

# 柴—燃联合动力装置中 S.S.S. 离合器 动态特性实验研究

田 颖, 牛中毅, 张正一, 孙聿峰

(哈尔滨工程大学 动力与核能工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘 要:** 对原有的柴—燃联合动力装置(CODOG)实验台进行了改进, 在不同负荷、S.S.S. 离合器不同阻尼、不同切换转速差等因素对柴油机与燃气轮机切换过程中的动态性能影响进行了研究, 得出了 S.S.S. 离合器位移曲线图以及一些有意义的结论。

**关 键 词:** CODOG 动力装置; S.S.S. 离合器; 动态特性

中图分类号: U664.16 文献标识码: A

## 1 引言

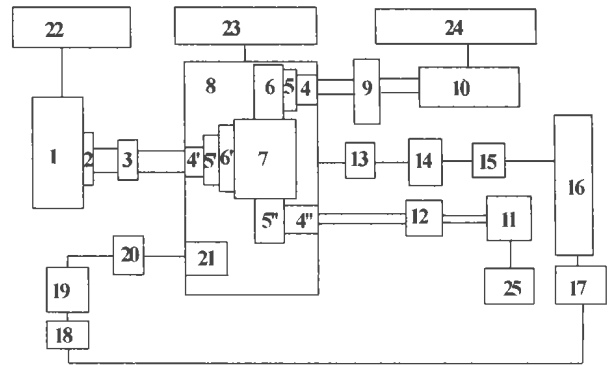
对柴—燃联合动力装置(CODOG)主机切换过程的研究发现, 该装置的柴油机及燃气轮机的功率、转速及负载转换控制、S.S.S 离合器的动态性能指标、发动机控制等问题是影响船舶机动性及操纵性的重要因素, 因此对 CODOG 推进系统驱动方式切换过程的实验研究具有重要意义。在有些航速下要求迅速增加航速, 此时将要发生主机切换, 主机切换完成后, 仍要维持 16 节航速, 整个过程约需 45 s。调距桨的反应和完成动作约需 22 s, 通过在现有 CODOG 实验台上对 S.S.S. 离合器动态特性进行实验研究, 已经得到了切换过程中的许多重要数据, 从初步的实验结果看, 切换过程在极短的时间(不超过 3 s)内就完成了, 冲击扭矩也在允许的范围内, 因此改变现有 45 s 的切换时间具有可行性, 还须对此结果进行验证作更深入的研究, 提高柴—燃联合动力装置的机动性还有很大的余地和广阔的前景。

## 2 改进的 CODOG 动力装置实验台

CODOG 动力装置实验台总体布置如图 1 所示。

CODOG 实验台由 N6135ZICZ 柴油机、S1A-02 甲燃气轮机、并车齿轮箱、液力耦合器、电涡流测功器、齿轮箱滑油系统及一些辅助设备组成。并车齿轮箱是 CODOG 动力装置实验台最关键的部分之

一, 包括八轴十一个齿轮, 两台 S.S.S. 离合器和保障安全工作的润滑系统以及扭矩、转速、位移测量系统。



1—S1A-02 甲燃机; 2—燃机原有减速箱; 3—轮胎式联轴器; 4、4'、4''—分别为柴油机、燃机及输出轴的扭矩测量系统; 5、5'、5''—分别为柴油机、燃机及输出轴的集流环; 6、6'—分别为柴油机端及燃机端的 S.S.S. 离合器; 7—传动齿轮; 8—并车齿轮箱; 9—液力耦合器; 10—N6135ZICZ 柴油机; 11—电涡流测功器; 12—弹性联轴器; 13—滑油滤清器; 14—滑油回油泵; 15—滑油冷却器; 16—润滑油箱; 17—滑油输油泵; 18—滑油压力控制阀; 19—油压表; 20—油温表; 21—滑油分配器; 22—燃机控制台; 23—CODOG 测试控制系统; 24—柴油机控制台; 25—电涡流测功器控制柜

