸(理论值 $\phi 245_{-0.05}^{0.05}$ mm)

序号	位置点	测量值/mm
1	位置1	$\phi 244.96$
2	位置2	$\phi 244.97$
3	位置3	$\phi 244.95$
4	位置4	$\phi 244.98$
5	位置5	$\phi 244.99$

精度得到提高。

4. 结语

本文对导叶进行了加工分

析，并讲述了导叶刚性变弱的原因及方向，为此设计了中型活动导叶的辅助工装，以实现增强导叶整体刚性的效果。详细讲解了工装的装配和调整过程，进行了导叶加工对比试验。

结果表明，使用辅助工装可以提高导叶中段轴颈的加工精度。该辅助工装结构简单、成本低廉，对类似的产品加工具有参考和借鉴作用。

参考文献：

[1] 朱焕齐. 导叶刚度对车削加工的影响[J]. 东方电机，1987(4)：49-54.

MW (收稿日期：20170505)

表1 试车尺寸(理论值 $\phi 245_{-0.05}^{0.05}$ mm)

序号	位置点	测量值/mm
1	位置1	$\phi 244.93$
2	位置2	$\phi 244.80$
3	位置3	$\phi 244.81$
4	位置4	$\phi 244.95$
5	位置5	$\phi 244.97$



提供**24小时**
精密矫平加工服务

液压式精密矫平机
Hydraulic Traceless Precision Leveler

- ◎ 板料
Sheet Metals
- ◎ 平面零件
Flat Parts
- ◎ 有色金属
Non-ferrous Metals
- ◎ 镜面板
Mirror Sheet



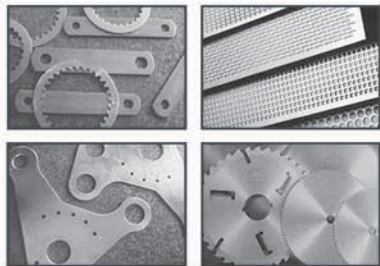
北京办事处：
13910963480
昆山办事处：
13776360656

板料 - 矫平设备

Leveling equipment for sheet metals

棒材 - 矫直设备

Straightening equipment for bars



常州市中安机械制造有限公司
中国·江苏常州市武进高新区凤翔路23号
手机：13606144635 / 18306110052
电话：+86 (0) 519 86502221
传真：+86 (0) 519 86502804
网址：www.zamake.com
邮箱：czza-1008@163.com

◆广告 查询编号：1810