

灯泡贯流式水轮机模型测试技术研究

张海平 孟晓超 张建光 陈莹 马兵全

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 本文针对灯泡贯流式水轮机的结构特点, 对这种机型性能测试中的一些关键技术难点包括测功系统的结构设计、模型机组变形分析、测量系统配置等问题进行了探讨, 并提出了解决措施, 成功地对灯泡贯流式水轮机的各项水力性能进行测试。

关键词: 灯泡贯流式水轮机、模型、静压轴承、测试技术

Measuring Technology Research on Bulb Turbine Model

ZHANG Haiping, MENG Xiaochao, ZHANG Jianguang, CHEN Ying, MA Bingquan
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038)

Abstract: This paper discussed the key problems on how to measure the hydraulic performance of bulb turbine, including the structure design of torque measuring system, model distortion analysis, and data acquisition system etc. Put forward the methods how to deal with these problems and measure the hydraulic performance of bulb turbine successfully.

Key Words: Bulb Turbine, Model, Hydrostatic Bearing, Measuring Technology

1、前言

灯泡贯流式水轮机是低水头水力资源最优的开发型式, 它具有过流能力大、效率高、土建工程量少、建设周期短、投资少和见效快等诸多优点。但是由于灯泡贯流式水轮机模型机组的结构复杂, 输出功率较小, 一直是水力机械模型中各项性能较难精确测试的一种机型。笔者结合中国水利水电科学研究院高精度水力机械试验设备及测控系统的成功建设和自己近二十年的模型试验经验, 就灯泡贯流式水轮机模型性能测试中的一些关键技术问题作初步探讨。

2、灯泡贯流式水轮机模型结构设计

在制作灯泡贯流式水轮机模型时, 虽然流道形线能够完全模拟真机流道, 但是主轴系统根本无法实现和真机相似, 主要由于灯泡贯流式水轮机真机的发电机是安装在灯泡体内的, 而模型机组的灯泡体尺寸根本无法满足发电机的布置要求, 必须将模型机组的主轴引到模型外部。

2.1 长轴结构

采用长轴结构时, 长轴需要穿过进口压力水箱才能与发电机相连。这种结构的主轴特别长, 还得把主轴分为两段, 每段轴需要两个轴承支撑, 因此对主轴同心度要求特别高, 机组安装比较困难。这种结构的机组在试验过程中当工况发生变化时, 由于进口压力水箱的变形导致主轴同心度发生变化, 将会影响力矩的测量结果。另外由于长轴是从灯泡体前方伸出的, 会影响到模型进口流道内的流态, 与真机进口流道内的流态有一定的差别。

这种结构的优点是模型机组设计简单, 灯泡体内有足够大的空间布置轴承座等部件, 目前有法国的 Alstom 试验台在使用这种结构。

2.2 单一伞齿轮结构

单一伞齿轮结构是在模型机组的灯泡体内增加了一套伞齿轮装置, 将水平布置的主轴在灯泡体内通

过伞齿轮转为垂直布置，然后通过灯泡体的上支墩连接到机组上方的发电机。这种结构的力矩测量必须在伞齿轮的水平轴上完成，不能在伞齿轮的垂直轴上进行测量，因此必须要求将扭矩测量的传感器安装在灯泡体内，通常采用的传感器是扭矩仪或直接贴应变片。

当采用扭矩仪时，在试验前需要经常检查扭矩仪的零点电压和满量程输出电压，当这两个值发生变化时，需要拆开灯泡体进行调整或对扭矩仪进行重新标定。若采用直接贴应变片的方法，则必须用滑环和碳刷将应变片的信号从转动部件传到静止部件，这样就导致扭矩测量特别受到干扰，因为应变片的信号是特别微弱的信号，抗干扰能力特别差，而且该信号在通过滑环和碳刷时将造成很大的衰减。

采用单一伞齿轮结构对灯泡体的密封要求很高，当灯泡体发生泄漏时，扭矩测量仪器就会受到影响，甚至损坏。其优点是解决了长轴安装困难的问题，降低了模型机组对同心度的要求，还完全保证了模型进口流道内的流态与真机相似。目前有日本的 TOSHIBA 试验台在使用这种结构。

