

应用 μ 方法分析 PFBC-CC 系统的环境影响郑莆燕¹, 蔡宁生², 肖 军¹, 裘放放¹

(1. 东南大学 洁净煤发电及燃烧技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210096; 2. 清华大学 热能系, 北京: 100084)

摘 要: 采用 μ 方法建立了系统排放的废弃物和废热分析模型, 从 μ 的概念出发分析排放物对环境的影响, 并对一个增压流化床联合循环(PFBC-CC)发电系统的环境影响进行分析。结果表明, 系统排放的 CO_2 和热量对环境的影响是不可忽视的, S 元素从 SO_2 转移到 CaSO_4 可大大降低系统的环境影响。为了用 μ 方法建立更全面的环境影响分析, 还需要对参考环境模型进行更深入的研究。

关 键 词: μ ; 环境影响; PFBC-CC; 排放物

中图分类号: X701 文献标识码: A

1 前 言

进入 20 世纪 80 年代以来, 由于全球环境问题的日益严峻, 有关能量生产、应用与环境之间的研究也越来越受到重视。在有关工业项目的立项、建设和生产过程中选择环境最优化的组合, 已成为一个重要内容。由于环境影响评价中政策和人为因素影响很大, 现有的分析基本上都集中在主观评定方法上。近年来一些学者提出用热力学第二定律, 尤其是热力学参数 μ 来研究排放物的环境影响^{1~4}, 某物质具有 μ 是因为与环境状态相比, 它处于不平衡状态, 若直接排放到环境中会对环境产生影响。因此用 μ 的概念来评估生产系统对环境的影响可以得出更为客观真实的评价。初步研究表明, 排放物的 μ 含量比能含量更能反映生产过程与环境之间的关系。本文从化学 μ 的概念出发, 对电厂排放物的 μ 进行分析, 进而分析其环境影响。

2 μ 分析法的理论基础

2.1 环境

一般认为地球表层子系统(即大生物圈)是一个由生命控制的完整的动态系统, 其范围包括 4 个圈: 岩石圈、水圈、气圈和生物圈。岩石圈、水圈和气圈既是生命过程的产物, 也是生命的活动场所。当生产系统的环境排放对生存环境产生影响时, 就会破坏生物圈的能量和物质的循环过程, 造成损害。热力学分析中建立的参考环境模型都是在一定的前提条件或假设条件下对岩石圈、水圈和气圈的模拟, 即参考环境反映的是生物的生存环境, 或者说是当前生物的适合生存环境。 μ 是物流或能流达到参考环境下的平衡状态时, 所能做的最大功。生产系统的环境排放物的 μ 值反映了排放物对环境的影响力, 从这一角度讲 μ 可以有效地度量污染物排放对环境的影响。

参考环境是实际自然环境理想抽象的结果, 其作用是在热力学分析中提供一个参考点, 是由统一的压力、温度以和统一的基准物质及其组成成分构成, 本文选用了龟山-吉田模型作为参考环境模型, 与计算相关的部分列入表 1。需要指出的是, 应用于热力学第二定律的概念 μ 分析排放物的环境影响时, 参考环境模型必须能够在一定条件下反映自然环境。从这个角度来讲, 现有的各种参考环境模型都存在着不同程度的不完善性, 需要进行不断的补充和修正。

表 1 龟山-吉田模型的有关参数(0.101 3 MPa, 298.15 K)

湿空气成分	N_2	O_2	H_2O	CO_2	Ar (惰性气体)
摩 尔 比	0.756 0	0.203 4	0.031 2	0.000 3	0.009 1
其它基准物	CaCO_3	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	MgCO_3	H_2O (液态)	

收稿日期: 2002-01-30; 修订日期: 2002-04-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划基金资助项目(G199902210533)

作者简介: 郑莆燕(1972-), 女, 福建莆田人, 东南大学博士研究生, 现在上海电力学院工作, 讲师。

2.2 排放物火用值计算

为便于分析, 提出如下假设:

(1) 空气中的惰性气体(在计算中以氩气 Ar 做代表)、煤中的灰份和石灰石中的惰性物在整个过程中不发生化学反应, 认为其反应火用为零;

(2) 经过除尘后, 从烟囱排向大气的烟气中飞灰含量极小, 可忽略不计, 则燃烧所产生的固体废弃物全部计入灰渣之中;

