

煤矸石破碎工艺模拟与优化

狄子琛¹, 旭荣花², 曹全福³, 张培华³, 杨凤玲^{1,4}, 程芳琴^{1,4}

(1. 山西大学 资源与环境工程研究所, 山西 太原 030006; 2. 海西州科学技术局, 青海 德令哈 817099; 3. 山西平朔煤矸石发电有限责任公司, 山西 平朔 036800; 4. 国家环境保护煤炭废弃物资源化高效利用技术重点实验室, 山西 太原 030006)

摘要:基于平朔煤矸石电厂破碎筛分工艺系统,采用 Aspen Plus 软件模拟煤矸石破碎筛分过程,对煤矸石破碎工艺进行模拟优化,研究了破碎筛分过程中各影响因素对能耗的影响,最后利用建立的模型模拟了阳泉河坡电厂的破碎筛分系统,验证模拟模型的可行性。结果表明,平朔煤矸石电厂改造后工艺可将大于 10 mm 颗粒含量控制在 4% 以下,5~10 mm 物料含量可达 62%,满足使用要求。哈氏可磨性指数的减小和进料流量的增加会导致破碎过程中总能耗增加,粒度分布对能耗的影响则相对较小。平朔煤矸石电厂原设备不能满足生产要求,设备可按照颚式破碎机功率 31 kW,进料 300~500 mm、出料 10~300 mm;齿辊破碎机功率 391 kW,进料 50~300 mm、出料 0~50 mm;可逆锤式细碎机功率 317 kW,进料 0~50 mm、出料 0~10 mm 选型。Aspen Plus 软件模拟结果可以很好地预测阳泉河坡电厂的煤矸石破碎生产状况,进一步验证了模拟模型的可行性。

关键词:煤矸石;破碎;Aspen Plus;模拟

中图分类号:TD94 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)06-0015-07

Simulation and optimization of coal gangue crushing process

DI Zichen¹, XU Ronghua², CAO Quanfu³, ZHANG Peihua³, YANG Fengling^{1,4}, CHENG Fangqin^{1,4}

(1. Institute of Resources and Environment Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. Haixi State Administration of Science and Technology, Delingha 817099, China; 3. Pingshuo Coal Gangue Power Plant, Shuozhou 036800, China; 4. State Environmental Protection Key Laboratory of Efficient Utilization Technology of Coal Waste Resources, Taiyuan 030006, China)

Abstract: A comprehensive process model was developed to simulate coal gangue crushing and screening process and optimize the technology based on Pingshuo coal gangue power plant using Aspen Plus software. The impact of various factors on energy consumption were studied. Finally, simulating of the crushing and screening system of Yangquan Hepo power plant was used to verify the feasibility of the model. The results showed that the modified process of Pingshuo coal gangue power plant could control the particles whose size was greater than 10 mm below 4%, and the particle size ranging from 5 mm to 10 mm accounted for 62%. All of that were met the use requirements. The decrease of hardgrave grindability index and the increase of feed flow rate would increase the energy consumption. The influence of particle size distribution on energy consumption was relatively small. The crushers of Pingshuo coal gangue power plant couldn't meet the production requirement. The equipment selection were as follows: jaw crusher power was 31 kW, the feed particles were from 300 mm to 500 mm, the discharging particles were from 10 mm to 300 mm; roll crusher power was 391 kW, the feed particles were from 50 mm to 300 mm, the discharging particles were from 0 to 50 mm; reversible hammer crusher power was 317 kW, feed particles were from 0 to 50 mm, the discharging particles were from 0 to 10 mm. Simulating of the crushing and screening system of Yangquan Hepo power plant could be greatly forecasted by Aspen Plus, which verified the feasibility of the model.

Key words: coal gangue; crush; Aspen Plus; simulation

收稿日期:2014-10-18;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.06.004

基金项目:山西省科技重大专项资助项目(MD2014-03);国家科技惠民计划资助项目(2012GS140202)

作者简介:狄子琛(1992—),男,山西临汾人,硕士研究生,从事洁净煤技术及应用方面的研究工作。E-mail:dizichen@126.com。通讯作者:程芳琴(1964—),女,教授,从事固体废弃物资源化利用工作。E-mail:cfangqin@163.com

引用格式:狄子琛,旭荣花,曹全福,等.煤矸石破碎工艺模拟与优化[J].洁净煤技术,2015,21(6):15-21,25.

DI Zichen, XU Ronghua, CAO Quanfu, et al. Simulation and optimization of coal gangue crushing process [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6): 15-21, 25.

