

煤炭洁净利用与煤化工技术丛书

配煤炼焦

裴贤丰
王晓磊
主编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

● 煤炭洁净利用与煤化工技术丛书

配煤炼焦

主 编 ● 裴贤丰 王晓磊

中国石化出版社



图书在版编目(CIP)数据

配煤炼焦 / 裴贤丰, 王晓磊主编.
—北京: 中国石化出版社, 2014. 12
ISBN 978-7-5114-3148-6

I. ①配… II. ①裴… ②王… III. ①配煤(炼焦)
IV. ①TQ520. 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 309289 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。
版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010)84271850

读者服务部电话: (010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

889×1194 毫米 大 32 开本 2.75 印张 65 千字

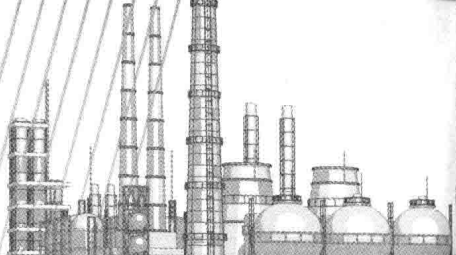
2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

定价: 18.00 元

编 委 会

主编 裴贤丰 王晓磊

编者 曲思建 陈亚飞 梁大明 陈贵锋
王利斌 商铁成 张 颀 赵 奇
白效言 王 岩 周 琦 王世宇
孙会清 鲁 励 刘立麟 刘 敏
王 琳 王培培 田陆峰 郭珊珊



引言 Introduction

生产用焦炭的质量要求是：灰分低、硫分少、强度高、各向异性程度高，在室式炼焦条件下，要满足上述全部要求，单种煤炼焦是很难实现的。另外，由于炼焦煤资源的特征，各国煤炭资源也无法满足单种煤炼焦的需求。配煤就是将两种以上的单种煤料，按适当的比例均匀配合，使各种煤料在性质上能取长补短，以生产出合乎要求的焦炭，同时适当增加化学产品产量，降低炼焦成本，实现煤炭资源的合理利用。

在可以单独炼焦的煤种中，黏结性较好的焦煤可以单独炼制出优质焦炭，但是在结焦过程中焦饼收缩小，产生较大的膨胀压力，造成推焦困难，甚至会影响焦炉的寿命。肥煤的黏结性很强，但单独炼焦所得焦炭容易形成部分蜂窝焦，从而影响焦炭的强度。还有些炼焦煤虽然很难单独炼制出质量较好的焦炭，但是却具有膨胀压力小，灰、硫等有害杂质含量低等特点。所以可以将几种炼焦煤配合使用，发挥各类煤在炼焦过程中的特点，扬长避短、优势互补，以经济合理的配煤方案炼出质量合格的焦炭，以适应不同用户的需要。

我国煤炭资源虽然十分丰富，但煤种、储量和资源分布不均，黏结性好的焦煤、肥煤资源有限，气煤和 1/3 焦煤资源丰富。因此结合各地区煤炭资源的特点，采用不同煤种配合炼焦，不但扩大了煤炭资源的有效利用，而且可以弥补单煤炼焦所得焦炭质量的不足，从而满足各个行业对焦炭质量和数量的需求。



目 录 Contents

第一章 炼焦煤的煤质评定方法	(1)
第一节 煤的可选性及评价	(1)
第二节 煤的工业分析	(3)
第三节 煤的黏结性与结焦性评价	(4)
第四节 煤的岩相分析	(16)
第二章 单种煤结焦性能评价	(18)
第一节 中国炼焦煤资源及煤质特性	(18)
第二节 中国炼焦煤分类概述	(19)
第三节 单种煤结焦性能评价	(21)
第三章 配煤炼焦	(24)
第一节 高温炼焦过程及特点	(24)
第二节 配煤炼焦原理概述	(28)
第三节 配煤炼焦的原则	(31)
第四节 配合煤的质量要求及选择	(32)
第五节 配煤炼焦试验	(38)
第四章 影响焦炭质量的因素	(44)
第一节 焦炭的种类	(44)
第二节 焦炭的质量指标及要求	(47)
第三节 影响焦炭质量的因素分析	(49)
第四节 焦炭质量预测方法	(55)

