

水蒸气喷射泵数值模拟研究进展

张军强, 廖国进

(辽宁工业大学 机械工程与自动化学院 辽宁 锦州 121001)

摘 要: 从热力学模型和动力学模型两方面对水蒸气喷射泵数值模拟研究进展情况进行了综述。通过综述发现: 传统的热力学一维数值模拟研究由于存在大量假设, 精确性受到限制, 并且在泵内凝结、激波等复杂物理现象的详细研究方面显得无能为力; 相比之下, 通过建立动力学模型进行数值模拟研究的优势明显。但目前对凝结、激波等复杂物理现象的研究还很少且不够深入, 对此进行了研究, 并结合所做的研究工作进行了分析和展望, 为今后的研究应用奠定基础。

关 键 词: 水蒸气喷射泵; 数值模拟; 热力学模型; 动力学模型

中图分类号: TQ051.5; O242 文献标识码: A

引 言

水蒸气喷射泵由于具有结构简单、成本低、工作可靠等优点, 广泛应用于空气调节与制冷、石油化工、航空航天等领域。水蒸气喷射泵的结构简单虽然是优点, 但是内部存在激波、凝结、边界层分离等复杂物理现象; 在实际应用中, 水蒸气喷射泵还存在效率低、对操作参数要求苛刻等问题。这些问题的存在促使人们对水蒸气喷射泵的研究。

随着计算机技术和计算流体动力学的快速发展, 数值模拟研究以其成本低、速度快、形象直观、资料完备、能模拟真实和理想条件等优点, 已成为研究水蒸气喷射泵的重要方法。本研究从热力学模型和动力学模型两方面对水蒸气喷射泵数值模拟进展进行了综述, 指出了存在的问题, 提出了存在问题的研究解决方向, 以期对水蒸气喷射泵的研究提供有力支持。

1 热力学一维数值模拟研究

早期由于计算机技术和计算流体力学等学科的水平不够高, 对水蒸气喷射泵的模拟研究主要是从

热力学角度通过建立热力学模型进行简单的一维数值模拟。

1942 年 Keenan 和 Neumann 等人为了对喷射泵的性能进行分析^[1], 建立了喷射泵内部流体流动的一维连续性方程、动量守恒方程和能量守恒方程。然而, 其在求解流体混合过程的动量守恒方程上遇到困难。在进一步的研究工作中^[2], 通过引入等压混合理论和定常面积混合理论的假设, 上述的困难才得以解决。Keenan 等人的研究作为喷射泵的一维分析设计理论模型奠定了基础, 水蒸气喷射泵的热力学一维数值模拟中的模型都是基于等压混合理论或定常面积混合理论假设而建立起来的。

1977 年, Munday 和 Bagster 等人在等压混合理论的基础上^[3], 通过假设从喷嘴出来的高速工作流体并没有立即与引射流体混合, 而是在流动到下游混合室的某一截面时才开始混合, 在这一横截面上对引射流体会形成一个“Hypothetical Throat”, 对等压混合理论模型进行了发展。基于 Munday 和 Bagster 的工作, Huang 等人通过考虑喷射泵内部的壅塞现象, 建立了临界状态热力学模型(双壅塞模型), 并用实验方法进行了验证^[4]。1995 年 Eames 等人在 Keenan 的等压混合理论模型中引入工作喷嘴、混合室和扩压器的等熵效率来考虑摩擦引起的损失^[5]。而 Selvaraju 和 Mani 等人考虑到摩擦损失大小与速度密切相关, 而喷射泵中流体流速变化剧烈, 不应将摩擦损失视为常数, 在 Munday 和 Bagster 的模型中引入摩擦损失的计算式^[6]。徐海涛等人也基于等压混合理论等假设, 并采用 IAPWS-IF97 公式计算蒸气热力学参数, 建立了蒸气喷射泵的热力学模型(理想模型、动量守恒模型和动能守恒模型), 对蒸气喷射泵的工作过程和蒸气喷射泵焓效率受喷嘴、混合段及扩压段效率的影响作了分析^[7]。