0 引言

近年来,我国能源需求加速增长,作为一个煤炭生产和消费大国,煤炭加工利用过程中产生大量煤矸石,不仅占压土地,造成重金属污染,自燃后还会污染空气,产生酸雨,对生态环境造成危害^[1-3]。随着我国煤系固体废弃物利用技术的不断成熟,适用于煤矸石电厂的循环流化床锅炉燃烧技术取得了很大进步^[4]。煤矸石燃料的特点是水分较高,矿物组成种类复杂,硬度范围大,为燃料破碎加工带来困难,不但增加了破碎设备的磨损,而且燃料粒度不易保证^[5]。目前,关于破碎理论、机械、模拟方面的研究较多。破碎理论方面目前主要有三大破碎功耗学说^[6]:面积学说认为破碎矿石过程中消耗的能量用于增加破碎后矿石新增表面的表面能;体积学说认为对矿石所做的功使矿石发生形变,当形变能达到极限,矿石被粉碎;裂缝学说认为外力做功首先使矿石发生形变,当形变积累到一定程度,矿石内部形成断面,发生破裂^[7]。在破碎理论的基础上,很多学者进行了破碎设备的改造和设计。魏永英^[8]研究了单齿辊破碎机结构参数的确定和计算方法,设计

了单齿辊破碎机设备;黄冬明等^[9]基于总体平衡模型和散体物料运动学特性,建立了圆锥破碎机的多目标规划模型。目前对破碎的研究多集中在破碎机理和设备改进上,缺乏对多套破碎设备联用的系统研究。Aspen Plus 是一款通用的化工过程模拟、优化与设计软件,具有完备的物性系统和操作单元。软件中自带破碎机和筛分机的模拟模型,将这些模型相互连接建立起模拟筛分系统,可模拟电厂的破碎筛分体系。笔者以平朔煤矸石电厂破碎筛分系统为依托,模拟了电厂改造前后的破碎筛分系统,对2套工艺进行比较,研究了破碎筛分过程中各影响因素对能耗的影响,为煤矸石电厂设备选型提供参考。

1 煤矸石破碎工艺及参数模拟

1.1 煤质分析

模拟煤样分别采用平朔煤矸石电厂煤矸石、中煤、煤泥和氧化煤以及阳泉煤矸石,煤质分析见表1。使用前根据热值将煤矸石、中煤、煤泥和氧化煤按一定比例混合,使入炉燃料热值不小于12.55 MJ/kg。

表1 中煤、煤矸石、煤泥和氧化煤煤质分析

煤种	$M_t/\%$	$A_d/\%$	$V_{daf}/\%$	$w(S_{t,d})/\%$	$Q_{gr,d}/(MJ \cdot kg^{-1})$
中煤	9.20	32.90	38.25	0.70	17.64
煤泥	14.30	24.00	37.00	1.10	16.72 ~ 23.72
氧化煤	6.83 ~ 8.11	42.79 ~ 46.31	33.58 ~ 44.14	<1.00	12.84 ~ 16.48
煤矸石	8.50	69.30	20.50	1.93	11.05
阳泉煤	5.07 ~ 9.50	31.79 ~ 49.25	10.20 ~ 10.40	<2.40	12.54 ~ 20.72

1.2 哈氏可磨性指数的测定

煤的可磨性是指煤磨碎成粉的难易程度。煤的可磨性与变质程度、水分、煤的岩相组成,以及煤中矿物质的种类、数量和分布状态有关^[10-11],是确定煤破碎工艺和选择粉碎设备的重要依据。

试验采用 GB/T 2565—2014《煤的可磨性指数测定方法 哈德格罗夫法》测定煤的哈氏可磨性指数,并以哈氏校准图,进行校准得到哈氏可磨性指数,测试方法为:称取 50 g 粒径 0.63 ~ 1.25 mm 干燥后的煤样放入哈氏研磨机中,在一定荷重下研磨 3 min 后过 0.071 mm 筛子,称量筛下煤样质量^[12]。根据哈氏可磨性指数校准图,可得到哈氏可磨性指数,哈氏可磨性指数校准图如图 1 所示。朔州煤矸石电厂煤及混煤的哈氏可磨性指数见表 2。

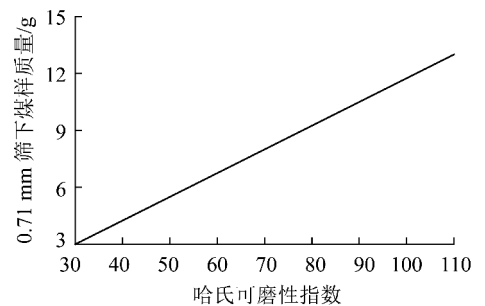


图1 哈氏可磨性指数校准图

表2 朔州煤矸石电厂煤及混煤的哈氏可磨性指数

项目	平朔中煤	平朔煤矸石	阳泉中煤	晋城无烟煤	晋城无烟煤矸石
哈氏可磨性指数	78 ~ 84	48 ~ 52	50	43	40

由于劣质燃料哈氏可磨性指数很低,破碎难度大,对设备损耗严重。改进燃料破碎系统可使煤矸石燃料粒度适用于循环流化床燃烧,保证循环流化床安全、稳定燃烧,确保床温稳定^[13]。

