

# 水轮机转轮体活塞孔误差分析及解决办法

王 帅

(辽宁福鞍机械制造有限公司, 辽宁 鞍山 114000)

**摘 要** 随着我国“节能减排”政策的实施,能源替代型减排成为切实选择,水力发电因其节能、环保、高效的特点,已成为世界主流发电的发展方向,转轮体作为水力发电设备水轮机的重要组成部分,转轮体的机械加工规范化流程控制具有深远的意义。本文从大型转轮体活塞孔的加工工艺、机床精度、刀具等方面对其进行研究,通过加工工艺、专用工装、设备调整、刀具设计、激光跟踪仪在线检测等综合手段,保证了大型转轮体活塞孔的加工尺寸、行位公差、粗糙度等要求。

**关键词** 转轮体 活塞孔 行位精度 表面粗糙度 滚压刀

**中图分类号:** TK7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-0745(2022)04-0121-03

水轮机是将水流的能量转换成轴旋转机械能的机器,能量的转换是借助转轮叶片与水流相互作用来实现的。在水轮发电机组中,水轮机是原动机,发电机为工作机。现代水轮机可分为反击式、冲击式和可逆式三大类。反击式水轮机利用了水流的动能与势能,水流充满整个水轮机流道,水流经转轮外圆周进水,从转轮进口到出口压力逐渐减小,根据转轮内水流的方向和特征及转轮的结构,反击式水轮机可分为混流式、轴流式、斜流式、贯流式。轴流式、斜流式和贯流式根据叶片是否可转动又分为定浆式和转浆式。本文分析的转轮体为轴流转浆式结构的水轮机转轮的基础件,水轮机的轴流叶片、连接体、泄水锥、活塞杆、接力器缸、连杆、接力器缸盖等其他零件都装配在转轮体上。轴流转浆式水轮机的发电是通过轴流叶片安装在转轮体的侧孔中,与转臂装配,通过活塞杆带动改变叶片角度,灵活调整水轮机出力大小。为保证水轮机运行的可靠性及稳定性,一般要求转轮体活塞孔、活塞及活塞杆各部有一定的同轴度,转轮体侧孔与叶片轴头部分有一定的同轴度,转轮体侧孔与转轮体活塞孔各部有一定的垂直度。转轮体活塞孔的行位精度和表面粗糙度的提升能有效提高水轮机的运行精度,提高机械加工工艺质量<sup>[1]</sup>。

## 1 工件简介

本文分析的转轮体基本参数如下:转轮体高度为2800mm,外型最大轮廓 $S\Phi 4000$ mm,净重84t。活塞孔最大直径 $\Phi 2800$ mm,最小直径 $\Phi 800$ mm,孔的跨距2400mm。转轮体A基准活塞孔的直径: $\Phi 2800H8$ mm,表面粗糙度为 $Ra1.6\mu m$ ,圆柱度0.04mm,相对于A/B

基准孔的同轴度0.05mm,活塞孔的长度为800mm(如下图1所示)。

## 2 技术重、难点分析

转轮体 $1900\pm 0.2$ 端面的平面度为0.04mm,与活塞腔轴线A—B基准的垂直度为0.05mm,表面粗糙度为 $Ra3.2\mu m$ 。活塞孔 $\Phi 2800H8$ 的圆柱度为0.04mm,并要求与活塞腔轴线A—B基准的同轴度为0.05mm,表面粗糙度为 $Ra1.6\mu m$ 。上述大直径、长跨距、行位精度要求高的孔系一般选用数控立车加工,但大部分数控立车在使用一段时间后,机床几何精度会下降,主要是车床横梁磨损导致刀架X轴与水平面产生夹角、卡盘回转平面、刀架在X/Z平面的倾斜致使不能满足孔系的圆柱度要求。活塞孔 $\Phi 2800H8$ 的表面粗糙度需要考虑刀架刚性、振动、机床线速度、卡盘回转稳定性及刀具等问题<sup>[2]</sup>。

## 3 工艺方案制定

制定活塞孔加工工艺方案重点考虑四个方面:

1. 加工方法和手段。
2. 机床几何精度检测。
3. 工装和刀具。
4. 工件行位精度检测。

### 3.1 加工方法和手段

选择双柱8米数控立式重型车床一次装夹加工活塞孔,首先,对转轮体活塞孔进行粗加工工序,单边保留2mm精加工余量。此次粗加工工序的主要任务为去除加工零件表面余量,确定加工基准<sup>[3]</sup>。其次,对转轮体活塞孔进行半精加工工序并进行模拟试验精加工

