

# 煤岩学配煤和焦炭强度预测的研究

叶道敏 肖文钊 罗俊文 黄海智 (煤炭科学研究院西安分院 710054)

**摘要** 用配有自行研制的程序控温仪的显微热台,观察研究了  $P_1$ 、 $T_3$  两时代煤显微组分的加热性状和焦炭的显微特征,由此揭示了不同时代等变质煤结焦性差异的原因,提出了标准活性组分( $V_{t,ST}$ )的新概念;确定了测定混煤中镜质体反射率的方法;最后以重钢焦化厂大量 200 kg 焦炉试验为基础,用计算机进行数理统计分析,优选出标准活性组分( $V_{t,ST}$ )、镜质体随机反射率( $R_{ran}$ )及其标准差( $S$ )三个参数,建立了能准确定量预测焦炭机械强度的数学模型。经焦化厂使用证实,用该方法预测和控制焦炭强度不但准确度高、简单易行,而且可适用于我国大多数焦化企业由不同煤田的多矿点供煤且常有混煤、煤质不稳定的复杂状况。

**关键词** 煤岩学 配煤 预测 焦炭强度

**中国图书资料分类法分类号** P618.1104

**作者简介** 叶道敏 女 56岁 研究员 煤岩学

## 1 引言

科学配煤是炼焦技术中最基本的问题之一,对合理利用煤炭资源、节约短缺煤种、改善焦炭质量有重大意义。煤岩学配煤始于本世纪 50 年代,它开辟了科学配煤的新途径。但是当不同煤田的煤配合时,无论用什么方法都难以准确地定量预测焦炭机械强度。我国大多数焦化企业供煤煤源多,如北京焦化厂的炼焦用煤就来自河北、山西两省的 9 个矿区的 29 个矿点。不但如此,进厂煤中有混煤,煤质不稳定是常见的现象。这样不但用一般煤质参数控制进厂煤质量和预测、控制焦炭质量非常困难,而且现有的各种煤岩配煤方法也无能为力。

本文从煤岩学的基础研究入手并进行了 70 多炉 200 kg 焦炉试验,以便确定预测焦炭强度的恰当指标,建立适合于这种状况的新的煤岩配煤和预测焦炭强度的方法。

## 2 煤的显微组分加热性状

由于为国产显微镜热台配上了自行研制的程序控温仪,使得显微镜热台的温度和升温速度得以精确控制,各个样品可在同一条件下对比研究。通过直接观察,不但了解了不同显微组分的加热性状,证实了前人的一些观点,如镜质体和壳质体在加热过程中都会软化、熔融、固化,但壳质体更易软化、变

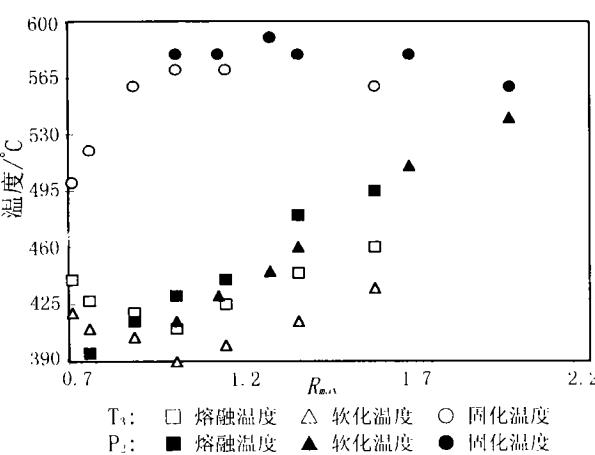
形,膨胀、熔融温度比镜质体低得多,惰质体不会软化熔融等,而且还得到了重要的新认识:其一,大多数人认为半镜质体的活性约为镜质体的 1/3,但在显微镜热台下看到在中变质程度的煤中半镜质体在加热过程中仅有微量的液态物生成,不能流动,总体上偏惰性,活性不及镜质体的 1/3;其二,通过不同时代煤同变质系列煤镜质体的对比研究,直接观察到在等变质条件下其加热性状有明显差别,在中变质阶段( $R_{max} = 1.00\% \sim 1.36\%$ )尤为突出, $P_2$  煤镜质体产生的胶质体数量多,流动性好,熔融充分、强烈,常常像岩浆般喷涌翻滚;与之相比, $T_3$  煤的镜质体则逊色的多,加热时虽可见波浪状起伏变化,但很少见岩浆般翻滚(表 1)。随着变质程度增高, $P_2$  和  $T_3$  煤中镜质体的软化、熔融、固化温度和熔融区间都作规律地变化,在中等煤化程度时区间最大,两者变化规律一致。但  $T_3$  煤的镜质体与  $P_2$  煤的镜质体相比熔融的起止温度稍低,熔融区间稍窄(图 1)。

