



## 基于喷射角信息的淋浴花洒冲击力场测试方法研究

卢佩, 吴恩铭, 李瑞

(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

**摘要:** 从理论和仿真两方面分析淋浴花洒喷射冲击力场的特性, 在通过图像测量技术获得喷射角信息的前提下, 提出单束冲击力的测试方法和多束射流冲击力场的测试结构, 并给出测试系统的设计以及上位机数据的存储方法. 实验表明, 该方案能够实现多种规格淋浴花洒喷射冲击力场的测试和数据的实时存储.

**关键词:** 淋浴花洒; 冲击力; 射流特点; 喷射角; 测试方法

中图分类号: TP216 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2011)01-0051-04

### Research on Test Method for the Impact Field of Shower Outlet for Bathing Based on Information of Spray Angle

LU Pei, WU En-ming, LI Rui

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** The characteristic of the impact field was discussed through theoretical analysis and simulation. The testing method of single impact and the test structure of impact field was described based on the information of spray angle, which is obtained by the image test technology. And the design of test system and the method of data storage were given. Experiments show that the method can realize the impact filed test of shower outlet of different spec and the real-time data storage.

**Keywords:** shower outlet; impact; characteristic of jet; spray angle; test method

不同规格的淋浴花洒有着不同的喷射场特性参数. 喷射水流对人体的冲击力是淋浴花洒射流场特性的主要参数, 也是衡量淋浴花洒洗浴效果和舒适性的重要参考指标. 直接测试出花洒出水冲击力(即单位面积上的平均冲击力, 以下均同), 对花洒的开发和产品规格的制定至关重要, 也为设计节水型花洒提供了理论依据.

对于喷射冲击力的测试, 国内外的研究主要集中在工业和植保领域, 多针对高压单孔射流<sup>[1]</sup>. 而淋浴花洒的喷射场是在较低压力作用下的多束射流场, 因此喷射冲击力量值较小, 属于微压信号, 相邻束射流间存在相互影响, 且不同规格的喷头各束射流间的排列关系也不相同.

本文在基于图像处理技术所得花洒喷射角<sup>[2]</sup>的基础上, 借鉴工业和植保喷头<sup>[3]</sup>的研究方法, 对淋浴花洒单束冲击力特性进行理论分析, 通过 Fluent 软件

仿真分析得到单束射流场的流动特点, 进而给出了单束冲击力的测试方法和适用于多种规格淋浴花洒射流冲击力场的测试结构, 构建了冲击力测试系统并进行了通信和数据存储的实验.

### 1 喷射冲击力场的特性分析

#### 1.1 花洒喷射单束冲击力的理论分析

花洒喷射冲击力的大小直接影响着洗浴效果和舒适程度, 而影响冲击力的因素主要有以下几个方面: 系统喷射压力  $P_s$ 、花洒的体积流量  $q_v$ 、花洒的喷射角  $\alpha$ 、单个喷孔半径  $r$ 、花洒安装前倾角  $\gamma$ 、相邻两孔间最短距离  $d$  及花洒到测试截面的喷射距离  $H$ . 花洒垂直安装的示意图如图 1(a) 所示. 在不考虑空气影响, 花洒垂直安装时, 各因素与花洒单束喷射冲击力之间的关系如下:

根据伯努利方程可知单束水流的流出速度<sup>[4]</sup>为

$$v = C_d \sqrt{\frac{2P_s}{\rho}} \quad (1)$$

式中,  $C_d$  为流速系数.

单束水流的体积流量为

$$q_v = S_c v = S_c C_d \sqrt{\frac{2P_s}{\rho}} \quad (2)$$

式中,  $S_c$  为单束水流的出流截面积.

喷射距离为  $H$  处喷射面积  $S$  为

$$S = \pi(r + H \tan \frac{\alpha}{2})^2 \quad (3)$$

式中:  $\alpha$  为单束射流喷射角, 由图像测量系统实时采集, 以下公式中均同; 喷射距离  $H$  可通过  $H = d / 2 \tan \frac{\alpha}{2}$  求得; 由式(3)可知喷射面积与喷射距离的平方成正比.