第五章 配煤炼焦新工艺及发展方向	(70)
第一节 配煤炼焦新工艺	(70)
第二节 我国炼焦技术的发展方向	(77)
参考文献	(81)

第一章 炼焦煤的煤质 评定方法

对于配煤炼焦而言，因为各地的煤炭资源、煤质情况、炼焦工艺和焦炭质量要求不同，为了选择适宜的煤种进行炼焦，需要综合考虑上述各种因素。对于不同的炼焦煤，有的可以单独炼焦，有的需要通过洗选降低灰、硫含量才能达到要求，而有的煤则必须要通过与其他煤种配合才能达到要求。所以，通过对炼焦煤的质量进行评价，掌握其基本特性，就可以做到对炼焦用煤因材施教，最终炼制出合格的焦炭。

对炼焦用煤的煤质评价，主要包括煤的可选性评价、黏结性与结焦性评价和煤的岩相分析等。本章将对这些指标及其评价方法加以概述。

第一节 煤的可选性及评价

灰分和硫分是煤和焦炭中的有害杂质，炼焦过程中，煤中的灰分全部转入焦炭中，而煤中的硫也大部分转入焦炭中。因此，为了降低焦炭中有害杂质的含量，就应该从源头上进行控制。目前主要通过炼焦煤的洗选来降低其有害杂质含量，从而达到配煤炼焦的要求。

煤的洗选就是通过一定的方法，按照精煤与矸石在物理和化学性质上的差别，使混杂在煤中的矸石、黄铁矿、夹矸煤等与精煤分离的过程。

煤的可选性是指对煤炭进行分选加工时，按要求的质量指标从原煤中分选出精煤产品的难易程度，煤的可选性是选煤工艺研究和设计选煤厂的主要依据。通过对煤的可选性的研究，

可以了解该种煤洗选的难易程度，并可估计不同质量煤炭产品的灰分和产率。易洗的煤可以得到灰分低、产率高的精煤，难选的煤不仅精煤灰分高、产率低，而且洗选过程的损失也大。

炼焦用煤对灰分和硫分有一定的要求，因此必须使用经过洗选的精煤。炼焦煤的可选性往往可以决定它们在配合煤中的可用性及其配入量的大小。影响煤的可选性的因素主要包括煤岩组成以及煤中含硫矿物质的数量、种类、性质和分布状态等。

国家标准(GB/T 16417—2011)规定了煤炭可选性的评定方法。由试验数据汇总成原煤浮沉试验综合表(表 1-1)，根据表中的数据绘制成一组原煤的可选性曲线(图 1-1)。

表 1-1 50~0.5mm 粒级(综合级)原煤浮沉试验综合表(示例)

密度级/ (g/cm ³)	产率/ %	灰分/ %	累计/%				$\delta \pm 0.1$	
			浮物		沉物		密度/ (g/cm ³)	产率/ %
			产率	灰分	产率	灰分		
<1.30	10.69	3.46	10.69	3.46	100.00	20.50	1.30	56.84
1.30~1.40	46.15	8.23	56.84	7.33	89.31	22.54	1.40	66.29
1.40~1.50	20.14	15.50	76.98	9.47	43.16	37.85	1.50	25.31
1.50~1.60	5.17	25.50	82.15	10.48	23.02	57.40	1.60	7.72
1.60~1.70	2.55	34.28	84.70	11.19	17.85	66.64	1.70	4.17
1.70~1.80	1.62	42.94	86.32	11.79	15.30	72.04	1.80	2.69
1.80~2.00	2.13	52.91	88.45	12.78	13.68	75.48	1.90	2.13
>2.00	11.55	79.64	100.00	20.50	11.55	79.64	—	—
合计	100.00	20.50	—	—	—	—	—	—
煤泥	1.01	18.16						
总计	100.00	20.48						

煤的可选性评定采用“分选密度 ± 0.1 含量法”(简称“ $\delta \pm 0.1$ 含量法”)。按照分选的难易程度，把煤炭可选性划分为 5 个等级，各等级的名称及“ $\delta \pm 0.1$ ”含量指标见表 1-2。

