

应用于 PRSTIG 循环化 SIA-02 燃气轮机组上的喷射器

(哈尔滨·第七〇三所, 黑龙江 哈尔滨 150036) 闻雪友 陆 犇

摘 要: 喷射器是 PRSTIG 循环系统的重要组成部分。本文针对 SIA-02 小燃气轮机组设计了喷射器, 并进行了分析。

关键词: 部分回热注蒸汽燃气轮机循环; 回注蒸汽燃气轮机循环; 喷射器

中图分类号: TK479.11 文献标识码: A

1 前言

部分回热注蒸汽燃气轮机循环^[1]是 STIG 循环的一种变异, 典型的 PRSTIG 循环系统如图 1:

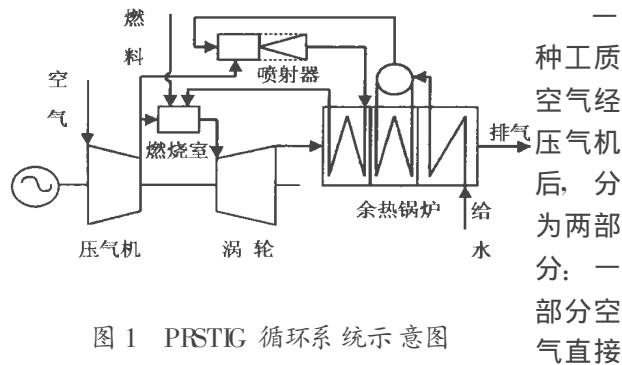


图 1 PRSTIG 循环系统示意图

一种工质空气经压气机后, 分为两部分: 一部分空气直接进入燃烧室; 另一部分进入喷射器, 经蒸汽引射后与之混合, 形成的混合气体在余热锅炉内被涡轮排气加热, 然后注入燃烧室。另一种工质(水)进入余热锅炉, 从涡轮排气吸收热量, 水被加热成饱和蒸汽, 然后进入喷射器与空气混合。从燃烧室出来的燃气进入涡轮做功后, 涡轮排气在余热锅炉内首先加热蒸汽与空气的混合气体, 然后用于产生蒸汽。

PRSTIG 循环藉部分回热进一步提高了循环热效率, 又减少了回注蒸汽所需高质量除盐水的消耗。由于采用喷射器, 也使 PRSTIG 循环的动态响应能力改善。

喷射器是此循环系统中的重要装置, 它的选择直接影响了 PRSTIG 循环系统的性能。在喷射器中, 具有不同压力、温度的压缩空气(引射介质)和蒸汽(工作介质)相互混合, 发生能量交换, 达到压力和温

度的均衡, 产生一定压力和温度的混合气体。703 所拟在已成功进行了 STIG 循环试验的 SIA-02 小燃气轮机组上, 进行 PRSTIG 循环研究, 本文既是对其喷射器进行分析。

2 喷射器的选择

2.1 喷射器的分类

喷射器的工作情况取决于相互作用介质的相态和弹性特性, PRSTIG 循环中, 蒸汽和空气均为气态, 因此, 由气体的弹性特性决定了喷射器的工作过程。而所谓弹性特性是指介质的比容随压力的改变而改变的特性。

对于弹性介质的同相喷射器, 其工作取决于引射介质的压缩比(喷射器扩散器后压缩流体压力与喷射器接受室前引射流体压力的比值)和工作介质的膨胀比(喷射器喷嘴前工作流体压力与喷射器接受室前引射流体压力的比值)。由此, 喷射器可分为:

- (1) 大膨胀比和大压缩比喷射器—气体引射器, 通常这类喷射器所能建立的压缩比大于 2.5。
- (2) 大膨胀比和中压缩比喷射器—气体喷射压缩器, 通常这类喷射器所能建立的压缩比在 2.5 和 1.2 之间。
- (3) 大膨胀比和小压缩比喷射器—气体喷射器, 通常这类喷射器所能建立的压缩比小于 1.2。

