

· 设备与材料 ·

高压锅炉给水泵的叶轮测绘及设计

李晓清

(北京电力设备总厂,北京市,102401)

[摘要] 北京电力设备总厂对引进的瑞士苏尔寿公司的 HPTmk200-320 型给水泵生产技术,进行了适合我国国情的国产化改造设计和制造。叶轮测绘采用无损测绘法,仅利用测齿机和分度盘就绘出了叶片型线和流道各部分的尺寸。改造后的该型给水泵运行情况良好,各项性能指标均达到了预期目标。这说明我国完全可以生产出替代进口的产品,为国家节约大量外汇。

[关键词] 给水泵 叶轮测绘 叶片型线

中图分类号:TH31 文献标识码:B 文章编号:1000-7229(2006)10-0069-05

Survey and Design of Impellers for HP Boiler Feed Pump

Li Xiaoqing

(Beijing Power Equipment Works, Beijing City, 102401)

[Abstract] Beijing Power Equipment Works has carried out the retrofitting on design and manufacture of HPTmk200-320 model feed pump imported from Swiss according to the local conditions. The survey of the impeller is the non-destructive survey method, which draws out the profile of the blade and sizes of various flow paths with the tooth measuring and dividing disk. After retrofitting the feed pumps are in good operation conditions and all performance indexes have met the predicted targets. This indicates that China is capable to produce the product substituting the imported ones to save a great amount of foreign currency.

[Keywords] feed pump; survey on impeller; profile of blade

高压锅炉给水泵是火电厂的重要辅机之一,制造技术要求精度极高。叶轮是水泵中最重要核心部件,叶片型线及流道各部分的尺寸正确与否,是关系到给水泵是否能达到设计指标的关键。我厂对引进的瑞士苏尔寿公司的 HPTmk200-320 型高压锅炉给水泵生产技术,进行了适合我国国情的国产化改造设计和制造。改造后的该型泵运行情况良好,各项性能指标均达到了预期目标。本文简要介绍改造过程中遇到的问题及解决方法。

1 叶轮测绘

叶轮测绘通常分为无损叶轮测绘法和破坏叶轮测绘法 2 种。破坏测绘法将会造成叶轮的完全报废而无法继续使用,应当尽量避免。

叶轮测绘的核心工作是对叶片型线的测绘。叶片型线的尺寸、样式直接影响到给水泵性能的好坏,所以测绘工作必须保证准确无误,只有测绘数据精

确无误,才能制造出工作性能与原型完全一致的工件。如果没有合适的测量工具和设备,盖板内部叶轮的叶片型线就无法测量,只有采取破坏叶轮,车去前盖板暴露出叶片来进行测量的方法。这种方法既看得见又摸得着,测量精度很高,但整个叶轮就会报废,造成经济损失。因此这种方法仅适用于已使用过但叶片型线仍完好的报废叶轮。对于新制造的产品不到万不得已不能采用破坏法,只能采用无损测绘法。由于锅炉给水泵叶轮流道窄长,叶片型线扭曲,同时厂内缺乏测量工具(三坐标测量仪),仅利用测齿机和分度盘,在不破坏叶轮的情况下测量,难度很大。叶轮测绘的具体步骤如下:

1.1 叶轮外形尺寸的测量

如图 1 所示,叶轮主要几何参数有叶轮内孔径 d 、叶轮前、后轮毂外径 D_1 、 D_h 、叶轮进口直径 D_0 、叶轮出口直径 D_2 、叶片进口宽度 b_1 、出口宽度 b_2 、叶片进口角 β_1 、叶片出口角 β_2 、盖板出口厚度 S_1 及 S_2 。