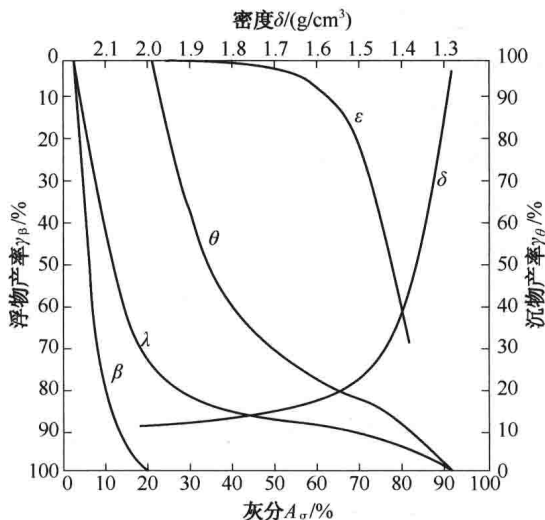


图 1-1 可选性曲线示意图

λ —灰分曲线； β —浮物曲线； θ —沉物曲线； δ —密度曲线； ε —密度 ± 0.1 曲线

也可以由图 1-1 中的 λ 曲线来大致判断煤的可选性，曲线上段愈陡直，中段产率愈大，下段愈平缓，说明该煤愈易选，反之则愈难选。从可选性曲线还可寻求产品的理论产率、理论灰分和分选密度。这三项指标只要确定一项，就可从可选性曲线图上查得其他两项指标。

表 1-2 煤炭可选性等级的划分指标

$\delta \pm 0.1$ 含量/%	可选性等级	$\delta \pm 0.1$ 含量/%	可选性等级
≤ 10.0	易选	30.1~40.0	难选
10.1~20.0	中等可选	> 40.0	极难选
20.1~30.0	较难选		

第二节 煤的工业分析

煤的工业分析，又叫煤的技术分析或实用分析，是煤质评价中最基本、最重要的分析项目之一。在国家标准中，煤的工

业分析是指包括煤的水分(M)、灰分(A)、挥发分(V)和固定碳(F)四个分析项目的总称。通常煤的水分、灰分和挥发分是直接测定的,而固定碳是用差减法计算得出的。广义上讲,煤的工业分析还包括煤的全硫分和发热量的测定,又叫煤的全工业分析。根据分析结果,可以大致了解煤中有机质的含量以及发热量的高低,从而初步判断煤的种类、加工利用效果及工业用途,根据工业分析数据还可计算煤的发热量和炼焦化产品的产率等。

第三节 煤的黏结性与结焦性评价

(一) 煤的黏结性与结焦性

黏结性和结焦性是炼焦煤的重要工艺性质,是评价炼焦煤重要的工艺指标。用于炼焦煤必须具有良好的黏结性和结焦性,才能炼出优质焦炭。

煤的黏结性是指煤在加热(隔绝空气)过程中,由于有机质的分解、熔融而表现出的自身黏结或黏结其他外加惰性物的能力。它是进行煤的工业分类的主要指标,着重反映煤在加热过程中软化熔融形成胶质体并使煤粒间相互黏结、固化成半焦的能力。黏结性受到变质程度、煤岩组分、氧化程度和矿物质含量等多种因素的影响,煤的种类不同,其黏结性一般也不相同。变质程度最高和最低的煤,一般都没有黏结性。

煤的结焦性是指煤在工业焦炉或模拟工业焦炉的炼焦条件下,结成具有一定块度和强度的焦炭的能力,它能全面反映煤在焦化过程中软化、熔融直到固化形成焦炭的性能。煤的结焦性好坏最终反映在炼焦后所得焦炭的质量上(焦炭的强度与块度)。结焦性好的煤除了具有足够且适宜的黏结性外,还应在半焦到焦炭的阶段具有较好的结焦能力。

煤的黏结性与结焦性是两个密切关联但又不完全相同的概念。良好的黏结性是煤具有结焦性的必要条件。结焦性好的



煤，黏结性一定好；但并非黏结性越好的煤，其结焦性越好。也就是说黏结性好的煤不一定能单独炼出质量好的焦炭。有的煤黏结性好，但炼出的焦炭强度低，块度小，其结焦性并不好，这也是进行配煤炼焦的一个重要原因。一般结焦性好的煤炼出的焦炭质地坚硬、强度高、块度比较均匀。实验表明，在炼焦煤中，肥煤的黏结性最好，而焦煤的结焦性最好。

