

文章编号: 1000-5013(2007)03-0235-04

旋流压力式喷嘴低压喷淋特性

朱学军, 吕 芹, 叶世超

(四川大学 化学工程学院, 四川 成都 610065)

摘要: 以自来水为喷淋介质, 对旋流压力式喷嘴低压喷淋特性进行试验研究. 分析喷嘴流量和喷孔直径对喷淋角、液滴 Sauter 平均直径(SMD)的影响规律, 研究旋流压力式喷嘴喷淋液滴尺寸分布、喷淋介质径向通量分布及喷淋周相均匀度. 结果表明, 喷嘴流量越大, 喷淋角越大, 液滴尺寸越小; 喷孔直径增加, 喷淋角和液滴尺寸均增大. 低压喷淋液滴 SMD 集中在 $250 \sim 550 \mu\text{m}$ 之间, 属于大颗粒, 得出计算液滴 SMD 的关联式. 喷淋通量在中心最大, 喷嘴流量增大, 边缘区喷淋通量逐渐增加, 介质喷淋周相均匀性较好. 实验结果可以为旋流压力式喷嘴, 以及惰性粒子流化床干燥器的设计和改进, 提供实验依据.

关键词: 旋流压力式喷嘴; 喷淋特性; 喷淋角; 喷淋通量; 喷淋周相均匀度

中图分类号: TQ 021.8; TQ 022.8

文献标识码: A

惰性粒子流化床干燥器的体积传热系数大、干燥强度高, 在干燥膏状、浆状和悬浮液等物料中受到广泛关注^[1-3]. 要强化干燥器各项性能, 物料进入干燥器必须均匀喷洒在惰性粒子表面, 否则可能导致局部地区负荷过多, 进而造成死床. 采用喷嘴加料是一种行之有效的方法. 对干燥器进料均布的研究报道较少, 而对旋流压力式喷嘴雾化特性研究较多^[4-7], 研究主要采用高压使液体雾化, 压力一般为 $1 \sim 8 \text{ MPa}$, 液滴 SMD 小于 $100 \mu\text{m}$, 适合直接喷雾干燥. 但由于喷雾干燥的设备庞大, 体积传热系数低, 较小的液滴将直接随气流吹出, 使产品含水率较高而不利于惰性粒子流化床干燥. 同时, 其动力消耗大, 喷嘴磨损严重. 本文采用螺杆泵, 以自来水为介质, 在低压下使物料喷淋成较大颗粒, 均匀分散在惰性粒子表面, 研究不同孔径旋流压力式喷嘴低压下喷淋特性, 并对相关影响因素进行分析.

1 实验方法

装置如图 1 所示, 在常温常压下, 以自来水作为介质, 进行 3 种不同孔径的压力式喷嘴冷态模拟实验, 所用喷嘴为旋流压力式喷嘴, 其孔径 d 分别为 $0.8, 1.2, 1.6 \text{ mm}$. 储水槽水满后, 开启螺杆泵, 流量大小通过一定时间接液质量求取, 压力从螺杆泵出口的压力表读出, 压力范围为 $0 \sim 1 \text{ MPa}$.

液滴 SMD 测量方法^[8]: 首先自制 1 个水滴计数池, 即在载玻片上粘合 4 个小玻片, 使中央形成 1 个小池. 采样前, 先在计数池内放少许凡士林, 加热使其熔化, 等凡士林在玻片底凝固成薄层后, 在池内注满机油. 采样时, 将计数池手持在采样区 $1 \sim 2 \text{ s}$, 然后迅速将其移至显微镜下, 测出液滴直径, 每个条件测取不同位置 50 个液滴直径以计算平均值. 此外, 测取每种喷嘴在螺杆泵转速为 $160 \text{ r} \cdot$

