

DPIV 技术在絮凝池流场特性研究中的应用

吴龙华,唐洪武,严忠民,吴 玮

(河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098)

摘要 利用数字粒子图像测速(DPIV)技术对往复隔板絮凝池中的复杂流场进行测量,分析池内水流特性对絮凝效果的影响机制.结果表明,絮凝池廊道头部流场对絮凝效果有很大影响.为改善絮凝池的流场,可增大池内的有效空间.

关键词 数字粒子图像测速 絮凝池 流场特性

中图分类号:TV131.3 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2003)01-0038-04

粒子图像测速技术是在流场显示的基础上,利用近期飞速发展的计算机图像处理技术对流场进行定量测量,它是一种非接触式瞬态测量方法,因而不会影响流体,能够同时进行多点测量,满足流体测量的时效性,而且能以非常直观的图形来显示测量结果,使得测量结果简单明了.粒子图像测速技术的这一特性,在瞬态流场(比如火焰场、垂直起飞飞机和直升机水平翼附近气流状况、自然对流、火箭发射尾部流场、火炮发射口流场等)以及某些特定流场的测试中发挥着重要的作用.粒子图像测速技术已成为研究流体特性的一个强有力的工具^[1-10].

絮凝在自来水管的净水工艺中是一个十分重要的环节,是沉淀、过滤处理的基础.絮凝就是通过水流流动的能量消耗,促使水中胶体颗粒在混合阶段脱稳,经初步聚集的微絮粒相互接触碰撞,逐步形成能满足沉降分离要求的较大絮体的过程^[2].因此在絮凝过程中,水流的流态以及水流的结构等水力特性对絮凝效果有着直接的影响.往复隔板絮凝池属于推流型絮凝池,因其构造简单、施工和管理方便、效果有保证,成为大型水厂经常采用的工艺形式.以往由于试验手段、量测仪器的限制等原因,使得絮凝工艺,特别是往复隔板絮凝池中复杂的水流结构很难认识清楚,而近年来迅猛发展的数字粒子图像测速(DPIV)技术给往复隔板絮凝池全场瞬时流动的研究提供了一个有力的工具^[1-3].运用粒子图像测速技术,不但可以进行多点同步测量,获得速度随时间变化的平面和空间分布,而且量测是非接触式的,不会干扰流场,提高了量测的准确性和可靠性.笔者利用现代流体测试中的前沿技术——DPIV 技术对往复隔板絮凝池的流场进行量测,获得水流的结构,分析研究其流场特性,探讨往复隔板絮凝池中水流特性对絮凝效果的影响机制.

1 DPIV 测试技术

粒子图像测速(PIV)技术应用于测量二维平面整个速度场上的速度矢量.其原理就是利用添加在流体中的跟随性较好的示踪粒子来测出粒子所在位置的流场速度.所以,从本质上讲,PIV 技术测出的是流场中粒子的速度.在一个粒子图像测速系统中,我们利用流体中粒子对光的散射作用,把粒子在流场中的位置记录在图像存储媒体上.记录时流体中众多粒子在不同时刻的像可以按时间顺序通过多次曝光记录在同一图像上,也可以把粒子不同时刻的像记录在不同的图像上.不管采用何种方式,最后都要采用物理测试或图像处理的方法来求出粒子在一定时间间隔内的运动距离,由此可求得粒子所在位置的速度^[4-5].

DPIV 是通过测量粒子图像的位移 ΔX 、 ΔY 来获得粒子的速度,因此位移必须足够小,使得 $\frac{\Delta X}{\Delta t}$ 是速度 u

收稿日期:2001-09-05

基金项目:河海大学青年科技创新基金资助项目(2001400943)

作者简介:吴龙华(1974—),男,江西波阳人,助理研究员,硕士,主要从事现代流体测试和自动化控制研究.

①盛森芝,徐月亭,袁辉靖.日新月异的现代流动测量技术(第四部分:粒子图像测速技术(PIV)及其新发展).北京大学特赛流动测量研究中心,1999.

