

文章编号: 1000-582X(2002)12-0001-03

涡腔式自激振荡射流喷洒装置

廖振方¹, 邓晓刚¹, 李军^{1,2}

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400030; 2. 重庆工商大学机械工程系, 重庆 400033)

摘要:介绍了涡腔式自激振荡射流喷洒装置的工作原理和应用范围。该装置利用环形涡腔对射流进行控制, 利用涡腔的左、右腔的压力差产生自激振荡。根据主射流的动量平衡关系, 通过空气孔流入涡腔的空气量和流出的空气量计算了交替切换所需的临界压力差, 达到临界压力差所需的时间和振荡频率。这种新型喷洒装置能使射流呈扇面且分布均匀, 可以用于道路的喷洒降尘, 公路和铁路铁轨积雪以及屋顶积雪的清除等。

关键词:自激振荡; 临界压力; 涡腔; 振荡频率

中图分类号: O351.2

文献标识码: A

在我国北方的冬季, 道路积雪对城市交通的影响是不可忽视的。2001年入冬时, 北京一场并不很大的雪, 便造成交通瘫痪, 事故频发。现有的洒水装置和积雪清除装置不仅耗水量大, 而且射流的冲击力低(受泵压的限制, 因为在泵的驱动功率一定的条件下, 耗水量大, 泵压就不能太高), 清扫效率低, 运营成本高。作者根据射流原理, 研制了一种耗水量小, 扩散角度大、水流均匀且连续分布的新型喷洒装置。该喷洒装置具有能耗小、性能稳定、结构简单、使用寿命长等优点。

1 涡腔式自激振荡射流喷洒装置的工作原理

如图1所示, 压力水从进水口送入, 通过主喷嘴形成射流, 然后穿过涡腔从出水口喷出。涡腔出水口的宽度稍大于射流的扩散宽度, 射流碰撞到出水口左边或右边的边壁时, 水流就附着在它的侧壁上, 就能增大射流喷洒宽度^[1-2]。例如, 射流碰撞到涡腔的左边壁时, 它的一小部分水流将沿着涡腔的左半圆回流至涡腔室的左半室, 于是在左半室的边壁和射流之间形成涡流; 与此同时, 射流的右半部分将夹带着空气从涡腔的右腔射出, 使涡腔右边的压力降低, 从而在涡腔的左、右两边形成压力差, 水流在压力差作用下偏向右边射出。当射流碰撞到涡腔的右边壁时, 同样原理作用下, 水流

偏向左边射出, 这一过程重复进行, 从而就可获得稳态振荡以均匀的扇形射流射出, 射流的扩散角为120°。

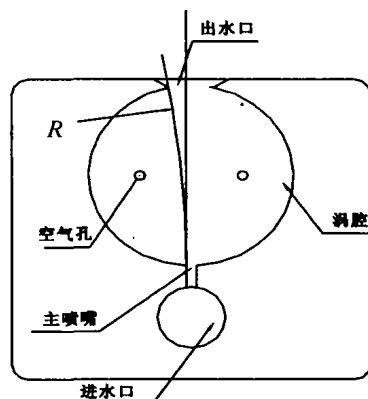


图1 涡腔式自激振荡射流喷洒装置的工作原理示意图

在涡腔的侧板上开设了两个空气孔, 它的作用一是用来调节产生压力差所需的时间, 以便水流在涡腔内形成振荡; 二是确保射流沿着出水口边壁喷出, 以便增大喷洒面积^[3]。

2 理论分析

2.1 射流偏转所需的压力差

涡腔左、右两室的压力差是造成射流的偏转的直

• 收稿日期: 2002-10-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(598740337)

作者简介: 廖振方(1938-), 男, 四川绵竹人, 重庆大学教授, 博士生导师, 主要从事射流理论和应用研究。

接原因。当涡腔左、右两室的压力差达到能够使射流偏转时,称此时的压力差为临界压力差 P_{cr} 。根据作用在射流上的离心力以及压力差产生的力的平衡关系,有如下关系式^[4]:

$$P_{cr} = J/(R * h) \quad (1)$$

$$J = \rho v^2 A \quad (2)$$

式中: h 为射流的高度, m ; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; A 为射流断面面积, m^2 ; v 为射流的平均速度, m/s ; J 为射流的动量, $kg \cdot m/s^2$; R 为射流的曲率半径, m 。

实验中,选取 $R = 0.362 m$

设流量系数为 0.72,则水流从喷嘴流出的流量 Q_s 为

$$Q_s = 0.72A \sqrt{\frac{2(P_s - P_0)}{\rho}} \quad (3)$$

式中: P_0 为大气压力, Pa ; P_s 为供水压力, Pa 。

实验中,选取 $P_s - P_0 = 0.3 MPa$,故从喷嘴流出的速度 v 为:

$$v = Q_s/A = 17.66 m/s \quad (4)$$

联立求解式(1)、式(2)和式(4),得 $J = 2.79 kg \cdot m/s^2$ 。

因此,切换射流的临界压力差 $P_{cr} = 2.58 \times 10^3 Pa$

2.2 通过空气孔进入涡腔的空气量

空气孔可看成是一只节流阀^[2],用 α 表示空气通过空气孔的流量系数, d 为空气孔的直径,则通过空气孔的空气流量为

$$m_i = \alpha \rho_i \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2(p_0 - p_i)/\rho_i} = 1.11 \alpha \sqrt{\rho_i} d^2 \sqrt{p_0 - p_i} \quad (5)$$