图 1 CODOG 实验台总体布置框图

S.S.S. 离合器能够根据输入轴与输出轴的转速高低自动进行离合换挡。基本用途就是使发动机与螺旋桨轴系分离或结合, 特别是在 CODOG 和 CODAG 动力装置中应用极为广泛, 主要特点是: (1) S.S.S. 离合器是一种带有同步机构的齿形离合器, 同步机构是由棘轮棘爪和螺旋齿花键构成的, 因而在正向扭矩作用下离合器可以自动啮合, 在反向扭矩作用下离合器可以自动脱开, 工作可靠; (2) S.S.S. 离合器是刚性传动而没有转动损失, 效率高且无附属设备; (3) 扭矩是借助于外齿和内齿以及螺旋齿花键传递的, 分布均匀, 因此可以传递的功率很大,

尺寸和重量很小；(4)棘轮和棘爪仅仅传递较小的周向力，磨损很小，适合于在高转速下工作；(5)适合于在主动件较大的角加速度和动件较大的角减速度工作，运行平稳。

整个试验台包括从柴油机和燃机到电涡流测功器的两套后传动系统，即：一个是 24—10—9—4—5—6—7—5''—4''—12—11—25；另一个是 22—1—2—3—4'—5'—6'—7—5''—4''—12—11—25。

### 3 CODOG 实验台 S.S.S 离合器位移测量系统

位移测量指的是获得 S.S.S. 离合器中间滑移件在啮合及脱开过程中的轴向位移随时间的动态变化。两台 S.S.S. 离合器中间件的轴向位移随时间的动态变化从一个侧面反映了切换过程的动态变化。在记录位移的同时，转速传感器记录了柴油机和燃机的转速对时间的动态变化，通过对比可以清楚看出，当两动力机转速相同这一时刻，两个 S.S.S. 离合器是否同时执行了啮合或脱开。对比某一时刻柴油机端和燃机端 S.S.S. 离合器位移曲线可以清楚看出两台 S.S.S. 离合器运动的相互关系，由此可以得出在切换过程中，是否存在两主机同时工作的状态，如果存在，可知什么时候开始同时工作，同时工作多长时间。从所记录的离合器位移曲线可以明确得出完成不同工况切换所需要的时间。

考虑到齿轮箱中的工作环境和经济性，选用阜新传感器厂生产的 FXB—V71 型差动变压器式线位移传感器，其分辨率高，线性度好，使用环境温度范围宽，温漂小，输出信号噪声小，能远距离传输，供电电压范围宽，且不需要高精度稳压。位移的测量是通过位移传感器把位移信号转化为电信号，通过数据采集系统输入计算机，对数据进行处理画出两个 S.S.S. 离合器位移曲线图。

啮合时间指主机端 S.S.S. 离合器由开始啮合到完全啮合所需要的时间。

切换时间指从接入主机端 S.S.S. 离合器开始啮合到在线主机端 S.S.S. 离合器完全脱开所需要的时间。

## 4 测量结果及分析

### 4.1 测量方案设定

为分析不同切换功率的影响，我们设定了 0 N·m、200 N·m、400 N·m 和 600 N·m 等功率档次(1 500 r/min 切换时分别相当于 0 kW、31.6 kW、63.2 kW 和 94.8 kW 功率档次，这些数值是指对电涡流测功器施加的扭矩、功率值，还应加上摩擦损失后才认为是准确的扭矩、功率值)；为分析 S.S.S. 离合器驻退阻尼对主机切换动态过程的影响，我们设计了不同阻尼孔的阻尼螺钉，可以改变阻尼值，当阻尼孔为 0 mm 时阻尼最大，当阻尼孔为 4 mm 时阻尼最小；为了分析不同转速差对主机切换动态过程的影响，与仿真结果进行对比，我们设定了不同的切换转速差；为了分析不同转速斜率对主机切换动态过程的影响，我们通过设定不同的转速变化时间来改变转速斜率。多种实验方案逐一进行测量。

