

郭德 张秀梅 杨权成. 重选作业分配率计算公式的建立及应用[J]. 煤炭学报, 2016, 41(12): 3122–3127. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.0578

Guo De Zhang Xiumei Yang Quancheng. Establishment and application of formula for gravity separation products distribution calculations [J]. Journal of China Coal Society 2016, 41(12): 3122–3127. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.0578

重选作业分配率计算公式的建立及应用

郭 德 张秀梅 杨权成

(华北科技学院 环境工程学院 北京 101601)

摘 要: 为改进重选作业分配率的计算方法、简化计算过程和便于实现计算机计算, 简要介绍了目前所采用的近似公式法计算重选分配率的过程, 研究了重选作业分配率的实质和重选分配曲线分布形态。应用改进的 Logistic 曲线模型推导出了用于直接计算重介质选煤分配率和跳汰选煤分配率的数学公式。结合实例, 分别用直接公式和近似公式法计算了重介质选煤和跳汰选煤的分配率, 进而计算出了不同原煤资料的重介质选煤和跳汰选煤的产品数质量。结果表明: 直接公式和近似公式计算出的分配率和产品数质量的结果均十分接近, 表明推导出的直接公式较为精确可靠。直接公式计算过程简单, 结果精确, 计算结果不受原煤可选性变化的影响, 理论基础合理, 可替代近似公式法计算重选作业的分配率。

关键词: 重力选煤; 分配率; 直接公式法; 近似公式法

中图分类号: TD94 文献标志码: A 文章编号: 0253-9993(2016)12-3122-06

Establishment and application of formula for gravity separation products distribution calculations

GUO De ZHANG Xiu-mei YANG Quan-cheng

(College of Environmental Engineering, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: In order to improve the calculation methods for the prediction of product distribution from gravity separation, reduce computational process and achieve computer calculation conveniently, this paper outlines the basic process to estimate the distribution rate of gravity products by the Approximate Calculation Method. Moreover, the essence of distribution rate and the morphological character of gravity distribution curve to gravity process were also investigated. Based on improved Logistic Curve Model, the distribution rate formula of dense-medium and jigging separation were deduced. Then the application example for distribution calculations corresponding to dense-medium and jigging separation were given. Finally the quality and quantity index of the two methods were obtained. The calculations show that there is no appreciable difference between the two methods, this can be confirmed that the Direct Calculation Method and numerical results are correct and accurate. The conclusion of the research shows that the Direct Calculation Method is simple and practical, the calculation results are not affected by the change of coal washability, and the theoretical foundation is reasonable, which can be a better alternative method as compared with the Approximate Calculation Method in the calculations of distribution rate.

Key words: gravity separation; distribution rate; direct calculation method; approximate calculation method

选煤工艺流程的计算是选煤厂设计工作中极为重要的环节,是设备选型、经济效益预测的重要依据,也是投产后选煤厂生产技术管理的重要参考指标。在工艺流程计算中,重选作业产品数质量的计算又是核心内容。目前选煤厂设计中重选作业计算最常采用的方法是“正态分布近似法”^[1]。这种方法已被广泛采用了几十年。

在重选过程中,把原料中某个密度级别进入到重产物中的数量占原料中该密度级别的百分数称之为该密度级别在重产物中的分配率,用符号 ε 表示^[2]。当原煤性质不变时,分选效果的好坏是由分配率来确定^[3],因此求取各密度级的分配率是进行产品数质量计算的关键。目前采用的正态分布近似法理论基础不合理,计算过程比较繁琐,一般要经过 2 步计算才能得到分配率。所以建立一种简单准确的数学公式来计算重选的分配率,进而计算出重选产品数质量十分必要。不但使计算过程简单化,而且可方便实现计算机编程计算,这对选煤厂设计工作和选煤生产技术管理工作具有重要意义。