的近似 $\frac{\Delta Y}{\Delta t}$ 是速度 v 的近似,如下式所示:

$$u = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{X_2 - X_1}{t_2 - t_1}$$
$$v = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{Y_2 - Y_1}{t_2 - t_1}$$

这就是说,轨迹必须是接近直线并且沿着轨迹的速度应该近似恒定. 这些条件可以由选择 Δt 来达到,使 Δt 小到与受精度约束的拉格朗日速度场的泰勒微尺度可以比较的程度,如图 1 所示^[4,5].

2 试验装置

试验采用自主开发的 DPIV 系统软件进行量测分析. 试验中使用功率为 15 W 的氩离子激光器作为光源,在各种条件下都能得到信噪比足够高的粒子图像. 激光器产生的激光束,通过柱透镜经扩束形成一层薄的片光源,照射水槽中所要研究的水体,CCD 摄像头从与片光源成 90°方向对流场进行拍摄,采用 Canada Matrox 公司制造的 Matrox II 图像卡采集图像,并用配置为:128 M 内存,主频 667 MHz 的 Pentium586 微机记录、分析处理采集到的数字图像,可以满足用 DPIV 技术获取流场定量信息的要求. 实验采用自循环水,示踪粒子采用 AMBERLITE CG-50 (100 ~ 200 μm),该示踪粒子密度接近于水,当水流速度在 0.1 m/s 以上,即可处于良好的对水流运动跟随的状态,此时示踪粒子均匀分布在整个水体中. 试验装置如图 2 所示. 在一般的往复隔板絮凝池中,往复隔板断面为矩形,廊道拐弯处为直角,如图 3、4 所示.