### 4.2 部分实测结果

由于篇幅有限，本文给出部分 S.S.S. 离合器位移曲线测量结果，如图 2~图 5 所示。

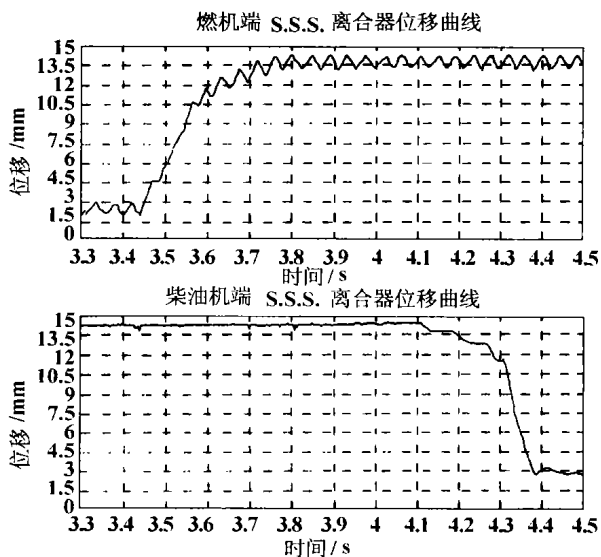


图 2 柴油机向燃机端切换  
两台 S.S.S. 离合器位移曲线图  
(扭矩 200 N·m, 阻尼孔 0 mm, 转速差 100 r/min)

图 2 为柴油机向燃机端切换时(即原柴油机工作，燃机端 S.S.S. 离合器啮合后，燃机接入，然后柴油机端 S.S.S. 离合器脱开，柴油机离线)，燃机和柴油机端两台 S.S.S. 离合器位移曲线测量结果，其扭矩为 200 N·m，阻尼最大，切换时转速差为 100 转，燃机端 S.S.S. 离合器啮合时间 0.28 s，切换时间 0.94 s。图 3 为燃机向柴油机端切换时(即原燃机工作，柴油机端 S.S.S. 离合器啮合后，柴油机接入，然

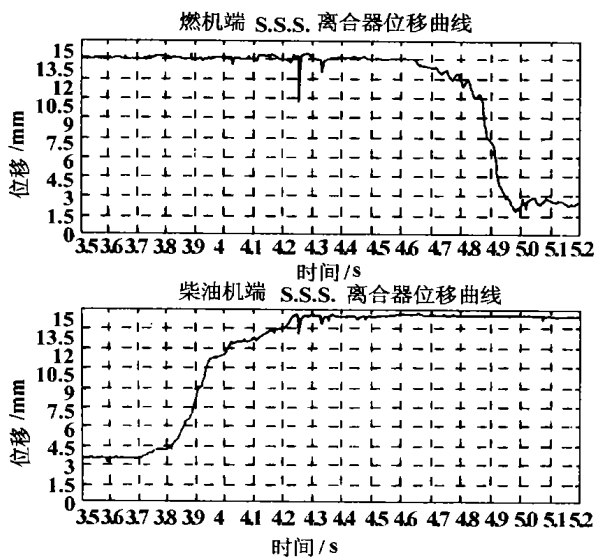


图 3 燃机向柴油机端切换

两台 S.S.S. 离合器位移曲线图

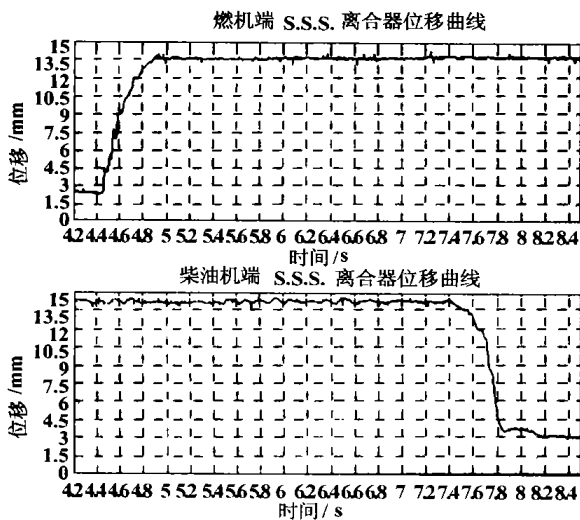
(扭矩  $200 \text{ N}\cdot\text{m}$ , 阻尼孔  $0 \text{ mm}$ , 转速差  $80 \text{ r/min}$ )