2.3 静压轴承结构

静压轴承结构是在灯泡体内布置一套静压轴承，将水平布置的主轴在灯泡体内通过静压轴承转为垂直方向，然后通过灯泡体的上支墩连接到机组上方的发电机。这种结构的测量原理是利用作用力与反作用力，将静压轴承内水平布置主轴所承受的扭矩通过力臂传递到机组外面，然后用合适量程的负荷传感器进行测量，同时还可以分别利用轴向油腔内与径向油腔内的压力差来测量水轮机的轴向力与径向力。国外在上世纪八十年代就开始应用这种结构，国内由于精密机加工技术等原因，只在近几年才开始在国内制造和应用，以前只能引进国外的静压轴承或采用其它结构来设计模型机组。

这种结构不但工作稳定，受环境影响的因素少，而且可以随时用标准砝码对传感器进行原位标定，是目前国际上比较常用的灯泡贯流式水轮机扭矩测量方法。中国水利水电科学研究院自主研发成功的高灵敏度卧式静压轴承剖面图如图 1 所示，其油腔设计中没有采用锥形结构，而是将轴向油腔和径向油腔完全分开设计，并且成 90 度角，便于加工制造和各油腔的压力调整，其主要参数如表 1 所示。

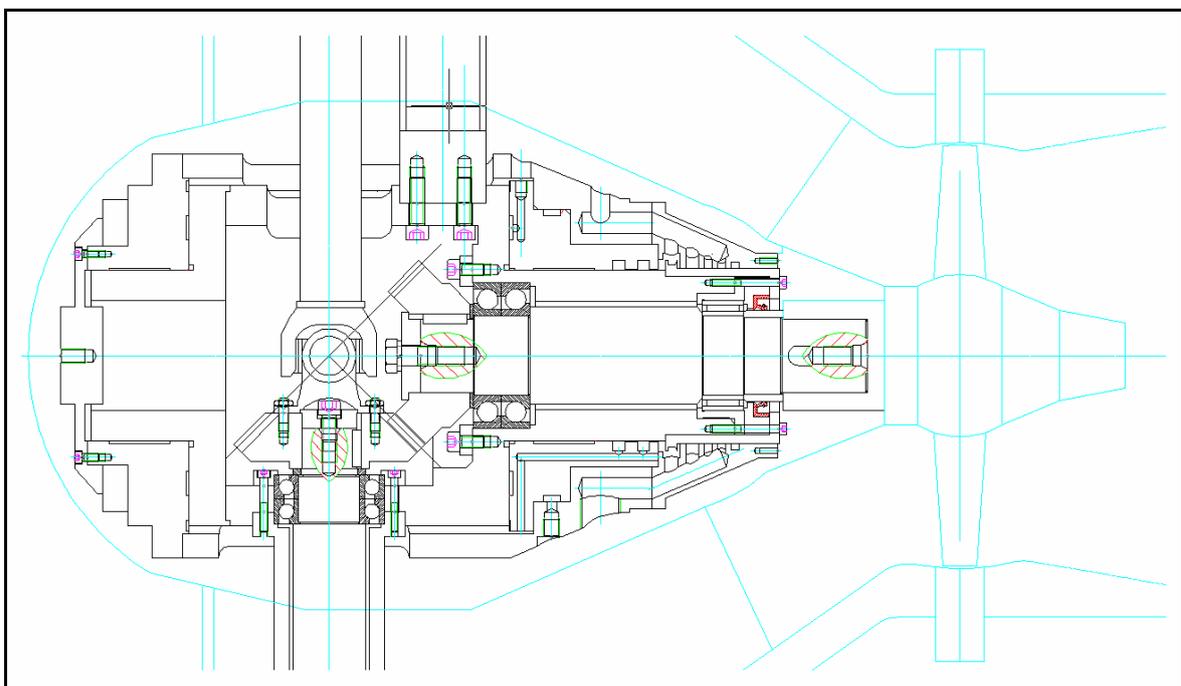


图 1 灯泡贯流式水轮机静压轴承剖面图

表 1 静压轴承主要参数表

名称	最高转速 (r/min)	最大扭矩 (Nm)	最大轴向力 (kN)	感量 (gm)	工作油压 (MPa)
参数值	3000	800	10	7	2.3

3、模型机组

利用自主研发成功的高灵敏度卧式静压轴承,设计了一套流道线形完全与真机相似的灯泡贯流式水轮机模型,包括进口流道、灯泡体、锥形导叶、转轮室、扩散锥管和出口流道等部件,其中扩散锥管采用整体的有机玻璃管直接加工而成,便于对转轮的流态进行观测,如图 2 所示。



