

# 蓄热式高温带压蒸汽发生器检测与控制

高宁博<sup>1, 2</sup>, 李爱民<sup>1, 2</sup>

(1. 大连理工大学 环境与生命学院工业生态与环境工程教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024;  
2. 大连理工大学 能源与动力学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 介绍了自制蓄热式高温带压蒸汽发生器的工作原理及运行过程, 根据运行特性, 相应地提出了运行控制方案和参数检测方式。经过冷热态运行表明, 系统运行状态稳定、参数检测可靠, 为进一步的研究工作提供了可靠的基础和保障。

关键词: 高温带压蒸汽发生器; 多孔陶瓷; 检测; 控制

中图分类号: TK1 文献标志码: A 文章编号: 1002-1639(2008)01-0023-03

Detection and Control of Regenerative High Temperature Pressured Steam Generator

GAO Ning-bo<sup>1, 2</sup>, LI Ai-min<sup>1, 2</sup>

(1. Key Laboratory School of Environmental & Biological Science & Technology, Dalian University of Technology, of Industrial Ecology and Environmental Engineering, Dalian 116024, China;  
2. School of Energy & Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Mainly introduced the operational principle of the high temperature pressured steam detecting generator. Based on the features and control requirements, the running and controlling programme were stated. The detecting of cold and hot conditions, operation confirm that the stabilization of the system and the reliability of parameters detection were fine. It supply a reliable base and assurance for the study.

Key words: high temperature steam generator; porous ceramics; detection; control

生物质高温介质气化技术是将生物质转化为再生能源的一种热化学处理方法。在当前能源供应日趋紧张的情况下, 这种技术的应用日益为世界各国所重视。生物质高温介质气化技术主要分为高温空气, 高温水蒸汽和其他高温介质三种。对高温空气燃烧技术的研究国内外的报道很多<sup>[1-4]</sup>。但是, 对高温水蒸汽的研究报道并不多见。事实上, 生物质高温水蒸汽气化具有很多优点: 气化产气品质高、氢气含量高、气化产气清洁无污染、尤其是其较高的 H<sub>2</sub> 和 CO 比例是其他气化技术所不具备的。但是, 高温蒸汽的制备非常困难, 传统的换热方式不能达到要求, 这就需要探索高温蒸汽制取的新方法。本文提出的高温带压水蒸汽发生器可以克服传统方式中蒸汽温度低, 对材料要求苛刻的问题, 其关键部分在于通过两个陶瓷切换阀, 解决了系统的切换和压力问题。它作为生物质气化系统的一部分, 是整个系统的关键部件, 它的主要功能是产生 600 ~ 1 000 的过热高温带压水蒸汽。这些高温过热水蒸汽为后续气化过程提供能量、压力和气化剂。高温带压蒸汽发生器的运行控制和检测也是研究的一个重要工作, 本文主要介绍高温蒸汽发生器运行过程中的控制与检测的研究工作。

## 1 高温带压蒸汽发生器的组成及原理

高温带压蒸汽发生器是进行高温水蒸汽气化的必不

可少的设备, 它不仅可以为固定床气化炉, 移动床气化炉提供高温过热水蒸汽, 而且可以为流化床提供至少 0.2 MPa 的高温水蒸汽。其主要由供气系统、燃烧喷嘴、燃烧室、蓄热室、切换系统、引风机、温度检测系统组成。由于多孔蜂窝陶瓷比表面积大、质量、压力损失小, 换向时间长、蓄热能力强、换热充分等优点, 选用多孔蜂窝陶瓷作为高温蒸汽发生器的换热元件。燃烧室、燃烧喷嘴和蓄热室成对称结构, 左右各一个。由于本设备是一个小型装置(燃烧室体积为 100 mm × 100 mm × 200 mm), 为了使燃烧室内压力平衡, 在两侧燃烧室上开一个直径 10 mm 的出口, 为了保证水蒸汽出口的密封性, 在出口外端各安装一个常闭电磁阀。燃烧的时候电磁阀打开, 从而使燃烧室与外界形成通路。工作原理如图 1 所示。

