

影响煤焦比表面和孔隙特性 因素的灰色关联分析

袁建伟 李峰 张军 马毓义
(华中理工大学煤燃烧国家重点实验室)

〔摘要〕煤焦比表面积和孔隙特性决定着煤焦的反应性和煤焦的燃尽时间。影响煤焦比表面积和孔隙特性的因素很多,其关系也相当复杂。本文对实验测得的不同煤种煤焦的比表面积和平均孔径与各影响因素之间的关系进行了灰色关联分析,结果发现,水分、挥发分和矿物质对煤焦的比表面积影响较大,而镜质组含量、固定碳和灰分对煤焦的孔隙特性有较大影响。

关键词 煤焦 比表面积 孔隙特性 灰色关联分析
分类号 TQ534

1 前言

对煤焦进行的大量研究表明,煤焦的比表面积和孔隙特性决定着煤焦的反应性和煤焦的燃尽时间,因此在许多场合,煤焦的比表面积和平均孔径及孔径分布被用作煤焦的特征参数。煤焦比表面和孔隙的形成是原煤在加热时水分、挥发分的析出以及煤的形态变化等复杂物理化学过程共同作用的结果,因此,各种因素,如煤的工业分析参数、岩相特性参数、以及加热速率和加热终温等,对煤焦的比表面和孔隙特性都有很大的影响。但是,对这些因素的影响程度以及影响规律等,目前了解得还很少。本文通过实验分析测定了几种不同煤种煤焦的比表面积和平均孔径,同时对这些煤种进行了工业分析和岩相分析,引入灰色关联的方法对煤焦的比表面

和孔隙特性与燃煤特性参数之间的关系进行了分析,找出了影响煤焦比表面积和孔隙特性的主要因素。这项研究的意义在于通过燃煤特性参数与煤焦比表面积和孔隙特性之间关系的分析,为煤焦特性的研究和预测提供更多的信息。

2 实验

2.1 工业分析及岩相分析

本研究共选择了具有不同煤阶的七种煤,对其中一些煤进行手选分离得到相应的富镜质组煤样、富惰质组煤样,这样共有13个煤样。采用MAC—500工业分析仪对这些煤样进行工业分析,测定了煤的水分、挥发分、灰分和固定碳,结果如表1所列。表中煤样名称中煤地名后加1、2、3分别表示该煤种

* 国家青年自然科学基金和“攀登”计划资助项目

收稿日期 1994 09 09

本文联系人 袁建伟 男 副教授 430074 武汉

的富惰质组、富镜质组和未经手选分离的自然组。

岩相组分的分析是在显微镜的油浸反射光下进行的,通过数点法分别确定各岩相组分的体积百分比含量,并在反射率测定仪上测量各煤样的镜质体反射率。表1中同时列出了各煤样的镜质组、壳质组、惰质组和矿物质的含量以及镜质体反射率。

2.2 煤焦的制作

在 MAC—500 工业分析仪上,将原煤置于氮气气氛中以 99℃/min 的速率加热到 900℃,恒温 7 分钟,脱去挥发分后制得煤焦。

2.3 比表面及孔径分析

采用 ASAP2000 型加速比表面及孔径分析仪测定了上述七种煤 13 个煤样的煤焦比表面积和平均孔径。此外还测定了峰峰煤三种煤样原煤的比表面积和平均孔径,结果列于表 2。

表 1 煤样的工业分析和岩相分析结果

煤 样	水 分	挥发分	灰 分	固定碳	镜质组	壳质组	惰质组	矿物质	反射率
峰峰—1	1.04	24.55	17.27	57.15	70.70	2.80	21.10	5.40	0.46
峰峰—2	1.23	17.41	8.90	72.47	72.50	2.80	19.90	4.80	0.46
峰峰—3	1.34	18.74	12.58	67.34	82.40	0.40	15.00	2.20	0.46
龙山—1	4.47	7.12	10.79	77.62	73.50	0.	23.90	2.60	3.50
龙山—2	4.58	7.44	10.35	77.63	92.80	0.	6.60	0.60	3.50
龙山—3	4.30	8.41	14.70	72.92	83.10	0.	14.70	2.20	3.50
神木—1	9.74	25.90	7.66	56.69	16.63	4.23	67.87	11.27	0.46
神木—2	13.08	30.28	2.05	54.60	89.80	0.79	3.72	5.69	0.46
神木—2	13.08	30.28	2.05	54.60	89.80	0.79	3.72	5.69	0.46
神木—3	9.09	25.09	4.40	61.62	70.08	1.58	24.55	3.78	0.46
晓云—3	4.24	7.99	18.85	88.85	84.74	0.	9.73	5.33	4.3
淮南—3	2.10	24.94	10.77	62.19	72.30	1.70	21.90	4.10	0.86
鹤壁—3	1.60	11.66	5.46	81.27	86.80	0.	11.40	1.80	1.83
准格尔—3	6.22	23.25	16.89	53.64	67.19	4.35	20.75	7.71	0.46