(二) 煤的黏结性和结焦性的常用评定指标

评价煤的黏结性和结焦性的指标很多，常用的指标包括：罗加指数、黏结指数、胶质层指数、奥阿膨胀度、吉氏流动度、坩埚膨胀序数和格金指数。下面分别简要介绍各指标的测定方法。

1. 罗加指数($R. I$)

罗加指数是波兰煤化学家 B. 罗加教授于 1949 年提出的测定烟煤黏结性的一种方法，用 $R. I$ 表示 (Roga Index)，是国际硬煤分类方案中用来划分黏结性组别的指标之一。我国煤炭部门一直广泛应用此指标，现已制订了相应的国家标准。该法是通过在规定条件下，煤与标准无烟煤完全混合并炭化后所得焦炭的机械强度来表征。罗加指数实质上是指煤在规定条件下炼得焦炭的耐磨强度指数，它表明煤样黏结惰性物质 (无烟煤) 的能力。

国家标准 (GB 5449—1997) 规定了烟煤罗加指数的测定方法。要点是将 1g 煤样和 5g 专用无烟煤经充分混合后，在严格规定的条件下炭化。然后将得到的焦炭在特定的转鼓中进行转鼓试验，测定焦炭的耐磨强度。按下式计算罗加指数。

$$R. I = \frac{[(m'_1 + m_3)/2] + m_1 + m_2}{3m} \times 100\%$$

式中 $R. I$ ——罗加指数，%；

m'_1 ——第一次转鼓试验前筛上的焦炭质量，g；

m_1 ——第一次转鼓试验后筛上的焦炭质量，g；

- m_2 ——第二次转鼓试验后筛上的焦炭质量, g;
 m_3 ——第三次转鼓试验后筛上的焦炭质量, g;
 m ——焦化后焦炭的总质量, g。

罗加指数随煤的变质程度呈规律性变化, 在中等变质程度阶段出现最大值; 变质程度很低或很高时, 罗加指数为 0, 即没有黏结性。我国主要炼焦煤的罗加指数大致范围见表 1-3。

表 1-3 我国主要炼焦煤罗加指数的大致范围

煤种	气煤	气肥煤	肥煤	焦煤	瘦煤	弱黏煤
R. I/%	15~85	60~89	75~90	60~85	>5~60	5~50

罗加指数所用设备简单、方法简便, 对中等黏结性的煤具有很强的区分能力, 但是对强黏煤的区分能力较差。

2. 黏结指数($G_{R.I}$ 值)

黏结指数记作 $G_{R.I}$, 是 1976 年由煤炭科学研究总院北京煤化工研究分院(原北京煤化所)提出的, 1985 年制定了国家标准(GB 5447), 1986 年作为中国煤炭分类国家标准中确定烟煤工艺类别的主要指标之一, 现行的标准为 GB 5447—1997。根据煤的黏结指数, 可以大致确定该煤的主要用途。结合煤的挥发分和黏结指数进行分析, 可以了解各种煤在配煤炼焦中的作用, 这对指导配煤, 确定经济合理的配煤比有一定意义。

黏结指数是在罗加指数的基础上进行改进的一种测定烟煤黏结性的方法。其原理和试验用的仪器与罗加指数完全相同, 试验方法也基本上相同。主要区别是: 所用标准无烟煤的粒度从 0.3~0.4mm 改为 0.1~0.2mm, 焦炭的转鼓次数改为 2 次, 并省去了转鼓试验前焦炭的第一次过筛, 每次测定时间比罗加指数有所减少。黏结指数 $G_{R.I}$ 按下式计算:

$$G_{R.I} = 10 + \frac{30m_1 + 70m_2}{m} \quad (G_{R.I} \geq 18 \text{ 时})$$

$$G_{R.I} = \frac{30m_1 + 70m_2}{5m} \quad (G_{R.I} < 18 \text{ 时})$$

式中 m ——炭化后焦炭的总质量, g;



m_1 ——第一次转鼓试验后筛上焦炭的质量, g;

m_2 ——第二次转鼓试验后筛上焦炭的质量, g。

煤的变质程度不同,黏结性不一样。肥煤的黏结性最好, $G_{R.I}$ 值最大。我国各种煤的黏结指数范围在0~110变化。表1-4是我国主要炼焦煤黏结指数的大致范围。