2.2 适用于 SIA-02 小燃气轮机组的喷射器的选择

表 1 列出了进行 PRSTIG 循环研究时, SIA-02 小燃气轮机组的主要参数。在 PRSTIG 循环中, 工作流体为余热锅炉所产生的蒸汽, 引射流体为压气机后部分压缩空气, 压缩流体为蒸汽与压缩空气混合后流体。

表 1

名称	单位	数值	名称	单位	数值
涡轮入口温度	℃	813.85	压气机入口温度	℃	15.00
压气机入口压力	MPa	0.101	压气机入口空气流量	kg/s	1.676
压气机压比		9.20	蒸汽回注比		0.072
喷注蒸汽温度	℃	413.00	回热度		0.85
蒸汽压力	MPa	1.20	给水温度	℃	20.00
压气机效率		0.7576	涡轮效率		0.8153
注气压力	MPa	0.9351	空气回热比		0.460

由膨胀比和压缩比的情况可知,只有气体喷射器适用于 SIA-02 机组的 PRSTIG 循环研究。

3 喷射器的优化设计

气体喷射器尺寸的计算^[2]主要依据 PRSTIG 循环系统对气体喷射器的性能要求和工作流体、引射流体的初始条件。一般的,优化设计的目的是使气体喷射器的出口具有尽可能高的压力,以下依据表 1 所列的参数,对喷射器进行优化设计:

由于引射流体与工作流体的压力比大于工作流体的临界压比,工作喷嘴出口截面上工作流体的速度小于临界速度,于是采用锥形喷嘴。喷射器其余部分的轴向、径向尺寸计算较为复杂,一般采用经验公式^[2]。

喷射器的最佳截面比对应喷射器所能形成的最大压力升值。

$$\frac{d(\Delta P_c)}{d(f_{p1}/f_3)} = 0$$

式中: ΔP_c —喷射器出口压力升值。

f_{p1} —锥形喷嘴出口截面积。

f_3 —混合室入口截面积。

应用于 SIA-02 机组的喷射器优化设计计算结果如图 2 所示:

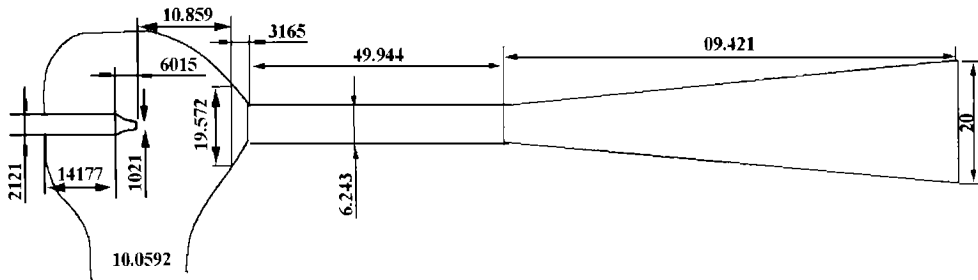


图 2 喷射器尺寸图(单位: cm)

4 喷射器的变工况分析

在实际的 PRSTIG 循环系统应用中,发生变化的参数一般只是回注比、回热比,因此对已设计完成的应用于 SIA-02 燃气轮机组的气体喷射器进行变工况分析是必要的。气体喷射器参数如表 1、图 2 所示。

