

Laval 喷管内湿蒸汽凝结流动的三维数值模拟

苏民德, 俞接成, 卫德强

(北京石油化工学院 机械工程学院, 北京 102617)

摘要: 基于 Fluent 软件的 Wet-steam 模型对低压下 Laval 喷管内伴随自发凝结的湿蒸汽的跨音速流动过程进行了三维多工况数值模拟, 分析了入口处不同温度及压力变化对流动过程中自发凝结、液滴生成、凝结冲波等热力学现象及流场液相参数的影响。研究表明: 入口处的过热度越大, 水滴成核率及水滴数量越大, 而水滴生长率及水滴平均半径却随着入口过热度的增大而减小; 同时, 在喉部出现凝结后, 出口汽流存在非定常流动, 呈现出有规律的脉动现象。因此, 汽轮机在运行时, 可以通过降低入口处湿蒸汽的过热度来减低液滴的析出数量及出口末端液滴的平均直径, 选取适当的进口条件可以避免在凝结区形成气动激波, 这样不仅可以减少流动中能量的损失, 提高工作效率, 而且在一定程度上减缓对末级叶片的破坏。

关键词: 汽轮机; 湿蒸汽; 凝结流动; Laval 喷管

中图分类号: TK263.5 文献标识码: A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.03.023

引言

在汽轮机中湿蒸汽的现象几乎是不可避免的, 它的存在对蒸汽透平所带来的影响主要表现在以下两方面: (1) 汽轮机在运行时湿蒸汽的非平衡凝结流动所产生的液滴会造成能量的损失, 致使汽轮机效率降低^[1]; (2) 所产生的大量液滴在流动过程中会与末级动叶片发生撞击, 对叶片造成水蚀, 严重时甚至导致叶片的断裂, 从而对汽轮机的安全构成威胁^[2]。由此可见, 研究湿蒸汽流动问题对汽轮机安全运行具有重要的意义。

为了减小湿蒸汽所带来的弊端, 从本质上弄清湿蒸汽自发凝结产生的现象及影响至关重要。文献 [3-5] 针对湿蒸汽的凝结流动问题, 先后建立了相应的二维、三维数学模型进行数值模拟与实验验证, 取得了较好的计算结果。文献 [6-7] 采用 Euler/Euler 双流模型, 也对喷管及叶栅中湿蒸汽流动进行了模拟, 这些都为降低汽轮机叶片的水蚀破坏提供

了理论基础。但是在低压工况下, 入口参数对喷管内湿蒸汽水滴凝结、生长的理论研究还不多见。

本研究利用 Fluent 软件中 Wet-steam 模型, 在低压下对 Laval 喷管内的湿蒸汽凝结流动进行了三维多工况数值模拟, 计算时考虑了粘性的影响, 湍流模型选用 S-A 模型, 离散方式为二阶迎风格式。分析了入口处不同温度及压力变化对流动过程中自发凝结、液滴生成、凝结冲波等热力学现象及流场液相参数的影响, 为优化汽轮机运行参数及叶片设计提供参考。

1 湿蒸汽凝结流动模型

1.1 相变模型

在经典成核理论中, 湿蒸汽在非平衡凝结过程中的液滴成核率(Γ) 主要取决于液滴的临界半径, 只有大于临界半径的液滴才会继续长大成核, 而小于临界半径的液滴会逐渐缩小消失。因此, 成核模型中只考虑大于临界半径的液滴, 其成核率:

$$\Gamma = \frac{3}{4} \pi \rho_l I r_*^3 + 4 \pi \rho_l \eta \bar{r}^2 \frac{\partial \bar{r}}{\partial t} \quad (1)$$

式中:

$$r_* = \frac{2\sigma}{\rho_l R T \ln S} \quad (2)$$

$$S = \frac{P}{P_{\text{sat}}(T)} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \bar{r}}{\partial t} = \frac{P}{h_{lv} \rho_l \sqrt{2\pi RT}} \frac{\gamma + 1}{2\gamma} C_p (T_0 - T) \quad (4)$$

式中: I —液滴成核率; $\bar{r}$ —液滴平均半径; r_* —液滴临界半径; $\partial \bar{r} / \partial t$ —水滴半径增长速率; ρ_l —液相在温度 T 下的密度; η —单位体积液滴数, R —气相体积常数; σ —表面张力; T —温度; S —过饱和度;

收稿日期: 2014-06-12; 修订日期: 2014-07-22

基金项目: 北京市属高等学校“长城学者”培养计划资助项目 (CTT&TCD20150317); 北京石油化工学院优秀学科带头人培养计划项目 (BIPT-BPOAL-2013)