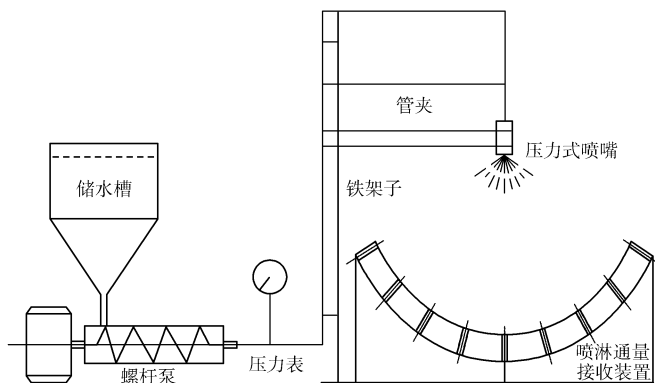


图 1 旋流压力式喷嘴喷淋特性实验装置图

Fig. 1 Flow chart of spray characteristics
of swirl pressure nozzle

收稿日期: 2006-12-04

作者简介: 朱学军(1974-), 男, 博士研究生, 主要从事喷雾干燥及流态化技术的研究; 通讯作者: 叶世超(1956-), 男, 教授, 博士生导师, shichaoye@sina.com

基金项目: 攀枝花学院博士科研基金资助项目(B2006-05)

min^{-1} 时的 340 个液滴直径,以求得液滴的粒径分布.

2 实验结果与讨论

2.1 喷嘴流量特性

不同孔径喷嘴流量(q_m)与螺杆泵转速(n)的关系,如图 2 所示;而出不同孔径喷嘴入口压力(p)与螺杆泵转速(n)的关系,如图 3 所示.由图 2 可以看出,随着螺杆泵转速的提高,喷嘴流量变大,而喷孔直径越大,流量也越大.这主要是由于螺杆泵的流量随转速增加而增大,而压力式喷嘴流量与喷孔直径的平方成正比.由图 3 可以看出,随着螺杆泵转速的提高,喷嘴入口压力增加,喷孔直径越小,其入口压力也越大.这是由于转速增加,使得流量增加,阻力也相应增加,因此喷嘴入口压力增加,喷孔直径越小,阻力越大,压力也就越高.

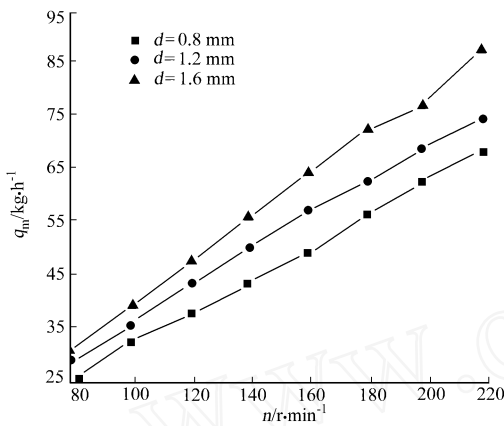


图 2 喷嘴流量与螺杆泵转速关系

Fig. 2 Nozzle flow capacity under different rotate speed

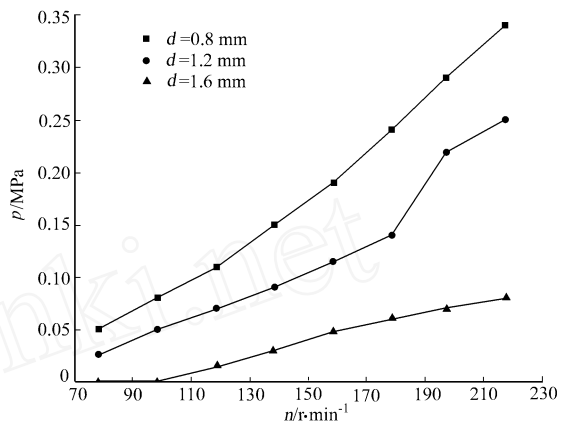


图 3 喷嘴入口压力与螺杆泵转速的关系

Fig. 3 Nozzle pressure under different rotate speed

2.2 喷淋角

图 4 为不同孔径喷嘴喷淋角(θ)与流量(q_m)间的关系.由图 4 可知,随着喷嘴流量增加,喷淋角变大,在相同流量下,孔径越大,喷淋角越大.对于同一喷嘴,流量越大,喷嘴入口压力也就越大,喷淋角相应变大;对于不同孔径喷嘴,喷孔直径越大,旋流越强,喷淋角就相应变大.

