

电机、水轮机 测试技术译文集



哈尔滨大电机研究所

一九八四年七月

编 者 的 话

近年来，随着先进科学技术的飞速发展和电子技术的广泛应用，国外电机、水轮机行业的测试技术发展很快。为了提高我国电机、水轮机行业的科学研究、制造技术和测试技术水平，在较短的时间内达到国际先进水平，我们组织编译了这本《电机、水轮机测试技术译文集》。本文集介绍了国外电机、水轮机行业的测试技术、测试装置和测试基地。主要供我国电机、水轮机行业的设计、制造、安装、运行及试验研究等部门有关人员参考。全书共100多万字，囿于编译者水平所限，错误和不当之处，望广大读者批评指正。

本文集由哈尔滨大电机研究所王泽仁、栾锡广同志负责编审，姜云芬等同志参加部分工作。经滕杏林同志审阅。

编 者

一九八四年七月

目 录

水 轮 机 部 分

水轮机效率测定系统	(1)
在水轮机模型试验过程中主要参数测量方法误差评定的比较分析	(6)
转桨式水轮机转轮的激光测量	(10)
混流可逆式水力机械的机械、圆盘和容积损失的试验研究	(16)
混流式水轮机转轮固有振动的激振与减振的试验研究	(22)
水轮机压力和速率上升的计算	(27)
测量转桨式水轮机模型叶片截面尺寸的三维坐标仪	(31)
关于高水头水泵水轮机转轮叶片应力的试验研究	(35)
作用在可逆式水力机械转动部分上的径向力的测量	(45)
蜗壳压力测量法——温特·肯尼迪法	(48)
水轮机工业试验及计算方法	(63)
转桨式水轮机转轮叶片密封气密性的试验装置	(75)
水轮机和可逆式水力机械综合能量汽蚀试验台	(77)
论间接法测量流量时水轮机真机能量试验产生的误差	(88)
美国拉岗山蓄能电站的流量测量	(94)

水轮机各种流量测定法与应用	(100)
六叶片模型水轮机转轮叶片法兰连接螺钉的应力确定	(106)
叶片式水力机械的综合能量汽蚀试验台	(109)
大容量大尺寸水轮机模型试验	(112)
水力机械模型试验台	(135)
水轮机及水泵水轮机模型试验	(138)
东芝重电技术研究所水力试验室	(145)
美国阿里斯—查摩公司的水力试验室	(147)
西德 Brunnenmühle 水力试验室的高水头试验系统	(162)
西德voith有限股份公司 Brunnenmühle 水力试验室试验台量测值的 自动采集与处理	(180)
引水管道内检查的方法与安全	(205)
水轮机调速器调整用电子孤立运行模拟装置	(209)
水轮机及发电机的振动和摆度的调查研究	(219)

电 机 部 分

用于判断绝缘性能的测量技术	(323)
高压旋转电机线圈绝缘的诊断及寿命预测	(332)
内冷电机的冷却介质漏泄监视装置	(343)
电机电枢绕组断线的无触点检查装置	(346)
隐极同步电机转子绕组匝间短路的检查方法	(350)
定子绕组浸渍质量的检查方法	(352)
电压试验对发电机绝缘长期耐电压性能影响的试验研究	(354)

发电机定子线棒的模型试验	(361)
对冲击负荷时悬挂叠片铁心定位筋的光测应力试验	(368)
预防水轮发电机铁芯装压的损坏	(376)
电机轴力的检测	(379)
旋转电机的测试技术	(381)
汽轮发电机轴扭转的监视方法与装置	(393)
旋转电机转子绕组异常现象检测装置	(396)
水轮发电机振动试验的方法和设备	(401)
旋转电机振动的评价方法	(422)
电机旋转部分转动惯量的测定方法	(430)
大容量汽轮发电机铁芯——框架相对振动位移的测量	(434)
对水轮发电机定子振动进行运行检查的试验	(436)
机器振动的测量和评价	(441)
转速范围从10~200转/秒的大型机器的机械振动——在现场中的振动烈度的 测量和评价	(443)
运行转速从10~200转/秒的机器机械振动——规定评价标准的基础	(449)
旋转和往复机器的机械振动——对振动烈度测量仪器的要求	(457)
交流发电机水冷转子多点机械量检测装置	(463)
一台500MW发电机转子温升的测量	(496)
发电机定子铁心过热点的红外测试	(501)
受冷态温度测量影响的旋转电机的温升	(502)
涡流引起的功率密度的电磁测量	(506)
振动和温度监视的测试技术	(510)
凸极电机转子风损的测量试验	(515)

