

〔苏〕 Б·А·季姆梁可夫

煤炭可选性的预测

煤炭工业出版社

U192
Z283

煤炭可选性的预测

[苏]B·A·季姆梁可夫

吴式瑜 张殿增 译

张荣曾 校

煤炭工业出版社

515264

内 容 提 要

本书概括介绍破碎产品按粒级的分布规律,并用数学公式加以说明。书中还介绍煤炭粒度组成的规律,煤炭灰分和可燃体按粒级的分布规律,以及煤炭粒度与质量按密度级的分布规律。

全书较系统地阐述了确定粉煤浮沉组成的方法、煤炭可选性的评定和预测方法,列举了煤炭粒度组成和浮沉组成的计算实例。

本书供选煤科研、设计和生产部门的技术人员阅读,高等院校的有关专业人员以及煤田地质工作者也可参阅。

Б. А. Земляков

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОГАТИМОСТИ УГЛЕЙ

МОСКВА <НЕДРА> 1978

煤炭可选性的预测

吴式瑜 张殿增 译

张荣曾 校

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $4^{7/16}$

字数 95 千字 印数 1—1,600

1981年12月第1版 1981年12月第1次印刷

书号 15035-2444 定价 0.58元

由于开采低灰煤层逐渐减少，采煤、运输机械化程度日益提高，煤炭质量不断下降。现在摆在煤炭加工企业面前的任务是在原料煤煤质越来越下降的情况下，如何生产出合格的产品。为了顺利地完成任务，必须加快发展选煤技术，采用最新的科学技术成果，进行广泛的研究，推广先进的选煤方法，同时还要全面地研究烟煤的成分和性质，以及它在各种加工过程中的变化规律。

煤的粒度组成和浮沉组成是选择开采和加工工艺流程最重要的质量特性。选煤设计单位的工作人员，为了选择选煤方法和工艺流程，选择工艺设备和运输设备，在计算质量-数量流程图和技术经济指标时，必须知道这些特性。生产人员为了确定选煤设备最有效的工作制度，检查其工作和指导生产过程的的操作，也必须知道煤的可选性。

用通常方法来确定煤的粒度组成和浮沉组成是费力、费钱和费时间的。所以生产人员总是削减分析数量，以便尽快取得分析结果，但与此同时却降低了分析的价值，不能确定可选性的真实情况和选择最有效的洗选制度。

煤的粒度对其可选性的影响，促使人们研究煤的粒度组成的规律性。最迫切的问题是确定粉煤的组成。近年来，在入选原煤中粉煤量不断增加，而工业上对煤的质量要求越来越严格，使粉煤不得不进行洗选。

4BF52/11

最近发现的煤的浮沉组成的规律（煤的颗粒按密度分布和各浮沉级中颗粒按粒级分布），使我们能够拟订出对其浮沉组成作预测的方法。这对选择最经济的选煤方法、最正确的分选密度和确定选煤设备的最有效工作制度有着很重要的意义。

目 录

序 言

第一章 煤炭粒度组成的规律	1
1. 煤的粒度组成曲线	1
2. 粒度特性公式	7
3. 粒度特性公式的评述	22
第二章 煤炭粒度组成的预测	26
1. 煤的粒度组成公式	26
2. 煤炭粒度特性公式参数的研究	32
3. 对煤炭粒度特性公式计算结果的评价	37
4. 对煤炭粒度特性公式应用范围的研究	48
5. 末煤粒度组成的预测	51
6. 块煤粒度组成的预测	58
第三章 烟煤不同粒级质量组成的预测	65
1. 烟煤可燃体和灰分按粒级的分布规律	65
2. 用煤的粒度特性公式表示可燃体(或灰分) 按粒级的分布特性的根据	69
3. 对煤的可燃体和灰分粒度分布特性公 式计算结果的评价	72
4. 确定未进入煤样的末煤的质量组成	78
第四章 煤炭可选性的评定方法	82
1. 煤炭可选性评定方法的综述	82
2. 现有各种煤炭可选性评定方法的对比	95
第五章 煤炭浮沉组成的预测	97
1. 烟煤不同密度级粒度组成的预测	97
2. 煤的粒度、密度质量特征的分布规律	108

