

筛分效率评定方法的探讨

陈金云, 焦红光

(中国矿业大学化工学院 江苏省徐州市 221008)

email: jinyunchen@126.com

摘要: 在分析现行筛分效率评定方法的基础上, 探讨了评定分离效率的方式及确定分离指标的准则, 提出采用模糊数学的方法来评定筛分效率, 并把该方法同国标进行了比较。

关键词: 筛分 筛分效率 分配曲线 模糊数学

1. 筛分设备工艺效果评定的现状

评定筛分设备工艺效果的目的是: (1) 为判别比较筛分作业的好坏提供一个客观的评价指标; (2) 为控制筛分过程的最佳化提供判据。目前, 主要采用的评定方法可分为两类: (1) 利用实验结果计算筛分效率; (2) 根据实验结果绘制曲线(如: 分配曲线, 错配曲线等), 从曲线上查找特征值点, 计算特性参数。我国国标 GB/T15716-1995《煤用筛分设备工艺性能评定方法》共提出了三项评定指标: 筛分效率, 平均分配误差和总错配物含量^[1]。其中前一项属于评定方法中的第一类, 后两项属于评定方法的第二类。

1.1 筛分效率

在第一类评定方法中, 筛分效率有多种定义, 这些定义通过变换可以得到便于实际运用的计算公式。对这众多公式的研究表明, 有些筛分效率的定义虽然不同, 但其计算公式却具有相同的形式, 而且其中还有很多并没有充分的逻辑根据^[4, 5]。B. 帕夫洛维奇认为最易采用汉考克效率和弗面科效率。我国国标中确定的筛分效率也还是汉考克效率。同第二类评定方法相比, 筛分效率更符合筛分作业完成的主要目的和要求, 且物理意义明确, 计算简便, 因而更利于评定目前生产实际中的筛分工艺效果^[6]。但无论那一种效率定义, 对于“可筛性”难易程度都存在着明显的依赖关系。这就使得评定指标的可比性变差。同时目前使用的汉考克效率公式实际运用中也发现存在着不足。

1.2 筛分分配曲线的特性参数

筛分分配曲线在第二类评定方法中占很大的比重。分配曲线实际上是汉考克效率图的改进。但由于分配曲线本身只是一种图示, 用其进行评定时很不方便, 因此就出现了许多分配曲线的特征参数, 如: 可能偏差、误差面积、分离误差矩、分散度等。其中可能偏差 E_p 值已普遍被采用。我国国标采用了平均分配误差 PE_m 。平均分配误差的定义如下:

$$PE_m = \frac{PE_u + PE_l}{2} \text{-----(1)}$$

$$PE_u = \frac{d_{75}}{d_{50}} \text{ --- 上分配误差}$$

式中:

$$PE_l = \frac{d_{50}}{d_{25}} \text{ --- 下分配误差}$$

定义的了上、下分配误差后, E_p 值的计算公式可以表示如下:

$$E_p = PE_u - \frac{1}{PE_l} \text{ --- (2)}$$

可能偏差同平均分配误差的关系式为:

$$PE_m = \frac{E_p}{2} + \frac{PE_l^2 + 1}{2PE_l} \text{ --- (3)}$$

一般认为,从分配曲线上获得的性能指标只反映出某一具体作业条件下筛分作业所具有的性能特征,而与入料的粒度组成、可筛分性难易程度及分级粒度的大小相关性较小。这也正是采用分配曲线优于采用筛分效率之处,及筛分分配曲线具有性能方面的可比性。但无论是可比偏差 E_p 值还是平均分配误差 PE_m , 都仅仅反映了 $d_{75} \sim d_{25}$ 之间的一段分配曲线的特性或者仅仅反映了实际分配曲线上的两个点偏离理想分配曲线的情况,而不是分配曲线的全貌,而筛分分配曲线又明显的呈偏态分布,这就使得 E_p 值或 PE_m 的评价结果不够精确甚至同实际结果相悖离。此外,研究还发现, E_p 值同入筛原煤的粒度组成具有相关关系^[2, 3]。

$$E_p = 1.99 - 0.0063\gamma_{-6} \text{ --- (4)}$$

式中: γ_{-6} --- 入筛原煤中小于 6 mm 粒级的含量。

2 评定分离效率的方式及确定评定指标的原则

评定分离效率指标的形式很多,如:效率关系式、分离误差、分离精确度、图示方法等。根据评定过程的基本概念的不同,评定分离效率的方式可以为两类:

(1) 以分配率概念为基础进行评定。如:效率关系式中的汉考克公式、矩阵式等,分离精确度中的可能偏差等,图示法中的汉考克效率图、分配曲线等,这些评定指标实际上都来源于分配率,它们之间既是一脉相承,又是逐渐发展的但迄今尚未找到很好的分配曲线特性指标,以用来评定分离过程。

(2) 同理想的分离结果作比较来评定。例如:效率关系式中的数量效率、质量效率等;分离误差中的产率误差、错配物总量等,图示法中的误差三角形、错配物曲线等。

作者希望能结合这两种方式来建立评定方法,为此首先列出确定分离效率评定指标所应

遵循的原则:

- (1) 评定指标是入料和分离产品性质的函数, 与分离方法无关;
- (2) 体现一定数量且具备单一形式, 即在同等条件下两种产品性质之间差别较大时, 其数量指标也应大些;
- (3) 对于完全的分选, 评定指标应为 100%, 如果产品性质同入料性质相同, 即只是将入料简单的分为几部分时, 评定指标应为 0%;
- (4) 评定指标数量方面的估计应是单值的且不取决于它根据何种产品而定

3 筛分设备工艺效果评定的模糊集方法

在筛分作业中, 理想的分级结果是: 一切粒度大于分离粒度 d_p 的颗粒能 100% 地进入筛上产品, 一切粒度小于分离粒度 d_p 的颗粒能 100% 地进入筛下产品, 这时所得到的分配曲线是一条折线如图 6-1 中 abcd 所示。而实际上, 由于各种因素的影响, 分配曲线必然要偏离这条折线, 而成为一条“s”形的上升曲线“aod”, 显然, 若曲线 aod 越接近于折线 abcd, 则筛分效果越好, 反之, 则越差。为了便于研究, 我们把理想的筛分作业结果即折线 abcd 记为集合 A, 实际的筛分作业结果即曲线 aod 记为集合 B。只要能够找到一种合适的方法来比较集合 B 对集合 A 的所谓接近程度, 就可以精确的评定筛分结果。这里采用的模糊数学中评价两个模糊集合相似程度的概念——模糊集合见的接近度是恰如其分的。