图 4 柴油机向燃机端切换

两台 S.S.S. 离合器位移曲线图

(扭矩  $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ , 阻尼孔  $4 \text{ mm}$ , 转速差  $100 \text{ r/min}$ )

后燃机端 S.S.S. 离合器脱开, 燃机离线), 燃机和柴油机端的 S.S.S. 离合器位移曲线测量结果, 其扭矩为  $200 \text{ N}\cdot\text{m}$ , 阻尼最大, 切换时转速差为  $80 \text{ r/min}$ , 柴油机端 S.S.S. 离合器啮合时间  $0.39 \text{ s}$ , 切换时间  $1.28 \text{ s}$ 。图 4 为柴油机向燃机端切换时, 燃机和柴油机端两台 S.S.S. 离合器位移曲线测量结果, 其功率为  $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ , 阻尼最小, 切换时转速差为  $100 \text{ r/min}$ , 转速变化时间为  $12 \text{ s}$ , 燃机端 S.S.S. 离合器啮合时间  $0.44 \text{ s}$ , 切换时间  $3.39 \text{ s}$ 。图 5 为燃机向柴油机端切换时,

燃机和柴油机端两台 S.S.S. 离合器位移曲线测量结果, 其功率为  $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ , 阻尼最小, 切换时转速差为  $80 \text{ r/min}$ , 转速变化时间为  $8 \text{ s}$ , 柴油机端 S.S.S. 离合器啮合时间  $0.34 \text{ s}$ , 切换时间  $2.37 \text{ s}$ 。

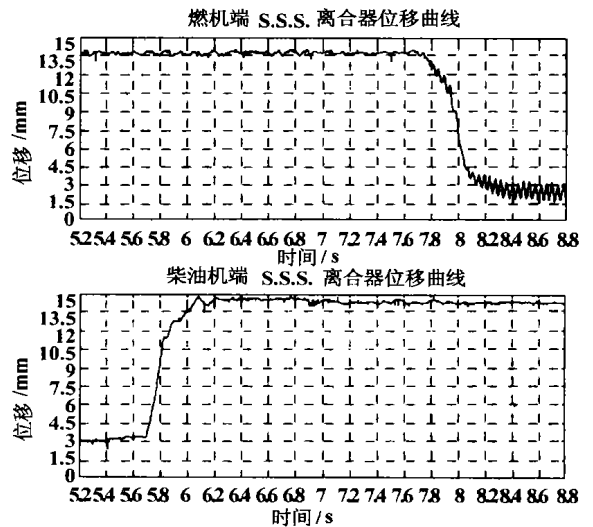


图 5 燃机向柴油机端切换

两台 S.S.S. 离合器位移曲线图

(扭矩  $400 \text{ N}\cdot\text{m}$ , 阻尼孔  $4 \text{ mm}$ , 转速差  $80 \text{ r/min}$ )

## 5 结论

通过柴—燃联合动力装置(CODOG)主机切换过程中 S.S.S. 离合器动态特性实验研究, 得到了柴油机与燃气轮机相互切换时主机及测功器传动轴上出现的扭矩过调量和 S.S.S. 离合器中间件的轴向位移的动态变化, 从而得到以下结论:

(1) 对 CODOG 动力装置实验台主机切换的动态过程进行实际测量和研究是十分有益的, 特别是可以同仿真结果进行比较。

(2) 相同阻尼、相同转速差下, 同一台 S.S.S. 离合器在切换过程中的啮合时间从目前我们所得的结果看是常数; 切换时间随负荷的增加显著增加; 相同功率、阻尼及转速差下, 从燃机到柴油机的切换时间大于从柴油机到燃机的切换时间; 相同功率、阻尼及转速差下, 转速斜率减小, 切换时间变长。整个切换时间很短, 提高整个系统在动力方面的机动性还有很大的余地。

