

# 玻璃纤维原料叶蜡石原矿价值估算方法

李兴衡<sup>1,2</sup>, 吴彩斌<sup>1\*</sup>

(1.江西理工大学 资源与环境工程学院,江西 赣州 341000;2.平和县鑫泰德远矿业有限公司,福建 漳州 363799)

**摘要:**为量化评估玻璃纤维原料叶蜡石原矿的价值,针对叶蜡石原矿的品质控制要求提出估算方法.采用成本分析中的成本替代法,选取传统玻璃纤维生产原料成本为参考标准,以原料质量是否合格为分类依据,在叶蜡石原料中仅加入高岭石、或仅加入石英石、或两者都加入的方式调配符合要求的玻璃纤维生产原料,并采用数学方法对其进行定量分析,得出这 3 种情况下的价值估算算式.该方法可合理评估玻璃纤维叶蜡石原矿的价值,指导相关企业对存料的价值进行核算.在实际应用时,估算基准物不限于高岭石和石英石,可根据需要适当调整.

**关键词:**叶蜡石;玻璃纤维;价值估算;品质控制

中图分类号:TD985

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2022)03-0074-05

## Price Estimation Method of Pyrophyllite Mineral Raw Material for Glass Fiber Industry

LI Xingheng<sup>1,2</sup>, WU Caibin<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Pinghe County Xintai Deyuan Mining Co., Ltd., Zhangzhou 363799, China)

**Abstract:** In order to quantitatively evaluate the price of glass fiber raw material pyrophyllite, an estimation method is proposed for the quality control requirements of pyrophyllite ore. Taking the cost substitution method in cost analysis as the research method, choosing the cost of raw materials corresponding to the old process as the reference standard, and the quality of the raw material is just qualified as the classification basis, using mathematical methods for quantitative analysis, and summarizing the calculation formula for price estimation in three cases where only adding the active ingredient material is necessary, or only adding the groundmass material is necessary, or both above are necessary to adjust the material to be just qualified. This method can reasonably evaluate the value of glass fiber pyrophyllite ore, and guide relevant enterprises to quickly calculate the value of the stored materials. In the practical application of this method, the estimated reference materials are not limited to kaolinite and quartzite, and the raw ore value of pyrophyllite can also be estimated under other conditions after being replaced.

**Keywords:** pyrophyllite; glass fiber; price estimation; quality control

我国是叶蜡石矿储量最为丰富的国家<sup>[1]</sup>.叶蜡石矿是一种含铝硅酸盐矿物,早期主要作为雕刻工艺石的原料.按其伴生矿物种类不同,分为蜡石质、水铝石质、高岭石质、硅质叶蜡石等工业类型<sup>[2-3]</sup>,这导致实际开采出来的叶蜡石的化学成分及其含量不尽相同.

近年来,随着材料科学的发展,叶蜡石被广泛用于玻璃纤维、陶瓷、人造金刚石等方面的工业生产中<sup>[4]</sup>,尤其在无碱玻璃纤维行业中得到迅速发展,使我国成为玻璃纤维产量最大的国家,占全球产量的

60%,位居世界第一。

传统无碱玻璃纤维生产工艺采用石英和氧化铝(高岭石或软质高岭土,或纯氧化铝)为主原料<sup>[5]</sup>,而使用叶蜡石为主原料生产玻璃纤维,可利用叶蜡石中自有的硅铝资源,能节约成本<sup>[1]</sup>。目前国外玻璃纤维多数仍以纯氧化铝、高岭石、石英石为主料进行生产,因而国外几乎没有关于玻璃纤维原料级叶蜡石价值估算的文献。如何合理确定玻璃纤维原料级叶蜡石价值的研究也尚属空白。

叶蜡石原矿由于矿物本身的性质和矿层变化等原因,成分复杂,未经配矿无法实现在质量合格的前提下利用率最大化<sup>[6]</sup>。最理想的配矿模式是将叶蜡石原矿磨成粉后进行参数调配。因此,以合适的方法估算叶蜡石原矿的价值<sup>[7]</sup>,在相关企业生产、管理实践中具有现实意义。

