

# 煤矸石层燃原理与工艺研究<sup>\*</sup>

张全国<sup>①</sup> 刘圣勇 蒋国良 郭晓和  
(河南农业大学机电工程学院) (河南省计委能源处)

**提 要** 介绍了研究开发的煤矸石层燃原理与工艺流程及其燃用特性,利用成型燃烧理论和助燃技术解决了煤矸石在层燃炉内难燃和烟尘污染严重等技术难题,为煤矸石废弃物的资源化洁净利用提供了一种切实可行的新技术。

**关键词** 固体废物 煤矸石 层燃

## Study on Layer Combustion Technology of Gangues

Zhang Quanguo Liu Shengyong Jiang Guoliang

(Mechanical Electrical Engineering College of Henan Agricultural University)

Guo Xiaohu

(The Energy Source Department of Henan Provincial Plan Commission)

**Abstract** This paper presents the technical procedure and characteristic of gangue combustion to be aimed at a large number of layer combustion furnaces in China. The technological problems of the difficult combustion and serious dust pollution of gangues in layer combustion furnaces have been solved with the help of the briquetting combustion principle and the combustion-supporting technology, which is regarded as a new available technology to develop and utilize the solid waste resources.

**Key words** Solid waste Gangue Layer combustion

## 1 引 言

煤矸石是一种热值低、灰分高的工业固体废物,约占煤炭产量的15%,我国的堆存总量已达16亿吨以上,发热量相当于4亿多吨原煤,占地近1万hm<sup>2</sup>,是引起社会公害的最值得关注的污染源,不仅占用农田、污染环境,还浪费资源。法国和德国煤矸石的利用率已达30%~50%,而我国1993年才达20%,煤矸石利用的技术水平较为落后,开发利用的潜力较大<sup>[1]</sup>。

国内外学者对煤矸石作为炉用燃料的资源化利用已进行了大量研究,在掌握煤矸石燃烧规律方面已取得较大进展。然而,这些研究都局限于流化床锅炉的煤矸石沸腾燃烧技术,

收稿日期:1995-05-15

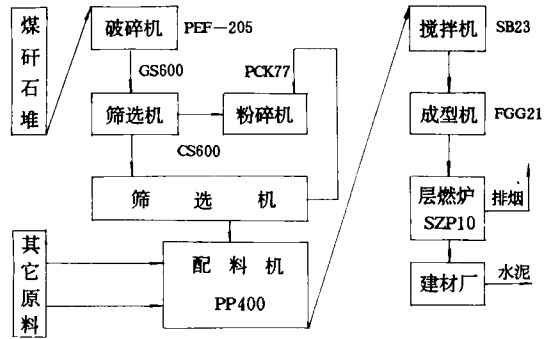
\* 国家环保科技发展计划资助项目和河南省科技攻关项目

① 张全国,副教授,郑州市文化路 河南农业大学机电工程学院,450002

而在层燃炉上燃用煤矸石的问题至今仍未得到解决。我国现有近 40 万台层燃炉,年耗煤超过 3 亿吨,研究开发适用于此类锅炉的煤矸石层燃技术,符合我国国情,对节能和环保建设事业均具有重要意义。为此,作者于 1988~1994 年对煤矸石层燃理论和工艺技术进行了研究,以期解决煤矸石在各种层燃炉内的难燃及经济效益问题,为煤矸石等低热值固态废弃物的资源化利用提供一条新途径。

## 2 层燃工艺流程及技术原理

针对不同层燃炉型,在煤矸石中掺配适量的原煤和助燃添加剂,按一定加工条件制成不同形状的煤矸石成型燃料,解决煤矸石难燃、飞灰污染严重以及层燃炉出力低等技术难题,实现煤矸石的洁净化层燃利用。作者根据煤矸石层燃燃烧的技术特征,研究设计出适用于层燃炉的煤矸石层燃工艺流程及设备,如附图所示。



