

波流实验中的图像处理技术

孙鹤泉, 沈永明, 邱大洪, 李广伟

(大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要:介绍了两种利用图像处理技术实现非接触测量的分析方法:基于图像互相关分析的二维 PIV 流场测试技术以及在污染物扩散实验中采用的基于图像分析的测量方法,对 PIV 技术中的互相关分析算法及其快速实现手段以及通过分析实验图像获取污染物扩散信息的具体算法进行分析,几组实验图像的分析结果表明,这两种测量方法是可靠和实用的。

关键词:图像处理;PIV;互相关分析;流场;污染物测量;波流实验

中图分类号:TV139.2⁺5

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2004)04-0037-03

通常在波流实验中采用的流速测量仪器,只能对流场进行单点测量,且多数仪器在应用时需要接触流场,不能对测量区域内的流场进行无扰动测量。如超声波多普勒测速仪 ADV,测量探头需要进入水体内部才能进行测量,而且只能进行单点测量。当流速变化对外部干扰敏感且在空间上变化剧烈并需要测量流速的二维分布时,接触式的单点测量仪器已经无法满足测量要求。

计算机技术与图像处理技术的快速发展,使流场测试技术得以迅速发展与提高。PIV (particle image velocimetry, 粒子图像测速)^[1,2]技术是近 10 年发展起来的非接触流场测量技术,通过对流场图像的互相关分析获取流速信息,克服了接触式单点测量设备的局限性,能够进行平面二维乃至三维流场的测试,是一种非常具有发展前景的无扰动流场测量技术,已经成功地应用在海洋工程实验和航空实验的流场测量中,如波浪实验、潮流实验的流速测试以及航天风洞实验中的气体运动测量等,为科研人员深入了解流场内部的速度分布提供了有效的手段。

利用图像处理技术实现污染物扩散的实验研究同样得到了科研人员的高度重视,通过对模型实验中污染物图像的分析,可以获得污染物在波浪、水流等动力条件下浓度和分布范围的变化情况,进而掌握污染物迁移、扩散的机理,为近海区域排污系统的设计提供依据。

1 PIV 技术

PIV 技术是一种基于流场图像互相关分析的流

场测量技术,能够无扰动、精确有效地测量二维流速分布。近 10 多年来,随着激光技术、计算机技术与图像处理技术的发展,PIV 技术有了长足的发展和广泛的应用。作为 PIV 技术核心的流场图像分析方法主要是通过二维互相关分析,并利用速度的基本定义,通过测量示踪粒子在已知时间间隔内的位移实现对流场内部速度分布的测量。

1.1 互相关分析理论

如果 t_1 时刻的流场图像表示为 $I_1(x, y) = I(x, y) + n_1(x, y)$, $t_2 = t_1 + \Delta t$ 时刻的流场图像就可表示为 $I_2(x, y) = I(x + \Delta x, y + \Delta y) + n_2(x, y)$, 其中, $n_1(x, y)$ 和 $n_2(x, y)$ 为随机噪音,且与有效图像函数 $I(x, y)$ 不相关。计算 $I_1(x, y)$ 与 $I_2(x, y)$ 的互相关函数 $r_{12}(\tau_x, \tau_y)$, 结合自相关函数在原点取得最大值的特性^[3,4],可以得到如下公式:

$$r_{12}(\tau_x, \tau_y) \leq r_{12}(-\Delta x, -\Delta y) \quad (1)$$

由此可知,互相关函数的最大值所在位置对应流场间的相对位移,即水质点在时刻 t_1 与 t_2 之间的位移,进而可以计算出流场在 Δt 内的速度。如图 1 所示,对流场实验中连续获得的两幅图像划分均匀网格,通过计算每一网格对之间的互相关函数,利用互相关函数最大值的位置即可确定所有网格中心位置的相对位移,从而能够获得整幅图像对应的流场运动分布。为了提高运算效率,具体的算法实现可采用二维快速 Fourier 变换(2D-FFT)^[1,2]或二维快速 Hartley 变换(2D-FHT)^[5]实现互相关函数的快速计算。