## 1 价值估算原理

玻璃纤维行业对叶蜡石主原料的要求有3个方面:一是有效成分氧化铝。由于叶蜡石的作用是替代昂贵的含铝原料,如铝粉<sup>[8]</sup>、纯氧化铝粉、高岭石等,所以氧化铝含量高为佳。二是中性成分,主要指二氧化硅。玻璃纤维生产对二氧化硅含量要求高,但其成本很低,极易获得<sup>[9]</sup>,不会成为玻璃纤维生产中质量或成本控制的瓶颈。三是杂质成分,指叶蜡石中对玻璃纤维生产带来不利的物质,主要包括除氧化铝、二氧化硅外的其他氧化物及含硫化合物,如黑色金属(铁、锰、铬)氧化物、碱金属(钾、钠)氧化物、二氧化钛、硫酸化合物等<sup>[9]</sup>,这些杂质含量越少越好。若杂质含量过高,会导致玻璃纤维颜色或强度不合格,或降低生产效率。故玻璃纤维行业要求的品质控制通常为 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的质量分数不低于16%,黑色金属氧化物的质量分数不高于0.5%, $\text{SO}_3$ 和碱金属氧化物的质量分数不高于0.6%, $\text{TiO}_2$ 的质量分数不高于0.8%<sup>[8]</sup>。

根据有效成分和杂质成分的多少,玻璃纤维级叶蜡石原料可以分为4类:

1)有效成分满足品质控制最低要求,杂质成分不超过品质控制要求,叶蜡石原矿可以直接作为合格的玻璃纤维主料。

2)有效成分满足品质控制要求,杂质成分超过品质控制要求,可以将其与有效成分含量不达标或杂质成分含量超标的原料综合利用,价值估算会上浮。

3)有效成分未达到品质控制要求,杂质成分未超过品质控制要求,需要对其有效成分进行补充,结合杂质成分含量,价值也会有所浮动。

4)有效成分未达到品质控制要求,杂质成分超过品质控制要求,需要采用其他叶蜡石原矿进行配矿,或者需要稀释杂质且补充有效成分。如高岭石、石英石作为有效成分的补充料和杂质成分的稀释料<sup>[9]</sup>,使用成本分析中的成本替代法可以合理地进行价值估算。

实际上稀释料高岭石和石英石也会含有部分杂质,如高岭石中 $\text{TiO}_2$ 含量一般会超标。但为了方便计算,假设高岭石和石英石不含杂质成分,高岭石以 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 计,石英石以 $\text{SiO}_2$ 计,高岭石中氧化铝质量分数近似取40%。如果将高岭石和石英石按照质量比4:6进行配比,就可配得氧化铝质量分数为16%的原料,与玻璃纤维生产中采用叶蜡石为主原料等效。设高岭石的单价为 $P_k$ ,石英石的单价为 $P_q$ ,配制的等效原料单价为 $P_i$ ,则 $P_i = 0.4P_k + 0.6P_q$ 。

## 2 价值估算方法

设待估价的叶蜡石原矿单价为 $P$ ,质量为 $M_0$ ,原矿中氧化铝的质量分数为 $S_{\text{Al}}$ ,标准的玻璃纤维原料级叶蜡石原矿单价为 $P_a$ 。按照叶蜡石原矿的有效成分及杂质成分含量不同,分类估算叶蜡石原矿的价值。

### 2.1 有效成分足够,杂质成分不超标

若 $S_{\text{Al}} > 16\%$ ,则可通过加入石英石将氧化铝的质量分数调配至16%,设需加入石英石的质量为 $M_q$ ,则

$$M_q = M_0 \left( \frac{S_{\text{Al}}}{16\%} - 1 \right). \quad (1)$$

石英石的单价为 $P_q$ ,则用作稀释料的石英石成本为 $P_q M_q$ 。经过此次配矿,得到合格叶蜡石的质量为

$M_0+M_q$ , 于是有

$$PM_0 + P_q M_q = P_a (M_0 + M_q). \quad (2)$$

根据式(1)和式(2)可得

$$P = P_a + (P_a - P_q) \left( \frac{S_{Al}}{16\%} - 1 \right). \quad (3)$$

由于  $P_a > P_q$ , 且  $S_{Al} > 16\%$ , 因此  $P > P_a$ .