收稿日期: 2013-01-30; 修订日期: 2013-03-10

作者简介: 张军强(1983-), 男, 河北邯郸人, 辽宁工业大学硕士研究生。

1998年 Grazzini 和 Mariani 等人基于定常面积混合理论建立了水蒸气喷射泵的热力学模型^[8],用于水冷循环中的水蒸气喷射泵的数值模拟分析。所建模型中除了定常面积混合假设外,还引入了过热蒸气为理想气体、工作喷嘴出口截面上工作流体和引射流体静压相等假设。为了提高水冷循环系统的整体性能和紧凑性,用该模型对一个二级水蒸气喷射泵进行了数值模拟分析。结果显示,与具有相同喷射系数的单级水蒸气喷射泵相比,二级水蒸气喷射泵能得到更大的压缩比。另外,他们还对一个三级水蒸气喷射泵进行了数值模拟分析,指出采用理想气体模型可能导致模拟结果与实际情况存在巨大偏差。

为了研究水蒸气喷射泵内部流体流动的压力、密度和速度等的分布情况,进而对水蒸气喷射泵的性能进行预测和分析,2000年 Beithou 和 Aybar 运用一维有限控制体积法建立了局部热力学模型^[9]。模型中工作流体为蒸气,引射流体为水。通过将数值模拟计算结果与实验数据对比,发现所建模型在对混合室和扩压器内部压力分布预测上与实验数据非常吻合,但是在工作喷嘴压力分布预测上与实验数据有些差别。该模型是比较接近实际情况的模型,因为其考虑了主要的流动现象,比如凝结、热与动量的传递、粘性耗散、非绝热流动等,但是这也使得其模型相当复杂。而 Deberne 等人建立了用于对水蒸气喷射泵性能进行分析的整体热力学模型。该模型基于一维稳态流动假设,在质量、动量和能量守恒方程中引入孔隙率、面积收缩率和凝结率等来考虑凝结等现象^[10]。Deberne 等人还建立了实验装置,验证了所建模型的可靠性和准确性,结果显示所建热力学模型用于预测水蒸气喷射泵性能,误差在15%以内。

在蒸气喷射泵的设计和分析中,为了简化计算模型,一般对蒸气的状态用理想气体模型描述,为了检验其有效性和准确性以及建立更接近真实情况下的热力学模型,2010年 Grazzini 等人对二级蒸气喷射制冷系统中蒸气喷射泵的喷嘴内部流动进行了一维数值模拟研究^[11],对比了理想气体模型、饱和蒸气模型和非稳态蒸气模型下沿喷嘴轴线的压力、速度、马赫数和温度分布。结果显示非稳态蒸气模型下的所有计算值介于理想气体模型和饱和蒸气模型之间,用饱和蒸气模型和理想气体模型计算的流场之间存在很大不同,相同边界条件下用理想气体模型

计算的出口温度为 118.3 K,而用饱和蒸气模型计算的出口温度为 271.5 K。分析指出凝结释放大量凝结潜热造成了流场间存在很大区别,相比之下非稳态蒸气模型更能准确描述伴随着蒸气凝结的流动。但是,由于模型的局限性,没能分析凝结发生的位置及其对流场和水蒸气喷射泵性能产生的影响等问题,而且只是对喷嘴内部流动进行了简单分析,没有对蒸气喷射泵整个流场进行数值模拟分析。

2011年大连交通大学的葛研军等人基于等压混合理论,将蒸气视为理想气体,蒸气在任意截面上物性分布均匀等假设,对蒸气喷射制冷系统中喷射泵、冷凝器和蒸发器建立了热力学分析模型^[12]。通过 Matlab 软件进行数值模拟,分析了冷凝温度、蒸发温度和工作蒸气压力对喷射系数、工作蒸气消耗量和循环水消耗量的影响。通过分析确定了使蒸气喷射制冷系统工作在较经济情况下的工作蒸气压力、蒸发温度和冷凝温度的范围。

2 动力学数值模拟研究

在对水蒸气喷射泵进行数值模拟研究中,热力学一维数值模型的建立和发展对了解喷射泵内部流体流动、喷射泵的结构设计和优化、指导喷射泵的操作员运行操作等起到了很大的帮助作用。但是,这些模型很难准确预测喷射泵中凝结、激波、壅塞、激波与混合边界层的交互作用等复杂的物理现象,不能考虑由于激波、流动分离等现象造成的不可逆损失以及对水蒸气喷射泵性能的影响。近年来,随着计算机技术和计算流体动力学的快速发展,尤其以大型商用 CFD 软件的问世,通过建立水蒸气喷射泵内部流体流动的动力学模型进行数值模拟研究的报道越来越多。其相对于热力学一维模拟分析的优势主要体现在:(1) 假设少。数值模拟中不存在等压混合或定常面积混合等假设;(2) 容易进行高维模拟研究;(3) 容易对动力学数值模型进行改进和发展,比如对喷射泵内凝结现象进行研究,可以直接在原有动力学数值模型的基础上增加考虑凝结的数学模型,而不必再对原有的模型进行建模等。