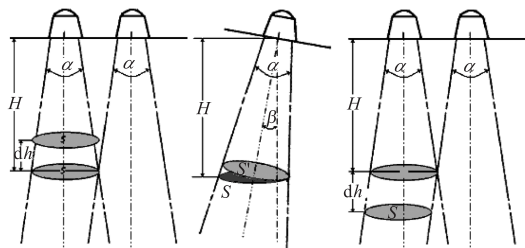
单束射流对测试截面的总冲击力为

$$F = \rho q_v v \quad (4)$$

结合式(1) — (4) 得单位面积上花洒的喷射冲击力为

$$P = \frac{2S_c C_d^2 P_s}{\pi(r + H \tan \frac{\alpha}{2})^2} \quad (5)$$

式(5)为冲击力与射流基本参数间的定性关系. 由式中可以看出来, 随喷射角  $\alpha$  增大, 喷射冲击力逐渐减小, 因而实际测量时, 喷射角的大小直接影响着测试基准面的选取.



(a) 单束垂直射流 (b) 单束倾斜射流 (c) 两束交叉射流

图1 花洒射流喷射示意图

Fig.1 Jet of shower outlet

### 1.2 花洒喷射单束射流场的仿真分析

根据 GB/T 23447—2009<sup>[5]</sup> 要求及相关检测方法, 采用 Fluent 流体动力学软件对花洒单束射流场进行二维仿真模拟和分析.

#### 1.2.1 喷射速度场分析

图 2 为单束喷射流场速度云图. 单束射流速度场主要由初始段、基本段和消散段构成<sup>[6]</sup>. 在射流初始段, 射流束的速度基本均匀, 散射很小, 这部分介质组成了等速核心, 是射流的精华. 射流基本段是射流

初始段后较长的一段, 主要包括连续射流区和部分雾化区, 该段内射流束沿轴线方向的流速及动压力逐渐减少, 但射流仍保持完整, 并有紧密的内部结构. 该段区域是由水射流与空气介质互相掺混而形成的紊流混合区, 平均速度逐渐减少, 并且射流束的紊动特性充分的表现了出来. 由上述理论分析可知, 喷射冲击力与喷射速度成正比. 射流在由基本段进入消散段后, 射流速度明显减小, 冲击力亦明显减小. 故应在射流基本段和消散段的分界线之前, 选取若干个位置对花洒单束喷射冲击力进行检测.

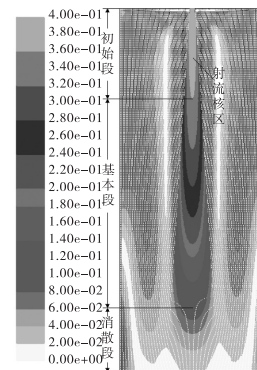


图2 单束喷射流场速度云图

Fig.2 Velocity nephogram of single spray field

#### 1.2.2 喷射压力场分析

单束喷射流场压力云图如图 3 所示. 射流离开喷嘴后开始吸卷空气, 在射流的外层边界上, 射流与周围空间产生剧烈的动量和能量交换, 原来相对静止或者具有微小层流流动的空气在高速水射流流束的影响下会出现极不稳定的回旋和反吸, 造成周围空气介质出现负压区, 并且随着喷射距离的逐渐增大, 压力值先减小后增大. 这是由于在射流转折段与雾化段之间, 射流吸卷空气量达到最大值, 射流场内出现最低压力, 此后射流基本失去了吸卷空气的能力, 射流场内压力逐渐回升.

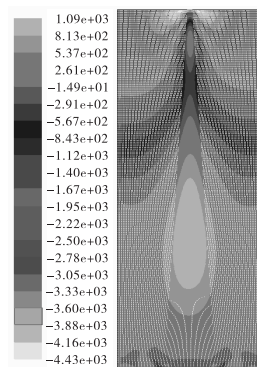


图3 单束喷射流场压力云图

Fig.3 Pressure nephogram of single spray field

由此可见,射流束对外部流场的压力分布影响较大.在淋浴系统中,需要在一个花洒喷头上分列多个喷孔,因此对外部流场的压力分析为喷孔的合理布局提供理论依据,在保证淋浴效果的同时,最大程度上减少由负压引起的吸卷空气的影响和相邻喷孔射流边界间的相互影响,达到节水的目的.

射流各段在实际生活和工程中具有不同的功能.基本段区域是由水射流与空气介质互相掺混而形成的紊流混合区,在该段中射流束的紊动特性充分表现出来,初始段部分较短,消散段冲洗能力较差,所以淋浴花洒主要用到出水射流的基本段击打皮肤表面,在脉动的射流作用下,舒适的达到清洁作用.