3. 烟煤粉煤浮沉组成的预测.....	113
4. 煤炭浮沉组成的预测.....	121
附录.....	125

第一章 煤炭粒度组成的规律

1. 煤的粒度组成曲线

煤的筛分组成可以用不同的曲线（粒度、灰分特性曲线）或比较全面地用综合图来表示。

筛分组成曲线是指煤的正累计粒度特性曲线。正累计粒度特性曲线是用正累计产率作出的，而正累计产率则表示大于指定粒度的所有粒级的产率总和；负累计粒度特性曲线是用负累计产率作出的，负累计产率表示小于指定粒度的所有粒级的产率总和。

粒度特性曲线用均等比例的直角座标或专用的函数方格纸作图。用均等比例的直角座标时，横座标轴表示煤粒的尺寸，纵座标表示相应粒级的产率或累计产率；用函数方格纸时，座标轴分别为颗粒尺寸与产率的某种函数。

部分粒度特性可用不同方法作出，即用柱状图或用柱体面积与该粒级的小、中、大直径相应的起点、中点、端点连接起来的曲线表示。

同一煤样的正累计粒度特性曲线和负累计粒度特性曲线是互相对称的，并在产率为50%处相交，其交点表示产率为50%时煤的粒度。还可以从累计粒度特性的座标上查出相应粒级的产率，并用其差数来确定任何粒级的产率，而部分粒度特性曲线则不能做到这一点。根据累计粒度特性曲线的弯曲程度可以判断出煤中是以粗粒居多还是以细粒居多，而这与煤的硬度和破碎应力有关。累计粒度特性曲线可能是凸形、

凹形和直线形。烟煤通常是凹形曲线，这说明煤比矿石的破碎应力小，烟煤是由大量的细粒级所组成。

破碎和磨碎物料的粒度组成可以用分布曲线表示。从关系上讲，累计粒度特性曲线是分布曲线的积分曲线。在此情况下，可以把矿物颗粒组成的碎散混合物看作统计的集体，把样品的总重量或颗粒的总数看作统计总和的数量，而把每粒级颗粒的重量或数目看作每一级的数量、频率或绝对频数。

分布曲线的纵座标为频率^①，也就是窄粒级中的重量产率 γ （或颗粒数目 N ）与粒级区间宽度 ΔX 的比值。在实践中是用标准筛，它的各粒级区间的宽度是不相同的，因此可以把分布曲线的纵座标看作为单位长度范围内所出现的频率（在第 n 粒级中颗粒的重量或数目） $\frac{\Delta\gamma}{\Delta X}$ 或 $\frac{\Delta N}{\Delta X}$ ，而曲线底下的面积可看作在相应区间内出现的数目。分布曲线的纵座标，数值上等于在平均直径为 X 的点上直径每增加1个单位时颗粒重量或数目增加的速度。

在 dX 为无穷小的范围内，颗粒的重量产率 $d\gamma = \frac{\Delta\gamma}{\Delta X} dX$ ，而颗粒的数目 $dN = \frac{\Delta N}{\Delta X} dX$ 。因此，粒度分布曲线在第 n 粒级中按产率（按其重量）表示是 $\frac{d\gamma}{dX}$ 形式，按其数目表示是 $\frac{dN}{dX}$ 形式。

① 原文为频率，应为频率密度——校者。

分布曲线对碎散物料的粒度组成给予直观的概念，但在作图时需要有很多的点，不能很快和很准确地算出各级的产率。分布曲线可以定性地评价磨矿作业，但是为了计算重量产率和颗粒的数目的分布，还是应该采用其积分曲线，也称为累计粒度特性曲线。

累计曲线对粒度组成变化的反应不灵敏，因而几乎看不出缺少哪一个窄粒级，其最大的产率只能根据该段曲线的坡度来判断。当试验点的数目不够时，由累计曲线变为分布曲线就有困难。累计曲线的优点是能很快地算出并衡量任何粒级的产率。

在细粒级范围内粒度特性曲线是陡直上升的，而且在横坐标轴上线段极短，所以作图和应用曲线均有困难。用单对数坐标轴或双对数坐标轴的函数方格纸就可消除这一缺陷，这也是它能相当广泛地得到采用的主要原因之一。

在所有情况下，粒度特性曲线对煤的粒度组成给予直观的概念，但与其质量却毫无联系，也就是它们不能完全说明煤的筛分组成的性质。为了完全反映其性质，就必须作出一系列的补充曲线来表示各粒级的灰分、原煤的灰分和选后产品的灰分等。