1.3 破碎筛分工艺流程

平朔煤矸石电厂为适应特殊的生产条件和需求,对原有工艺进行改进,建立了三级筛分三级破碎工艺。改造前后破碎筛分系统工艺流程如图2所示。

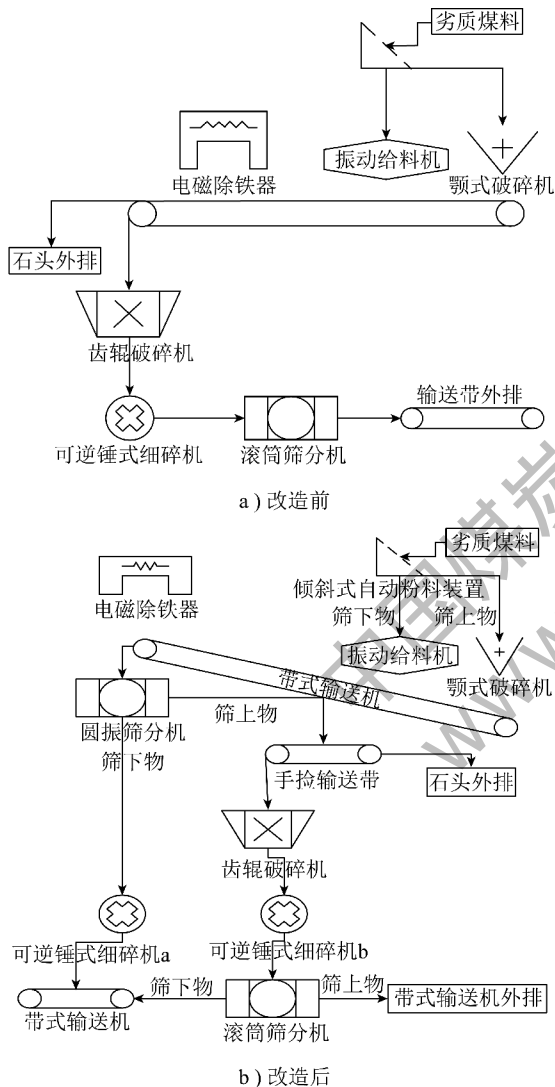


图2 改造前后破碎筛分系统工艺流程

工艺中将原水平煤篦子改成倾斜煤篦子,可用汽车直接倒在受料装置中;物料经过倾斜式自动分料装置筛分,筛上物料进入颚式破碎机,保证大直径物料直接破碎至200 mm以下,适应二级粗破机的要求;破碎后物料粒径小于200 mm,与筛下物料混合,进入二级破碎系统。对原二级破碎系统的粗碎

机的齿套和齿板进行改造,将原来的板形齿和齿套更改为齿帽型与齿套结合一体的多级串接套装式破碎主轮。在圆振筛分机中筛分出粒径小于50 mm的物料进入可逆锤式细碎机a,筛上物料则进入中碎机破碎,破碎后最大粒径不超过50 mm,中碎机排出的物料进入可逆锤式细碎机b进一步破碎至粒径小于10 mm,再经过滚筒筛分机筛分出粒径小于10 mm物料进入循环流化床发电。系统适应于高硬度物料,耐磨性强,备件更换周期长,保证了循环流化床的安全稳定运行。

2 煤矸石破碎系统模拟

根据以上煤矸石破碎工艺,利用 Aspen Plus 软件模拟建立工艺流程,对不同生产工艺和设备进行比较,为工艺设计提供依据。

2.1 模型的建立

为了保证 Aspen Plus 模拟煤矸石破碎系统的可靠性和可比性,统一对模型进行如下假定:① 粒度、混配比例均匀分布;② 设备全过程稳定运行,各性能参数不随时间变化;③ 物料混合均匀。

Aspen Plus 模型中破碎机选用 Crusher 模块模拟,该模块可模拟旋转/颚式破碎机,单滚、多滚粉碎机,笼式破碎机,可模拟计算破碎所需功率以及出口固体物流的粒子尺寸分布,模拟过程不计算破碎过程产生的热。筛分机选用 Screen 模块模拟,该模块可从规定的筛网空隙尺寸计算筛分效率。Aspen Plus 建立的模拟流程如图3所示。

2.2 参数设置

2.2.1 设置全局变量

选择流股类型为 MCINCPD,以质量流量为流量基准,环境压力为101 kPa,其他选择默认。

2.2.2 组分输入

模拟假定无液相参与,不考虑水分的影响。涉及到的原料为煤、煤矸石等混合物,无固定化学组成。因此模拟中将煤、煤矸石等混合物在软件中定义为非常规组分,以其工业分析、元素分析的经验系数来定义^[14]。在平朔煤矸石电厂测量进料物流的粒径分布,见表3。