作者简介: 苏民德 (1988-), 男, 甘肃金昌人, 北京石油化工学院硕士研究生。

$P_{\text{sat}}(T)$ —温度 T 下的饱和压力; h_{lv} —凝结潜热; γ —气相的容积比热; C_p —恒压摩尔热容; T_0 —液滴的温度。

经典的均匀成核理论描述了液滴的形成,通常液滴是在没有杂质或异物颗粒的情况下从过饱和蒸汽中产生的。在经典的均匀成核理论基础上,对非等温影响进行修正后,得到^[8]:

$$I = \frac{q_c}{1 + \theta} \frac{\rho_v^2}{\rho_l} \sqrt{\frac{2\sigma}{M_m^3 \pi}} e^{-\frac{4\pi r_d^2 \sigma}{3k_b T}} \quad (5)$$

式中: q_c —蒸发系数; K_b —Boltzmann 常数; M_m —分子量; θ —非等温修正系数。

1.2 湿蒸汽控制方程

湿蒸汽在凝结过程中,其蒸汽为主项,凝结液滴为第二项,模型中假设:气液之间存在的速度位差以及液滴之间的相互作用可以忽略;湿度因子 $\beta < 0.2$; 液滴半径在 $0.1 - 100 \mu\text{m}$ 之间,因此液相的体积可以忽略。根据上述假设,湿蒸汽由式(6) - 式(9)组成的封闭方程组进行求解:

$$\rho = \frac{\rho_v}{1 - \beta} \quad (6)$$

$$\frac{\partial W}{\partial Q} \frac{\partial}{\partial t} \int_V Q dV + \oint [F - G] dA = \int_V H dV \quad (7)$$

$$\frac{\partial(\rho\beta)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \beta) = \Gamma \quad (8)$$

$$\frac{\partial(\rho\eta)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \eta) = \rho I \quad (9)$$

式中: ρ —混合相密度; ρ_v —蒸汽密度; β —冷凝液相质量分数; $Q = (P, u, v, w, T)$ —混合量; V —控制体; W —求解变量; F —无粘通量; G —粘性通量; H —源项; V_d —液滴平均体积 $V_d = \frac{4}{3}\pi \bar{r}_d^3$; $\bar{r}_d$ —液滴平均半径; $\eta = \frac{\beta}{(1 - \beta) V_d (\rho_l / \rho_v)}$ 。

1.3 湿蒸汽状态方程

选用在计算流体动力学软件 CFD 中容易实现的 Young 湿蒸汽维里状态方程^[9],其一般形式为:

$$P = \rho_g RT (1 + B\rho_g + C\rho_g^2 + D\rho_g^3 + \dots) \quad (10)$$

式中: B 、 C 、 D 分别为二阶、三阶和四阶维里系数,只取决于温度。

考虑到计算条件和精度的需求,采用三阶的维里状态方程,二阶和三阶维里系数 B 、 C 为:

$$B = \alpha_1 \left(1 + \frac{T_g}{\alpha} \right)^{-1} + \alpha_2 e^{\tau} (1 - e^{-\tau})^{2.5} \tau^{0.5} + \alpha_3 \tau \quad (11)$$

其中, $\tau = T_g / 1500$; $\alpha = 10000$; $\alpha_1 = 0.0015$; $\alpha_2 = -0.000942$; $\alpha_3 = -0.0004882$ 。

$$C = \alpha (\tau - \tau_0) e^{-a\tau} + b \quad (12)$$

其中, $\tau = T_g / 647.286$; $\tau_0 = 0.8978$; $\alpha = 11.6$; $a = 1.722$; $b = 1.5 \times 10^{-6}$ 。

2 FLUENT 计算前处理

2.1 模型的建立及模拟方案

图 1 为 Laval 喷嘴的二维结构示意图。喷管收敛段的作用是使流体在流线不分离的情况下加速到音速,扩张段的作用是使流体在音速下继续加速到超音速,其型面一般取直线型型面^[10]。为了更好的反映喷管内湿蒸汽的凝结流动,采用三维模型,该喷管以湿蒸汽作为介质,喷管的几何尺寸已按湿蒸汽工质计算^[11],收缩段入口由一段半径为 53 mm 的圆弧形成,另一段半径为 686 mm 的圆弧与入口圆弧相切形成亚音速与超音速的流域, L 为喷管喉部位于进口段的距离, $L = 90 \text{ mm}$ 。

