

压力式喷嘴雾化性能的试验研究

方立军, 李 斌

(华北电力大学 能源与动力工程学院, 河北保定 071003)

摘 要: 利用单相喷嘴雾化测试系统对压力式喷嘴的雾化特性进行试验研究。采用高速动态摄像机与扇形排状量筒结合计算机图像处理技术对液滴粒径分布、径向喷淋密度分布和雾化角等进行了测量和数据处理, 得到喷嘴的雾化压力与雾化液滴粒径、径向喷淋密度分布及雾化角之间的关系。对于 HHSJ-90210 异型雾化喷嘴, 当压力范围为 0.05~0.5 MPa 时, 雾化液滴的 SMD 平均粒径范围为 0.831~1.621 mm, 条件雾化角为 70.4°~91.2°; 对于内螺纹喷嘴, 当压力范围为 0.07~0.52 MPa 时, 雾化液滴的 SMD 平均粒径范围为 2.23~3.52 mm, 条件雾化角范围在 64.5°~78.5°。研究结果可为湿法烟气脱硫技术中此类型压力式喷嘴的选型提供科学依据。

关 键 词: 压力喷嘴; 雾化性能; 液滴粒径; 雾化角

中图分类号: TK223.26 X701.3 **文献标识码:** A

引 言

目前, 湿法烟气脱硫技术是国内外燃煤电站锅炉控制 SO₂ 排放的最主要方法, 其中喷淋式吸收塔是应用最多的塔型^[1,2]。在我国不同类型吸收塔中, 喷淋塔所占的比例在 90% 以上。在喷淋塔中通过雾化方式将液体破碎成体积很小的液滴, 可以大大增加液体的表面积和增大气液的接触面积, 有利于气液之间的传热传质。喷嘴作为喷淋塔中的关键部件, 其雾化性能的优劣对于吸收塔的设计和计算起着重要作用。根据雾化介质的不同以及对雾化质量的要求不同, 喷嘴的类型也有所不同。按喷嘴雾化方式来分, 可分为压力式、旋转式、撞击式和双流体式等几种^[3~6]。其中压力式雾化喷嘴结构简单, 操作、维修方便, 在湿法烟气脱硫 (WFGD) 中应用较广^[7]。新一代湿法烟气脱硫技术以缩小吸收塔尺寸, 降低投资成本为目标, 塔内烟气流速提高可有效缩小吸收塔尺寸。对于高烟气流速强化喷淋式吸收塔的雾化喷嘴, 由于烟气流速高, 为了减少净化烟气

中液滴的夹带现象, 要求雾化液滴的粒径较常规喷淋塔的雾化液滴大, 且液滴粒径的频谱分布较常规塔雾化喷嘴要窄, 即大粒径液滴的比例增大、细小液滴在数量上要小于常规喷嘴的液滴粒径雾化^[8~9]。针对上述特点, 试验中自行搭建了一套喷嘴雾化特性测试系统对 HHSJ-90210 异型雾化喷嘴和内螺纹雾化喷嘴进行试验研究, 并对其雾化特性进行对比分析。

1 试验系统及测试装置

喷嘴雾化特性测试系统主要由两部分组成, 一部分是雾化喷淋系统, 由水箱、水泵、阀门、喷嘴和连接管道等部件构成。另一部分是测量系统, 分别对流量、压力、液滴粒径大小与粒径分布、径向喷淋密度和雾化角进行测量。液体流量由涡轮流量计测量, 压力采用标准压力表来测量, 液滴颗粒粒径大小和粒径分布的测量采用高速动态摄像机测定, 径向喷淋密度采用扇形排状量筒测量, 雾化角利用数码相机拍照后通过处理图形测定。本试验采用的高速动态摄像机为美国 REDLAKE 公司的 MotionScope 2000 s Monochrome Recording Time (Sec) / Frame Storage 系统, 该系统可以对一个事件以 50~8 000 帧 / 秒的速度记录一组连续的数字图像, 并将这些图像储存在摄像机内存中^[10~11]。试验系统如图 1 所示。