1 目前计算重选作业分配率方法概述

用正态分布近似法计算重选作业的分配率,然后计算出选煤产品的数质量是设计部门普遍应用的一种方法。

先求出 t 值,由 t 值获取分配。重介分选作业的近似公式为

$$t = \frac{0.675}{E}(\delta - \delta_p) \quad (1)$$

跳汰分选作业的近似公式为

$$t = \frac{1.553}{I} \lg \frac{\delta - 1}{\delta_p - 1} \quad (2)$$

式中, t 为中间变量; E 为重介分选设备的可能偏差; I 为跳汰分选设备的不完善度; δ 为各密度级的平均密度; δ_p 为分选密度。

确定 E (或 I) 与 δ_p 后,取每个密度级的平均值 δ 代入式(1)或(2)中可计算出 t 值。求得分配率有 3 种方式:一是直接通过“ $t - \varepsilon$ ”指标表查取分配率(各类设计书籍和手册中均有此表);二是由公式 $\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ 展开后计算得出;三是利用 Excel 中的正态分布累计函数求出,即 $\varepsilon = \text{Normsdist}(t) \times 100\%$ 。三者实质是一样的,只是体现的方式不同。将分配率代入“重选产品设计指标计算表”即可计算出产品的数质量。

正态分布近似法计的理论基础是 A. Teera 等和

P. Belugou 等提出的分配曲线符合正态分布累积曲线形式或符合对数正态分布累积曲线形式的观点^[4]。但这种观点无法解释为什么可以把密度视为随机变量及把分配率看作累积概率的问题。张荣曾^[5]对重力分选中的分配曲线形态及特性参数做过详细研究,其研究结果表明:只有在某些特定的条件下,分配曲线的形状才能与正态分布的累积概率曲线相符,实际的分选过程不可能满足这些条件。也就是说分配曲线不符合正态分布的累积概率曲线而属于一种偏态分布形式。在此基础上,提出了一组新的特性参数来描述分配曲线的特性。樊民强等提出用位置、分散、偏度和峰度 4 个特性参数描述分配曲线形态,并在正态分布函数中引入参数后建立了分配曲线数学模型^[6]。生产实践资料证明,到目前为止,还很难用某种理论来确切描述重选分配曲线,所以许多学者进而转向研究分配曲线的数学模型,提出了不少于 10 种的分配曲线模型,主要有代表性的模型包括复合双曲正切模型^[7-10]、反正切模型^[11-13]、双曲正切模型等^[13-18]。迄今为止,所有提出的这些参数或数学模型主要用于分配曲线的描述或拟合,还无法直接应用于分配率的计算。

2 直接计算分配率公式的推导

理论和实践证明,重选作业的分配曲线不符合正态分布的累积概率曲线,所以用正态累计函数求分配率是不合理的。联系到重选的分配曲线呈现“S”形曲线的变化趋势,为此在考虑分配曲线特性的基础上,将 Logistic 曲线模型进行改进,推导出了计算分配率的公式。Logistic 曲线是由生物数学家 P. E. Verhulst 推导出来的,主要用于描述动植物的生长发育或繁殖过程等,曲线的特点为略成拉长的“S”形^[19]。

2.1 重介分选作业分配率计算公式

重介分选作业分配率计算公式为

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + ae^{b\delta}} \quad (3)$$

式中, ε 为分配率; a b 为常数。

对式(3)两边同时取对数得

$$\ln\left(\frac{100}{\varepsilon} - 1\right) = \ln a + b\delta \quad (4)$$

将 ε 分别取 50%、75%、25% 代入式(4)并整理得

$$\ln a = -b\delta_p$$

$$\ln\left(\frac{100}{75} - 1\right) - \ln\left(\frac{100}{25} - 1\right) = b(\delta_{75} - \delta_{25}) = 2Eb$$

式(3) (4) 联立, 求出 a 和 b 代入式(3) 得

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + e^{\frac{1.0986(\delta_p - \delta)}{E}}} \quad (5)$$

式(5) 即为建立起的用于直接计算重介质选煤分配率的数学公式。

2.2 跳汰作业分配率计算公式

考虑到跳汰分选作业的特殊性, 提出了跳汰作业分配率的计算公式, 即

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + ae^{b \lg(\delta - 1)}} \quad (6)$$

对式(6) 两边取对数得

$$\ln\left(\frac{100}{\varepsilon} - 1\right) = \ln a + b \lg(\delta - 1) \quad (7)$$

将 ε 分别取 50%、75%、25% 代入式(7), 并整理得

$$\ln a = -b \lg(\delta_p - 1) \quad (8)$$

$$\ln\left(\frac{100}{75} - 1\right) - \ln\left(\frac{100}{25} - 1\right) = b \lg \frac{\delta_{75} - 1}{\delta_{25} - 1} \quad (9)$$

