

# 原煤可磨性与磨煤机最大出力探讨

沈跃良<sup>1</sup>, 林志宁<sup>2</sup>, 赵小峰<sup>3</sup>

(1. 广东省电力试验研究所, 广东 广州 510600; 2. 珠江电厂, 广东 广州 511458; 3. 湛江发电厂, 广东 湛江 524099)

**摘要:** 通过某电厂 RP783 中速磨和 DTM350/700 钢球磨变煤种最大出力试验的研究, 得到一些煤种的可磨性指数不能很好地表征其实际出力。通过分析得出了这些煤种出力低的原因, 指出了实验室测定的原煤可磨性指数在实际应用中的局限性, 并讨论了修正可磨性指数需要考虑的煤质因素, 为磨煤机设计和运行管理人员进一步研究提供参考。

**关键词:** 可磨性指数; 最大出力; 试验; 修正

中图分类号: TK17 文献标识码: A

## 1 前言

对于钢球磨煤机, 总希望在最大出力工况运行。磨煤机最大出力与磨煤机本身的结构形式、磨煤机设备状态、所磨的煤质特性、通风介质参数等因素有关, 在一定的设备条件下, 磨煤机的最大出力与煤质特性直接相关。

影响磨煤机最大出力的最主要煤质特性为原煤的可磨性, 一般以可磨性指数来衡量, 它表征了煤被磨成煤粉的难易程度。煤的可磨性指数越高, 煤越易磨, 在同样条件下, 磨煤机磨制该煤种的最大出力也越大。但对于物理特性差别较大的不同煤种, 单纯应用实验室可磨性指数将难以判断不同煤在实际磨煤机中的易磨程度, 而必须结合煤质的物理特性, 对实验室可磨性指数进行适当的修正, 本文即对该问题进行一些探讨。

## 2 磨煤机最大出力试验方法

在保证煤粉细度合格、磨煤机出口温度在正常范围的条件下, 将磨煤机出力按一定的速率加至最大出力之上, 使之发生堵磨倾向或非正常工况, 然后稍降低磨煤机出力, 使磨煤机能够在该出力下连续稳定运行 2 h 以上, 该运行出力即为磨煤机的最大出力。

## 3 原煤可磨性与中速磨最大出力试验分析

### 3.1 中速磨三个煤种的最大出力试验结果

在广州珠江电厂进行的 RP783 中速磨变煤种最大出力试验研究中发现, “兖州煤”的哈氏可磨性指数(HGI)大于“神木煤”和“大同优混煤”的哈氏可磨性指数, 但试验得到的同样条件下“兖州煤”的最大出力却比“神木煤”的最大出力低约 1.0 t/h 以上, 运行人员也普遍感觉“神木煤”易磨, 而“兖州煤”和“大同优混煤”难磨。表 1 给出了三个煤种平均煤质分析数据, 表 2 为最大出力试验结果。

表 1 中速磨试验煤种煤质分析数据

	兖州煤	神木煤	大同优混煤
$M_{ar}/\%$	2.26	7.81	5.32
$M_d/\%$	8.28	13.73	10.39
$A_{ar}/\%$	16.23	6.61	10.10
$V_{ar}/\%$	29.38	30.34	25.60
$FC_{ar}/\%$	46.11	49.32	53.91
$Q_{net,ar}/kJ\cdot kg^{-1}$	24 219	24 573	25 460
HGI	74	66	63
颗粒度	大, 不均匀	细, 均匀	大, 不均匀
煤矸石	多	几乎没有	有一些

表 2 RP783 磨煤机最大出力试验结果

	兖州煤	神木煤	大同优混煤
出力/ $t\cdot h^{-1}$	28.5	30.8	28.1
通风量/ $km^3\cdot h^{-1}$	60.4	58.8	58.8
煤粉细度 $R_{74}/\%$	19.36	22.84	19.96
出口温度/ $^{\circ}C$	72.0	69.3	72.6
修正至 25% 细度出力/ $t\cdot h^{-1}$	30.9	31.9	30.5
限制出力原因	29.1 t/h 堵磨	石子煤着火	28.6 t/h 堵磨
出力/ $t\cdot h^{-1}$	27.1	27.7	26.7
通风量/ $km^3\cdot h^{-1}$	58.7	62.1	59.7
煤粉细度 $R_{74}/\%$	22.32	20.88	21.92
出口温度/ $^{\circ}C$	78.8	68.2	73.2
修正至 25% 细度出力/ $t\cdot h^{-1}$	28.2	29.6	28.0
限制出力原因	27.6 t/h 堵磨	出口温度低	27.4 t/h 堵磨