Б.Г.切爾年科把所有的曲线画在一个图上，并称之为煤的筛分组成综合图。它对煤的筛分组成给予完整的直观概念，但它有缺点，就是为了表示煤的粒度组成及灰分，必须作出若干条曲线。

曾经想找出一种粒度曲线的作图法，以便用一条曲线就可反映出个别粒级的粒度组成和灰分。

如果在直角坐标系中用矢量形式来表示煤的筛分组成，矢量都通过纵坐标轴的起点（见图1,a的A点），在横坐标

轴上，矢量的方向确定了该粒级的灰分，而个别粒级的产率等于相应的矢量在纵坐标轴上的投影。按矢量加法的规则把矢量加起来，那么用曲线 $ABC'D'$ 可以表示煤的筛分组成(见图1, a)。累计曲线的矢量作图法是迈耶尔建议用来表示煤的浮沉组成的，而我们把它用来表示煤的筛分组成。

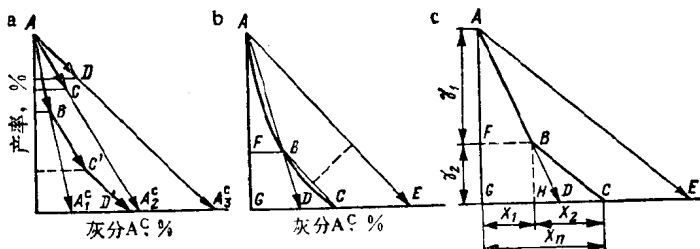


图 1 煤的粒度组成曲线的矢量作图法

煤炭个别粒级的产率用该粒级矢量在纵坐标轴上的投影来表示，而其灰分则用通过纵坐标起点（A点），平行该矢量的直线的方向来表示。这样，在这个图里就把每个粒级（以至整个煤样）的产率和灰分合并在一起了。当无限制地增加粒级的数目时，折线 $ABC'D'$ 就变成光滑的曲线。粒级的数目有限时，把矢量的接点用光滑的曲线连接起来，也可近似地得出这条曲线（见图1, b）。

任何一段曲线所表示的煤的灰分都是用通过A点并与那段曲线的弦相平行的射线的方向来确定。任何基元灰分都是用通过A点并与曲线上那一点的切线相平行的射线的方向来确定，这个方向可用切线与横坐标轴间夹角的正切表示。陡直的射线标志着煤的灰分低，平缓的标志着煤的灰分高。

这种作图法有精确的数学基础。众所周知，两个或数个

粒级相加，其混合物的灰分是用加权平均值来计算的。在表示粒度组成的这种作图法中也保持了这一原则。从相似三角形ABF、ADG和AEG，BCH（见图1，c）中得出：

$$\frac{X_1}{\gamma_1} = \frac{DG}{100} = \frac{A_1^c}{100}, \quad \frac{X_2}{\gamma_2} = \frac{EG}{100} = \frac{A_2^c}{100},$$

由此

$$X_1 = \frac{\gamma_1 A_1^c}{100}, \quad X_2 = \frac{\gamma_2 A_2^c}{100},$$

式中 A_1^c 、 A_2^c ——混合物中各粒级的灰分。

由 X_1 和 X_2 构成的 X_n 线段，代表了混合物的平均灰分：

$$X_n = X_1 + X_2 = \frac{\gamma_1 A_1^c + \gamma_2 A_2^c}{100}.$$

B点的座标由参数 γ_1 和 X_1 确定。

在直角坐标系中，横座标轴按比例分为100等分，也就是每一刻度代表百分之一的灰分（见图2）。这种比例对曲线的实际应用很方便，因为表1中第四行的数字就是曲线相应各点的横座标值。为了便于应用，此图横座标轴的刻度只画到25~30等分（烟煤灰分基本上在此范围内），其右边用垂直线框起来，因此得出筛分曲线的特有形状。应用由两条平行尺组成的专用平板仪，可不用先计算就作出曲线来。这些曲线可以由大粒级向小粒级作，也可以相反。但是，为了互相对照，作图的顺序必须是固定的。用这种方法作出的曲线是独特的可选性曲线，因为它可以判断矿物杂质对不同粒级的煤的混杂程度，确定杂质集中在煤样中的哪一部分（就其粒度来说），并确定使其构成分离的最合理的分选界限。