电机绕组温度的测量装置	(543)
旋转电机冷却气体流量的测定方法	(545)
大容量汽轮发电机定子铁芯的热探伤法	(551)
氢冷汽轮发电机发热的检测	(555)
水轮发电机推力轴承温度的监测	(564)
TBB——320——2型汽轮发电机发热试验	(567)
800MW汽轮发电机在非对称工况下的试验研究	(571)
水轮发电机推力轴承的测量系统	(575)
各种因素对凸极电机定子通风流速的影响	(579)
凸极电机磁极间通风流速分布的测量实验	(635)
换向器电机换向元件中电动势和附加电流的测量装置	(646)
直流电机换向特性稳定性的试验研究	(648)
电刷对换向器压力的测量装置	(650)
运行条件下同步电机参数的测量	(652)
用小容量电源作大型感应电动机试验	(664)
500米20.6万千瓦水泵水轮机及21.6万千瓦发电电动机的现场试验	(671)
换向器的试验研究	(682)
水轮发电机的拆卸检修和好坏判断的要点	(704)
关于发电机电压三次谐波分量的测量方法	(714)

水轮机效率测定系统

(英) R·M·Reynolds等

采用同时测量水库水位、水轮机进口压力、尾水位、导叶开度、输出功率和流速的方法来测定水轮机效率是可能的。但与长期以来就能方便和精确的使用压力与输出功率的测量方法相反，直到最近也还未找到一种准确而又顺利的流量测量方法。因此，为测定水轮机效率研制了多声程声学流量计。这种测量系统可以安装在指定电站的所有压力钢管内，其用途如下：

- ① 水轮机现场验收试验；
- ② 为确定任何明显的效率变化而测定整个时间内机组的特性；

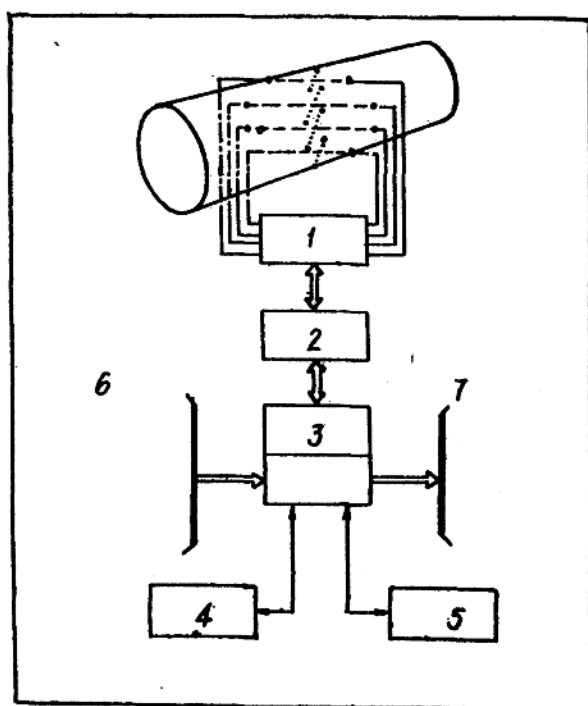


图1 安装在加拿大詹姆斯湾的LG-2电厂的效率测定系统

1—声程选择器；2—穿孔器与控制装置；3—信息处理与存储器；4—日历或时标；5—局部硬拷贝终端；

6 子系统输出

水库水位（伺服压力计）
水轮机进口压力（石英测压力计）
尾水位（压力计）
发电机输出（三相功率表）
导叶位置

7 系统输出

设备效率
流量
毛水头
净水头
压力钢管损失
出力

该系统是由美国马萨诸塞州法尔默思市费尔兰提的 ORE 声学部门在一台声学流量测量辅助系统的基础上研制出来的。系统中所使用的各种不同传声时间法已被水、火电和水力资源部门的许多不同的用户集团所采纳，并用于流量测量之中。这种声学流量计的特点是：

- ① 采用干燥无水率定时流量测量值可精确到 $\pm 0.5\%$ ；
- ② 无阻碍作用，因此不会引起水头损失；
- ③ 适合于在现场安装到大直径引水钢管内；
- ④ 适用于非圆断面和带测压孔的管道；
- ⑤ 能在不利的流速分布条件下（如上游弯管、突变截面管段和阀门处）保持精确的测量。

图1示出了一个有代表性的水轮机效率监测系统，该系统全装在加拿大魁北克省詹姆斯湾电力局所属拉格朗德综合电站的LG-2电厂。为确保高稳定性和处理大量输入/输出、显示、误差核查和自诊断能力所需要的许多计算，使用了一个微处理器—基数系统。

为了对系统运行进行优化设计，微处理器可灵活地编制设计程序。用户在比例放大系数，输出单元、速度—流量过滤和其它工作参数方面均能进行控制。其系统状态可局部显示出来，并能记录在测量系统的打印机上。软件中还包含几个控制信息接收情况的参数，这些参数包括最大流速、流量和流量变化率。这种过滤器与信号质量监测器（SQM）和测距选通脉冲一并提供，以使该装置能适合于高的机械和电气噪音环境。自动诊断系统和误差核查系统也包括在内。

为了检测弱的和/或失真的信号并避免这些信号用于流量计算之中，设计了SQM电路。除甩出单个质量抵劣的接收信号外，如果相当大一部份所接收信号达到不可接受的地步，就产生一个系统差输出信号。这就能保证在不利运行工况下具有高精度。