可证明出^[1]:

$$\lg \frac{\delta_{75} - 1}{\delta_{25} - 1} = 0.8686I \quad (10)$$

将式(9) 代入式(10) 得

$$b = -\frac{2.5296}{I}$$

代入式(8) 得

$$a = \exp\left[\frac{2.5296}{I} \lg(\delta_p - 1)\right]$$

将 a 、 b 代入式(6) 得

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + \exp\left(\frac{2.5296}{I} \lg \frac{\delta_p - 1}{\delta - 1}\right)} \quad (11)$$

式(11) 即为建立起的用于直接计算跳汰选煤分配率的数学公式。

3 计算分配率公式的应用

3.1 重介质选煤分配率直接计算公式的应用

以神华蒙西煤化股份有限公司棋盘井选煤厂资料^[20]为例, 该厂重选设备为 3GDMC1500/1100A 型无压给料三产品重介质旋流器, 要求一段分选密度为 1.415 g/cm³, 可能偏差 E 为 0.022 g/cm³; 二段分选密度为 1.670 g/cm³, 可能偏差 E 为 0.024 g/cm³。将分选密度和可能偏差代入式(5) 得

一段分配率为

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + 4.8669 \times 10^{30} e^{-49.9364\delta}} \quad (12)$$

二段分配率为

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + 1.5824 \times 10^{33} e^{-45.7750\delta}} \quad (13)$$

直接计算公式与正态分布近似法的分配率计算结果, 见表 1。

表 1 两种方法计算出的分配率对比(重介质分选)

Table 1 Comparing table of two calculation methods for distribution rate(dense-medium separation)

密度/(g·cm ⁻³)	重介质旋流器一段			重介质旋流器二段		
	近似公式法	式(12)	差值	近似公式法	式(13)	差值
<1.30	0	0.026 4	-0.026 4	0	0	0
1.30~1.35	0.290 0	1.104 9	-0.814 9	0	0	0
1.35~1.40	10.990 0	11.949 9	-0.959 9	0	0	0
1.40~1.45	62.970 0	62.230 9	0.739 1	0	0.001 0	-0.001 0
1.45~1.50	96.720 0	95.240 1	1.479 9	0	0.013 3	-0.013 3
1.50~1.60	100.000 0	99.882 0	0.118 0	0.040 0	0.409 9	-0.369 9
1.60~1.70	100.000 0	99.999 2	0.000 8	28.670 0	28.587 6	0.082 4
1.70~1.80	100.000 0	99.999 9	0.000 1	98.780 0	97.496 2	1.283 8
1.80~2.00	100.000 0	100.000 0	0	100.000 0	99.997 4	0.002 6
>2.00	100.000 0	100.000 0	0	100.000 0	100.000 0	0

由表 1 可知, 两种方法求得的分配率 ε 差值很小, 除个别外, 差值均小于 1%, 故可判定建立的计算分配率公式较为精确。为进一步考查其精确性, 采用两种方法分别计算产品的数质量, 同时也计算出其他 3 个选煤厂的重介作业产品的数质量。结果见表 2。

由表 2 可以看出, 两种方法计算出的产品数质量接近, 表明直接计算公式的十分精确可靠。

3.2 跳汰选煤分配率直接计算公式的应用

以资料 1^[1] 为例, 该厂重选设备为 SKT 型跳汰机, 要求一段分选密度 δ_p 为 1.80 g/cm³, 不完善度 I

表 2 两种方法计算出的产品数质量对比(重介质分选)
Table 2 Comparing table of two calculation methods for quality and quantity of the product (dese-medium separation) %

厂家名称	产品名称	产品产率		产品灰分	
		直接公式法	近似公式法	直接公式法	近似公式法
棋盘井	精煤	25.08	25.13	10.74	10.78
	中煤	21.62	21.57	25.08	25.30
	矽石	53.30	53.30	71.94	71.95
麟达 ^[21]	精煤	52.69	52.95	9.80	9.78
	中煤	23.61	22.75	26.16	23.61
	矽石	23.70	24.30	74.26	74.25
老屋基 ^[22]	精煤	64.06	64.41	8.52	8.51
	中煤	10.38	10.06	25.51	26.58
	矽石	25.56	25.53	75.41	75.52
范各庄 ^[23]	精煤	39.23	39.23	10.62	10.62
	中煤	5.57	5.57	31.76	31.75
	矽石	55.20	55.20	76.62	76.63

为 0.16; 二段分选密度 δ_p 为 1.38 g/cm^3 , 不完善度 I 为 0.17。将上述参数代入式(11)得

一段分配率直接计算公式为

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + \exp\left(5.81 \times \lg \frac{1.80 - 1}{\delta - 1}\right)} \quad (14)$$