## 2.2 有效成分不足, 杂质成分不超标

若  $S_{Al} < 16\%$ , 可以通过加入高岭石将氧化铝的质量分数提高至  $16\%$ , 设需加入的高岭石质量为  $M_k$ , 则

$$M_k = M_0 \frac{0.16 - S_{Al}}{0.24}. \quad (4)$$

高岭石的单价为  $P_k$ , 因此高岭石成本为  $P_k M_k$ . 经过此次配矿, 得到合格叶蜡石的质量为  $M_0 + M_k$ . 则有

$$P = P_a + (P_a - P_k) \frac{0.16 - S_{Al}}{0.24}. \quad (5)$$

由于  $P_a < P_k$ , 且  $S_{Al} < 16\%$ , 所以  $P < P_a$ .

## 2.3 有效成分足够, 杂质成分超标

这种类型叶蜡石原矿的价值估算需要确定其中关键杂质的含量, 设原矿中杂质  $1, 2, 3, \dots, N$  的质量分数分别为  $S_{z1}, S_{z2}, S_{z3}, \dots, S_{zN}$ , 在玻璃纤维合格品中杂质  $1, 2, 3, \dots, N$  的质量分数允许上限为  $L_{z1}, L_{z2}, L_{z3}, \dots, L_{zN}$ . 由于有效成分氧化铝超过标准值下限时, 也需要将其稀释至  $16\%$  以达到利润最大化, 与稀释杂质成分的方式相同, 有效成分一并列入考虑. 将以上所有数据以集合的形式表示, 方便在自动化处理软件中使用数组或其他形式导入. 设  $S_{z0} = S_{Al}, L_{z0} = 16\%$ , 构造集合  $I$ :

$$I = \left\{ \frac{S_{z0}}{L_{z0}}, \frac{S_{z1}}{L_{z1}}, \frac{S_{z2}}{L_{z2}}, \frac{S_{z3}}{L_{z3}}, \dots, \frac{S_{zN}}{L_{zN}} \right\}.$$

设  $I$  中元素的最大值为第  $K$  项  $\frac{S_{zK}}{L_{zK}} = r (0 \leq K \leq N)$ , 定义  $r$  为此种原料的“稀释处理系数”, 由于杂质和有效成分均超标, 可知  $r > 0$ . 理论上此种原料被不含杂质的物料稀释到  $r$  倍后, 杂质成分含量可符合要求.

若  $K=0$ , 有效成分超量程度大于杂质成分超量程度, 直接用石英石稀释配矿即可, 价值估算同 2.1.

若  $K \neq 0$ , 稀释配矿后有效成分的质量分数将低于  $16\%$ , 配料中需使用高岭石补充有效成分, 再加入石英石稀释杂质成分. 设需加入高岭石的质量为  $M_k$ , 需加入石英石的质量为  $M_q$ , 则

$$M_q = M_0 (0.6r - 1 + 2.5S_{z0}). \quad (6)$$

$$M_k = M_0 (0.4r - 2.5S_{z0}). \quad (7)$$

因这种类型叶蜡石有效成分足够且杂质成分超标, 所以  $r > 1$ . 因  $K \neq 0$ , 所以  $\frac{S_{z0}}{16\%} < r$ , 代入式(7)可得

$M_k > 0$ ; 若假设  $M_q < 0$ , 根据式(6)可得  $S_{z0} < \frac{1 - 0.6r}{2.5}$ , 又因为有效成分足够, 即  $S_{z0} > 0.16$ , 于是  $0.16 <$

$\frac{1 - 0.6r}{2.5}$ , 得出  $r < 1$ , 这与前提条件  $r > 1$  矛盾, 因此假设不成立, 即  $M_q \geq 0$ .

结合式(6)和式(7)得

$$P = P_a r - P_k (0.4r - 2.5S_{Al}) - P_q (0.6r - 1 + 2.5S_{Al}). \quad (8)$$

## 2.4 有效成分不足, 杂质成分超标

原矿有效成分不足且杂质成分超标时的价值估算分析思路与有效成分足够且杂质成分超标相同, 此时  $K \neq 0$ . 有所区别的是, 根据  $S_{Al}$  与  $r$  的关系, 对于  $M_q$ , 判断其是否小于 0 的不等式为  $0 \leq S_{z0} < \frac{1 - 0.6r}{2.5}$ ,

可得知当  $1 < r < \frac{5}{3}$  时,使用高岭石补铝后,杂质成分已经被稀释到合格的程度,无需再加石英石,与有效成分不足且杂质成分不超标时的处理等同.