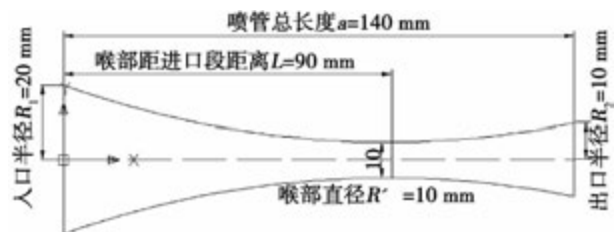


图 1 喷管的二维结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the two-dimensional structure in a nozzle

参考文献[11]实验数据给定方式,将 8 种不同工况分为 3 组,如表 1 所示。其中第 1 组总压约为 40 kPa,总温逐渐增加;第 2 组总压约为 70 kPa,总温逐渐增加;第 3 组总温为 373 K,总压逐渐下降。然后基于 FLUENT 中的 Wet Steam 模型,分别对表 1 中各工况进行模拟计算,研究不同进口温度及压力对喷嘴内湿蒸汽参数的影响。

2.2 数值解的收敛性及网格无关性验证

对于数值模拟计算而言,首先是要得到一个收敛的解,但是目前并没有统一的判断是否收敛标准,一般通过检测介质的动量、速度的残差来判断解的收敛性。对于绝大对数问题,一般这些残差小于 10^{-3} 即可满足计算要求。但对于湿蒸汽的凝结流动

问题,仅靠这些残差来判断往往是不够充分的,因此在数值求解计算时,除了上述指标,还需要通过检测进出口的流量、温度及压力等关键参数在所考查截面内是否发生了变化来判断计算解的收敛性。

数值模拟计算中也应保证计算解的网格无关性,即最终的计算结果不随网格的变化而变化,只取决于给定的边界条件。本研究采取对网格进行自适应调整的方法来保证这一要求,当调整生成的网格后模拟结果几乎不发生变化时,认定解的网格无关性。具体过程:首先对所建立的几何模型依次进行网格加密,网格数分别为 602895、821564 和 1056345,为后续记录方便将上述 3 种网格模型依次记为模型 I、模型 II 和模型 III,(图 2 为模型 II 的网格示意图);然后将上述 3 种网格模型分别在表 1 中 410 工况下对喷嘴内湿蒸汽凝结流动进行三维数值计算,直至满足收敛条件;最终对比不同模型下的计算结果,如果计算所得的收敛解没有明显的变化,则可认为得到的收敛解与网格无关,否则继续对网格依次加密,直到获得与网格无关的收敛解为止。

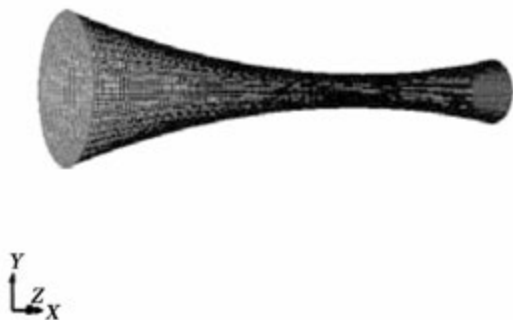


图2 模型 II 的网格示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the grid in the Model II

表1 实验编号及工况

Tab. 1 Experiment number and condition

实验分组	工况编号	进口总压 P_0 /Pa	总温 T_0 /K
1	193	43027	366
	424	41907	376
	411	42280	385
	410	70733	373
2	417	70277	379
	421	66800	385
	428	54707	373
3	434	41360	373

2.3 数值结果与实验结果对比

图 3 为模型 1、模型 2、模型 3 与工况 410 实验值的喷管中心压力曲线图。从图中可以看出,模型 2 和模型 3 的压力数值计算解之间几乎一致,可以认为此时的收敛解与网格无关。同时,为了节省计算的时间,在后续数值计算中都采取模型 2 为计算模型。图 4 给出了表 1 中实验 2 组各工况下喷管中心线压力与文献 [11] 中实验所测得的喷管中心线压力的对比值。从图中可以看出,本研究所采取的 Wet Steam 模型在实验 2 组中都预测到了压力的跳跃,数值计算所获得压力跳跃点比实验值靠前,但是二者差距不大,并且跳跃点后的压力值与试验获得的数值拟和较好,可以确定本研究所采取的计算方法的可靠性。同时,对比 3 种工况下凝结流动的压力曲线可以发现,当入口温度越高,压力越低,蒸汽凝结发生的位置就越靠后,压力的变化也越平缓。

