



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107609331 A

(43)申请公布日 2018.01.19

(21)申请号 201710805530.7

(22)申请日 2017.09.08

(71)申请人 中国科学院地球化学研究所

地址 550002 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

(72)发明人 孟勇 夏勇 龚国洪 谢卓君  
聂信

(74)专利代理机构 贵阳天圣知识产权代理有限公司 52107

代理人 杜胜雄

(51)Int. Cl.

G06F 19/00(2018.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图1页

### (54)发明名称

一种连续玄武岩纤维配方优化设计方法

### (57)摘要

本发明公开了一种连续玄武岩纤维配方优化设计方法,包括:一、建立配方优化模型:1.选取目标配方,以企业制造成功的各等级连续玄武岩纤维产品中各种氧化物的组成比例为目标配方,或根据性能要求重新设计;2.选取优化变量,以各种玄武岩原料的用量作为优化变量;3.确定子目标函数:以配方中各种氧化物的计算值与目标值的绝对误差的最小值为子目标函数;4.确定统一目标函数:每个子目标函数分别乘以一个权重系数然后求和,得到统一目标函数;5.确定约束条件。二、运用优化模型求解软件LINGO求解。本发明实现多种品位的玄武岩矿石综合利用,保证了配方的酸度系数(Mk)、粘度系数(M $\eta$ )、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO比值参数的稳定,保证连续玄武岩纤维产品质量。

1. 一种连续玄武岩纤维配方优化设计方法,其特征在于:包括以下步骤:

(一)建立连续玄武岩纤维配方优化计算模型:

(1)将各原料的用量作为优化变量 $X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ ;

(2)已经成功的连续玄武岩纤维产品的化学组成可以作为目标配方;

(3)以配方中 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 九种氧化物的计算值与目标值的绝对误差作为子目标函数;

(4)以每个子目标函数分别乘以一个权重系数然后求和,得到统一目标函数;

(5)约束条件选取:

1)各原料用量之和应为100 (wt%),用数学式表示为:

$$X_1 + X_2 + \dots + X_m = 100;$$

2)各原料用量应大于等于0小于等于100,用数学式表示为:

$$0 \leq X_i \leq 100, (i=1, 2, \dots, m);$$

3)九个目标函数的计算值相对目标值的偏差可以具体要求小于某值,用数学式表示为:

$$|\text{计算值}A_i - \text{目标值}B_i| \leq \alpha, (i=1, 2, \dots, m);$$

4)酸度系数 $M_k$ ,即配方中酸性氧化物和碱性氧化物的质量比值,通常要不低于3,用数学式表示为:

$$M_k \geq 3;$$

5) $\text{FeO}$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的比值不低于0.5,用数学式表示为:

$$\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 0.5;$$

6)粘度系数( $M_\eta$ )不低于1.5,用数学式表示为:

$$M_\eta \geq 1.5;$$

(二)、使用优化求解软件LINGO求解。

## 一种连续玄武岩纤维配方优化设计方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及矿物材料领域,具体涉及一种连续玄武岩纤维材料配方优化设计方法。

### 技术背景

[0002] 连续纤维连续玄武岩纤维是以火山喷发的火山岩(玄武岩、辉绿岩等)为原料,经研磨达到一定细度,再在1450℃~1500℃的超高温下持续熔融,最后由耐高温的铂铑合金材料制作的漏板快速拉制而成的连续纤维材料。玄武岩纤维与碳纤维、芳纶和分子量聚乙烯纤维并称为我国四大高技术纤维。因其具有阻燃性能好、耐高温、耐酸碱,吸湿性低、力学性能优良等优点,连续玄武岩纤维及其复合材料在国防建设(防弹装甲)、化工(槽罐材料)、消防、汽车(尾气的过滤、刹车片、内饰复合材料等)、建筑(外墙保温板)、船舶制造(防腐蚀)、造纸、交通运输、工程塑料、医学(空气超净过滤器)、石油、冶金、农业(蔬菜花卉培养基)、电子(印刷板基材)、航天航空(发动机绝热隔音材料)等高等技术领域起着举足轻重的作用。