即,若  $r > 1, S_{Al} < 16\%$ ,

$$\text{当 } 0 \leq S_{Al} < \frac{1 - 0.6r}{2.5} \text{ 时, } P = P_a + (P_a - P_k) \frac{0.16 - S_{Al}}{0.24};$$

$$\text{当 } S_{Al} \geq \frac{1 - 0.6r}{2.5} \text{ 时, } P = P_a r - P_k(0.4r - 2.5S_{Al}) - P_q(0.6r - 1 + 2.5S_{Al}).$$

## 2.5 用于玻璃纤维原料的叶蜡石原矿价值估算算式

以有效成分是否足够与杂质成分是否超标对原矿分类是基于生产过程中朴素的直观经验,但是经过以上数学方法分析,可得到更科学的分类方法,以便归并算式.根据价值估算数学算式的异同,待估价叶蜡石原矿可归并为3类:仅需加入石英石、仅需加入高岭石、石英石和高岭石都需加入.

1) 仅需加入石英石

有效成分足够且杂质成分不超标,即  $\frac{S_{z0}}{L_{z0}} > 1$ , 且  $\frac{S_{z1}}{L_{z1}}, \dots, \frac{S_{zN}}{L_{zN}}$  均小于 1, 可合并至有效成分足够且杂质成分超标中  $K=0$  的算式.

即仅需加石英石配矿的条件为  $K=0$  且  $r > 1$ , 此时,质量为  $M_0$  的叶蜡石原矿中需加入石英石质量为  $M_q = M_0 \left( \frac{S_{Al}}{16\%} - 1 \right)$ , 此种原料的价值估算式为  $P = P_a + (P_a - P_q) \left( \frac{S_{Al}}{16\%} - 1 \right)$ .

2) 仅需加入高岭石

有效成分不足且杂质成分不超标,即  $0 \leq r < 1$ , 可与有效成分质量分数低于  $\frac{1 - 0.6r}{2.5}$  且杂质成分超标的算式合并,得到仅需加高岭石配矿的条件为  $0 \leq r < 1$ , 或  $r > 1$  且  $0 \leq S_{Al} < \frac{1 - 0.6r}{2.5}$ . 此时,质量为  $M_0$  的叶

蜡石原矿中需加入高岭石质量为  $M_k = M_0 \frac{0.16 - S_{Al}}{0.24}$ , 此种原料的价值估算式为  $P = P_a + (P_a - P_k) \frac{0.16 - S_{Al}}{0.24}$ .

3) 石英石和高岭石都需加入

杂质成分超标且  $K \neq 0$ , 但有效成分质量分数不低于  $\frac{1 - 0.6r}{2.5}$  时,需要同时添加高岭石与石英石配矿, 质量为  $M_0$  的叶蜡石原矿中需加入石英石质量为  $M_q = M_0(0.6r - 1 + 2.5S_{Al})$ , 需加入高岭石质量为  $M_k = M_0(0.4r - 2.5S_{Al})$ , 此种叶蜡石原矿的价值估算式为  $P = P_a r - P_k(0.4r - 2.5S_{Al}) - P_q(0.6r - 1 + 2.5S_{Al})$ .

当叶蜡石原矿恰好满足合格玻璃纤维原料条件,即  $K=0$  且  $r=1$  时,不在以上算式中讨论.

另外,在以叶蜡石为玻璃纤维生产的主原料工艺中,其他铝硅酸盐矿物(如白泡石)也可部分替代叶蜡石<sup>[10]</sup>,上述估算式同样适用估算替代物的价值.

## 3 企业管理应用

式(3),式(5)和式(8)可在 Excel 的宏或其他小程序、企业资源计划系统(Enterprise Resource Planning, ERP)、库存管理软件的自定义模块等中使用,填入每日矿物的复测数据,可自动计算出矿物价值.同时在更新合格玻璃纤维原料级叶蜡石、石英石、高岭石的市场价格后,可快速对存料的价值进行核算.计算模型的数据流程图(Data Flow Diagram, DFD)如图 1 所示.