附图 煤矸石层燃工艺简图

### 2.1 煤矸石的破碎

煤矸石是同煤炭拌在一起的含碳岩石,其硬度较大。煤矸石的破碎就是用机械方法将大块料减小到 30mm 以下的加工过程,煤矸石本身的强度、硬度、塑性和水分等均影响煤矸石的破碎,这是选择破碎设备的主要依据。本文选定 PEF-205 型鄂式破碎机,不仅耗电低,产量高,而且对煤矸石种类的适应性强,破碎质量好,比较适用。当煤矸石破碎到 30mm 以下时,再经过电磁除铁器除去原料中的铁杂质即可进入粉碎工序。

### 2.2 煤矸石的粉碎

将破碎了的原料再粉碎到 5mm 以下(大于 3mm 的少于 5%, 2mm 以下的多于 70%),是煤矸石层燃工艺中最基本的重要工艺。由于常用的鼠笼和卧式粉碎机是挤压和碰撞粉碎,粉碎后的煤矸石粉粒在显微镜下观察大都是片状结构,在成型时不仅不易粘结,而且相互间空隙大小不同,破坏了煤矸石成型燃料应具有均匀性质的优点。我们 PCK-77 型锤式粉碎机,在粉碎过程中可使原料互相碰撞和磨擦,因而粉粒大都呈球形,成型时易于粘结,相互间空隙的均匀性亦较好。粉碎工艺必须保持原料的干燥状态,不能加水,否则会影响到粉碎后的粒度和筛分工序。同时,要求在粉碎后必须加筛分工序,以保证粉碎工序达到粒度要求。

### 2.3 煤矸石成型燃料的形状及配比优选

煤矸石层燃理论与实践均表明,其燃料形状和尺寸对层燃过程有较大影响<sup>[2]</sup>。尺寸过大,会出现不易烧透,造成不完全燃烧损失;尺寸过小,又会出现漏煤损失,并使燃料层通风不良,限制了燃料层厚度增加,影响锅炉的出力。因此,确定出煤矸石成型燃料的最佳尺寸及形状是煤矸石层燃技术的一项主要内容。根据优化试验方法,对不同炉型适用的煤矸石成型燃料尺寸、形状及配比进行试验优选,所得的研究结果见表 1<sup>[2]</sup>。

表1 煤矸石成型燃料的形状及配比

煤矸石 成型燃料	配 比 (%)				形状	尺寸 /mm	单个重量 /g	适用炉型 /t·h <sup>-1</sup>
	煤矸石	原煤	助燃剂	另加水分				
GO1	85	0	15	15	圆柱	Φ20×30	35	< 1
GO2	50	40	10	10	圆柱	Φ20×30	35	1~6
GO3	40	55	5	10	椭球	25×20×28	30	≥10

## 2.4 煤矸石成型燃料的配料与混料

按表1的配方规定,把煤矸石、原料、助燃剂和水分按比例配合在一起。然后,利用SB23型双轴搅拌机进行均匀混合。混合时的加水时间是影响煤矸石成型燃料特性的一个关键工艺参数,因为加水可以起到润滑原料颗粒的作用,便于成型,所以固体粘结剂必须加水才会发挥其粘结作用。试验发现加水过多会减弱粘结剂的粘结作用,尤其当加水时间过长(超过4小时)时,水就能进入煤矸石粉粒间的毛细管,使成型后难以受热蒸发除去,影响燃烧效率<sup>[3]</sup>。研究表明,水应在成型前20min左右加入为宜,且须慢慢地边加水边搅拌,然后进入FGG型工业型煤成型机即可制出合格的煤矸石成型燃料。

## 2.5 煤矸石助燃添加剂的优选

为使煤矸石适用于层燃工艺,我们以多种工农业废弃物为主要原料,研制出成本低廉的煤矸石助燃添加剂,其化学成分见表2<sup>[4]</sup>。

表2 煤矸石助燃添加剂的化学成分

(%)

种 类	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	灼减量	其它
GO1(O2)	40.1	6.0	2.2	4.3	5.1	11.2	8.9	19.6	2.6
GO3	28.2	11.2	2.2	4.3	6.5	17.8	6.1	15.1	8.3