二段分配率直接计算公式为

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + \exp\left(14.88 \times \ln \frac{1.38 - 1}{\delta - 1}\right)} \quad (15)$$

直接计算公式与正态分布近似法的分配率计算结果见表 3。

由表 3 看出,两种方法计算出的分配率有所差别,但差别较小,说明直接计算分配率公式较为准确。为验证直接计算公式的计算结果,分别采取两种方法进行了产品数质量计算,同时也计算了其他 2 个选煤厂的跳汰作业产品的数质量,结果见表 4。

表 3 两种方法计算出的分配率对比(跳汰分选)

Table 3 Comparing table of two calculation methods for distribution rate(jigging separation)

密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	跳汰机一段			跳汰机二段		
	近似公式法	式(14)	差值	近似公式法	式(15)	差值
<1.30	0	0.034 0	-0.034 0	4.830 0	6.263 0	-1.433 0
1.30~1.40	0	0.341 5	-0.341 5	37.210 0	37.017 9	-0.192 1
1.40~1.50	0.580 0	1.888 1	1.308 1	74.880 0	74.887 5	-0.007 5
1.50~1.60	5.710 0	7.091 5	-1.381 5	92.880 0	91.601 7	1.278 3
1.60~1.70	19.070 0	19.377 1	-0.307 1	98.360 0	96.979 2	1.380 8
1.70~1.80	39.280 0	39.099 4	0.180 6	100.000 0	98.779 6	1.220 4
>1.80	82.660 0	82.232 0	0.428 0	100.000 0	99.807 8	0.192 2

表 4 两种方法计算出的产品数质量对比(跳汰分选)
Table 4 Comparing table of two calculation methods for quality and quantity of the product(jigging separation) %

资料名称	产品名称	产品产率		产品灰分	
		直接公式法	近似公式法	直接公式法	近似公式法
资料 1 ^[1]	精煤	35.49	35.64	9.13	9.00
	中煤	32.25	32.22	31.47	31.39
	矽石	32.26	32.14	72.58	73.60
资料 2 ^[2]	精煤	60.33	61.13	8.93	8.91
	中煤	25.01	24.62	20.64	20.54
	矽石	14.66	14.25	67.86	70.20
资料 3 ^[3]	精煤	66.81	67.98	9.49	9.48
	中煤	12.37	11.47	28.85	28.89
	矽石	20.82	20.55	78.00	79.77

由表 4 可知:两种方法计算出的产品数质量较为接近,验证了直接计算公式的精确性。同时也发现,在精煤灰分基本相等时,直接用公式计算出的精煤产率比近似公式法计算出的略低些,这更符合生产实际情况,计算结果完全可满足选煤厂设计和生产技术管理的需要。

4 煤炭可选性对分配率直接计算结果的影响

为考查煤炭可选性对分配率公式计算结果的影响,从而进一步验证分配率公式的可靠性,分别用跳汰和重介质的分配率计算公式对易选煤和难选煤在相同分选密度和可能偏差(不完善度)条件下的分配率进行计算,结果见表 5。计算时的分选密度为 1.60 g/cm^3 ,跳汰分选 $I = 0.15$,重介质分选 $E = 0.05 \text{ g/cm}^3$ 。

表 5 煤炭可选性对分配率计算结果的影响

Table 5 Effect of coal washability on the calculation results of distribution coefficients

密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	易选煤			难选煤		
	产率/%	跳汰分选 ε /%	重介质分选 ε /%	产率/%	跳汰分选 ε /%	重介质分选 ε /%
<1.30	10.69	0.16	0.05	5.70	0.16	0.05
1.30~1.40	46.15	1.90	0.41	26.15	1.90	0.41
1.40~1.50	20.14	10.84	3.57	15.10	10.84	3.57
1.50~1.60	5.17	34.59	25.00	25.20	34.59	25.00
1.60~1.70	2.55	64.25	75.00	12.57	64.25	75.00
1.70~1.80	1.62	83.68	96.43	1.63	83.68	96.43
1.80~2.00	2.13	95.12	99.86	2.12	95.12	99.86
>2.00	11.55	99.65	100	11.53	99.65	100
合计	100			100		