2005年 Bartosiewicz 等人对制冷系统中的超音速喷射泵内部流体流动进行了数值模拟研究^[13]。考虑不同湍流模型的影响,对 $k-\varepsilon$ 、RNG $k-\varepsilon$ 、 $k-\omega$ 、RSM 和 SST $k-\omega$ 湍流模型下的模拟结果进行了比较。为了与实验对比,模拟中用的流体是空气,并

用理想气体模型进行描述。通过与实验结果对比发现,在基于 Boussinesq 假设的 $k-\varepsilon$ 、RNG $k-\varepsilon$ 和 $k-\omega$ 湍流模型下的数值模拟具有较高的收敛速度,预测结果较为准确;RSM 湍流模型下的模拟结果精度更高,但是需要较大的计算机内存且收敛速度慢;RNG $k-\varepsilon$ 和 SST $k-\omega$ 湍流模型在对激波、湍流强度和平均压力变化等方面能给出更合理的模拟结果。基于以上工作,Bartosiewicz 等人选用 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型对超音速喷射泵内部流动情况进行了详细的数值模拟研究,捕捉到了边界层分离、回流等现象。Zhu 等人也在 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型下用数值模拟方法研究了工作喷嘴出口的位置和混合室入口张角对喷射泵性能的影响^[14],结果显示:工作喷嘴出口位置到混合室入口的最佳距离不仅与混合室直径呈正比,还随工作流体压力的升高而增大;喷射泵性能,尤其是在最佳工作点的性能,对混合室入口张角的变化非常敏感,通过调整张角,喷射系数可以提高近 26.6%;工作压力升高时,为了使喷射泵处于最佳工作状态,需要增大张角。

2007 年 Pianthong 在 realizable $k-\varepsilon$ 湍流模型下对应用于制冷系统中的水蒸气喷射泵进行了数值模拟研究,揭示了水蒸气喷射泵性能受操作条件影响的规律^[15]。2010 年东北大学的王晓冬等人在设定蒸气的热力学性质为常数的情况下对不同背压和不同引射压力下蒸气喷射泵内部的流场进行了二维数值模拟研究^[16]。通过对流场中速度矢量图、壁面压力分布图、轴线马赫数分布图和迹线图的分析,研究了背压和引射压力对蒸气喷射泵性能的影响规律。同年,韩国庆北大学的 Il Seouk Park 在用理想气体模型对蒸气的状态进行描述情况下^[17],利用 Fluent 软件对多效海水淡化系统中的核心设备超音速蒸气喷射泵(热蒸气压缩泵)进行了数值模拟。Il Seouk Park 将喷嘴的偏转角视为设计参数,研究了喷射系数随喷嘴出口面积、混合室直径和工作流体旋转强度(通过偏转喷嘴实现工作流体旋转运动)的变化规律,结果显示:虽然工作流体旋转强度对喷射系数影响不显著,但是喷射泵的稳定性得到了较大的提高。美国拉马尔大学的 Xianchang Li 和 Ting Wang 等人用 Fluent 软件对蒸发器中的热力喷射泵进行了数值模拟,结合模拟结果,通过改变喷射泵下游的收缩结构、在喷射泵下游安装扩压器、调整工作喷嘴的位置对喷射泵进行了优化,优化后喷射系数提高到了 4.3,约为优化前的 18 倍^[18]。2011 年

华中科技大学丁学俊等人用 Fluent 软件对蒸气喷射泵内部流体流动进行了二维数值模拟,分别研究了工作蒸气压力、引射蒸气压力和排出压力对喷射系数和内部激波现象的影响^[19]。