高温蒸汽发生器工作时, 经过流量计调节的燃气和空气在 A 侧燃烧喷嘴处混合, 形成预混气体进入燃烧室, 燃烧喷嘴末端的高压电火花将预混气体点燃, 预混气体在燃烧室内稳定燃烧, 产生 1 200 ~ 1 400 的高温烟气, 高温烟气经过燃烧室进入蓄热室, 与蓄热室中的多孔陶瓷体充分进行热量交换, 陶瓷体吸收烟气中的热量, 温度上升至 1 000 以上, 而烟气温度则迅速冷却至 200 以下, 经引风机排出系统。与此同时, 从低温蒸汽发生器中产生的 120 低温饱和水蒸汽, 经由电磁阀送入 B 侧的蓄热室, 和 B 侧蓄热室中的多孔陶瓷体进行换热, 水蒸汽充分和多孔陶瓷体换热后, 温度迅速提高到 800 ~ 1 000, 形成高温过热水蒸汽, 在压力的作用下, 将 B 侧的切换阀顶开, 由出口流出。经过换热的 B 侧的陶瓷体温度下降。换向周期时间到后, 系统自动切换, B 侧燃烧室燃烧, A 侧

收稿日期: 2007-10-29; 修回日期 2007-11-14

作者简介: 高宁博(1978—), 陕西礼泉人, 博士生, 热能工程专业, 研究方向为生物质气化;

李爱民(1968—), 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为固体废弃物资源化利用。

进行换热，产生高温过热蒸汽。为了解决燃烧初期由于残留在燃烧室内的水蒸汽浓度过高而导致的点火困难的问题，燃烧喷嘴处用于平衡压力的电磁阀比控制输入燃料的电磁阀先打开 3 ~ 5 s，用于通过引风机将燃烧室内的水蒸汽排出，这样有利于点火的顺利进行。

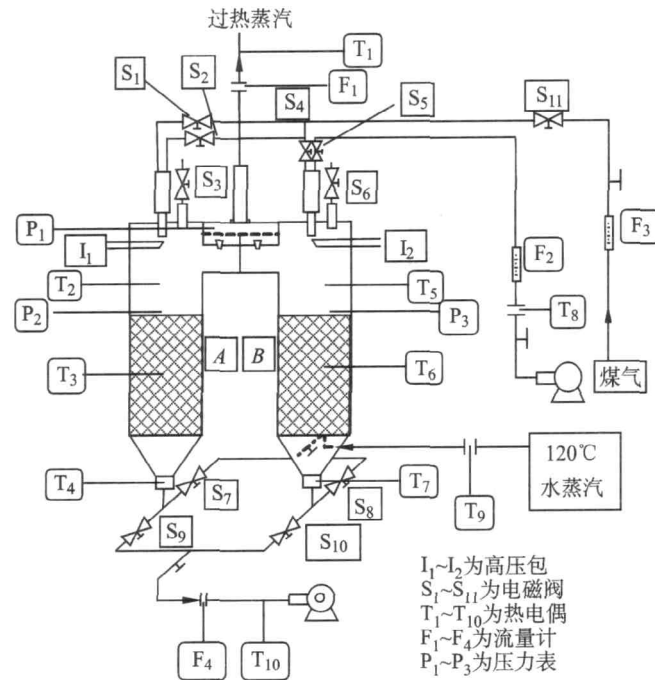


图 1 高温过热蒸汽发生器系统图

## 2 仪器仪表参数的检测

高温蒸汽发生器系统使用了大量的仪器和仪表，用以监视系统的运行参数和系统运行的稳定性。这些仪器和仪表主要是热偶、电磁阀、流量计和压力表等。如图 1 所示，控制空气、煤气和水蒸汽的电磁阀 11 个，检测燃烧室和出口处的压力表 3 个，10 个热偶和 3 个流量计。各检测仪表及其在系统中的作用见表 1。

