

镇江发电厂 600 MW 超临界锅炉稳压冲管参数分析

陈志兵, 张海潮, 花茂来

(江苏省电力试验研究院, 江苏 南京 210036)

摘 要: 镇江发电厂 5 号 600 MW 超临界直流锅炉稳压冲管分离器压力选择在 5.0~5.5 MPa。点火升压冲管时, 在大气扩容式启动系统中, 给水量从 600 t/h 上升到 800 t/h, 回收水量随分离器压力升高而很快下降。汽水膨胀期分离器水位可升至 6 000 mm 左右。过热器、再热器冲管系数分别为 1.3 和 2.0 以上, 可达较好冲管效果。增加燃烧率和缓开冲管可防止分离器水位大起大落。持续稳压冲管时分离器蒸汽过热度控制在 20 °C 左右, 利用减温水控制过热器和再热器出口温度, 防止超过材料温限。

关 键 词: 大气扩容式启动系统; 超临界直流锅炉; 稳压冲管

中图分类号: TK229.5 文献标识码: B

1 锅炉概述

镇江发电厂 5 号锅炉为超临界参数变压运行螺旋管圈直流炉, 单炉膛、一次中间再热、采用四角切圆燃烧方式、平衡通风、固态排渣、全钢悬吊结构 II 型、露天布置燃煤锅炉。设计煤种为神府煤, 校核煤种为晋北煤。锅炉主要设计参数见表 1。

表 1 锅炉主要设计参数

	BMCr
主蒸汽流量 / $t \cdot h^{-1}$	1 910
主蒸汽温度 / $^{\circ}C$	571
主蒸汽压力 /MPa(g)	25.4
再热蒸汽流量 / $t \cdot h^{-1}$	1 614
给水温度 / $^{\circ}C$	282
再热器进口压力 /MPa(g)	4.54
再热器进口温度 / $^{\circ}C$	317
再热器出口压力 /MPa(g)	4.33
再热器出口温度 / $^{\circ}C$	569

2 主要系统及设备

2.1 大气扩容式启动系统

收稿日期: 2005-06-13; 修订日期: 2005-07-25

作者简介: 陈志兵(1974-)男, 江苏泰兴人, 江苏省电力试验研究院工学硕士。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

锅炉采用大气扩容式启动系统如图 1 所示。炉前沿宽度方向垂直布置 2 只外径/壁厚为 813/104.8 mm 的汽水分离器, 其进出口分别与水冷壁和炉顶过热器相连接。每个分离器筒身上方切向布置 4 根不同内径的进口管接头、2 根内径为 225.4 mm 至炉顶过热器管接头和一个内径为 225.4 mm 疏水管接头。当机组启动时, 锅炉负荷低于最低直流负荷 30% BMCr 时, 蒸发受热面出口的介质流经分离器进行汽水分离, 蒸汽通过分离器上部管接头进入炉顶过热器, 而水则通过两根外径为 324 mm 疏水管道引至一个连接小球, 连接小球下方设有两根管道分别通至除氧器和大气扩容器, 管道上调节阀分别为 NWL 阀、HWL1 阀和 HWL2 阀, 可根据不同工况控制分离器水位和对工质和热量的回收。在大气扩容器中, 蒸汽通过管道在炉顶上方排向大气, 水则通过回收水泵进入冷凝器储水箱。

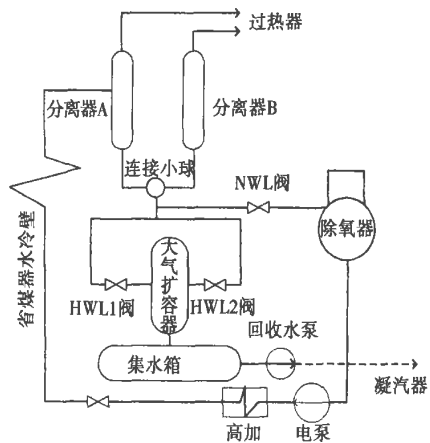


图 1 启动系统示意图

2.2 燃烧系统

采用从美国阿尔斯通能源公司引进的低 NO_x 同轴燃烧系统(LNCFSTTM)技术, 主风箱设有 6 层强化

着火(ED)煤粉喷嘴,在煤粉喷嘴四周布置有燃料风(周界风),在每相邻2层煤粉喷嘴之间布置有1层辅助风喷嘴—包括上下2只偏置的CFS喷嘴。在主风箱上部设有2层CCOFA(紧凑燃尽风)喷嘴,在主风箱下部设有1层UFA(火下风)喷嘴,主燃烧器与炉膛出口之间布置有SOFA风箱。LNCFS具有如下技术特点:

- (1)能降低 NO_x 排放;
- (2)具有优异的不投油低负荷稳燃能力;
- (3)具有良好的煤粉燃尽特性;
- (4)能有效防止炉内结渣和高温腐蚀;
- (5)在降低炉膛出口烟温偏差方面具有独特效果。

2.3 制粉系统

制粉系统采用中速磨煤机冷一次风压正压直吹式制粉系统。配有6台磨煤机、6台给煤机和2台一次风机。磨煤机为HP1003型中速磨煤机。单台磨煤机保证出力为54.9 t/h,最小出力为15.25 t/h。给煤机为CS2024HP型电子称重式给煤机,最大出力85 t/h,利用调节转速来改变出力。

3 冲管参数选择及主要流程

由于锅炉没有汽包,锅炉热储存能力小,为了确保冲管效果,采用投粉稳压冲管。冲管参数选择必须要保证在蒸汽冲管时所产生的动量大于额定负荷时的动量,根据锅炉分离器至汽轮机的各管道及各受热面的额定参数、临时管道材质等条件,在保证冲管系数的前提下,稳压冲管分离器压力范围定为5.0~5.5 MPa,冲管时要严格控制主汽温度在427℃范围内,以使再热蒸汽温度通过减温水可以减至480℃以内,满足再热器材质要求。

主要冲管流程为:分离器→各级过热器→过热器集汽集箱→主蒸汽管道→高压主汽阀门室→临时管→临冲阀→临时管→低温再热管路(集粒器)→各级再热器→高温再热管路→中压蒸汽阀门室→临时管→消音器→排大气。在进入消音器前安装考核靶板装置,冲管至靶板考核合格为止。

4 冲管过程

(1)锅炉启动时炉本体清洗阶段中,进入汽水分离器的给水通过HWL1、HWL2阀进入大气式扩容器排放至地沟,待给水品质合格后,回收水泵投入运行,回收水泵由疏水箱水位开关实现自启停,以回收

工质。此时汽水分离器水位切换可由NWL阀控制,疏水至除氧器,回收工质和热量。当循环清洗进行到省煤器入口水质含铁量 $\text{Fe} < 50 \times 10^{-9}$,分离器出口含铁量 $\text{Fe} < 100 \times 10^{-9}$ 时,锅炉清洗完成可进入点火阶段。

(2)锅炉湿态运行时,汽水分离器水位由NWL阀自动维持调节,当汽水分离器水位高于NWL阀调节范围时(如锅炉汽水膨胀)再由HWL1、HWL2阀相继参与调节,以维持分离器正常水位;水位下降之后,HWL1、HWL2阀相继关闭,然后再由NWL阀调节和维持分离器正常水位。随着燃料量增加到30%锅炉最大负荷以上时,锅炉蒸汽量不断增加直至所有给水在水冷壁内直接变成蒸汽,汽水分离器由湿态运行逐渐转变为干态运行,此时分离器仅作蒸汽通道,HWL1、HWL2、NWL阀均呈关闭状态,且其各自隔离阀也联锁关闭,启动旁路系统退出系统。

(3)在满足升温速度要求的前提下投入油枪,升压至0.4~0.7 MPa时,维持锅炉压力,进行热紧螺丝和仪表管冲洗工作,然后再升压。升温升压速率可按锅炉冷态启动曲线进行。当油枪无法支持分离器压力继续上升时,顺序投入B磨、C磨和A磨,直至升到冲管压力5 MPa以上,此时入炉煤量大约在120 t/h左右。

(4)首次冲管之前应进行暖管试吹。当分离器压力达到2 MPa和4 MPa时,打开临冲门旁路阀,连续投用主汽、热再、冷再等永久性管道上的疏水阀,进行暖管疏水;同时防止因管道内积水而发生水击。逐步升高试吹压力,检查临冲系统膨胀通畅与否,并且加强分离器水位、温度监视,探索锅炉水位以及燃水比调节特性。