3 灰色关联分析方法

所谓灰色关联分析是基于行为因子的序列的微观或宏观几何接近,以分析和确定因

子间的影响程度或因子对主行为的贡献程度而进行的一种分析方法,其目的在于寻求系统中各因素之间的主要关系,找出影响目标值的主要因素,从而掌握事物的主要特征,促

进和引导系统迅速而有效地发展。灰色关联分析的实质是通过数值计算得到各因子之间的关联度,由关联度数值的大小来反映因子对主行为的贡献程度。本研究采用灰色关联分析方法的目的是要寻找影响比表面和孔隙特性的各因素中起主要作用的因素。

表2 比表面积及平均孔径测量结果

煤 样	比表面积 (m ² /g)	平均孔径 (Å)
峰峰-1(原煤)	1.2058	130.6781
峰峰-2(原煤)	1.4599	139.2606
峰峰-3(原煤)	1.4225	131.5588
峰峰-1(煤焦)	3.9013	128.1724
峰峰-2(煤焦)	0.9599	197.0182
峰峰-3(煤焦)	4.7923	94.9221
晓云-3(煤焦)	69.4414	49.2223
鹤壁-3(煤焦)	74.0259	52.0127
神木-1(煤焦)	66.6505	42.6685
神木-2(煤焦)	47.9849	40.3022
神木-3(煤焦)	144.2787	35.4383
龙山-1(煤焦)	25.8631	58.6174
龙山-2(煤焦)	3.5746	316.4648
龙山-3(煤焦)	8.1753	100.4691
淮南-3(煤焦)	70.6582	53.3466
准格尔-3(煤焦)	152.7153	48.9365

灰色关联分析的主要过程如下:

3.1 确定比较数列和参考数列

数据列包括时间序列、空间序列和指标序列,其中指标序列研究的是随指标而变化的系统,其分析是通过各因素随指标的变化对系统的影响来确定因素间的关联情况。本

研究中所用数列均为指标序列,共有指标 11 个,即比表面积、平均孔径、镜质组含量、惰质组含量、壳质组含量、矿物质含量、镜质体反射率、水分、挥发分、灰分、固定碳,其中将比表面积和平均孔径作为参考数列,即母序列,其余为比较数列,即子序列。

3.2 求关联系数

设母序列为 $Y_i = \{y_i(k) | k = 1, 2, \dots, m\}, i = 1, 2, \dots, l$

子序列为 $X_j = \{x_j(k) | k = 1, 2, \dots, n\}, j = 1, 2, \dots, n$

这里 l 为母序列数, n 为子序列数, m 为数据个数。采用均值化方法对数据进行无量纲化处理,也称生成处理,得

母序列生成数列为

$$Y'_i = \{y'_i(k) | k = 1, 2, \dots, m\}, i = 1, 2, \dots, l$$

子序列生成数列为

$$X'_j = \{x'_j(k) | k = 1, 2, \dots, m\}, j = 1, 2, \dots, n$$

设 $\epsilon_{ij}(k)$ 为 $x_j(k)$ 对 $y_i(k)$ 的关联系数,则

$$\epsilon_{ij}(k) = \min_j \min_k \Delta_{ij}(k) + \rho \max_j \max_k \Delta_{ij}(k) / [\Delta_{ij}(k) + \rho \max_j \max_k \Delta_{ij}(k)]$$

其中 $\Delta_{ij}(k) = |y'_i(k) - x'_j(k)|, \rho \in (0, +\infty)$ 称分辨系数, ρ 越小,分辨力越大,一般 ρ 的取值区间为 $(0, 1)$, 更一般取 $\rho = 0.5$ 。