从限制磨煤机出力的因数看, 限制“兖州煤”和

“大同优混煤”最大出力的因素是堵磨, 而限制“神木煤”最大出力的因素是干燥出力不足。

### 3.2 三个煤种的理论最大出力计算

在一定的煤质条件下, 中速磨理论上的最大出力通过磨煤机基本出力和煤质对磨煤机出力的各修正系数来进行计算。RP783 磨煤机基本出力为 36.5 t/h, 根据 RP 型磨煤机出力修正系数线算图<sup>[1]</sup>, 可得到三个试验煤种的各修正系数和理论计算的最大出力, 如表 3 所示。

表 3 珠江电厂试验煤种理论最大出力计算

	兖州煤	神木煤	大同优混煤
煤粉细度 $R_{74}/\%$	19.36	22.84	19.96
可磨性、煤粉细度、原煤水分 总修正系数 $f_H \cdot f_R \cdot f_M$	1.05	1.01	0.94
原煤灰分修正系数 $f_A$	1.00	1.00	1.00
原煤粒度修正系数 $f_g$	1.00	1.00	1.00
计算最大出力 $B_M/t \cdot h^{-1}$	38.3	36.9	34.3

与试验最大出力比较, 磨煤机计算最大出力大于试验值, 原因在于磨煤机实际通风量达不到设计值, 使得磨煤机实际最大出力小于计算最大出力。在同样条件下, “兖州煤”的计算最大出力大于“神木煤”和“大同优混煤”的计算最大出力, 与实际试验结果不相一致。

### 3.3 “兖州煤”最大出力低原因分析

在试验中发现, 珠江电厂“兖州煤”含有较多的远大于 1.25 mm 的煤矸石和石子煤, 这些难磨煤矸石和石子煤首先被研磨成较大的颗粒, 经分离器分离后又回到磨碗反复循环研磨, 大大增加了磨煤机的循环倍率和消耗功率; 同时, 随磨煤机出力增加, 石子煤排量增大, 由此额外增加了系统的通风阻力, 使本来研磨空间小的 RP 磨煤机极易发生堵磨, 堵磨也因而成了首要的出力限制因素。为增加“兖州煤”的出力, 在试验中曾经想通过开大冷风门增加风量, 以防堵磨, 但磨煤机出口温度持续降低, 无法稳定, 结果仍然是堵磨, 造成“兖州煤”最大出力时的出口温度虽然比磨制“神木煤”时高, 却仍然无法继续增加出力。而“神木煤”颗粒小, 煤质疏松, 石子煤含量少, 灰分小, 虽然其实验室可磨性指数比“兖州煤”还小, 但在试验过程中没有发生堵磨现象, 表现出实际易磨的特性。

## 4 原煤可磨性与钢球磨最大出力试验分析

### 4.1 钢球磨两个煤种的最大出力试验结果

在广东湛江发电厂进行了钢球磨煤机两个煤种的最大出力试验, 磨煤机型号为 DTM 350/700, 试验磨煤机加  $\Phi 40$  和  $\Phi 50$  新钢球 57 t, 试验煤种为晋东南“贫煤”和西山矿物局“洗动力煤”, 表 4 为试验煤种煤质数据, 表 5 为试验结果。

表 4 钢球磨试验煤种煤质分析数据

	晋东南贫煤	洗动力煤
$M_{af}/\%$	1.32	0.83
$M_v/\%$	6.50	11.80
$A_{af}/\%$	21.68	18.73
$V_{af}/\%$	11.46	12.84
$Q_{net, ar}/kJ \cdot kg^{-1}$	24 280	23 250
$K_{BBI}$	1.462	1.513

表 5 DTM350/700 磨煤机最大出力试验结果

	晋东南贫煤	洗动力煤
最大出力/ $t \cdot h^{-1}$	81.0	62.7
通风量/ $km^3 \cdot h^{-1}$	108.7	101.5
煤粉细度 $R_{90}/\%$	20.92	16.36
出口温度/ $^{\circ}C$	74.0	86.0
修正至 13% 细度出力/ $t \cdot h^{-1}$	69.6	58.0
限制出力原因	82.1 t/h 有堵磨倾向	63.5 t/h 有堵磨倾向