(3) 进一步细致研究主机切换动态过程的性质对于深入认识 CODOG 联合动力装置的动态特性是十分必要的。

# 生物质复合型煤固硫特性研究

何方, 王华, 包桂蓉, 胡建杭

(昆明理工大学 环境调和型能源新技术研究所, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 对所研制的生物质复合型煤的固硫机理进行了分析, 并对生物质复合型煤的固硫特性进行了试验研究, 结果表明生物质复合型煤较一般型煤有更高的固硫率, 当  $Ca/S = 2.0$ 、燃烧温度低于  $900\text{ }^\circ\text{C}$  时, 生物质复合型煤的固硫率可以达到  $90\%$  以上; 生物质复合型煤的固硫率受燃烧温度、生物质添加量、钙硫比等因素影响, 加入铁系氧化物能增强生物质复合型煤的固硫性能。

**关键词:** 生物质复合型煤; 固硫机理; 固硫特性

中图分类号: X701.3 文献标识码: A

## 1 引言

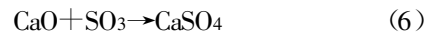
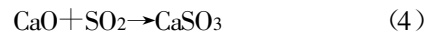
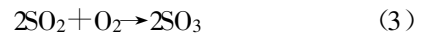
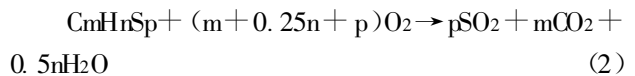
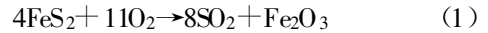
我国目前约有 43 万台工业锅炉、11 万台工业炉窑<sup>[1]</sup>, 这些燃烧设备由于型煤的不足而大量燃烧散煤, 致使燃烧效率低下、污染严重<sup>[3]</sup>。据估计, 我国每年经燃煤所排放的烟气中  $SO_2$  含量高达 1 600 万吨, 造成酸雨频繁发生。所以在我国发展型煤, 特别是洁净型煤已成为洁净煤技术的一个重要方向。作者所在的课题组以农林加工废弃物、城市生活垃圾和云南先锋褐煤为原料, 加入适量的固硫剂、固氯剂成功研制成了具有较高强度、组织紧密、表面光洁的生物质复合型煤 (Biomass compound coal, 简称 BCC), 其生产工艺参见文献[4]。本文对研制的生物质复合型煤的固硫特性进行了实验研究。

## 2 生物质复合型煤高效固硫的机理分析

### 2.1 固硫反应

煤中的硫除少量以硫酸盐形态存在的硫不可燃

外, 其它各种形态的硫均可在燃烧过程中生成  $SO_2$  和少量  $SO_3$ 。采用  $CaO$  为固硫剂在型煤中固硫时, 固硫过程的主要反应如下<sup>[4]</sup>:



### 2.2 生物质复合型煤高效固硫的原因

生物质燃料中的硫含量非常低, 生物质的加入使复合型煤中单位质量燃料中的硫含量降低, 结果使产物中  $SO_2$  的生成量降低; 生物质燃料中含有一定量的碱金属和碱土金属, 在燃烧过程中, 这些元素能和  $Ca$  一样起到固硫作用, 从而提高 BCC 的固硫率<sup>[5]</sup>; 经高压成型后的生物质复合型煤具有高强度组织特性, 且生物质的率先燃尽形成的灰壳使燃烧产物停留在煤球内的时间较长, 而且逐渐向外扩散; 另一方面, 燃烧后形成的微孔组织, 使固硫剂更容易暴露在  $SO_2$  气体中, 增加了  $SO_2$  与固硫剂接触的机会和时间, 使固硫反应效率提高; 因为生物质的添加使生物质复合型煤中所含的挥发份含量比普通型煤高, 挥发份在煤球周围的燃烧降低了向煤球中心扩散的氧的量, 这就大大减小了氧气向球内扩散的浓度, 使煤球内部始终处于缺氧条件下燃烧, 自然抑制了一部分  $SO_2$  的生成; 生物质本身含有一定的木质