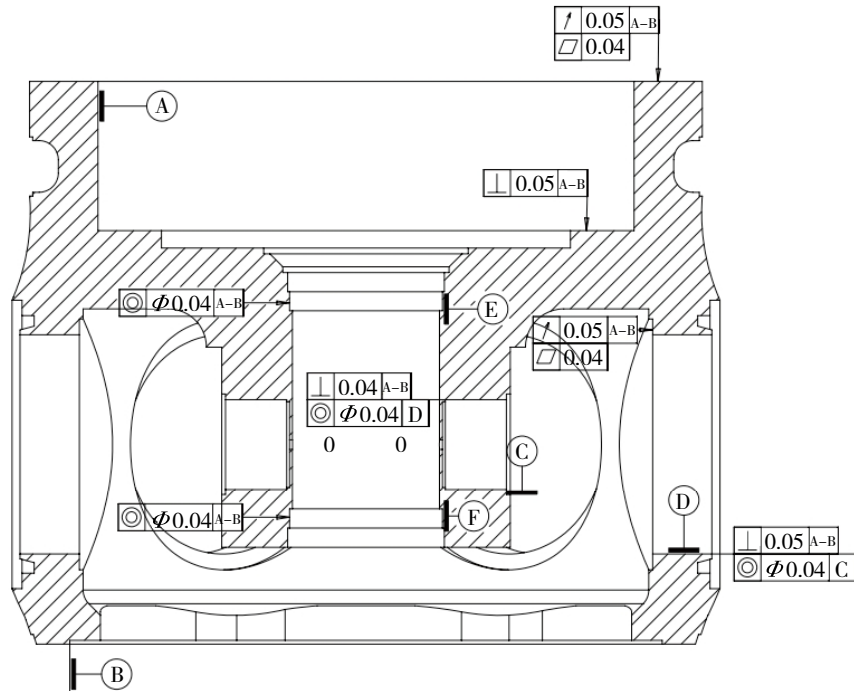


图 1

做好加工技术参数的记录工作, 确认是否能满足图纸技术要求, 如不能满足要求则通过工艺技术手段进行补偿至图纸要求。此次半精加工工序单边保留 0.5mm 余量并进行探伤缺陷处理工作, 此半精加工工序的主要任务为进一步降低加工阶段存在的误差, 为下一步精加工做好准备。最后进行精加工工序, 根据半精加工时的模拟试验数据进行最终状态的精加工, 以确保所加工零件能够达到图纸设计中所规定的表面粗糙度及精度要求。加工完成后采用三维在线检测手段, 检测并保证孔系的行为误差, 采用表面粗糙度检测仪对加工表面进行表面粗糙度的确认<sup>[4]</sup>。

### 3.2 机床几何精度检测

刀架加工所需的实际伸出长度在 XZ 平面内的几何误差直接影响活塞孔的圆柱度、垂直度公差。刀架在 X 轴横梁上的移动误差会直接影响孔系端面的平面度公差, 需要对其进行检测调整, 装夹工件前采用大理石检测机床的精度, 要求 X/Z 垂直 1 米长偏差小于等于 0.03mm。横梁与卡盘平行度 1 米长偏差小于等于 0.03mm, X/Z 轴反向间隙小于等于 0.01mm。装夹工件后根据活塞孔的实际加工长度确认 X/Z 的几何误差, 并评估其能否直接满足图纸形位误差, 若不能保证, 通过调整机床刀架角度或采用技术手段进行补偿至图纸技术要求<sup>[5]</sup>。

### 3.3 工装和刀具

数控车床车削平面及里孔时在选择工装和刀具应考虑四个主要问题:

1. 工艺系统刚性和振动的问题。
2. 机床线速度对工件表面粗糙度的影响。
3. 选用刀具尽可能的保证尺寸公差及表面粗糙度要求。
4. 刀具热变形对工件表面质量的影响。

### 3.4 孔系行位精度检测

因机床本身存在定位和几何精度误差, 检测所加工位置的公差要求高的孔系已不合适, 因而考虑采用激光跟踪仪与 Polyworks 软件结合, 对转轮体里孔部位进行数据采集及三维建模检测, 此检测方法所得数据可以指导加工中修正误差。

## 4 工艺方案实施和效果评价

### 4.1 机床几何精度检测与评价

1. 在机床 XZ 平面, Z 轴相对于 X 轴的垂直度直接影响活塞孔的圆柱度和垂直度。
2. 采用 1 米方形大理石检测尺检测机床垂直精度, X/Z 垂直 1 米长偏差小于等于 0.03mm。
3. 采用 5 米长方形大理石检测尺检测横梁与卡盘平行度, 1 米长偏差小于等于 0.03mm; X/Z 轴反向间隙