(5)冲管过程中,应随时检查管路支吊架及临时管路加固情况。随时监视受热面壁温不能超过材料所能承受的温度范围。随时检查有无蒸汽漏入汽轮机现象。汽缸内壁温度测点投用,以监视缸温。根据制水量稳压冲管1 h左右进行12 h停炉冷却,冷却过热器、再热器及其管道,提高冲管效果。空预器吹灰每1~2 h进行一次,防止尾部烟道发生二次燃烧;并应经常检查炉内燃烧情况,防止不完全燃烧。

5 冲管过程参数分析

5.1 给水量和回收水量

为保证水冷壁水动力循环稳定和安全,锅炉冷态启动初期也要保证相应给水量(定值为570 t/h)。

图 2 为某次冲管参数变化曲线(虽然各次冲管参数在数值上会略有不同, 但该曲线足可反映各次冲管时参数变化趋势和估测同类炉子冲管参数的大致范围, 下同)。由图 2 可见, 分离器压力较低期间(小于大约 3.5 MPa), 给水流量在 600 t/h 左右进行给水。此时入炉煤量大约 65 t/h 左右, 蒸发量不大, 所以回收水量大于 200 t/h, 尤其在起压初期回收水量可达 400 t/h。在水质合格前提下, 冲管期间回水进入除氧器进行工质和热量回收, 假如除氧器压力或者容量无法承受, 则通过大气扩容器经过回收水泵打入凝汽器。随着分离器压力的进一步升高, 此时回水水量会很快下降, 正式冲管时分离器内部已是微过热蒸汽, 锅炉转成直流运行状态, 启动系统切为备用。为了维持分离器压力升高和温度的微过热态, 此时需增大电泵给水量和燃料量, 正式冲管时(分离器压力大于 5 MPa), 锅炉给水量可达 800 t/h 左右。

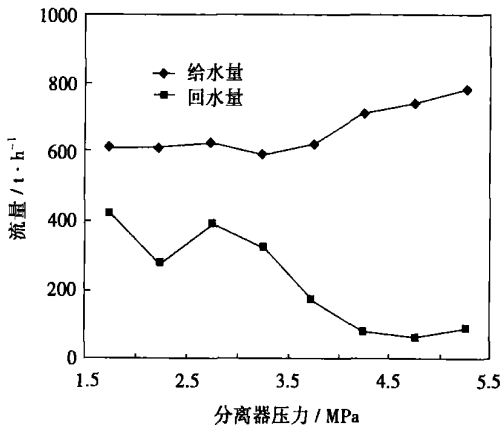


图 2 给水和回水流量变化曲线

5.2 分离器水位

内置式分离器在启动系统中进行汽水分离, 同时贮存回水, 为防止分离器中水漫入顶棚过热器, 控制好分离器水位十分重要。由水和水蒸气性质而言, 同一压力和温度下, 饱和水要比饱和蒸汽比容小很多, 尤其是在温度较低时相差会更大。因此, 锅炉冷态启动时, 由于部分给水在水冷壁中相变成蒸汽, 表现为贮水箱和分离器的汽水混合物体积会发生膨胀, 也就是所谓汽水膨胀期^[1]。如图 3, 分离器参数为 2 MPa/220 °C 时给水流量为 610 t/h 时, 汽水处于膨胀期, 此时分离器水位上升很快, 3 min 之内分离器 A/B 的最高水位可达 6 638/5 973 mm。随着分离器压力提高, 渡过汽水膨胀期后, 水位很快回落到 2 000 mm 左右。由于是虚假水位, 水位上升时不应减少给水, 而应打开 HWL1 和 HWL2 阀积极进行工