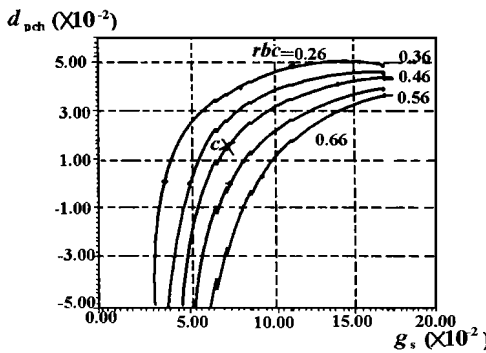


图 3 回注比、回热比对压力的影响

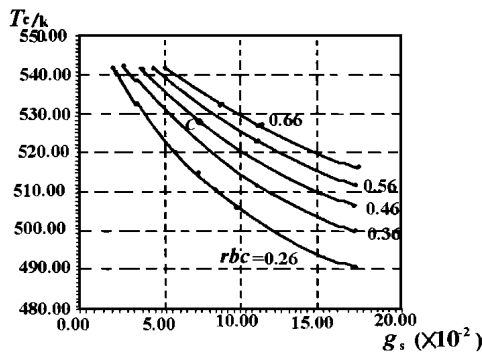


图 4 回注比、回热比对温度的影响

引射流体压力)和 T_c (喷射器出口混合气体温度)的影响,图中 C 点表示设计状态点。

如图 3,在 rbc 不变时, g_s 大于设计回注比的情况下, d_p 随 g_s 的增加而增加,升幅较缓; g_s 小于设计回注比的情况下, d_p 随 g_s 的减小而急剧下降,甚至出现 d_p 小于零的情况,即经气体喷射

器引射后,混合气体的压力低于压气机出口的压缩空气的压力。在 g_s 不变时, d_p 随 rbc 的增加而下降。 g_s 小于设计状态点, rbc 对 d_p 的影响程度急剧上升。如图 4, 在 rbc 不变时, g_s 增大, T_c 下降; 在 g_s 不变时, rbc 增大, T_c 上升。并且在功率输出不变时, 无论 g_s 、 rbc 怎样偏离设计状态点, 对 T_c 的影响程度相差不多。

由以上分析可以看出, 在回注比小于设计状态点的情况下, 气体喷射器出口压缩气体压力的变工况性能较差, 此时气体喷射器发生了阻塞现象, 工作流体已无法引射所要求的引射流体流量, 并回注比越小, 阻塞现象越严重。而回热比大于设计值时, 尽管也可能发生阻塞现象, 但由图中可以看出, 其影响并不很大。在实际应用中, 应尽量避免阻塞现象的发生, 使喷射器的出口参数能达到最佳值。而正是由此, 当注蒸汽阀关闭后, 喷射器已无法引射空气, 空气自动流入燃烧室而不流经回热器, 排除了超速现象, 能够解决回热所带来的动态响应问题。

5 结论

研究结果表明:

- (1) 为了满足 PRSTIG 循环对喷射器的要求, 采用气体喷射器较为适宜。
- (2) 对应用于 SIA-02 PRSTIG 试验装置的气体喷射器进行了优化设计, 建立了回热比、回注比、气体喷射器出口温度气体温度和压力间的关联。
- (3) 喷射器的变工况分析表明, 对于某一已设计完成的 PRSTIG 系统存在一个最小回注比, 因此 PRSTIG 循环更适用于长期以稳定工况工作的机组。

参考文献

- [1] Shigekazu Uji. Partial regenerative steam injected gas turbine. ASME, 1996-GT-331.
- [2] Е Я 索科洛夫, Н М 津格尔. 喷射器. 北京: 科学出版社, 1977.

(渠源 编辑)

(上接 266 页)

表 8 标准煤种和新煤种的颗粒最佳筛分

	粒径/ μm	100	200	400	800	1 200	2 000	3 750	10 000
标准煤种	百分比%	20	20	15	10	10	10	10	5
新煤种	百分比%	10	15	10	15	15	15	15	5

4 结论

通过煤种变换试验, 可得到以下几点有益的结论:

- (1) 煤种挥发分含量的多少是影响流化床运行的重要因素, 煤种热值高低相对影响较小。对于低挥发分煤质, 调整筛分的总原则是减少细颗粒份

额, 从理论上讲, 特指可被夹带出主床的那部分细颗粒。对于高挥发分煤质, 可参照调整主、副床燃烧份额的原则, 进行减少粗颗粒份额的调节。

- (2) 调整细颗粒份额过程中, 调整小粒径颗粒份额对流化床运行的影响要大于对稍大粒径的调整。因此, 在粗调阶段, 主要调整小粒径颗粒份额, 而在细调阶段, 主要调整稍大粒径颗粒份额。

