

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.05.009

低压旋流雾化塑料喷嘴结构参数设计

郑子军¹, 欧长劲², 李燕²

(1. 浙江工商职业技术学院, 浙江宁波 315012; 2. 浙江工业大学, 杭州 310005)

摘要: 根据最大流量原理, 对低压旋流雾化塑料喷嘴的结构参数进行理论计算并初步确定了喷嘴的结构参数。通过正交试验设计实验方案, 并在自行开发的活塞式间歇喷雾器喷雾的低压旋流雾化塑料喷嘴实验台上开展实验研究, 得到喷嘴的最佳结构参数。低压旋流雾化塑料喷嘴的开发, 使手动喷雾、无预压罐装代替金属压力罐装成为可能。

关键词: 喷嘴; 气雾罐; 低压旋流; 结构参数

中图分类号: TH112 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)05-0042-04

Structural Parameter Design of Low Pressure Swirl Plastic Atomizing Nozzle

Zheng Zijun¹, Ou Changjin², Li Yan²

(Zhejiang Business Technology Institute, Ningbo 315012, China; 2. Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310005, China)

Abstract: According to the principle of maximum flow, the structural parameters of low pressure swirl plastic atomizing nozzle were theoretically calculated and preliminarily determined. Experiment was conducted on the self-development platform for piston type intermittent spraying low pressure swirl plastic atomizing nozzle, through orthogonal experiment design, and then the optimum structural parameters were obtained. The development of low pressure swirl plastic atomizing nozzle will make it possible that manual spray plastic can without preloading instead of metal pressure can.

Keywords: nozzle; aerosol can; low pressure swirl; structural parameters

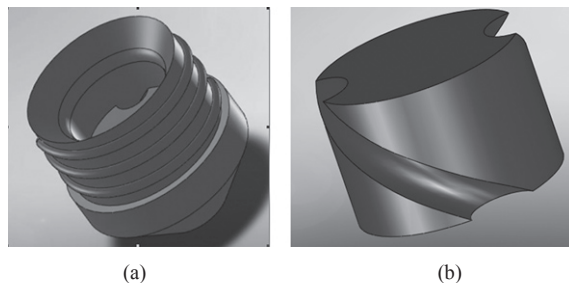
金属气雾罐属于盛装气雾剂的一次性使用金属容器, 在杀虫剂、灭蚊剂、空气清新剂以及各种清洗剂等液体包装领域得到广泛应用^[1]。使用金属气雾罐时, 气雾剂在预压 (0.8 MPa) 的作用下, 通过阀门、喷嘴按照所控制的形态喷射出来。GB/T 14449-2008《气雾剂产品测试方法》中包括了产品的耐贮性和泄漏量、雾粒直径及其分布、射程和喷角、喷射速率等。由于气雾罐内有预压, 因此, 不能灌装 100% 的药液, 部分空间要留给抛射剂, 起高压助推作用。

近年来, 由于使用金属气雾罐时, 预高压灌装存在易爆炸等安全隐患, 不便长途运输与携带^[2], 使得众多企业考虑使用无预压罐包装, 手动喷雾, 但是, 目前市场上推出的无预压罐的手动喷雾效果不佳, 技术指标达不到喷雾行业标准要求。

笔者受气雾剂行业理事单位宁波市华宝塑胶模具有限公司委托, 根据 GB/T 18419-2009《家用卫生杀虫用品杀虫气雾剂》要求, 设计了低压旋流雾化塑料喷嘴的结构参数, 在推出压力为 0.3 ~ 0.5 MPa 下, 喷嘴的射程、雾化效果达到用户的开发要求。

