



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111613278 B

(45) 授权公告日 2023.03.14

(21) 申请号 202010459897.X

G16C 20/70 (2019.01)

(22) 申请日 2020.05.28

G16C 60/00 (2019.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111613278 A

(56) 对比文件

CN 109444114 A, 2019.03.08

CN 108960493 A, 2018.12.07

(43) 申请公布日 2020.09.01

WO 2012004657 A2, 2012.01.12

(73) 专利权人 中国科学院地球化学研究所

JP 2010150541 A, 2010.07.08

地址 550081 贵州省贵阳市观山湖区林城西路99号

O.S.Tatarintseva.DEPENDENCE OF THE VISCOSITY OF BASALT MELTS ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE INITIAL MINERAL

MATERIAL.《Glass and Ceramics》.2012,第68卷

(72) 发明人 孟勇 夏勇 龚国洪

赵栩欣.生产玄武岩纤维用玄武岩熔体黏度实验研究.《后勤工程学院学报》.2013,第29卷

(74) 专利代理机构 武汉知律知识产权代理事务所(普通合伙) 42307

专利代理师 田常娟

审查员 李冈效

(51) Int.Cl.

G16C 20/30 (2019.01)

G16C 20/20 (2019.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

## (54) 发明名称

一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法

## (57) 摘要

本发明一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,通过玄武岩原料中的各成分摩尔百分数确定该成分的粘度模量,根据粘度模量可预测高温各点玄武岩熔体粘度,进一步得到1250-1550℃范围内任意温度点玄武岩熔体粘度的预测公式,定义拉丝温度为熔体粘度为318 dPa·s的温度,就可以求解得到拉丝温度,通过本发明可以简便快速预测玄武岩类矿石高温粘度的精准预测和拉丝温度,可以快速实现玄武岩原料的复配,原来不适合生产连续玄武岩纤维的玄武岩矿石通过粘度优化后也可以继续使用,解决了现有技术玄武岩的高温粘度测试耗时费力,拉丝温度人为根据经验设定,不利于产品质量的提高和稳定性的控制。



1. 一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,其特征在於:包括以下步骤

成分确定:通过成分分析确定玄武岩原料中的各成分摩尔百分数 $M_{SiO_2}$ 、 $M_{Al_2O_3}$ 、 $M_{Fe_2O_3}$ 、 $M_{FeO}$ 、 $M_{CaO}$ 、 $M_{MgO}$ 、 $M_{K_2O}$ 、 $M_{Na_2O}$ ;

粘度模量 $M\eta$ 确定:将上述氧化物的摩尔百分数代入式(1),计算粘度模量 $M\eta$ :

$$M\eta = \frac{M_{SiO_2} + 2M_{Al_2O_3}}{2M_{Fe_2O_3} + M_{FeO} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{K_2O} + M_{Na_2O}} \quad (1)$$

其中,粘度模量 $M\eta$ 为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;

1300°C、1350°C、1400°C、1450°C玄武岩熔体粘度的预测:

$$\eta(1300^\circ\text{C}) = -91.22971 + 16.06614e^{1.25983M\eta} \quad (2)$$

$$\eta(1350^\circ\text{C}) = -15.66861 + 5.99604e^{1.3183M\eta} \quad (3)$$

$$\eta(1400^\circ\text{C}) = -30.57462 + 6.32023e^{1.18491M\eta} \quad (4)$$

$$\eta(1450^\circ\text{C}) = -51.17892 + 8.17447e^{1.02718M\eta} \quad (5)$$

其中, $\eta(1300^\circ\text{C})$ 、 $\eta(1350^\circ\text{C})$ 、 $\eta(1400^\circ\text{C})$ 和 $\eta(1450^\circ\text{C})$ 分别为1300°C、1350°C、1400°C、1450°C玄武岩熔体的预测粘度;

1250°C-1550°C范围内任意温度点T玄武岩熔体粘度 $\eta(T)$ 的预测:

将式(2)-(5)中的任意三组数据带入下式(6)求值系数Y、A、R

$$\eta(T) = Y + Ae^{RT} \quad (6)$$

拉丝温度预测:定义拉丝温度 $T_d$ 为熔体粘度 $\eta$ 等于318dPa·s的温度,代入式(6),就可以求解得到拉丝温度 $T_d$ :

$$T_d = 1/R \ln((318 - Y)/A) \quad (7)$$

2. 如权利要求1所述通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,其特征在於:所述式(2)-(5)相关系数 $R^2 = 0.99$ 。

3. 如权利要求1所述通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,其特征在於:所述式(6)相关系数 $R^2 = 0.999$ 。

4. 如权利要求1所述通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,其特征在於:满足生产的玄武岩纤维1300°C的粘度区间为:100-600dPa·s。

## 一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及玄武岩拉丝制备领域,具体涉及一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法。