[0003] 玄武岩主要由非晶质,长石、辉石和石英组成,其化学组成主要为 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 。用于生产连续玄武岩纤维的矿石,有着严格的化学成分要求。

[0004] 在玄武岩玻璃足够均质和均化的情况下,其熔体的物理化学性质取决于形成熔体的主要氧化物的浓度和比例。各种氧化物的含量和相互之间的数量关系决定了熔体的酸度系数(Mk)、粘度系数(M $\eta$ )、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值、酸基比(K/O)和pH值等参数,连续玄武岩纤维的生产对这些参数的范围有严格要求。

[0005] 现有连续玄武岩纤维生产技术主要通过通过寻求化学组成合理的单一玄武岩矿石进行生产,其缺点在于:1)单一玄武岩矿石熔体的酸度系数(Mk)、粘度系数(M $\eta$ )、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值、酸基比(K/O)和pH值等参数不可控制;2)成分适合生产连续玄武岩纤维的玄武岩矿石资源少;3)单一原料的化学成分很难保证稳定,会随着开采的时间和区域的变化而变化,甚至最后就不适合用来生产玄武岩纤维。

[0006] 连续玄武岩纤维的配方优化设计能够很好地解决单一玄武岩原料带来的问题。连续配方优化设计即根据性能要求从可供选择的多个原料中,应用科学的优化计算方法,在约束条件的约束下,确定达到或接近目标配方所要求的各种化学成分含量的原料配比。连续玄武岩纤维的配方优化设计相当于用几种玄武岩调配出一个适合生产纤维的新的玄武岩。在某些特殊情况下,还可以考虑引入其它原料如叶腊石、高岭石和白云石等矿石进行配方优化设计。

### 发明内容

[0007] 本发明要解决的技术问题是针对上述现有技术的不足,提供一种高效准确、简单实用的连续玄武岩纤维配方优化计算方法,实现对熔体化学成分和各种参数的精确控制,

从而保证连续玄武岩纤维产品质量。

[0008] 本发明的目的及解决其主要技术问题是采用以下技术方案来实现的：一种连续玄武岩纤维配方优化设计方法，具体步骤如下：

[0009] (一) 建立连续玄武岩纤维配方优化计算模型：

[0010] 步骤一、选取优化变量。将各种原料的用量(质量百分比)作为优化变量 $X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ 。

[0011] 步骤二、选取目标配方。目标配方是根据性能指标要求和生产工艺条件设计的可以用于生产的各种氧化物配比方案。可以通过正交试验结合生产经验和文献资料来寻找到目标配方。已经成功的连续玄武岩纤维产品的化学组成可以作为目标配方，后续生产中还可进一步升级完善目标配方，找到最合理目标配方，长期使用。

[0012] 步骤三、确定各子目标函数。从氧化物角度看，连续玄武岩纤维等无机矿物材料主要由 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{TiO}_2$ 九种氧化物组成。以配方中各氧化物的计算值尽可能接近目标值为目标，取计算值与目标值的绝对误差为目标函数。为了直观方便，用各种氧化物化学式代表其计算值与目标值的绝对误差，则各个子目标函数用数学表达式表示如下：

[0013]  $\text{Min}$ 绝对误差 $F_i = \text{计算值}A_i - \text{目标}B_i$

[0014]  $\text{Min SiO}_2 = (C_{11} \cdot X_1 + C_{21} \cdot X_2 + \dots + C_{m1} \cdot X_m) - B_1$  (1)

[0015]  $\text{Min Al}_2\text{O}_3 = (C_{12} \cdot X_1 + C_{22} \cdot X_2 + \dots + C_{m2} \cdot X_m) - B_2$  (2)