图 2 灯泡贯流式水轮机模型

由于灯泡贯流式机组的过流量大,机组受轴向力的作用会整体向下游侧移动,用百分表进行监测发现,位移量与试验水头、流量成正比关系,在大桨叶角度和大导叶开度条件下位移量能够达到 2mm,测得的效率值明显偏低。

当时分析效率下降的原因有空化和力矩测量值偏小等两个方面,采用往尾水箱加压缩空气的方法,排除空化因素后,效率值还是偏低。对同一个工况点采用变水头的试验方法进行比较,结果试验水头越高效率越低,最后判定是由于机组的位移导致效率测量不准。利用槽钢和铁管对机组进口的上下法兰盘进行支撑加固后,用百分表监测到的最大位移量不到 0.2mm,再对同一个工况点采用变水头的试验方法进行比较,结果在不同的试验水头下效率值接近。

4、测量系统

在灯泡贯流式水轮机模型性能测试中,测量系统的合理配置十分重要,包括数据采集卡、各种传感器和各种试验程序。

4.1 采用高性能的数据采集卡

中国水利水电科学研究院高精度水力机械试验设备及测控系统数据采集的硬件配置选用 NI 的系列产品,包括 PXI/SCXI 采集系统联合主机箱 PXI-1052, 通讯控制器 PXI-8336、32 位长度 8 通道计数定时器 PXI-6602、32 通道低速模拟量采集卡 SCXI-1100、16 通道高速模拟量采集卡 PXI-6224 和 8 通道应变采集卡 PXI-1520。

4.2 选用高精度的传感器

流量测量选用美国 ROSEMOUNT8705TSE 型电磁流量计, 水头中的静压测量选用日本横河的 UN11 型差压传感器, 扭矩测量选用德国 HBM 的 Z6 负荷传感器, 转速测量选用 HE-01 霍尔转速传感器, 压力脉动测量选用 PCB 的 112A22 动态压力传感器, 应变测量选用 HBM 的 1-XY41-0.6/120 双栅应变花。

为了提高测量结果的精度, 在开始试验前对以上传感器进行标定。并且使这些传感器尽量工作在 50%~80%量程范围内的最佳工作区域, 真正发挥高精度传感器的作用。

4.3 编写完善的试验程序

试验程序采用 LabVIEW 进行编写, 包括传感器的标定程序和水力机械模型的试验程序, 在进行不同试验项目时只需调用相应的试验子程序即可。在进行模型试验程序时, 在试验程序界面上能够同时显示模型和原型的有关参数与曲线, 并在内部网络内发布数据供其它计算机使用, 在试验结束后能够自动生成数据表格、曲线和报告。

5、测试结果

中国水利水电科学研究院利用上述的静压轴承、模型机组和测试系统, 对灯泡贯流式水轮机模型成功进行了效率试验、空化性能试验、飞逸转速试验、压力脉动试验、蜗壳压差试验、轴向水推力试验、导叶水力矩试验以及流态观测等试验项目。

其中导叶水力矩试验内容包括: 在各个桨叶角度下, 各导叶在保持同步关系时 6 个导叶的导叶水力矩值; 在额定出力点所对应的桨叶角度下, 1 个导叶与其它导叶异步时, 6 个包含该异步导叶和其正背面导叶的导叶水力矩值。

6、结束语

针对灯泡贯流式水轮机的结构特点, 中国水利水电科学研究院自主研发成功高灵敏度卧式静压轴承, 并利用该轴承在 TP2 试验台上完成了灯泡贯流式水轮机各种特性(包括轴向水推力和导叶水力矩等力特性)的测试任务。

中国水利水电科学研究院水力机械实验室已经具备灯泡贯流式水轮机模型的开发研究试验、验收试验以及同台对比复核试验的能力, 能够为开发水力性能优良的灯泡贯流式水轮机提供良好的技术平台。

作者简介:

张海平(1971-), 男, 浙江, 高级工程师, 工学硕士学位, 长期从事水力机械模型的性能测试工作。

联系电话: 010-68781488, 13641232261

