

液力传动元件内部流场测量的激光切面法*

马文星 成凯 高秀华 赵红

(吉林工业大学)

提 要 叙述了激光切面法的测量原理、系统构成;介绍了用激光切面法测量液力变矩器和液力偶合器内部流场的具体方法和步骤,并给出了一个液力偶合器的测量实例。

关键词 液力传动 激光切面 流场测量

The Laser Cross Section Method of Measuring Internal Flow Field in Hydrodynamic Transmission Parts

Ma Wen-xing Cheng Kai Gao Xiu-hua Zhao Hong

(Jilin University of Technology, Changchun)

Abstract In this paper, the measurement principle and the system configuration of laser cross section method are described. The concrete method and procedure which are used to measure the internal flow field of hydrodynamic torque converter and coupling are introduced. A measurement example of hydrodynamic coupling is presented.

Key words Hydrodynamic transmission Laser cross section Flow field measurement

1 引 言

掌握液力传动元件的内部流动规律对于其性能的改进和创新是极为重要的。而获得其内部流场的途径有两条,即理论计算和实际测量。通过三维或准三维流动计算可以模拟出液力变矩器和液力偶合器内部流场数值解;采用各种现代流动测试技术实测的内部流场使我们能够直接掌握液力元件内复杂的流动规律,此外,须用实测数据验证理论计算结果和完善三维流动计算方法。

在流场实际测量方面,由于液力变矩器和液力偶合器叶轮的旋转以及流道几何形状复杂,早期的测量是相当困难的。多年来,随着流动测试技术的不断发展,人们研究了多种用于测量液力传动元件内部流场的方法。早期测量中使用的液柱显示的多孔探针已发展成为内部装有微小传感器的动态响应特性很好的多孔探针。此外还发展了火花放电法、热膜探针、

收稿日期:1996-12-30

* 德国国家科研基金资助项目,特殊研究领域278

马文星,工学博士,副教授,长春市人民大街142号 吉林工业大学工程机械系,130025

遥测、激光多普勒测速(LDA)等方法^[1]。最近用于测量液力传动元件流场的一种新方法是激光切面法,或称脉冲光测速法。与LDA相比,该方法的特点是既可定量测量,同时又使流动可视化,并且无需逐点测量,而是一次测量一个面,该测量面上各点的测量结果具有同时性。另外,该法比LDA更为简便、实用、可靠。

2 激光切面法测量原理与系统构成

2.1 测量原理

激光切面法以激光器发出的光束作为光源,通过一套光学系统产生一个激光平面,使该平面沿预先规定的方向切入被试件(液力变矩器或液力偶合器)中。被试件由有机玻璃制成,其工作液体中混入某种微小粒子,该粒子对激光产生散射,粒子的运动代表流体质点的运动。借助垂直于光平面或成一定角度安置的照相机或摄像机将粒子的运动记录下来,从而获得一个切面上的流动图像。

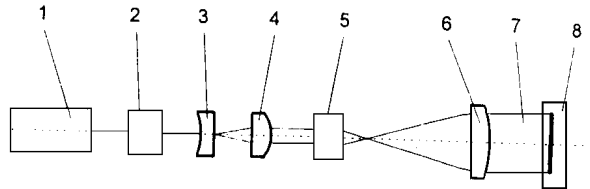
在获得了流动图像实现了流动可视化的基础上,为确定切面上各点流速的大小,需进一步对流动图像作量化处理。粒子(即流体质点)在所测量的切面上的运动速度分量为

$$\vec{U}_p = \vec{\Delta X} / \Delta t$$

其中 $\vec{\Delta X}$ 为粒子位移向量,从记录下的粒子运动轨迹照片或录像上并考虑拍摄时的放大因子而获得; Δt 由激光脉冲频率或定义的照相曝光时间确定。将流动图像传入微机并按上式进行量化处理,则得到切面上的流场分布(各点流速大小和方向)。

2.2 光学系统构成

如图1所示,激光器1发出的光束的直径经凹透镜3和凸透镜4加以放大;柱面镜5又使光束变成厚度可调的激光平面。移动凸透镜6可使光平面的高度在一定范围内变化(根据模型液力元件的尺寸调节光平面高度)。反射镜8的作用是使光平面7能够沿径向或轴向切入到液力传动元件中。为了确定在某一切面内粒子运动速度的大小和方向,在测量时



1 激光器 2 脉冲器 3 凹透镜 4 凸透镜 5 柱面镜
6 凸透镜 7 激光平面 8 反射镜

图1 激光切面法光学系统

通过脉冲器2(一个由小电机带动旋转的遮光片)使激光产生如图2所示的脉冲。图中上方的粗实线将与通过照相或录像得到的粒子运动轨迹相对应,其长度对应流速大小,右端一段代表流速向量头部,而左端一短段代表流速向量尾部。