自检验回路工作要与SQM协调一致，以确保发送器/接收器、计时器和计算回路正确运行。自检验回路由一个假程序声音行程组成，该假程序声音行程在每一测量周期之后能进行自动运行。自检验期间，发送器触发一个能产生仿真接收信号的精确延迟。系统的软件可借助与存储器中已知数值进行对比来检查所测得的传声时间。用这种方法连续检查发送器输出、接收器传感和计算功能的完整性。

在微处理器软件中编入了自动诊断程序，这就可以确定自检测信号质量检测或系统正

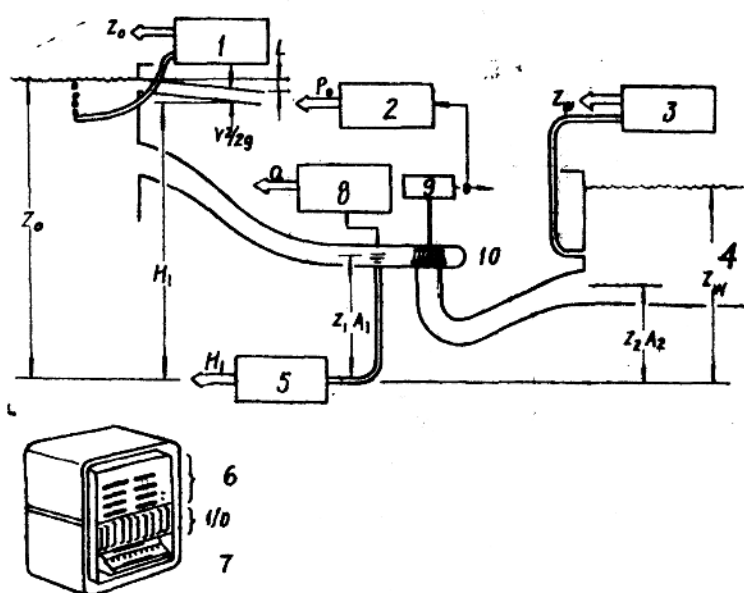


图2 水轮机效率测量系统程序框图

- 1——伺服压力计；2——功率计；3——压力传感器；4——尾水高程；5——石英测压计；6——显示仪；7——硬拷贝；8——声学流量计；9——发电机；10——水轮机。

常运算时所产生的任何误差。这样，在将运算器引向问题源的显示仪上就出现了信息。

系统可按下述方法进行运算：先测出各声程长度（压力钢管中置有声音传感器时），以中心线为基准的声程角和管道直径，然后根据每一管道的参数表将所测得的值投入系统的软件中。参数表中还包含有用于滤波器处理程序的指令、平均值和规定的显示仪与硬拷贝装置直接和最终输出结果的指令。

通常使用4或8个声程，视上游情况和精确测量结果而定。采用多声程时，在几个点上对速度分布图形状连续进行采样。这就可以进行更精确的流量积分和几乎与流速分布变化无关的积分。

运算时，流量计在全部声程和自检测声程上进行音差传声—时间测量，计算出线速度，并根据速度与所应用的合适系数的加权代数和算出流量。该合适系数考虑到管道尺寸，声程几何尺寸、予期速度分布图和其它因素。速度和流量计算中所涉及的数学细节在以前发表的文章(8)中已有过论述。

在电站上获取的连续测量值用流量测量系统进行积分。从图2中可以看出，压力是在三个不同测点上测出的。水库水位是用一个伺服压力计和扩散器子系统进行测量的，尾水高程用精密压力计测量。以这种方法测出速度水头，并在计算效率过程中作必要的修正。