2.2.3 选择物性方法

因为模拟过程只涉及粉碎研磨和筛分过程,不涉及化学反应,因此物性方法选择 Aspen Plus 自带的 SOLIDS 物性方法进行模拟计算。

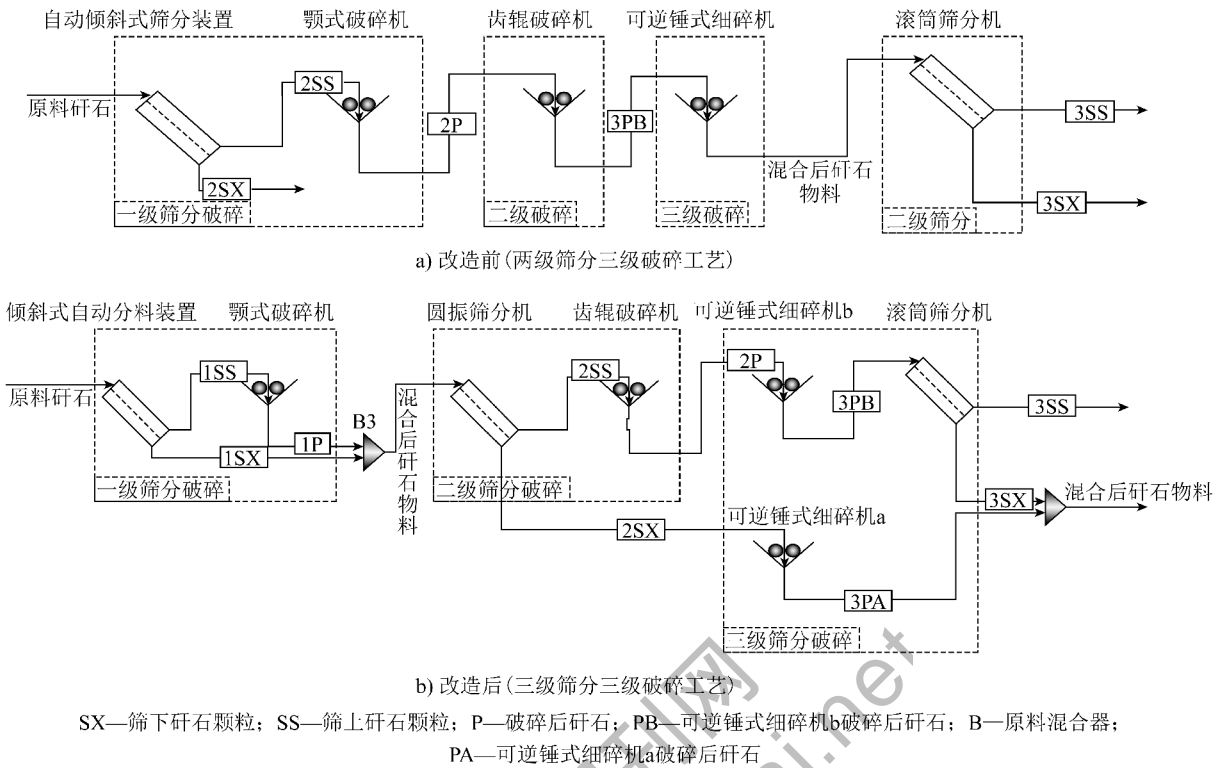


图3 Aspen Plus 模拟改造前后工艺

表3 进料粒径分布

粒径/mm	0~5	5~10	10~50	50~100	100~200	200~300	300~350	350~400	400~450	450~500
质量分数/%	0	0	0	0	5	10	10	25	20	30

2.2.4 规定物流

进料物流煤矸石和混合原料温度为 25 ℃, 压力为 101 kPa, 质量流量为 1000 kg/h。进料流股均匀, 物料组成在整个粉碎筛分过程中不发生变化。

2.2.5 单元模块参数设置

各模块的破碎强度、筛网尺寸等参数依据破碎筛分工艺的设计及要求规定。按表 2 将测定的煤矸石和混煤的哈氏可磨性指数及粒度分布输入各模块中。破碎机所需功率由下式计算

$$P = \frac{0.01(\sqrt{D_1} - \sqrt{D_2}) \times \frac{435}{0.91HGI} \times M}{\sqrt{D_1 \times D_2}}$$

式中, D_1 为 80% 以上质量的进料粒子直径, m; D_2 为 80% 以上质量的产品粒子直径, m; HGI 为哈氏可磨性指数; M 为总固体质量流量, kg/s。

3 模拟计算结果及讨论

3.1 不同工艺对粒度及能耗的影响

朔州煤矸石电厂设计物料流量 400 t/h, 多种物

料混合后哈氏可磨性指数在 60 左右。使用 Aspen Plus 模拟模型对破碎筛分过程进行模拟。对比改造前后不同工艺和各破碎单元的能耗, 同时将模拟结果与平朔煤矸石电厂实际生产中的破碎情况进行比较。模拟结果与实测值的粒径分布见表 4, 破碎单元的模拟值与实测值小时能耗对比见表 5。

表4 破碎粒径分布的模拟值与实测值比较

出料物流粒 径/mm	模拟值/%		实测值/%
	改造前	改造后	
0~5	17	34	23
5~10	40	62	71
10~50	43	4	6

表5 模拟值与实测值能耗比较

破碎机	改造前模拟	改造后模拟	实际电机 功率/kW
	能耗/kW	能耗/kW	
颧式破碎机	16.69	16.69	110
齿辊破碎机	208.78	208.78	110
可逆锤式细碎机 a	122.00	81.21	710
可逆锤式细碎机 b	—	82.92	710