质回收。

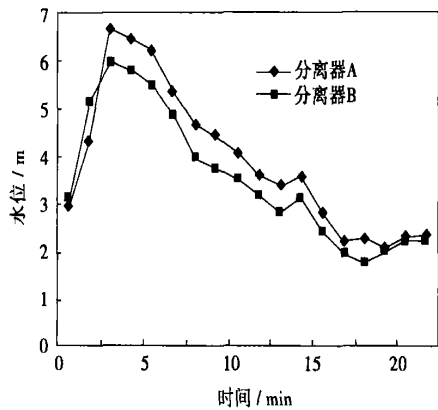


图 3 分离器水位变化曲线

5.3 过热器、再热器压力

由图 4 可见, 从投入油枪点火到依次投入 B、C、A 层磨, 分离器压力为 1.95~5.26 MPa, 过热器出口和再热器进出口压力基本均处于上升态势, 达到冲管压力之后, 保持 1h 左右进行稳压冲管。为防止水位波动, 在投磨和增加煤粉量时要视分离器压力上升情况适当开启临冲门, 通过压力释放抵消部分压力上升, 保证分离器压力平滑上升。在 BMCR 工况下, 从分离器出口到过热器出口的压降约为 1.7 MPa, 再热器进出口压降大约为 0.2 MPa。由图 4 可知稳压 5.26 MPa 冲管时, 过热器出口压力为 3.23 MPa, 再热器的进出口压力为 1.39 MPa/0.94 MPa, 通过差压法计算冲管系数分别为 1.3 和 2.0 以上, 可以达到较好冲管效果。

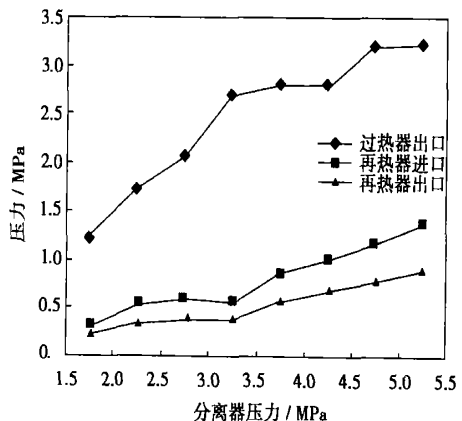


图 4 压力变化曲线

5.4 临冲门开度

稳压冲管前打开临冲门时, 由于临冲系统阻力

特性改变, 蒸汽流速流量均增大, 会引起管道上游压力降低和下游压力升高, 分离器水位会有较大波动。如图 5 所示, 当临冲门开度为 25%、45% 和 100% 时, 压力曲线上都是开大一次临冲门, 分离器、过热器出口压力降低而再热器出口压力升高。在开度为 70% 时, 由于投磨后将分离器压力顶了上去。因此为防止开临冲门时水位大起大落, 一是要在分离器压力上升过程中慢慢不断地打开临冲门, 直至全开, 然后增加 A、B、C 层煤粉量顶到冲管压力稳住工况, 进行大约 1h 的冲管过程。二是要在投磨时和增加入炉粉量时打开临冲门, 以期燃烧率增加引起分离器、过热器出口压力的增加来抵消打开临冲门导致分离器、过热器出口压力降低。