将每个子系统输出信息与输进信息处理机中，并借助预置极限值对该输出信息进行检查、换算和加以平均。如果可能、还用于效率计算中。

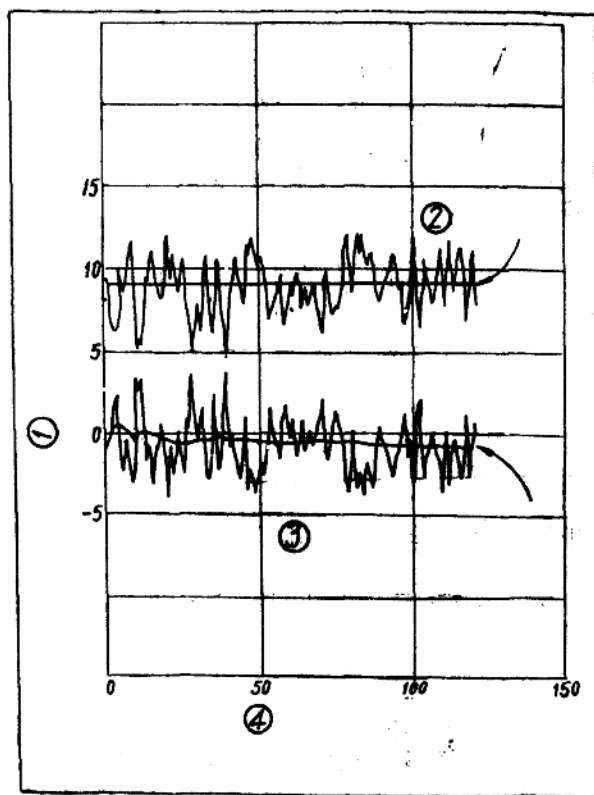


图3 典型效率测定曲线（表明瞬时流量和效率对导叶全开下读数的关系）。

1—%变化；2—平均流量；3—N读数后的平均效率；4—读数。

在LG—2电厂,配置有流量计传感器的管段与上、下游管道的允许偏差约为 3° 。为此,在两台机组上有交叉的声程,以便修正由交叉流动引起的误差。使用若干交叉声程,加上输出单个声程速度的系统能力,可以测定相对于每个声程高度上流量计中心线的速度矢量。这就证明了对交叉流动分量事实上已作过修正。虽然上游管道条件几乎是理想的(从较大圆角弯管处向上有相当于四倍管道直径长度的水平管段,向下紧接着一段相当于25倍管道直径的直管段,直至拦污栅),但在采用单个声程数据检查法容易检测的水流中仍有一个涡流分量。

除修正交叉流动外,交叉声程装置对实际管道中心线和固有的声程基准轴之间角位移所引起的误差是不敏感的。

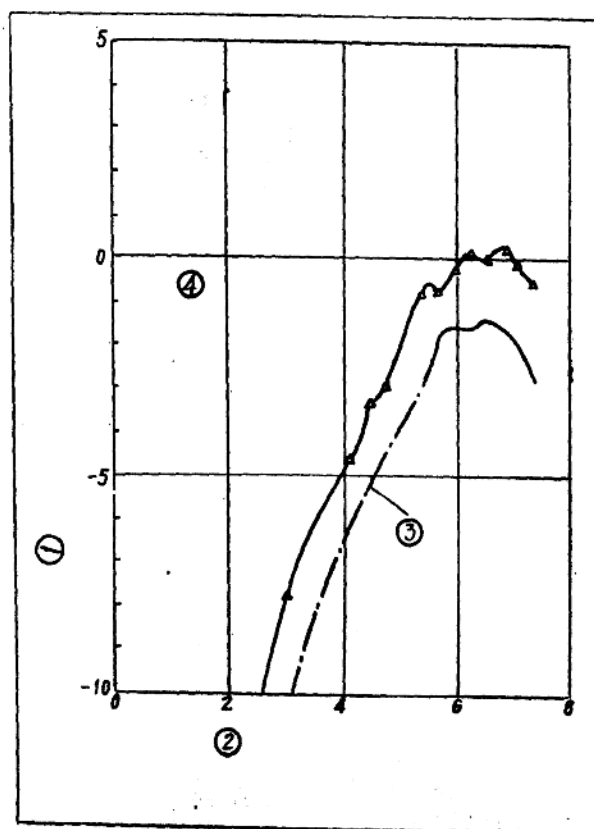


图 4 采用声学测量法在机组A和模型上测出的流量与相对效率的关系曲线

1—相对的机组效率; 2—输出功率($\times 10$ 万千瓦)
3—模型试验; 4—机组A, Δ —声学流量计

试验结果

对LG—2电厂的效率试验已作过广泛的分析。为了进行统计分析,曾将1600个以上的单组瞬时值集中到两个不同的水轮发电机组上。效率计算中所使用的公式如图2所示。石英测压计被当作湖泊和尾水位传感器的率定的压力标准来使用,以便将压力测量中的系统误差减到最小。在16个不同导叶开度下监测两台水轮机的效率,每隔10秒钟作一次取样。

今将所作的某些观测表达如下:

每一成功的流量和效率读数之后计算所得平均效率读数可很快地达到稳定（见图3）。为确定一个平均效率值仅需要50—100个读数的取样量值。

在瞬时流量和效率变化之间有一个相反的关系，这说明效率读数的大多数波动值是由流量出力变化引起的。这种流量和出力的变化最初又是由紊流和快速的速度脉动所引起的。

相同发电功率和尺寸的这两台水轮机是由不同的制造厂制造的。单值效率读数在作为流量函数（随流量而变化）的单位之间变化相当大。将平均值的概念标准偏差与流量比较时，一台机组效率读数的概率误差在90~250米³/秒的流量范围内大幅度的降低（每%的偏差最大为0.36）。另一台机组维持一个0.15~0.2%的标准偏差。由于被测得流量与计算效率之间的关系，其结果表明：一台机组将产生流量扰动，这一流量扰动是由位于上游15米处的声学流量计所检测出来的，这样的检测性能特性在估计水轮机效率时似乎是足够的。在有可能检查单值流量读数的情况下，不能检测出这种特性。如上所述，这一点只有借助参数表才能作到。采用这种参数表允许同时输出平均值及其概率误差。