根据已知参数之一所绘制的煤炭粒度分析曲线，不仅能很容易地确定所研究的粒级的其余参数，而且还能确定任何

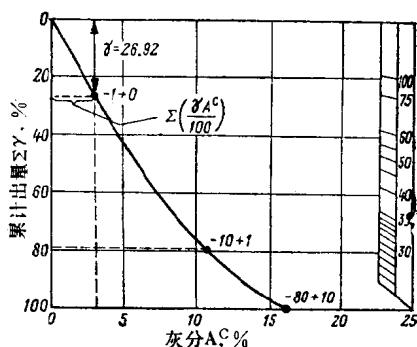


图 2 烟煤的筛分组成曲线（顿巴斯）

顿巴斯第 11~12 号矿井煤的筛分组成曲线的资料 表 1

原始数据				计算数值	
粒度, 毫米	产率 γ %	灰分 A^C %	$\frac{\gamma A^C}{100}$	座 标 值	
				$\Sigma \left(\frac{\gamma A^C}{100} \right)$	$\Sigma \gamma$
1	2	3	4	5	6
0~1	26.92	11.02	2.97	2.97	26.92
1~10	52.87	14.83	7.83	10.80	79.79
10~80	20.21	26.59	5.37	16.17	100.00
0~80	100.00	16.17	—	横座标	纵座标

粒级的其余参数。用筛分组成曲线来解决类似的问题，必须作出粒度与灰分间的关系 $A^C = f(d)$ 和灰分与产率间的关系 $A^C = f(\gamma)$ 等补充曲线。图 3 表示曲线 $A^C = f(d)$ 的作图顺序，即从所研究粒级的灰分值引出平行于纵座标的直线与相

应粒度的横座标线相交(粒度刻线位于右边), 把所得各交点连成光滑的曲线。曲线的顶点表示煤块的最大尺寸 $d_{\max}$ 和煤样的累计平均动态灰分 (суммарная среднелинейная зольность)。

按已知的煤的灰分值 A_i , 确定与此灰分相应的产率和粒度的方法是: 从图 3 中的曲线确定与灰分 A_i 相应的产率 γ_i , 为了确定颗粒的粒度, 只要从此灰分值的点上重作垂线垂直横坐标, 并与曲线 $A^c = f(d)$ 相交, 其交点在粒度刻线上的投影就是相应的粒度。因此, 这样的筛分组成曲线不仅可用于确定经过分析的结果, 而且还可

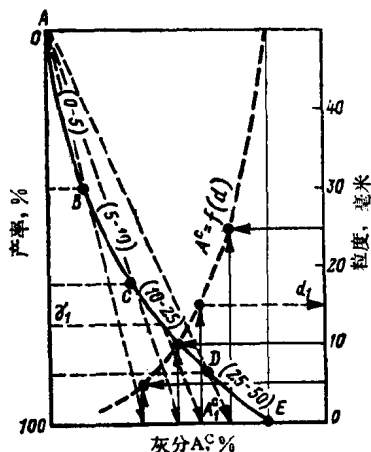


图 3 按粒度组成曲线作出的
 $A^c = f(d)$ 曲线

用于分析任何粒度的物料成分。这样的曲线还可用于解决与选矿有关的一系列问题; 根据它可以用图解法来确定混合物料的筛分组成; 可用于筛选的设计和分析其工作效果; 可以用来确定分级筛分时各粒级煤的理论和实际产率、灰分。

2. 粒度特性公式

许多研究人员认为, 破碎及磨矿产物的颗粒按粒度分布的特点具有某些稳定性。这就可以设想物料的分布有一定的规律, 而与其物理机械、物理化学性质的区别和各式各样影响粒度组成的因素无关。上述情况就是无数研究工作者致力

于探索磨矿一般规律的原因。Г·Г·叶戈罗维姆和B·A·佩罗维姆对此作了较广泛的评述。

这方面的工作研究了产品粒度与重量产率、容积产率、粒数、表面积的关系。在选矿中现在用得最广泛的是重量累计粒度特性关系。在实际工作中，重量累计粒度特性最简单、最方便、最易于进行实验检查。确定颗粒的其它参数，如每个粒级的表面积或粒数是很费事的，而且不是常常能作得准确的，称重则可以作得相当精确。