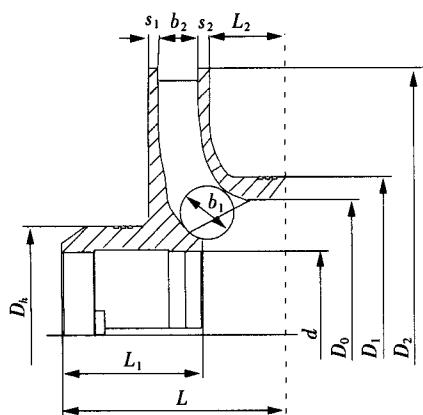


图 1 叶轮外形尺寸

测量出有关尺寸,并标注在测绘草图上。

1.2 叶片型线的测绘准备

选择一片较光滑的叶片,用砂布或锉刀打光氧化皮和铸造鼓包等,然后将叶轮置于划线平台,划出基准线且通过叶轮中心。准备数个手电筒、传感器、自制传感器测头和 1 块万用表。

1.3 测绘叶片及流道型线(利用测齿机和分度盘)

叶片型线的测量采用极坐标法,叶轮上下盖板型线的测量则采用直角坐标系法,具体步骤如下:

1.3.1 将分度盘平放在测齿仪平台上,利用百分表进行粗找正。找正时用橡皮锤轻轻敲击分度盘,使分度盘圆周方向和平面的跳动都小于 0.05 mm,然后将其固定在测齿仪平台上。

1.3.2 将要测叶轮吸入口朝上放在已粗找正的分度盘上,利用千分表进行精找正。找正时用橡皮锤轻轻敲击叶轮,使叶轮圆周跳动小于 0.02 mm,然后将其固定在分度盘上。

1.3.3 利用万用表助测,首先将万用表与探针接好,检查其是否灵敏,然后将探针固定在测齿仪水平游标上,在水平方向上来回拉动游标(带动探针),找出叶轮最大外径,并做一标记。将此处作为每次拉动游标的基准。由于流道较长,探针由叶轮出口处难以探至入口,故探针也可以由入口处探入。每变动 1 次探针,必须重新校对基准和高度。

1.3.4 一切准备工作就绪后,就可以进行测量工作。将叶轮吸入端面定为 0 高度,然后测出叶轮的最大外径,当探针已碰到叶轮外圆时,万用表指针开始偏转,指针偏转到中间位置时,从测齿仪上读取径向数值,并记录下来。接下来探针由出口处伸进流道去。将叶片等分为若干等高面,在同一等高面上开始旋转分度盘,这时叶轮与分度盘一起旋转,每旋转 5° 测 1 点,当探针与叶片接触时,万用表指针开

始偏转,指针偏转到中间位置时,即可从测齿仪上读取径向数值,并将该点的角度及径向数值记录下来。这样依次测下去,直到探针与叶片接触,万用表指针偏转不到中间位置时,探针由叶轮流道出口处慢慢退出,再测出叶轮的最大外径的径向数值,以检测探针是否回零位,其径向数值与开始时相比差值应小于 0.20 mm。一个等高面测量结束后,换一等高面重复以上工作。用同样方法测量探针由入口处探入时其他各等高面上各点的值。注意:每变动 1 次探针,必须重新核对基准和高度。这样将各等高面上的点都测定后,则工作面型线测绘完毕,用同样方法将叶片背面型线测出。

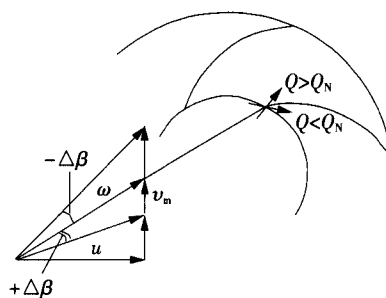
1.3.5 测叶轮上下盖板的内外型线,用上述方法重新校对基准和高度,利用直角坐标系法测量叶轮上下盖板型线,探针以叶轮吸入端面为 0 高度,探针仍按给定的等分高度上升,每上升 1 次探针去接触盖板,只要一接触,就在测齿仪上显示出该点处的 1 组数据,这组数据为该点的标高和半径数值,将这组数据记录下来。这样依次测下去,直至这一型线测完为止。

2 叶轮设计^[1,2,3]

