

技术方法

## 龙口油页岩半焦和煤混合燃烧特性研究

王明山,冯绍龙,韩应国,王其雷

(山东省煤田地质局第二勘探队,山东 济宁 272100)

**摘要:**通过对龙口褐煤、油页岩和半焦进行混合试验,研究了混合前后发热量、挥发分、灰分、水分、硫分和灰熔融性软化温度的变化特征,掌握了性价比最高的最佳配比,为小颗粒油页岩、煤和半焦的混合燃烧发电提供了科学依据。

**关键词:**煤;油页岩;半焦;燃烧指标;变化特征;最佳配比;综合燃烧发电;山东龙口

**中图分类号:**TE662 **文献标识码:**B

**引文格式:**王明山,冯绍龙,韩应国,等.龙口油页岩、半焦和煤混合燃烧特性研究[J].山东国土资源,2015,31(12):66-69.WANG Mingshan, FENG Shaolong, HAN Yingguo, etc. Study on Combustion Characteristics of Oil Shale Semi-coke and Coal Mixture[J].Shandong Land and Resources, 2015,31(12):66-69.

油页岩的工业开发利用概括起来主要有2个方面,即利用低温干馏技术提取页岩油和直接燃烧发电<sup>[1-3]</sup>。山东胶东龙口小颗粒油页岩约占50%,目前均作为配煤送热电厂发电,大、中颗粒油页岩干馏后的半焦中还含有多种微量金属元素、硫化物、半挥发性物质、多环芳香烃、酚类等有机化合物及其他有害物质,不处理将对环境造成严重污染,半焦发电是油页岩综合利用的重要环节。因此研究煤、油页岩和半焦在不同混合比例后的燃烧性指标高低,掌握最佳配比,对半焦、油页岩和煤的混合燃烧发电具有重要的指导意义。

## 1 研究方法

**样品选择:**该次从龙口北皂矿取褐煤及油页岩样品,从龙福公司取半焦样品。褐煤为所有煤种中综合燃烧性能<sup>[4]</sup>;油页岩作为低热值燃料具有点火容易和较高的燃烧效率,且不宜结焦<sup>[5]</sup>;半焦具有灰分产率高和热值低的特点。

**煤、油页岩、半焦及混合样品主要燃烧指标:**将煤和油页岩按照1:1和1:0.8~1:0.1(以0.1为级差)的比例混合,煤和半焦按照1:0.6~1:0.1(以0.1

为级差)的比例混合,将煤样、油页岩样及混合样品经山东泰山矿产资源检测研究院化验,燃烧指标见表1<sup>①</sup>。

**表1 煤油页岩半焦及混合样品主要燃烧指标**

编号	水分	灰分	挥发分	全硫	发热量	灰熔性
	Mad%	Ad%	Vdaf%	St, d%	Qnet, d MJ/kg	软化温 度 ST
煤	7.20	26.76	47.23	0.69	20.49	1300
油页岩	4.28	47.53	74.27	0.89	15.37	1160
半焦	1.32	56.27	36.69	0.79	13.81	1160
煤-油页岩 1:1	9.37	37.47	56.08	0.79	17.83	1180
煤-油页岩 1:0.8	9.35	37.87	57.49	0.82	17.46	1180
煤-油页岩 1:0.7	9.98	34.97	54.83	0.78	18.25	1200
煤-油页岩 1:0.6	10.82	35.64	54.27	0.78	18.50	1180
煤-油页岩 1:0.5	12.22	33.32	53.25	0.79	18.84	1220
煤-油页岩 1:0.4	11.46	33.85	53.12	0.77	19.30	1220
煤-油页岩 1:0.3	11.87	32.00	52.19	0.75	19.22	1240
煤-油页岩 1:0.2	12.40	29.84	51.55	0.75	20.09	1240
煤-油页岩 1:0.1	14.82	26.63	49.17	0.73	20.77	1260
煤-半焦 1:0.6	10.10	46.14	48.91	0.82	15.53	1160
煤-半焦 1:0.5	10.42	46.42	49.48	0.83	14.98	1140
煤-半焦 1:0.4	9.46	48.20	50.70	0.84	15.13	1140
煤-半焦 1:0.3	11.92	39.21	47.83	0.82	17.12	1180
煤-半焦 1:0.2	11.34	38.35	47.97	0.79	17.70	1200
煤-半焦 1:0.1	14.06	29.18	47.86	0.77	20.03	1220