3.3 求关联度

比较数列 X_j 对参考数列 Y_i 的灰色关联度常记为 $r(y_i, x_j)$, 简记为 r_{ij} 。本文采用平均值法求得关联度为

$$r_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \epsilon_{ij}(k)$$

3.4 关联度的排序

将求得的关联度由大到小排序即得关联度序列。根据这个序列即可分析各子因子与母因子之间的关联程度大小。

4 结果分析与讨论

4.1 实验结果的综合分析

分析表2中比表面积和平均孔径的测定结果,可以看到不同的煤种其比表面积和平均孔径相差很大,比表面积从 $0.9599 \text{ m}^2/\text{g}$ 到 $157.7153 \text{ m}^2/\text{g}$,平均孔径从 40.3022 \AA 到 316.4648 \AA 。正是这种平均孔径和比表面积的差别,造成了不同煤种的煤焦反应性及燃尽时间的极大差别。从这些测量结果中我们还可以看到,比表面积与平均孔径之间并不存在密切的对应关系,尽管煤焦的比表面积是原煤中水分和挥发分析出时形成的孔隙的综合反映。这是因为煤焦的孔隙直径存在一个分布,平均孔径只从平均的角度反映了孔隙特性,但平均孔径的大小却能在一定程度上反映出煤焦的结构形态。

煤的岩相成分,也即煤的基本微观结构,对煤焦的比表面积和平均孔径有一定的影响。从表2中可以看到,峰峰三种原煤的比表面积和平均孔径都基本相同,但煤焦样的比表面积和平均孔径却相差较大,而这三种煤样的根本差别就在于煤的岩相成分即镜质组含量、惰质组含量、壳质组含量及矿物质含量不同。然而,到底哪一种岩相成分对比表面积和孔隙特性的影响较大,从表2的数据上还难以直观地看出来。

作为燃煤特性主要参数的工业分析,对煤焦的比表面积和孔隙特性应该有很大的影响,但是从表2的数据中却很难看出工业分析中哪一种参数对比表面积和孔隙特性的影响最大,也很难看出各参数的影响趋势。此外,作为表征煤的碳化程度的参数——镜质体反射率,其对比表面积和孔隙特性的影响趋势也很难从表2的数据中直观地看出来。

由此可以看到,由于影响比表面积和孔隙特性的因素很多,各种因素的影响相互交

错,因此其影响规律是相当复杂的,所以用常规的方法是很难进行分析的。基于这样的原因,我们对上述实验数据进行了灰色关联分析。

4.2 实验结果的灰色关联分析

首先对峰峰、龙山和神木三种煤9个煤焦样的实验结果进行了关联分析。令母序列 y_1 为比表面积, y_2 为平均孔径,子序列中 $x_1 \sim x_9$ 分别为镜质组含量、惰质组含量、壳质组含量、矿物质、镜质体反射率、水分、挥发分、灰分和固定碳。求得关联度序列为:

$$\begin{aligned} r(1,6)[0.812] &> r(1,4)[0.775] > \\ r(1,7)[0.742] &> r(1,2)[0.710] > \\ r(1,3)[0.693] &> r(1,1)[0.672] > \\ r(1,9)[0.669] &> r(1,5)[0.635] > \\ r(1,8)[0.622] & \\ r(2,1)[0.738] &> r(2,9)[0.736] > \\ r(2,8)[0.726] &> r(2,5)[0.717] > r(2, \\ 2)[0.690] &> r(2,4)[0.687] > r(2, \\ 7)[0.679] &> r(2,3)[0.634] > r(2, \\ 6)[0.597] & \end{aligned}$$

其中方括号中的数值为关联度的大小。由这两个关联度序列可知子序列中各因素对比表面积和平均孔径的影响程度分别是按以下顺序排列的:

比表面积:水分 > 矿物质 > 挥发分 > 惰质组 > 壳质组 > 镜质组 > 固定碳 > 反射率 > 灰分

平均孔径:镜质组 > 固定碳 > 灰分 > 反射率 > 惰质组 > 矿物质 > 挥发分 > 壳质组 > 水分

也即,影响比表面积四个主要因素是水分、矿物质、挥发分和惰质组,影响平均孔径的四个因素是镜质组、固定碳、灰分和反射率。

对峰峰、神木、龙山、晓云、鹤壁、淮南、准格尔七种煤自然煤焦样的实验结果进行灰色关联分析,得到关于比表面积和平均孔

径的关联序列分别为

- $r(1,4)[0.719] > r(1,6)[0.707] >$
- $r(1,1)[0.668] > r(1,7)[0.653] >$
- $r(1,2)[0.650] > r(1,9)[0.640] >$
- $r(1,3)[0.618] > r(1,8)[0.595] >$
- $r(1,5)[0.553]$
- $r(2,1)[0.848] > r(2,9)[0.837] >$
- $r(2,8)[0.793] > r(2,2)[0.757] >$
- $r(2,7)[0.731] > r(2,5)[0.723] >$
- $r(2,4)[0.703] > r(2,6)[0.696] >$
- $r(2,3)[0.574]$

相应地,各因素对比表面积和平均孔径的影响程度排序为:

- 比表面积:矿物质 > 水分 > 镜质组 > 挥发分 > 惰质组 > 固定碳 > 壳质组 > 灰分 > 反射率
- 平均孔径:镜质组 > 固定碳 > 灰分 > 惰质组 > 挥发分 > 反射率 > 矿物质 > 水分 > 壳质组

也即,在所研究的这一组煤焦样中,影响比表面积的四个主要因素是矿物质、水分、镜质组和挥发分,影响比表面积的四个主要因素是镜质组、固定碳、灰分和惰质组。

综合分析上述两个灰色关联分析的结果,可以看到水分、矿物质和挥发分对比表面积有较大的影响,这可从物理意义上加以理解。在原煤的加热过程中,水分和挥发分析出后形成孔隙,这些孔隙是构成煤焦内表面的主要原因。一般情况下,水分和挥发分越多,对煤焦比表面的贡献越大。此外,矿物质在加热过程中也发生形态的变化,这种形态的变化对煤焦的比表面也有一定的贡献。由此可见,灰色关联分析的结果与煤焦比表面形成的物理过程在定性上是一致的。

如前所述,煤焦的比表面积与平均孔径之间并不存在密切的关系,这一点在关联分析的结果中也有所反映。对平均孔径影响较大的因素是镜质组、固定碳和灰分,这与影响

比表面积的几个主要因素是不相同的。平均孔径是煤焦形态某种程度上的反映,所以对煤焦形态影响较大的因素对平均孔径影响也很大。郑雨寿等人在研究中发现,煤中的活性组分(镜质组和壳质组)主要形成具强塑性特征的薄壁煤胞、厚壁煤胞和规则型网状炭,这种类型的焦炭具有较多较大的孔隙;而惰性组分的残炭类型则全是不具塑性特征的结构炭、未熔炭和碎屑炭。这一研究结果表明,煤的岩相特性对煤焦的形态具有较大的影响,因而对平均孔径也就具有较大的影响。相应地,作为煤的岩相成分中主要部分的镜质组,也就对平均孔径具有较大的影响。这一分析与灰色关联分析的结果是完全一致的。

从比表面积的灰色关联分析结果中还可以看到,煤的岩相特性对比表面积也有一定的影响,在第一组分析的关联序列中,惰质组排列第四,而在第二组分析的关联序列,镜质组排第三。这是因为煤焦的比表面毕竟是由孔隙构成的,而孔隙特性则是由煤焦的形态决定。从这个意义上看,煤的岩相特性对煤焦的比表面积和孔隙特性是有很大影响的,因而对煤焦的反应性和燃尽特性也将有很大影响。所以,深入研究煤的岩相特性与煤焦的形态、比表面积和孔隙特性之间的关系是很有意义的。

5 结论

由上述实验结果及其分析,可以初步得到以下几点结论:

- (1) 各种燃煤特性参数对煤焦比表面积和孔隙特性的影响是错综复杂的,用一般的方法难以确定各因素影响的程度和趋势;
- (2) 灰色关联分析的结果表明,水分、挥发分和矿物质是影响煤焦比表面积的主要因素,而镜质组、固定碳和灰分是影响煤焦平均孔

径的主要因素;

(3) 煤焦的比表面积与平均孔径之间没有明显的关系;