本研究主要对两种雾化喷嘴进行试验, 两个喷嘴的类型分别为 HHSJ 异型雾化喷嘴和内螺纹雾化喷嘴。HHSJ 异型雾化喷嘴为美国 SPRAY SYSTEM 公司生产的专用雾化喷嘴, 采用的型号为 HHSJ-90210; 内螺纹雾化喷嘴为自行设计, 针对高流速烟气下, 雾化液滴粒径尺寸和分布特点的要求设计制造, 其结构如图 2 所示。

收稿日期: 2009-03-17 修订日期: 2010-01-03

基金项目: 十一五国家科技支撑计划基金资助项目 (2006BA03B02-03)

作者简介: 方立军 (1971-), 男, 四川内江人, 华北电力大学副教授。

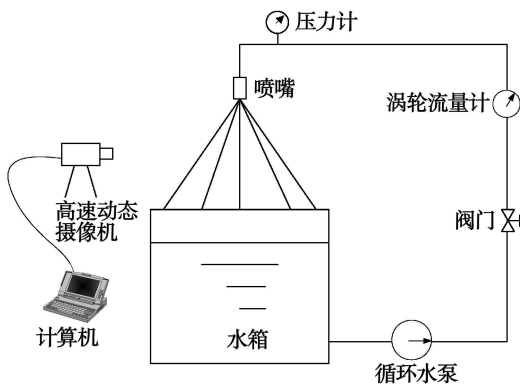


图 1 喷嘴雾化特性试验系统示意图

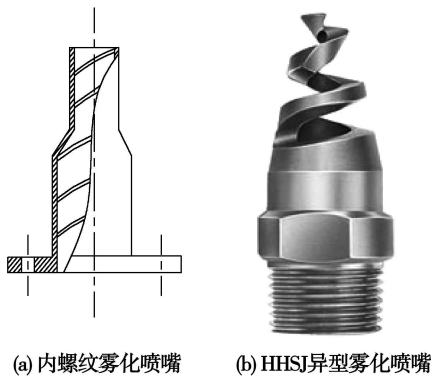


图 2 两种雾化喷嘴

2 试验内容与结果分析

2.1 工况设计

根据流量与压力关系, 分别对两种雾化喷嘴进行工况设计, 设计工况如表 1 所示。

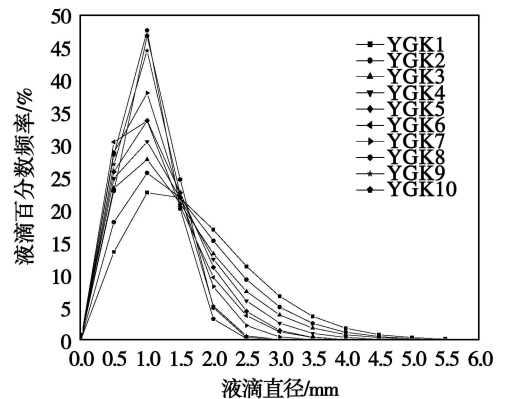
表 1 设计工况

(a) HHSJ-90210 型		(b) 内螺纹型	
工况	压力 /MPa	工况	压力 /MPa
YGK1	0.05	LGK1	0.07
YGK2	0.1	LGK2	0.13
YGK3	0.15	LGK3	0.17
YGK4	0.2	LGK4	0.23
YGK5	0.25	LGK5	0.27
YGK6	0.3	LGK6	0.32
YGK7	0.35	LGK7	0.38
YGK8	0.4	LGK8	0.42
YGK9	0.45	LGK9	0.47
YGK10	0.5	LGK10	0.52