图4示出了模型试验与所观测到的水轮机效率读数之间的关系。两台机组的水轮机效率平均值作为机组的功率的函数与模型试验密切相关。

使用热力法测量效率对这些数据和试验数据进行比较时，通常采用分析法。虽然在相同时间内不能取两组数据，但所测得的各机组反应特性极为相符。

在LG—2电厂机组上，95%置信度时系统总精度为 $\pm 0.7 \sim \pm 0.8\%$ （与试验机组有关）系统误差的最大单值分量是流量测量值本身，它小于 $\pm 0.5\%$ 。这包括观测数据的标准偏差。总的系统重复度为 $\pm 0.5\%$ 。

〔参考文献8种略〕

裴崇东 译自《water power》

1983, №5.21~24, 邱建甫 校

（上接9页）

他仪表。将水位高度转换成推力的方法，然后再进行测量，能得出良好的结果。电磁式流量计，以及在轴承部件相当可靠的情况下的转速流量计是测量封闭式试验台流量的最有前途的方法。采用有重锤活塞式压力计的文吐里流量计测量压差能得出良好的结果。上述测量流量的所有方法都需要定期检查和用比它们精度更高的重量法校正。

与各种型式变换器结合使用的标准重锤平衡法在测量力矩中得到了广泛的应用。

转速测量采用不连续输出的无触点变换器。时间测量间隔通常不少于10s。

为了更准确地测量参数常采用工作范围较小的变换器，以使被测负载的主要部分能用事先校正的方法自动补偿。在所有的情况下，变换器和二次仪器均应保证在时间测量间隔内对被测参数进行平均，并以不连续的形式输出信号。为了消除主观误差，应采用电子计算机来处理测量结果。

参考文献11种（略）

刘君堂 译自《Энергомашиностроение》1976, №9, 39~41

殷士光 校

在水轮机模型试验过程中主要 参数测量方法误差评定的 比较分析

(苏) В.Ф. Сидоренко

目前现行计算水轮机通流部件的方法,只按理论方法是不能获得给定条件下的最高能量指标和汽蚀性能的最优方案。因此,在制造水轮机时,应采用对方法和精度提出较高要求的模型试验

模型试验过程中必须确定的基本参数如下:

- 1) 模型水轮机的水头;
- 2) 模型水轮机的流量;
- 3) 有效出力,通常按转矩值和转速计算。

在做汽蚀试验时,还要确定水的汽化压力和下游表面的绝对压力。

模型水轮机的工作水头按水轮机出口和进口水流的能量差确定:

$$H_r = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - (Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g})$$

式中 Z_1, Z_2 ——进、出口断面重心的几何高; P_1, P_2 ——相应点的静压力; v_1, v_2 ——进、出口断面的流速; γ ——水的单位体积重量; g ——重力加速度。

为了确定工作水头,通常要测量静水头,同时还要加上进口断面和出口断面的动能差,此动能差由相应点的流量和面积 F_1, F_2 求得

$$H_r = H_{cr} + \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{F_1^2} - \frac{1}{F_2^2} \right)$$

许多水轮机实验室在测量过程中常采用保持水头恒定的方法,并在该试验中将水头值作为常数引入计算公式(如效率计算公式)中。当流量较小时,虽然要准确地保证水头恒定很困难,但这种方法还是适用的。对大流量来说,当速度损失很明显,且应该考虑时,就不应将水头值作为一个常数引入效率计算公式中,因为这会引起明显的误差。综合法是更准确和可靠的方法,这种方法必须保持水头恒定,并结合准确的测量。

多数情况下,在开启式试验台测量水头就是测量上、下游水箱的水位标高差。现将测量这种水位标高差的基本方法引述如下:

1. 目测和读数用的带刻度盘的浮子装置。
2. 液体压力计。
3. 带电气信号的测针系统。可移式测针的读数基板彼此为刚性连接。
4. 测量跟踪系统,由玻璃管和非磁性金属管组成,并与相应的水位相连。磁性浮子在每

个管内自由地浮动,跟踪系统能自动地测出浮子的位移,亦即水位的位移。跟踪系统由差动变压器、放大器和带仪器显示的电气传动装置组成〔9〕。

封闭式试验台测量水头广泛采用液体差动压力计。用水银、四溴乙烷和四氯化碳作为工作液体。但是,这种方法有许多严重缺点〔1〕。目前,在许多水轮机试验室里,均采用不同结构的重锤活塞式压力计测量水头。重锤活塞式压力计的缺点是:多级变换、惯性大和费用很高〔1-4,10〕。用上述任何一种方法测量水头均可保证 $\pm 0.1\sim 0.2\%$ 的精度,但有的困难多些,有的则少些。显然,最好是采用自动测量法,因为这种方法除了能消除主观误差外,还能很好地取平均值、进行数字显示和将测量结果输入计算机里。

由于测量范围较大,对不稳定现象的测量过程有显著影响,以及在单位流量获得测量值的复杂性,所以,高精度地测量流量是水轮机模型试验中的一个最困难的问题。重量法和容积法应属于测量流量的直接法,这些方法不需要事先进行校正。当移动栅与槽壁之间无漏水时,用移动栅来测量流量也是一种直接法,也不需要事先进行校正。