2.1 叶片进口角的选择和计算

2.1.1 叶片进口角和进口速度三角形

叶片进口角 β_1 ,通常取之于液流角 β'_1 ,即 $\beta_1 > \beta'_1$,其冲角为 $\Delta\beta = \beta_1 - \beta'_1$ 。冲角的范围通常为 3° ~ 15°。采用正冲角能提高抗汽蚀性能,对效率影响不大,分析其原因有 3 个(参考图 2):



+ $\Delta\beta$ ——正冲角; - $\Delta\beta$ ——负冲角; u ——圆周速度; ω ——相对速度;
 v_m ——轴面速度; Q ——流量; Q_N ——设计流量。

图 2 叶片进口处的冲角与进口速度三角形

(1) 能增大叶片进口角,减小叶片的排挤。结果减小叶片进口的 v_1 和 ω_1 。

(2) 在设计流量下,液体在叶片进口背面产生脱流。因背面是叶道的低压侧,形成的旋涡不易向高压侧扩散,旋涡是局部的,稳定的,因而对汽蚀的

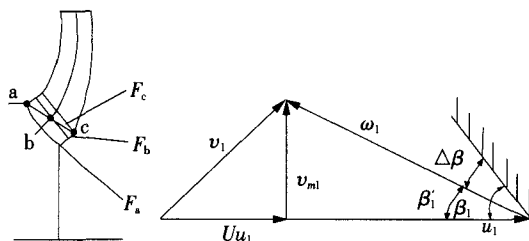
影响较小。

(3)能改善在大流量下的工作条件。

2.1.2 叶片进口角的计算

在计算叶片进口角之前,应先画出叶片进口边,画进口边的原则是:(1)进口边和前后盖板流线大致成 90° ;(2)前后盖板流线长度不要相差太悬殊;(3)进口边适当向入口延伸。叶片向进口边延伸,使液体早受到叶片作用,可以减小叶轮外径,从而减少圆盘摩擦损失;增加叶片的重叠程度,减少流道的扩散;减小叶片进口的相对速度,从而减小进口的撞击损失,这对于提高抗汽蚀性能和减小特性曲线的驼峰也是有利的。但是,延伸程度应适当,否则容易造成进口堵塞。尤其是铸造质量不良时,以少延伸为宜。

叶片进口边有时和过水面形成线重合,有时不重合。如图3所示,进口边与3条流线的交点a、b、c3点的过水断面不同。图中是a、b、c3点的过水断面形成线。



F_a ——a点的过水断面面积; F_b ——b点的过水断面面积;
 F_c ——c点的过水断面面积。

图3 过水断面的形成线和叶片进口边

要计算某点的过水断面,过水断面的形成线应过该点。叶片液流角按下式计算:

$$\tan\beta_1' = \frac{v_{m1}}{v_1 - v_{u1}}$$

式中 u_1 ——计算点液体的圆周速度;

v_{u1} ——计算点液体的圆周分速度;

v_{m1} ——计算点液体的轴面速度。

v_{u1} 由吸入室(多级泵的反导叶出口角)结构确定。对直锥形吸入室 $v_{u1} = 0$;对螺旋形吸入室,可按以下经验公式确定进口 $v_u R$,而后按 $v_u R = \text{常数}$,确定各流线的 v_{u1} 值。经验公式为:

$$K = v_u R = m \sqrt{Q^2 n}$$

式中 m ——经验系数, $m = 0.055 \sim 0.08$,比转数 n_s 小者取小值;

v_u ——圆周分速度;

n ——转速;

R ——流面上扇形中心的半径。

叶片进口周面速度按下式确定:

$$v_{m1} = \frac{Q}{\eta_v F_1 \psi_1}$$

式中 F_1 ——计算点的过水断面面积(过水断面形成线应过该点);

η_v ——容积效率;

ψ_1 ——计算点的叶片排挤系数。

$$\psi_1 = 1 - \frac{Z S_{u1}}{D_1 \pi} = 1 - \frac{Z S_1}{D_1 \pi \sin\beta_1} =$$

$$1 - \frac{\delta_1 Z}{D_1 \pi} \sqrt{1 + \left(\frac{\text{ctan}\beta_1}{\sin\lambda_1}\right)^2}$$