2.3 关于混入工作介质中的粒子

在激光切面法中,混入液力元件工作介质中的粒子的选择对测量精度是极为重要的。为使粒子的运动能够真实地代表流体质点的运动,首先要求粒子对流体质点具有良好的跟踪性,即要求粒子的密度与工作介质的密度差愈小愈好,同时要求粒子的直径要小。其次,为了能够拍摄到粒子运动轨迹的清晰的图像,要求粒子有足够的散射强度,而粒子散射强度随粒子直径的增大而提高。在激光切面法中常使用的粒子材料有聚苯乙稀、聚酰胺、三氧化二

铁、铝、云母+氧化铁等。制成的颗粒的直径应兼顾上述两个方面的要求，混入工作介质中粒子的浓度则需由低至高调试直至获得的流动图像的效果达到最佳^[2]。

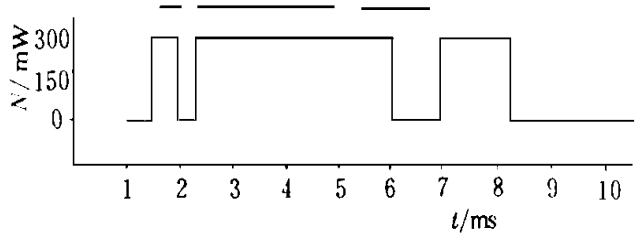


图2 激光脉冲

3 液力传动元件流场测量 方法及示例

将图1所示的光学系统垂直于液力传动试验台安置，使激光平面切入要测的液力元件。为获得液力传动元件内部三维流场，需分别沿两个不同方向使光平面切入测量面。调节图1中的反射镜8可使光平面沿液力元件轴向(柱面)或径向(平面)切入。在垂直于光平面的方向安置照相机或摄像机。为使流动图像清晰，有时亦将照相机或摄像机顺着叶片倾斜的方向安置。当测试运行时，拍摄下测量面(切面)内粒子运动轨迹(流动图像)。针对液力元件确定一组轴向柱面和一组径向平面，拍摄不同工况下各测量面上的流动图像并传入微机，然后在微机上对单个画面进行定性分析和量化处理。根据照片上或录像图像上粒子在一个激光脉冲周期内(或在照相曝光时间内)所走过的轨迹的长度(并考虑拍摄时的放大因子)计算出粒子在该切面内的运动速度分量。文献[3]采用激光切面法对一个有机玻璃制做的平板直叶片模型液力偶合器进行了流场测量。偶合器有效直径为356 mm，在泵轮和涡轮上分别确定了6个轴向柱面和5个径向平面作为激光平面要切入的测量面。测量中以水为工作介质，选用具有良好跟踪性和散射光强的聚酰胺作为粒子材料，其密度为 $\rho_p = 1.016 \text{ g/cm}^3$ ，制成的颗粒直径为 $d_p = 0.03 \sim 0.06 \text{ mm}$ 。试验时采用氩离子激光器，功率调至300 μW ，激光平面厚度调为5 mm。作为一个示例，图3显示了在转速比 $i = 0.6$ 工况下涡轮第6个轴向柱面(半径 $R = 170 \sim 175 \text{ mm}$)上的流动图像。从该图中可定性地掌握该工况下该切面内绝对流动情况。图4为将图3的照片传入微机量化处理后得到的流速向量场。在量化处理中，已将流速换算为相对速度。据此图可作进一步的定量分析。

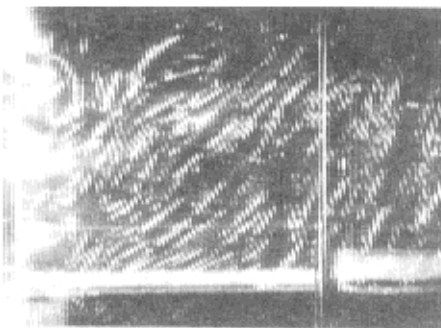


图3 流动图像

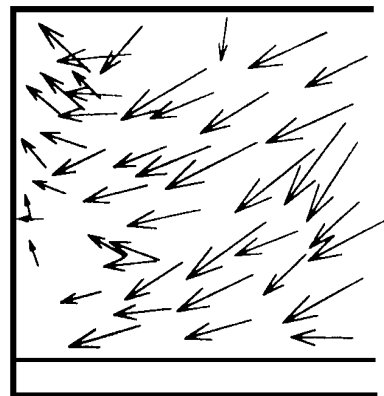


图4 流速向量场

4 结 语

激光切面法是一种新的测量液力传动元件内部流场的方法, 既可以使内部流动可视化, 又可以获得定量的流场数据。该方法测量精度较高, 避免了逐点测量的繁琐性, 方法较为简便、可靠, 实用性强, 但需制作液力传动元件的有机玻璃模型。

参 考 文 献

- 1 马文星 国外车辆液力传动研究现状及其展望 汽车工程, 1996, 8(4): 193~ 198
- 2 Adrian R J. Particle-Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics Annu Rev Fluid Mech, 1991. 21~ 25
- 3 Godde P. Die stromung in hydrodynamischen kuppungen bei schaufelgittervariation Dissertation, Ruhr-U niversitat Bochum, 1995 109