

进水温度对汽液两相流激波升压特性影响的实验研究

刘继平, 严俊杰, 陈国慧, 邢泰安

(西安交通大学 动力系统所, 陕西 西安 710049)

摘要: 采用实验方法研究了进水温度对汽液两相流激波升压特性的影响。实验采用供热机组的工业抽汽, 由蒸汽喷嘴、混合腔及相应的阀门和管道组成汽液两相流激波升压装置。实验发现存在一个临界进水温度, 当进水温度大于该临界值后, 汽液两相流激波升压装置的升压特性将严重下降。

关键词: 汽液两相流; 激波; 喷射装置

中图分类号: O359⁺.1 文献标识码: A

1 前言

汽液两相流激波升压是利用高压蒸汽形成高速汽流, 与低压过冷水混合形成超音速汽水混合物并产生激波, 实现压力突变, 从而使激波后的水的压力升高。该装置在升压的同时可以对过冷水进行加热, 与传统的水泵、换热器方案相比, 具有体积小、启动快、安全、可靠和高效节能等特点, 在电力、化工、制冷等领域具有广泛的用途, 近年来逐渐成为各国学者研究的热点^[1~3]。从能量转换的角度而言, 该装置利用高压蒸汽作为高温热源, 低压过冷水作为低温热源, 在高温热源向低温热源放热的过程中产生机械能, 使出口水的压力提高。由热力学第二定律可知, 在热量相同的情况下, 低温热源温度越高, 产生的机械能就越少。因此, 在同样的进汽压力及进水量下, 改变进水温度将影响到汽液两相流激波升压装置的运行特性。文献[2]用简化模型发现, 在同样的进汽压力下, 进水温度升高, 升压效果下降, 但没有通过实验进行验证。本文将采用实验方法, 研究不同蒸汽压力、进水流量下, 改变进水温度对汽液两相流激波升压过程特性的影响, 为汽液两相流激波升压装置的研究、设计以及工业应用打下基础。

根据汽液两相流激波升压装置的结构特征可分为环周进汽及中心进汽两种类型, 而中心进汽结构的升压效果较好^[1], 本文只讨论中心进汽、环周进水结构。汽液两相流激波升压过程的实验研究需要消

耗大量水和蒸汽, 本文实验采用了供热机组的消防水及工业抽汽作为实验台水源及蒸汽源。

2 实验方法及数据处理

汽液两相流激波升压实验装置系统如图 1 所示。该系统蒸汽采用工业抽汽, 低压冷水采用消防水。蒸汽和水经升压装置后进入高位水箱; 另有一低位水箱通过热水阀与高位水箱连接。在实验过程中可通过开启热水阀将高位水箱中的热水放入低位水箱, 通过热水泵将热水送至进水阀前, 从而改变升压装置的进水温度。为保证低位水箱中水温均匀, 在低位水箱放满热水后, 关闭蒸汽阀、背压阀、热水阀, 开启热水泵、进水阀及循环阀, 在低位水箱中形成循环使水温趋于均匀。低位水箱应有足够容量以保证至少一个实验工况的需水量。本实验台水箱容量为 6 m³, 放满热水后可进行 20 min 实验。

实验台测试段由三通阀、蒸汽喷嘴及混合室组成。实验台的测量系统包括五个压力测点、三个温度测点及两个流量测点。蒸汽流量、进水流量及测试段后的压损的调节对实验的成功非常重要。因此上述蒸汽阀、进水阀及背压阀都采用调节阀。测试段结构及尺寸对升压装置的运行特性有很大的影响。本文实验采用图 1(B)所示的测试段, 其蒸汽喷嘴与混合段都通过与三通阀间的配合来实现定位, 可以保证其相对位置精度。采用这种结构后测试段的安装、拆卸都很方便, 还可降低加工成本。蒸汽喷嘴、混合段的主要尺寸如表 1 所示。

表 1 汽液两相流激波升压实验装置主要尺寸

	名 称	数值
1	蒸汽喷嘴喉部直径/mm	24
2	蒸汽喷嘴出口直径/mm	34
3	混合段喉部直径/mm	15
4	混合段长度/mm	650

实验过程中根据要求先开启汽液两相流激波升压装置向低位水箱中放满一定温度的热水并使其温度均匀, 开启热水泵, 全开背压阀并逐渐开启进水阀使进水流量达到实验要求值, 随后开启蒸汽阀使喷嘴前的压力达到实验值, 待出口水温达到稳定后缓慢关闭背压阀, 此时可以观察到出口水压力逐渐上升, 记录其最大压力工况下及各流量、温度、压力的测量值。