1 低压旋流雾化塑料喷嘴结构模型

低压旋流雾化塑料喷嘴由旋流器、旋流室及喷口组成, 其中旋流器是关键部件。低压旋流雾化塑料喷嘴如图 1 所示, 采用在喷嘴主体内加装带有螺旋流道的螺旋体结构。喷嘴主体设计为中空圆柱体, 在喷嘴主体下部设有轴向通孔即喷孔。为提高喷嘴的流量系数, 喷孔选用圆柱段结构形式, 喷孔内侧设有内锥角并与螺旋体之间形成旋流室, 螺旋体的外周设有多条螺旋槽, 螺旋体装在喷嘴主体内, 螺旋槽与喷嘴主体内壁形成螺旋流道。



a—喷嘴; b—螺旋体

图1 低压旋流雾化塑料喷嘴结构示意图

联系人: 郑子军, 讲师, 主要从事塑料产品及模具研究

收稿日期: 2013-03-19

2 低压旋流雾化塑料喷嘴结构参数的理论计算

应用最大流量原理^[3-4],对低压旋流雾化塑料喷嘴进行初步设计计算,再根据计算结果选择研究参数。

根据角动量守恒原理,有如下关系式:

$$\nu_{in}R = \nu_{\tau}r \quad (1)$$

式中: ν_{in} ——切线入口速度, m/s;

R ——旋流室半径, m;

ν_{τ} ——任一点流体的切向速度, m/s;

r ——任一点流体对应的旋转半径, m。

假设液体的径向速度 $u_r = 0$, 根据伯努力方程有:

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{u_z^2 + \nu_{\tau}^2}{2g} \quad (2)$$

式中: H ——喷嘴出口处液体的压力水头, m;

p ——液体的静压强, Pa;

ρ ——液体的密度, kg/m³;

g ——重力加速度, m/s²;

u_z ——液体轴向速度分量, m/s。

按照连续性方程:

$$Q = \pi \nu_{in} r_{in}^2 = \pi \nu_{z0} (r_0^2 - r_c^2) \quad (3)$$

式中: Q ——喷嘴的体积流量, m³/s;

r_{in} ——液体通道半径, m;

ν_{z0} ——喷嘴处液体的轴向平均速度, m/s;

r_0 ——喷嘴出口半径, m;

r_c ——在喷嘴中央真空区, 外界空气负压倒流形成的空气芯旋流半径, m。

在旋转流体中, 考虑到 u_r, u_z 比 ν_{τ} 小得多, 故静压强 p 沿径向的变化率可表示为:

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{\nu_{\tau}^2}{r} \quad (4)$$

将 (1) 式代入 (4) 式并积分得:

$$p = -\frac{1}{2} \rho \frac{\nu_{in}^2 R^2}{r^2} + C \quad (5)$$

在空气芯旋流半径 r_c 处, $r = r_c, p = 0$, 代入 (5) 式得:

$$C = \frac{1}{2} \rho \frac{R^2}{r_c^2} \nu_{in}^2 \quad (6)$$

将 (6) 式代入 (5) 式, 当 $r = r_c$ 时得:

$$p = \frac{1}{2} \rho \nu_{in}^2 R^2 \left(\frac{1}{r_c^2} - \frac{1}{r_0^2} \right) \quad (7)$$

在喷嘴出口处, $r = r_0$, 由 (1) 式得:

$$\nu_{\tau}^2 = \nu_{in}^2 \frac{R^2}{r_0^2} \quad (8)$$

由 (3) 式得:

$$\nu_{in} = \frac{Q}{\pi r_{in}^2} \quad (9)$$

将 (9) 式代入 (8) 式得:

$$\nu_{\tau}^2 = \left(\frac{Q}{\pi r_{in}^2} \right)^2 \frac{R^2}{r_0^2} \quad (10)$$

由 (3) 式得:

$$\nu_{z0}^2 = \frac{Q^2}{\pi^2 (r_0^2 - r_c^2)^2} \quad (11)$$

在喷嘴出口处, $u_z = \nu_{z0}$, 将 (7) 式、(10) 式、(11) 式代入 (2) 式得:

$$Q = \sqrt{\frac{1}{\frac{R^2 r_0^4}{r_{in}^4 r_c^2} + \frac{r_0^4}{(r_0^2 - r_c^2)^2}}} \sqrt{2gH} \pi r_0^2 \quad (12)$$

令 $a = 1 - \left(\frac{r_c}{r_0} \right)^2, B = \frac{R r_0}{r_{in}^2}$, 则 (12) 式变为:

$$Q = \frac{a \sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a+a^2 B^2}} \sqrt{2gH} \pi r_0^2 \quad (13)$$