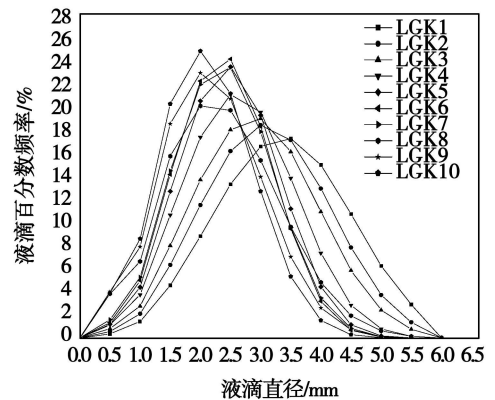
2.2 试验结果

2.2.1 雾化粒径分布

为了测量图像中液滴直径的实际大小, 试验选取了一个参照物用以对比图像中液滴的影像, 从而确定液滴的实际大小。试验中, 选择的图像采集区域在喷嘴出口正下方 2 m 处, 此处的工质绝大部分已经撕裂成液滴, 雾化现象比较明显, 液滴的空间分布也能比较清楚地观察。同时, 所有的图像采集在同一区域, 可使得试验结果具有可比性。整理试验数据得到两个喷嘴的雾化粒径的尺寸频率曲线, 如图 3 所示。



(a) HHSJ-90210 型雾化喷嘴



(b) 内螺纹雾化喷嘴

图 3 喷嘴的雾化液滴粒径尺寸频率曲线

在不同压力下两个喷嘴的流量和雾化液滴的索太尔平均粒径 (SMD) 如表 2 所示。

2.2.2 径向喷淋密度分布

根据喷嘴喷出的雾化液滴呈现三角圆锥形的结构, 并认为沿锥体高度的横截面同一个圆周的喷淋密度分布恒定不变, 这样可选取任一个经过雾锥母线的平面, 通过试验来测量该平面沿径向喷淋流量分布的变化。作者自行设计一个扇形排状量筒作为测量喷洒雾锥径向流量分布的测量工具, 这种扇形

表 2 两个喷嘴的平均雾化粒径 (SMD)

(a)HHSJ-90210 型雾化喷嘴

	YGK1	YGK2	YGK3	YGK4	YGK5	YGK6	YGK7	YGK8	YGK9	YGK10
压力 /MPa	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
流量 /m ³ · h ⁻¹	4.77	5.62	7.02	87.93	8.81	9.66	10.63	11.42	12.15	13.14
SMD/mm	1.621	1.423	1.257	1.150	1.052	0.975	0.932	0.893	0.857	0.831

(b)内螺纹雾化喷嘴

	LGK1	LGK2	LGK3	LGK4	LGK5	LGK6	LGK7	LGK8	LGK9	LGK10
压力 /MPa	0.07	0.13	0.17	0.23	0.27	0.32	0.38	0.42	0.47	0.52
流量 /m ³ · h ⁻¹	19.8	26.7	30.1	31.2	32.4	36.6	43.1	44.5	45.6	47.3
SMD/mm	3.62	3.58	3.29	3.16	3.03	2.73	2.51	2.47	2.42	2.23

量筒布置方式可以有效减小发散状下落液滴与量筒壁面碰撞所产生的测量误差。径向喷淋密度由喷淋体积流率得到,其物理意义是:经过以喷嘴为圆心的圆面上某点处,单位时间内单位面积上流过的液体的体积。测量中,采用在某个时间间隔 Δt 中使用量管接取了体积 V 的水,量管进口有效面积为 S 则喷淋液的体积流率为:

$$q = V / S \Delta t \tag{1}$$

式中: q —具有速度的量纲, m³/s

为了统一整理不同喷嘴出口喷淋速度时的径向喷淋密度分布,定义一个“喷淋液无量纲体积流率” Q

$$Q = q / u = V / S u \tag{2}$$

式中: u —喷淋液出口速度, m/s

由于喷淋雾化锥体的对称性,可取任何一个经过喷嘴点的二维平面来确定沿径向的喷淋密度分布情况。采用“喷淋液无量纲体积流率” Q 来表示喷嘴径向喷淋密度分布更具有普遍意义。两个雾化喷嘴的径向喷淋密度分布如图 4 所示。

