

双水内冷发电机超高速转轴加工工艺

上海电气集团上海发电机厂有限公司 (200240) 蒋玉萍 邬建江

大型能源装备制造国产化



技术部副部长蒋玉萍

2011年2月17日亚洲第一台超高速发电机, 国家重点项 目西气东输20 000kW、3 120~5 040r/min 大容量高转速变频同步电动机研制取得阶段性重大突破, 5 544r/min主机带励磁机转子整体在世界上第一台双水内冷发电机制造单位上海发电机厂有限公司超速试验成功。现将其关键零件超高速转轴的加工工艺进行分析。

此发电机转速为4 800r/min, 超速试验为5 544r/min, 发电机转轴重达6 090kg, 材料25Cr2Ni4MoV, 韧性好、硬度高、耐磨性好。转子本体最大直径750mm, 两端轴承挡直径200mm, 总长度5 000mm, 形状呈中间粗两端细长(见图1)。转子平衡要求高, 形位公差要求非常严格。同轴度0.012mm, 圆度、圆柱度0.01mm及

联接励磁机端面跳动量0.012mm。这对设备精度提出高要求, 对工艺控制产生应力及绕度提出难度, 没有良好的工艺方法是不可能达到设计要求的。

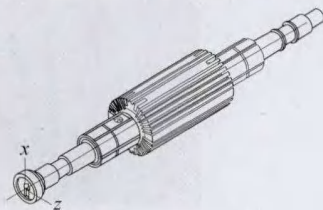


图 1

一、转子加工分析

1. 高速转子加工工艺存在因素

(1) 内应力的控制: 柔性转轴加工时受到机床尾座顶尖限制、切削力、加工热膨胀转轴伸长等留在转轴内应力。

(2) 现有工艺难以控制形位公差同轴度、端面跳动及径向圆跳动, 致使转子的加工精度达不到设计要求。

2. 机床设备影响转子加工精度因素

机床主轴精度圆度、圆柱度正常值为0.015mm。

二、确立工艺方案

1. 确定工艺基准

在机械制造中加工零件和装配所采用的各种基准, 总称为工艺基准。按其功用不同, 可分定位基准、测量基准及装配基准。定位基准用以确定加工表面与刀具相互关系的基准, 即在加工中用作定位的基准; 测量基准用以测量工件各表面的相互位置、形状和尺寸的基准即测量所采用的基准; 装配基准用来确定转轴在产品运行中相对位置所采用的基准。制订工艺规程一个十分重要的问题就是工艺基准的选择。本文重点叙述精基准的确定, 即加工

时采用在转轴轴承挡两侧A、B两点工艺中心托架挡作为加工基准（见图2），加工过程中始终采用两托架挡为精车转轴、测量形位公差、铣转子嵌线槽及转子装配轴承挡，做到工艺加工基准统一。

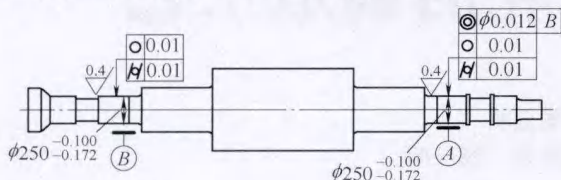


图 2

2. 解决内应力的释放

转轴为柔性材料，需要解决加工时产生伸长量及切削力影响转子产生内应力释放。不能用一夹一顶加工方式，同时为消除卡盘的卡爪接触面夹紧时产生的过定位，采用在转轴两端靠近轴承挡处，确立工艺中心托架挡。机床卡盘夹持法兰与万向节联接带动转轴作旋转主运动，固定两托架托住转轴，尾端不使用顶尖定位，起到能释放加工中产生应力，然后精车转轴各部分尺寸方式（见图3）。

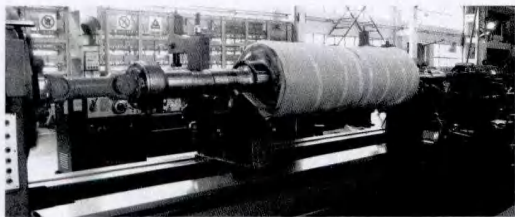


图 3

3. 控制形位公差措施

以减小设备精度对转轴加工的影响。

（1）形状公差的控制方法：在托架挡上加工转轴外圆，采用滑动托架能精确控制旋转精度，加工形状时直接反映转轴托架挡形状公差，克服设备引起圆度及圆柱度的形状误差。

（2）位置公差的控制方法：考虑到图样形位公差要求，先加工只有外圆跳动位置公差要求处；后加工外圆跳动及带有端面跳动位置公差要求处，最大限度减小端面跳动与圆跳动位置公差的关联。

三、设施加工工艺

1. 粗车、半精车及确立加工中心托架挡

在主轴上用四爪单动卡盘一夹一顶方式装夹转轴，粗车、排正长度尺寸；半精车各档放单边

余量1.5mm；精车确立两端中心托架挡（工艺基准），控制形状公差圆度 $\leq 0.012\text{mm}$ ，表面粗糙度值 $R_a=0.4\mu\text{m}$ 。按图样车正本体外圆；按工艺托架挡定位基准铣嵌线槽、通风槽。

