

330MW 高参数大功率汽轮机旋转隔板的制造工艺

上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂 (200240) 蔡振铭 殷槐金 李广磊

我公司全新开发设计的 330MW 中间再热直接空冷双抽凝汽汽轮机, 其独特的高参数大功率旋转隔板为 330MW 等级抽汽供热机组配备, 其机组供热抽汽参数: 抽汽压力 1.0MPa, 最高温度 450℃。本高参数大功率旋转隔板 (见图 1) 的结构主要包括隔板

体、平衡环、转动环、喷嘴和径向汽封体等零件, 通过各零件的加工及组装, 最终完成一级旋转隔板。该旋转隔板既具有普

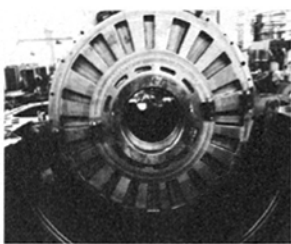


图 1 旋转隔板总体结构

通隔板将热能转化为动能的功能, 又具有阀门调节流量的性能, 充分简化了汽轮机总体布置和整体结构, 提高机组的安全性, 降低整个工程的成本。下面就高参数大功率旋转隔板加工工艺创新关键技术进行简要的论述。

1. 工艺技术及参数分析

本高参数大功率旋转隔板的创新特点涉及到两个互相配合的转动环与隔板体的独特加工工艺及装配要求, 涉及到超音速火焰对转动环与隔板体进行喷涂自润滑硬质金属。具体工艺技术要求:

- (1) 旋转隔板外径大, 最大外径 2 500mm。
- (2) 旋转隔板薄, 最薄仅 80mm。
- (3) 材料切除率高达 70% (转动环需要加工出 20 个大窗口, 164 条凹槽; 隔板体进、出气侧需要各加工 20 个大窗口, 22 条凹槽)。
- (4) 各凹槽面上将进行喷涂自润滑金属 (超音速火焰喷涂的应用)。

(5) 喷涂超硬质金属后再加工 (喷涂表面硬度达 1 000HV)。

(6) 高参数大功率旋转隔板的转动环与隔板体间摩擦副的材料选择是一项最为关键的技术。该材料须具有足够小的摩擦因数的同时, 还要具有耐高温性能和足够的表面硬度, 还要解决摩擦副材料与母材间具有足够的结合强度的难点。

2. 工艺技术的研究及方案实施

根据高参数大功率旋转隔板独特的结构特点, 完成必要的工艺性试验, 编制合理、可靠的加工工艺及数控加工程序, 解决高参数大功率旋转隔板工艺技术关键难点, 确定高参数大功率旋转隔板制造工艺技术的要求及方法, 从而正确地指导旋转隔板的生产制造任务。

(1) 研究大直径、薄厚度、高切除率 (70%) 隔板体与转动环的切削变形。作一些工艺试验, 选择合适的切削参数, 控制切削先后次序, 工件采用多夹头装夹确保稳定牢固, 以可靠的工艺技术控制加工变形量达到最小化。

(2) 研究转动环、隔板体加工。由于旋转隔板尺寸大, 为了避免喷涂硬质金属材料的脱落, 转动环在 20 个窗口周围喷涂硬质金属部位, 隔板体在 20 个窗口周围喷涂硬质金属部位。喷涂位置处做成深 1mm, 宽 8mm 凹槽, 距离窗口边仅为 1mm。隔板体比较厚, 采用半圆隔板体竖立安装, 数控镗床加工各尺寸; 转动环比较薄, 采用整圈转动环水平安装, 然后装上立铣头, 数控镗床加工各尺寸。各窗口加工尺寸精确, 确保气道面积正确; 各凹槽加工尺寸精确, 确保凹槽深度、宽度喷涂硬质金属正确。

(3) 研究大面积的喷涂硬质金属。采用超音速火焰对转动环、隔板体进行硬质金属喷涂。通过对

材料 NiCr - Cr₂C₃ 涂层试验,测定涂层孔隙率、显微硬度及油润滑下摩擦磨损过程中涂层材料失重,得出涂层摩擦因数随时间的变化关系,分析涂层摩擦磨损机理。结果表明, NiCr - Cr₂C₃ 涂层致密,孔隙率为 1.08%,显微硬度 1 000HV,稳定摩擦因数为 0.1,涂层摩擦失重极小。