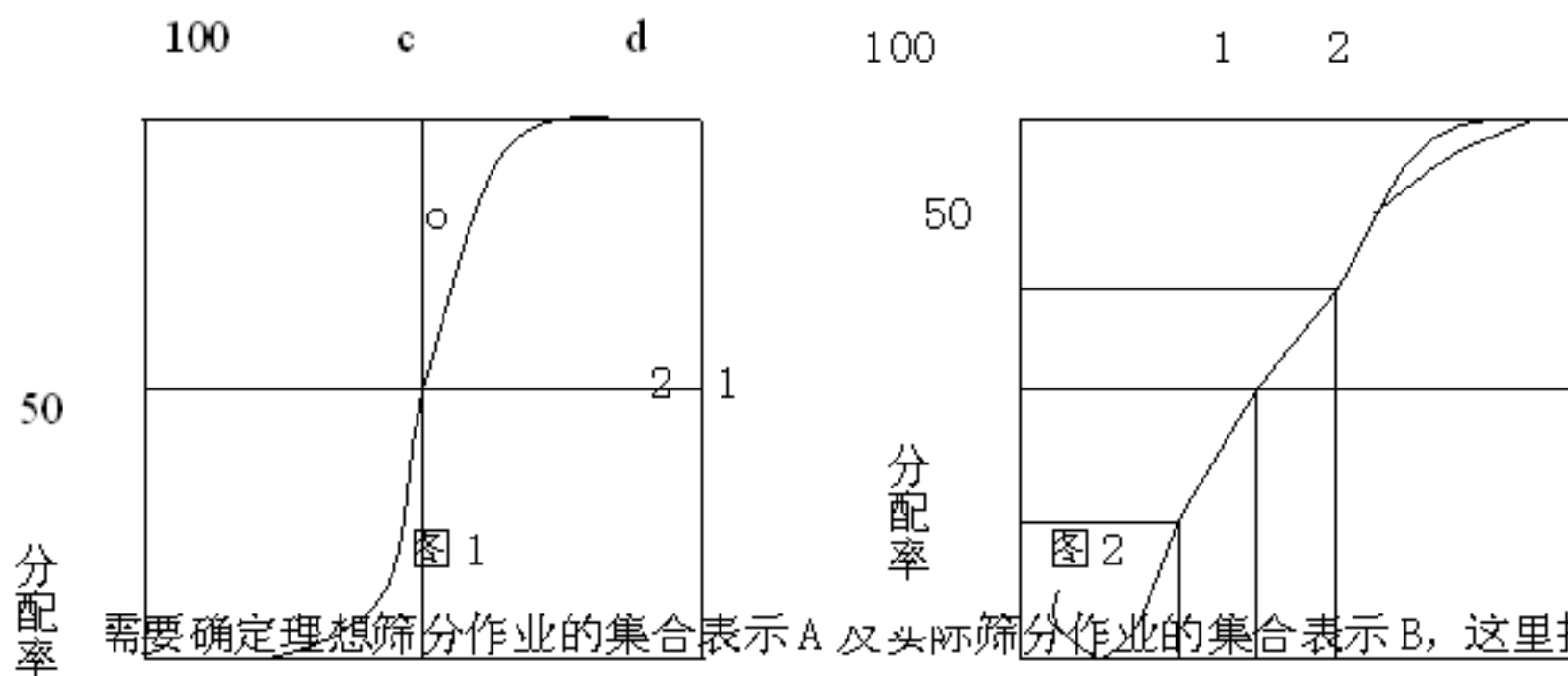


图 1 需要确定理想筛分作业的集合表示 A 及实际筛分作业的集合表示 B, 这里把分配率 E 与粒度 d 的关系如图 1, 定义如

$$A = \begin{cases} d, E = 0 \text{ 或 } 100 \\ d_p, E \in (0, 100) \end{cases} = f_1(E)$$

$$B = d_E, E \in [0, 100] = f_2(E)$$

上式中, $f_1(E)$ 即筛分分配曲线的数学表达式 $E(d)$ 的反函数。

接下来需要确定集合 A, B 的隶属函数, 模糊集合隶属函数的定义是:

设 C 关于论域 X 的模糊集, 若存在映射 μ 。满足下列条件。

$$\begin{aligned} \mu_c : X &\rightarrow [0,1] \\ X &\rightarrow \mu_c(x) \end{aligned}$$

则 μ_c 称为模糊集 C 的隶属函数。

依据上述定义，定义模糊集 A, B 的隶属函数 μ_A, μ_B 如下：

$$\begin{aligned} \mu_A(E) &= \begin{cases} 1, E \in [0,100] \\ 0, E \notin [0,100] \end{cases} \\ \mu_B(E) &= \begin{cases} \frac{d}{d_p}, E \in [0,50] \\ \frac{d_p}{d}, E \in [50,100] \end{cases} \end{aligned}$$