由表4可知,工艺改造后,工厂实际破碎粒径分布为:0~5 mm物料占总物料的23%;10~50 mm物料占6%;物料粒径主要集中在5~10 mm,占71%。Aspen Plus软件模拟出料物流粒径也主要分布在5~10 mm,占62%;超过10 mm的物料占4%。因此Aspen Plus软件模拟破碎工艺所得出料物流粒径同电厂实测值相比,误差较小,相对可靠,可用此方法进行模拟。对比改造前后工艺发现,改造前粒径大于10 mm颗粒含量大于40%,难以满足循环流化床对粒径分布的要求;改造后可将大于10 mm颗粒含量控制在4%以下,5~10 mm物料达到62%,满足使用要求。

由表5可知,改造前后颚式破碎机和齿辊破碎机小时能耗不变,分别为16.69和208.78 kW。可逆锤式细碎机由原工艺的1台变成2台,总能耗有所增加。但考虑到改造后工艺的破碎物料的粒度分布更能满足循环流化床对燃烧物料的要求,增加的能耗可以接受。

通过对比模拟能耗与电厂现用设备能耗,发现现用设备不能实现破碎机的最优化配置。目前电厂使用的齿辊破碎机功率过低,仅110 kW,而实际需要的功率大于200 kW;而鄂式破碎机、可逆锤式细碎机的功率分别为110和710 kW,远大于实际需要。沿用目前设备虽可使破碎后物料达到循环流化床燃烧所需粒度,但造成能量浪费,增加成本。

3.2 破碎过程中的影响因素分析

3.2.1 哈氏可磨性指数对能耗的影响

考虑到电厂实际生产中采用多种燃料混配燃烧,因此物料种类变化较大,造成哈氏可磨性指数有较大波动。本文建立不同哈氏可磨性指数物料的模式,对过程中的能耗进行模拟比较。不同哈氏可磨性指数下,破碎机能耗和总能耗如图4所示。

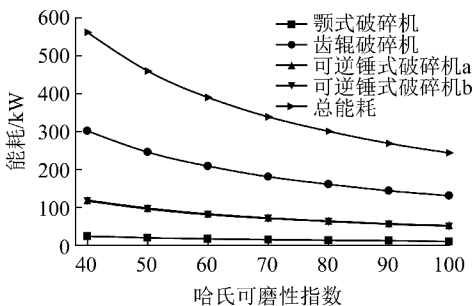


图4 不同哈氏可磨性指数下破碎机的能耗和总能耗

由图4可知,随着哈氏可磨性指数的增加,能耗

呈下降趋势。哈氏可磨性指数为40时,总能耗高达562 kW;哈氏可磨性指数为100时,总能耗为244 kW。因此哈氏可磨性指数对总能耗影响十分显著。

考虑到工厂发电燃料以煤矸石为主,硬度大,哈氏可磨性指数可达43,不易破碎。因此为满足电厂破碎煤矸石的要求,以哈氏可磨性指数为40时各破碎设备的能耗和进出料粒径为依据进行设备选型。

3.2.2 进料流量对能耗的影响

对不同进料流量下的破碎过程进行模拟,各破碎机的能耗和流量的关系如图5所示。

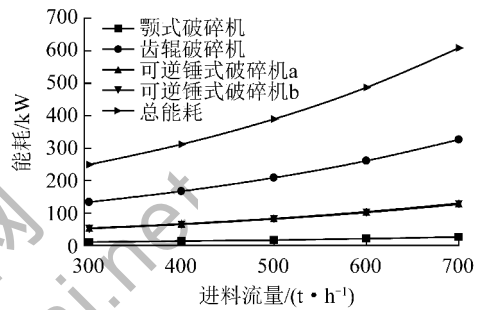


图5 破碎机的能耗和流量的关系

由图5可知,随着进料流量的增加,不同类型破碎机小时能耗都有不同程度增加。当进料流量由300 t/h增至700 t/h时,齿辊破碎机增加幅度最大,能耗由133 kW增至326 kW;可逆式破碎机次之,由51 kW增至126 kW;颚式破碎机变化较小,由10 kW增至26 kW;总能耗显著增大,由249 kW增至608 kW。

3.2.3 进料粒径对能耗的影响

由于物料来源的不同,进料物流粒度分布存在明显差异。因此针对不同粒度分布的物料进行破碎模拟。模拟了进料物流呈梯度变化的5种粒度分布对能耗的影响。5种粒度分布见表6,5种粒度分布的物料在破碎过程中消耗的能量如图6所示。

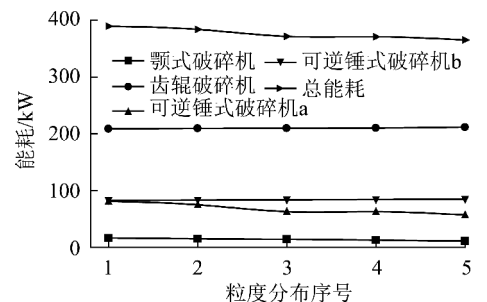


图6 粒度分布对各破碎机能耗的影响

由图6可知,随着大粒径物料比例的降低,颚式

破碎机和可逆锤式细碎机 a 能耗下降,由 16 和 81 kW 分别降至 11 和 57 kW;齿辊破碎机和可逆锤式细碎机 b 能耗略有上升,由 208 和 82 kW 分别增至 211 和 85 kW;总能耗呈下降趋势,由 389 kW 降