收稿日期:2015-01-29;修订日期:2015-04-02;编辑:陶卫卫

地勘基金项目:科研类山东省国土资源厅,龙口油页岩赋存规律及开发利用研究,鲁国土资字[2013]

作者简介:王明山(1964—),男,山东费县人,高级工程师,一直从事煤田地质勘查工作;E-mail:smw\_jn@126.com

①山东省煤田地质局第二勘探队,龙口油页岩赋存规律及开发利用研究,2014年。

根据我国发电用煤对煤质的主要要求:褐煤电厂发热量  $Q_{\text{net,ar}}$  要求在 12.0 MJ/kg 以上;挥发分 ( $V_{\text{daf}}$ ) 在 40% 以上;灰熔融性软化温度 (ST) 大于 1 150℃;硫分不超过 2%;灰分一般不宜太高,对小型电厂灰分不超过 46%;干燥基水分一般不超过 15%。

根据煤的发电指标要求,由表 1 化验数据,煤、油页岩、半焦及混合样的发热量  $Q_{\text{net,ar}}$  在 13.81~20.77 MJ/kg;除半焦外其他挥发分  $V_{\text{daf}}$  在 47.23%~74.27% 之间,半焦挥发分 36.69%;除半焦灰分 56.27% 较大外,其他灰分一般小于或接近 46%;硫分均不超过 1%;全水分  $M_{\text{ad}}$  均小于 15%;在煤和半焦混合样(1:0.6 和 1:0.5)灰熔融性软化温度 (ST) 为 1 140℃,其他样品 ST 值均大于 1 150℃。根据以上化验结果说明混合样品的发热量、挥发分、灰分、硫分、全水分及灰熔融软化温度 (ST) 均满足发电要求。

## 2 混合前后样品变化分析

在利用煤、油页岩和半焦的混合燃烧发电时,为使其获得最佳性价比,分析样品混合前后发热量、挥发分、灰分、水分、硫分、灰熔融性软化温度的变化具有较大意义。

### 2.1 混合前后发热量变化

煤和油页岩混合前发热量,煤>油页岩,煤和油页岩混合后发热量介于煤和油页岩之间,从 1:1 到 1:0.1 的混合比例,发热量基本上呈逐渐缓慢升高趋势,并且都满足发电要求,从性价比上看,煤和油页岩以 1:1 的混合比例性价比最高。

煤和半焦混合前发热量,煤>半焦,煤和半焦混合后发热量介于煤和半焦之间,从 1:0.6 到 1:0.1 的混合比例,发热量基本上呈逐渐缓慢升高趋势,并且都满足发电要求,从性价比上看,煤和半焦以 1:1 的混合比例性价比最高。

### 2.2 混合前后挥发分变化

挥发分大小与煤、油页岩的变质程度有关,变质程度越高,其挥发分产率就越低。煤、油页岩和半焦混合前挥发分,油页岩>煤>半焦,煤和油页岩混合后挥发分介于煤和油页岩之间,从 1:1 到 1:0.1 的混合比例,挥发分基本上呈逐渐缓慢下降趋势,并且都满足发电要求,从性价比上看,煤和油页岩以 1:1

或 1:0.8 的混合比例性价比最高。

煤和半焦混合后挥发分明显比混合前的煤和半焦高,从 1:0.6 到 1:0.1 的混合比例,挥发分总体上呈缓慢下降趋势,在 1:0.4 时的挥发分最高,并且都满足发电要求,从性价比上看,煤和半焦以 1:0.6~1:0.4 的混合比例性价比最高。

### 2.3 混合前后灰分变化

煤、油页岩和半焦混合前灰分,半焦>油页岩>煤,煤和油页岩混合后灰分介于煤和油页岩之间,从 1:1 到 1:0.1 的混合比例,灰分基本上呈逐渐缓慢下降趋势,并且都满足发电要求,从性价比上看,煤和油页岩以 1:0.5~1:0.7 的混合比例性价比最高。