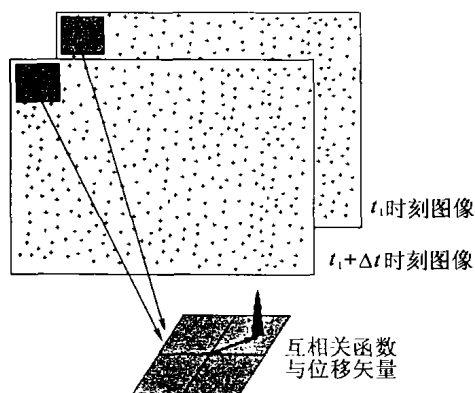


图1 互相关分析示意图

1.2 应用实例

在实验水槽中模拟水流时,由于水槽的长度有限,水槽的两端会约束水流的运动,并产生涡流场.为了研究水槽两端对水流的反射作用,在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室的海洋环境水槽(长40 m,宽3 m,高1 m)中进行了实验,图2为其中的两幅流场实验图像对.图3为对应的流场运动矢量图,可以辨别出流场内部存在一个明显的旋涡,而利用传统测量手段是无法获得该旋涡形态的.在获得速度矢量分布后,可以计算出其他相关的流场信息,如加速度、流线、涡度分布等,图4为图3对应的涡度分布图.

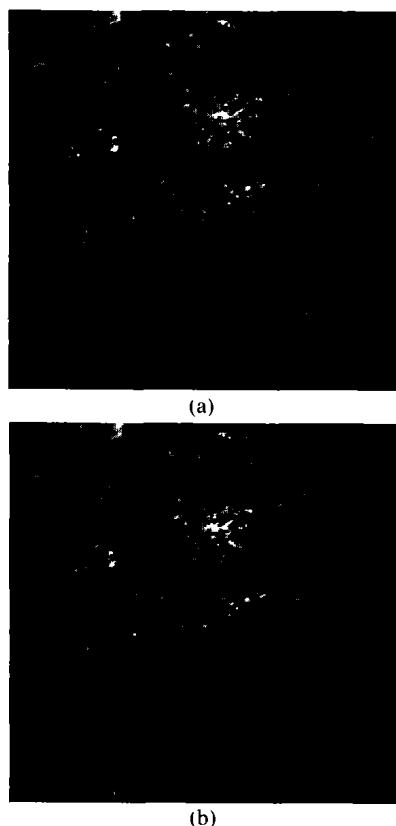


图2 PIV 图像对

另外,结合 PIV 技术和雷达成像技术,笔者通过对航海雷达在辽东湾冰区采集到的雷达海冰图像进行互相关分析,成功实现了海冰漂流的测量,验证了

PIV 技术的实用性^[6].

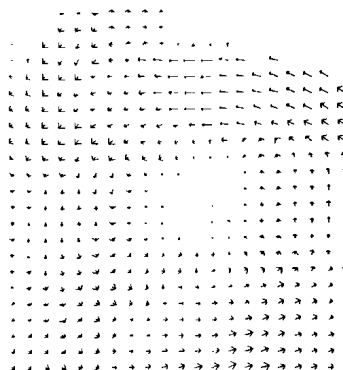


图3 PIV 矢量



图4 PIV 涡度

2 污染物测量技术

结合计算机技术和图像处理技术,还可以实现河流、海洋环境研究中污染物扩散情况的测量,可以进行污染物在水流作用下,波浪、海流和海潮以及它们相互作用下扩散、迁移规律等多方面的测量,包括污染物的分布范围、轮廓形状、相对浓度的变化等.

污染物测量技术主要采用图像处理技术中的点处理与区域处理等方法对模型实验中获得的污染物扩散图像进行处理,获得污染物在各种外界作用条件下的扩散情况,包括扩散过程中污染物浓度的空间分布和时间变化.