(3) 不考虑排放物排入环境时的动能和势能。

系统直接排放到环境中的物质和能量(如烟气、灰渣和热能等)中通常包含 4 种火用: 反应火用、扩散火用、热量火用和机械火用。在本文的假设条件之下, 所有排放物的物理火用中仅计算热量火用。由化学火用的机理模型^[5]可知化学火用通常包括扩散火用和反应火用两部分, 但对于某些特殊的物质如 O₂、N₂、CO₂、H₂O 和 Ar 等气体, 由于与其基准物(饱和湿空气中的相应组成气体)相比只是成分不同, 因而其化学火用也就是扩散火用。

单位摩尔混合气体的扩散火用(理想气体):

$$E = \bar{R} \cdot T_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot \ln\left(\frac{x_i}{x_i^0}\right) \quad \text{kJ/kmol} \quad (1)$$

其中: x 表示混合气体的摩尔成分, 上下角标 0 表示在参考环境下的值, \bar{R} 为气体常数。

单位摩尔化合物所具有的化学火用:

单质或化合物 i 在实际环境 (T_{atm} , 1.013 25 MPa) 下的化学火用可由下式统一计算:

$$E(i) = E_0(i) + \xi(i)(T_{\text{atm}} - T_0) \quad \text{kJ/kmol} \quad (2)$$

其中: $E(i)$ 为物质 i 在参考环境下的化学火用, $\xi(i)$ 为温度修正系数。龟山-吉田模型中已经按一定的顺序得出 80 种元素的化学火用 E_0 及温度修正系数 ξ , 对于化合物, 可根据生成该化合物的单质或元素在参考环境下的化学火用和温度修正系数求得其参考环境下的化学火用和温度修正系数^[5], 几种物质的化学火用的计算结果如表 2 所示。

表 2 几种物质的化学火用

物质名称	SO ₂	CaSO ₄	CaO	MgO	NO	CO ₂
$E_0 / (\times 10^{-3}) \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$	306.52	1.833	110.33	50.79	88.91	20.12
修正系数 ξ / $\text{kJ} \cdot (\text{kmol} \cdot \text{K})^{-1}$	-114.46	83.41	-227.74	-218.78	-4.60	67.4
$E(i)^*$ / $(\times 10^{-3}) \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$	307.701	0.974	112.676	54.04	88.957	19.426

* 在实际环境(287.85 K, 0.101 325 MPa) 下的值

两种气体混合后的摩尔化学火用:

$$E_h = (x_1 \cdot E(1) + x_2 \cdot E(2)) + \bar{R}T_0(x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2) \quad \text{kJ/kmol} \quad (3)$$

单位排放物的热量火用:

$$E_Q = Q \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{atm}}}{T_p}\right) = (h_p - h_{\text{atm}}) \times \left(1 - \frac{T_{\text{atm}}}{T_p}\right) \quad \text{kJ/kg} \quad (4)$$

其中: Q 为排放到环境的中热量, T_{atm} 为大气温度, T_p 为排放物的平均温度, h_p 为排放物在 T_p 下的焓, h_{atm} 为排放物在 T_{atm} 下的焓。

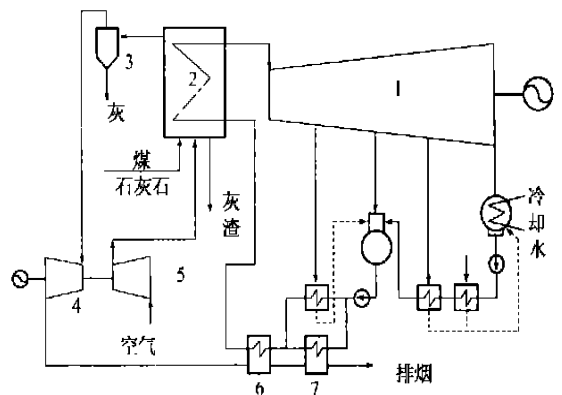
3 PFBC-CC 系统简介

在参考环境确定的基础上, 本文应用火用方法对一个增压流化床联合循环系统(PFBC-CC)的环境排放物进行分析。

表 3 PFBC-CC 系统参数

燃机系统	汽机系统	PFBC 锅炉	其它
压气机 压比: 7.3	进汽参数: $P=3.43 \text{ MPa}$	床温: $T=1173.15 \text{ K}$	钙硫比 $\text{Ca/S}=1.8$
燃机进口 压力、温度: 0.647 MPa , 1033.15 K	$T=708.15 \text{ K}$ 发电功率: 12 MW	燃烧效率: $\eta=0.98$ 脱硫率: 0.9	