这里我们只讨论这些关系式中最成功的一些公式。

A·O·格伊特斯最先提出要确立产物粒度及其产率间的分析关系。他发现产物粒度特性曲线在直角坐标系中是双曲线，在对数坐标系中是直线，这就使他不断地探求磨矿规律的数学式，并提出了下列公式：

$$RW^x = c, \quad (1)$$

式中 R —— 颗粒直径 d 的倒数；

W —— 粒度小于 d 的物料的累计产率；

x 、 c —— 本分布的固定参数。

A·O·格伊特斯没有指明公式 (1) 中固定参数的物理意义以及公式是怎样得来的。仅仅可以推测，他分析了大量的粒度特性曲线之后，发现了物料粒度及其产率的关系有一定的规律，将实验资料在对数坐标中变为直线，就可以用公式来表示这种规律。

A·O·格伊特斯的工作没有获得广泛的声望，但不能低估其贡献，这就是他注意到粒度组成变化的规律，并且提出用数学公式来表示这种关系，这就为广泛研究这个问题奠定了基础。

A·M·戈坚研究了大量的破碎和磨矿产物粒度组成的实

验资料，并在对数座标中($\lg X$, $\lg W$) 把它们按粒级分布的部分特性曲线表示出来。在细粒度范围内得出了直线的特性图（见图 4），并用下式表示：

$$W = cX^k, \quad (2)$$

式中 W ——按重量计的粒级产率；

X ——筛孔尺寸，粒级物料均为筛上物；

k 、 c ——本分布的参数。

公式 (2) 适用于球磨机、辊式破碎机以及棒磨机产物中的细粒级物料。这个结论对结构均匀的矿物（也就是那些沿晶粒或颗粒界面断裂的矿物）也是正确的。

对物料颗粒按粒级的部分分布及其分布曲线来说，A·M·戈坚公式也有不适用之处。

仅仅是对那些最细的粒级，A·M·戈坚公式才与实验结果相符，也就是它只适用于较窄的粒度范围。这就是它不适用于表示物料粒度组成的主要原因之一。

由 A·M·戈坚公式出发，C·E·安德列耶夫导出按重量计算的负累计粒度特性公式，该公式在实际计算和理论研究中都被广泛地应用：

$$Y = AX^k, \quad (3)$$

式中 X ——与负累计重量产率 Y 相对应的物料颗粒粒度；

A 、 k ——固定的分布参数。

指数 k 表示物料按粒度分布的情况，什么样的粒度（粗

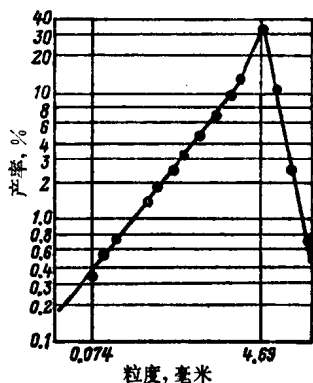


图 4 部分对数特性曲线

的还是细的) 是主要的。在 $\lg X$, $\lg Y$ 的对数坐标里, 参数 k 由粒度特性直线与 $\lg X$ 轴的夹角的正切决定。除 $k = 1$ 外, k 值越大, 在 X , Y 坐标系 (见图 5) 里, 粒度曲线的曲率越大。当 $k = 1$ 时, 函数图为直线; 当 $k > 1$ 时, 产物中以大颗粒为主; 当 $k < 1$ 时, 曲线呈凹状, 表示产物中以细颗粒为主。

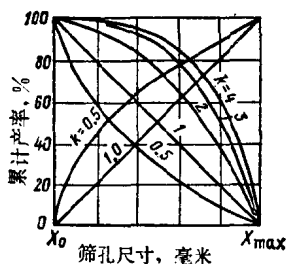


图 5 参数 k 对累计特性曲线形状的影响

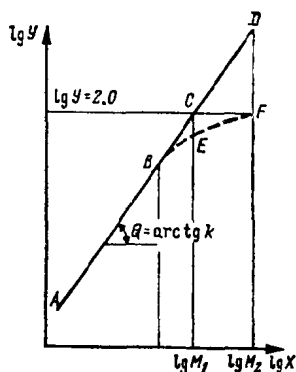


图 6 根据安德列耶夫公式作出的烟煤粒度特性

公式 (3) 的常数 A 表示产物的绝对粒度指数 (当 $X = 1$ 时, $A = Y$)。在对数坐标里, 此参数由粒度特性直线端点的纵坐标值来确定。

图 6 是根据公式 (3) 作出的粒度特性曲线。

根据按重量计算的负累计特性公式导出的安德列耶夫分布曲线公式是:

$$\frac{dY}{dX} = AkX^{k-1} \quad (4)$$

分布曲线的形状随着指数 k 而改变。当 $(k - 1) > 0$