煤和半焦混合后灰分介于煤和半焦之间,从 1:0.6 到 1:0.1 的混合比例,灰分总体上呈缓慢下降趋势。在 1:0.4 时的灰分最高,超过工业标准要求;在 1:0.6~1:0.5 之间接近工业标准,基本满足发电要求,从性价比上看,煤和半焦以 1:0.6~1:0.5 或以 1:0.3 的混合比例性价比最高。

### 2.4 混合前后水分变化

煤、油页岩和半焦混合前水分,煤>油页岩>半焦,煤和油页岩混合后水分含量均大于混合前,从 1:1 到 1:0.1 的混合比例,灰分基本上呈逐渐上升趋势,混合前都满足发电水分要求,混合后除 1:1~1:0.7 之间基本满足工业发电要求外,其他混合比例均不能满足工业发电要求。从性价比上看,煤和油页岩以 1:1~1:0.7 的混合比例性价比最高,并且基本满足发电要求。

煤和半焦混合后除 1:0.4 比例低于混合前煤的水分外,其他水分含量基本大于混合前,从 1:0.6 到 1:0.1 的混合比例,水分总体上呈上升趋势。在 1:0.4 时的水分最低,达到工业标准要求;在 1:0.6~1:0.5 之间接近工业标准,基本满足发电要求,从性价比上看,煤和半焦以 1:0.6~1:0.5 或以 1:0.6~1:0.4 的混合比例性价比最高。

### 2.5 混合前后硫分变化

硫为煤中的有害杂质,在煤燃烧过程中与  $O_2$  反应生成硫的氧化物,不仅腐蚀设备,而且污染环境,损害身体健康。对高硫煤在燃烧前需进行脱硫处理和回收利用。煤、油页岩和半焦混合前、后全硫含量均小于 1%,因此全都符合工业发电要求。混合前

后化验结果详见图 1。

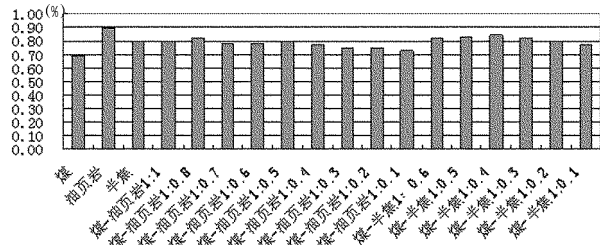


图 1 混合前后硫分变化柱状图

煤、油页岩和半焦混合前全硫含量,油页岩>半焦>煤,煤和油页岩混合后硫分含量介于混合前油页岩和煤之间,从 1:1 到 1:0.1 的混合比例,图中显示硫分基本上呈逐渐下降趋势。从性价比上看,煤和油页岩以 1:1~1:0.7 的混合比例性价比最高,并且能够满足发电要求。

煤和半焦混合后硫分含量基本大于混合前,从 1:0.6 到 1:0.1 的混合比例,图 1 中显示硫分基本上呈逐渐下降趋势。从性价比上看,煤和半焦以 1:0.6 的混合比例性价比最高,并且能够满足发电要求。

### 2.6 混合前后灰熔融性软化温度变化

煤、油页岩和半焦混合前软化温度,煤>油页岩和半焦,煤和油页岩混合后软化温度介于混合前煤和油页岩之间(图 2),从 1:1 到 1:0.1 的混合比例,图中显示软化温度呈逐渐上升趋势,混合前后均满足工业发电要求。从性价比上看,煤和油页岩以 1:1~1:0.5 的混合比例性价比较高,并且均满足发电要求。