本文所研究的 PFBC-CC 系统的生产过程如图 1 所示: 加压后的空气与煤和石灰石一同送入 PFB 锅炉, 燃烧后产生高温高压烟气, 同时加热锅炉给水产生蒸汽送入汽机系统发电; 高温高压烟气经除尘后送入燃机做功发电; 燃机排气送入省煤器加热锅炉给水, 以回收余热。



1- 汽机, 2- PFB 锅炉, 3- 高温除尘器; 4- 燃机, 5- 压气机, 6- 高温省煤器; 7- 低温省煤器

图 1 15 MW PFBC-CC 系统

系统输入物质及相关参数如表 4 所示。

表 4 系统输入物质 (0.101 3 MPa, 288.15 K)

成分(质量百分比)	
煤	$C^a=0.5724$ $H^a=0.0377$ $O^a=0.0806$ $N^a=0.0110$ $S^a=0.0115$ $A^a=0.2568$ $W^a=0.030$
石灰石	$M_{CaCO_3}=0.8520$ $M_{MgCO_3}=0.0210$ $M_{H_2O}=0.0410$ $M_A=0.0829$ (A 代表惰性物质)
空气	干空气成分+0.013 kg/kg 干空气
水	H_2O

系统的输出包括的排烟、灰渣、冷却水及电能和随烟气、灰渣、冷却水带走的热能, 热力计算结果如表 5 所示。

表 5 热力计算结果

排烟	摩尔成分: $X(CO_2)=0.12241$ $X(H_2O)=0.07170$ $X(N_2)=0.73705$ $X(O_2)=0.05958$ $X(Ar)=0.00886$ $X(SO_2)=0.00009$ SO ₂ 排放量: 10.51 kg/h CO ₂ 排放量: 1.949×10^4 kg/h 温度: 423.15 K 流量: 107.108 t/h
灰渣	质量成分: $M_{CaSO_4}=0.133$ $M_{CaO}=0.058$ $M_{MgO}=0.002$ $M_A=0.747$ $M_{煤}=0.060$ 温度: 493.15 K 流量: 2.124 t/h
汽机排汽	排汽流量: 46.040 5 t/h 排汽压力: 7 kPa (306.05 K)
其它	发电效率: 0.255 8 总发电量: 14.985 MW

4 环境影响分析

在 PFBC-CC 系统中, 排烟的主要成分是 CO₂、N₂、O₂、H₂O、Ar 和 SO₂, 其中前 5 种与大气成分相同, 只是浓度有异, 因此其化学火用就是扩散火用。为便于比较 SO₂ 和其它 5 种气体的环境影响, 将两者的化学火用分别按式(2)和式(1)计算, 再按理想气体混合求解排烟的化学火用(式(3))。排渣成分中包括煤中的灰份、石灰石中的惰性物质、脱硫物质 CaSO₄、锻烧产物 CaO 与 MgO 和未燃尽的煤, 其中只有后 4 项才有化学火用。该系统环境排放物的火用计算结果如表 6 所示, 反映了每千克煤输入系统时, 整个系统排放的物质和能量所具有的火用(这里未考虑锅炉和管道等设备在过程中的排放与泄漏)。

表 6 排放物火用的计算结果 (kJ/kg 煤)

	锅炉排烟		灰渣	冷却水	总 量
	SO ₂	其它			
化学火用	10.814	620.447	438.158	0.0	1 069.872
热量火用	519.119	631.714	25.520	811.316	1 355.955
总 量	1 150.833	463.678	811.316	2 452.827	

和 Ar 5 种气体的化学火用都远大于 SO₂ 的化学火用。具体的计算分析表明, 前者的化学火用是由于与大气中的成分相比 CO₂ 浓度过高和 O₂ 浓度过低产生的。由于单位燃料送入系统后 CO₂ 的排放量远远大于 SO₂ 的排放量(本系统中 SO₂ 的排放量为 22.67 kg/h, CO₂ 的排放量为 1.872×10^4 kg/h), 因而每千克煤送入系统后, 排放到环境中的 CO₂、N₂、O₂、H₂O 和 Ar 5 种气体造成的环境影响大于由 SO₂ 排放产生的环境影响, 但单位 CO₂ 的化学火用不到单位 SO₂ 的 7% (见表 3), 其对环境的影响远小于 SO₂。