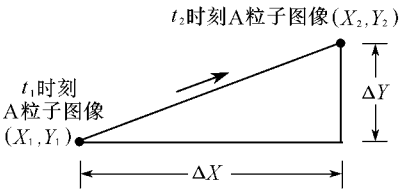


图 1 DPIV 原理示意图
Fig.1 Schematic diagram of DPIV

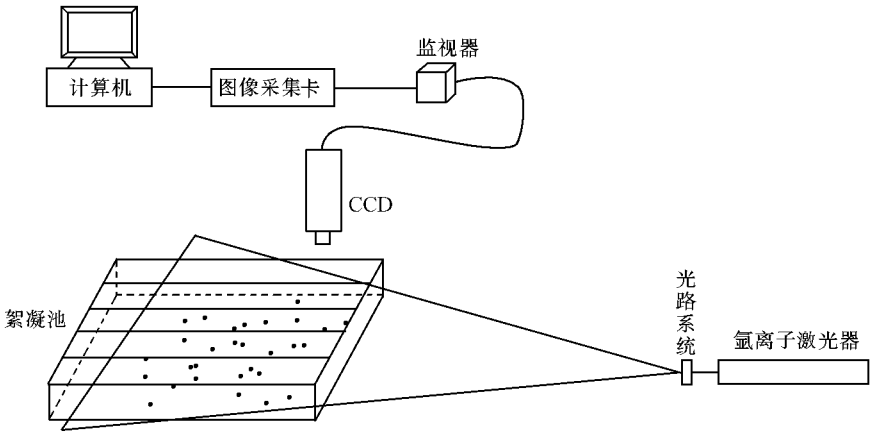


图 2 试验装置
Fig.2 Experimental facilities

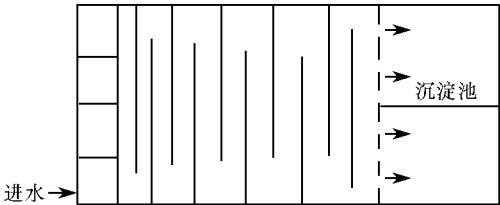


图 3 往复隔板絮凝池
Fig.3 Flocculation pool with reciprocating separators

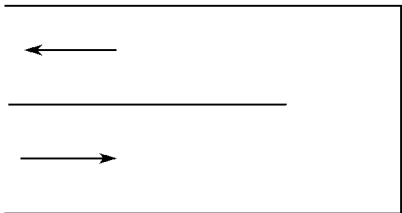


图 4 絮凝池廊道示意
Fig.4 Galleries of flocculation pool

3 实验结果及分析

3.1 实验结果

选择絮凝池其中一个廊道拐弯处的水流作为研究对象,保持水深 $h = 7\text{ cm}$ 不变,利用 DPIV 测速系统对其两组流量 $Q = 512\text{ L/h}$, $Q = 634\text{ L/h}$ 下的同一水深 $h = 6\text{ cm}$ 处的流场进行量测.当 $Q = 512\text{ L/h}$ 时,采集到的原始粒子图像及经过分析处理后的流场矢量图,如图 5(a)所示.当 $Q = 634\text{ L/h}$ 时,采集到的原始粒子图像及经过分析处理后的矢量图,如图 5(b)所示.

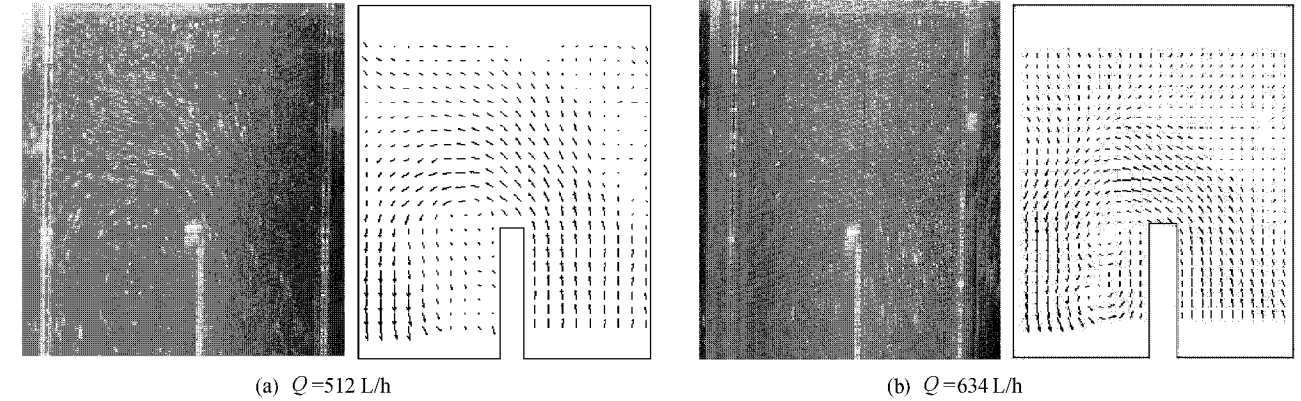


图 5 粒子图像和流场矢量($h = 6\text{ cm}$)

Fig.5 Particle image and flow field vectors($h = 6\text{ cm}$)

实验所用的 DPIV 测量系统,可以根据不同情况对所测的流场进行处理分析.为了减少粒子图像中因廊道进出口是非固定边界所造成的影响,对粒子图像下边缘一定范围进行分离处理,以提高测量的精度和准确度.

3.2 结果分析

通过图 5 可以看出,在同一流量下,廊道头部流场中底部流速要明显小于近表流速,而且底部的旋涡数量、大小和尺度也较近表旋涡小,因此颗粒在表层水体中的碰撞也较为充分,这种水流结构是有利于颗粒的絮凝沉积的.对比同一水深下两组不同流量的情况,可以看出,流量大,流速也大,同时旋涡的大小、尺度也较大,颗粒之间的碰撞几率也较大,有利于水体中颗粒之间的碰撞.