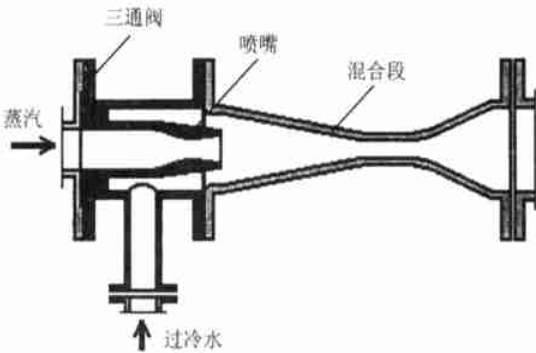
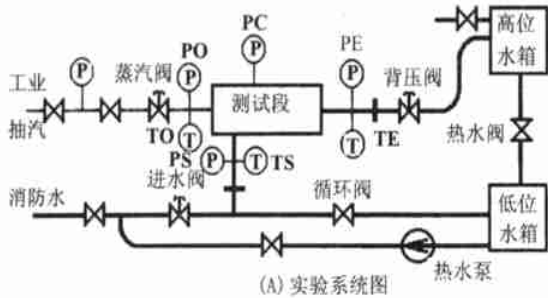


图 1 汽液两相流激波升压实验装置图

由于工业抽汽压力和温度高, 直接测量其流量比较昂贵, 本文实验中采用间接方法确定其流量。由实验台结构可知, 有以下三种方法确定蒸汽流量。

2.1 利用蒸汽喷嘴的临界关系确定

蒸汽喷嘴为拉瓦尔形, 其实际运行压比低于临界压比, 因此其喉部处于临界状态, 其流量计算公式为:

$$D = 3.6 \times 0.638 \times \frac{\pi d^2}{4} \mu \sqrt{p_0 \rho_0} \quad (1)$$

其中:

D ——蒸汽流量, t/h ;

d ——蒸汽喷嘴喉部直径, 0.024 m ;

p_0 ——进入喷嘴的蒸汽绝对压力, Pa ;

ρ_0 ——进入喷嘴的蒸汽密度, kg/m^3 ;

μ ——流量系数, 取 0.95 。

由于进入喷嘴的工业抽汽为过热蒸汽, 在测量得到其压力及温度后就可通过查取水蒸气热力特性得到其密度。

2.2 利用质量守恒方法确定

由于升压装置均有进出口水量测量装置, 由质量守恒有:

$$D = G_1 - G$$

其中:

G ——进口水流量, t/h ;

G_1 ——出口水流量, t/h

2.3 利用能量守恒方法确定

根据能量守恒, 进出口水量之间满足:

$$D \cdot h_0 + C_p \cdot G \cdot t_s = C_p G_1 t_e \quad (2)$$

其中:

h_0 ——进入喷嘴的蒸汽焓值, kJ/kg ;

t_s ——升压装置的进口水温, $^{\circ}\text{C}$;

t_e ——升压装置的出口水温, $^{\circ}\text{C}$;

C_p ——水的定压比热, $4.1868 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$

在知道蒸汽焓值、升压装置的进出口水温及水流量后就可由上述公式计算得到蒸汽流量。但是在实验中发现由于升压过程中会出现振动, 导致进出口水流量的测量很不准确。因此本实验中采用方法 1 得到蒸汽流量, 并用方法 2 和 3 的公式计算得到其进出口水流量, 而进出口水流量的测量值只作为实验过程中的参考。

求出蒸汽及进水流量后, 可按下述公式计算水与蒸汽的流量比(引射率):

$$\Omega = G/D \quad (3)$$

实验过程中温度及压力测量的误差均在 1% 之内, 蒸汽过热度都在 20°C 以上, 由此求出实验蒸汽流量误差为 2% , 水流量误差为 5% , 引射率误差为 7% 。