### 背景技术

[0002] 玄武岩是地球洋壳和陆壳的最主要组成物质,也是一种广泛分布于地表的矿产资源,具有极其重要的研究价值和应用价值。连续玄武岩纤维,是以玄武岩、辉绿岩和辉长岩等火山岩为原料,经研磨达到一定细度,再在高温下持续熔融,最后经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。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如防弹装甲和航空航天如发动机绝热隔音材料等技术领域起着举足轻重的作用。

[0003] 虽然地表广泛分布着玄武岩矿石,适合生产连续玄武岩纤维的天然矿石却很少。主要原因在于拉丝对于玄武岩熔体的粘度和析晶温度有严格要求,拉丝温度必须高于析晶温度上限,不然在拉丝过程中会发生析晶导致纤维质量恶化或者断丝。适宜生产连续玄武岩纤维的玄武岩在拉丝工作温度范围内的粘度既不能太高也不能低:太高则不易制得细纤维且容易发生断丝现象;太低则熔体流速快,短时间很难冷却凝固成丝,现有技术通常是经验设定拉丝温度,不够精确且对产品质量有影响。

[0004] 玄武岩的高温粘度测试过程非常耗能耗时,且费用昂贵。首先需要从矿山取几公斤矿石去除泥沙杂质,然后在高温下持续熔融10小时左右直到成分均匀,最后用高温粘度仪器进行测量,测试周期较长。如果玄武岩原料粘度达不到工艺要求,就需要对成分进行调整以使之能用于生产连续玄武岩纤维。一般地,高粘度的玄武岩用低粘度的玄武岩进行粘度调节,低粘度的玄武岩则用高粘度的玄武岩进行粘度调节,目前粘度调节没有量化依据可供参考。因此,建立一个可以简便快速预测玄武岩类矿石高温粘度和精准预测和拉丝温度的模型非常有必要。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,以解决现有技术玄武岩的高温粘度测试耗时费力,拉丝温度人为根据经验设定,不利于产品质量的提高和稳定性的控制。

[0006] 本发明一种通过粘度模量预测玄武岩熔体高温粘度和拉丝温度的方法,由以下具体技术手段所达成:

[0007] 本方法包括以下步骤

[0008] 成分确定:通过成分分析确定玄武岩原料中的各成分摩尔百分数 $M_{SiO_2}$ 、 $M_{Al_2O_3}$ 、 $M_{Fe_2O_3}$ 、 $M_{FeO}$ 、 $M_{CaO}$ 、 $M_{MgO}$ 、 $M_{K_2O}$ 、 $M_{Na_2O}$ ;

[0009] 粘度模量 $M\eta$ 确定:将上述氧化物的摩尔百分数代入式(1),计算粘度模量 $M\eta$ :

$$[0010] \quad M\eta = \frac{M_{SiO_2} + 2M_{Al_2O_3}}{2M_{Fe_2O_3} + M_{FeO} + M_{CaO} + M_{MgO} + M_{K_2O} + M_{Na_2O}} \quad (1)$$

[0011] 其中,粘度模量 $M\eta$ 为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;

[0012] 1300℃、1350℃、1400℃、1450℃玄武岩熔体粘度的预测:

$$[0013] \quad \eta(1300^\circ\text{C}) = -91.22971 + 16.06614e^{1.25983 M\eta} \quad (2)$$

$$[0014] \quad \eta(1350^\circ\text{C}) = -15.66861 + 5.99604e^{1.3183 M\eta} \quad (3)$$

$$[0015] \quad \eta(1400^\circ\text{C}) = -30.57462 + 6.32023e^{1.18491 M\eta} \quad (4)$$

$$[0016] \quad \eta(1450^\circ\text{C}) = -51.17892 + 8.17447e^{1.02718 M\eta} \quad (5)$$

[0017] 其中, $\eta(1300^\circ\text{C})$ 、 $\eta(1350^\circ\text{C})$ 、 $\eta(1400^\circ\text{C})$ 和 $\eta(1450^\circ\text{C})$ 分别为1300℃、1350℃、1400℃、1450℃玄武岩熔体的预测粘度;

[0018] 1250℃-1550℃范围内任意温度点T玄武岩熔体粘度 $\eta(T)$ 的预测:

[0019] 将式(2) - (5)中的任意三组数据带入下式(6)求值系数Y、A、R

$$[0020] \quad \eta(T) = Y + Ae^{RT} \quad (6)$$

[0021] 拉丝温度 $T_d$ 预测:定义拉丝温度 $T_d$ 为熔体粘度 $\eta$ 等于318dPa·s的温度,代入式(6),就可以求解得到拉丝温度 $T_d$ :

$$[0022] \quad T_d = 1/R \ln((318 - Y)/A) \quad (7)。$$

[0023] 进一步的,所述式(2) - (5)相关系数 $R^2 = 0.99$ 。

[0024] 进一步的,所述式(6)相关系数 $R^2 = 0.999$ 。

[0025] 进一步的,满足生产的玄武岩纤维1300℃的粘度区间为:100-600dPa·s。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有如下有益效果:

[0027] 1、本发明为预测玄武岩熔体在不同温度的粘度提供了量化依据,对于任一玄武岩,只要已知玄武岩的粘度模量 $M\eta$ ,就可以通过式(1) - (6)预测其不同温度T的粘度 $\eta(T)$ ,解决了需要取样送检测量高温粘度的不便和周期长影响生产;

[0028] 2、本发明为预测连续玄武岩纤维的拉丝温度 $T_d$ 提供了量化依据,不再根据人为经验和感觉设定玄武岩纤维的拉丝温度,保证了产品玄武岩纤维质量的控制和稳定性;

[0029] 3、快速实现玄武岩原料的复配,适合生产连续玄武岩纤维的矿石熔体在1300℃的粘度区间为:100-600dPa·s,如果玄武岩原料粘度达不到工艺要求,可以根据粘度和粘度模量之间的关系选择粘度模量不同的玄武岩矿石进行粘度优化。这样,原来不适合生产连续玄武岩纤维的玄武岩矿石通过粘度优化后也可以继续使用,提高了复配选矿效率,保证了复配选矿方案的效果,为选矿提供了量化依据,节省人力物力,有利于玄武岩矿石资源的综合利用。

## 附图说明

[0030] 图1是玄武岩溶体1300℃粘度预测值与粘度测量值的回归图;

[0031] 图2是玄武岩溶体1400℃粘度预测值与粘度测量值的回归图;

[0032] 图3是实施例玄武岩组分2和玄武岩组分20组合生产得到的连续玄武岩纤维。

### 具体实施方式

[0033] 下面结合附图和实施例对本发明的实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不能用来限制本发明的范围。

[0034] 1、玄武岩矿石粘度测量与预测:

[0035] 采集12种不同的玄武岩矿石,将矿石洗净去除杂质,将矿石在1500℃的高温下持续熔融10小时直到成分均匀,然后分别在高温粘度计下测试1300℃和1400℃实际粘度 $\eta_c$ (1300℃)和 $\eta_c$ (1400℃),通过成分分析确定各种氧化物含量,通过本发明方法计算出粘度模量 $M\eta$ ,1300℃和1400℃的粘度预测值 $\eta$ (1300℃)和 $\eta$ (1400℃),结果如表1所示:

[0036] 表1.玄武岩的粘度模量,1300℃和1400℃的粘度预测值和测量值结果

玄武岩组分	$M\eta$	$\eta_c(1300^\circ\text{C})$	$\eta_c(1400^\circ\text{C})$	$\eta(1300^\circ\text{C})$	$\eta(1400^\circ\text{C})$
1	2.21	144.7	48.6	168.5	56.6
2	2.17	159	56.0	150.8	51.0
3	5.04	9103	2452.2	9102.7	2458.3
4	3.77	1400.6	401.8	1520.6	442.4
5	4.21	3191.3	959.1	3134.7	897.0
[0037] 6	2.77	606.4	181.6	573.0	157.5
7	2.55	257.2	89.1	310.0	100.3
8	2.27	149.3	53.5	191.0	63.6
9	2.67	557.9	178.5	371.1	118.8
10	3.35	1312.1	370.2	1140.3	320.2
11	3.61	1768	470.0	1623.4	424.7
12	2.38	165.3	57.5	210.2	75.8

[0038] 1300℃和1400℃的粘度预测值与粘度测量值回归分析的结果:

[0039]  $\eta(1300^\circ\text{C}) = -24.5 + 0.99 \times \eta_c(1300^\circ\text{C})$ ;

[0040]  $\eta(1400^\circ\text{C}) = -11.5 + 0.99 \times \eta_c(1400^\circ\text{C})$ ;

[0041] 相关系数 $R^2=0.99$ ,斜率=0.99,说明预测值和测量值有非常好的相关性,粘度预测可信度高。

[0042] 2、玄武岩矿石组合优化用于生产连续玄武岩纤维:

[0043] 玄武岩组分20,其粘度模量为4.6,预测粘度为5190dPa.s,因高粘度单独拉丝没有成功。选择表1中的玄武岩2进行配方优化计算,设定配方粘度模量为2.49,计算结果如表2所示,玄武岩组分20和玄武岩组分2分别按照16.94%和83.06%比例添加,按照计算结果配1000g两种玄武岩的组合料。通过式(2)代入配方粘度模量计算出的配方在1300℃的粘度为279dPa.s,满足要求。通过式(7)预测拉丝温度为1290℃,实际按照预测拉丝温度可以拉丝,图3为两者组合后生产得到的连续玄武岩纤维产品。