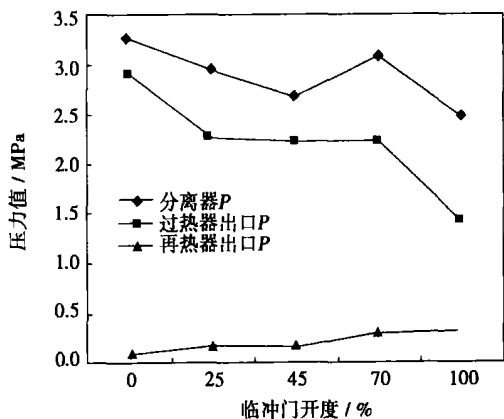


图 5 临冲门开度变化曲线

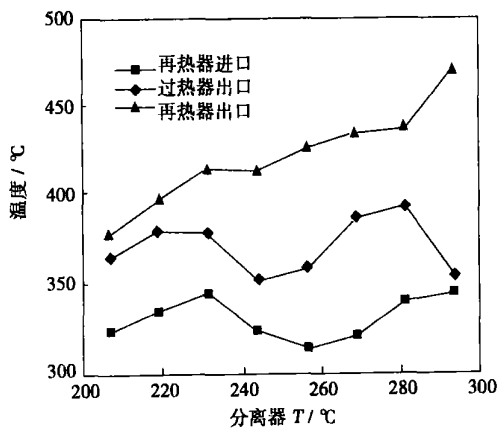


图 6 温度变化曲线

5.5 汽温控制及减温水

进入稳压冲管阶段时, 锅炉已进入直流运行阶段。此时汽温控制首先要控制好中间点分离器的温度, 也就是控制好燃水比, 根据分离器汽水参数判断工质状态, 当分离器中蒸汽过热度超过 20 °C 时, 说明此时相对于锅炉给水而言入炉燃料较多, 需增加给水以维持分离器工质的微过热态。其次, 分离器后面的过热器和再热器温度控制要随时通过投入减温水对过热器出口汽温和再热器出口温度两个节点进行控制。图 6 为图 5 对应的温度变化曲线, 再热器温度基本处于上升态势, 而过热器出口温度起伏较大, 这是由于过热器减温水控制的结果。如图 6 中当分离器温度为 270 °C 时, 过热器温度为 394 °C, 再热器出口温度还在不断上升, 此时需将一、二级过热器减温水开大, 降低过热器出口温度至 355 °C, 从而控制再热器出口温度至 472 °C, 防止超过再热器材料温限。

6 结 论

(1) 600 MW 超临界机组在我国处于推广应用期, 由于不带汽包, 与以往采取的降压冲管不同, 投粉稳压冲管技术对于超临界机组调试具有普遍意义。

(2) 大气扩容式启动系统在超临界机组启动系统中具有水位调节相对容易, 回收给水和启动热量的优点, 对于冲管调试具有较好的经济性。

(3) 启动时控制好分离器水位关键在于 NWL、HWL1 和 HWL2 阀早投自动。转直流后控制好分离器温度, 可以在冲管期间保证锅炉安全, 其中控制燃水比及稳定汽压是关键。

(4) 实践证明, 在所选参数下经 8 天共 16 次稳压冲管, 其考核靶板满足要求, 冲管效果良好。

参考文献:

[1] 杨 冬, 陈昕宽, 侯书海, 等. 超临界直流锅炉启动过程汽水膨胀的研究[J]. 热能动力工程, 1998, 13(3): 161-164.

(何静芳 编辑)

若干天然气联合循环电站实例的经济性= **The Cost-effectiveness of Several Engineering Projects Featuring Natural Gas-fired Combined Cycle Power Plants** [刊, 汉] / ZHAO Zhen, CHEN Rui-juan (China United Engineering Co. under the Second Design Research Academy of Machine-building Ministry, Hangzhou, China, Post Code: 310022) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, — 2005, 20(6). — 632 ~ 635

Through the tech-economic analysis of several specific projects, including their construction scale and estimated capital investment it is expounded that natural gas-fired combined cycle power plants require a relatively small capital investment and involve a shorter construction period. However, the relatively high price of natural gas has led to a higher power generation cost and an excessively low profitability, showing that proper support from government authorities is still necessary for the development of natural gas-based power generation. Furthermore, from the viewpoint of natural gas resources and relevant equipment requirements, etc discussed are the feasibility of natural gas power plant construction and some existing problems. The issues relating to natural-gas supply assurance and safety operation are also mentioned with appropriate measures for solving them being proposed. **Key words:** natural gas-fired power generation, combined cycle power plant, investment and economic analysis

燃气轮机余热锅炉饱和蒸汽减温时过热器热力计算特点= **Superheater Thermodynamic Calculation Features in the Case of Saturated Steam Attenuation in a Gas-turbine Waste Heat Boiler** [刊, 汉] / ZHENG Xin-wei, WANG Ji-rui (Institute of Power and Nuclear Energy Engineering under the Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), SONG Yan (Heihe City Technical Quality Supervision Bureau, Heihe, China, Post Code: 164300) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, — 2005, 20(6). — 636 ~ 638

On the basis of building a desuperheating model the attenuation performance features are analyzed along with an assessment of their impact on the superheater thermodynamic performance and the layout of its heating surfaces. Alongside with the description of the thermodynamic calculation method of the superheater under this model a formula has been derived for calculating the major thermodynamic data, which are put to use in a planned engineering project. In conjunction with the analysis of the calculation results for an engineering example the role played by the method under discussion is expounded, pointing out that during the assignment of calculation operating conditions for the gas-turbine waste heat boiler the features of the variation of local atmospheric parameters should be taken into account. This is essential to ensuring the comprehensiveness of the operating conditions being calculated. **Key words:** gas-turbine waste heat boiler, attenuation of saturated steam, superheater thermodynamic calculation, specific features