PFBC 锅炉排除的灰渣中化学火用的值也很高, 这主要是因为灰渣中未燃尽的煤具有很高的火用值, 反映了资源利用不充分带来的影响。此外, 灰渣中的 CaSO₄ 是脱硫产物, 其化学反应火用 0.974×10^3 kJ/kmol, 不到 SO₂ 的 0.5% (见表 3), 这也从排放物火用的角度说明采用脱硫技术大大降低了 SO₂ 排放对环境的影响。但需要指出的是, 脱硫产物的化学火用并不为零, CaSO₄ 排放到环境中后会与环境中的水分继续反应直至达到环境中的平衡状态 (CaSO₄·2H₂O)。在这一过程中, 通过消耗环境中的水分对环境产生影响, 当然一般情况下, 这一影响并不具有破坏性。

从表 6 的计算结果中还可以看出, 热量火用在系统排放到环境的总火用量中所占比重很高, 达 50% 以上。由此可知, 随着排放物散失到环境中的热量对环境产生的热污染的影响也是很大的。目前在电厂生产过程中已经考虑到的热污染主要是冷却水对水环境生态和水产品生产的影响, 不少电站因为要将冷却水排放到周围的江河湖海中而对附近居民做出一定的经济赔偿, 但是由冷却水带入环境的热量火用在总热量火用中所占份额不到 60%, 其它的热量火用(包括文中已经计算的排烟、灰渣带入环境的热量火用, 以及未计算的设备散热送入环境的热量火用)的影响还未引起人们的注意。

在本文的计算中忽略了 NO_x 产物和排烟中粉尘的计算, 在此我们只进行简单的定性分析。与 SO₂ 相似, NO_x 产物对环境的影响是与环境中的物质发生化学反应, 但是两者有一个很大的区别是, NO_x 产物中的 NO 可以与大气层中平流层的臭氧发生反应, 进而破坏臭氧层, 危害地表生物, 这一过程在现有的参考环境下并不能反映出来。从表 1 中可以知道, 参考环境中气体成分的构成中不含臭氧, 臭氧在参考环境下被认为是不可稳定存在的物质。因此在现有的参考环境模型下, NO_x 的火用值并不能全

每千克煤送入系统后, 排烟中 CO₂、N₂、O₂、H₂O

面反映它对自然环境的影响。粉尘的危害主要是粉尘中的有害物质(如微量重金属元素、多环化合物等)的化学反应、粉尘对人体呼吸器官的损害以及对太阳辐射的吸收与散射,用焓的概念对其进行分析时一方面需要更为精确地确定粉尘的物质构成,另一方面需要对焓的定量计算进行深入的研究。

5 结论

本文应用焓的概念对 PFBC—CC 系统的环境影响进行了初步分析,结果表明系统排放的 CO₂ 和热量对环境的影响是不可忽略的;通过对 SO₂ 和 CaSO₄ 的焓分析表明, S 从 SO₂ 转移到 CaSO₄ 可大大降低系统的环境影响。由于在模型建立和计算分析中人为因素和政策法规因素很小甚至没有,因此应用焓方法分析系统的环境影响是一个比较客观的非货币化评价方法。在分析过程中可以看出,应用焓方法分

析环境影响问题时,参考环境模型建立得越完善,环境排放物的构成知道得越详尽,得到的分析结果就越全面可靠,在这方面还需要综合应用现代热力学、燃烧学、环境等学科的知识进行深入的研究和探讨。

参考文献:

- [1] MARC A ROSEN, IBRAHIM DINCER. Exergy analysis of waste emissions[J] . **International Journal Energy Research**, 1999, 23: 1159—1163.
- [2] ROBERT U AYRES, LESLIE W AYRES. Katanlin martinis, exergy, waste accounting, and life-cycle analysis[J] . **Energy**, 1998, 25(5): 355—363.
- [3] MAKARYTCHEV S V. Environmental impact analysis of ACFB-based gas and power cogeneration[J] . **Energy**, 1998, 23(9): 711—717.
- [4] PETER MICHAELIS, TIM JACKSON, ROLAND CLIFT. Exergy analysis of the life cycle of steel[J] . **Energy**, 1998 23(3): 213—220.
- [5] 朱明善. 能量的焓分析[M] . 北京: 清华大学出版社, 1988.