由 μ_A 可以看出，集合 A 实际上是普通集合，而 μ_B 的物理意义是粒度级 d_x 达到理想筛分程度。

贴近度是两个模糊集靠近程度的一种度量，其定义为，设 F 是论域 X 上的模糊幂集合，若映射：

$$T : F \times F \rightarrow [0,1]$$

满足如下条件：

- (1) $T(A, A) = 1, \forall A \in F$
- (2) $T(A, B) = T(B, A) \geq 0, \forall A, B \in F$
- (3) 若对 $\forall A, B, C \in F$ ，有
 $\mu_A(x) \leq \mu_B(x) \leq \mu_C(x)$ 或
 $\mu_A(x) \geq \mu_B(x) \geq \mu_C(x) \forall x \in X$
 且有： $T(A, C) \leq T(B, C)$

则称 T 为 F 上的贴近度， $T(A, B)$ 为 A 与 B 的贴近度。

满足上述定义的贴近度的计算公式很多，这里我们采用 Hamming 贴近度 NH ：

$$NH(A, B) = 1 - \delta(A, B) = 1 - \frac{1}{b-a} \int_a^b |\mu_A(x) - \mu_B(x)| dx$$

上式中 $[a, b]$ 即为论域 X ， $\delta(A, B)$ 为 Hamming 相对距离，将已知条件代入，得：

$$\begin{aligned}
 NH(A, B) &= 1 - \frac{1}{100} \int_0^{100} |1 - \mu_B(E)| dE \\
 &= 1 - \frac{1}{100} \left(\int_0^{100} dE - \int_0^{100} \mu_B(E) dE \right) \\
 &= \frac{1}{100} \int_0^{100} \mu_B(E) dE \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{50} \int_0^{60} dE + \frac{1}{50} \int_0^{100} \frac{d_p}{d} dE \right) \dots \dots (4)
 \end{aligned}$$

定义：上贴近度 $NH_u = \frac{1}{50} \int_{50}^{100} \frac{d_p}{d} dE$

$$\text{下贴近度 } NH_l = \frac{1}{50} \int_0^{60} \frac{d}{d_p} dE$$

$$\text{则： } NH = \frac{1}{2} (NH_u + NH_l)$$

上贴近度 NH_u 反映了入料中的粗粒在筛上产品中的回收情况，而下贴近度 NH_l 则反映了入料中的细粒在筛下产品中的回收情况，在理想筛分作业时， $\mu_B = \mu_A$ ， $NH = NH_u = NH_l = 1$ ，在筛分产品的粒度组成与原料无区别的情况下，各粒级在筛分产品中的分配率 E 是恒定，即 E 不是粒度的函数，而是一个常数，这时 $De=0$ ， $NH = NH_u = NH_l = 0$ 。即贴近度 NH 满足评定指标的上、下限要求，同时 NH 还具有作为分离作业评定指标的其它特征。

以 NH 作为筛分作业的评定指标最大的优点是包含了筛分分配曲线的全部信息，因而能客观地反映筛分作业的结果，但是由于影响筛分过程的因素很多，筛分分配曲线的形态灵活多样，使得对筛分分配曲线进行数学描述，找到其通用方程式十分困难，这就大大限制了评定指标—贴近度 NH 的使用。为解决这一问题，我们以上述讨论为基础，采用离散数据样本来评定筛分作业。从筛分分配曲线上间隔的取 n 个离散点来描绘筛分作业。这时有：

$$NH(AB) = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| \dots \dots (5)$$

当 $n \rightarrow \infty$ 时上式将转化为式 (4)，这里我们取分配率分别为 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 时对应的粒度 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9, S_{10}$ 来描述筛分作业，则理想筛分作业的集合表示 A 和实际筛分作业的集合表示 B 分别为：