(4) 灰色关联分析的结果与煤焦比表面和孔隙形成的物理过程是相一致的;

(5) 煤的岩相特性对煤焦的比表面积和孔隙特性都有较大影响。

参 考 文 献

- 1 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 华中工学院出版社, 1984
- 2 Jones R B et al. Maceral effects on the morphology and combustion of coal char, proceedings of intel. Conference on Coal Science, Sydney, 1985, 669—672
- 3 Bailey J G et al. A char morphology system with applications to combustion. Fuel, 1990, 69(2): 225~239
- 4 郑雨寿等. 残炭颗粒的形态、结构及其在燃烧过程中的分布. 燃料化学学报, 1992, 20(3): 225~231

机组应用

第二艘 Aquastrada 级渡轮投入航行

据“Gas Turbine World”1994年5—6月号报道, 在去年101m长 Aquastrada 级高速渡轮“Guizzo”号在撒丁岛和意大利大陆之间成功的商业航行以后, 第二艘船将于1994年后期投入航行。意大利 Tirrenia 航运公司是船主——营运者。

和第一艘船一样, 此艘新船将由二台 MTU595 系列柴油机和一台由 MTU 总成的 GE LM2500 燃气轮机驱动。CODAG 装置的总功率为 28000 kW (37550 shp)。全部三台发动机均通过减速齿轮传动装置驱动 KaMeWa 喷水推进器。

运送 450 名旅客和 120 辆汽车, 该渡轮将以 43 节速度航行在撒丁岛的 Olbia 和意大利大陆北部的 La Spezia 港之间。

(学牛 供稿)

研制动态

功率加大型 LM2500 燃气轮机

据“Gas turbine World”1994年5—6月号报道, 美国 GE 公司 1994年1月正式开始 LM2500+(PLUS) 计划。该计划要求于 1995 年末试验第一台燃气发生器, 包括新型干、低排放燃烧系统的试验, 并预定在 1996 年初进行整台燃气轮机试验, 将于同年第一季度末开始生产装运。

60Hz 的该型燃机的额定功率为 29000 kW (39000 hp), 热耗率为 9475 kJ/(kW·h), 热效率为 38%。50 Hz 机的输出功率为 27900 kW (37400 hp), 低热值热耗率为 9964 kJ/(kW·h), 简单循环热效率为 36.1%。

为了增加流量和提高高压比, LM2500+ 燃机增加了装有宽弦叶片的零级, 修改并改进了压气机部件(使压比从原来的 18.8 增加到 23.3, 空气质量流量从 68.9 kg/s 增加到 82.3 kg/s, 压气机总效率增加 0.5%); 修改了高压涡轮和动力涡轮部件的材料和设计; 装有干、低排放环形燃烧室。

LM2500+ 设计较现有 LM2500 长度约增加 330 mm, 净重增加不超过 363kg。

(学牛 供稿)

This paper deals with a modification design version involving the addition of a superheater to a KZL2-0.7-A I type packaged boiler. The said design version has been proved to be successful in practical use. **Key words:** *KZL type packaged boiler, superheater*

△ The Determination of the Separation Efficiency of a High-temperature Separator for a Circulating Fluidized Bed Boiler Wei Tanzheng (*Xiangtan Boiler Works*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 92~95

Based on the heat balance analysis of a circulating fluidized bed dense phase region the author holds that the circulating ash quantity and its temperature are major factors influencing the temperature level of the dense phase region. By the use of the definition of circulation ratio a formula for calculating the circulation ratio was derived. On the basis of the ash balance analysis a relationship between the high-temperature separator separation efficiency and circulation ratio has also been deduced. It is recommended to develop the circulating fluidized bed boilers of low circulation ratio ($R_c = 2-10$), which are in tune with the current conditions in China. **Key words:** *circulating fluidized bed, dense phase region heat balance, ash balance, circulation ratio, high-temperature separator, separation efficiency*

△ A Computer Aided Design of High Integration for Boilers Fan Zhiming, Wu Tao, Wang Xinhua, Lin Ren (*Hangzhou Boiler Works*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 96~100

This paper dwells on the specific details and methods used during the development and research of a highly integrated CAD software package. The said system represents an organic combination of a graphic system, engineering data base and a computation calculation software, resulting in a highly integrated CAD software package. **Key words:** *boiler, computer, CAD*