至 365 kW。粒度分布对破碎过程中能耗的影响相对于进料量、哈氏可磨性指数而言影响很小。

3.3 设备选型

平朔煤矸石电厂原工艺设备见表 7。

表 6 粒度分布

序号	质量分数/%					
	100~200 mm	200~300 mm	300~350 mm	350~400 mm	400~450 mm	450~500 mm
1	5	10	10	25	20	30
2	10	12	10	25	18	25
3	15	14	10	25	16	20
4	20	16	10	25	14	15
5	25	18	10	25	12	10

表 7 平朔电厂破碎设备

设备	处理能力/(t·h ⁻¹)	粒度/mm	电机功率/kW	型号
倾斜式自动分料煤篦装置	—	入料≤500,出料 200	—	自制
颚式破碎机	400	入料≥300,出料≤300	110	Y315M-6 鄂口破碎机
煤矸石粗分级筛	700	入料 300,出料 50	18.5	YAHg2148
煤矸石中碎机	250	入料 300,出料 50	110	FP50AM 齿辊破碎机
煤矸石细分级筛	500	入料≤50,筛下≤10	55	ZXF-3661/5-AT
煤矸石细碎机	400	入料 50,出料 10	710	可逆锤式细碎机 SPM-1820AZ. 0
无堵回转筛	200	入料≤80,筛下≤10	2×7.5	GHS-200

从 Aspen Plus 模拟结果可以看出,对于来源不稳定、粒径分布广、硬度大的煤矸石原料应采用多级筛分、破碎工艺,以保证系统稳定运行,破碎设备选型需根据破碎前后的粒度分布和功率要求确定。其中,Aspen Plus 模拟能耗针对破碎物料性质,没有考虑破碎机效率,因此,选定电机功率时需对不同破碎机进行功率放大。颚式破碎机、齿辊破碎机能量传递效率高,为 80%~90%,本文选定效率为 85%;可逆锤式细碎机能量利用效率较低,为 45%~60%,本文选定效率为 45%。同时为满足生产要求,一般电动机的额定功率要比负载的功率稍大,电动机功率为生产机械功率的 1.1~1.5 倍。依据 Aspen Plus 软件模拟的进出料粒径分布、能耗,综合考虑不同设备的破碎效率,根据市场破碎机型号进行选型,结果见表 8。

由表 8 可知,颚式破碎机能耗 31 kW,进料 300~500 mm、出料 10~300 mm;齿辊破碎机能耗 391 kW,进料 50~300 mm、出料 0~50 mm;可逆锤式细碎机能耗 312 kW,进料 0~50 mm、出料 0~10 mm 和能耗 317 kW、进料 0~50 mm、出料 0~15 mm。

表 8 进出料粒度分布、能耗和建议电机功率

破碎机	进料粒径/mm	出料粒径/mm	模拟能耗/kW	建议电机功率/kW
颚式破碎机	300~500	10~300	24	31
齿辊破碎机	50~300	0~50	302	391
可逆锤式细碎机 a	0~50	0~10	117	312
可逆锤式细碎机 b	0~50	0~15	119	317

3.4 应用效果

根据模拟结果设计建成的生产线应用于山西平朔煤矸石发电有限责任公司 2×300 MW 机组厂外输煤混矸系统,投入使用以来,效果显著,破碎后的燃料粒度满足机组使用要求,其他技术指标均达到了设计要求。

改造后的破碎系统解决了原料破碎难、设备损耗大等问题。系统改造后未发生由于二级粗破碎机咬合力不够造成的堵煤现象,备件寿命延长 1 倍,达到粉碎中煤的效果,保证循环流化床发电的稳定运行,每年节省备件费用 80 万元,节省维护费用 2 万多元,节省装载机费用约 20 万元,降低因频繁启停造成的设备寿命损耗。

4 阳泉煤矸石破碎工艺模拟验证

为验证 Aspen Plus 软件模拟破碎过程的可行性,对阳泉河坡电厂的工艺进行了模拟验证。河坡电厂破碎设备按三级筛分、二级破碎设置,筛分破碎

系统按粗、细碎分开的思路设计。粗碎机室布置于煤场前,煤场储存粗碎后小于 30 mm 原煤;细碎机室布置于煤场后。为更好保证入炉煤粒度,细碎系统采用两级筛分、一级破碎,细碎机后再设置一级筛分,模拟工艺流程如图 7 所示,电厂设备见表 9。