[0016]  $\text{Min Fe}_2\text{O}_3 = (C_{13} \cdot X_1 + C_{23} \cdot X_2 + \dots + C_{m3} \cdot X_m) - B_3$  (3)

[0017]  $\text{Min CaO} = (C_{14} \cdot X_1 + C_{24} \cdot X_2 + \dots + C_{m4} \cdot X_m) - B_4$  (4)

[0018]  $\text{Min MgO} = (C_{15} \cdot X_1 + C_{25} \cdot X_2 + \dots + C_{m5} \cdot X_m) - B_5$  (5)

[0019]  $\text{Min K}_2\text{O} = (C_{16} \cdot X_1 + C_{26} \cdot X_2 + \dots + C_{m6} \cdot X_m) - B_6$  (6)

[0020]  $\text{Min Na}_2\text{O} = (C_{17} \cdot X_1 + C_{27} \cdot X_2 + \dots + C_{m7} \cdot X_m) - B_7$  (7)

[0021]  $\text{Min TiO}_2 = (C_{18} \cdot X_1 + C_{28} \cdot X_2 + \dots + C_{m8} \cdot X_m) - B_8$  (8)

[0022]  $\text{Min FeO} = (C_{19} \cdot X_1 + C_{29} \cdot X_2 + \dots + C_{m9} \cdot X_m) - B_9$  (9)

[0023] 其中 $C_{mi}$ 是第 $i$ 种氧化物在第 $m$ 种原料中的百分比。每一个等式的括号内为该氧化物在配方中的计算值，后面的 $B_i$ 为该氧化物在目标配方中的目标值。

[0024] 步骤四、统一各子目标函数。每个子目标函数分别乘以一个权重系数然后求和，得到统一目标函数。设各个子目标函数 $\text{Min SiO}_2$ 、 $\text{Min Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Min Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Min CaO}$ 、 $\text{Min MgO}$ 、 $\text{Min K}_2\text{O}$ 、 $\text{Min Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Min TiO}_2$ 、 $\text{Min FeO}$ 的加权系数分别为 $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ 、 $W_4$ 、 $W_5$ 、 $W_6$ 、 $W_7$ 、 $W_8$ 、 $W_9$ 则统一后的目标函数的数学表达式为：

[0025]  $\text{Min } F(X) = W_1 \cdot \text{Min SiO}_2 + W_2 \cdot \text{Min Al}_2\text{O}_3 + W_3 \cdot \text{Min Fe}_2\text{O}_3 + W_4 \cdot \text{Min CaO} + W_5 \cdot \text{Min MgO} + W_6 \cdot \text{Min K}_2\text{O} + W_7 \cdot \text{Min Na}_2\text{O} + W_8 \cdot \text{Min TiO}_2 + W_9 \cdot \text{Min FeO}$

[0026] 步骤五、确定约束条件。约束条件是确保求解结果满足要求的必要条件。连续玄武岩纤维配方基本的约束条件有：

[0027] 1. 各原料用量之和应为100(%)，用数学式表示为：

[0028]  $X_1 + X_2 + \dots + X_m = 100$  (10)

[0029] 2. 各原料用量应大于等于0小于等于100，用数学式表示为：

[0030]  $0 \leq X_i \leq 100, (i = 1, 2, \dots, m)$  (11)

[0031] 3. 酸度系数Mk, 即配方中酸性氧化物和碱性氧化物的质量比值, 通常要不低于3, 用数学式表示为:

$$[0032] \quad Mk = \frac{W_{SiO_2} + W_{Al_2O_3}}{W_{CaO} + W_{MgO}} \geq 3 \quad (12)$$