从表 5 看出,不论跳汰还是重介质,用分配率公式计算出的分配率不受煤炭可选性的影响,只与分选密度与可能偏差(不完善度)有关,这与重选理论是对应的,表明分配率计算公式是可靠的。其他不同可选性煤炭浮沉资料的计算结果也证明了该结论成立。

5 结 论

(1) 应用改进的 Logistic 曲线模型,分别推导出用于直接计算重介质选煤分配率和跳汰选煤分配率的数学公式为:

$$\varepsilon = \frac{100}{1 + \exp\left[\frac{1.0986(\delta_p - \delta)}{E}\right]}$$

$$= \frac{100}{1 + \exp\left(\frac{2.5296 \lg \frac{\delta_p - 1}{\delta - 1}}{I}\right)}$$

(2) 分别用直接公式和近似公式法计算重介选煤和跳汰选煤的分配率,结果表明二者计算结果差别不大。直接公式的计算结果与煤炭可选性无关,只与分选密度与可能偏差(不完善度)有关。

(3) 在相同分选条件下,采用直接公式和近似公式法,分别计算出不同资料时的重介选煤和跳汰选煤的产品数质量,二者计算的结果十分接近,表明直接公式较为精确可靠。同时发现在精煤灰分基本一样的情况下,直接公式法计算出的精煤产率稍低,更符合生产实际情况。

(4) 应用直接公式法计算重选分配率进而计算重选产品的数质量,理论基础合理,计算过程简单,结果精确,满足选煤厂设计和生产技术管理的需要,也为计算机计算分配率、分配曲线平移和直接求取可能偏差或不完善度提供了条件。

参考文献:

- [1] 匡亚莉. 选煤工艺设计与管理(设计篇)[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2012:102-105.
Kuang Yali. Design and management of coal preparation process (Design) [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2012: 102-105.
- [2] 谢广元,张明旭. 选矿学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2010:297-299.
Xie Guangyuan, Zhang Mingxu. Mineral processing [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2010: 297-299.
- [3] 匡亚莉. 选煤厂管理[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2011:63-64.
Kuang Yali. Coal washing plant management [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2011: 63-64.
- [4] 王淀佐,卢寿慈,陈清如,等. 矿物加工学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2003:312-314.
Wang Dianzuo, Lu Shouci, Chen Qingru, et al. Mineral processing [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2003: 312-314.
- [5] 张荣曾. 重力分选中的分配曲线形态及特性参数的研究[J]. 煤炭学报,1980(1):37-45.
Zhang Rongzeng. The shape and characteristic parameters of the partition curves of gravity separation [J]. Journal of China Coal Society, 1980(1): 37-45.
- [6] 樊民强,张荣曾. 分配曲线特性参数及其构成的数学模型[J]. 煤炭学报,1998,23(2):202-207.
Fan Minqiang, Zhang Rongzeng. The characteristic parameters of the distribution curve and its mathematical model [J]. Journal of China Coal Society, 1998, 23(2): 202-207.
- [7] 张娟,段东东,刘晨晨,等. 分配曲线数学模型[J]. 煤炭加工与综合利用,2011(1):6-10.
Zhang Juan, Duan Dongdong, Liu Chenchen, et al. Mathematical model of distribution curve [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2011(1): 6-10.
- [8] 李华,路迈西,杨旸,等. 可选性曲线与分配曲线的绘制及相关内容分析[J]. 煤炭加工与综合利用,2008(6):28-30.
Li Hua, Lu Maixi, Yang Yang, et al. Plotting of washability and distribution curves and analysis of relevant connotations [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2008(6): 28-30.
- [9] 范肖南,李成兵. 分配曲线经验模型在预测和优化中的应用[J]. 煤炭工程,2004(2):48-51.
Fan Xiaonan, Li Chengbing. Experiential model of partition curve applied in prediction and optimization [J]. Coal Engineering, 2004(2): 48-51.
- [10] 宋志伟,郭德,葛淑杰. 选煤分配曲线偏正态数学模型的建立[J]. 黑龙江矿业学院院报,1997,7(1):21-25.
Song Zhiwei, Guo De, Ge Shujie. Establishing the quasnormal mathematical model of distribution curve for separation [J]. Journal of Heilongjiang Mining Institute, 1997, 7(1): 21-25.
- [11] 郭玲香,胡明星. 空气重介流化床干法选分配曲线数学模型研究[J]. 山西矿业学院学报,1997,15(3):254-260.
Guo Lingxiang, Hu Mingxing. Computer imitation on distribution