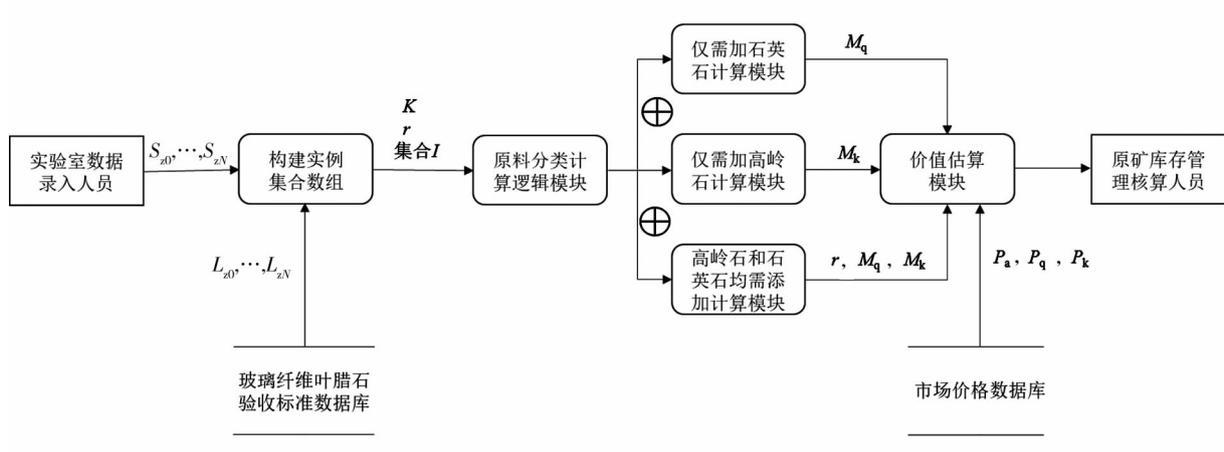


图1 估算方法的数据流程

## 4 结论

1) 叶蜡石已经成为玻璃纤维行业的主原料,其氧化铝、二氧化硅的含量和以其他金属氧化物为主的杂质含量,决定着叶蜡石原矿价值。

2) 根据叶蜡石原矿中有效成分及杂质成分含量不同,采用成本替换分析法可以分类估算出叶蜡石原矿的价值。

3) 用于玻纤原料的叶蜡石原矿价值估算算式,可以在管理软件中自定义模块或者编辑宏,可快速对叶蜡石原矿价值进行核算,有助于企业实现信息化管理。

## 参考文献:

- [1] 杨静.我国玻纤用叶蜡石资源保障性分析[J].玻璃纤维,2019(6):5-10.
- [2] 张倩,王毓华,孙伟.低品位高叶蜡石铝土矿浮选脱硅试验研究[J].轻金属,2013(11):4-8.
- [3] 张莉丽,林峰,吕智,等.我国叶蜡石的开发研究及其应用现状(上)[J].超硬材料工程,2014,26(3):35-38.
- [4] 张巍.我国叶蜡石的应用进展[J].矿物岩石,2016,36(3):15-28.
- [5] 朱志华.玻璃纤维生产工艺及其在增强混凝土复合材料中的应用[J].科技促进发展,2011(s1):152-153.
- [6] 翁根香,梁红.叶蜡石搭配使用方法[J].玻璃纤维,1999(1):31-32.
- [7] 何祥文,汪慧敏,唐立新.稀土废料综合利用企业成本核算问题及对策:以GZYL公司为例[J].中国集体经济,2021(17):151-152.
- [8] 舒锋.我国叶蜡石在玻璃纤维行业中的应用现状及发展趋势[J].玻璃纤维,2021(4):39-41.
- [9] 顾云龙,于守富,孙振海.我国玻纤用叶蜡石和高岭土开发现状[J].玻璃纤维,2005(1):1-5.
- [10] 刘海深,许绍彬,罗大芳,等.白泡石的矿物组成和化学元素分布规律研究[J].玻璃纤维,2020(4):18-23.