表 1 检测仪表功能

名称	测量参数	检测目的	型号规格
电磁阀 S <sub>1</sub> , S <sub>4</sub> , S <sub>11</sub>	煤气管路进气	煤气开关	20 mm 口径
电磁阀 S <sub>2</sub> , S <sub>5</sub>	空气管路进气	空气开关	20 mm 口径
电磁阀 S <sub>3</sub> , S <sub>6</sub>	燃烧室压力平衡调节	压力调节开关	20 mm 口径
电磁阀 S <sub>7</sub> , S <sub>8</sub>	水蒸气进气控制	水蒸气开关	25 mm 口径
电磁阀 S <sub>9</sub> , S <sub>10</sub>	引风机尾气排放	引风机开关	25 mm 口径
热偶 T <sub>1</sub>	高温过热蒸汽出口温度	温度监视	S 型
高压包 I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub>	提供电火花	点火	500 V
热偶 T <sub>2</sub> , T <sub>5</sub>	两侧燃烧室温度	点火监视	S 型
热偶 T <sub>3</sub> , T <sub>6</sub>	两侧蓄热体温度	温度监视	S 型
热偶 T <sub>4</sub> , T <sub>7</sub>	炉体末端出口温度	温度监视	K 型
热偶 T <sub>8</sub>	空气进口温度	温度监视	K 型
热偶 T <sub>9</sub>	低温饱和水蒸气进口温度	温度监视	K 型
热偶 T <sub>10</sub>	排出系统终温	温度监视	K 型
涡街流量计 F <sub>1</sub>	高温过热水蒸气出口流量	流量监视	1 ~ 3 m <sup>3</sup> /h
玻璃转子流量计 F <sub>2</sub>	空气进口流量	流量监视	0.25 ~ 2.5 m <sup>3</sup> /h
玻璃转子流量计 F <sub>3</sub>	煤气进口流量	流量监视	0.25-2.5 m <sup>3</sup> /h
涡街流量计 F <sub>4</sub>	系统出口流量	流量监视	1 ~ 3 m <sup>3</sup> /h
压力表 P <sub>1</sub>	高温水蒸气出口压力	压力监视	0 ~ 0.6 MPa
压力表 P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub>	燃烧室压力	压力监视	0 ~ 0.6 MPa

燃烧使用液化天然气（煤气）作为燃料，煤气流量的测定使用 LZB-10 型玻璃转子流量计（量程为 0.25 ~ 2.5 m<sup>3</sup>/h），由于玻璃转子流量计的刻度是在绝对压力为 101 350 Pa，20 °C 的状态下，使用空气作为工作介质标定的，所以必须对流量的读数进行修正，修正公式为

$$Q_s = Q_N \sqrt{\frac{\rho_n p_N T_s}{\rho_s p_s T_N}}$$

式中： $Q_s$  为使用状态下容积流量； $Q_N$  为标准状态下容积流量； $\rho_n$  为分度时介质密度； $\rho_s$  为被测介质密度； $p_N$  为标准状态下气体绝对压力； $p_s$  为被测气体绝对压力； $T_s$  为标准状态下气体绝对温度； $T_N$  为标准状态下气体绝对温度。

## 3 控制要求及方案

在高温过热蒸汽发生器系统中，由于存在很多用于检测和控制的仪器仪表，对这些仪器仪表的合理布置和控制是整个系统运行的关键<sup>[5]</sup>。系统中对燃烧烟气的排放和低温饱和蒸汽的输入控制直接关系系统能否稳定工作。如图 1 所示，电磁阀 S<sub>7</sub>, S<sub>8</sub>, S<sub>9</sub> 和 S<sub>10</sub> 分别控制低温饱和水蒸汽的输入管路和引风机烟气排出管路。它们之间的相互切换保证了燃烧和水蒸汽换热的稳定进行。

### 3.1 控制要求

根据系统原理，各元件的动作次序主要如下：在 A 侧，电磁阀 S<sub>9</sub> 打开的同时，S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>8</sub> 和 S<sub>11</sub> 打开，为了降低燃烧室内上一个周期的残余的水蒸汽浓度，以便于点燃预混气体，大约 5 s 后打开 S<sub>1</sub> 和 I<sub>1</sub>，这时，A 侧燃烧室开始燃烧，如果热偶 T<sub>2</sub> 检测的温度低于 600 °C，则关闭电磁阀 S<sub>11</sub>。与此同时，在 B 侧，电磁阀 S<sub>8</sub> 打开，低温饱和水蒸汽经由蓄热室、燃烧室冲开陶瓷切换阀阀门排出系统，这时就得到 800 ~ 1 000 °C 的高温过热带压清洁水蒸汽。经过 30 s 的燃烧周期后，系统切换，电磁阀 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>9</sub> 关闭，S<sub>5</sub>, S<sub>6</sub>, S<sub>7</sub> 和 S<sub>10</sub> 打开，5 s 后 S<sub>4</sub> 和 I<sub>2</sub> 同时打开，B 侧燃烧时开始燃烧产生高温烟气，低温饱和水蒸汽进入 A 侧蓄热室进行换热成为高温过热水蒸汽，经 A 侧燃烧室和陶瓷切换阀阀门排出系统，经过 30 s 后，A 侧燃烧室开始燃烧，重复以上过程。系统元件控制时序如图 2 所示。