[0033] 5. FeO和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的比值不低于0.5, 用数学式表示为:

$$[0034] \quad FeO/Fe_2O_3 \geq 0.5 \quad (13)$$

[0035] 6. 粘度系数(M $\eta$ ), 即配方中增大熔体粘度的氧化物与降低熔体粘度的氧化物的阳离子原子数之比, 不低于1.5, 用数学式表示为:

$$[0036] \quad M\eta = \frac{M_{SiO_2} + 2M_{Al_2O_3}}{2M_{Fe_2O_3} + M_{FeO} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{K_2O} + M_{Na_2O}} \geq 1.5 \quad (14)$$

[0037] 除以上约束条件以外, 还可根据具体配方情况进行约束。

[0038] (二) 选择合适的优化求解软件。

[0039] 本发明使用优化求解软件LINGO。LINGO是Linear Interactive and General Optimizer的缩写, 即“交互式的线性和通用优化求解器”, 用于求解线性规划、非线性规划和二次规划模型, 功能强大, 是求解优化模型的最佳选择。其特色在于内置建模语言, 允许以简练、直观的方式描述较大规模的优化问题, 方便灵活, 而且执行速度非常快。能方便与EXCEL, 数据库等其他软件交换数据。

[0040] 相对于目前行业里采用单一玄武岩生产连续玄武岩纤维的方法, 经过配方优化设计的玄武岩组合料的化学成分和矿物组分是可以调节控制的, 各组分会更加科学合理, 更能促进玄武岩玻璃的均质化, 从而提高了连续玄武岩纤维的拉伸强度。本发明能够大大提高配方的效率和准确性, 从而保证连续玄武岩纤维产品质量的稳定, 降低废品率。既保留了原料的纯天然性, 又不改变原有的生产工艺路线和装备, 还能降低生产成本。

## 附图说明

[0041] 图1是LINGO程序语句。

[0042] 图2是LINGO求解报告。

## 具体实施方式

[0043] 以下结合附图和较佳实施例, 对依据本发明提出的一种连续玄武岩纤维配方优化设计方法具体实施方式、结构、特征及其功效, 详细说明如后。

[0044] 作者选取贵州的六种玄武岩为原料。以某连续玄武岩纤维企业生产的某一型号连续玄武岩纤维产品的化学组成为目标配方, 进行配方优化计算。目标配方和六种原料的化学组成如表1和表2(已换算成扣除灼减量后的百分含量):

[0045] 表1、目标配方(wt%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>
[0046]	50.80	13.05	4.02	10.52	0.68	2.42	9.88	5.67	2.95

[0047] 表2、六种原料化学成分(wt%)

[0048]

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>
BH3	46.39	12.03	12.53	9.57	0.99	2.86	7.79	4.14	3.70
BH4	45.14	11.41	13.57	10.05	0.63	3.09	8.15	4.46	3.51
BH13	50.09	11.13	12.63	7.66	0.38	2.30	8.17	3.99	3.66
BH14	45.08	12.26	13.48	10.13	0.40	2.37	8.22	4.38	3.70
BH27	50.37	12.88	14.00	4.54	0.48	4.21	6.46	3.92	3.15
BH41	49.65	13.15	12.61	4.22	1.32	2.02	8.86	4.27	3.90

[0049] 结合表中数据的优化计算步骤如下:

[0050] (一) 建立连续玄武岩纤维配方优化计算模型:

[0051] (1) 将表2中的六种玄武岩原料(BH3、BH4、BH13、BH14、BH27、BH41)的用量分别作为优化变量: X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>;

[0052] (2) 以表1中的化学组成为目标配方;