- (3) 利用循环双流化床锅炉的仿真模型和仿真运行试验, 可以得到煤种改变后煤的最佳筛分组成, 大大缩短了现场调试时间, 提高了运行的经济性。

(渠源 编辑)

words: steam turbine, power output uprating

应用于PRSTIG循环化SIA-02燃气轮机组上的喷射器= **An Ejector Used for the Model SIA-02 Gas Turbine Unit of a Partial Regeneration Steam Injected Gas Turbine (PRSTIG) Cycle** [刊, 汉] / Wen Xueyou, Lu Ben (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(3). —269 ~ 271

A major constituent element of a partial regeneration steam injected gas turbine (PRSTIG) cycle system, the ejector was designed in adaptation for a model SIA-02 small-sized gas turbine. An analysis of the ejector design is also presented in the paper. **Key words:** partial regeneration steam injected gas turbine cycle, steam injected gas turbine cycle, ejector

油田射孔器材试验装置加热系统的数学模型与仿真分析= **Mathematical Modeling and Simulation Analysis of the Heating System of an Oil Field Perforation Equipment Test Rig** [刊, 汉] / Liu Cuiling, Wang Zicai, Sun Xingbo *et al* (Simulation Technology Research Center under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(3). —272 ~ 275, 283

Based on the technical requirements of a perforation equipment test rig concerning its ability to bear high-temperature and high-pressure, the authors have designed a well-type dual-circulation electric heating furnace. A mathematical model of the heating-furnace heat transfer process has been set up. By way of simulation an analysis was conducted of the effect of the heating system process parameters on the temperature field profile along the flow path of the furnace. Such an analysis plays a significant role in providing guidance for high-precision control and prediction of the oil temperature in the heating system. The validity of the mathematical model has been verified by the actually measured results. **Key words:** heat transfer, mathematical model, heating furnace, temperature field, simulation

锅炉过热器系统的动态仿真模型= **Dynamic Simulation Model for a Boiler Superheater System** [刊, 汉] / Chen Xiaodong, Wang Zicai (Simulation Technology Research Center under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(3). —276 ~ 277, 297

As a mechanism model can hardly reproduce the complicated dynamic characteristics of a boiler superheater system, the authors have come up with a new modeling method. The proposed method consists in taking the mechanism model as a main guide and supplementing it with an on-line correction through the use of a dynamic neural network. The results of simulation indicate that such a model building method can provide an ideal approach for the dynamic simulation of a huge complicated system. **Key words:** boiler, superheater, simulation, model building method

汽轮机本体分段式通用模块化建模与仿真= **Modeling and Simulation of a Steam Turbine Proper through the Use of a Sectionalized General-modularization** [刊, 汉] / Zhu Wei, Jiang Zikang, Cheng Fangzhen, *et al* (Department of Thermal Engineering, Qinghua University, Beijing, China, Post Code 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(3). —278 ~ 280, 293

Described in this paper is the modeling of a steam turbine proper with the help of a sectionalized general-modularization. Furthermore, with a model C50-90/13 steam turbine being selected as an example, simulation results are given of the steam turbine under various operating conditions and pertinent analyses were also performed. Currently, the above-cited model has been successfully employed for an actual simulation object. Featuring a relatively high precision and versatility in engineering applications, it is suited for simulating steam turbines under various operating conditions. **Key words:** steam turbine, simulation, general modularization, modeling

二次风喷射角度对切向燃烧炉膛出口烟气流量偏差的影响= **The Effect of a Secondary Air Injection Angle on the Deviation of Flue Gas Flow Rate at a Tangentially Fired Furnace Outlet** [刊, 汉] / Zhao Yuan, Dong Peng, Qin Yukun, *et al* (College of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2000, 15(3). —281 ~ 283

In a tangentially fired large-sized boiler there generally occurs a common phenomenon of flue gas flow deviation on the