

激光多普勒测速研究与应用分析

吴彪

江阴兴澄特种钢铁有限公司

[摘要]非接触测量是机械测量的一个重要课题,随着工业和科学技术的快速发展,了解和使用工业中广泛使用的非接触检测机制和方法变得越来越重要。固体表面运动距离测量的要求在工业生产和测量领域有着广泛的应用。为了从非接触测量的角度测量固体表面的运动速度,将平方相关测量技术应用于固体表面运动速度的测量。为了实现非接触式实时高精度在线测量,研究了基于相关测量技术的激光测速系统。

[关键词]激光;测速;电路;研究;现状分析

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.11.1460

一、引言

激光测量问题也是目前在长度测量中最常见的问题。自20世纪60年代,当梅曼博士成功研制出世界上第一台激光器后开始,它就因良好的单色性、方向性和高亮度而引起了人们的极大关注。激光检测技术是在20世纪60年代中期才发展起来的。基于单色高能激光器的特性,能够使用较低频率测量并直接检测物体的加速度变化。与传统的雷达测速仪相比,激光测速仪的特性有了显著的提高。

二、激光测速方法的研究现状

2.1 激光多普勒测速技术

激光多普勒测速仪(LDV)是一种测量流体和固体速度的激光多普勒效应的设备。当激光用于照射液体或固体表面时,分散在固体表面上的液体或颗粒的示踪粒子散射激光。光探测器用于检测散射光的频率变化。根据散射光频移与速度成线性关系的原理,可以得到液体或固体表面的运动速度。通过控制入射光束的角度,可以精确控制测量室,并且可以将光束收集在测量点的一个小检测区域内,以获得高精度测量。LDV的速度测量范围从每秒几毫米到超音速宽度,可以实现无压力、密度、温度、物体黏度等多维速度测量,空间分辨率高,测量范围大。

该方法具有精度高、实时性好的优点。目前,LDV已成为测量固体速度和复杂流场中速度的重要工具。从初始速度测量入手,扩展了速度测量、两相流测量、层流边界流测量、气体注入过程的应用。

2.2 激光多普勒测速算法研究

激光多普勒测速仪利用多普勒效应处理信号,并根据多普勒频率和速度之间的关系计算速度。由于频率估计误差会影响测速结果,因此开发一种高精度、快速的信号处理算法尤为重要。

现有的激光多普勒测速信号处理技术,与直接时间范围和频率范围内的模拟处理方法相比,数字FFT技术具有快速的动态响应时间和抗干扰能力,与其他信号处理技术相比,数字信号处理速度和数字存储容量都有所提高(频率跟踪、计数等)该技术具有更明显的速度跟踪和噪声适应性。然而,传统的数字FFT技术直接使用FFT谱峰对应的频率作为多普勒

频率估计。

功率谱分析常用于随机信号处理,这是平稳随机过程的基本参数,它描述了频率范围内每个频率分量的能量分布。激光多普勒信号是一种随机信号,在一定时间内可被视为一般稳定信号,可通过功率谱分析进行分析。性能谱分析主要分为经典谱分析和现代谱分析。经典的光谱分析是基于传统的傅里叶变换,用间接法估计有限观测序列的自相关函数,用傅里叶变换得到功率谱的估计值。这种方法于1958年在赫尔曼提出,也被称为BT法,在不估计自相关函数的情况下,可以得到功率谱估计的振幅平方结果,也称为周期图法。

三、激光测试应用的分析

3.1 激光多普勒效应

激光多普勒测速是一个重要的理论基础,当光源相对于对象移动时,移动对象散射的光产生频移阈值。频率变化的大小取决于运动物体的速度、入射光的方向和速度角。例如,光电倍增管、硅光电二极管和二极管可能与光波的频率不对应,因此很难直接检测光电探测器散射的光的频率。然而,当两个光波在一定条件下从同一相干光源投射到光电探测器表面时,它们之间的频率差是通过光电转换的平方效应获得的。这种频率差对于多普勒频移是必要的。由于频率响应接近或高于光学探测器,其他频率信息在接近或高于光学频率的情况下被过滤,这被称为光外差或光混合。利用光电探测器采集散射光,将光的多普勒频移转化为电流的变化,然后用不同的电路对信号进行处理,获得速度信息。

激光测速仪有三种基本外差检测模式。它包括参考光模式、单光束双散射模式和双光束双散射模式。

3.2 光路模式

参考光模式,激光被分束器分成两束。一个作为参考光很弱,另一个作为照明光很强。它聚焦在测量范围内。光电探测器以相同的方向散射参考光和散射光,并照射不同的光。多普勒频移由光外差获得。为了基本上与参考光和散射光的强度相似,参考光必须衰减。一般来说,参考光束和辐照光束之间的强度比约为1:99。这里,可以使用中性滤光片来抑制参考光,或者可以为分束器选择合适的分束比。单模双光束散射,入射光束在两个不同方向上散射,多普勒频移

通过两个外差散射获得。两个对称的散射光通过大透镜前面的两个开口，剩余的散射光被阻挡。两个散射光通过分束器耦合到一个光束后，光外差由光电探测器执行。

这种光束的双散射模式频率较低，没有明显的优点，但可以用来接收两对来自两个垂直表面的散射光，同时测量两个速度分量，它能以任意角度旋转双光栅，并在测量平面上接收任意方向的速度分量。