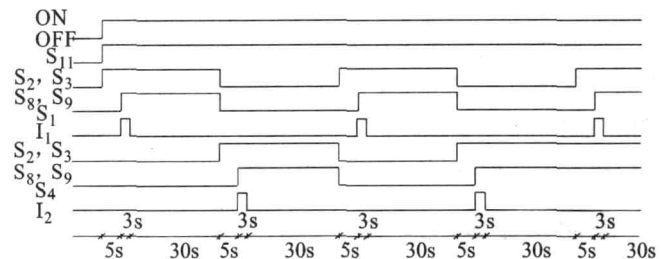


图 2 系统元件控制时序

### 3.2 控制电路的设计

由于系统中存在不少控制元件，基于简便、实用的目的，使用 2 个 JS14S 型和 2 个 JSZ3 (ST3) 型时间继电器作为计时器，4 个 CJX2-1210 型交流接触器和中间继

电器组成系统控制电路<sup>[6-8]</sup>。控制电路示意图见图 3。

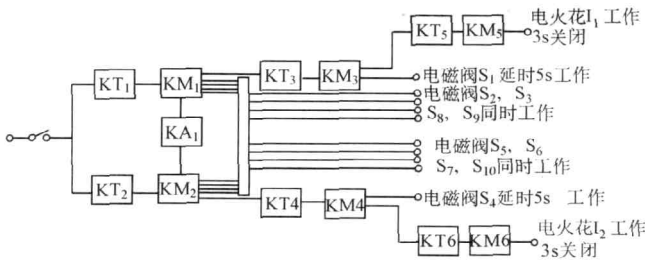


图 3 控制电路示意图

### 3.3 运行过程及结果

闭合开关后，A 侧，KM<sub>1</sub>常开触点闭合，时间继电器 KT<sub>1</sub>开始计时，电磁阀 S<sub>2</sub>，S<sub>3</sub>，S<sub>8</sub>，S<sub>9</sub>获得工作信号同时工作；KT<sub>3</sub>计时 5 s 后常开触点闭合，KM<sub>3</sub>常开触点闭合，电磁阀 S<sub>1</sub>开始工作，电火花 I<sub>1</sub>点火；KT<sub>5</sub>计时 3 s 后常闭触点打开，KM<sub>5</sub>线圈失电，这时 A 侧燃烧室开始燃烧。在 A 侧燃烧室运行的同时，在 B 侧，低温饱和水蒸汽经电磁阀 S<sub>8</sub>进入蓄热室，与多孔陶瓷充分换热，形成高温过热水蒸汽冲开 B 侧陶瓷阀排出系统，生成高温过热水蒸汽。30 s 后，KT<sub>1</sub>常闭触点打开，KM<sub>1</sub>线圈失电，电磁阀 S<sub>1</sub>，S<sub>2</sub>，S<sub>3</sub>，S<sub>8</sub>和 S<sub>9</sub>关闭，A 侧燃烧室燃烧停止。B 侧 KM<sub>2</sub>常开触点闭合，KT<sub>2</sub>开始工作，电磁阀 S<sub>5</sub>，S<sub>6</sub>，S<sub>7</sub>，S<sub>10</sub>开始工作，5 s 后常开触点闭合，KM<sub>4</sub>得电，常开触点闭合，S<sub>4</sub>工作，电火花 I<sub>2</sub>点火；同时 KT<sub>6</sub>计时 3 s 后 KM<sub>6</sub>常闭触点打开，B 侧燃烧室开始燃烧。再经过 30 s 后，完成一个运行周期，系统重复上述过程。

在运行过程中，如果热电偶 T<sub>2</sub>，T<sub>5</sub>在点火时检测到燃烧室温度低于 600 时，则认为点火失败，电路控制自动关闭电磁阀 S<sub>11</sub>进行检查。

图 4 是周期为 120 s 的高温水蒸气生产曲线图。从图 4 中可以看出，B 侧燃烧室燃烧时，炉体 A 侧管路进行水蒸汽的换热。在前 60 s 左右，由于低温饱和水蒸汽的反吹，蓄热室储蓄的热量得到释放，低温蒸汽经过多孔蜂窝陶瓷进行充分换热，水蒸汽温度从 120 迅速升至 1050，在这个过程中，蓄热室温度降低至 860。在后 60 s 内，燃烧器工作，蓄热室重新蓄热，温度上升。与此同时，另一侧蓄热室的工作方式恰好相反。