[0044] 表2.玄武岩组分20和玄武岩组分2的成分、粘度模量和配比

组分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	$M\eta$	混合比例	质量
20	58.07	13.63	9.77	0.81	3.94	1.21	1.78	4.41	4.60	16.94%	169.4g
[0045] 2	46.91	12.85	12.84	0.72	2.33	8.79	4.06	3.78	2.15	83.06%	830.6g
20&2	48.80	12.98	12.32	0.74	2.60	7.51	3.67	3.89	2.49		1000g

[0046] 本发明的实施例是为了示例和描述起见而给出的,而并不是无遗漏的或者将本发明限于所公开的形式。很多修改和变化对于本领域的普通技术人员而言是显而易见的。选

择和描述实施例是为了更好说明本发明的原理和实际应用,并且使本领域的普通技术人员能够理解本发明从而设计适于特定用途的带有各种修改的各种实施例。

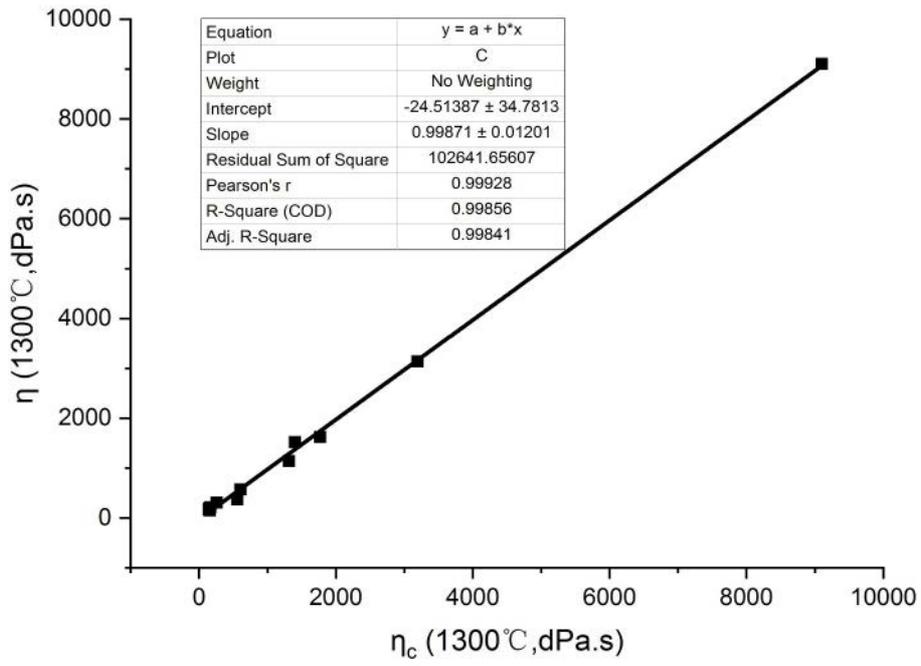


图 1

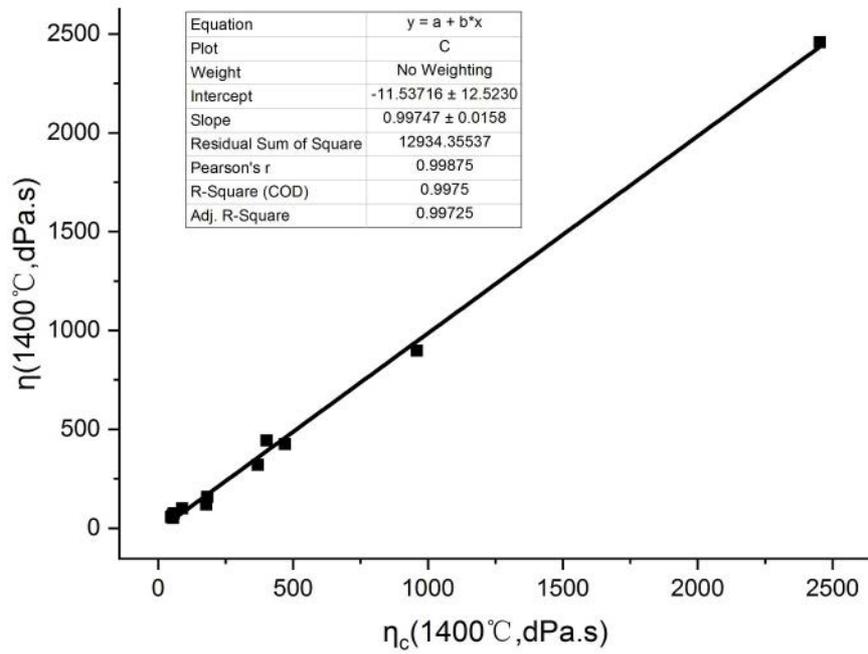


图 2



图 3