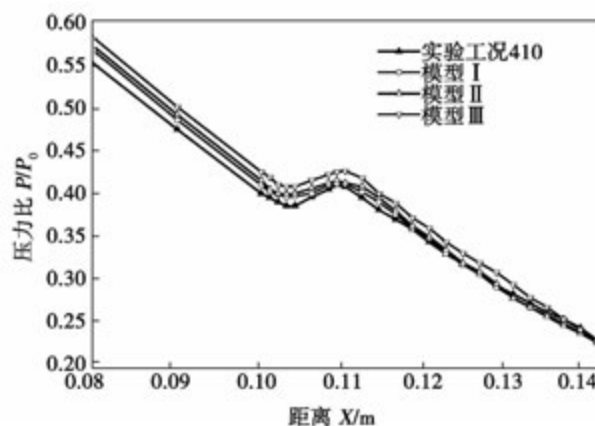


图3 模型 1、模型 2、模型 3 与工况 410 实验值的喷管中心压力曲线图

Fig. 3 Center of pressure diagram of Model 1, 2, 3 and condition 410

3 模拟结果及分析

3.1 喷管内蒸汽非平衡凝结流动过程的分析

以 193 工况为例,具体分析凝结发生时各液相参数的变化情况,图 5 中给出了喷管中心线各液相参数的分布情况。从图中可以看出,起初过热蒸汽随着 Laval 喷管流通面积的逐渐减小,气体膨胀冷凝,温度和压力逐渐减低,过冷度起伏较小,当过冷度上升到约 20 ℃ 时,液滴开始缓慢生长,但是液滴平均半径变化并不显著,这是由于此时液滴还未达

到临界半径,湿蒸汽中还未产生凝结核,液滴不能进一步凝结生长。而当过冷度进一步增大到最大值时,此时蒸汽处于 Wilson 点(热力学不平衡状态极点),蒸汽开始凝结,此时有大量的凝结核急剧凝结产生,液滴成核率在喷管轴向距离 95 – 105 mm 的狭小区域内数量级上升到 $10^{23}/(\text{kg} \cdot \text{s})$,与此同时,液滴生长率也明显上升,促使蒸汽分子在凝结核上大量凝结并生长,进而液滴数量和半径也逐渐增加。但是,随着凝结过程的进行,大量的凝结潜热被释放到周围的蒸汽中,流动逐渐恢复热力平衡状态,此时液滴数目基本保持不变,而蒸汽分子继续在已有的液滴上凝聚,导致液滴半径进一步增大,在喷管出口处达到 $1.5 \mu\text{m}$ 。

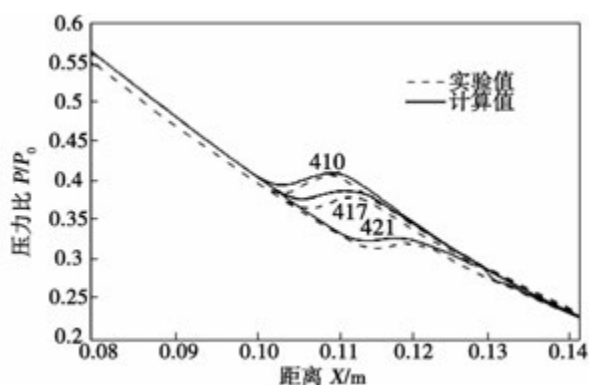


图4 喷管中心线压力计算值与实验值^[11]比较

Fig.4 Comparison between calculated and experimented values^[11] of the center line pressure of