3 实验结果及讨论

图 2 和图 3 分别给出了进汽压力为 0.2 MPa 时不同进水温度下汽液两相流激波升压装置的升压特性。其中进水温度为 19°C 的工况采用了工业消防水, 其它温度工况采用水箱中储存的热水。由图 2、图 3 看出, 在本文实验工况范围内, 不同进水温度及进汽压力下, 汽液两相流激波升压装置的出口压力都随着引射率的增加而增加; 当进水温度增加时, 出

口压力随之下降,汽液两相流激波升压装置的升压效果将会变差,这与文献[2]的理论计算结果相符。

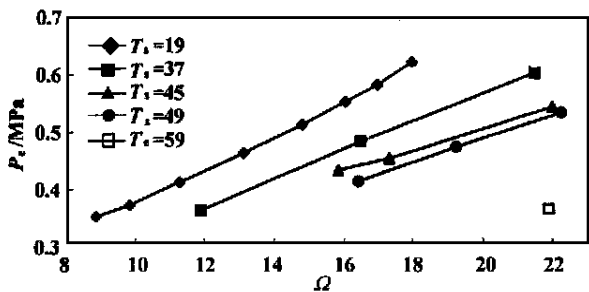


图2 进汽压力为 0.2 MPa 时不同进水温度下的升压特性

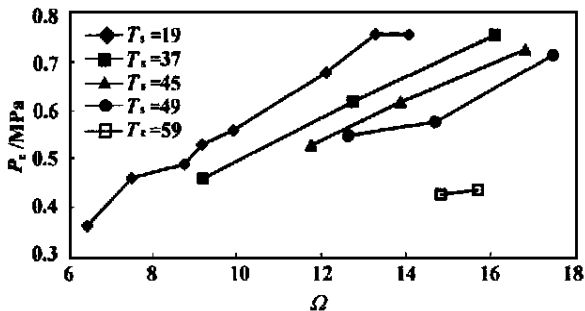


图3 进汽压力为 0.3 MPa 时不同进水温度下的升压特性

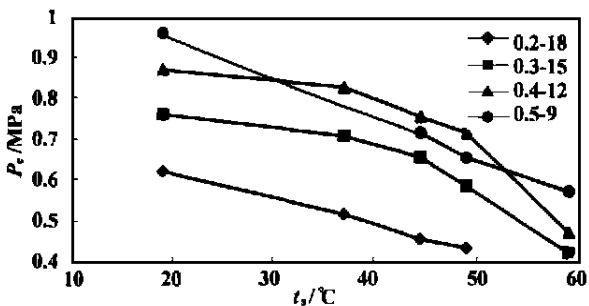


图4 升压特性随进水温度变化的升压特性

图4给出了进汽压力及引射率分别为0.2和18、0.3和15、0.4和12以及0.5和9时升压特性随进水温度的变化特性。由于实验中很难控制其引射率,图中的数据是采用线性插值法得到的。由该图

可知,当进水温度升高时,汽液两相流激波升压装置的升压效果也随之下降,但存在一个临界特性:对于进汽压力及引射率分别为0.3和15、0.4和12的两组工况,进水温度由19℃升高到37℃,其出口压力变化不大;当进水温度由49℃升高至59℃时,其出口压力急剧下降。而当进汽压力及引射率分别为0.2和18,进水温度达到59℃时,汽液两相流激波升压装置不能稳定运行,振动及噪音很大。

当进汽压力及引射率分别为0.5和9时,在实验的温度范围内出口压力基本上是进水温度的线性关系。由此可知进水温度对汽液两相流激波升压装置的升压特性的影响很复杂,与进汽压力、引射率等因素都有关系。

4 结论

本文采用实验方法研究了进水温度变化汽液两相流激波升压装置的特性的影响。实验结果表明,当进水温度升高时,汽液两相流激波升压装置的升压效果随之下降。存在一个临界进水温度,当进水温度超过该临界值后,汽液两相流激波升压装置的升压特性将严重恶化。这一结论对汽液两相流激波升压装置的进一步研究及工业应用具有重要的指导意义。

参考文献:

[1] CATTADORI G, GALBIATI L, MAZZOCCHI L, et al. A single-stage high pressure steam injector for next generation reactors: test results and analysis[J]. *Int J of Multiphase Flow*, 1995, 21(4): 591-606.

[2] DEBERNE N, LEONE J F, DUQUE A, et al. A model for calculation of steam injector performance[J]. *Int J of Multiphase Flow*, 1999, 25(5): 841-855.