收稿日期: 2001-01-06; 修订日期: 2001-08-03

作者简介: 何方(1975-), 男, 河南南阳人, 昆明理工大学博士研究生。

## 参考文献:

- [1] 张彪. 柴-燃联合动力装置(CODOG)的仿真及实验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 1997.
- [2] 苏文斗. 自动同步离合器的啮合动力学问题[J]. 热能动力工程, 1989, 4(6): 40-46.
- [3] 苏文斗. 自动同步离合器的脱开过程[J]. 热能动力工程, 1992, 7(6): 310-314.
- [4] 张彪, 王传涛, 孙聿峰. 柴-燃交替使用动力装置(CODOG)的实验研究[J]. 热能动力工程, 1999, 14(1): 27-29.

(何静芳 编辑)

charged pressure, desulfurization, media

加压导向管喷动流化床气化炉气体扩散规律研究 = A Study of the Gas Diffusion Mechanism in a Spout-fluidized Bed Gasifier with a Pressurized Guide Pipe [刊, 汉] / XIAO Rui, ZHANG Ming-yao, JIN Bao-sheng, et al (Thermal Energy Engineering Institute under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 27 ~ 30

With CO<sub>2</sub> serving as a tracer gas a study was conducted of the gas diffusion characteristics in a full-scale (inner diameter 200 mm, height 5 m) spout-fluidized bed with a pressurized guide pipe. Mainly investigated was the effect of operating parameters (spout gas flow rate, fluidized gas flow rate, operating pressure, particle diameter, physical parameters) on the gas diffusion in the bed. Deduced was an experimental correlation of the variation of spout gas bypass share and fluidized gas bypass share with the change of operating parameters. This can serve as reference data for engineering design calculations and practical operation. **Key words:** spout fluidized bed, guide pipe, pressure, gas diffusion

增压流化床用水煤膏管内流动滑移效应研究 = A Study of In-tube Flow Slip Effect of Coal-water Paste in a Pressurized Fluidized Bed [刊, 汉] / LU Ping, ZHANG Ming-yao, XU Yue-nian (Education Ministry Key Lab on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 31 ~ 33

The rheological behavior of coal-water paste was studied experimentally on a self-made test rig of coal-water paste flow. An analysis was conducted of the effect of wall surface slip phenomenon on the water-paste in-tube flow characteristics. Derived was a true rheological model of water-coal paste after a slip correction. Test results indicate that the water coal paste rheological model conforms to Herschel-Bulkey fluid characteristics. The influence of slip on in-tube flow rate will increase with a decrease in wall-surface shear stress and diminish with an increase in tube diameter. **Key words:** pressurized fluidized bed, water-coal paste, rheological characteristics, wall surface slip

石灰石浆液和石灰浆液三相流态化烟气脱硫比较研究 = Comparative Study of the Three-phase Fluidized Gas Desulfurization by Use of Limestone Slurry and Lime Slurry [刊, 汉] / ZHONG Zhao-ping, LAN Ji-xiang, JIN Bao-sheng, CHEN Shang-bin (Education Ministry Key Lab on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology under the Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 34 ~ 36

With the help of a hot-state test rig for processing flue gas with a flow rate of 2000 Nm<sup>3</sup>/h a comparative study was performed of fluidized gas desulfurization through numerous tests by using limestone slurry and lime slurry. The results of tests show that in case of the slurry pH value between 5—8, and the insertion depth of a spray tube at 160 ~ 200 mm (the corresponding pressure drop of the spray device being 150 ~ 190 mm water) the spray speed will be around 10 ~ 25 m/s and the circulation rate, 3. With the slurry concentration at below 7% through a stirring and forced oxidation of reaction products a desulfurization efficiency of more than 95% can be attained if lime is used as a desulfurizing agent. With limestone serving as a desulfurizing agent a desulfurization efficiency of in excess of 75% may result, and this efficiency can be increased to above 90% if an additive of organic acid is also utilized in addition to the limestone desulfurizing agent. **Key words:** fluidization, flue gas desulfurization, desulfurization by a wet method, additive