用不同型式的测流堰、节流装置、转速式流量计和电磁式流量计来测量流量均属间接法。

目前,提高试验速度和精度主要是采用重量法和容积法来检查和校正间接测量仪表。下面将对流量测量中所经常遇到的仪表特点分别作一简述。指示误差可能与总的不精确相一致,除了偶然误差以外,它还包括校正的系统误差。显然,在比较试验中应当考虑的那些测量误差将小一些。

测流堰 概率误差为 $\pm 0.5\%$ 。测流堰的误差较小是众所周知的。例如,瑞典国家动力管理局的标准试验台的测流堰,其误差为 $\pm 0.3\%$ 。通常,测流堰为装有各种稳流装置的槽;测流堰板上的水位要经常测量,而流量用表格确定。流量公式,例如,对无侧面压缩的矩形测流堰来说为

$$Q = K_0 \frac{L B h}{t}$$

式中 b ——测流堰宽, h ——测流堰板上的水层高, g ——重力加速度, m ——流量系数,通常用校正的方法求得。

堰板上水层高的测量可用测量上、下游水位的同样方法来进行。《列宁格勒金属工厂》透平联合生产公司研制的将水层高度变换成能推动重锤的力的方法能得出良好的结果。力的测量不是很困难的,并且有一定的度量优点。

移动栅 概率误差为 $\pm 0.3\%$ 。使用和测量相当困难;瞬间测量是不可能的;测量时间间隔是变化的。如果移动栅和槽壁(或槽底)之间发生漏水,则必须校正。一般情况下,流量公式为

$$Q = K_0 \frac{L B h}{t}$$

式中 K_0 ——校正系数; L ——水槽测量段的长度; B ——测量段的宽度; h ——水层高度; t ——测量时间(移动栅通过水槽测量段的时间)。

从公式中可以看出,高度 h 和测量时间 t 是被测的值。值 h 按前述的方法可以求得,而时间用具有石英频率振荡器的电子秒表测得。

节流装置(喷嘴、孔板和文吐里流量计)概率误差为 $\pm 0.5\%$ 。校正过的此种流量计的误差为 $\pm 0.3\%$ 已为大家所知〔2〕。这些装置的结构并不复杂,而且很紧凑,但是,对水中的悬浮物非常敏感,需要定期检查和清洗。装置在水系统中不能随意布置。求流量的公式以下式表示:

$$Q = K_0 \sqrt{\Delta h}$$

式中 K_0 ——流量系数，通常用校正的方法确定； Δh ——节流装置中的压力降。

由于小流量时的相对误差急剧增大和测量难以实现自动化，所以流量与压降的平方关系使测量过程变得非常复杂。压力降通常用液体差动压力计，或采用不同平衡方法的重锤活塞式压力计测量。信息的测取为目测或把测量数据输送到信号盘上。

转速式流量计 这种流量测量法早为人们所知，但是，这种高度准确和可靠的转速式流量计只是在最近10年才用于实践中。这些仪表具有测量范围广、惯性小和在所有测量范围内线性特性好的优点，所以能相当准确地得到流量的平均积分值。该型流量计的误差在 $\pm 0.3\%$ 以内。根据广告数据，英国某公司生产的转速式流量计在很大的测量范围内，其误差不超过 $\pm 0.25\%$ 。信息的测取由光电式或感应式转速变换器来实现。按下式可求出所测得的流量

$$Q = KN$$

式中 K ——校正系数； N ——测量的脉冲数。

这些流量计的缺点是难以保证轴承部件的可靠性。

电磁式流量计 该流量计的结构特别简单。测取信息呈直流电压与流量成正比的形式。这些仪表的动作原理是以电磁感应定律为基础。

$$E = \int_0^L B v dL$$

式中 E ——当导体以速度 V 在磁场强度为 B 的磁场内运动时，在 L 长的导体上感生电势。

采用圆柱形流量计时，借助于布置在管道周围和由稳定电源供电的特殊线圈，就能在径向平面内建立均匀磁场。测取感应电势的电极布置在与磁场垂直的管道相对点上。沿管道流动的液体便是导体。因此，管道的内径就是导体的长度 L 。电极上的电位差是由全部速度矢量（它是测量平面的法线）感生的局部电位差的和。如果在测量平面内所感生的磁场是均匀的话，则总电位差与液体的平均流速成正比，而与速度的径向分布和紊流程度无关。因而

$$E = KLBv$$

式中 K ——恒定系数； $L = d$ ——电极分布直径； B ——电磁感应强度； v ——水流速。

除流速（亦即流量）以外，磁场强度 B 是式中的变量。如果能保证磁场强度不变，则可得感生电势与液体流速的线性关系。对该流量计布置电极处的管子横断面积为 A 时，方程式取

$$Q = vA = KE$$

式中 Q ——体积流量； K ——校正系数； E ——电极上所测得的电势值。

瑞士洛桑工学院用电磁式流量计对流量测量精度所进行的研究得出了有意义的结果。在水力机械试验的一个试验台上安装了一台 $\phi 400\text{mm}$ 该型式的流量计，其流量系数即可按间接法（用文吐里流量计）确定，也可按直接法（容积法）确定。七次反复校正的最大分散点不超过 $\pm 0.27\%$ 。任何时候也未发现流量系数有任何变化。观察表明，由直流放大器、高精度数字伏特计和电子秒表组成的二次仪表，对磁场和电场都具有很高的灵敏度。目前，国外许多水轮机试验室都装有电磁式流量计 [2-6]。

