

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F23C 15/00 (2006.01)

F23D 11/10 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580045191.2

[45] 授权公告日 2010年1月20日

[11] 授权公告号 CN 100582574C

[22] 申请日 2005.12.19

[21] 申请号 200580045191.2

[30] 优先权

[32] 2004.12.31 [33] FR [31] 0453286

[86] 国际申请 PCT/FR2005/051108 2005.12.19

[87] 国际公布 WO2006/072723 法 2006.7.13

[85] 进入国家阶段日期 2007.6.28

[73] 专利权人 乔治洛德方法研究和开发液化空气  
有限公司

地址 法国巴黎

[72] 发明人 R·齐阿瓦 P·勒库尔 B·勒鲁

[56] 参考文献

EP0524880B1 1992.7.23

US4846665A 1989.7.11

审查员 邱俊杰

[74] 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

代理人 吴鹏 马江立

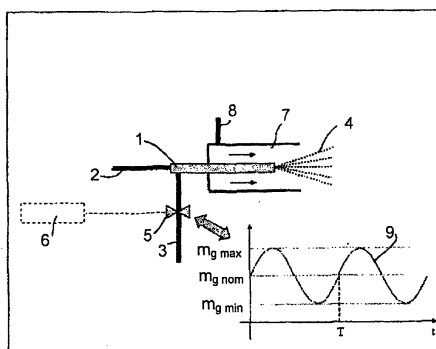
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

[54] 发明名称

通过变速喷雾使液态燃料燃烧的方法

[57] 摘要

本发明涉及一种用于使液态燃料燃烧的方法，该方法包括通过注入与液态燃料接触的雾化气体以产生液态燃料的喷雾(4)，然后使由此产生的喷雾与氧化剂(7)接触从而使所述喷雾燃烧的步骤。所述方法的特征在于，以可变速度注入雾化气体。



1. 一种用于液态燃料燃烧的方法，该方法包括通过注入与液态燃料接触的雾化气体以产生液态燃料的喷雾(4)，然后使由此产生的喷雾与氧化剂(7)接触从而使喷雾发生燃烧的步骤，所述雾化气体以围绕一使燃料完全燃烧的额定速度值变化的可变速度注入，所述方法的特征在于，以小于雾化气体的额定速度值的1.2倍的最大速度注入雾化气体。

2. 根据权利要求1所述的燃烧方法，其特征在于，以大于所述雾化气体的额定速度值的0.7倍的最小速度注入雾化气体。

3. 根据权利要求1或2所述的燃烧方法，其特征在于，以变化频率在0.1和10 Hz之间的速度注入所述雾化气体。

4. 根据权利要求1或2所述的燃烧方法，其特征在于，通过控制流动调节阀实现所述雾化气体注入速度的变化。

5. 根据权利要求1或2所述的燃烧方法，其特征在于，所述液态燃料以一可变速度脉动。

6. 根据权利要求5所述的燃烧方法，其特征在于，所述液态燃料与所述雾化气体的注入速度同相变化的速度脉动。

7. 根据权利要求5所述的燃烧方法，其特征在于，通过控制流动调节阀实现所述液态燃料速度的变化。

## 通过变速喷雾使液态燃料燃烧的方法

### 技术领域

本发明涉及一种用于液态燃料燃烧的方法。

### 背景技术

在例如为工业炉安装燃烧系统时，一个主要的当务之急是尽可能地减少大气污染物的排放以满足现行的环境标准，而同时在热传递方面仍然满足加热过程的要求。氮氧化物——称作  $\text{NO}_x$ ——是环境标准最关注的污染物之一，并且减少氮氧化物的排放构成重要的技术性难题。可以设想多种解决方案用于限制  $\text{NO}_x$  的排放，即，意在减少燃烧过程本身形成的  $\text{NO}_x$  的首要类型的措施，以及意在从燃烧后的排出物中去除  $\text{NO}_x$  的次要类型的措施。应指出，该次要类型的措施通常需要安装极其昂贵的装置，想要达到的  $\text{NO}_x$  的排放水平越低，则所述装置越昂贵。该首要措施旨在减少作为  $\text{NO}_x$  的主要组成成分的一氧化氮  $\text{NO}$  的形成，一氧化氮形成的主要机理是基本的热力学机理，其主要取决于氧和氮的分压力、介质的温度以及反应物在燃烧区停留的时间。因此，氧-燃料燃烧——即其中氧化剂为氧的燃烧——尤其容易产生问题，而这种类型的燃烧广泛应用于工业中。根据 1947 年 Zel'dovich 提出的热力学机理， $\text{NO}$  形成的速率表示为：

$$\frac{d[\text{NO}]_{th}}{dt} \approx k \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) [\text{O}_2]^{1/2} [\text{N}_2]$$