- curve model of dry cleaning with air-dense medium fluidized-bed [J]. Journal of Shanxi Mining Institute ,1997 ,15 (3) :254 - 260.
- [12] 范肖南. 复合双曲正切分配曲线模型参数与分选密度变化关系研究[J]. 淮南矿业学院学报 ,1997 ,19(3) :43 - 49.
Fan Xiaonan. Study on the relationship between multi-hyperbolic tangent distribution curve model parameters and separation density [J]. Journal of Huainan Mining Institute ,1997 ,19(3) :43 - 49.
- [13] 夏育才. 介绍一个可选性曲线模型[J]. 选煤技术 ,1995(5) :15 - 19.
Xia Yucui. Introduction of a model of washability curve [J]. Coal Preparation Technology ,1995(5) :15 - 19.
- [14] 陈建中, 沈丽娟, 刘炯天. 特殊分配曲线的特性参数确定方法研究[J]. 中国矿业大学学报 2005 ,34(6) :744 - 749.
Chen Jianzhong ,Shen Lijuan ,Liu Jiongtian. Method of determining characteristic parameters of special distribution curve [J]. Journal of China University of Mining & Technology ,2005 ,34(6) :744 - 749.
- [15] 范肖南. 用 Excel 进行选矿数学建模[J]. 煤炭工程 2004(3) :50 - 52.
Fan Xiaonan. Establishing mathematics model of mineral processing by excel [J]. Coal Engineering 2004(3) :50 - 52.
- [16] 范肖南. 重力分选分配曲线平移方法研究[J]. 矿冶工程 , 2005 25(2) :25 - 27.
Fan Xiaonan. A research of parallel moving for partition curve of gravity separation [J]. Mining and Metallurgical Engineering , 2005 25(2) :25 - 27.
- [17] 宋谦. 选煤厂生产过程中曲线绘制技术的研究[D]. 西安: 西安科技大学 2011.
Song Qian. Research on technology for curve drawing of coal production process [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology 2011.
- [18] 段丁杰. 无压三产品旋流器的通用分配曲线模型研究[D]. 淮南: 安徽理工大学 2012.
Duan Dingjie. The research of universal partition curve model in gravity fed three product heavy medium cyclone [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology 2012.
- [19] 胡文冉, 范玲, 田晓莉, 等. Excel 在 Logistic 曲线拟合中的应用[J]. 农业网络信息 2013(3) :14 - 16.
Hu Wenran ,Fan Ling ,Tian Xiaoli ,et al. Application of excel in logistic curve fitting [J]. Agriculture Network Information 2013(3) :14 - 16.
- [20] 赵树彦, 张春林, 徐学武, 等. 3GDMC1500/1100A 型无压给料三产品重介质旋流器[J]. 洁净煤技术 2010 ,16(2) :9 - 13.
Zhao Shuyan ,Zhang Chunlin ,Xu Xuewu , et al. Study on 3GDMC1500/1100A three-product dense medium cyclone with non-pressured feeding [J]. Clean Coal Technology 2010 ,16(2) :9 - 13.
- [21] 潘保东, 葛家君, 崔学奇, 等. WTMC1200/850 型重介质旋流器在山西麟达选煤厂的应用[J]. 煤炭加工与综合利用 ,2013 (2) :15 - 19.
Pan Baodong ,Ge Jiajun ,Cui Xueqi ,et al. The application of the WTMC1200/850 heavy medium cyclone in Shanxi Linda coal preparation plant [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization , 2013 (2) :15 - 19.
- [22] 李云红, 魏文君. 从老屋基选煤厂三产品重介质旋流器分选炼焦煤试验数据看动力煤分选工艺效果[J]. 煤炭加工与综合利用 2012(3) :9 - 12.
Li Yunhong ,Wei Wenjun. Prediction of cleaning performance of steam coal based on data from coking coal cleaning by 3-product HM cyclone at Laowuji coal preparation plant [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization 2012(3) :9 - 12.
- [23] 孙伟, 沈丽娟, 陈建中, 等. 范各庄选煤厂 3NWX1000/700 型重介质旋流器分选效果研究[J]. 矿山机械 2013 ,41(9) :106 - 110.
Sun Wei ,Shen Lijuan ,Chen Jianzhong ,et al. Study on separating effects of 3NWX1000/700 dense medium cyclone in Fangezhuang Coal Washery [J]. Mining & Processing Equipment 2013 ,41(9) :106 - 110.