上述所有测量流量的方法都需要事先校正。为此，常采用文献 [1] 所详尽叙述过的容积法和重量法。现有数据的分析表明，重量法能保证更高的精度。例如，在英国国立技术实验室里所进行的研究表明，容积法测量即使极其仔细，但所得到的最小误差也比用重量法测得

的误差大0.25倍。考虑测量水槽的容积、注水时间的称量装置的误差等,重量法的流量测量概率误差可按 $\pm(0.1\sim0.2\%)$ 的值来估算。容积法的波动范围较大,因为测量槽的容积、形状和结构的影响很大。误差可能是由难以估计的变形、温度变化和水中存有不溶解的空气等所引起的。考虑上述情况,容积法的概率误差可按 $\pm(0.15\sim0.4\%)$ 的值来估算。

为了确定模型水轮机产生的转矩,目前广泛采用电气制动装置。通常在装有小摩擦力轴承(如水静压轴承)的定子上测量反力矩。转矩本身的测量因变换器的工作条件不好,以及信息难以摄取和输送而显得非常复杂。

用单杠杆或双杠杆可将定子上的反力矩转换成能用不同方法测量的力。现将主要方法叙述如下:

1) 列宁格勒金属厂ΠOT试验室和其他试验室采用的零位平衡法⁽⁶⁻⁸⁾。该法的优点是:在稳态工况下测量精度较高(约 $\pm 0.15\%$),信息摄取、输送和整理简单。缺点是有惯性。

2) 利用与变换器相结合的标准砝码(如:应变仪测定型或液体型)的平衡法⁽²⁻⁵⁾。这个方法的优点是:惯性小,原则上能保证较高的测量精度(约 $\pm 0.1\%$)。缺点是:输出信号的模拟需要附加变换装置。

3) 带圆盘刻度盘和自动读数或目测读数的重锤平衡法。优点是:自动读数时,精度较高(约 $\pm 0.15\%$);缺点是:有惯性。

转速测量变换器最常用的型式是感应式,很少采用光电式变换器。其他的转速测量方法实际上彼此没有太大的差别。

时间信号的输送和测量间隔的记录,或由晶体频率振荡器单独实现,或由每个试验台上统一的时间指示振荡器来实现。来自变换器的脉冲用电子计数器相加。实践中常采用下列三种来保证转速测量。

1) 时间测量间隔为10s,每转脉冲数为60。

2) 时间测量间隔为60s,每转脉冲数为10。

3) 用可动栅板测量流量时,时间测量间隔波动较大。例如,在瑞典诺哈佛公司的一个试验台上,根据流量大小,其测量间隔在32~210s范围内变化,每转脉冲数为60。

对上述所有情况来说,转速测量误差值大致相同,小于 $\pm 0.1\%$ 。

作为今后加强研究工作的储备和作为主观误差源,对测量结果的整理需要特别注意。为了消除主观误差,宜于采用不连续输出信号的变换器,或者与模拟电码装置结合使用的模拟变换器。第二种方法效果较小,因为它与附加误差有联系。用自动方法代替肉眼取平均值的方法,就能消除出现偶然性的结果和提高整个测量的可靠性。将测量平均结果以数字形式表示在显示盘上。为了进一步整理结果,许多试验室不管是在改变已定程序的专业化方面^(2,3,5,6,9,10),还是在集中的通用化方面⁽⁴⁾,都已采用了或正在采用电子计算机。

进而可得出以下结论:

对于水轮机模型试验采用的测量技术的分析表明,测量设备的精度和测量的可靠性都在不断地改善。正在采用一些新型测量仪器和测量及测量结果的整理方法。

测量开启式试验台的水头可采用具有跟踪系统的水压表、测针和其他遥控仪表;测量封闭式试验台的水头采用重锤活塞式压力计。

测量开启式试验台的流量通常采用测流堰。堰板上的水位测量采用跟踪浮子、测针和其

转桨式水轮机转轮的激光测量

(西德) F.L.Brand 等

在西德,已经采用了先进的(带有有效的数据获取系统的)激光测速器对转桨式水轮机转轮内水流情况进行测量。研究探讨了激光功率和散射微粒对测量结果的影响,并详述了在叶片流道内所获得的流速分布情况。

水力机械工艺上的不断进步需要有先进的测量技术。水轮机转轮和水泵内部流速场的测量是特别重要的。因为它为其内部水流流态的验证提供了可能。

激光式多普勒风速计是一种无干扰的光学测量装置。可以在它的测量体积内产生由两束相干的激光束相长和相消的干涉所引起的干涉条纹。穿过测量体积的一个微粒辐射出一串散射光正弦波群。其频率相当于微粒的速度。然而,事实证明,在水力模型机试验台上使用它是困难的。在大多数情况下,必须采用一台简便的后散射式的装置。因为试验台的几何形状不允许使用向前散射式的装置。墙和窗口的闪光减弱了信号的强度,而且水流中必须有微粒存在被证明是它的另一个缺点。