式中 Z ——叶片数;

D_1 ——计算点的直径;

S_{u1} ——计算点叶片的圆周厚度;

S_1 ——计算点叶片的流面厚度;

δ_1 ——计算点叶片的真实厚度;

β_1 ——计算点叶片的进口角;

λ_1 ——计算点轴面截线和轴面流线的夹角,一般 $\lambda_1 = 60^\circ \sim 90^\circ$ 。

算出各流线的液流角,加上冲角,则得相应的叶片进口角 β_1 。

2.2 叶片出口角的选择和计算

叶片出口角 β_2 是叶轮主要几何参数,对泵的性能参数、水力效率和特性曲线的形状有重要影响。常用的 β_2 的范围为 $18^\circ \sim 40^\circ$ 。选择 β_2 应考虑下列因素(参考图4):

(1)低比转数泵,选择大的 β_2 角以增加扬程,减小 D_2 ,从而减少圆盘摩擦损失,提高泵的效率。

(2)增大 β_2 角,在相同流量下叶轮出口速度 v_2 增加,压水室的水力损失增加,并且在非设计流量下冲击损失增加,容易使特性曲线出现驼峰。因此,为获得下降的特性曲线,不宜选过大的 β_2 角。

(3) β_2 角大,叶片间相对流动扩散严重。进口相对速度 ω_1 与出口相对速度 ω_2 按下式计算:

$$\omega_1 = \frac{v_{m1}}{\sin\beta_1}, \quad \omega_2 = \frac{v_{m2}}{\sin\beta_2}$$

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{v_{m2}}{\sin\beta_2} \cdot \frac{\sin\beta_1}{v_{m1}}$$

泵中 $\omega_2 < \omega_1$,相对液流是扩散的,在一定的流量下 β_2 越大, ω_2 越小,流动扩散损失越严重。

出口边平行轴线的叶轮,通常叶轮出口各流线选用相同的出口角。叶轮出口边倾斜时,为使叶轮出口的扬程相同, β_2 角从大直径向小直径递增,而且

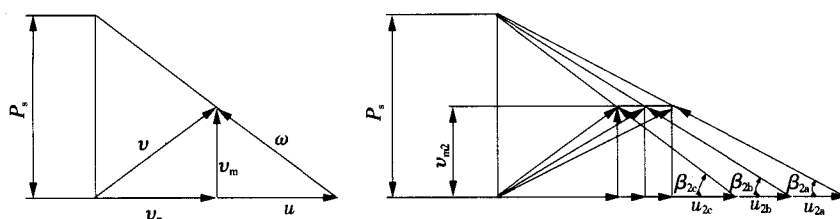
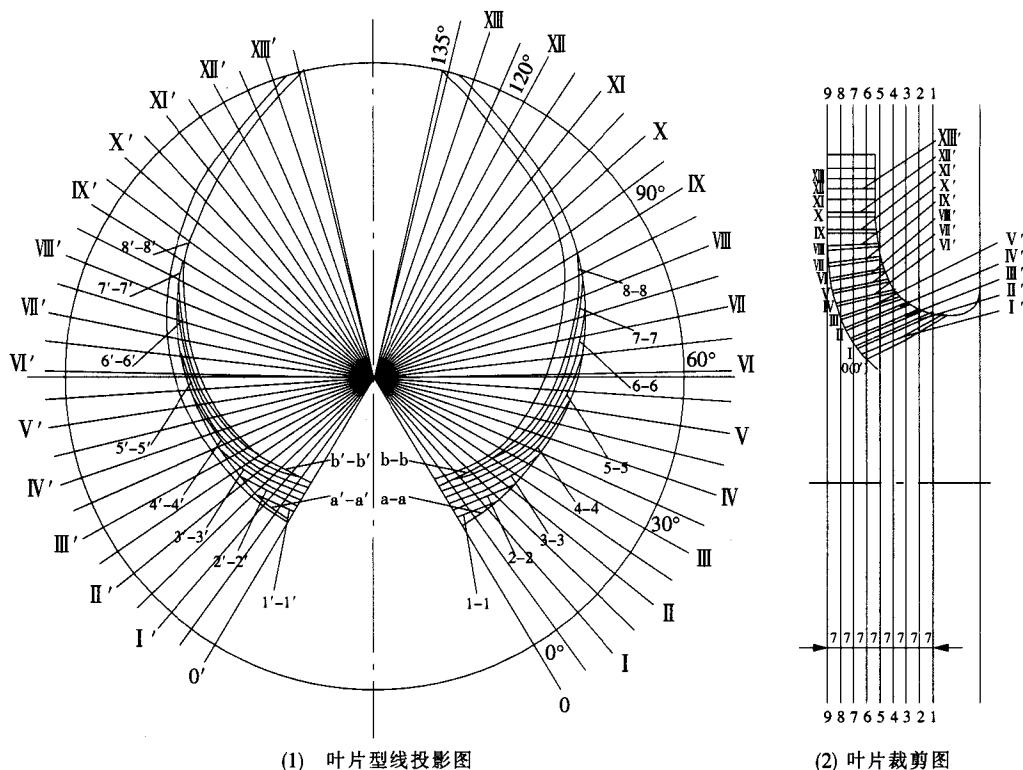