(4) 研究硬质金属喷涂后,实现喷涂表面再加工。由于喷涂表面硬度达 1 000HV,实现再加工非常困难。自行设计一套专用磨削工具,配备专用金刚石砂轮,磨削转动环、隔板体上的喷涂硬质金属。

(5) 研究转动环与隔板体的装配质量。为了确保转动环与隔板体工作时转动环的灵活转动,采用转动环与隔板体分别磨削后再组合研磨硬质金属喷涂面,保证转动环与隔板体间的灵活性及气密性。

3. 隔板体零件的加工

(1) 隔板体零件的主要加工特点 隔板体正反面各有 20 个气道窗口需要加工,特别是窗口 4 个 R10mm 圆角,只能采用 $\phi 20$ mm 铣刀加工。在窗口边的周围要求铣准深 1mm、宽 8mm 凹槽,作为喷涂硬质金属。同时喷涂后表面硬度达到 1 000HV,然后再进行磨削喷涂表面加工,最终与转动环装配成套。

(2) 隔板体零件的主要工艺性 ①设计专用的隔板体进气边样板与出气边样板。注意各窗口气道之辐射线的窗口余量分布情况及进、出气边窗口位置尺寸。正确校对毛坯余量。②隔板体窗口及凹槽的加工。编制实用合理的数控程序。由于隔板体比较厚,采用半圈隔板体竖立安装,铣准各窗口气道及各凹槽加工尺寸,图 2 所示为隔板在机床上铣削。

③对于深 1mm、宽 8mm 的凹槽喷涂硬质金属。采用超音速火焰对隔板体进行硬质金属喷涂,完全达到硬质金属喷涂的技术要求。喷涂时特别应该注意,对隔板体非喷涂面必须加以保护,方便及减少下道磨削加工。④喷涂硬质金属表面磨削加工。图 2 所示为隔板在机床上铣削。

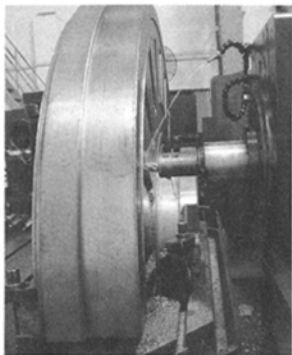


图 2 隔板体在机床上铣削

工。通常立车加磨头只能磨外圆,现在立车加磨头要磨平面是一种创新。设计一套专用磨削工具。该磨削工具可以直接安装在数控立车机床的立刀架上,固定板尺寸与刀架上尺寸相匹配;金刚石砂轮直径 300mm 能够覆盖金属喷涂层的宽度尺寸;整体磨削工具重量尽可能轻。选择合理的切削参数:磨头转速 1 200r/min;花盘转速 10r/min;切削深度采用花盘每转 3 圈后切削 0.01mm 深。不断优化切削参数精细磨准隔板体喷涂后的尺寸。图 3 所示为隔板在机床上磨削。

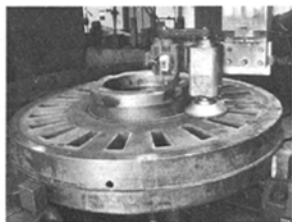


图 3 隔板体在机床上磨削

⑤隔板体与转动环组合加工。隔板体单独精细磨准喷涂硬质金属表面后,再与转动环进行同研磨喷涂面,以保证转动环与隔板体间的灵活性及气密性要求。

4. 转动环零件的加工

(1) 转动环零件的加工特点 转动环零件上各有 20 个气道窗口,并且是 4 种不同规格大小的气道窗口尺寸需要加工,特别是窗口 4 个 R10mm 圆角,只能采用 $\phi 20$ mm 铣刀加工。在窗口边的两侧面要求铣准多条深 1mm、宽 8mm 凹槽,作为喷涂硬质金属。同时喷涂后表面硬度达 1 000HV,然后再进行磨削喷涂表面加工,最终与隔板体装配成套。