## 3 煤矸石成型燃料特性

### 3.1 煤矸石成型燃料的煤质特性

根据GB475-83(商品煤取样方法)、GB475-83(煤样制备方法)、GB212-91(煤的工业分析方法)和GB213-87(煤的发热量测定方法)等试验分析方法对3种煤矸石成型燃料进行了煤质特性分析,其分析结果见表3。

表3 煤矸石成型燃料的煤质特性

燃料	收到基	干燥基	干燥无灰	收到基	抗压强度	抗碎强度	收到基低
	水分	灰分	基挥发分	固定碳			
	(%)	(%)	(%)	(%)	/MPa	(%)	/MJ·kg <sup>-1</sup>
GO1	5.60	73.58	13.58	21.48	> 0.94	> 91.2	6.21
GO2	5.68	47.50	17.05	41.07	> 0.76	> 82.3	15.33
GO3	4.90	40.90	23.90	42.80	> 0.76	> 78	17.97

### 3.2 煤矸石成型燃料的燃烧特性

将 GO1 和 GO2 燃料在 LSS0.4 型层燃炉上进行燃烧试验,将 GO3 燃料在 SZP10 型层燃炉上进行燃烧试验,并与原煤的燃烧性能进行对比测试,结果见表 4。从表中可以看出,GO2 和 GO3 燃料的着火燃烧性能较好,均能保证层燃炉的正常运行,锅炉出力、热效率以及燃烧效率都与原煤相接近,甚至优于原煤。GO1 燃料的出力和热效率都比燃用原煤有所降低,但能保证在层燃炉内的稳定燃烧,在煤炭供应短缺时,可以完全取代原煤在层燃炉内燃用。同时,煤矸石成型燃料在层燃炉内燃烧时的烟尘排放浓度和林格曼烟度均符合国家锅炉烟尘排放标准<sup>[5]</sup>,降低了环境污染。

表 4 煤矸石(GO1、GO2、GO3)成型燃料的燃烧性能

燃料	锅炉出力 /t·h <sup>-1</sup>	燃料消耗量 /kg·h <sup>-1</sup>	燃烧效率 (%)	热效率 (%)	烟尘浓度 /mg·m <sup>-3</sup>	林格曼烟度 (级)
登封原煤	0.351	56.7	84	66.96	520	1~2
GO1	0.290	186.3	71	60.32	230	< 1
GO2	0.348	84.6	85	66.01	370	< 1
韩庄原煤	8.40	1776	81	56.16	610	1~2
GO3	8.57	1994	88	67.35	390	< 1

### 3.3 煤矸石层燃炉渣的物化特性

煤矸石成型燃料层燃燃烧后的炉渣成分与纯煤灰水泥的化学成分十分相似(见表 5)。煤矸石成型燃料的炉渣经过破碎工艺,加入适量的石灰、石膏等辅助剂合理调整 CaO、SiO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub> 等含量后,即可作为生产水泥的熟料或掺合料。

表 5 煤矸石层燃炉渣的化学成分

项 目	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	MgO	烧失量
GCA 炉渣	54.21	16.64	4.01	0.78	4.62	0.89	8.33	1.84	1.78
粉煤灰水泥	25.07	14.87	—	—	9.01	5.54	39.72	2.36	2.54

## 4 煤矸石层燃技术的效益分析

### 4.1 煤矸石层燃技术的节能效益

煤矸石成型燃料中主要含有煤矸石,在燃用时无疑会产生较大的节能效果。本文仅根据层燃炉燃用原煤、GO1、GO2、GO3 燃料的对比试验结果,对煤矸石层燃技术所产生的直接节能效益进行了分析,其结果如表 6 所示。

### 4.2 煤矸石层燃技术的经济效益

根据层燃炉燃用煤矸石成型燃料的实际运行情况,本文仅分析煤矸石层燃技术所带来的直接经济效益,分析结果如表 7 所示。

### 4.3 煤矸石层燃技术的社会效益

煤矸石成型燃料主要由工业废渣—煤矸石(在 GO1 燃料中占 85%,在 GO2 燃料中占

50%,在GO3燃料中占40%)等所制成,它在我国的推广应用不仅具有明显的能源效益和经济效益,而且具有减少煤矸石堆存占地量,节约农田,改善环境,方便操作等重大的社会效益和环境效益。