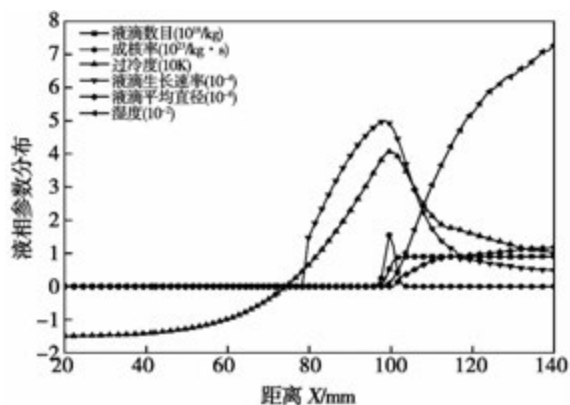


图5 193 工况喷嘴轴向各液相参数分布曲线

Fig.5 Working condition 193 of nozzle axial liquid parameters distribution curve

图6 为喷管轴向截面主要参数的分布云图。

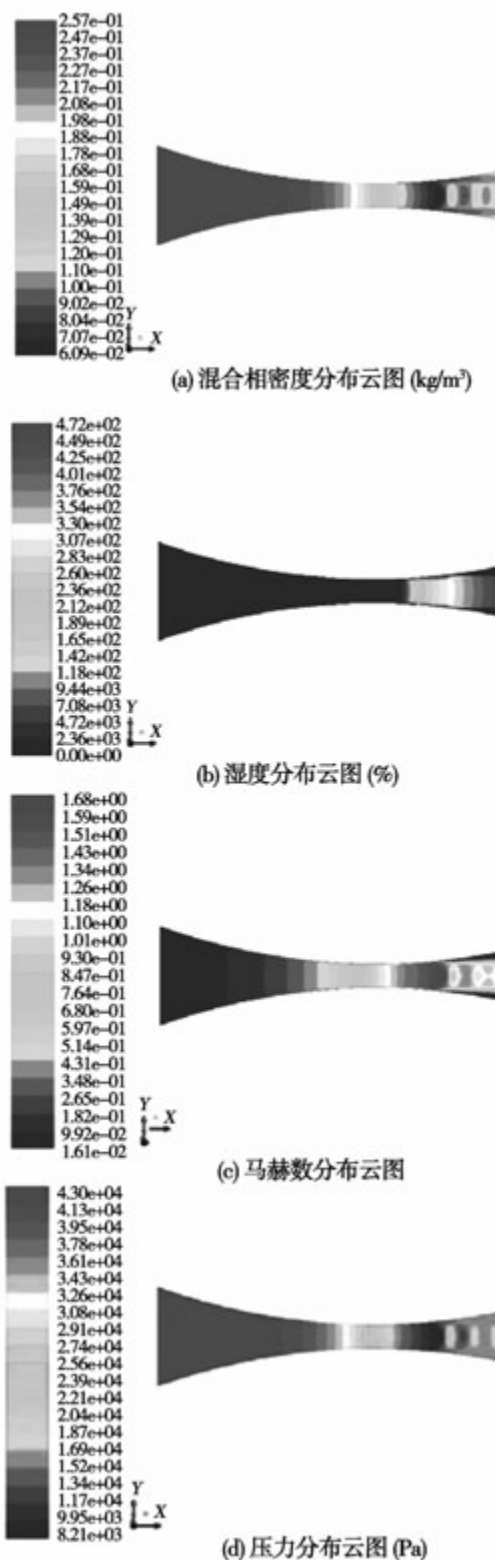


图6 喷管轴向截面主要参数的分布云图

Fig.6 Nozzle axial cross section distribution of the main parameters of the cloud

可以看出,在喉部位置偏后,密度和马赫数突然出现跳跃的情况。其中混合相密度急速下降,这是由于水蒸气的凝结成核及液滴成长放热,水蒸气迅速凝结析出,导致混合相密度骤降,气体湿度反而突升;在 Wilson 点,压力、温度有一个突然上升,接下去仍是下降,这是由于凝结而释放出的汽化潜热对超音速气流进行加热,致使压力在大量凝结核突然形成后发生瞬间跳跃,文献 [6] 把这种现象叫做“凝结冲击波”,由于这种现象的出现导致了马赫数的突然跳跃。此外,从图 6(d) 压力分布图可以看出,在喷管喉部出现凝结

后产生了非定常流动现象,即出口压力等气流参数在平均值上下呈周期性变化,变化幅度大约为 3.5%。这种非定常流动现象一般发生在进口流动参数接近饱和和线时^[12],在喷管的流动过程中,一定的进口条件下凝结区内会形成气动激波,有时激波会变得不稳定并且向喉部延伸,由于激波的作用,波后的气流温度及压力升高,从而导致了过冷度及成核率降低,对应的凝结潜热也减少,致使破坏了激波形成的条件,于是激波消失,过冷度进一步降低,成核率重新上升,流动又开始重复上述模式^[13]。