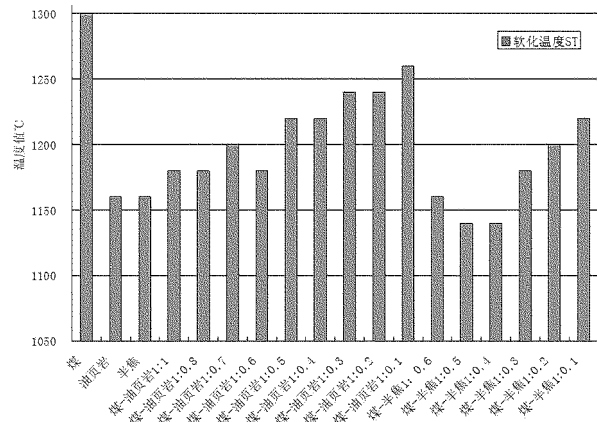


图 2 褐煤、油页岩及半焦混合前后软化温度变化示意图

煤和半焦混合后除 1:0.4 和 1:0.5 比例低于工业标准外,其他混合前后软化温度均达到工业要求。

从性价比上看,煤和半焦以 1:0.6 的混合比例性价比最高。

软化温度对锅炉的热效率、运行及完全性有很大的影响。灰熔点的高低,与煤灰、油灰和半焦的组分有很大关系。①当灰熔点低时,燃烧时易结渣。对层燃炉来说,煤灰结渣后,通风阻力增加,物理性不完全燃烧热损失上升,热效率下降,破坏了正常燃烧的状况;对煤粉来说,易使炉膛内壁爬渣,在高温对流过热的管子上搭桥,使燃烧状况恶化,严重时还会引起锅炉爆炸。因此,为保证锅炉运行安全,应采用液态排渣,若不能液态排渣,要求其灰熔点  $ST < 1350^{\circ}C$ 。②当灰熔点过高时,在层燃炉中煤灰呈粉末状,渣块小,透气性差,对燃烧不利。

### 3 结语

通过煤、油页岩和半焦混合试验表明:发热量:煤和油页岩或煤和半焦均以 1:1 的配比性价比最高。挥发分:煤和油页岩以 1:1 或 1:0.8、煤和半焦以 1:0.6~1:0.4 的配比性价比最高。灰分:煤和油页岩以 1:0.5~1:0.7、煤和半焦以 1:0.6~1:0.5 或以 1:0.3 的配比性价比最高。水分:煤和油页岩以 1:1~1:0.7、煤和半焦以 1:0.6~1:0.5 或以 1:0.6~1:0.4 的配比性价比最高。硫分:煤和油页岩以 1:1~1:0.7、煤和半焦以 1:0.6 的配比性价比最高。灰熔融性软化温度:煤和油页岩以 1:1~1:0.5、煤和半焦以 1:0.6 的配比性价比最高。并且都能满足发电要求。

利用煤和油页岩、煤和半焦混合燃烧发电,燃烧主要是煤、油页岩或半焦的化学能向热能的转换过程,故要求其燃烧时放热越多越好,即热效率越高越好。但热效率的高低受燃烧设备的性能与操作、燃烧方式、油页岩及半焦或煤的成分和质量等控制。对于既定的燃烧设备来讲,其燃烧方式也是确定的,因此,影响热效率高低的因素包括水分、灰分、挥发份、全硫、发热量和灰熔融性。

### 参考文献:

- [1] 刘佰谦. 桦甸油页岩燃烧过程的热重分析[J]. 燃烧科学与技术, 1998, 4(1): 51-54.
- [2] 于敦喜, 徐明厚. 煤焦破碎的模拟研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(9): 90-93.
- [3] 韩向新, 姜秀民, 崔志刚, 等. 油页岩半焦燃烧特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 106-110.

[4] 缪岩.煤燃烧特性的综合指标[J].电站系统工程,1998,14(3):23-26.

[5] 蒋德华.茂名油页岩燃烧特性研究[J].洁净煤技术,2006,12(3):86-87.

## Study on Combustion Characteristics of Oil Shale Semi-coke and Coal Mixture

WANG Mingshan , FENG Shaolong , HAN Yingguo , WNAG Qilei

(No. 2 Exploration Brigade of Shandong Bureau of Coal Geology, Shandong Jining 272100, China)

**Abstract:**Through mixing test of lignite, oil shale and semi-coke in Longkou city, heat, volatile matter, ash, moisture, sulfur, ash fusibility and change characteristics of softening temperature before and after mixing have been studied. The best proportion with the highest performance ratio has been known. It will provide scientific basis for combustion power generation by using mixed small particles of oil shale, coal and semi-coke.

**Key words:**Combustion index; change characteristics; best proportion; comprehensive combustion power generation; Longkou city