[0053] (3) 以配方中SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O、TiO<sub>2</sub>、FeO九种氧化物的计算值与目标值的绝对误差作为子目标函数,代入目标配方和各原料的化学成分具体的数值后,九个子目标函数的数学表达式如下:[0054]  $\text{MinSiO}_2 = (46.39 \times X_1 + 45.14 \times X_2 + 50.09 \times X_3 + 45.08 \times X_4 + 50.37 \times X_5 + 49.65 \times X_6) - 5080;$ [0055]  $\text{MinAl}_2\text{O}_3 = (12.03 \times X_1 + 11.41 \times X_2 + 11.13 \times X_3 + 12.26 \times X_4 + 12.88 \times X_5 + 13.15 \times X_6) - 1305;$ [0056]  $\text{MinFe}_2\text{O}_3 = (12.53 \times X_1 + 13.57 \times X_2 + 12.63 \times X_3 + 13.48 \times X_4 + 14 \times X_5 + 12.61 \times X_6) - 402;$ [0057]  $\text{MinCaO} = (7.79 \times X_1 + 8.15 \times X_2 + 8.17 \times X_3 + 8.22 \times X_4 + 6.46 \times X_5 + 8.86 \times X_6) - 988;$ [0058]  $\text{MinMgO} = (4.14 \times X_1 + 4.46 \times X_2 + 3.99 \times X_3 + 4.38 \times X_4 + 3.92 \times X_5 + 4.27 \times X_6) - 567;$ [0059]  $\text{MinK}_2\text{O} = (0.99 \times X_1 + 0.63 \times X_2 + 0.38 \times X_3 + 0.4 \times X_4 + 0.48 \times X_5 + 1.32 \times X_6) - 68;$ [0060]  $\text{MinNa}_2\text{O} = (2.86 \times X_1 + 3.09 \times X_2 + 2.30 \times X_3 + 2.37 \times X_4 + 4.21 \times X_5 + 2.02 \times X_6) - 242;$ [0061]  $\text{MinTiO}_2 = (3.7 \times X_1 + 3.51 \times X_2 + 3.66 \times X_3 + 3.7 \times X_4 + 3.15 \times X_5 + 3.9 \times X_6) - 295;$ [0062]  $\text{MinFeO} = (9.57 \times X_1 + 10.05 \times X_2 + 7.66 \times X_3 + 10.13 \times X_4 + 4.54 \times X_5 + 4.22 \times X_6) - 1052;$ 

[0063] (4) 假设各氧化物同等重要,取各子目标函数的权重系数为1,代入数值,则统一目标函数的数学表达式为:

[0064]  $\text{Min } F(X) = \text{Min SiO}_2 + \text{Min Al}_2\text{O}_3 + \text{Min Fe}_2\text{O}_3 + \text{Min CaO} + \text{Min MgO} + \text{Min K}_2\text{O} + \text{Min Na}_2\text{O} + \text{Min TiO}_2 + \text{Min FeO} = |46.39 \times X_1 + 45.14 \times X_2 + 50.09 \times X_3 + 45.08 \times X_4 + 50.37 \times X_5 + 49.65 \times X_6 - 5080| + |12.03 \times X_1 + 11.41 \times X_2 + 11.13 \times X_3 + 12.26 \times X_4 + 12.88 \times X_5 + 13.15 \times X_6 - 1305| + |12.53 \times X_1 + 13.57 \times X_2 + 12.63 \times X_3 + 13.48 \times X_4 + 14 \times X_5 + 12.61 \times X_6 - 402| + |7.79 \times X_1 + 8.15 \times X_2 + 8.17 \times X_3 + 8.22 \times X_4 + 6.46 \times X_5 + 8.86 \times X_6 - 988| + |4.14 \times X_1 + 4.46 \times X_2 + 3.99 \times X_3 + 4.38 \times X_4 + 3.92 \times X_5 + 4.27 \times X_6 - 567| + |0.99 \times X_1 + 0.63 \times X_2 + 0.38 \times X_3 + 0.4 \times X_4 + 0.48 \times X_5 + 1.32 \times X_6 - 68| + |2.86 \times X_1 + 3.09 \times X_2 + 2.30 \times X_3 + 2.37 \times X_4 + 4.21 \times X_5 + 2.02 \times X_6 - 242| + |3.7 \times X_1 + 3.51 \times X_2 + 3.66 \times X_3 + 3.7 \times X_4 + 3.15 \times X_5 + 3.9 \times X_6 - 295| + |9.57 \times X_1 + 10.05 \times X_2 + 7.66 \times X_3 + 10.13 \times X_4 + 4.54 \times X_5 + 4.22 \times X_6 - 1052|$