由表可见, 虽然“洗动力煤”的 BBI 可磨性指数比“晋东南贫煤”高, 但其最大出力比“晋东南贫煤”低 18.3 t/h, 修正至  $R_{90}$  为 13% 细度下的出力比“晋东南贫煤”低 11.6 t/h, 即这两种煤无法用可磨性指数来比较其实际的最大出力。

### 4.2 两个煤种理论最大出力计算

钢球磨煤机在一定煤质和通风量条件下, “晋东南贫煤”和“洗动力煤”的理论最大出力计算结果如表 6 所示<sup>[2]</sup>。

表 6 湛江电厂两个煤种理论最大出力计算

	晋东南贫煤	洗动力煤
煤粉细度 $R_{90}/\%$	20.92	16.36
修正后可磨性指数 $K_{BBI}^g$	1.342	1.420
计算标准出力 $B_{max}^0/t \cdot h^{-1}$	35.9	35.9
钢球装载量修正系数 $f_{sq}$	0.892	0.892
煤可磨性修正系数 $f_{km}$	1.398	1.565
煤粉细度修正系数 $f_{mf}$	1.271	1.181
筒体通风量修正系数 $f_{tf}$	0.975	0.970
磨煤机出力 $B_M/t \cdot h^{-1}$	55.5	57.4

由表可见, “洗动力煤”的计算出力与试验最大出力比较接近, 而“晋东南贫煤”的计算出力小于试验的最大出力。

### 4.3 “洗动力煤”最大出力低原因分析

造成“洗动力煤”最大出力低的原因主要有: 一是“洗动力煤”的水分比较大; 另外是“洗动力煤”粘

性特别大,以致于湛江发电厂不得不将船上的“洗动力煤”直接送入锅炉,以减少煤场中转而带来的上煤困难。这两个因素使得“洗动力煤”塑性加强,脆性减弱,导致实际可磨性下降,出力降低。

## 5 可磨性指数应用问题的探讨

从以上的试验研究发现,对于含煤矸石多的“兖州煤”和脆性弱的“洗动力煤”,在与其它煤种进行出力比较时,实验室可磨性指数往往无法反映这两种煤的最大出力,即这两种煤的实验室可磨性指数虽高,但在同样条件下磨煤机磨制这两种煤的最大出力并不一定大。

确立可磨性指数主要的依据是脆性材料的破碎定律,而煤作为一种脆性材料,一般情况下,可磨性指数与磨煤机出力成一定的正函数关系。但对于一些异质煤种或脆性弱的煤种,可磨性指数仅仅具有定性的表达能力<sup>[3]</sup>。导致这种现象的原因还在于可磨性指数测定仪与实际磨的不同,以及煤本身在测定仪和实际磨中水分、粒度、温度等方面的很大差异。

实验室测定原煤哈氏可磨指数的粒度范围在0.63~1.25 mm,大于1.25 mm的煤矸石或石子煤被先破碎或被筛选掉,而实际进入磨煤机的原煤粒度范围比实验室可能大得多,如珠江电厂的“兖州煤”,含有大量的大于1.25 mm的煤矸石和石子煤;实验室测定可磨性指数是在常温下进行,没有原煤的干燥过程,原煤磨制成煤粉水分变化很小;而实际磨煤机内原煤所处的温度高,原煤是边研磨边干燥,水分在不断变化。实验室和实际磨煤机内原煤粒度、水分和磨制温度环境的不同,导致原煤实际可磨性的变化。这种情况下,要将实验室可磨性指数能应用于实际磨煤机的设计计算,就需要对实验室可磨性指数进行修正<sup>[2]</sup>。

在RP中速磨的设计计算中,并没有直接对煤的实验室可磨性指数进行修正;且在出力计算时,原煤粒度和灰分的修正系数为1.0<sup>[1]</sup>,而水分修正也只有当原煤水分大于一定值时才有,导致计算出力与实际出力不相符合。

对于钢球磨煤机,原煤水分和粒度对可磨性指数的修正有以下的公式<sup>[2]</sup>:

$$K_{\text{BPI}}^g = K_{\text{BPI}} \cdot S_1 / S_{ps}$$

其中  $S_1$  为原煤水分对  $K_{\text{BPI}}$  的修正系数;

$S_{ps}$  为原煤粒度对  $K_{\text{BPI}}$  的修正系数。

从钢球磨变煤种的出力计算可知,“晋东南贫煤”修正后可磨性指数为1.342,仍低于“洗动力煤”的1.420,而“洗动力煤”的实际最大出力却比“晋东南贫煤”小很多,因此上述修正仍是不完善的。