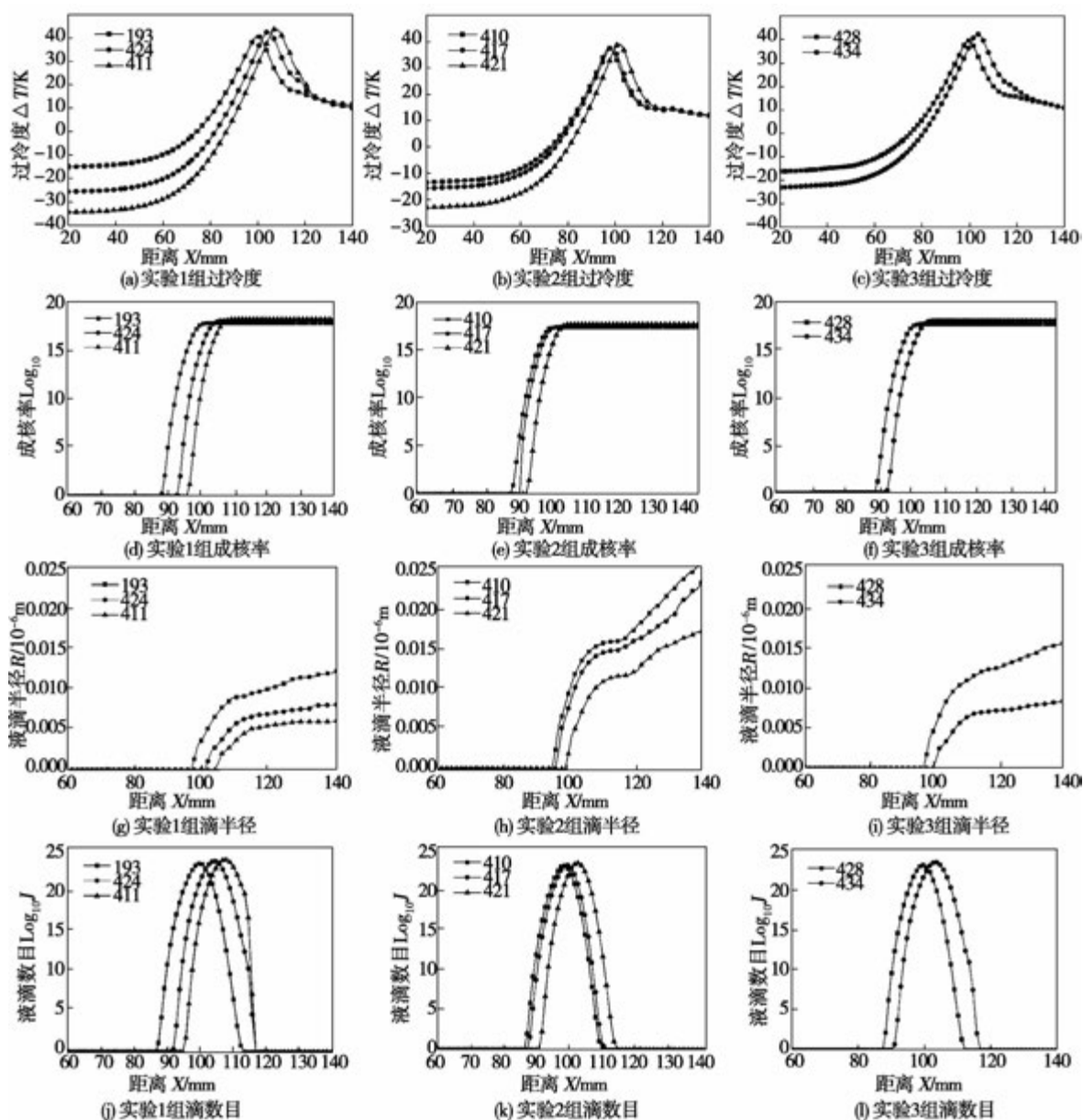


图7 喷管轴向液相参数的分布

Fig.7 The distribution of axial liquid nozzle parameters

综合而言,喷管内湿蒸汽的凝结流动是由于蒸汽膨胀导致过冷度增加,当过冷度到达最大值时大量

凝结核迅速形成,液滴的平均半径陡然增大,进而湿度开始增大,随着蒸汽的继续流动而逐渐恢复热力学平衡状态,此时过冷度开始逐渐降低,而液滴数目维持不变,蒸汽分子在已析出的水滴上继续凝聚生长,促使水滴平均半径进一步增大,湿度也随之增加。

3.2 多工况下喷嘴中蒸汽凝结流动的对比分析

对表 1 中给出的 3 组工况进行模拟研究,进一步分析喷管内蒸汽凝结流动的情况。图 7 依次列出了多种工况下喷嘴轴向的液相参数分布。

对比图 7 中实验 1 组和实验 2 组的液相分布参数发现,在维持进口总压不变的情况下,逐次增加进口温度,喷管内湿蒸汽发生凝结的位置会向后推移;从实验 3 组液相参数分布来看,在维持进口温度不变的情况下,逐渐增加进口总压,喷管内湿蒸汽发生凝结的位置也会向后推移。因此,结合实验 1 组、2 组、3 组过冷度的分布情况来看,上述现象可以概括为: Laval 喷管进口处的过热度越大,喷管中蒸汽发生凝结的位置就越向后推移。