小于等于0.01mm。

装夹工件后,对活塞孔 $\Phi 2800H8$ 进行试切加工,加工后采用内径千分尺及机床自带百分表对活塞孔的精度进行检测,发现活塞孔 $\Phi 2800H8$ 由上至下呈递增趋势。针对人、机、料、法、环等因素进行分析,产生原因为刀片的热变形所致,刀片在切削中升温较快,最终引起热伸长的现象,导致出现加工误差。可采用油雾润滑机构,在切削过程中,喷油嘴作用在车削车刀上用以减少产生切削热与刀面上积屑瘤的产生几率,以提高加工表面质量并结合工艺补偿手段保证加工质量<sup>[6]</sup>。

#### 4.2 工装和刀具的选用

1.采用机夹刀具装夹修光刃车削刀片,其独特的刀尖设计,刃口锋利、切削阻力小,有效减少刀具的振动。

2.刀片表面经特殊处理,减小切削在前刀面上粘结的可能性,断屑性能优良。

3.刀片重复定位精度高,机夹刀具刀片与硬质合金刀杆相配套,提高刀具的抗震性,进一步保证加工质量。

经试验效果看,转轮体 $1900 \pm 0.2$ 端面的平面度检测结果为0.02mm,与活塞腔轴心线A—B基准的垂直度为0.03mm,表面粗糙度为 $Ra2.8 \mu m$ ,满足技术要求。活塞孔 $\Phi 2800H8$ 的圆柱度为0.03mm,与活塞腔轴心线A—B基准的同轴度为0.03mm,表面粗糙度为 $Ra3.2 \mu m$ ,行位精度满足技术要求,表面粗糙度无法满足技术要求。经分析,机床转速无法满足技术所需表面粗糙度的线速度<sup>[7]</sup>。

#### 5 表面粗糙度的解决办法和效果评价

1.活塞孔 $\Phi 2800H8$ 里孔的加工由于机床本身转速20转/分钟的局限性,车削时的加工线速度无法满足表面粗糙度的图纸技术要求。刀具切削刃的磨损会引发加工工件的尺寸误差,降低加工工件的精度,当刀具磨损量达到允许的磨损量时,应当及时调整刀具,车削完成后,为提高加工表面的粗糙度,可以采用以下两种加工方法。

第一种,采用高效经济的砂带磨削技术进行精细磨削。砂带磨削和抛光工件时,通常只要选择较低的工件线速度,较小的纵向进给量,较高的砂带线速度即可获得很小的表面粗糙度值<sup>[8]</sup>。在采用砂带磨削加工时,需注意磨削参数及磨削热力对加工表面及尺寸的影响。

第二种,采用立车专用滚压刀加工方式滚压加工。

通过滚压刀与工件表面进行挤压,利用金属的塑性变形,使工件表面微小的波峰被压平,保证工件表面粗糙度。经试验效果良好,可以满足图纸技术要求。

2.刀具热变形对工件表面质量的影响。考虑到刀片的热容量,刀片在切削中升温较快,最终引起热伸长的现象,导致出现加工误差。

此问题的解决方案可采用油雾润滑机构,在切削过程中,喷油嘴作用在车削车刀上用以减少产生切削热与刀面上积屑瘤的产生几率,以提高加工表面质量。

对以上解决办法进行试验加工,经粗糙度检测仪进行检测后表面粗糙度为 $Ra1.4 \mu m$ ,满足图纸中技术要求。

#### 6 结论

本文通过工艺、专用工装、刀具、激光跟踪仪等在线检测手段,对水轮机转轮体活塞孔的加工进行了细致的分析,针对机床转速无法满足车削表面粗糙度所需的线速度情况下提出了解决办法。通过水轮机转轮体活塞孔表面粗糙度解决办法的实际运用操作,实际效果达到满足图纸技术要求,认证了该办法的可行性,解决了活塞孔表面粗糙度无法满足技术要求的难题,对促进水轮机转轮体整体加工质量的提升具体重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 廖俊宁,刘蕾,廖世超,等.大型轴流式转轮体枢轴孔系加工[J].中国重型装备,2019(02):37-39,46.
- [2] 吴宗泽.机械零件设计手册[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [3] 娄国彬.支撑板水平误差对转轮静平衡的影响分析[J].民营科技,2011(10):25,254.
- [4] 周欣荣,朱兰斌,宋立新.适用于水轮机转轮叶片表面缺陷检测系统的研究[C]//第一届国际机械工程学术会议,2000.
- [5] 徐洪泉,张海平,张建光,等.水轮机模型效率试验误差分析方法探讨[C]//第十八次中国水电设备学术讨论会论文集,2011.
- [6] 李建威.模型水轮机汽蚀试验的误差计算方法[J].大电机技术,1983(05):42-44,52.
- [7] 甘雪峰,王培斌,武成烈.水轮机汽蚀系数的计算误差分析[J].西北农业大学学报,1999,27(04):79-82.
- [8] 王勇.模型水轮机能量试验效率综合误差分析的几点认识[C]//中国电机工程学会水电设备专业委员会第十次学术讨论会,1991.