表 1-4 我国主要炼焦煤黏结指数的大致范围

煤种	气煤	气肥煤	肥煤	焦煤	瘦煤	弱黏煤
$G_{R.I}$	>10~90	>40~95	>85~110	>60~95	>5~60	>9~48

通过测试方法的改进,增强了对各种煤的黏结性的区分能力,简化了操作,提高了测试的准确性。黏结指数对中等变质程度煤的区分能力很强,但是对强黏结煤的区分能力仍显不足。

3. 胶质层指数

煤的胶质层指数是前苏联学者列·姆·萨保什尼科夫(L. M. Sapozhnikov)等人在1932年提出的,该方法主要是测定煤在加热时形成的胶质体最大厚度(Y 值)、最终收缩度(X 值)和胶质层体积曲线三个参数,同时还可以描述焦炭的块状特性等。这个方法是在模拟工业焦炉生产条件的基础上进行测定的,我国的国家标准(GB 479—2000)规定了胶质层指数的测定方法。随着温度的逐渐升高,在胶质层厚度变化的全过程中,用金属探针测出胶质层的最大厚度(Y 值),同时在记录纸上绘出体积变化曲线,并测得最终收缩度(X 值)。图1-2是胶质层体积曲线的示意图。表1-5列出了我国主要炼焦煤 Y 值的大致范围。

胶质层指数这一指标的优点是 Y 值具有加和性,利用这种可加性,可由单种煤的 Y 值直接计算出配合煤的 Y 值,据此还可以估算出对应配合焦炭的质量;另外该指标对中等变质程度烟煤的黏结性区分能力较好。

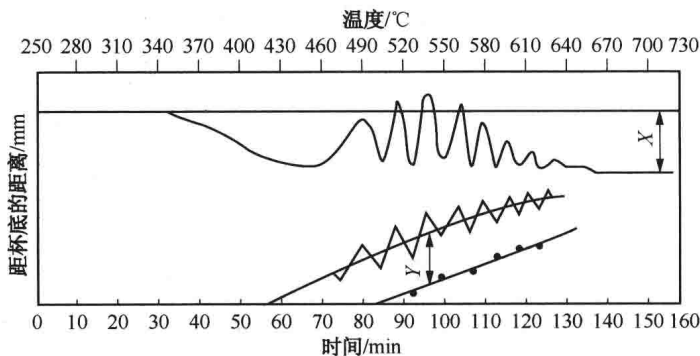


图 1-2 胶质层体积曲线示意图

该指标的缺点是，实验仪器的规范性很强，许多实验条件都能影响测定结果，人为误差较大；其次测定时间长、所需煤样量较大、效率偏低；此外，该法对弱黏结煤区分能力较差。

表 1-5 我国主要炼焦煤 Y 值的大致范围

煤种	气煤	气肥煤	肥煤	焦煤	瘦煤	弱黏煤
Y/mm	>5~25	>8~25	>25~60	>12~25	0~12	0~9

4. 奥阿膨胀度

奥阿膨胀度试验方法是由奥蒂伯尔(E. Audibert)创立的，阿钮(C. Arnu)在1933年又对此法进行了改进。该方法主要是通过测定煤在加热过程中形成胶质体时的膨胀特性来表征煤的黏结性的。本方法可以测定出最大膨胀度 b (%)、最大收缩度 a (%)、软化温度 DT (°C)、开始膨胀温度 ST (°C) 和固化温度 FT (°C) 等参数。

我国的国家标准(GB 5450—1997)规定了烟煤奥阿膨胀度的测定方法。图 1-3 是典型的奥阿膨胀度曲线。图中 DT 为软化温度，即膨胀杆下降到 0.5mm 时的温度； ST 为开始膨胀温度，是指膨胀杆下降到最低点后，开始上升时的温度； FT 为固化温度，即膨胀杆停止移动时的温度； a 为最大收缩度，是指膨胀杆下降的最大距离占煤笔长度的百分数； b 为最大膨胀