2.3 液滴尺寸

图 5 为不同孔径喷嘴的 SMD(D)与喷嘴流量(q_m)间的关系.由图 5 可知,随着流量增加,SMD 减

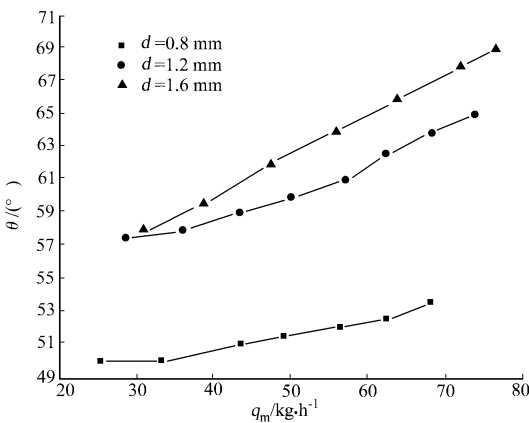


图 4 喷淋角与流量关系

Fig. 4 Spray angle under different flow capacity

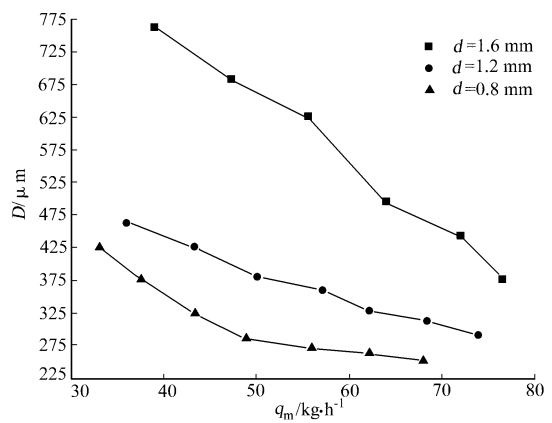


图 5 液滴 SMD 与喷嘴流量关系

Fig. 5 SMD under different flow capacity

小.开始时,减小幅度较大,随着流量逐渐增加,SMD 减小幅度变慢,同时喷孔直径越大,液滴 SMD 越大.这主要是由于流量小,喷孔流速相应较小,介质成大的液滴落下.随着流量增加,喷嘴入口压力增加显著;当流量增大到一定值,介质将被雾化成细小颗粒.由图 5 可知,喷孔直径越大,其喷嘴入口压力增

加越慢,达到雾化的流量较大. 因此,在相同的流量下,大孔径喷嘴的液滴尺寸也就越大. 按因次分析法,以实验数据进行多元回归,得到估算旋流压力式喷嘴低压喷淋液滴 SMD 的经验式,有

$$D = 3.259\,5\,d^{0.924\,2}\,p^{-0.067\,9}\,q_m^{-0.618\,8}.$$

上式中, d 为喷嘴孔径 (mm); p 为压力 (MPa); q_m 为质量流量 ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$). 图 6 为液滴 SMD 计算值 (D_c) 与实验值 (D_{exp}) 比较,两者吻合较好.

2.4 喷淋介质周相均匀度

喷嘴直径 d 为 1.6 mm 的喷嘴在截面高度为 500 mm 处,其不同位置 (r) 喷淋周相均匀度曲线如图 7(a) 所示. 由图 7(a) 可以看出,旋流压力式喷嘴喷淋周相均匀度较好,从中心到边缘,均匀性变差. 这主要是由于旋流压力式喷嘴喷淋为实心锥,边缘流量少,并且边缘液滴尺寸相对中心较小,受外界影响较大. 不同孔径 (d) 喷嘴在同一截面高度喷淋周相均匀度曲线,如图 7(b) 所示. 由图 7(b) 可以看出,3 种喷嘴直径的喷嘴喷淋周相均匀度均较好,且喷嘴直径越小,其均匀性更好. 这同样是由于喷嘴为

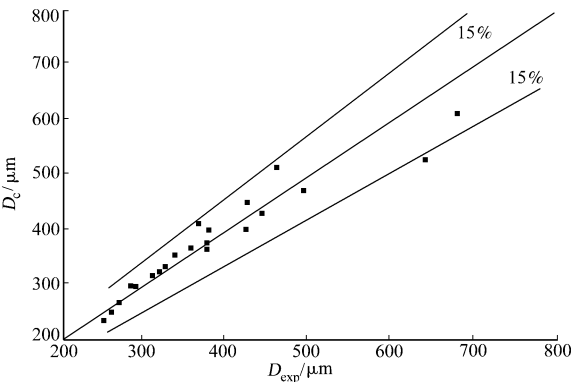


图 6 液滴 SMD 计算值与实验值的比较
Fig. 6 The comparison of the calculated value of SMD with its experimental value