## 2 冲击力测试方法

### 2.1 单束冲击力测试方法

淋浴花洒射流场是由多个单束射流按一定规律排列组成的.随着喷射距离的增大,相邻两束射流将在某一点交叉,称此交叉点所在的水平截面为检测基准面,此时的喷射距离为  $H$ .单束射流冲击力的测量主要是对基准面以上射流基本段部分进行的测量.采用微压传感器,以交叉处单束射流截面积  $S$  作为敏感元件的受力面积,如图 1(a) 所示,当单束射流垂直喷射时,基准面处射流冲击力为

$$P_H = \frac{F}{S} \quad (6)$$

式中,  $F$  为传感器检测压力值,结合式(3)得

$$P_H = \frac{F}{\pi(r + H \tan \frac{\alpha}{2})^2} \quad (7)$$

当检测基准面以上位置冲击力时,实际受力面积小于  $S$ .所以基准面以上相距  $dh$  截面处冲击力为

$$P = \frac{F}{\pi(r + H \tan \frac{\alpha}{2} - dh \tan \frac{\alpha}{2})^2} \quad (8)$$

花洒外周喷孔单束射流沿  $\beta$  倾斜角喷射情况如图 1(b) 所示.由投影定理得水平基准面截面积为

$$S_H = \frac{\pi}{\sin \beta} \left[ \frac{H \sin \frac{\alpha}{2} + r \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos(\beta - \frac{\alpha}{2})} \right]^2 \quad (9)$$

结合式(3)、式(6)得喷射距离为  $H$  处基准面的冲击力为

$$P_H = \frac{F \sin \beta [\cos(\beta - \frac{\alpha}{2})]^2}{\pi(H \sin \frac{\alpha}{2} + r \cos \frac{\alpha}{2})^2} \quad (10)$$

基准面以上相距  $dh$  的截面处冲击力为

$$P = \frac{F \sin \beta [\cos(\beta - \frac{\alpha}{2})]^2}{\pi(H \sin \frac{\alpha}{2} - dh \sin \frac{\alpha}{2} + r \cos \frac{\alpha}{2})^2} \quad (11)$$

### 2.2 冲击力场的测试结构

随着喷射距离的增大,相邻两垂直射流间会出现交叉情况,如图 1(c) 所示.仍以交叉点所在截面面积  $S$  为敏感元件的受力面积,受力元件的位置由图像处理技术获得的射流边界确定.两束射流交汇区域的冲击力为

$$P = \frac{\epsilon_1 F}{\pi(r + H \tan \frac{\alpha}{2} + dh \tan \frac{\alpha}{2})^2} \quad (13)$$

式中:  $\epsilon_1$  为修正系数,  $\epsilon_1 = \frac{S_1 + S_2}{S_1}$ ;  $S_1$  为与基准面  $S$  相距为  $dh$  处射流截面积;  $S_2$  为此处相邻两射流交汇部分截面积,下同.由于两束射流在交汇时伴随着相互阻碍和能量损失,且受力元件并未全部置于射流交汇区域内,所以  $\epsilon_1$  的取值范围为  $1 \sim 2$ .

射流未交汇区域的平均冲击力为

$$P = \frac{\epsilon_2 F}{\pi(r + H \tan \frac{\alpha}{2} + dh \tan \frac{\alpha}{2})^2} \quad (14)$$

式中:  $\epsilon_2$  为修正系数,  $\epsilon_2 = \frac{S_1 - S_2}{S_1}$ ,取值范围为  $0 \sim 1$ .

淋浴花洒喷射孔的规格和排列多种多样,但有一个共同点——同一圆周方向的喷射孔规格和间距相同.以图 4 所示的三周喷孔花洒为例,采用圆周和径向结合的极坐标方法,检测射流各处的冲击力,构建淋浴花洒喷射冲击力场.

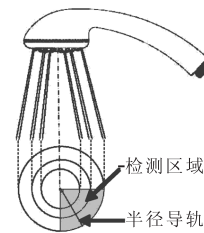


图 4 多束射流冲击力场的测试结构图

Fig.4 Test structure of impact field

压力传感器安装在半径导轨上,根据图像处理技术获得同一圆周上各孔射流位置,由步进电机驱动半径导轨绕射流中心作旋转运动,检测同一圆周上  $90^\circ$  圆心角内各射流冲击力;进而根据图像处理技术获得不同圆周上的射流位置,由步进电机驱动传感器作径

向运动,测得另一圆周上 90° 圆心角内各射流冲击力. 根据喷射场的中心对称性,结合各圆周冲击力的检测值构建淋浴花洒喷射冲击力场.