[0065] (5) 约束条件。

[0066] 1. 六种原料的百分含量之和应为100%,数学表达式如下:

[0067]  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 100;$

[0068] 2.各原料用量应大于等于0小于等于100,用数学式表示为:

$$[0069] \quad 0 \leq X_i \leq 100, (i=1, 2, \dots, 6)$$

[0070] 3.酸度系数 $M_k$ ,即配方中酸性氧化物和碱性氧化物的质量比值,通常要不低于3,用数学式表示为:

$$[0071] \quad M_k = \frac{W_{SiO_2} + W_{Al_2O_3}}{W_{CaO} + W_{MgO}} \geq 3, \text{代入数值后为:}$$

$$[0072] \quad |46.39*X_1 + 45.14*X_2 + 50.09*X_3 + 45.08*X_4 + 50.37*X_5 + 49.65*X_6 + 12.03*X_1 + 11.41*X_2 + 11.13*X_3 + 12.26*X_4 + 12.88*X_5 + 13.15*X_6| \div |7.79*X_1 + 8.15*X_2 + 8.17*X_3 + 8.22*X_4 + 6.46*X_5 + 8.86*X_6 + 4.14*X_1 + 4.46*X_2 + 3.99*X_3 + 4.38*X_4 + 3.92*X_5 + 4.27*X_6 - 567| \geq 3$$

[0073] 4. $FeO/Fe_2O_3$ 的比值不低于0.5,用数学式表示为:

$$[0074] \quad FeO/Fe_2O_3 \geq 0.5, \text{代入数值后为:}$$

$$[0075] \quad (9.57*X_1 + 10.05*X_2 + 7.66*X_3 + 10.13*X_4 + 4.54*X_5 + 4.22*X_6) / (12.53*X_1 + 13.57*X_2 + 12.63*X_3 + 13.48*X_4 + 14*X_5 + 12.61*X_6) \geq 0.5$$

[0076] 5.粘度系数( $M\eta$ ),即配方中增大熔体粘度的氧化物与降低熔体粘度的氧化物的阳离子原子数之比,不低于1.5,用数学式表示为:

$$[0077] \quad M\eta = \frac{M_{SiO_2} + 2M_{Al_2O_3}}{2M_{Fe_2O_3} + M_{FeO} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{K_2O} + M_{Na_2O}} \geq 1.5, \text{代入数值后为:}$$

$$[0078] \quad [0.016666667*(46.39*X_1 + 45.14*X_2 + 50.09*X_3 + 45.08*X_4 + 50.37*X_5 + 49.65*X_6) + 2*0.009803922*(12.03*X_1 + 11.41*X_2 + 11.13*X_3 + 12.26*X_4 + 12.88*X_5 + 13.15*X_6)] \div [2*0.00625*(12.53*X_1 + 13.57*X_2 + 12.63*X_3 + 13.48*X_4 + 14*X_5 + 12.61*X_6) + 0.013888889*(9.57*X_1 + 10.05*X_2 + 7.66*X_3 + 10.13*X_4 + 4.54*X_5 + 4.22*X_6) + 0.010638298*(0.99*X_1 + 0.63*X_2 + 0.38*X_3 + 0.4*X_4 + 0.48*X_5 + 1.32*X_6) + 0.016129032*(2.86*X_1 + 3.09*X_2 + 2.30*X_3 + 2.37*X_4 + 4.21*X_5 + 2.02*X_6) + 0.017857143*(7.79*X_1 + 8.15*X_2 + 8.17*X_3 + 8.22*X_4 + 6.46*X_5 + 8.86*X_6) + 0.025*(4.14*X_1 + 4.46*X_2 + 3.99*X_3 + 4.38*X_4 + 3.92*X_5 + 4.27*X_6)] \geq 1.5$$