表6 煤矸石层燃技术的节能效益

层燃炉型	燃料	单产能耗 /kg标煤·t <sup>-1</sup>	单产节能量 /kg标煤·t <sup>-1</sup>	小时节能量 /kg标煤·h <sup>-1</sup>	年节能量 kg标煤·a <sup>-1</sup>	节能率 (%)
	登封原煤	127.7	—	—	—	—
LSS0.4	GO1	2.95	124.32	36.05	175 924	97.68
	GO2	73.06	54.21	18.97	92 574	42.59
SZP10	韩庄原煤	171.05	—	—	—	—
	GO3	104.58	66.47	569.65	2779 892	38.86

表7 煤矸石层燃技术的直接经济效益

层燃炉型	燃料	燃料成本费 /元·t <sup>-1</sup>	单产节能量 /kg标煤·t <sup>-1</sup>	单产节约燃料费 /元·t <sup>-1</sup>	小时节约燃料费 /元·h <sup>-1</sup>	年节约燃料费 /元·a <sup>-1</sup>
	登封原煤	120	—	—	—	—
LSS0.4	GO1	12.65	124.32	18.94	5.49	26 804
	GO2	59.85	54.21	8.26	2.87	14 027
SZP10	韩庄原煤	120	—	—	—	—
	GO3	82.25	66.47	9.86	84.50	412 360

## 5 结 语

1) 将煤矸石等制成成型燃料既可满足层燃炉在无任何改动条件下直接燃用的要求,又可较好地解决锅炉燃用高灰分燃料所普遍存在的严重飞灰污染问题,若再辅之以炉渣生产水泥或其它建筑材料等综合利用技术,则为煤矸石资源的大量洁净化开发和利用提供了新的理论和方法。

2) 煤矸石成型燃料的质量参数、燃烧性能及烟尘排放等均达到各种层燃锅炉及民用锅炉的燃用要求。

3) 煤矸石成型燃料中的GO1燃料(其中煤矸石占85%)在炉内燃用时,虽会造成锅炉蒸发量的降低(经测试比燃用原煤的蒸发量降低17.4%),且因其发热量较低使燃料消耗有较大增加,会相应加大手烧炉炉工的劳动强度。但GO1燃料在炉内的燃烧情况良好,可以使锅炉完全不用原煤,其能源效益、经济效益及环境效益高,这对缓解能源危机、环境保护及资源综合利用有着重大的意义。

4) 煤矸石成型燃料中 G02 和 G03 燃料在炉内燃用时, 锅炉蒸发量、热效率、燃烧效率及着火性能等都与原煤相接近, 甚至略优于原煤, 完全可以保证锅炉的经济运行, 节能率分别达到 42.59% 和 38.86%, 一台 10 t/h 的锅炉每年就可以节约标准煤 2 779.89 t (合 3 446.12 t 原煤), 节能效果十分显著, 可获得较高的直接经济效益(每年节约燃料费达 41 万元), 这是符合我国国情, 具有较好推广应用价值的一种煤矸石层燃技术。

5) 研究设计的煤矸石层燃工艺和技术, 符合我国层燃锅炉的实际情况和运行要求, 为大量洁净化利用煤矸石开辟了一条新途径。

#### 参 考 文 献

- 1 张全国. 生物质对煤矸石的助燃作用研究. 新能源, 1991(12):28~31
- 2 张全国. 煤矸石成型燃烧特性的实验研究. 矿产综合利用, 1994(6):42~47
- 3 张全国. 利用煤矸石熔制岩棉的机理与工艺研究. 环境保护科学, 1994, 20(3):17~20
- 4 Zhang Quanguo. Study of Gangue Briquetting Fuels Suitable for Fixed-bed Boilers. International Journal of Energy Research, 1993, 17(7):665~668
- 5 冯俊凯. 锅炉原理及设计. 北京: 科学出版社, 1992