### 3 系统构成及测试数据的存储

#### 3.1 系统构成

结合上述对冲击力场及测试方法的分析,设计了基于 CAN 总线的淋浴花洒喷射冲击力场测试系统,如图 5 所示. 系统采用德国 Allied Vision Technologies 公司的 F032C 高速摄像机,具有高达 206 帧每秒的采集速度,分辨率为 640 像素×480 像素. 冲击力测试模块以 Atmega128 单片机为核心,与压力、温度等其他参数测量模块分别作为 CAN 总线的子节点,在总线优先级晋升算法调度下,既可以独立完成各自测试任务,又能通过网络将采集的数据、工作状态等信息集中传入上位 PC 机,形成一个有机整体,便于进行数据处理和信息融合.

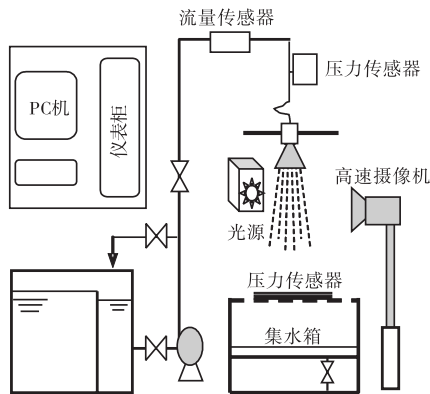


图 5 测试系统结构简图  
Fig.5 Structure of test system

#### 3.2 上位机软件开发和数据的存储

上位机软件采用 Visual C++ 6.0 开发,并使用 SQL 2000 作为后台数据库实现数据的存储. 编程中利用 HS2102 适配卡提供的 DLL 驱动程序实现数据的动态采集,利用 ADO 数据库访问技术对 SQL 数据库进行数据存取. 系统进行了基于 CAN 总线的整体通信测试,并实现了未经标度变换的冲击力等喷射参数值的存储,如图 6 所示.

日期	时间	喷头编号	实验名称	温度	冲击力	压力
2010-4-27	17:45:44:078	喷头1	喷射	1.103518	2.255559	1.103518
2010-4-27	17:45:44:125	喷头1	喷射	2.298005	1.826172	2.298005
2010-4-27	17:45:44:187	喷头1	喷射	1.777344	1.40625	1.777344
2010-4-27	17:45:44:234	喷头1	喷射	1.445313	2.529297	1.445313
2010-4-27	17:45:44:281	喷头1	喷射	2.514648	1.108398	2.514648
2010-4-27	17:45:44:328	喷头1	喷射	1.08375	2.294822	1.08375
2010-4-27	17:45:44:375	喷头1	喷射	2.333984	1.777344	2.333984
2010-4-27	17:45:44:437	喷头1	喷射	1.738281	1.44043	1.738281
2010-4-27	17:45:44:484	喷头1	喷射	1.494141	2.514648	1.494141
2010-4-27	17:45:44:531	喷头1	喷射	2.465352	1.08375	2.465352
2010-4-27	17:45:44:578	喷头1	喷射	1.083984	2.348633	1.083984

图 6 数据存储示意图  
Fig.6 Real-time data storage

### 4 结 语

本文在对淋浴花洒单束喷射冲击力场进行理论和仿真分析后,提出单束冲击力测试方法和冲击力场测试结构,并构建了测试系统. 实验表明,冲击力测试模块通过 CAN 总线能够较好地与上位机进行通信,为与其他测量模块一起构成分布式实时测控系统提供了可能,便于系统进行综合数据处理和信息融合.

#### 参考文献:

- [1] 申娟,曾良才,王毅,等. 新型高压除磷喷嘴性能检测系统的设计与开发[J]. 机械设计与制造,2008(6):112-114.
- [2] Lu Pei, Yuan Juntao, Hu Ji. Measuring on spray angle of shower nozzle based on embedded image processing system[C]// Proceedings of the 2009 2nd International Congress on Image and Signal Processing (CISP). Piscataway:IEEE,2009:5301690.
- [3] 柳平增,丁为民,薛新宇,等. 植保喷头综合性能测试专用数控系统的设计[J]. 计算机测量与控制,2006,14(12):1602-1604,1619.
- [4] Suh Hyun Kyu, Lee Chang Sik. Effect of cavitation in nozzle orifice on the diesel fuel atomization characteristics[J]. International Journal of Heat and Fluid Flow, 2008,29(4):1001-1009.
- [5] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 23447—2009 卫生洁具·淋浴用花洒[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [6] 朱学彪,陈奎生,王毅,等. 高压除磷喷嘴喷射流场数值模拟与试验分析[J]. 机械设计与制造,2009(5):217-219.