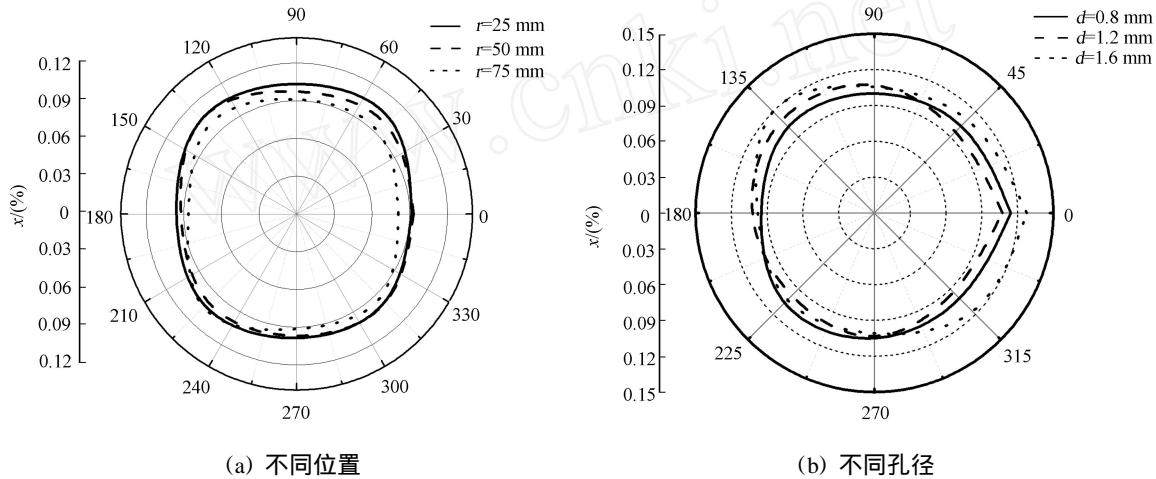


图 7 喷嘴喷淋周相均匀度
Fig. 7 Uniformity of circumferential of nozzle

实心锥,喷嘴孔径越小,喷淋角越小,中心喷淋通量越大,进而中心喷淋均匀性较好. 在螺杆泵转速为 $160\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,3 种孔径喷嘴得到的不同液滴粒径范围的液滴分数 (x),如图 8 所示 (液滴总数为 340). 由图 8 可知,液滴平均粒径变化范围较窄,液滴较均匀,平均粒径在 $250 \sim 550\text{ }\mu\text{m}$ 之间. 并且,随着孔径增加,液滴均匀性更好,且液滴尺寸随孔径增加而增大,曲线向右偏移.

2.5 喷淋液滴径向通量

在流量 q_m 分别为 39, 47, 64, 95 $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 下,测量喷淋通量 (Φ) 随喷淋角 (θ) 的变化,如图 9 所示. 实验喷嘴孔径 d 为 1.6 mm. 由图 9 可以看出,旋转压力式喷嘴喷淋通量在中心处最大,并沿着径向方向减小,在喷淋角为 10° 时,喷淋通量沿喷淋角变化较为显著;在喷淋角为 $10 \sim 40^\circ$ 范围内,喷淋通量沿喷淋角变化逐渐变缓;在喷淋角超过 40° 时,则喷淋通量沿喷淋角变化不明显. 图 9 还显示,在喷淋角为 10° 时,喷雾通量随

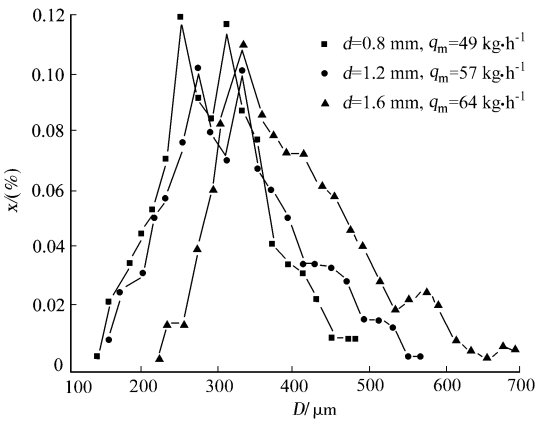


图 8 液滴 SMD 微分分布
Fig. 8 Differential distribution of SMD

着流量的增大而减小;喷淋角超过 10° 时,喷淋通量随着流量的增大而增大,喷淋逐渐向边缘发展.