△ The Application of a PMK Programmable Single-loop Regulator in the Combustion Automatic Control System of Daya Bay Nuclear Power Station Preoperational Test Boilers Wang Xiaolei Zheng zi Qiang (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 101~105

Described in this paper are the design, commissioning test and operating conditions of a combustion automatic control system for Daya Bay Nuclear Power Station preoperational test boilers as well as the application of a PMK programmable single-loop regulator for the said system. **Key words:** *combustion automatic control system, single loop, regulator, design, commissioning test*

△ The Study of a Steam Turbine Free Blade Stall Flutter Zhang Yangjun, Tao Deping (*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 106~109

To provide a technical basis for assessing the safe operation of a turbine unit and analysing its blade failures, the authors have analysed the blade flutter characteristics of a steam turbine through the use of a flutter prediction method based on interblade phase angle numerical variation. The results of theoretical prediction are basically in agreement with those obtained by experiments. The study results show that under the condition of a certain incident flow Mach number, an interblade vibration phase angle and a relatively large attack angle of the incident flow, there exists the possibility of free blade failure caused by a flutter stall. A discussion is also conducted of the method aimed at improving the aeroelasticity stability of the free blades. **Key words:** *steam turbine, free blade, stall flutter, flutter prevention*

△ Grey Correlation Analysis of the Factors having an Effect on Coal Char Specific Surface Area and Pore Properties

…… Yuan Jianwei, Li Feng, Zhang Jun, Ma Yuyi (*Huazhong University of Science and Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 110~115

The coal char reactivity and burn-out time are directly determined by the specific surface area and pore properties of the coal char. A multitude of factors exercise an influence on the specific surface area and pore properties, and the interrelationship between these factors has been found to be rather complicated. In this paper a grey correlation analysis method is applied to ascertain the relationship between these influencing factors and the measured coal char specific surface area and pore properties of various kinds of coals. It is found that moisture, volatile matter and minerals have a greater effect on coal char specific surface area while vitrinite, fixed carbon and ash a greater effect on coal char pore properties. **Key words:** *coal char, specific surface area, pore properties, grey correlation analysis*

△ **A Thermal-state Experimental Investigation on Pulverized-coal Flame Stabilization Using an Off-stoichiometric Jet** …… Sheng Changdong, Cui Heping, Han Caiyuan (*National Coal Combustion Laboratory under the Huazhong University of Science and Technology*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 116~121

This paper deals with a thermal-state simulation test during which a new type of burner was employed to investigate the performance of the off-stoichiometric pulverized coal combustion conducted in a single burner furnace. The analysis of the test results has shown that through the use of a local concentration method to enhance pulverized coal concentration the distribution of the latter in the primary air jet may be changed to realize the off-stoichiometric combustion, thereby effectively intensifying and stabilizing the combustion process along with the achievement of low-load stabilized combustion. **Key Words:** *pulverized coal combustion, flame stabilization, high concentration*

△ **An Experimental Study on the Heat Transfer Properties of a Simulated Hydride Heat Exchanger Used as a Vehicular Air Conditioner** …… Yan Mi, Chen Changpin, Wang Xinhua, Wang Qidong (*Materials Science and Technology Department of Zhejiang University*) *Journal of Engineering for Thermal Energy & Power*, 1995, 10(2): 122~126

A heat transfer test under the condition of a hydrogen non-absorption cycle was performed on a simulated and author-designed and fabricated hydride heat exchanger intended for use as a vehicular air conditioner. A formula governing the relationship between heat transfer factor, air flow resistance, Nu and Re has been deduced. Proposed in this paper is also a method for the further enhancement of the reactor heat transfer factor. All the above provides a solid basis for the proper design of vehicular hydride-based air conditioning reactors. **Key words:** *hydrogen-receiving alloy, heat exchanger, heat transfer*

**Edited and Published by Harbin Marine
Boiler & Turbine Research
Institute and Editorial Staff
of this Journal**

Printer: Printing House of Harbin Institute
of Technology
Address: P. O. Box 77, Harbin China

Cable: 6511, Harbin China

Post Code Number 150036

ISSN1001-2060
Periodical Registration:
CN23-1176/TK

Distributed by China International
Book Trading Corporation,
P. O. Box 399, Beijing, China