令 $C_d = \frac{a \sqrt{1-a}}{\sqrt{1-a+a^2 B^2}}$, 则:

$$Q = C_d \pi r_0^2 \sqrt{2gH} = C_d S_0 \sqrt{2gH} \quad (14)$$

式中: a ——有效截面系数;

B ——几何特性系数;

C_d ——喷嘴流量系数;

S_0 ——喷嘴出口截面积, m²。

(14) 式为压力式旋流雾化塑料喷嘴的流量方程式, 可用来确定喷嘴的出口直径。

在设计低压旋流雾化塑料喷嘴时, 其主体段设计为中空圆柱渐缩管形, 喷嘴水平喷射流体。采用两个或两个以上的圆形通道, 这时全部入口通道的总横截面积 S_1 的计算公式如下:

$$S_1 = \frac{\pi r_0^2}{B} \quad (15)$$

旋流喷嘴设计中的喷嘴流量系数 C_d 、几何特性系数 B 、有效截面系数 a 与旋流室内锥角之间的关系可通过经验关系曲线确定^[5]。

由于喷嘴结构参数的理论计算只能大致确定取值范围, 为减小研究范围, 先确定喷嘴的一些结构参数^[6-7]。

(1) 根据间歇喷雾器的行业标准 JB/T 5113-

2005 可知,喷雾器喷孔直径不大于 0.7 mm,初步选定喷嘴的出口直径为 0.5 mm。

(2) 喷孔长径比: 喷孔长径比变化时,喷嘴的流量系数 C_d 随之会发生变化,增大其比值,会增加流体在孔内的压力水头 H 损失,进而使流量系数 C_d 变小,一般长径比为 0.5 ~ 1.0 较适宜。由于喷嘴的出口直径确定为 0.5 mm,故选定喷嘴的出口长度为 0.5 mm。

(3) 旋流室内锥角: 旋流室内锥角大小对喷嘴的雾化质量有很大影响,旋流室内锥角过大,会增大湍流程度,形成空芯雾化;旋流室内锥角过小,则不利于雾化。选择喷嘴的旋流室内锥角为 $110^\circ \sim 130^\circ$ 。

(4) 螺旋升角和螺旋槽头数: 螺旋升角是影响雾化质量的一个重要参数,选择喷嘴的螺旋升角为 $30^\circ \sim 35^\circ$; 螺旋槽头数取 2, 3, 4。

(5) 由于所研究喷嘴的结构尺寸较小,且喷嘴主体呈渐缩管状,故喷嘴沿程阻力损失可忽略不计,只需考虑局部压力水头 H 损失。其它给定的工作参数为: 进口压力为 0.3 ~ 0.5 MPa, 喷嘴的体积流量为 $4.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$, 液体的密度 $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

(6) 根据有效截面系数 a 确定 r_0 与 r_c 的关系并代入 (7) 式, 得到螺旋体直径 ($2R$) 的取值范围为 4 ~ 8 mm; 把几何特性系数 B 代入 (15) 式可得到全部入口旋流通道总横截面积 S_1 的取值范围为 2 ~ 4 mm^2 , 本次实验取 $S_1 = 2 \text{ mm}^2$ 。

3 低压旋流雾化塑料喷嘴结构参数的实验研究

3.1 实验装置

搭建的活塞式间歇喷雾器喷雾的低压旋流雾化塑料喷嘴实验台主要由由硬件和软件两大部分组成。硬件部分主要由伺服控制系统、PLC 可编程控制器、电动机驱动器、提供液体雾化压力的交流伺服电机、工作台等组成,如图 2 所示。

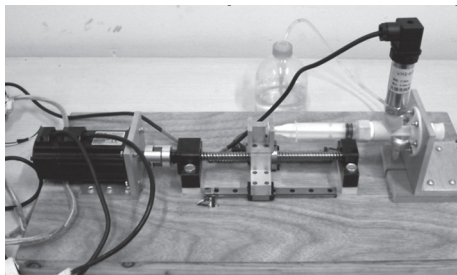


图 2 低压旋流雾化塑料喷嘴实验台

3.2 实验设计

试验因素为 4 因素: 螺旋体直径 (A)、旋流室内锥角 (B)、螺旋升角 (C) 和螺旋槽头数 (D), 故设计 4

因素 3 水平正交试验 $L_9(3^4)$, 共 9 组试验, 如表 2 所示。试验中仅考察 4 个因素对低压旋流雾化塑料喷嘴雾化效果的影响, 不考察因素间的交互作用。