度，是指膨胀杆上升的最大距离占煤笔长度的百分数。

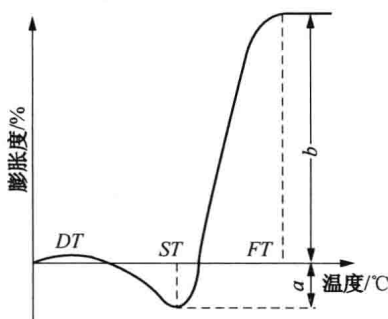


图 1-3 奥阿膨胀度曲线示意图

各种煤的奥阿膨胀度的曲线一般分为四种类型，如图 1-4 所示。

我国主要炼焦煤膨胀度的变化范围如表 1-6 所示。

表 1-6 我国主要炼焦煤的膨胀度 b 值范围

煤种	气煤	气肥煤	肥煤	焦煤	瘦煤	弱黏煤
$b/\%$	仅收缩 ~185	-20~200	180~680	0~200	仅收缩 ~30	仅收缩 ~3

奥阿膨胀度测定法的优点是对中、强黏结性煤的区分能力较强；不仅能反映胶质体的数量，还能反映胶质体的质量，所以 b 值能表征煤的黏结性和结焦性。缺点是对弱黏结性煤的区分能力较差；此外， b 值测定结果受煤样氧化的影响比较大，因此，煤样制成后应立即进行测定，否则应对煤样进行充氮气保护或低温保存。

5. 吉氏流动度

煤的吉氏流动度测定方法是德国人基斯勒 (K. Gieseler) 于 1934 年提出的。它是通过测定煤在塑性状态下的流动性来表征煤的黏结性的。在规定的条件下，对煤样进行加热，并给装在煤样中的搅拌桨以一定的扭矩，随着煤受热后软化，搅拌桨开始旋转。图 1-5 为吉氏流动度的曲线示意图，根据搅拌桨的

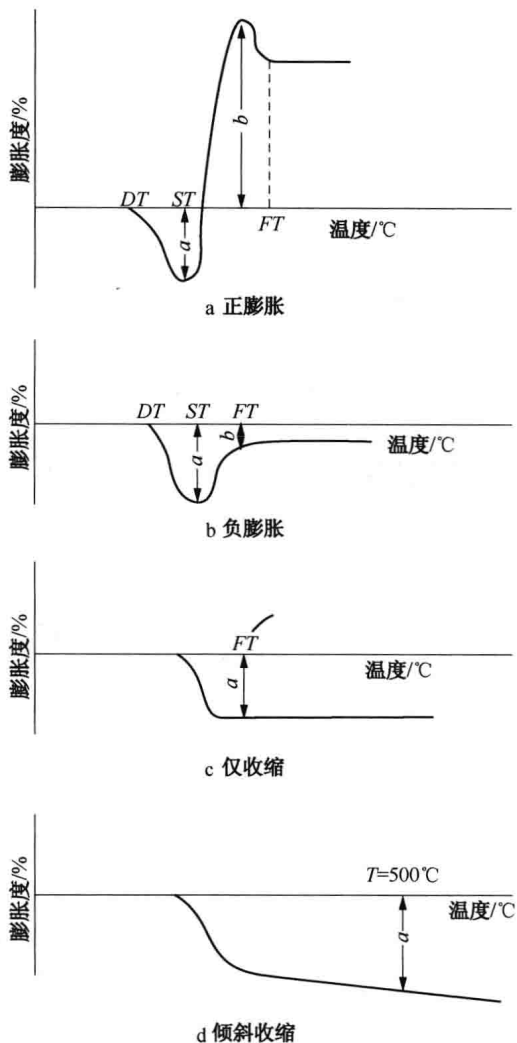


图 1-4 典型的奥阿膨胀度曲线

转速，可以测得最大流动度 α_{\max} (常以 $\lg\alpha$ 表示)、软化温度 t_s 、最大流动的温度 t_{\max} 和 固化温度 t_r 。最大流动度 α_{\max} 代表了煤的塑性体处于最稀薄状态时的特性，但不能表示整个塑化阶段的特性。肥煤的曲线较平坦而且较宽，这说明它停留在较大流动性时的时间较长，因此适应性较大，可供配合的煤种比较广