从喷管轴向成核率和液滴数目分布来看,喷管中蒸汽自发凝结的位置越靠后反而成核率越大,在 Wilson 点之后,管内蒸汽逐渐恢复热力学平衡状态,此时湿蒸汽流动中液滴的数目也越多,这两者的变化规律是一脉相承的。然而自发凝结如越靠后,则喷管内凝结液滴的平均半径反而较小,与此同时湿度也会较小。但是从整体来看,入口处的过热度越大,水滴成核率及水滴数量的峰值越大,而水滴生长率及水滴平均半径却随着入口过热度的增大而减小。

4 结 论

(1) 所采用的 Wet - steam 模型能够准确预测喷管内非平衡凝结流动的相变位置,具有较高的可靠性。

(2) 喷管中湿蒸汽凝结成核生长的区域非常狭窄,且相变一般发生在喷管喉部位置稍后;同时,湿蒸汽在管内凝结流动中,水蒸气可以完全凝结析出。

(3) 液滴生长是导致喷管内局部压力突升的主要原因,且液滴凝结位置越靠后,凝结引起的压力突升越小,成核率、最大过冷度及单位体积液滴数目越大。

(4) 汽轮机在运行时,可以通过降低入口处湿蒸汽的过热度来减低液滴的析出数量及出口末端液滴的平均直径,同时选取适当的进口条件避免在凝

结区形成气动激波,这样不仅可以减少流动中能量的损失,提高工作效率,而且在一定程度上也减缓对末级叶片的破坏。

参考文献:

- [1] Moore M J, Sieverding C H. Two-Phase Steam Flow in Turbines and Separators [M]. Hemisphere Publishing Corporation, 1976.
- [2] Moore M J, Sieverding C H. Aerothermodynamics of Low Pressure Steam Turbines and Condensers [M]. Hemisphere Publishing Corporation, 1986.
- [3] BAKHTAR F. A study of nucleating flow of steam in a cascade of supersonic blading by the time-marching method [J]. Int J Heat Fluid Flow, 1992, 12(1): 54 - 62.
- [4] Young J B. Two-dimensional, non-equilibrium, wet-steam calculation for nozzles and turbines cascade [J]. Journal of Turbo-Machinery, 1992, 114(3): 567 - 579.
- [5] WHITE A J, YOUNG J B. Time-marching method for the prediction of two-dimensional unsteady flows of condensing steam [J]. Journal Propulsion and Power, 1993, 9(4): 579 - 587.
- [6] 李 亮. 存在自发凝结的湿蒸汽两相非平衡凝结流动的数值研究 [D]. 西安, 西安交通大学, 2002: 7 - 12.
- LI Liang. The presence of spontaneous condensation of wet-steam two-phase no numerical study on flow condensation balance [D]. Xi'an, XI'AN JIAOTONG University, 2002: 7 - 12.
- [7] 吴晓明, 李 亮, 李国军, 等. 基于双流体模型的湿蒸汽凝结流动三维数值模拟 [J]. 热能动力工程, 2007, 22(4): 262 - 264.
- WU Xiao-ming, LI Liang, LI Guo-jun. Based on two-fluid model of wet steam condensing flows 3 - d numerical simulation [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2007, 22(4): 262 - 264.
- [8] Lamanna G. On Nucleation and Droplet Growth in Condensing Nozzle Flows [D]. Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2000.
- [9] Young J B. An equation of state for steam for turbo machinery and other flow calculations [J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 1988, 110: 1 - 7.
- [10] 李国文, 徐让书. 风洞收缩段曲线气动性能研究 [J]. 实验流体力学, 2009, 23(4): 73 - 76.
- LI Guo-wen, XU Rang-shu. The aerodynamic performance of wind tunnel contraction curve [J]. The experiment of fluid mechanics, 2009, 23(4): 73 - 76.
- [11] Moses C A, Stein G D. On the growth of steam droplets formed in a laval nozzle using both static pressure and light scattering measurements [J]. Journal of Fluids Engineering, September 1978, 100: 311 - 321.
- [12] Guha A. Computation, Analysis and Theory of Two-Phase Flows [J]. The Aeronautical Journal, 1998: 71 - 82.
- [13] 丰镇平, 李 亮, 李国君. 汽轮机湿蒸汽两相凝结流动数值研究的现状与进展 [J]. 上海汽轮机, 2002, 851(2002): 1 - 10.
- FENG Zheng-ping, LI Liang, LI Guo-jun. Steam turbine wet-steam two-phase condensing flow numerical research status and progress [J]. Shanghai steam turbine, 2002, 851(2002): 1 - 10.