表 2 正交试验因素水平组合表

水平	因素			
	A/mm	B/(°)	C/(°)	D/头
1	5	110	30	2
2	6	120	32.5	3
3	7	130	35	4

3.3 实验喷嘴

实验用喷嘴共有 9 个, 其编号为 1[#] ~ 9[#], 具体结构参数组合见表 2, 部分喷嘴实物图如图 3 所示。

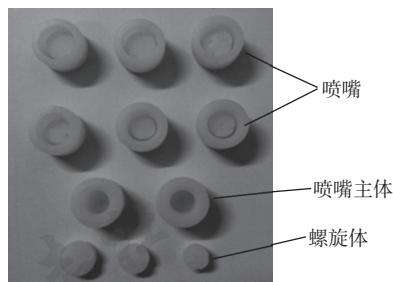


图 3 部分喷嘴实物图

3.4 性能测试

(1) 雾化角: 采用照相法测定, 利用日本基恩士 (KEYENCE) 公司生产的 VW-6000 型动态分析三维显微系统对喷嘴雾化过程进行拍照并截图得到喷雾形状, 处理图片后, 量取雾化角。

(2) 射程: 用痕迹法测定。低压旋流雾化塑料喷嘴的喷雾射程为雾状射程, 按 JB/T 5113-2005 测定。

(3) 轴向出口速度: 采用丹麦 Dantec 公司生产的 Flow Map 2100 型 PIV 粒子成像测速仪测定粒子的速度场。由于水的粒子难以捕捉, 故加入尼龙粉作为示踪粒子; 使用激光片光源照射流场中性面, 并用 CCD 图像传感器记录示踪粒子的位置。

3.5 测试结果

(1) 雾化角与射程: 对 9 个喷嘴的测定结果显示, 喷嘴的雾化角为 $65^\circ \sim 80^\circ$, 射程为 1.10 ~ 1.8 m。部分喷嘴的雾化角与射程的照片如图 4 所示。

(2) 轴向出口速度: 对 9 个喷嘴的测定结果显示, 喷嘴的轴向出口速度为 12.01 ~ 23.03 m/s。部分喷嘴的轴向出口速度场分布如图 5 所示。

3.6 实验结果分析

喷嘴雾化角及轴向出口速度的极差分析结果分别如表 3、表 4 所示。

由分析结果可知, 雾化角的最优喷嘴结构参数

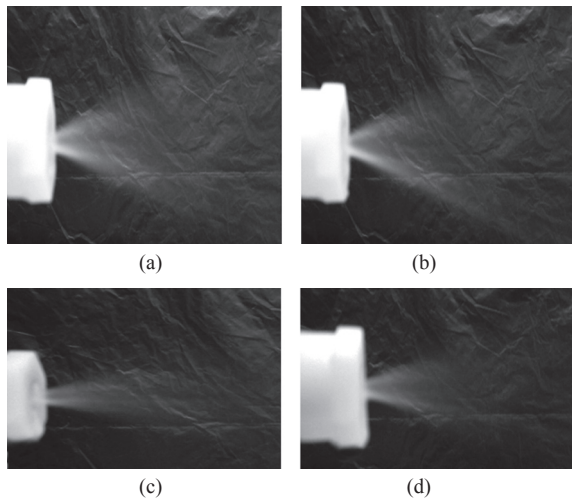

 喷嘴: a—2[#]; b—5[#]; c—7[#]; d—9[#]

图4 部分喷嘴的雾化角与射程的照片

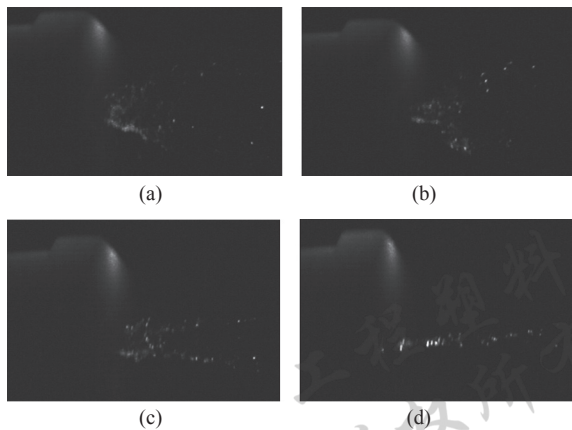

 喷嘴: a—2[#]; b—4[#]; c—7[#]; d—8[#]