2. 两处固定托架中心找正方法

转轴夹左端采用一夹一托方式校正左端托架挡外圆（控制跳动量 $< 0.01\text{mm}$ ，对角处 $< 0.005\text{mm}$ ）。然后中心托架托住工艺挡，并用百分表检测微调中心位置。右端托架中心，利用尾座顶尖寻找中心位置（采用尾座顶尖磁性吸百分表校转轴外圆）。左右位置相等，上下中心位置略高于机床中心 $0.20\sim 0.30\text{mm}$ 。中心位置确定后向外移出，等待与机床主轴装万向节联接。

3. 安装调试万向节

主轴两端安装联接法兰，两法兰与万向节相联。先将万向节与转轴法兰联接（见图4），再用机床主轴校正法兰外圆及端面，控制在 0.01mm 左右，然后法兰与万向节联接（见图5）。

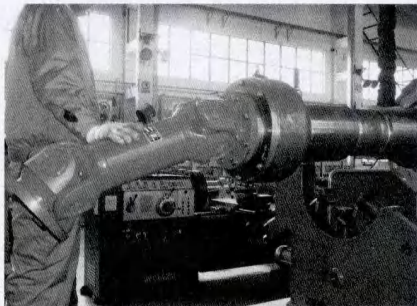


图 4

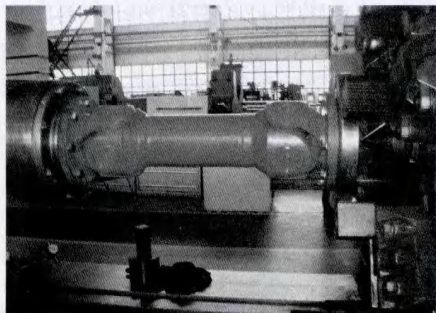


图 5

4. 确立加工方案

根据图示分析，转轴左端为励磁端（联接励磁机），右端为拖动端（拖动端外圆锥度 $1:20$ 与联轴器联接）。

国产化背景下巨型转轮的制造工艺

哈尔滨电机厂有限责任公司 (黑龙江 150040) 翟玉明
渤海船舶重工有限责任公司 (辽宁 125004) 李爱军 杨 明

大型能源装备制造国产化

转轮是水电站水轮发电机组的原动核心部件,它是由水流冲击而转动,带动水轮机主轴和发电机转子旋转,从而感应产生电流,是由机械能转化为电能的重要关键部件。转轮由上冠、叶片、下环等部件装配焊接再经机械加工而成。由于转轮是长期持续在水流的交变载荷下工作的转动部件,而且承担着能量转化的重要功能,因此其设计制造质量的好坏,直接关系着水轮发电机的安全稳定运行以及机组的发电效率。大型、巨型转轮,由于其体形大、吨位重、材质特殊,为其制造带来巨大的难

度。对于像三峡电站那样的巨型转轮,之前国内没有开发经验,在国际上也是空白。在三峡电站左岸一期工程中,包括转轮在内的所有发电设备都是由美国GE、法国ALSTOM等国际上的水电巨头作为主承包商负责设计、制造的。从三峡右岸二期工程开始,哈尔滨电机厂有限责任公司已独立进行了这种巨型转轮的国产化生产。作为三峡工程等大型发电设备的生产者、亲历者,笔者将结合三峡转轮的生产,对巨型转轮国产化制造的工艺作以叙述和介绍。

因为励磁机端面有圆跳动及端面跳动两个公差要求,拖动端只有外圆一个跳动要求,所以必须确立先加工拖动端,后加工励磁机端外圆、端面,能将转轴的整体同轴度及跳动控制在最小状态。

5. 工艺技术要求

转轴为柔性材料,实际操作中会产生挠度,影响径向圆跳动。操作中必须做到以下两点:①动刀前转轴空运转0.5~1h,充分释放转轴柔性屈服点。②在转轴端面及外圆车两基准测量面,打百分表检测端面及外圆跳动。如跳动公差>0.012mm时,则不能动刀加工,必须确保转轴旋转至跳动公差<0.01mm以内,才能精车外圆及端面(见图6、图7)。

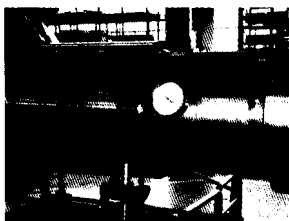


图 6

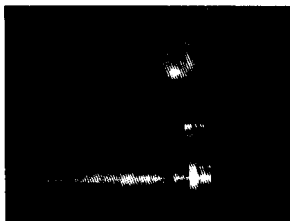


图 7

(3) 由于设备精度直接影响加工形位公差。如传动时会产生转矩、机床主轴圆度及径向圆跳动带来的影响等,所以必须始终在转轴外侧精车(托架挡上加工,减少设备精度对转轴加工时带来的圆度影响)。

在托架挡上精车,主要有两个好处:①托架的精度不受设备精度影响,它走的轨迹直接反映托架挡圆度。②如两托架挡同轴度为0.02mm,托架挡相间距离为3 890mm。通过长度释放其同轴度量 $M=0.02/3\ 890=0.000\ 005$,从量上可以看出同轴度量很小。

四、结语

通过以上工艺控制加工的超高速转子,最终转轴完全达到设计要求。两端轴承挡同轴度在 $5\ \mu\text{m}$,端面跳动量 $10\ \mu\text{m}$ 。转轴加工后的形状和位置实际要素与设计理想要素形状基本一致,转子超速中得到验证。主机转轴试验中不作超速平衡直接就能达到5 040r/min,这种转子的平衡量在国内领先。**MW** (收稿日期:20120607)