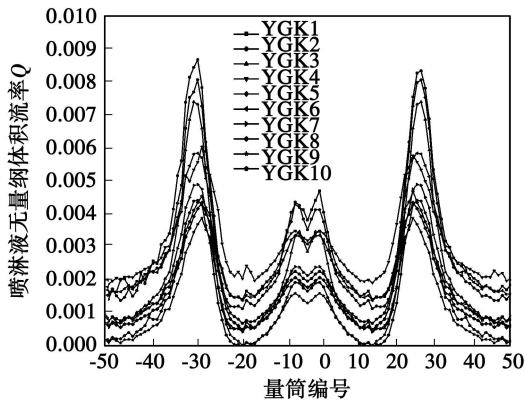
2.2.3 雾化角

雾化角有几种不同的表示方法,常用的有出口雾化角和条件雾化角两种^[12]。本研究采用条件雾化角来表示喷嘴雾化角的大小,并用数码相机对不同工况的喷嘴雾化情况进行拍照,选取雾化长度为喷嘴出口下方 250 mm 通过测量扩展角角度来获得条件雾化角 α_{250} 。表 3 为两个雾化喷嘴在不同工况下条件雾化角。

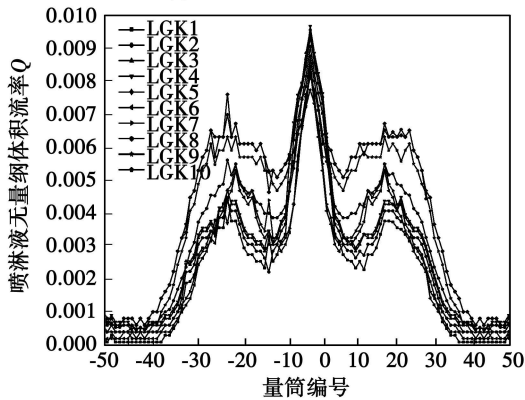
2.3 试验结果分析

由图 3 可知,随着雾化工质压力的增大,喷嘴的流量增大,而雾化液滴的平均粒径逐渐减小;并且随着压力增加,雾化液滴粒径分布的范围逐渐变窄,即小粒径液滴所占的比例逐渐增大。

由图 4 可知,两个喷嘴的径向喷淋密度分布明显不同,这主要是由于两个喷嘴的结构不同所致。两者的共同点是径向喷淋密度分布的对称性较好。对于 HHSJ-90210 异型雾化喷嘴,由于镂空螺纹结构的特点,喷淋密度沿半径方向具有两个峰值,其中外延峰为一个明显的最高峰,在径向约 60% 半径的环形范围内有很高的分布密度,该峰值随着喷嘴入口液体流量和压力的增加逐渐增大,并沿径向向雾锥外延扩展。对于内螺纹雾化喷嘴,径向喷淋密度



(a) HHSJ-90210 异型雾化喷嘴



(b) 内螺纹雾化喷嘴

图 4 两个喷嘴的径向喷淋分布密度

分布较为集中,且分布较为均匀,为典型的实心锥雾化喷嘴喷淋分布,虽然在中心呈现一个峰值,但峰值流量所占比例较小。根据两个喷嘴的径向喷淋密度分布特点,在塔内喷嘴组的安装设计上需充分运用“削峰填谷”原理来满足塔内喷洒覆盖的均匀性,以保证烟气不会发生“短路”现象。HHSJ异型雾化喷嘴间需要合理安排间距,在交叉喷淋过程中相互弥补径向喷淋密度分布不均匀的不足。而内螺纹喷嘴虽然径向喷淋密度分布较为均匀,但由于雾化角较小,喷嘴间的间距设计需要更近一些。

表 3 不同工况下两个喷嘴的条件雾化角 α_{250}

HHSJ-90210 型雾化喷嘴		内螺纹雾化喷嘴	
工况	$\alpha_{250}/(^{\circ})$	工况	$\alpha_{250}/(^{\circ})$
YGK1	70.4	LGK1	64.5
YGK2	72.3	LGK2	65.4
YGK3	75.1	LGK3	66.2
YGK4	78.4	LGK4	68.3
YGK5	80.5	LGK5	71.7
YGK6	82.2	LGK6	73.4
YGK7	84.4	LGK7	74.5
YGK8	87.3	LGK8	75.6
YGK9	89.6	LGK9	77.3
YGK10	91.2	LGK10	78.5