[3] NARABAYASHI T, MIZUMACHI W, MORI M. Study on two-phase flow dynamics in steam injectors[J]. *Nuclear Engineering and Design*, 1997, 175(1-2): 147-156.

(何静芳 编辑)

欢迎订阅 2002 年《热力发电》杂志

请到全国各地邮局订阅,邮发代号 52-103,年订价 48 元(双月刊)。若漏订,也可直接与《热力发电》杂志社联系补订。

单位地址:西安兴庆路 80 号

邮政编码:710032

电话:029-3236151-2475

传真:029-3238818

高风温无焰燃烧及其火焰特性的实验研究= Experimental Study of High-temperature Air and Flameless Combustion and Its Flame Characteristics [刊, 汉] / AI Yuan-fang, JIANG Shao-jian, ZHOU Jie-min, et al (Applied Physics and Thermal Energy Engineering Department, Zhongnan Industrial University, Changsha, China, Post Code: 410083), WANG Yang-yang (Zhuzhou Industrial Furnace Manufacturing Co., Zhuzhou, Hunan Province, China, Post Code: 412005) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6). — 615 ~ 617

An experimental study was conducted of the high-temperature and low-oxygen air burning of propane and its flame characteristics along with a discussion of its possible industrial applications. The results of the study indicate that when burning at a combustion-assisting air temperature in excess of 800 °C and oxygen-containing volume concentration lower than 15% the flame volume was markedly enlarged. Meanwhile, the flame boundary was found to be unstable with the flame luminosity being weakened and its color significantly changed. The lower the oxygen concentration, the higher will be the temperature of the combustion-assisting air, which is needed for achieving a stable combustion. The key to the industrial application of this new combustion process consists in the use of a highly effective regenerator to absorb the latent heat of gases with the same temperature as that of the furnace, thereby producing the high-temperature air. In the meanwhile, low oxygen-concentration airflow is also being created in the furnace. **Key words:** high-temperature air combustion, flame characteristics, experimental study

钙基脱硫剂孔隙分形特性的实验研究= Experimental Investigation on Fractal Properties of Pore Structure in Calcium-based Sorbents [刊, 汉] / MIAO Ming-feng, SHEN Xiang-lin (Education Ministry Key Lab of Clean Coal-based Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—618 ~ 621

Fractal dimension, as an important parameter describing a fractal structure, reflects the regularity degree of a structure. By way of experiments investigated is the effect on pore structure fractal dimension of calcium-based sorbents under calcination conditions of various temperatures, atmospheres and sintering durations as well as the effect of fractal properties on the sulfating ability of the sorbents. The test results show that calcination temperature has a relatively small influence on CaO pore structure. The fractal dimension of the CaO pore will decrease with the increase in CO₂ concentration in the calcination atmosphere and also decrease with the prolongation of the sintering time. The quantity of inaccessible pores formed during the process of sorbent sulfation will increase with an increase in the fractal dimension. **Key words:** calcium-based sorbent, fractal dimension, pore structure

进水温度对汽液两相流激波升压特性影响的实验研究= Experimental Study of the Influence of Inlet Water Temperature on the Shock Wave Pressure-rise Characteristics of Steam-water Two-phase Flows [刊, 汉] / LIU Ji-ping, YAN Jun-jie, CHEN Guo-hui, et al (Energy and Power Engineering Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(6)—622 ~ 624

Through the use of an experimental method the influence of inlet water temperature on the shock wave pressure-rise characteristics of steam-water two-phase flows has been investigated. During the tests steam was extracted from a cogeneration plant to serve as the power source. A shock-wave pressure-rise device of the two-phase flow is composed of a steam nozzle, a mixing chamber and relevant valves and piping. An inlet water critical temperature has been discovered in the course of the tests. If the inlet water temperature is greater than the critical value, the pressure-rise characteristics of the above-cited pressure-rise device will decrease dramatically. **Key words:** steam-water two-phase flow, shock wave, injector unit

130 t/h 煤粉锅炉风—粉在线监测系统的应用和研究= The Research and Application of an air/pulverized Coal On-line Monitoring System for a 130 t/h Pulverized Coal-fired Boiler [刊, 汉] / WANG Qiang, ZHOU Nai-jun