(辉 编辑)

(上接第 52 页)

靠近上边界的地方,出现温度峰值。总体上,饱和度的变化总趋势是减少的,干燥初期液相向上边界迁徙,而到了末期,下边界处的饱和度高于上边界处的饱和度;对于温度,要受相变和传热平衡关系的制约,表现在干燥前期温度下降较快,随后变化略有波动。

4 结论

通过对薄层毛细多孔介质湿区干燥过程相变传热传质机理分析,建立了常压数学模型,该数学模型是以多孔介质液相饱和度 S 和温度 T 为参数的非线性偏微分方程组。采用全隐式有限差分方法对上述方程组进行了数值模拟,预测了液相饱和度 S 和温度 T 两参数的复杂变化,这种变化是受毛细、渗流、蒸发凝结和传热等机理共同作用的。模拟结果能较好地解释薄层毛细多孔介质干燥过程中的相变传热传质现象。

参考文献:

- [1] ZHAO HUI WANG, GUOHUA CHEN. Heat and mass transfer during low intensity convection drying[J] . **Chemical Engineering Science**, 1999, 54(17): 3899—3908.
- [2] HUANG C L D, SIANG H H, BEST C H. Heat and moisture transfer in concrete slabs[J] . **Int J Heat Mass Transfer**, 1979, 22(2): 257—266.
- [3] LUIKOV A V. Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies (review) [J] . **Int J Heat Mass Transfer**, 1975, 18(1): 1—14.
- [4] HUANG C L D. Multi-phase moisture transfer in porous media subjected to temperature gradient[J] . **Int J Heat Mass Transfer**, 1979, 22(9): 1295—1307.
- [5] ILIC M, TURNER I W. Convective drying of a consolidated slab of wet porous material[J] . **Int J Heat Mass Transfer**, 1989, 32(2): 2351—2362.
- [6] PLUMB O A, SPOLEK G A, OLMSTEAD B A. Heat and mass transfer in wood during drying[J] . **Int J Heat Mass Transfer**, 1985, 28(9): 1669—1678.

(渠 源 编辑)

tual initiation of creep-strain stage III process there will emerge the problem of nonlinear localized (large deformation) creep damage. With reference to the latter the authors have given a damage constitutive description and presented a nonlinear localized creep-damage constitutive model along with its numerical variation theory and finite-element discretization form. This has led to the formation of another kind of elastic-plastic creep-damage theory and a new numerical variation method. **Key words:** heat-resistant steel, pressure parts and components, nonlinear localization, creep damage theory

湿压缩对压缩系统失速后瞬态响应的影响分析= **An Analysis of the Influence of Wet Compression on the Post-stall Transient Response of a Compression System** [刊, 汉] / WANG Yu-hui, SUN Yun-feng (College of Power and Nuclear Engineering under the Harbin University of Engineering, Harbin, China, Post Code: 150001), LIU Ming, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 67 ~ 70

A Moore-Greitzer model of a wet compression system was set up, which can be used to analyze the effect of wet compression on the post-stall transient response of a compression system. The simulation results of the model, qualitatively describing the effect of wet compression on the unstable operation performance of the compression system, indicate that under certain conditions the wet compression is conducive to eliminating surge and rotating stall. As a result, the operation stability of the system is enhanced along with an improved performance of the compressor, compression system and gas turbine. **Key words:** wet compression, compressor, compression system

高温过热器壁温测试及计算= **Test and Calculation of the Tube Wall Temperature of a High-temperature Superheater** [刊, 汉] / YU Yan-zhi, TANG Bi-guang (Power Generation Machine College under the Wuhan University, Wuhan, China, Post Code: 430072), LI Shu-lei (Huainan Pinxu Power Generation Co. Ltd., Huainan, Anhui Province, China, Post Code: 232089) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 71 ~ 73

Superheater tube explosions resulting from overtemperature is one of the major causes leading to an unscheduled shutdown of thermal power plants. To fully keep track of the situation regarding the superheater tube wall temperature, a real-time acquisition of the tube wall temperatures inside and outside the furnace and their changes was carried out on a 410 t/h super-high pressure boiler. Taking into account the distribution of three-dimensional flue gas temperature and speed, the authors have set up a model for calculating the distribution of the superheater tube-wall temperature inside the furnace and prepared a MATLAB language based three-dimensional visual-display computation program. With the help of this program it is possible to calculate the tube-wall temperature distribution at various locations of the superheater tube rows. Furthermore, one can also obtain a graphic display of the three-dimensional distribution of the flue gas temperature and speed as well as the superheater tube-wall temperatures. The results of a theoretical calculation were found to agree fairly well with those of experiments. **Key words:** superheater, tube wall temperature, boiler, calculation