从表 3 两个喷嘴的雾化粒径可以看出,对于 HHSJ-90210 异型喷嘴,雾化压力为 0.05~0.5 MPa 时,雾化液滴的 SMD 平均粒径范围为 0.831~1.621 μm ; 而内螺纹喷嘴在压力为 0.07~0.52 MPa 时,雾化液滴的 SMD 平均粒径范围为 2.23~3.52 μm 。可见 HHSJ 异型喷嘴的雾化性能较好,适用于常规喷淋塔。而内螺纹喷嘴的雾化能力较差,雾化液滴的粒径较大,且大粒径液滴的比例较大,适合于高烟气流速下的强化喷淋塔脱硫装置。从表 3 可见,两个喷嘴的条件雾化角大小不同, HHSJ 异型喷嘴的条件雾化角较大; 两个雾化喷嘴的条件雾化角均随着工质压力增加而增大,内螺纹喷嘴的条件雾化角随压力变化较小。

3 结 论

通过利用喷嘴雾化特性测试系统对 HHSJ-90210 异型喷嘴和内螺纹雾化喷嘴进行了雾化特性的试验研究,得到如下结论:

(1) 在雾化压力为 0.05~0.5 MPa 时, HHSJ-90210 异型喷嘴雾化液滴的 SMD 平均粒径范围为 0.831~1.621 μm 。在压力为 0.07~0.52 MPa 时,内螺纹雾化液滴的 SMD 平均粒径范围为 2.23~3.52 μm 。HHSJ 异型喷嘴适合于常规喷淋塔;内螺纹喷嘴适合于高烟气流速下的强化喷淋塔脱硫装置。

(2) HHSJ 异型喷嘴径向喷淋密度分布的对称性较好,喷淋密度沿半径方向具有两个峰值,其中外延峰为一个明显的流量最高峰。内螺纹雾化喷嘴的径向喷淋密度分布较为集中,且分布较为均匀,为典型的实心锥雾化喷嘴喷淋分布,虽然在中心呈现一个峰值,但峰值流量所占比例较小。

(3) 两个雾化喷嘴的条件雾化角均随着工质压力增加而增大, HHSJ 异型喷嘴的条件雾化角随压力变化较大,变化范围为 70.4 $^{\circ}$ ~91.2 $^{\circ}$; 而内螺纹雾化喷嘴的条件雾化角随压力变化较小,范围在 64.5 $^{\circ}$ ~78.5 $^{\circ}$ 。

参考文献:

- [1] 王小明,薛建明,颜 俭.国内外烟气脱硫技术的发展与现状[J].电力环境保护,2000,16(1):31-34.
- [2] 颜 俭,惠润堂,杨爱勇.湿法烟气脱硫系统的吸收塔设备[J].电力环境保护,2006,22(5):13-17.
- [3] 李兆东,王世和,王小明.湿法烟气脱硫旋流喷嘴雾化特性研究[J].热能动力工程,2006,21(1):66-69.
- [4] 王喜忠,于才渊,等.喷雾干燥[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [5] ARTHUR H LEFEBURE. Atomization and sprays[M]. New York: Hemisphere Pub. Corp, 1989.
- [6] TAKESHI SAKAI. Mean diameter and drop size distribution of suspension spray[J]. Atomization and Spray Technology, 1985, 1: 147-164.
- [7] 曾庭华,杨 华,廖永进,等.湿法烟气脱硫系统的调试、试验及运行[M].北京:中国电力出版社,2008.
- [8] KLINGSPOR J S, BRESOWAR G E. Advanced limestone based wet flue gas desulfurization[J]. ABB review, 1995, 8(1): 23-27.
- [9] 李仁刚,管一明,孙祥志,等.高流速强化湿式石灰石烟气脱硫工艺的实验室研究[J].电力环境保护,2001,17(2):14-17.
- [10] Redlake/MASD Inc. Instruction for operation of the motion scope PCI high speed digital imaging R]. California: Redlake/MASD Inc., 2002.
- [11] 毛靖汝,姚秀平,孔琼香.用高速摄影技术进行液体雾化机理的研究//多相流检测技术进展[C].北京:石油工业出版社,1996:306-310.
- [12] 宋永臣,高希彦,颜富纯,等.一种新的喷雾场测试技术[J].大连理工大学学报,1995,35(3):372-375.