(丛 敏 编辑)

of China where is rich in coal but in a lack of water. Direct-air-cooled units will have a relatively high back pressure when operating in summer, seriously influencing the safe and economic operation of units and urgently needing to conduct a study and solve this problem. The authors conducted a theoretical analysis of the sprinkling effectiveness of a vacuum system in summer under off-design operating conditions and performed a verification of the model adopted through a sprinkling operation of the unit. In this process, the variation regularity of the back pressure under various sprinkling operating conditions was obtained and the maximum evaporation amount of water sprinkled was found out. When the amount of water sprinkled exceeds the maximum evaporation amount of water sprinkled, changes in the back pressure of the unit are relatively small. Under the condition that the amount of water sprinkled is constant, the back pressure decline effectiveness of the unit operating at a high load and a high temperature is more conspicuous than that at a low load and a low temperature. Therefore, to start up the sprinkling system when the unit is operating at a high load and a high temperature is relatively economic. The foregoing can offer theoretical guide for safe and economic operation of direct-air-cooled units in a high temperature atmosphere in summer. **Key Words:** direct-air-cooled, back pressure for operation, sprinkling in summer, amount of water sprinkled, performance analysis

Laval 喷管内湿蒸汽凝结流动的三维数值模拟 = **Three-dimensional Numerical Simulation of the Wet Steam Condensation Flow Inside a Laval Nozzle** [刊, 汉] SU Min-de, YU Jie-cheng, WEI De-qiang (College of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Petrochemical Technology, Beijing, China, Post Code: 102617) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(3). - 400 - 405

Based on the Wet-steam model in the software Fluent, a three-dimensional multi-operating-condition numerical simulation was performed of a transonic wet steam flow process accompanied with spontaneous condensation at a low pressure in a Laval nozzle and the influence of various temperatures and pressures at the inlet on such thermodynamic phenomena as spontaneous condensation, liquid droplet formation and condensation shock waves etc. and the liquid-phase parameters in the flow field was analyzed. It has been found that the higher the superheating degree at the inlet, the higher and greater the nucleation rate and the number of water droplets, however, the growth rate and average radius of water droplets will decrease with an increase of the superheating degree at the inlet. In the meantime, after the condensation emerges in the throat, there will exist an unsteady steam flow at the outlet, leading to a regular pulsation phenomenon. Hence, when a steam turbine is being in operation, one can decrease the number of water droplets precipitated and the average diameter of liquid droplets at the tail end of the outlet by lowering the

superheating degree of the wet steam at the inlet and in the meantime, to choose proper inlet conditions can avoid the formation of aerodynamic shock waves in the condensation zone. Doing so can not only decrease the energy loss in the flow and enhance the work-doing efficiency but also lessen and postpone the destruction of blades in the last stage to a certain extent. **Key Words:** steam turbine, wet steam, condensation flow, Laval nozzle

气流床气化炉高(灰)熔点煤气化反应模拟 = **Simulation of the High Ash Melting Point Coal Gasification Reaction in a Gas Flow Bed Gasifier** [刊, 汉] LOU Tong, ZHANG Zhong-xiao, ZHOU Zhi-hao (College of Environment and Architecture, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(3) . - 406 - 411

To depict the kinetic behavior of the coal gasification at a high temperature of domestically-originated coal with a high melting point, with the influence of the high temperature on the coal gasification process being taken into consideration and based on the corrected random pore model, established was a simplified model for gas flow gasifiers and predicted was the relationship among the syngas components at the outlet, carbon conversion rate, residence time, particle diameter and gasification temperature. It has been found that when the residence time has exceeded 1.5 seconds, the syngas components at the outlet will immediately tend to be stable. The water gas conversion reaction will determine the syngas components at the outlet. The carbon conversion rate will increase with an increase of the temperature. When the particle diameter of the pulverized coal has been less than 100 μm , the influence on the gasification reaction speed will be not conspicuous. **Key Words:** coal gasification, kinetic model, simulation, coal with a high melting point, gasification in a gas flow bed

基于智能 PID 控制的燃气锅炉燃烧控制系统研究 = **Study of an Intelligent PID (Proportional, Integral and Differential) Control-based Combustion Control System for Gas-fired Boilers** [刊, 汉] GU Yang-yang, LI Lai-chun, ZHANG Shao-Juan (CSIC No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150078) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(3) . - 412 - 416

With a gas-fired boiler combustion system serving as the object of study, the intelligent PID control algorithm was used to improve its control system. The fuzzy self-adaptive theory was used in combination with the BP neural network theory, genetic algorithm theory and PID control theory to design the control system. By using the software Matlab, a simulation and verification were performed respectively and a contrast with the simulation curves obtained