双散射模式，两个模式和另外二个光束都被散射。而二束相互平行的激光被分束器集中在同一个点上。二个光在同一个方向上的双散射光汇聚到外差光探测器上，以得到多普勒频移。而孪生光双色散模型也是在激光测量中使用得最普遍的双光程模型。多普勒频移仪和入射光束的方位相关，而和散射光的方位无关。光接收器可以设在任意地方，而且还能够通过更大视角的立体聚焦来改善杂散光的特性。

3.3 激光多普勒测速技术的应用

光电探测器可以进行信息收集和光电变换。但是，由于在实际使用中，接受到的多普勒信号相当小，而且其中存在大量噪音，所以人们必须对其加以放大和过滤。于是针对多普勒信号的特性，人们研发了频率分析仪和频率跟踪仪，以及计数处理器、F-P扫描干涉仪、滤波器组、光子计数相关法，以及快速傅里叶转换。频率追踪法是一类特性优异、使用较普遍的信号处理器。其最大的好处是，有时也能够通过降低信噪比和获得实时的速度信号。而频率跟踪法可以通过对闭环负反馈信号或追踪系统信号进行实时的连续检测。利用信号滤波器的增益电路对低频率信息进行过滤，在获得较高信噪比的纯信息后进行频谱跟踪电路。方波频率信息主要来自压控振荡器的输出功率，并通过高度线性的 $f\text{-in-V}$ 转换电路转换为线性模式。

激光多普勒测速仪，可以应用在空气动力学和流体动力学研究中，也用来测定与流场分布相关的物理参数，如风洞实验室、水柱、流体参数动力学等。孔隙水的压力模型和喷流安装。近年来，它还能够测定亚音速和超音速束流的转速，并研究了压缩空气的发射过程和爆炸过程，为燃气涡轮发动机、汽缸、锅炉和原子炉等的设计与研制提供了试验数据和检测结果。激光多普勒测速仪已经从科研院所走向了工业生产，可以控制铝板和钢材的干燥速率、固体粉末的运输速率、煤气的运输速率、棉布、纸张和人造纤维的运动速率。从而改善质量。与其他技术相结合，可以在测定气体浓度和振动等物理参数时拓宽气体速度计的使用范围。激光多普勒测量技术已逐渐广泛应用到国民经济的各个领域，并获得了良好的经济效益。

多普勒雷达利用多普勒效应制成的雷达称为脉冲多普勒雷达，近年来，多普勒天气雷达越来越流行。雷达能有效监测热带气旋、雷暴和大雨等恶劣天气的发生。多普勒测速

仪能准确测量船的速度。此外，大型现代化船舶进入港口变得十分容易。多普勒测速仪也广泛应用于高速公路上的车速测量。血液流动的研究，超音速风洞中激光测速，激光多普勒测速仪具有广泛的应用前景，可用于振动测量、固体表面速度测量、大气风速测量和湍流测量。具有接触面测量速度快、无惯性、对测量面无损伤、精度高、可靠性好等特点。此外，该技术已应用于各个部门的实验研究。随着现代军事、工业和民用自动化设备的日益增多，测速所需的设备得到了广泛的应用，这也促进了速度传感器的发展。例如，光电速度传感器、磁电速度传感器和霍尔速度传感器。其中，光电速度传感器具有许多优点，在现代设备中得到了广泛的应用。日本和西欧国家也在光电传感器的研发上投入了大量资金。20世纪90年代由东芝和NEC等15家公司开发。日本电器以其适中的价格和质量而闻名，大型公司和西欧国家的公司也积极参与光电传感器的研发和市场竞争。由于光电传感器在现代工业中发挥着重要作用，中国过去也参与了这一领域。目前，中国正在进行光电技术和检测技术的研究。光电技术广泛应用于速度、加速度和位移的检测。目前，车速检测在车辆自动检测与控制中发挥着重要作用。同时，速度检测精度高，稳定性好，提高了光电传感器在速度范围内的研究水平。

四、小结

主要介绍了多普勒测速技术，总结了国内外激光测速技术的发展和现状。根据多普勒激光测速系统的要求，指出了激光测速系统的组成。分析了激光多普勒效应和光路模式，并对激光多普勒测速技术的应用展开了探讨。激光多普勒测速仪由于具有非接触测量、动态响应快、分析精度高、测量范围宽、体积小等优点，在高速冷轧系统等领域具有广泛的应用前景，其的研制对于科学研究和工业应用具有重要的意义。

参考文献

- [1] 沈熊. 激光多普勒测速技术及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018: 3.
- [2] 周玮, 曲睿, 林大松. 冷连轧系统中激光测速仪的工作原理与应用[J]. 控制工程, 2017, 14(1): 8-13.
- [3] 王文江. 邯钢1780酸洗-冷连轧机组技术装备及工艺[J]. 河北冶金, 2020, 6: 3-6.
- [4] 何春来. 试析1800mm轧机的激光测速仪[J]. 宝钢技术, 2019, 1: 32-34.
- [5] 肖至勇, 张伟, 宋接. 基于激光测速仪的秒流量控制AGC[J]. 宝钢技术, 2019, 1: 17-21.
- [6] 许祖茂. 固体激光多普勒测速仪研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018: 10.