此间,由于采用了L2F—激光测量技术,使测量方法有了较大的革新。当微粒穿过由两个高度聚焦的激光束时形成的两个焦点时就会发出散射光。而该装置就是通过对这两个散射光的检测来进行测量的。其速度是由微粒以一个光束中腰部移动到另一个光束中腰部所需的渡越时间与两光束中腰部间的已知距离中求出来的。在测量体积内以干涉条纹到两个分开的小聚焦点的光照度的变化带来了很多优点。而这些优点使得这一技术应用于测量轴流或径流式压缩机和涡轮增压机上。

光照强度的增加使得激光对微小的颗粒特别敏感。由于横截面积大幅度减小,使系统对墙和窗的闪光具有极好的抗干扰能力。

L2F信号处理

由穿过测量体积的微粒发出的散射光被两个独立的测光仪转换成电信号。为了提高激光器对噪声干扰的抑制能力,在该测量系统中安装了一个具有接近“高斯”反应的低通滤波器和一个鉴频器。操作人员调整好滤波器滤波范围,使大部分脉冲上升时间均在此范围之内。并将鉴频器能级调整到这样一个数值,使得在此数值下,大部分由噪声引起的测量误差受到抑制。直接测出微粒渡越时间,并将其译为电子计算机存储器内的地址码。无论何时测出渡越时间,其读数都要加到适当的存储单元中以前存储的数值上。存储器中所存储的信息被连续显示在一个12时的阴极射线管的荧光屏上。这种真实时间的显示提供了数据的累加值,并增

加了激光技术的效率。

激光器的工作条件列在表1中

使用AlW氩离子激光器，它的工作波长是514毫微米，输出功率为5兆瓦—100兆瓦。

表1 激光器光学系统的工作条件

透镜焦距	500毫米
透镜直径	105毫米
测量体积	
光束直径	15微米
光束距离	220微米
长度	250微米
($1/e^2$ 强度)	

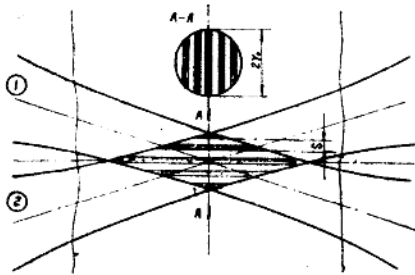
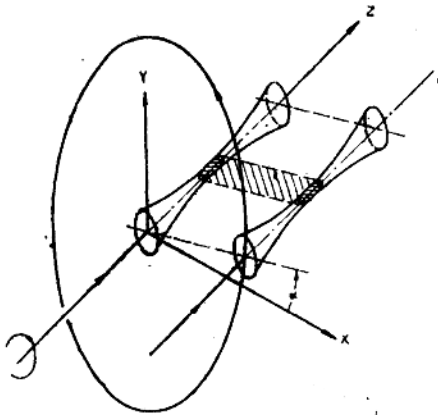


图1 LDV和L2F测量体积

实验装置

转桨式水轮机模型转轮流道内流速的测量采用了由鲍雷太斯有限公司(PolytecBmbh)和DFVLR Clogne 两家合作发明的先进的同轴后散射激光系统。

在一个用于试验不同的转轮设计的水动力特性的水轮机模型上进行了测量。模型水轮机直径为350毫米，运行水头为3.6米，容量13.3千瓦，转速800转/分，测试点取在转轮流道内约100毫米的半径上和出口处。两块直径为15毫米，厚为2毫米的玻璃窗嵌在水轮机涡壳上，一个位于转子中部，一个在转轮的出口处。L2F按图2所示进行安装。

散射微粒

水箱的巨大容量不允许再往水流中添加任何人为的微粒，因而必须利用水中的天然微粒或通常存在于水流中的小气泡进行测量。当水箱中充满了过滤的新鲜水时。激光器可以探测到大量直径为20微米或20微米以上的气泡。当这些气泡通过测量体积时，来自较小微粒的信号是看不到的。可以观测到信息率是每秒3000到4000个微粒。一天后水中大气泡的密度急剧地减少，且激光器电子的鉴频器能级也被减小了。现在，系统对比较小的微粒发生反应。所获得的信息率在每秒1000到3000个微粒。

作为其功率的函数的激光器的特性

研究测量所需要的激光器功率是一个重点。采用了内装式功率计来监测激光器的输出功率。在测量体积内的激光器功率是激光器输出的有效功率的70%。大部分损失是由声—光调节器引起的，这种调节器用来避免由于桨叶的闪光而造成光电倍增管瞬时饱和用的。

在低亮度等级时，闪光亮度的偶然波动式光电倍增管内的尖峰电流脉冲会产生许多信号，其大小等于或大于水流中的典型微粒所产生的信号。