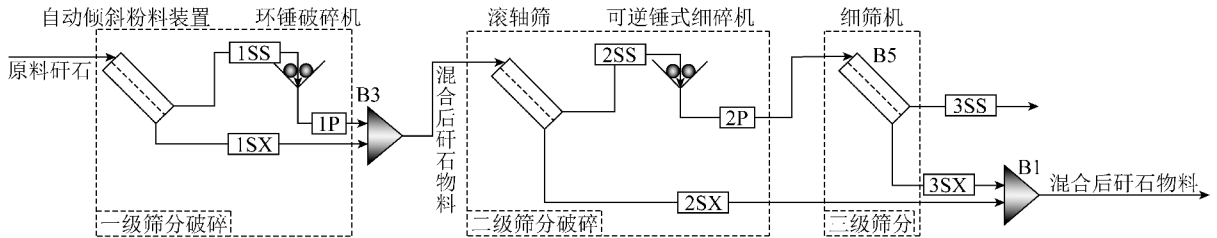


图 7 Aspen Plus 软件模拟河坡破碎工艺

表 9 河坡电厂破碎筛分设备

设备	处理能力/ (t·h ⁻¹)	粒径/ mm	电动机功 率/kW	型号
环式碎煤机	600	入料 300, 出料 50	315	HCSZ600 环锤式碎煤破碎机
滚轴筛	800	入料 ≤300, 筛下 ≤50	34	XGS1810 型倾斜式滚动筛
细碎机	600	入料 50, 出料 8	1000	SPM-1825 双向可逆锤式细粒碎煤机
细筛机	800	入料 ≤50, 筛下 ≤8	44	GFS2876 系列振动筛

进料粒径分布按平朔煤矸石电厂的进物流分布进行模拟计算,煤矸石的哈氏可磨性指数按 40 计算,将模拟的破碎后粒径分布和能耗与河坡电厂实际生产情况进行比较,结果见表 10。模拟能耗结果结合破碎机效率,计算实际生产所需电机功率,给出电机的建议功率,具体见表 11。

表 10 出料物流粒径分布模拟值与电厂实测值比较

出料物流 粒径/mm	模拟出料 物流/%	电厂实测 值/%
0~5	38	23
5~10	62	68
10~50	0	9

由表 10 可知,模拟结果可以很好预测河坡电厂的煤矸石破碎状况。模拟出料物流粒度 0~5、5~10 mm 的颗粒分别占 38% 和 62%,破碎后所有颗粒均小于 10 mm。电厂实测值中粒度大于 10 mm 的颗粒占 9%。虽然实测值与模拟值存在一些偏差,但整体而言,模拟结果具有一定的代表性,可以为工

业生产提供参考。

表 11 破碎机能耗模拟值与电厂实测值比较

破碎机	进料粒 径/mm	出料粒 径/mm	模拟能 耗/kW	建议电机 功率/kW	实际电机 功率/kW
环式碎煤机	≤300	≤50	253	327	315
细碎机	≤50	≤10	375	1000	1000

由表 11 可知,环式碎煤机和细碎机的建议电机功率分别为 327 和 1000 kW,电厂实际使用电机功率为 315 和 1000 kW。因此,将模拟所得小时能耗,结合电机效率计算得到的建议电机功率与电厂现役设备电机功率十分吻合。因此电厂现役设备能很好地满足生产要求,验证了 Aspen Plus 软件模拟破碎过程的可行性。

5 结 论

1) Aspen Plus 软件模拟平朔煤矸石电厂煤矸石破碎工艺,0~5、5~10、10~50 mm 物料分别占总物料的 34%、62%、4%,破碎后物料粒径主要分布在 5~10 mm;电厂实测值则分别为 23%、71% 和 6%。两者误差较小,因此以煤矸石的工业及元素分析、粒度分布、哈氏可磨性指数为基础,利用 Aspen Plus 软件模拟破碎系统可行。

2) 破碎工艺改造前,粒径大于 10 mm 颗粒含量大于 40%,难以满足循环流化床对粒径分布的要求;改造后可将大于 10 mm 颗粒含量控制在 4% 以下,5~10 mm 物料可达到 62%,满足使用要求。

3) 改造后设备选型为:颚式破碎机功率 31 kW,进料 300~500 mm、出料 10~300 mm;齿辊破碎机

(下转第 25 页)

中惰质组在结焦过程中保持原有的丝质和小片状结构,最终以丝质与破片状形式存在于焦炭中,同时惰性组分含量会影响到加热过程中形成的中间相小球体的质量,从而直接影响同性结构。

4 结 语

将煤岩学知识与化学分析结合能较全面、精确评定煤质,利用煤岩学方法预测焦炭质量是配煤技术的一大突破。国内外都在不断完善煤岩分析方法和测定装备,许多煤岩学方法已应用于焦化企业生产。随着煤岩分析仪器的改进,仍需加强研究煤岩参数与焦炭性质之间的关系,从而提高煤岩配煤方法的适用性,以更好预测焦炭质量。

参考文献:

- [1] 申明新. 中国炼焦煤的资源与利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 齐洪涛. 煤岩配煤技术开发及参数的初步确定[J]. 煤化工, 2013(5): 14-17.
- [3] 王海燕. 煤岩学与炼焦配煤技术的发展[J]. 煤质技术, 2004(6): 39-41.
- [4] 姚昭章, 郑明东. 炼焦学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2012.