事实上,因可磨性指数测定仪和实际磨的差异,要准确修正原煤可磨性指数是很困难的,目前测定可磨性指数的哈氏法和BPI法,只在一定条件下才有效,最可靠的方法是采用研磨原理与实际磨煤机相同的试验磨来研磨,根据试磨结果来判断煤的破碎性能和可磨性指数<sup>[2]</sup>。寻求更适用的可磨性指数测定方法,仍是目前正在研究的一项工作。

## 6 结论

(1) 一般来说,原煤可磨性与磨煤机最大出力成一定的正函数关系,但由于可磨性指数测定仪与实际磨煤机研磨条件的巨大差异,对于一些诸如珠江电厂“兖州煤”的异质煤种和湛江电厂“洗动力煤”或褐煤的软质煤种,最大出力试验表明实验室测定的原煤可磨性指数不能完全代表原煤实际的可磨性,反映了现有的实验室可磨性指数测定方法在应用时具有一定的局限性,更适用的可磨性指数测定方法仍处于研究之中。

(2) 由于煤种的多样性和原煤实际可磨性的变化,对于一些煤种,根据现有的经验公式计算的磨煤机出力与实际出力不相符合。

(3) 为了将实验室测定的原煤可磨性指数能够应用于实际磨煤机的设计计算,需要对可磨性指数进行修正。修正应考虑所有影响磨煤机出力的煤质因素,如原煤水分、灰分、粒度、粘性和所处环境温度等。

(4) 正确理解原煤的实验室可磨性指数和其实际的可磨性以及磨煤机最大出力之间的关系,对于磨煤机的设计计算和选型,以及磨煤机的运行管理都是很有裨益的。

## 参考文献:

- [1] 赵仲琦,张安国.火力发电厂煤粉制备系统设计和计算方法[M].北京:中国电力出版社,1999.
- [2] 贾鸿祥.制粉系统设计与运行[M].北京:水利电力出版社,1995.
- [3] GEHRKE B Neuere Erkenntnisse über kohlennmühlen für große kraftwerksböckel J. VGB 1979, 59(4):283-291.

(渠源编辑)

生物质与煤混烧的燃烧特性研究 = **A Study of the Combustion Characteristics of Biomass-and-coal Mixed Firing** [刊, 汉] / LIU Hao, QIU Jian-rong, DONG Xue-wen, et al (National Key Laboratory of Coal Combustion under the Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, China, Post Code: 430074) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 451 ~ 454

With the help of an integrated thermoanalyzer of the type STA 409C the characteristics of combustion were analyzed with respect to a mixed sample consisting of one type of coal and two kinds of biomass as well as a sample of the above items mixed in different proportions. The results of this analysis show that after the adding of biomass in the coal the combustion process can be viewed as distinctly divided into two stages with an ignition being realized ahead of the designated time. Meanwhile, better burn-off characteristics were obtained. As a result of the mixing of biomass and coal there emerged an increase in heat generation rate coupled with an enhanced utilization rate of the biomass. Moreover, through an in-depth analysis of thermogravimetric and differential-scanning calorimetry curves the combustion kinetic parameters of the above-cited samples were investigated. **Key words:** biomass, coal combustion characteristics, thermal analysis

煤粒燃烧表面灰层氧气质扩散系数试验研究 = **Experimental Study of Oxygen Mass-transfer Coefficient in a Surface Ash Layer during the Burning of Pulverized Coal** [刊, 汉] / ZHU Qun-yi, QIN Yu-kun, WU Shao-hua (School of Energy Science and Engineering under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 455 ~ 457

Through the use of a thermal analysis technique an experimental study is conducted of the effect of ash layer porosity on oxygen mass-transfer characteristics. A formula has been derived for calculating the oxygen mass-transfer coefficient in a surface ash layer during the burning of pulverized coal. **Key words:** thermal analysis, ash layer porosity, oxygen mass-transfer coefficient

煤质成分在线检测技术的最新进展 = **Recent Advances in the On-line Detection Technology of Coal Elemental Composition** [刊, 汉] / SONG Zhao-long (Power Engineering Department, Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096), JIN Jian (Nanjing Continental Zhongdian Science & Technology Co. Ltd., Nanjing, China, Post Code: 211100) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 458 ~ 461