应用焓方法分析 PFBC-CC 系统的环境影响= **An Analysis of the Environmental Impact of a PFBC-CC (Pressurized Fluidized Bed Combustion Combined Cycle) System by Using an Exergy Method** [刊, 汉] / ZHENG Pu-yan, CAI Ning-sheng, XIAO Jun, QIU Fang-fang (Research Institute of Thermal Energy Engineering under the South-eastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 74 ~ 77

By using an exergy method a model for the thermal analysis of system emissions and waste heat was set up. Starting from the concept of exergy the environmental impact of emissions is analyzed in general. Furthermore, the impact on environment of a PFBC-CC (pressurized fluidized bed combustion combined cycle) power generation system has also been analyzed. The results of the analysis indicate that the environmental impact of CO₂ emissions and waste heat of the system should not be ignored. The transfer of element S from SO₂ into CaSO₄ can drastically reduce the environmental impact of the system. To achieve a more comprehensive analysis of the environmental impact with the help of the exergy method, it

is necessary to conduct a more thoroughgoing research on a reference environment model. **Key words:** exergy, environmental impact, pressurized fluidized bed combustion combined cycle (PFBC-CC), emissions

水煤膏压力泌水特性与可泵性分析 = Coal-water Paste Water-seeping Properties under Pressure and Its Pumpability [刊, 汉] / LU Ping (Power Engineering Institute under the Nanjing Normal University, Nanjing, China, Post Code: 210042), ZHANG Ming-yao (Thermal Energy Engineering Institute under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 78 ~ 81
Water-seeping properties of coal-water paste (CWP) under pressure are studied experimentally with the influence of particle size distribution and water content, etc on the pumping properties of CWP being analyzed. In conjunction with a CWP slump index proposed is a pumpability evaluation index of the CWP. It is found that the pumpability of the CWP can be featured by two indexes, namely, the slump and the total quantity of water seeping under pressure. The CWP with a good pumpability has a slump in the range of 8 - 24cm. The corresponding relative water seeping rate and water seeping quantity are respectively $S_{10} \leq 40\%$ and $V = 70 - 110$ ml. **Key words:** coal-water paste, water seeping under pressure, pumpability

下降液膜流动模型及稳定性分析 = Model of a Falling Liquid-film Flow and an Analysis of Its Stability [刊, 汉] / QIAN Huan-qun, HU Zhi-hua, SUN He-dong, et al (National Key Laboratory of Multi-phase Flows under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 82 ~ 85

A sound mathematical model has been set up for the film flow of a free falling liquid. Boundary layer theory was used to analyze and simplify the model, securing a second-order boundary-layer model for the liquid-film flow. A stability analysis of this model was performed. Through calculations the wave growth rate of the falling liquid film and a neutral stability curve were obtained. The comparison of the calculation results with those of other models has confirmed that the second-order boundary model offers better prediction effectiveness and its form is more suited for performing further a nonlinear analysis. **Key words:** liquid film, boundary layer, wave, growth rate, neutral stability

后加载技术在极小展弦比叶栅中的应用 = The Use of Rear-loading Technology in Ultra Low-aspect Ratio Cascades [刊, 汉] / WANG Yu-zhang, WANG Yong-hong (Institute of Mechanical and Power Engineering under the Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030), ZHAO Ya-fang, FENG Zhen-ping (Turbomachine Research Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 86 ~ 88

Through the use of turbine blades with a rear-loaded load profile one can effectively control the formation of secondary flows in the blade passage, reducing secondary-flow losses. Meanwhile, this type of cascades is highly adaptive to a variety of incidence angles, thus significantly enhancing the flow efficiency in a cascade passage. An ultra low-aspect stator cascade with rear-loaded characteristics was designed by using the rear loading technology. The results of numerical analysis and test of the above-mentioned cascade indicate that the latter features a low three-dimensional cascade loss. Moreover, the cascade performance hardly changes with the change of aspect ratios, incidence angles and outlet Mach numbers. **Key words:** rear-loading technology, aspect ratio, secondary flow, cascade test

凝汽器铜管的联合保护研究 = A Study of the Combined Protection of Steam Condenser Copper Tubes [刊, 汉] / ZHU Zhi-ping, YANG Dao-wu (Chemistry Department, Changsha Institute of Electric Power, Changsha, China, Post Code: 410047) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(1). — 89 ~ 92, 96

The corrosion and protection of condenser copper tubes has always been a problem people are keenly concerned with but for which there still lacks a satisfactory solution. The complicated operating conditions of the copper tubes, variegated types of their fabrication material and the increasingly deteriorating quality of cooling water have led to a multitude of corrosion forms. In view of the above the authors have explored a combined protection method for condenser copper tubes.