[0079] (二)、使用优化求解软件LINGO求解。

[0080] 将数据代入连续玄武岩纤维配方优化计算模型后,再以优化求解软件LINGO可以识别的程序语句的形式输入软件,如图1所示,程序由目标函数、约束条件和赋值语句组成。求解报告如图2,从求解报告可以看出,统一目标函数的最优解即六种原料的最佳配比方案为: $X_1=28.23$ ;  $X_2=0$ ;  $X_3=58.18$ ;  $X_4=0$ ;  $X_5=0$ ;  $X_6=13.59$ ,解答过程共624步,统一目标函数的值为9586.162,整个求解方案为全局最优。

[0081] 六种原料的用量 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 以及各种氧化物含量的计算值如表3所示。从表中可以看出, $K_2O$ 和 $Na_2O$ 的计算值相对目标值的无偏差, $SiO_2$ 的计算值比目标值低1.81%, $Al_2O_3$ 的计算值比目标值低1.39%, $FeO$ 的计算值比目标值低2.79%, $Fe_2O_3$ 的计算值比目标值高8.58%,这是因为所用的原料中 $Fe_2O_3$ 含量都偏高,但整体满足约束条件规定的 $FeO/Fe_2O_3$ 的比值不低于0.5, $CaO$ 的计算值比目标值低1.73%、 $MgO$ 的计算值比目标值低1.6%, $TiO_2$ 的计算值比目标值高0.75%。整个配方满足玄武岩纤维生产的酸度系数、粘度系数、 $FeO/Fe_2O_3$ 的比值要求,是当前条件下的最优配比方案。

[0082] 表3、六种原料配方优化计算结果(wt%)

[0083]

原料/组分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	原料 用量
BH3	46.39	12.03	12.53	9.57	0.99	2.86	7.79	4.14	3.70	28.23
BH4	45.14	11.41	13.57	10.05	0.63	3.09	8.15	4.46	3.51	0.00
BH13	50.09	11.13	12.63	7.66	0.38	2.30	8.17	3.99	3.66	58.18
BH14	45.08	12.26	13.48	10.13	0.40	2.37	8.22	4.38	3.70	0.00
BH27	50.37	12.88	14.00	4.54	0.48	4.21	6.46	3.92	3.15	0.00
BH41	49.65	13.15	12.61	4.22	1.32	2.02	8.86	4.27	3.90	13.59
目标配方	50.80	13.05	4.02	10.52	0.68	2.42	9.88	5.67	2.95	
计算值	48.99	11.66	12.60	7.73	0.68	2.42	8.15	4.07	3.70	
偏差	-1.81	-1.39	8.58	-2.79	0.00	0.00	-1.73	-1.60	0.75	

[0084] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例而已,并非对本发明作任何形式上的限制,任何未脱离本发明技术方案内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明技术方案的范围。





图1

```
Global optimal solution found.
Objective value: 9586.162
Objective bound: 9586.162
Infeasibilities: 0.8881784E-18
Extended solver steps: 1
Total solver iterations: 624
```

Variable	Value	Reduced Cost
X1	28.22743	0.000000
X2	0.000000	11.51883
X3	58.17557	0.000000
X4	0.000000	9.451282
X5	0.000000	18.09100
X6	13.59700	-0.9673652E-01
SiO2	48.98178	0.000000
AL2O3	11.65871	0.000000
FE2O3	12.59906	0.000000
CAO	8.186558	0.000000
MGO	4.070413	0.000000
NA2O	0.6799991	0.000000
NA2CO3	2.426002	0.000000
TiO2	3.703924	0.000000
FeO	7.731407	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	9586.162	-1.000000
2	0.000000	-50.84504
3	6.248888	0.000000
4	0.1136499	-70.30134
5	80.55221	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	0.000000	0.000000
10	0.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000

图2