## 3 $T_3$ 和 $P_2$ 煤的焦炭显微特征

焦炭作为一种不均质的多孔固体,其显微特征不外乎包括如下两个方面,即气孔构造和光性结构。前者指焦炭的气孔大小、分布、气孔壁厚度及孔隙率等;后者指构成焦炭孔壁的光学组织结构。对  $T_3$  和  $P_2$  煤的焦炭光性结构和气孔构造测定表明:一般  $T_3$  煤的焦炭富含各向同性和微粒镶嵌结构在 50% 以

表 1 中等变质程度  $P_2$  和  $T_3$  煤镜质体的热变特征

样号	时代	$R_{max}/\%$	软化温度/℃	熔融温度/℃	熔融流动状况	熔融流动温度区间/℃	固化温度/℃
火铺 3 号		1.01	395	415	熔融、流动强烈	465~560	580
火铺 24 号	$P_2$	1.13	415	430	熔融、流动强烈	480~560	580
南桐 5 号		1.36	440	460	熔融、流动强烈	520~560	580
荣山		1.01	390	410	熔融、流动较强烈	480~550	570
达川	$T_3$	1.15	400	425	熔融、流动较强烈	470~520	570
巴关河		1.36	415	445	熔融、流动	460~510	560

图 1  $T_3$  和  $P_2$  煤的镜质体热变温度区间对比

上,最高可达 77%,当  $R_{max} \geq 1.40\%$  时,这两种结构才急剧减少而代之以粗粒镶嵌结构和纤维状结构; $P_2$  煤的焦炭富含粗粒镶嵌结构,其次是纤维状结构,各向同性和微粒镶嵌结构很少。当  $R_{max} \geq 1.60\%$  时两个时代煤的焦炭结构中纤维状和叶片状结构均显著增加。

为进一步对比分析不同成煤时代煤焦的不同特征,选取了变质程度和显微煤岩组分很接近的  $T_3$  和  $P_2$  两组煤样(表 2),焦化试验后,前者的焦炭以各向同性和微粒结构占绝对优势;后者的焦炭则以粗粒镶嵌结构为主。前者的焦炭孔径、孔隙率都比后者大得多,但孔壁的厚度却大大低于后者。显微结构的差异必然导致焦炭机械强度的不同,即  $P_2$  煤的焦炭强度

高于前者, $M_{10}$  尤为明显。

#### 4 新配煤指标的意义

早在 60 年代,阿莫索夫就提出影响煤结焦性的成因因素有下列三方面:1)煤的变质程度,可用镜质体反射率表示;2)煤岩组成不同,可用惰性组分含量=丝质体+2/3 半镜质体+矿物表示;3)还原程度的差异。这个观点被大多数人认同,许多配煤方法已考虑到上述因素。那么为什么不同煤田的煤配合时焦炭强度就预测不准呢?要么是上述三个因素没有全面反映影响煤的结焦性,要么是影响配煤结焦性的不止有上述几个因素。因此应当考虑选择新的更恰当的指标来预测焦炭强度。