(2) 转动环零件的主要工艺性 ①设计专用的转动环样板。注意转动环各窗口气道辐射线的窗口余量分布情况及窗口位置尺寸。正确校对毛坯余量。②转动环窗口及凹槽的加工。编制不同规格大小窗口及多条凹槽实用合理的数控程序。由于转动环比较薄,采用整圈转动环水平安装,装上立铣头。铣准各窗口气道及各凹槽加工尺寸。图 4 所示为转动环在机床上铣削。③对于深 1mm、宽 8mm 凹槽喷涂硬质金属。采用超音速火焰对转动环进行硬质金属喷涂,完全达到硬质金属喷涂的技术要求。喷涂时特别注意,对转动环非喷涂面必须加以保护,方便及减少下道磨削加工。④喷涂硬质金属表面磨削加工。设计一套专用磨削工具,配上专用金刚石砂轮,精细磨准转动环喷涂后的尺寸。图 5 所示为转动环

汽轮机转子制造技术

上海重型机器厂有限公司 (200240) 雷文

汽轮机高、中、低压转子外形结构复杂,材料性能及加工精度要求较高,其材料主要以中碳高强度合金钢为主,材料强度和韧性较高,而导热性能很差,尤其是割槽时切削区域的温度较高,不仅加速了刀具磨损,降低刀具的寿命,同时也容易使加工后材料产生较大的残余应力,影响转子的尺寸精度和使用寿命。因此,其工艺过程极其复杂,需要配备特殊的加工设备,刀具及工艺技术的创新。本文将主要是对叶片槽的高效切削方法及套料孔的高精度加工方法进行详细论述。

1. 转子结构特点

汽轮机转子分高、中、低压三种,重量从十几吨到上百吨不等,属于大型轴类零件,其结构复杂,如图1所示。一般高、中压转子外形尺寸为 $\phi 1200\text{mm} \times 8000\text{mm}$,低压转子外形尺寸为 $\phi 1800\text{mm} \times 8000\text{mm}$,其外圆存在许多形状各异的叶片槽,各槽形状复杂且不规则,且多数转子调

端中心存在 $\phi 130\text{mm} \times 2000\text{mm}$ 左右的套料盲孔。

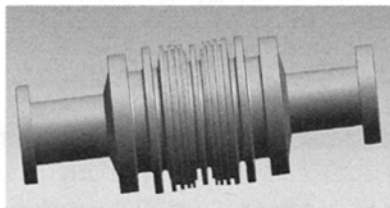


图1

2. 转子加工要点分析

汽轮机转子由于其特殊的结构特点,外圆上存在密排深而窄的不规则叶片槽,其加工量大,散热差,对刀具的形状及性能提出较高的要求。而且多数转子要求在调阀端中心 $\phi 120\text{mm}$ 盲孔范围内套出 $\phi 60\text{mm}$ 试棒,这种小孔径大试棒的套料及割断加工较为复杂,而且 2000mm 长套料孔的最终圆跳动必须控制在 0.25mm 以内。因此,叶片槽的高效切削和调阀端的套料是转子加工的两大难点。

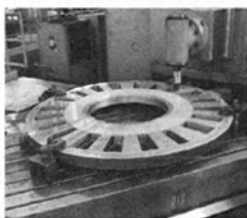


图4 转动环在机床上铣削



图5 转动环在机床上磨削

在机床上磨削。⑤转动环与隔板体组合加工。转动环单独精细磨喷涂硬质金属表面后,再与隔板体进行同研磨喷涂面,以保证转动环与隔板体间的灵活性及气密性要求。

5. 结语

本高参数大功率旋转隔板的制造关键工艺技术的全面解决,从工艺上着力提升了转动环与隔板体的制造技术水平,形成具有完全自主知识产权。通过该旋转隔板产业化的应用,发展了我公司旋转隔板的工艺技术,降低制造成本,提高旋转隔板的工作效率,具有明显的创造性和实用性。同时本工艺创新成果完全可以满足相同结构的所有汽轮机旋转隔板的制造加工工艺。本高参数大功率旋转隔板加工工艺技术为国内首创。MW (收稿日期: 20110311)