通过两组不同流量的实验所采集到的粒子图像和处理后得到的流场矢量图都可以清楚地看出,水流在经过矩形端面的隔板时出现水流的分离,在下游便形成一个分离区(也称尾流区),并在廊道头部产生了一股顶冲水流.尾流区内形成的众多涡旋由于其本身所固有的扩散性,大小不一的涡旋相互渗透,进行能量交换,使得尾流区中的压强迅速降低,速度梯度则急剧增大,这虽然对颗粒之间的碰撞极端有利,但也正是由于速度梯度过大,容易把聚集好的絮体打碎.廊道头部的顶冲水流,在边壁的作用下,廊道头部形成了一个较大范围的“死水区”,不但使得该区域水体中的颗粒不能进行充分的碰撞,而且由于“死水区”的存在,还影响到附近区域水体中的颗粒之间的碰撞,使该区域水体中的颗粒也不能进行充分的碰撞.这样就使得廊道头部及附近区域的絮凝效果受到严重的影响,它不但降低了整个絮凝池的有效空间,同时也降低了整个絮凝池的絮凝效果,延长了絮凝时间.因此,如果能够消除廊道头部的“死水区”,改善头部的边界条件,使得水体能够平稳过渡,消除顶冲水流,增加旋涡的数量,减小旋涡的尺度,这样不但可以使得水体中的颗粒得到充分的碰撞,提高廊道头部及附近区域的絮凝效果,而且可以有效地提高絮凝池的有效空间.

4 结 束 语

通过 DPIV 测试技术获得的絮凝池流场测量结果,真实、充分地反映了池内廊道头部的水流特性,为充分认识水流对絮凝效果的影响提供了有力的实验手段.以前,由于受到实验手段和测量仪器等方面的限制,使得对絮凝工艺、特别是往复隔板絮凝池中复杂的水流结构很难进行正确的观察.本文通过利用 DPIV 技术对往复隔板絮凝池流场的量测分析,准确地获得了絮凝池廊道头部的水流结构特征,并分析了水流特性对絮

凝效果的影响 ,对改善絮凝池的流场 ,提高絮凝效果 ,增大絮凝池的有效空间 ,实现对絮凝池的改造 ,提供了有力的技术支持.

参考文献 :

[1] 吴龙华 . 数字粒子图像测速应用于大型工程水流模型的关键技术研究[D]. 南京 : 河海大学 , 2000.
[2] 范瑾初 . 混凝技术[M]. 北京 : 中国环境科学出版社 , 1992. 12—19.
[3] 唐洪武 . 复杂水流模拟问题及图像测速技术的研究[D]. 南京 : 河海大学 , 1996.
[4] JERRY Westerweel . Digital particle image velocimetry[R]. Delft University , 1993. 17—18.
[5] RAFFEL M , WILLERT C , KOMPENHANS J . Particle image velocimetry[M]. Hongkong : Springer Publisher , 1996. 1—12.

Application of Digital Particle Image Velocimetry Technique (DPIV) to study of characteristics of flow fields in flocculation pools

WU Long-hua , TANG Hong-wu , YAN Zhong-min , WU Wei

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : DPIV is a non-interfering technique for flow field measurement . With the technique , the complex flow fields in a flocculation pool with reciprocating separators are measured . Then an analysis is made of the mechanism of flow characteristics affecting flocculation . The results show that , in such a flocculation pool , the flow field near the head of galleries has great influences on flocculation , and that the increase of the available space of the flocculation pool can improve the flow field in the pool .

Key words : Digital Particle Image Velocimetry (DPIV) ; flocculation pool ; characteristics of flow field

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊 , 主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章 , 可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考 .

本刊创办于 1957 年 , 是我国中文核心期刊 , 在国内工程技术界和学术界有较大影响 . 刊载的文章中 , 有不少国家科技攻关 (重点) 项目和各种科学基金资助项目的研究成果 , 部分达到了国内领先和国际先进水平 , 为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议 , 发挥了较大的社会效益和经济效益 , 深受工程界和科技界赞许 , 并获得全国优秀高校自然科学学报二等奖 , 以及中国期刊方阵“ 双效期刊 ”、全国水利系统优秀期刊称号 . 本刊每逢单月出版 , 国内外公开发行 . 邮发代号 28-63 , 每期定价 8.00 元 , 全年订费 48.00 元 . 欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系 . 联系地址 : 南京市西康路 1 号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部 , 邮政编码 210098 .