图 4 叶片出口角计算示意图



(1) 叶片型线投影图

(2) 叶片裁剪图

图 5 叶片绘型示意图

通常按自由旋涡理论($v_u R = \text{常数}$)进行计算。

2.3 叶片绘型

2.3.1 绘制叶片型线投影图

通过计算结合测绘反复修正,在保证进出口安放角的条件下,结合叶片型线测绘的极坐标值,利用极坐标法,根据所给的同一等高面上的角度和半径数值,画出与之相对应的角度和半径的平面投影点,连接同一等高面上的平面投影点,作出光滑曲线。如图 5(1)所示

2.3.2 绘制叶片剪裁图(图 5(2))

用 1 组等距的轴垂面去截叶片,每 1 个截面和叶片有 2 条交线(工作面和背面),把多个截面和叶片工作面与背面的交线分别画在平面图中,其具体作图如下:

(1)画 1 组轴垂面,并编号 0、1、2、3、...

(2)在平面图中,画出相应轴面投影图中轴面截线角度的轴面(一组射线)并相应编号 0、I、II、III、...

(3)根据叶片向凸面方向旋转,和去掉后盖板(从后面看)能看见叶片工作面,从前面(去掉前盖板)能看见叶片背面,决定工作面(背面)在侧视图中的位置。如在图右侧画出后盖板与叶片的交面,左侧画出前盖板与叶片的交面。该叶片从后面看去(工作面)顺时针旋转,从前面看去(背面)为逆时针旋转。

(4)作叶片平面投影轮廓线:图中 a-a 是叶片工作面与前盖板的交线。它是轴面投影图中工作面截线与前盖板流线的交点,以相等的半径画到平面图相应的轴面的射线上所得点的连线,同样可以做出:b-b 是叶片工作面与后盖板的交线,a'-a 是叶