3 结束语

(1) 旋流压力式喷嘴低压喷淋产生的液滴尺寸较大,实验条件下均超过 $250\ \mu\text{m}$,满足惰性粒子流化床干燥膏糊状物料进料的要求.(2) 压力、喷孔直径对喷嘴流量、喷淋角、液滴平均直径都有影响,在选用和设计旋流压力式喷嘴的时候应充分考虑.(3) 旋流压力式喷嘴低压喷淋时,液滴粒径比较均匀,实验条件下主要集中在 $250 \sim 550\ \mu\text{m}$,其 SMD 可用提出的关联式计算,计算值与实验值吻合较好.(4) 旋流压力式喷嘴在低压下喷淋为实心锥,在中心最大,并沿径向方向逐渐递减.

参考文献:

- [1] ORMOS Z, SZENTMARJAY T. Economic considerations in fluidized bed drying of Pastes using inert particles[J]. Drying Technology, 1987, 5(4): 577-591.
- [2] BENALI M, AMAZOUZ M. Drying of vegetable starch solutions on inert particles: Quality and energy aspects [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 74(4): 484-489.
- [3] KUTSAKOVA V E. Drying of liquid and pasty products in a modified spouted bed of inert particles[J]. Drying Technology, 2004, 22(10): 2 343-2 350.
- [4] 于广锁,龚欣,刘海峰,等.多喷嘴对置式水煤浆气化技术[J].现代化工,2004,24(10): 46-49.
- [5] HADEF R, LENZE B. Measurements of droplets characteristics in a swirl-stabilized spray flame[J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2005, 30(2): 117-130.
- [6] 刘乃玲,张旭.压力式细雾喷嘴雾化特性的研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(12): 1677-1679.
- [7] 陈斌,郭烈锦,张西民,等.喷嘴雾化特性实验研究[J].工程热物理学报,2001,22(2): 237-240.
- [8] 石庆宏,叶世超,张登平,等.旋转压力式喷嘴喷雾特性的实验研究[J].高校化学工程学报,2005,19(6): 841-844.

The Low Pressure Spray Characteristics of Swirl Pressure Nozzle

ZHU Xue-jun, L Ü Qin, YE Shi-chao

(School of Chemical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The experimental investigation on the low pressure spray characteristics of swirl pressure nozzle was carried out with the water as the working fluid of spray. The influence of the nozzle flow capacity and the nozzle diameter on spray angle and Sauter mean diameter (SMD) were discussed. The distribution of spray droplet size, distribution of radial spray flux, and the uniformity of circumferential spray were studied. The results show that spray angle increase and spray droplet size decrease with the increase of nozzle flow capacity, and that both of them increase with the increase of the nozzle diameter. Low pressure spray droplet sizes are in range of $250 \sim 550\ \mu\text{m}$, which belongs to big granule, and a correlation to calculate SMD was established. The radial spray flux of the swirl pressure nozzle is biggest at the center region of the spray cone and the fringe increase gradually with the increase of nozzle flow capacity. The distribution of spray droplet is better. The research provides an importance experimental basis for the design and betterment of swirl pressure nozzle and inert particles fluidized bed drier.

Keywords: swirl pressure nozzle; spray characteristics; spray angle; spray flux; uniformity of circumferential spray

(责任编辑:黄仲一)

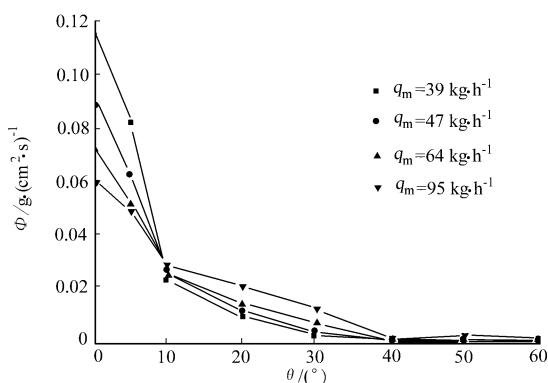


图9 喷淋通量随喷淋角的变化关系

Fig.9 Variety of spray flux with spray angle