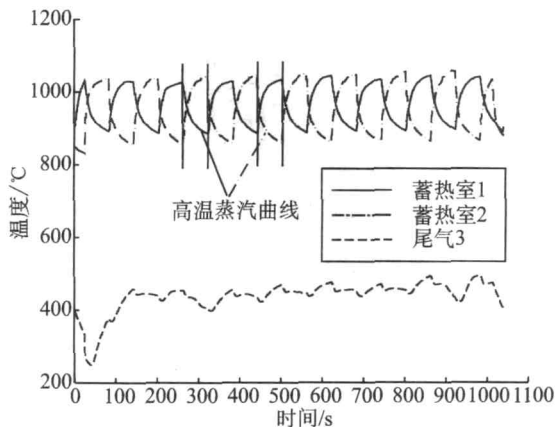


图 4 周期为 120 s 的高温带压水蒸气生产曲线

## 4 结 论

本文是自行设计研制的高温带压蒸汽发生器的控制和检测。工业生产中，纯净高温带压水蒸汽制取非常困难，本系统很好的解决了这个问题，大型化以后可以满足工业需求。本系统作为一种新技术，已经申请了发明专利（专利号 200610200415.9），通过对系统的实验冷、热态运行，结果显示，系统运行良好，电路元件的控制和系统参数的检测良好，设计合理可靠，运行结果良好。

### 参考文献：

- [1] 李振宇, 李智明, 陈晓红. 等离子体发生器内高温空气化学反应流场分析 [J]. 热能动力工程, 2003, 18 (4): 402-406.
- [2] SUGIYAMA S, SUZUKI N, KATO Y, et al. Gasification Performance of Coals Using High Temperature Air [J]. Energy, 2005, 30 (2-4): 399-413.
- [3] 曹小玲, 李远禄, 翁一武. 高温空气发生器的分析与探讨 [J]. 工业炉, 2004, 26 (2): 6-9.
- [4] PEDERSEN MJAANES H, CHAN L, MASTORAKOS E. Hydrogen Production from Rich Combustion in Porous Media [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2005, 30 (6): 579-592.
- [5] 黄学章, 周子民, 蒋绍坚, 艾元芳, 程树棋, 吴创之. 高温空气发生器检测与控制研究 [J]. 自动化仪表, 2003, 24 (6): 8-10.
- [6] 许 蓼, 王淑英. 电器控制与 PLC 控制技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [7] 吴勤勤. 控制仪表及装置 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [8] 刘元扬, 刘德溥. 自动检测和过程控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997.

WZ003233 碳氮共渗电阻炉——《Industrial Heating》，2007，V. L No.1, 31 (英)

美国辛辛那提热处理厂从加拿大蒙特利尔市 Process-Electronic 公司购进一台铁素体碳氮共渗电阻炉及其过程控制系统，供货范围还包括另外一台均热炉的改造设备，如燃气控制装置、气体分析仪、炉子抽气系统和炉子超温过热保护系统。对于渗氮和碳氮共渗工艺，采用 Protherm 500 型可编程控制器实行过程控制，其软件程序采用 Protherm 9800 SCADA 软件包，它能自动监控渗氮和碳氮共渗工艺全过程，使炉子性能达到最佳。该炉子将于 2007 年底投产。

[花 皓 摘]

WZ003234 新型真空炉——《Industrial Heating》，2007，No.1, 32 (英)

美国阳光制造公司最近接受美国西俄亥俄航空发动机厂的订单，为后者制造一台新型 HFL-6672-2EQ 型真空炉。该炉子的炉膛尺寸为：宽 × 高 × 深 = 1 000 mm × 1 000 mm × 1 800 mm，工作温度 1 500，炉料最大重量 1 800 kg。该炉特点是热效率高，它的石墨隔离热区包括 4 层 13 mm 厚的 WDF 级石墨毡，外部气淬系统包括 110 KW 电动机 (3 600 r/min)、径向风扇轮和扩散泵。控制设备包括美国 AB 公司生产的 PLC 系统和 15 英寸的触摸屏显示器。图 1

[花 皓 摘]