##### 4.1 标准活性组分( $V_{1,81}$ )

由上述两节可以看出,由于成煤时代不同(其中自然也包括了成煤植物、沉积环境等成因因素的差异),即使是等变质程度的煤,镜质体的加热性状也有明显差异,当二者的组分含量相近时,焦炭的机械强度也不同。众所周知,同一个煤层中镜质体和壳质体的加热性状不同,不同变质程度煤的活性组分的加热性状和结焦性亦不同。由此看来,不同煤的活性组分不仅数量上有差别,质量上也有差别。当它们配合时,只简单地按配比将显微组分加在一起作为反映煤的活性(或惰性)指标是不恰当的。为正确反映配合煤活性组分的含量,可先将同一煤中的壳质体换算成与之相当的镜质体含量,与镜质体相加作为活性组分含

表 2  $T_3$  和  $P_2$  煤及焦炭特征综合对比表

样号	时代	$R_{max}$ %	煤的显微组分含量/%		焦炭光性结构/%			焦炭气孔构造			焦炭机械强度	
			V+E	SV+I	各向同性+ 微粒镶嵌	粗粒 镶嵌	纤维状+ 破片状	孔径 / $\mu\text{m}$	孔壁厚 / $\mu\text{m}$	孔隙度 /%	$M_{40}$	$M_{10}$
30014	$T_3$	1.05	55.5	27.1	67.2	3.6	1.3	718	76	53.6	73.6	16.3
30052		1.05	60.9	33.5	61.6	17.1	2.0	1002	73	59.8	73.0	10.8
30027	$P_2$	1.04	59.2	34.5	6.3	68.5	2.3	581	115	40.7	71.3	8.9
30028		1.08	61.9	32.1	8.4	65.7	1.45	474	118	40.0	73.1	7.7

量,然后再将各种煤的活性组分与某一中等煤阶一般还原程度的煤层的等量活性组分相比,求出各单种煤的标准活性组分含量,最后用配比简单加和就可得到配合煤的标准活性组分。

所谓标准活性组分,就是任一煤中的活性组分与某一中等变质程度一般还原程度煤等量活性组分相比的当量值。正如许多理化指标测试时不能测出某种性质的绝对值时,必须用标样与其比较,求出相对值一样,在这里,该方法是把某一特征煤层的活性组分作为标样,将其它煤层中的活性组分与之比较求出相对值。将大量试验数据用计算机统计分析后,得到了具体的计算方法,并编入了程序。综上所述,用标准活性组分反映显微组分组成对煤特别是配合煤结焦性的影响更为合理。

#### 4.2 随机反射率标准差( $S$ )

从图1可以看到,不同变质程度煤的镜质体在加热时软化、熔融、固结的温度不同,随变质程度增高有规律地变化。这样在配煤中,当某一煤层的活性组分熔融时,某些变质程度煤中的活性组分可能是固态的,表现为惰性。这一特性必然会影响到配合煤的结焦性,由于不同煤变质程度差别越大,其熔融区间起止温度的差别也越大,因此用反射率标准差来反映是恰当的。与此同时,采用这一指标还可解决某些进厂煤本身就是混煤,混煤还要参加配煤的问题。还应特别指出,该指标是任何煤质指标都不可替代的指标。

表3 不同参数的三元二次回归分析

( $n=68, F_{0.001}(9,58)=3.72$ )

焦炭机 械强度	评定标准	选用参数			
		$R_{\text{ran}}$	$R_{\text{ran}}$	$R_{\text{ran}}$	$V_{t,\text{st}}$
		G-1	b-1	$\lg \alpha - 1$	$R_{\text{ran}} - S$
$M_{40}$	拟合度 C/%	81.4	75.5	64.3	92.0
	F 检验值	28.3	19.8	11.6	73.9
	$S_y$	4.0	4.5	5.5	2.6
$M_{10}$	拟合度 C/%	79.7	60.4	37.6	91.8
	F 检验值	25.2	9.8	3.9	72.6
	$S_y$	3.9	5.2	6.6	2.4
$M_{25}$	拟合度 C/%	79.1	66.3	47.8	92.6
	F 检验值	24.4	12.7	5.9	81.1
	$S_y$	4.0	5.1	6.4	2.4