The emergence of long-life and low-cost neutron tube products of electron-impulse type has played a significant role in the further advancement of a new-generation on-line analytical technology for coal elemental composition. By using the analytical technology of fast thermal neutron elements of the impulse type coupled with the application of multifarious nuclear reactions it is possible to analyze the coal elemental composition with a better accuracy. Moreover, the apparatus used also features a higher safety. After an exposition of the analytical theory of fast thermal neutron elements of the impulse type the authors describe two kinds of on-line detection system for the coal elemental composition, namely, the chute type and the belt type. **Key words:** fast neutron inelastic scattering, fast neutron capture, coal elemental composition

原煤可磨性与磨煤机最大出力探讨 = **Exploratory Investigation of Raw Coal Grindability and Coal Pulverizer Maximum Capacity** [刊, 汉] / SHEN Yue-liang (Guangdong Provincial Electric Power Testing Institute, Guangzhou, China, Post Code: 510600), LIN Zhi-ning (Guangzhou Zhujiang Power Plant, Guangzhou, China, Post Code: 511458), ZHAO Xiao-feng (Guangdong Zhanjiang Power Plant, Zhanjiang, China, Post Code: 524099) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 462 ~ 464

The maximum grinding capacity test results of a model RP783 race pulverizer installed at Zhujiang Power Plant was investigated along with those of a model DTM350/700 ball mill installed at Zhanjiang Power Plant. It has been found that the grindability index of some kinds of coal does not fully reflect their actual grinding capacity. After the cause of the low

grinding capacity for these coals has been identified by an analysis the authors point out the practical service limitations of the raw coal grindability index measured in a laboratory. In addition, investigated are the coal quality factors to be considered during the revision of these grindability indexes. The relevant findings can serve as reference data during a more in-depth study by design and operation management personnel of coal pulverizers. **Key words:** grindability index, maximum grinding capacity, test, revision

链式能量系统热经济孤立化的新方法与其收敛性证明 = **Thermo-economic Isolation of Chain Type Energy Systems and Its Convergence Proof** [刊, 汉] / LI Shi-wu, SU Mo-ming (Department of Aeronautical Power and Thermal Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China, Post Code: 710072) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 465 ~ 468

Based on the ideology of thermo-economic isolation the author has proposed a new method for the optimized thermo-economic isolation of a chain type energy system and provided a proof for the convergence of the method. The effectiveness of the method has been verified for a nonlinear chain type energy system. This enables the thermo-economic isolation acquire a practical usage value for a decision-making during the design and optimized operation of chain type energy systems, providing a solid basis for the application of the thermo-economic isolation in thermal energy and power engineering systems as well as in other energy systems. **Key words:** energy system, chain type system, thermo-economic isolation

湿法烟气脱硫系统中的低温腐蚀及烟气再热问题 = **Low-temperature Corrosion and Flue-gas Reheat Problems in a Wet-method Flue Gas Desulfurization System** [刊, 汉] / WANG Hong-tao, WU Shao-hua, SAI Jun-cong, et al (Thermal Energy Engineering Department, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 469 ~ 471

Described are the low-temperature corrosion problems quite prevalent in the flue-gas desulfurization system of a coal-fired power plant. In conjunction with specific cases a brief analysis is performed of some types of flue gas reheat system and their ensuing secondary corrosion problems. **Key words:** wet-method flue gas desulfurization, flue gas reheat, low-temperature corrosion

火焰筒耐热搪瓷漆熔烧工艺实验研究 = **Experimental Research of a Fusing Technique Involving the Coating of Heat-resistant Ceramic Lacquer on a Gas Turbine Flame Tube** [刊, 汉] / DONG Bin, ZHANG Yong-quan (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2002, 17(5). — 472 ~ 474

The inner and external surfaces of a gas turbine flame tube have been coated with a foreign-made heat-resistant ceramic lacquer. With a view to mastering in the shortest possible time the fusing technique of heat-resistant ceramic lacquer, contrast tests were conducted on test pieces with regard to the main procedures of fusing technique by applying that technique for the coating of the flame tube. These tests have brought forth the following conclusions. The size of spray sand particles and the change in the viscosity of the coating material have a relatively small influence on the fusing quality while the fusing temperature and time duration exert a fairly large influence on that quality. By putting parts into the fusing furnace at a relatively high stipulated furnace temperature and taking them out after a relatively short time it is possible to obtain a satisfactory coated surface quality and service performance. **Key words:** gas turbine, flame tube, ceramic lacquer, fusing

电场和螺旋线圈复合强化管内强制对流的实验 = **An Experiment on Forced Convection in a Combined-intensi-**