以上对水蒸气喷射泵进行的数值模拟研究都没有考虑凝结等现象,而是将水蒸气简单的按理想气体处理。为了研究水蒸气喷射泵内部凝结现象及其对水蒸气喷射泵性能的影响,2005 年中国科技大学黄生洪、徐胜利等人采用希尔动量模型,基于 Fluent 软件的自定义模块编写了能模拟高速气流中水蒸气凝结的程序,对蒸气喷射系统中凝结问题进行了初步研究^[20]。模拟结果显示:考虑凝结的流场温度比不考虑凝结的流场温度整体上升约 100 K;凝结使喷管出口膨胀区的马赫数下降;水蒸气喷射系统在考虑凝结情况下性能约下降 50%。虽然模拟研究中没有考虑相间滑移,不是对喷射系统做整体数值模拟(忽略了喷嘴内部流场),以及对模拟结果缺少实验数据对比,但是可以看到凝结对流场的影响是显著的,对水蒸气喷射系统的设计不能简单地采用理想气体模型进行气动轮廓设计,设计中应考虑蒸气凝结的影响。2006 年,大连海事大学的李海军等人通过在动力学数值模型中引入蒸气的真实物性公式^[21],并通过计算节点焓值得到发生相变蒸气的百分含量,对蒸气喷射制冷系统中的蒸气喷射泵内部的激波、凝结等现象进行了二维数值模拟研究。通过比较按理想气体性质和真实蒸气性质进行模拟得到的温度沿轴线分布情况,指出按理想气体假设得到的模拟结果与实际情况存在很大偏差。另外,通过给出压力沿轴线的分布,对激波及其产生位置进行了分析;通过给出蒸气凝结量沿轴线的分布,研究了工作蒸气过热度对凝结以及蒸气喷射泵性能的影响。考虑到在对水蒸气喷射泵内部流场的数值模拟中用理想气体模型无法研究凝结等现象,使得计算模型不准确,给内部流动现象分析带来障碍的问题,2010 年哈尔滨工程大学的 Zhiming Li 等人借助 Ansys CFX 对超音速蒸气喷射泵内部流动进行了数值模拟,对理想气体模型和真实气体模型(IAPWS IF97 基本方程描述蒸气状态)下的模拟结果进行了分析比较,结果显示:理想气体模型比真实气体模型下计算的喷射系数约小 40%,另外温度场、马赫数分布和压力分布也存在明显的不同^[22]。但遗憾的是文中只是比较了不同气体状态模型下的数值模拟结果,并且没有对数值模拟结果进行验证,虽然文中

提到流动过程中存在凝结现象,但是在用真实气体模型进行数值模拟研究中,只是研究了操作参数和几何参数对喷射泵性能的影响,并没有涉及凝结、凝结激波等现象。

3 模拟技术研究对比

通过近些年的数值模拟研究情况来看,模拟研究集中在操作参数和结构参数对蒸气喷射泵性能的影响上,而且对蒸气的状态用理想气体模型描述,将蒸气的密度、比热、传热系数等热力学参数设定为固定值,这必然导致模拟结果与实际存在误差,不能反映蒸气真实流动情况;另外,目前的数值模拟研究大多采用简单的动力学数值模型,对水蒸气喷射泵内部的激波、凝结等复杂物理现象的研究较少且不够深入。要想对凝结、激波等复杂物理现象及其对泵性能的影响进行深入细致研究,必须结合内部工质的凝结理论(成核理论、液滴生长理论等),引入工质的真实热力学性质,建立模拟系统。笔者基于前人的研究工作,结合凝结理论的研究成果,并引入水蒸气的真实热力学性质建立了水蒸气非平衡凝结流动的动力学数值模型,也称双流体数值模型,该模型不仅能对泵内蒸气凝结流动进行准确地描述,还能得出液相的流动特性和重要参数分布,从而能更好地揭示凝结对流场的影响和气、液相间作用,使详细研究凝结等现象对泵性能的影响成为可能。但是目前用该模型进行数值模拟存在计算速度慢、不稳定等问题,这些问题有待后续研究加以解决。

4 结 语

本研究从热力学模型和动力学模型两方面对蒸气喷射泵数值模拟研究进展进行了综述。从中可以看出,传统的热力学一维数值模拟研究的精确性受到限制,在详细研究水蒸气喷射泵内部的凝结、激波、流体混合与分离等复杂物理现象时无能为力。随着计算机技术和计算流体动力学的快速发展,通过建立水蒸气喷射泵内部流体流动的动力学数值模型进行数值模拟研究已成为一种趋势。但是,通过近些年的数值模拟研究情况来看,模拟研究都是采用简单的动力学数值模型(不考虑凝结等现象)和理想气体热力学参数,来研究操作参数和结构参数对蒸气喷射泵性能的影响。这必然导致模拟结果与