看来,对于配合煤,用上述两个指标,再加上配合煤镜质体随机反射率的平均值( $R_{\text{ran}}$ )反映其变质程度,可较全面地反映影响其结焦性的各个因素。

#### 5 参数选择和数学模型的建立

为检验  $V_{t,\text{st}}$ 、 $R_{\text{ran}}$ 、 $S$  在预测焦炭机械强度中的作用,将用这三个参数建立的预测焦炭强度的回归方程与选用某些代表性的配煤和预测焦炭强度方法采用参数建立的回归方程进行比较,评定标准是各回归方程的拟合度  $C$ 、 $F$  值和剩余标准差  $S_y$ ,以此来客观地判别各回归方程及其选用参数的优劣。从表3可以看出,选用  $V_{t,\text{st}}$ 、 $R_{\text{ran}}$ 、 $S$  为参数的回归方程明显优于其它回归方程。为进一步提高预测精度,用上述三个参数建立了三元三次回归方程。从表4和图2、图3、图4可以看出,本文建立的系列回归方程具有很高的准确度,所有回归方程的拟合度都大于 95%,剩余标准差小于 2.1,  $F$  检验值远远大于  $F_{0.001}$  的查表值,在相对稳定的工艺条件下,理应可定量预测和控制焦炭强度。

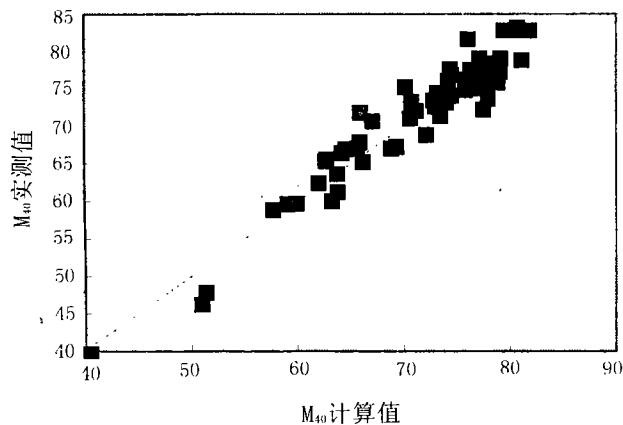
为检验所确定的回归方程的实际效果,进行了验证试验,拟定了两个配煤方案,用回归方程事先对焦炭强度算出预测值。1991年10月由重庆钢铁焦化厂用 200 kg 焦炉进行了试验,焦炭强度的预测值与试验值之差均在规定的试验误差范围之内。

#### 6 应用

由于上述预测焦炭机械强度的方法是建立在 200 kg 焦炉试验的基础上的,在焦化企业,使用时其工艺条件会有一些差别,所以应建立预测值与生产焦炉焦炭的实际值之间的回归方程,以便能较精确地预测和控制焦炭质量。从 1993 年起,逐渐在山西焦化集团有限公司推广应用该配煤方法。该企业的供煤情况在我国具有代表性,即供煤煤源多,经常有混煤,煤质不稳定,应用后,焦炭质量平均提高了

表4 以  $V_{t,\text{st}} - R_{\text{ran}} - S$  参数的三元三次回归分析

评定标准	$M_{40}$	$M_{10}$	$M_{25}$
拟合度 C	95.2	97.7	98.8
F 检验值	100.8	174.4	146.2
$F_{0.001}$ 查表值	3.5	3.3	3.2
剩余标准差 $S_y$	2.05	1.32	1.42

图 2 焦炭强度  $M_{40}$  的实测值与计算值的关系

一个等级,而且减少了主焦煤用量,取得了明显的经济效益和社会效益。

## 7 结论

通过大量实验室工作,以及 70 余炉 200 kg 焦炉试验,得到如下重要结论:

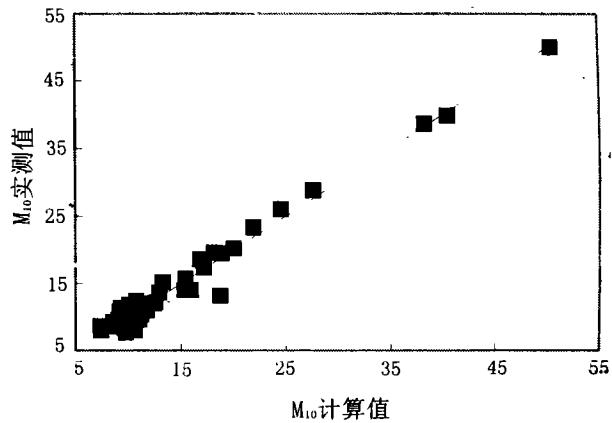
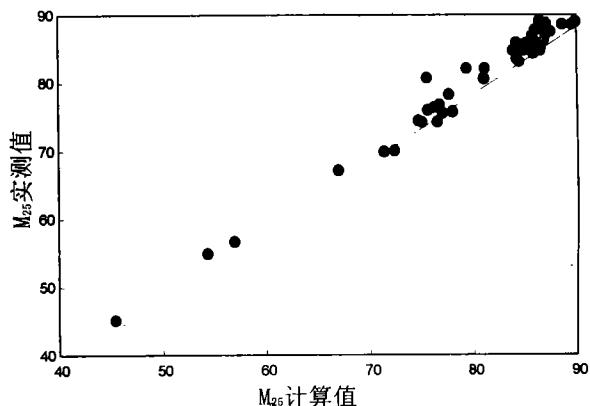
a. 充分考虑了由煤的变质程度、还原程度、成煤植物等成因因素造成的煤中显微组分的活性差异,提出“标准活性组分( $V_{t,s}$ )”的新概念和得到了换算方法,用其反映煤的煤岩成分对煤特别是配合煤的结焦性的影响比传统的“活性组分”或“惰性组分”更为合理。

b. 建立了标准活性组分( $V_{t,s}$ )、镜质体平均随机反射率( $R_{ran}$ )及其标准差( $S$ )为参数的数学模型,其预测焦炭强度的拟合度高于 95%,准确度达到国内外的最好水平。经工厂应用证实,该方法简便易行、应用面广,可适应于我国大多数焦化企业由不同煤田的多个矿点供煤,常有混煤,煤质不稳定的复杂情况。

由衷地感谢重钢焦化厂为协助课题研究进行的大量 200 kg 焦炉试验;感谢地矿部南方煤炭测试中心董名山教授对课题的指导和支持;感谢煤科总院西安分院张秀仪教授对课题自始至终的关心和指导。

## 参考文献

- Stach E, Mackowsky M, Teichmüller M, Taylor G H, Chandra D, Teichmüller R. Stach's Textbook of Coal Petrology. Gebrüder, Berlin, Stuttgart, 1982; 423~455
- Умбоссов НН. Петрографические особенности и свойства углей. Изд. АН СССР, 1963; 297~302
- Shapiro N, Gray B S. The use of coal petrography in Cokemaking. Fuel, 1964; (3): 234~243
- Гагарин С Г. Компьютерный мониторинг прочности кокса на основе петрографической модели расчет угольный инжир. Кокс и химия, 1995; (2): 8~11.
- 罗俊文等. 西南地区某些煤岩显微组分在加热过程中的性状. 煤炭科学研究院西安分院文集, 西安: 陕西科学技术出版社, 1992, 第六集: 16~22
- 黄海智等. 焦炭气孔构造的定量测定及特征. 燃料与化工, 1994; (6): 276~280
- 黄海智等. 试论焦炭的显微特征对其机械强度的影响. 燃料与化工, 1995; (1): 6~10
- 肖文钊等. 混配煤镜质体反射率测定方法的研究. 燃料与化工, 1994; (2): 276~280

图 3 焦炭强度  $M_{10}$  的实测值与计算值的关系图 4 焦炭强度  $M_{25}$  的实测值与计算值的关系