柴—燃联合动力装置中 S.S.S. 离合器动态特性实验研究 = Experimental Study of the Dynamic Characteristics of a Synchronous-self-shifting (SSS) Clutch for a Combined Diesel or Gas Turbine Power Plant [刊, 汉] / TIAN

Ying, NIU Zhong-yi, ZHANG Zheng-yi, et al (Power Engineering Department, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 37 ~ 40

A combined diesel or gas turbine (CODOG) power plant underwent a technical modification. On this basis studied under various loads was the effect of different damping values, various switch-over speed differences and other factors of a SSS clutch on the dynamic characteristics of the the CODOG power plant during the switch-over process. As a result, obtained were the SSS clutch displacement curves and some meaningful conclusions. **Key words:** combined diesel or gas turbine power plants, synchronous-self-shifting clutch, displacement curve

生物质复合型煤固硫特性研究 = A Study of the Sulfur Retention Characteristics of Biomass Compound Type of Coal [刊, 汉] / HE Fang, WANG Hua, BAO Gui-rong, et al (Institute of New Technology on Environment-harmonious Energy Source under the Kunming University of Science & Technology, Kunming, Yunnan Province, China, Post Code: 650093) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 40 ~ 42, 50

On the basis of analyzing the sulfur retention mechanism of the biomass compound type of coal developed by the authors an experimental study was conducted of the sulfur retention characteristics of this type of coal. The results of the study indicate that the coal under discussion enjoys a higher sulfur retention ratio than that of conventional types of coal. When Ca/S is equal to 2 and the combustion temperature lower than 900 °C the sulfur retention ratio of the biomass compound type of coal can reach in excess of 90%. This retention ratio is subject to various factors, such as combustion temperature, the amount of biomass added, Ca/S ratio, etc. Some additives, such as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> can significantly enhance the sulfur retention capability. **Key words:** biomass compound coal, sulfur retention mechanism, sulfur retention characteristics

竖管内空气强迫与自然对流换热实验 = An Experiment on the Forced and Natural Convection Heat Exchange of Air in a Vertical Tube [刊, 汉] / SHI Jin-sheng (Mechanical Department, Tianjin Light Industry Institute, Tianjin, China, Post Code: 300222) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 43 ~ 46

An experiment was conducted of the forced and natural convection heat exchange of air in a vertical round tube. The difference between the above two types of heat exchange is shown from the aspect of the order of magnitude. Through the experiment obtained was a natural convection heat exchange expressed by Reynolds number, which is compared with the natural convection heat exchange of the existing large air space. **Key words:** forced convection, natural convection, heat exchange, comparison of the order of magnitude

强润湿性液体池沸腾传热的实验研究和机理分析 = Experimental Study and Mechanism Analysis of Pool Boiling Heat Transfer of Highly Wetted Liquid [刊, 汉] / ZHOU Ding-wei, MA Chong-fang (College of Environmental and Energy Engineering under the Beijing Polytechnic University, Beijing, China, Post Code: 100022) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(1). — 47 ~ 50

With respect to the test of pool boiling heat transfer of highly wetted liquid a set of effective test procedures was proposed and an experimental study conducted of R113 pool boiling heat transfer in strict accordance with the test procedures. The study focuses on the effect of surface aging and liquid subcooling on the pool boiling heat transfer curves and incipient boiling point. Three abnormal phenomena have been observed during the test. In conclusion, from the perspective of the boiling heat transfer mechanism of highly wetted liquid a relevant explanation was given concerning the above-cited phenomenon. **Key words:** pool boiling, heat transfer, hysteresis

流化床锅炉预测指导系统研究 = A Study of the Predictive Instruction System of a Fluidized Bed Boiler [刊,