(本文责任编辑 陈 滨)

operating conditions. The test results show that the plate type of loop heat pipes can successfully start up at a heat flux density ranging from 1 W/cm^2 to 10 W/cm^2 and have a good capacity to accommodate themselves to a change in the heat load. During a transition from one operating condition to another, the system can usually come to a new balance state within 3 minutes. Under the condition of the heat load of 18 W to 48 W , a phenomenon of temperature fluctuations with unequal wave amplitudes and cycles will emerge in the system. The heat resistance of the experimental system is between 0.29 and $3.2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. The heat resistance is related to heat load, system inclination angle and filling amount of the working medium. Special emphasis of the present study was put on an analysis of the influence of the above-mentioned inclination angle and filling amount on the startup of the system and its off-design operations. Key words: loop heat pipe, plate type evaporator, thermal control, heat flux density, heat resistance, experimental study

压力式喷嘴雾化性能的试验研究 = Experimental Study of the Atomization Performance of a Pressure Type Nozzle [刊, 汉] / FANG Li-jun, LIBin (College of Energy Source and Power Engineering, North China University of Electric Power, Baoding, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(2), —202~205

By utilizing a single-phase nozzle atomization testing system, an experimental study was conducted of the atomization performance of a pressure type nozzle. In conjunction with a computer-based image processing technology, a high-speed dynamic video camera and sector-shaped measuring flasks in a row were used to measure the liquid droplet diameter distribution, radial sprinkling density distribution and atomization angle, etc. with relevant data processing being performed. As a result, the relationship between the nozzle atomization pressure and the atomized liquid droplet diameter, radial sprinkling density distribution on the one hand and the atomization angle on the other was obtained. For HHSJ90210 special type atomization nozzles, when the pressure changes from 0.05 MPa to 0.5 MPa , Sauter mean diameter (SMD) of the atomized liquid droplets will be in a range from 0.831 to 1.621 mm and the conditional atomization angle will be between 70.4 degrees to 91.2 degrees. For the inner threaded nozzles, when the pressure ranges from 0.07 MPa to 0.52 MPa , SMD of the atomized liquid droplets will be in a range from 2.23 to 3.52 mm , and the conditional atomization angle, between 64.5 degrees to 78.5 degrees. The research results can offer a scientific basis for the type selection of the pressure type nozzles in wet method flue gas desulfurization technologies. Key words: pressure type nozzle, atomization performance, liquid droplet diameter, radial sprinkling density, atomization angle, experimental study

旋风分离器自然旋风长的实验研究 = Experimental Study of the Natural Cyclone Length of a Cyclone Separator [刊, 汉] / WEI Yao-dong, ZHANG Jing, SONG Jian-fei, WANG Tian (Key Laboratory on Heavy Oils, China State Petroleum University (Beijing), Beijing, China, Post Code: 102249) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power — 2010, 25(2), —206~210

By using a Laser Doppler Velocimetry (LDV) system, measured was the gas-phase flow field in a $\phi 300 \text{ mm}$ cyclone separator, of which the riser diameter is 100 , 135 and 180 mm respectively. Mainly, the natural cyclone lengths of the separator were analyzed. The measurement results show that the swirling flow inside the cyclone separator assumes conspicuous attenuation characteristics. Downwards along the axial direction from riser outlet, the tangential and axial speed will gradually diminish. For the riser with a diameter of 100 mm , the maximal tangential speed will begin to attenuate starting from 2.55 V . Moreover, the location of the maximal tangential speed in the radial direction will progressively shift to the wall surface beginning from 0.28 R . The internal rigid vortex will gradually expand and the external quasi-free vortex becomes smaller. Finally, the maximal tangential speed point