图5~图8所示的图像为国家自然科学基金重点资助项目“近岸海域潮汐、波浪及水流联合作用下污染物迁移扩散规律”(59839330)的一组实验数据^[7],该组实验主要用来研究波浪产生的沿岸流对污染物扩散的影响,实验在大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室的多功能综合水池(长55 m,宽34 m,深1 m)中进行,CCD 系统架设在距离水面10 m的高处,连续采集实验图像.污染实验中采用的试剂为鞣酸亚铁溶液,选择该试剂的理由是:实验用水中的鞣酸亚铁与空气接触一段时间后,会与氧气产生化学反应生成鞣酸铁,形成不溶于水的黑色沉淀,不会影响实验用水的水质.



图5 原始实验图像



图6 预处理图像



图7 等浓度线分布



图8 框架中心

图5为在实验中采集到的一幅原始图像,图像中除了污染物以外,还可以观察到地形网格线、支撑浪高测量设备的框架、波峰线等信息.利用小波降噪算法对图5进行滤波处理后,与没有排放污染物时的静水图像进行逐点异或操作,就可以去除与污染物无关的其他信息,图6即为去除背景信息和环境干扰后的预处理图像.根据图像中各像素点的灰度大小,对图6中的像素进行逐点比较,可以得到如图7所示的等浓度线分布,对应的浓度分布由里到外依

次减小.根据数学形态学的算法理论,利用击中击中变换^[8],对图6进行细化处理后,得到如图8所示的浓度中心线,即污染物框架,可以表征污染物扩散过程中污染物主干部分的形状变化.显而易见,仅依靠传统的测试方法,是得不到上述这些结果的.

3 结 论

计算机技术与图像处理技术的快速发展,使得在海洋工程实验中实现非接触、大范围的测量成为可能,本文介绍了两种在海洋工程实验中采用的基于图像处理技术的测量方法,并通过分析数据说明了两种方法应用的可靠性和实用性.

参考文献:

- [1] Westerweel J. Fundamentals of digital particle image velocimetry [J]. Measurement Science and Technology, 1997, 8(12): 1379 ~ 1392.
- [2] 孙鹤泉,康海贵. DPIV 流场测试技术中的数据处理[J]. 大连理工大学学报, 2000, 40(3): 364 ~ 367.
- [3] 孙仲康. 快速富立叶变换及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 1982. 26.
- [4] 宗孔德,胡广书. 数字信号处理[M]. 北京:清华大学出版社, 1997. 123.
- [5] Sun Hequan. The hartley transform applied to particle image velocimetry [J]. Measurement Science and Technology, 2002, 13(12): 1996 ~ 2000.
- [6] 孙鹤泉,孙延维,王平让. 基于雷达海冰图像互相关的冰漂流场测量[J]. 海洋学报, 2003, 25(4): 135 ~ 141.
- [7] Sun Hequan, Wang Fenglong. Experimental study of offshore pollution with image processing [A]. Muller A, Chen Bingxin. Proceeding of Special Seminar in 29th Congress of IAHR-Instrumentation for Hydraulic Measurements [C]. 北京:清华大学出版社, 2001. 102 ~ 105.
- [8] 崔屹. 图像处理与分析-数学形态学方法与应用[M]. 北京:科学出版社, 2000. 47 ~ 51.

(收稿日期:2003-11-25 编辑:熊水斌)

(上接第28页)

b. 四面六边体框架群护岸结构利用透水构件分散水流,改变局部水流流态,使河道断面流速分布发生变化,从而使河道局部阻力发生改变.

c. 结合南京河段整治现状,对抛石、四面六边体框架群及混凝土铰链排等护岸型式进行模拟比较试验,为四面六边体框架群护岸技术在南京河段应用进行探讨.试验表明,在南京河段水沙条件下,四面六边体结构透水、稳定,减速促淤作用明显,是一种值得尝试的固脚护岸型式.

参考文献:

- [1] 董哲仁. 堤防除险加固实用技术[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1998. 107 ~ 113.
- [2] 徐国宾,张耀哲,徐秋宁,等. 多沙河流河道整治新型工程措施试验研究[J]. 西北水资源及水工程, 1994, 5(3): 1 ~ 8.
- [3] 王南海,张文捷,王盼. 新型护岸技术——四面六边体透水框架在长江护岸工程中的应用[J]. 长江科学院院报, 1999, 16(2): 17 ~ 12.

(收稿日期:2003-10-16 编辑:熊水斌)