片背面与前盖板的交线, $b'-b$ 是叶片背面与后盖板的交线。

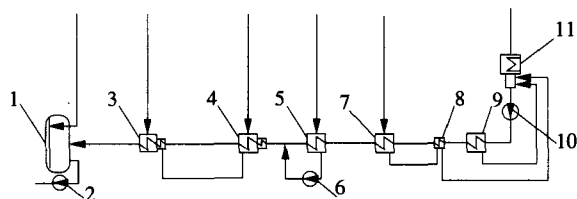
3 实际应用

为确保 HPTmk200 - 320 型给水泵的国产化试制质量, 对试制的 HPTmk200 - 320 型给水泵的首级和标准级叶轮型线及流道尺寸用上述检测方法进行了全面细致的检测, 测量数据多达 1 000 多个点。取得检测数据后, 通过对全部数据进行分析处理, 得出所需的各部数据和尺寸, 画出的全部实测型线与苏尔寿公司提供数据绘制的型线进行比较, 结果显示基本吻合。个别点出现的误差是由于叶片表面铸造缺陷或修磨不均所致。将位置超差部分进行修改后即符合要求。现已投入运行的多台国产化试制给水泵, 经过几年运行考验, 一切情况良好, 各项性能指标均能满足机组要求。证明我厂对 HPTmk200 - 320 型给水泵的国产化改造是成功的。

大港发电厂 3、4 号机组使用 6 台从意大利进口的 13CB - 4 型锅炉给水泵(美国英格索兰技术)已

(上接第 66 页)

加热器创造了便利条件。7 号低压加热器设疏水泵的低压加热器疏水系统见图 4(方案 4)。在 6 号低压加热器设下端温差为 5.6 °C 的内置式疏水冷却段的情况下, T - MCR 工况机组多发约 59 kW, 疏水泵电耗增加约 51 kW, 两者基本相抵。因而, 1 000 MW 超超临界汽轮机的低压加热器疏水系统不宜将疏水泵设在 7 号低压加热器上。



1. 除氧器 2. 给水泵 3、4、5、7 分别为 5、6、7、8 号低压加热器
6. 低加疏水泵 8. 疏水冷却器 9. 轴封冷却器 10. 凝汽器
11. 凝汽器

图 4 7 号低加设疏水泵方案(方案 4)

不过, 在 7 号低压加热器设疏水泵的情况下,

运行多年, 但无备用芯包, 随时可能影响机组的安全运行。进口一套芯包需用大量外汇(值 500 多万元人民币), 如果采用国产化设计制造的芯包仅需 130 万元左右。局领导对此项工作十分重视, 要求我厂开发此类水泵芯包, 代替进口, 以节约有限的外汇。我厂利用本文的测绘、设计方法, 为大港电厂的给水泵叶轮制造出了替代产品, 于 1997 年 5 月完成了生产图纸设计, 1998 年 1 月完成芯包厂内组装工作, 1998 年 4 月在大港电厂 4 号机投入运行。自投入运行以来, 经各种运行工况考验, 一切情况良好, 各项指标均能满足机组运行要求。该项工作获得中国华北电力集团科技进步成果二等奖。

4 参考文献

- 1 关醒凡. 泵的理论与设计. 北京: 机械工业出版社, 1987
- 2 [联邦德国] 赫尔姆特舒·尔茨. 泵原理、计算与结构. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 3 沈阳水泵研究所. 叶片泵设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1983

(责任编辑: 李汉才)

7 号低压加热器疏水量不流经凝结水泵, 若相应减少凝结水泵的设计容量, 凝结水泵减少电耗约 84 kW。如此选用凝结水泵, 一旦 7 号低压加热器正常疏水不能打入凝结水主管内, 疏水将流入凝汽器, 凝结水流量增加较多, 可能对凝结水泵运行产生不利影响。

4 结束语

1 000 MW 超超临界汽轮机的低压加热器疏水系统宜按方案 3 拟定, 即在 6 号低压加热器上设疏水泵, 在 7 号和 8 号低压加热器内设下端温差为 5.6 °C 的内置式疏水冷却段, 并取消外置式疏水冷却器。这样, 1 000 MW 超超临界机组在 T - MCR 工况下, 与低压加热器疏水逐级自流系统相比机组多发约 472 kW。优选方案可以降低凝结水泵的设计容量和设计扬程及电耗, 考虑凝结水泵减少的电耗后, 机组可多供电约 572 kW。在年供电量相同的情况下, 1 台机组年节省标准煤约 840 t。

(责任编辑: 王莘志)

更 正

我刊 2006 年第 9 期 64 页作者简介中, 将作者刘凯的简介错放成杨文成先生的简介。特此更正, 并向本文作者深表抱歉。

《电力建设》编辑部