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_{10}} \\
 B &= \frac{d_5/d_p}{S_1} + \frac{d_{15}/d_p}{S_2} + \dots + \frac{d_{45}/d_p}{S_5} + \frac{d_p/d_{55}}{S_6} + \frac{d_p/d_{65}}{S_7} + \dots + \frac{d_p/d_{95}}{S_{10}} \\
 \text{则 } NH(A, B) &= 1 - \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} |\mu_A(E) - \mu_B(E)| \\
 &= 1 - \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} (1 - \mu_B(E)) \\
 &= \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \mu_B(E) \\
 &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \frac{S_i}{d_p} + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{10} \frac{d_p}{S_i} \right) \\
 &= \frac{1}{2} (NH_u + NH_l)
 \end{aligned}$$

当 $n=2$ 时, 即仅取分配率 25, 75 对应的粒度 d_{25} 、 d_{75} 来描绘筛分分配曲线时, 有:

$$\begin{aligned}
 NH_u &= \frac{d_p}{d_{75}} = \frac{1}{PE_u} \\
 NH_l &= \frac{d_{25}}{d_p} = \frac{1}{PE_l} \\
 PE_m &= \frac{PE_u + PE_l}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{NH_u} + \frac{1}{NH_l} \right) \\
 &= \frac{NH_u + NH_l}{2} \cdot \frac{1}{NH_u \cdot NH_l} = \frac{NH}{NH_u \cdot NH_l}
 \end{aligned}$$

由上述可见, 我国国标所提出的筛分评定指标 PE_u 、 PE_l 。分别是特殊条件下 NH_u 、 NH_l 倒数, 而 PE_u 、 PE_l 是用来评定分离误差, NH_u 、 NH_l 是用来评定分离精度的。故 PE_u 同 NH_u , PE_l 同 NH_l 具有负相关关系。显然, 由于取值点过少 (仅为两个) 使得 PE_u 、 PE_l 及 PE_m 的评定效果变差, 可能偏差 E_F 值也存在着这样的问题。例如: 对于图 6-2 中的两条筛分分配曲线, 如果采用 E_F 后或 PE_m 来进行评定, 由于这两条曲线的中间段 ($d_{25} \sim d_{75}$) 完全重合, 得出的结论是曲线 1、2 反映的分级效果相当, 但在 $d > d_{75}$ 及 $d < d_{25}$ 的区域中, 曲线 1 和曲线 2 偏离理想筛分分配曲线的程度互不相同, 由于潮湿细粒互相黏附的影响, 曲线 2 的左端甚至出现了反常的上翘, 显然曲线 1 反映的分级效果优于曲线 2 所反映的分级效果。这是只要 n 取得足够大, 采用近贴度 NH 指标就可以得出正确的评价结果。

4. 结束语

分离效率的评定方法很多,各个指标之间大都存在着内在的联系,采用模糊数学的方法来评定筛分效率是一种新的尝试,这种方法也可以应用到其他分离过程。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家标准,1996,煤用筛分设备工艺效果评定标准,北京:中国标准出版社
- [2] 赵跃民等,1999,干法筛分理论及应用,北京:科学出版社
- [3] 陈清如,1995,筛分和重选理论新进展,徐州:中国矿业大学出版社
- [4] 张荣曾等,1980,分离效率,北京:煤炭工业出版社
- [5] 贾长龄,1989,关于筛分效率的探讨,选煤技术,(4)
- [6] 陈荣光等,1989,国外筛分设备工艺效果的评定,矿业译丛,(1)

Study on the Evaluation of Screening Efficiency

Chen Jin-yun, Jiao Hong-guang

(School of Chemical Engineering and Technology, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, China)

Abstract: Based on the analysis of the present evaluation of screening efficiency, measures of evaluating the screening efficiency and disciplines of determining the separation efficiency index are discussed. The adoption of fuzzy mathematics to evaluate screening efficiency is presented, and compared this method with national standard.

Keywords: screening; screening efficiency; distribution curve; fuzzy mathematics

第一作者简介:陈金云,男,1979年出生,2002级硕士

联系方式:中国矿业大学化工学院 2002级硕士 邮编:221008

Email: jinyunchen@126.com