式中: P_i 为涡腔内空气的压力, Pa 。

2.3 射流诱导出的空气量

在每一时刻涡腔内都有半侧的水流与大气相通,射流夹带着空气一起喷出(见图 2)^[5]。

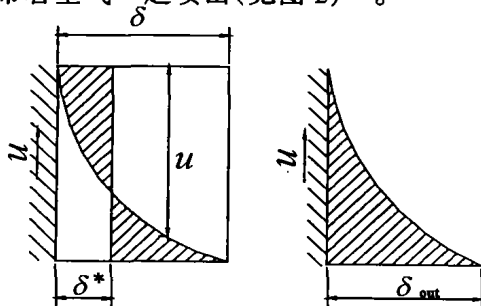


图 2 射流诱导气量分布图

假设空气流动速度与射流在不动的平板上的速度相同,边界层内的速度为 u ,则射流速度的分布规律可近似认为是呈 $(U - u)$ 正态分布。当气流的速度与射流的速度相同并作用在一个不动的平板时,则通过单位高度的空气质量流量就等于边界层移动厚度 δ^* 、速度 u 和涡腔内空气密度 ρ_i 的乘积。假定 δ 是边界层的厚度, y 是距射流的垂直距离,则由普朗特的 1/7 幂定律可得^[6]:

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7} \quad (6)$$

则边界层的移动厚度 δ^* 为:

$$\delta^* = \frac{1}{U} \int_0^{\delta} (U - u) dy = \int_0^{\delta} \left\{ 1 - \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7} \right\} dy = \frac{1}{8} \delta \quad (7)$$

假设在距平板尖部 x 处的紊流边界层的厚度为 δ_x ,水流均匀流动的速度为 U ,则有

$$\delta_x = 0.37 \left(\frac{x}{U}\right)^{1/7} x \quad (8)$$

因此,射流夹带射出的理论空气质量流量 m_o 可由下式确定

$$m_o = \frac{1}{8} \delta_{out} U \rho_i h \quad (9)$$

式中: δ_{out} , h 分别为出水口处边界层的厚度及高度。

2.4 装置的振荡频率计算

自激振荡涡腔式射流喷洒装置中水流的振荡频率可根据以下原理推出:

$$m_i - m_o = \frac{d(\rho_i V)}{dt} \quad (10)$$

$$\rho_i = \frac{P_i}{RT} \quad (11)$$

将式(5)、式(9)和式(11)代入式(10),得

$$\frac{dP_i}{dt} - 1.11 \alpha d^2 \sqrt{\frac{RT}{V}} \sqrt{\rho_i (p_0 - P_i)} + \frac{1}{8} \delta_{out} U \rho_i h / V \quad (12)$$

运用改进的欧拉公式,用计算机求解式(12),就可求得涡腔左、右腔室内压力达到临界压差 P_{cr} 所需的时间。计算的方框图如图 3 所示。

经计算振荡频率的理论值为 75 Hz,实测值为 77 Hz,理论与实验结果是比较吻合的。

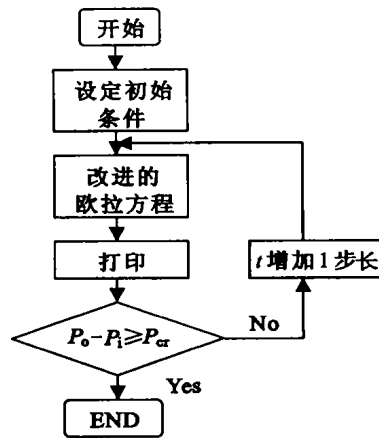


图 3 计算到达临界压力差所需时间流程

3 装置的特点及应用

自激振荡涡腔式射流洒水装置具有结构简单、不需要增加额外的动力源、射流洒水的角度较大(120°)、水滴分布均匀、耗水量小(在相同洒水范围条件下,耗

水量仅为普通喷洒喷嘴水量的 1/7 ~ 1/5)、调整水泵的压力可提高射流的打击力等特点,克服了目前洒水车用缝形喷嘴耗水量大,喷洒不均匀,打击力小等诸多缺点。除作为常规的道路洒水装置外,涡腔式自激振荡射流洒水装置还可用于清扫公路、铁路以及屋顶积雪。

参考文献:

- [1] 张风华,廖振方,唐川林.空泡运动非线性动力学特性的数值研究[J].重庆大学学报,2001,24(4):1-4.
- [2] 唐川林,廖振方,张风华.高速振荡脉冲射流振荡腔内涡旋-碰撞壁相互作用的模拟研究[J].振动与冲击,2001,20(4):25-28.
- [3] NAKAYAMA Y. Fluidic Device using Vortex Chamber Oscillation [A]. Collection of Papers of the 7th National Fluidics Symposium [C]. New York: Academic Press, 1972.
- [4] 廖振方,唐川林,张风华.自激振荡脉冲射流的基本理论[J].重庆大学学报,2002,26(1),24-32.
- [5] 杨林,廖振方.来流脉动对自激振荡脉冲射流的影响[J].力学与实践,2001,23(3):24-27.
- [6] 怀利 E B.瞬变流[M].北京:清华大学出版社,1985.

Self-excited Oscillation Vortex Chamber Watering Device

LIAO Zhen-fang¹, DENG Xiao-gang¹, LI Jun^{1,2}

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Dept. of Mechanic, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400033, China)

Abstract: A new type of watering device, self-excited oscillation vortex chamber watering device, is put forward. The jet is controlled by a circular vortex chamber, and self-excited oscillation occurs due to a pressure difference between the left and right parts of vortex chamber. By the momentum balance of jet and the masses of air flowing into or out the chamber through air hole, the critical pressure and the time required for reaching the critical pressure can be calculated. This watering device has appropriate size of water drops and uniform water distribution.

Key words: self-excited oscillation; critical pressure; vortex chamber; oscillation frequency

(责任编辑 成孝义)