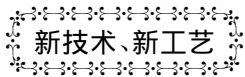
实际存在误差,不能反映蒸气真实流动情况。因此,今后的数值模拟研究应引入蒸气的真实热力学性质和蒸气凝结理论,建立考虑凝结、相间滑移等现象的动力学数值模型,在此基础上对水蒸气喷射泵内部凝结、激波等复杂物理现象的产生及其对泵性能的影响进行深入研究。

参考文献:

- [1] Keenan J H, Neumann E P. A simple air ejector[J]. ASME Journal of Applied Mechanics, 1942, 64: 75 - 82.
- [2] Keenan J H, Neumann E P, Lustwerk F. An investigation of ejector design by analysis and experiment[J]. ASME Journal of Applied Mechanics, 1950, 72: 299 - 309.
- [3] Munday J T, Bagster D F. A new theory applied to steam jet refrigeration[J]. Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, 1977, 16: 442 - 449.
- [4] Huang B J, Chang J M, Wang C P, et al. A 1D analysis of ejector performance[J]. International Journal of Refrigeration, 1999, 22: 354 - 364.
- [5] Eames I W, Aphornratana S, Haider H. A theoretical and experimental study of a small scale steam jet refrigerator[J]. International Journal of Refrigeration, 1995, 18(6): 378 - 386.
- [6] Selvaraju A, Mani A. Analysis of an ejector with environment friendly refrigerants[J]. Applied Thermal Engineering, 2004, 24(5 - 6): 827 - 838.
- [7] 徐海涛, 桑芝富. 蒸气喷射器喷射系数计算的热力学模型[J]. 化工学报, 2004, 55(5): 704 - 710.
XU Hai-tao, SANG Zhi-fu. Thermodynamic model for calculating the steam jet coefficient of a steam ejector[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering, 2004, 55(5): 704 - 710.
- [8] Grazzini G, Mariani A. A simple program to design a multi-stage jet-pump for refrigeration cycles[J]. Energy Conversion and Management, 1998, 39(16 - 18): 1827 - 1834.
- [9] Beithou N, Aybar H S. A mathematical model for steam-driven jet pump[J]. International Journal of Multiphase Flow, 2000, 26(10): 1609 - 1619.
- [10] Deberne N, Leone J F, Duque A, et al. A model for calculation of steam injector performance[J]. International Journal of Multiphase Flow, 1999, 25(5): 841 - 855.
- [11] Grazzini G. Prediction of condensation in steam ejector for a refrigeration system[J]. International Journal of Refrigeration, 2010, 10: 1016.
- [12] 葛研军, 阳俊. 蒸气喷射式制冷系统模型建立与仿真[J]. 制冷技术, 2011, 39(11): 48 - 52.
GE Yan-jun, YANG Jun. Modeling and simulation of a steam jet

- air ejector type refrigeration system[J]. Refrigeration Technology , 2011 ,39(11) : 48 - 52.
- [13] Bartosiewicz Y ,Aidoun Z ,Desevaux P ,et al. Numerical and experimental investigations on supersonic ejectors. International Journal of Heat and Fluid Flow [J] 2005 26: 56 - 70.
- [14] Zhu Y H ,Cai W J ,Wen C Y ,et al. Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors [J]. Applied Thermal Engineering 2009 29(5 - 6) : 898 - 905.
- [15] Pianthong K ,Seehanam W ,Behnia M ,et al. Investigation and improvement of ejector refrigeration system using computational fluid dynamics technique [J]. Energy Conversion and Management , 2007 48: 2556 - 2564.
- [16] Wang Xiao-Dong ,Dong Jing-Liang. Numerical study on the performances of steam-jet vacuum pump at different operating conditions [J]. Vacuum 2010 84: 1341 - 1346.
- [17] Il Seouk Park. Numerical investigation of entraining performance and operational robustness of thermal vapor compressor having swirled motive steam inflow [J]. Desalination ,2010 ,257: 206 - 211.
- [18] Li Xianchang ,Wang Ting ,Benhamin Day. Numerical analysis of the performance of a thermal ejector in a steam evaporator [J]. Applied Thermal Engineering 2010 30: 2708 - 2717.
- [19] 丁学俊 ,刘书勇 ,徐 鑫. 蒸气喷射器的 CFD 数值模拟 [J]. 流体机械 2011 ,39(4) : 21 - 25.
DING Xue-jun ,LIU Shu-yong ,XU Xin. CFD-based numerical simulation of a steam jet air ejector [J]. Fluid Machinery 2011 , 39(4) : 21 - 25.
- [20] 黄生洪 ,徐胜利. 水蒸气凝结对超声速风洞蒸气引射系统的影响 [J]. 推进技术 2005 26(5) : 471 - 476.
HUANG Sheng-hong ,XU Sheng-li. Effect of the steam condensation on the steam jet air ejector system of a supersonic wind tunnel [J]. Journal of Propulsion Technology 2005 26(5) : 471 - 476.
- [21] 李海军 ,沈胜强. 蒸气喷射制冷系统中喷射器内特殊流动现象的研究 [J]. 工程热物理学报 2006 27(3) : 454 - 456.
LI Hai-Jun ,SHEN Sheng-Qiang. Study of special flow phenomena inside an ejector of a steam jet refrigeration system [J]. Journal of Engineering Thermophysics 2006 27(3) : 454 - 456.
- [22] Li Zhiming ,Zheng Hongtao. CFD Simulation of the Supersonic Steam Ejector // [C]. Proceedings of the ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability ,ES2010 ,May 17 - 22 2010 ,Phoenix ,Arizona ,USA: 1 - 8.