(上接第21页)

功率 391 kW, 进料 50~300 mm、出料 0~50 mm; 可逆锤式细碎机功率 317 kW, 进料 0~50 mm、出料 0~10 mm。

4) 利用 Aspen Plus 软件模拟河坡电厂的破碎工艺。模拟出料物流 0~5、5~10 mm 颗粒分别占物料总质量的 38% 和 62%, 电厂实测值则分别为 23% 和 68%。环式碎煤机和细碎机的建议电机功率分别为 327 和 1000 kW, 电厂实际使用电机功率为 315 和 1000 kW。粒度分布和能耗均很好地拟合。因此, Aspen Plus 软件模拟结果可以很好地预测河坡电厂的煤矸石破碎生产状况, 进一步验证了模拟模型的可行性。

参考文献:

- [1] 岳林, 秦斌. 谈煤矸石发电技术的现状及展望[J]. 中国科技投资, 2012(30): 86.
- [2] 王心义, 杨建, 郭慧霞. 矿区煤矸石堆放引起土壤重金属污染研究[J]. 煤炭学报, 2006, 31(6): 808-812.
- [3] Li Jianping, Du Changlong, Bao Jianwei. Direct-impact of sieving coal and gangue[J]. Mining Science and Technology (China), 2010, 20(4): 611-614.

68-74.

- [5] 杨永珍. 煤岩配煤技术的发展与现状[J]. 煤化工, 2004(3): 6-9.
- [5] 江中砥, 赵焕栋, 李明富. 煤岩配煤中 CBI 和 SI 指数的意义及其应用[J]. 燃料与化工, 1998, 29(4): 188-191.
- [7] 江中砥, 李明富. 煤岩配煤及焦炭质量检验系统的开发与应用[J]. 山东冶金, 2010, 32(4): 1-4.
- [8] 王翠萍, 李雅楠. 煤岩配煤的试验研究[J]. 燃料与化工, 2011, 42(2): 10-12.
- [9] 周师庸. 炼焦煤性质与高炉焦炭质量[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2008.
- [10] 叶道敏, 肖文钊, 罗俊文, 等. 煤岩配煤和焦炭强度的预测[J]. 燃料与化工, 1998, 29(5): 233-236.
- [11] 刘运良, 崔之栋, 王慧英, 等. 论煤岩配煤中煤岩参数的选择[J]. 燃料与化工, 1994, 25(2): 63-67.
- [12] 张学礼. 一种生产优质焦炭的方法: 中国, 1277985[P]. 2000-12-27.
- [13] 薛改凤, 陈鹏, 魏松波, 等. 一种炼焦配煤方法: 中国, 101081989[P]. 2007-12-05.
- [14] 刘文礼, 张磊, 门东坡. 一种扩大炼焦煤资源的方法: 中国, CN102627977A[P]. 2012-08-08.
- [15] 项茹, 薛改凤, 陈鹏, 等. 炼焦煤镜质组反射率分布对焦炭显微结构和热性能的影响[J]. 煤化工, 2007(5): 47-49.
- [16] 张代林, 曾涛, 李伟锋, 等. 煤焦显微结构特征与焦炭性质的关系[J]. 钢铁, 2011, 46(1): 14-18.

- [4] 陆军. 煤矸石发电是扩大煤矸石综合利用的有效途径[J]. 中国煤炭, 2001, 27(7): 36-42.
- [5] 刘志刚. 沸腾炉电厂煤矸石燃料破碎机的设计[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(S1): 67-68.
- [6] 蔡赞烽, 胡明振, 刘超, 等. 破碎理论与数学模型发展综述[J]. 黑龙江科技信息, 2008(4): 48-49.
- [7] 高强, 张建华. 破碎理论及破碎机的研究现状与展望[J]. 机械设计, 2009(10): 72-75.
- [8] 魏永英. 单齿辊破碎机设计与计算[J]. 机械设计与制造, 2008, 5(5): 18-20.
- [9] 黄冬明, 武殿梁, 范秀敏, 等. 圆锥破碎机的多目标规划设计[J]. 机械工程学报, 2007, 43(3): 204-211.
- [10] 陈天虎, 庆承松, 黄明康. 煤矸石的特性及其选择性破碎分选[J]. 矿产保护与利用, 1994(4): 39-41.
- [11] Vuthaluru H B, Brooke R J, Zhang D K, et al. Effects of moisture and coal blending on hardgrove grindability index of Western Australian coal[J]. Fuel Processing Technology, 2003, 81(1): 67-76.
- [12] 张妮妮. 煤的可磨性指数变化及破碎机机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [13] 张清涛. 燃煤粒径对循环流化床锅炉(CFB)运行的影响[J]. 能源研究与管理, 2010(1): 32-34.
- [14] Duan Wenjun, Yu Qingbo, Wang Kun, et al. ASPEN Plus simulation of coal integrated gasification combined blast furnace slag waste heat recovery system[J]. Energy Conversion and Management, 2015, 100: 30-36.