图5 部分喷嘴出口处的粒子轴向出口速度场分布

表3 喷嘴雾化角正交试验极差分析结果

指标	因素			
	A	B	C	D
K_1	230	171	213	209
K_2	211	217	214	180
K_3	160	213	174	212
$\bar{k}_1$	76.66	57	71	69.66
$\bar{k}_2$	70.33	72.33	71.33	60
$\bar{k}_3$	53.33	71	58	70.66
极差 R	23.33	15.33	13.33	10.66
主次顺序	A>B>C>D			
优水平	A ₁	B ₂	C ₂	D ₃
优组合	A ₁ B ₂ C ₂ D ₃			

为 A₁B₂C₂D₃, 轴向出口速度的最优喷嘴结构参数为 A₃B₁C₃D₃。在具体选用喷嘴结构参数时, 可根据客户所关注的主要指标是喷嘴雾化角还是轴向出口速度, 确定喷嘴的结构参数。

4 结论

(1) 应用最大流量原理, 得出合理的结构参数, 大大减少了传统实验研究方法的盲目性。

表4 喷嘴轴向出口速度正交试验极差分析结果

指标	因素			
	A	B	C	D
K_1	40.74	52.65	42.3	44.57
K_2	42.72	44.11	43.35	46.69
K_3	55.40	42.10	53.21	47.60
$\bar{k}_1$	13.58	17.55	14.10	14.85
$\bar{k}_2$	14.24	14.70	14.45	15.56
$\bar{k}_3$	18.46	14.03	17.73	15.86
极差 R	4.88	3.52	3.63	1.01
主次顺序	A>C>B>D			
优水平	A ₃	B ₁	C ₃	D ₃
优组合	A ₃ B ₁ C ₃ D ₃			

(2) 通过正交试验分别得出了喷嘴雾化角和轴向出口速度的最优喷嘴结构参数。

(3) 通过理论计算与实验研究得到低压旋流喷嘴结构参数。研制出的压力旋流雾化喷嘴, 在推出压力 0.3~0.5 MPa 范围下, 喷嘴的雾化角为 65°~80°, 射程为 1.1~1.8 m, 满足用户要求, 从而使罐装(无预压)代替金属压力罐装成为可能。

参考文献

- [1] 田春霞, 仇性启, 崔运静. 喷嘴雾化塑料技术进展 [J]. 工业加热, 2005, 34(4): 40-43.
Tian Chunxia, Qiu Xingqi, Cui Yunjing. Development of technology on atomization [J]. Industrial Heating, 2005, 34(4): 40-43.
- [2] 董星涛, 林垂真, 柳维均. 基于 CFdesign 的雾化塑料喷嘴上游流场数值模拟研究 [J]. 轻工机械, 2010, 28(5): 15-18.
Dong Xingtao, Lin Chuizhen, Liu WeiJun. Study on numerical simulation of upstream flow field of atomizing nozzle based on CFdesign [J]. Light Industry Machinery, 2010, 28(5): 15-18.
- [3] 刘文广. 喷雾干燥实用技术大全 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
Liu Wenguang. Spray drying technique [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [4] 高学平. 高等流体力学 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.
Gao Xueping. Advanced fluid mechanics [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2001.
- [5] 候凌云, 候晓春. 喷嘴技术手册 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2002.
Hou Linyun, Hou Xiaochun. Nozzle technology handbook [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2002.
- [6] Brankovic A, McKinnery R, Ouyang H, et al. Comparison of measurements and predictions of flow in a gas turbine engine fuel nozzle [R]. AIAA Paper, 2000.
- [7] Patankar S V. Numerical heat transfer and fluid flow [M]. New York: Mc Graw-Hill, 1980.