(丛 敏 编辑)



中美煤气化技术合资企业

据《Gas Turbine World》2012 年 5 - 6 月刊报道 ,GE 宣布已成立了 GE-神华气化技术公司 ,是 GE 公司和神华集团 50-50 股份的合资企业 ,以推进清洁煤技术在中国的发展和部署。

新公司将 GE 在工业化技术方面的专用技术和神华在煤气化和烧煤电力生产方面的专用技术相结合。

该合资企业将在中国销售工业化技术许可证并进行研究和开发 ,以便降低商业规模气化工程的成本并改进其性能。

也将为商业规模 IGCC(整体煤气化联合循环) 电厂的建设提供工程、设计和运行人员培训服务。

气化技术已成为发展中国经济的一个关键手段 ,它允许广泛的工业产品和燃料可以来自国家低成本的煤资源。

(吉桂明 摘译)

水蒸气喷射泵数值模拟研究进展 = **Advances in the Study of the Numerical Simulation of Steam-jet Pumps**

[刊 汉]ZHANG Jun-qiang ,LIAO Guo-jin (College of Mechanical Engineering & Automation ,Liaoning University of Technology ,Jinzhou ,China ,Post Code: 121001) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 , 28(4) . - 331 ~ 335

A survey of the research findings in the study of the numerical simulation of steam-jet pumps was given from the following two aspects ,namely ,thermodynamic models and dynamic models. It has been noted that the traditional one-dimensional numerical simulation based on the thermodynamics has a limited precision due to a large number of assumptions having been made and shows its incapability in detailed study of the complex physical phenomena such as condensation and shock waves in the pumps. In the contrast ,to conduct a numerical simulation through establishing dynamic models has its conspicuous leading edges. However ,up to date ,the study of the condensation and shock waves etc. complex physical phenomena is rare and in the depth not enough. The authors have done some research work in this regard and made an analysis and looked into its prospects in combination with the work undertaken by them ,thus laying a foundation for the future research and applications. **Key words:** steam-jet pump ,numerical simulation ,thermodynamic model ,dynamic model

汽轮机旁路系统仿真建模 = **Simulation and Modeling of the Bypass System of a Steam Turbine** [刊 汉]NIE

Yu ,ZHANG Yan-ping ,HUANG Shu-hong ,GAO Wei(College of Energy Source and Power Engineering ,Central China University of Science and Technology ,Wuhan ,China ,Post Code: 430074) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2013 28(4) . - 336 ~ 340

With the high pressure bypass system of a steam turbine serving as the object of study ,presented was an idea to model section by section the bypass system by dividing it into the throttle and pressure reduction section and water-spraying temperature reduction section. On this basis ,the authors have established a model governing the working mechanism of the bypass system. By making use of the design data and those obtained from the on-the-spot operation ,the simulation model was verified. The relative error between the calculation result of the pressure at the outlet calculated by using the model and the design value is less than 3% while that of the temperature is less than 1% . The relative errors between the calculation results and the design values all meet the requirements for the engineer-