镇江发电厂 600 MW 超临界锅炉稳压冲管参数分析= **An Analysis of the Parameters of Stable-pressure Steam Purging for a 600 MW Supercritical Boiler at Zhen Jiang Power Plant** [刊, 汉] / CHEN Zhi-bing, ZHANG Hai-chao, HUA Mao-lai (Jiangsu Provincial Test & Research Institute of Electric Power, Nanjing, China, Post Code: 210036) // *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, — 2005, 20(6). — 639 ~ 642

The separator pressure of stable-pressure steam purging for a No. 5 600 MW supercritical once-through boiler at Zhenjiang Power Plant has been selected at 5.0 MPa to 5.5 MPa. During the steam purging when pressure is boosted for ignition the feedwater flow rate in a startup system of the atmospheric flash-off type was raised from 600 t/h to 800 t/h. The recovered water flow rapidly diminished with a rise in the separator pressure. The water level of the separator at the time of va-

por-water swelling might rise to about 6000 mm. The steam-purging factor of the superheater and reheater is respectively greater than 1.3 and 2.0, thus contributing to a relatively high steam-purging effectiveness. By increasing the combustion rate and slowly opening a temporary purging valve it is possible to prevent the drastic rise and lowering of the separator water level. During a sustained stable-pressure steam purging the steam superheating of the separator has been controlled at about 20 °C. Desuperheating water was used to control the superheater and reheater outlet temperature, thereby preventing the materials from being subjected to an excessively high temperature. **Key words:** startup system of the atmospheric flash-off type, supercritical once-through boiler, stable-pressure steam purging

船用蒸汽动力装置机炉协调系统的总体结构设计 = **The Design of an Overall Construction Scheme of a Turbine-boiler Coordinated Control System for a Marine Steam Power Plant** [刊, 汉] / ZHANG Shao-kai (Naval Representative Office Resident at No.426 Factory, Dalian, China, Post Code: 116000), LU Shu-ju, LIU Huan (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, — 2005, 20(6). — 643 ~ 646

Through the analysis of a commonly used turbine-boiler coordinated control system and in conjunction with the specific conditions of and the implementation feasibility for a marine boiler and steam turbine presented is a control mode and overall construction design scheme for a marine turbine-boiler coordinated control system. The theory of turbine-boiler coordinated control theory is analyzed and the configuration of main control modules given. **Key words:** marine, main boiler, main steam turbine, coordinated control

燃气轮机进气系统结霜分析及对策 = **Analysis of and Countermeasures Taken for the Frosting of a Gas-turbine Air-inlet System** [刊, 汉] / CHEN Ren-gui (China Petroleum Talimu Oil Field Co., Kule, Xinjiang, China, Post Code: 841000), TAO Yue (Wuxi Division of No. 703 Research Institute, Wuxi, China, Post Code: 214151) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, — 2005, 20(6). — 647 ~ 649

The safe operation of a gas turbine will be seriously affected when frosting occurs at the gas turbine air-inlet system. The generation mechanism of such a frosting is analyzed and measures for coping with it are put forward, which can serve as a useful reference for gas turbine users and design-packaging units. **Key words:** gas turbine, air inlet system, frosting

燃气轮机性能试验用的康氏水力测功器 = **Kahn Hydraulic Dynamometers for Performance Testing of Gas Turbines** [刊, 汉] / Gerhard Merkle (Kahn Industries, Inc., Wetherisfield, USA, ct 06109) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, — 2005, 20(6). — 650 ~ 654

QPY 油气润滑技术—在小功率燃气涡轮发电机、涡轮压缩机上的应用设想 = **Oil-gas Lubrication Technology for Low-duty Gas-turbine Generator Sets and Turbo-compressors** [刊, 汉] / ZHANG Chun-lin (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), JIANG San-yong (Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, — 2005, 20(6), — 655 ~ 656