其中， $k$  是活化常数， $R$  是理想气体常数， $E_a$  是反应的活化能， $T$  是局部温度，而  $[\text{O}_2]$  和  $[\text{N}_2]$  是局部氧浓度和局部氮浓度。为了使  $\text{NO}$  的形成速率最小并从而使形成的  $\text{NO}$  的量最小，已知使用富氧空气乃至纯氧作为氧化剂来减少局部氮浓度。但是，不能从燃烧过程中完全排除氮的存在，氮还可经由空气渗漏或经由燃料自身被引入介质中。此外，尽管介质中的氮浓

度很低，但是，某些过程中所达到的温度可导致不可忽略的 NO 的形成。

因此已开发出另外的方案，尤其是用非常活泼的气体如 CO<sub>2</sub> 或通过允许废气例如再循环到燃烧区来稀释反应物主要是氧化剂的方案。更具体地这样来采用废气再循环，即通过在离开燃料较大的距离处注入大部分氧化剂，而在燃料附近注入少量氧化剂以便尤其为了使火焰稳定。但是，在燃料喷射装置和氧化剂喷射装置之间设置大的间隔的这种概念仅限于空气/气态燃料燃烧。

专利 EP 0 524 880 及 US 5 522 721 中公开了另外一种用于减少 NO<sub>x</sub> 的方法，该方法叫做“振荡燃烧”。这种方法在于使氧化剂或燃料的速度发生振荡，从而使得反应物的化学计量数偏离 1，由此导致火焰温度降低并因此减少 NO<sub>x</sub> 的形成。另外，可以调节振荡频率、振幅和相位以便限制一氧化碳的形成。但是，应注意，振荡燃烧方法涉及气态燃料的燃烧，而不能直接应用于液态燃料的燃烧。

其原因在于，在两相燃烧中，必须首先借助于所注入的雾化气体使液态燃料雾化，以破坏液态燃料流的稳定性并形成燃料喷雾，所述燃料喷雾具有较大的与氧化剂接触的表面积，从而有利于燃烧。这就需要由此形成的液态燃料液滴在燃料同氧化剂一起燃烧之前蒸发。反应物的混合因此取决于燃料喷雾的特征，尤其取决于所形成的燃料液滴的尺寸。已经发现，将在气态燃料情况下的上述振荡燃烧原理应用于液态燃料的情况不能产生令人满意的结果。这是因为氧化剂流量的振荡要求安装极其昂贵而效率相对较低的装置，并且用于使液态燃料流量振荡的装置不容许对所形成的喷雾进行足够精确的控制。

## 发明内容

本发明的目的在于消除上述缺陷，尤其是将振荡燃烧原理应用于液态燃料，为此，本发明涉及一种用于液态燃料燃烧的方法，该方法包括通过注入与液态燃料接触的雾化气体以产生液态燃料的喷雾，然后使由此产生的喷雾与氧化剂接触从而使喷雾发生燃烧的步骤，这样来注入雾化气体：

- 以围绕一使燃料完全燃烧的额定速度值变化的可变速度注入；以及
- 以小于雾化气体的额定速度值的 1.2 倍的最大速度注入。

术语“可变速度”应理解为注入喷雾气体的速度随时间在两个极值之间有规律地振荡。注入速度随时间变化的曲线例如可以是正弦曲线或脉冲曲线。因此，通过改变雾化气体的速度，所得到的喷雾具有可变的物理特征，尤其是所形成的液滴的尺寸，并且燃烧特性也因此得以改变。更准确地说，增加雾化气体的速度将导致具有较小液滴尺寸的燃料喷雾的形成，并因此导致更好的燃烧，而减小雾化气体的速度将导致具有较大液滴尺寸的喷雾的形成，并因此导致效果较差的燃烧。按照这种方式，可以控制燃料喷雾的物理特性以改变局部燃烧状况，尤其是火焰长度，并由此影响  $\text{NO}_x$  的形成状况。特别地，改变火焰长度使得用于到被加热载荷（charge chauffée）的热传递的表面积增加，同时阻止高温  $\text{NO}_x$  生成区的产生。以围绕一使燃料完全燃烧的额定速度值变化的速度注入雾化气体。更准确地说，对于给定的液态燃料流量，雾化气体的额定速度是确定的。因此，雾化气体的速度围绕一确保完全燃烧的额定值变化使得能够使燃料消耗最优化，并且能够围绕该最优值改变燃烧特性。对于给定的燃烧器几何形状（结构），可从所需功率和燃料的净热值（NCV）推断出燃料的速度。雾化气体的额定速度通常选择为使得雾化气体的质量流量等于燃料的质量流量的 0.3 倍。根据本发明，以小于雾化气体的额定速度值的 1.2 倍的最大速度注入雾化气体。因此，减小了火焰分离的危险。优选地，以大于雾化气体的额定速度值的 0.7 倍的最小速度注入雾化气体。因此，减小了燃烧不充分的危险。有利地，以变化频率在 0.1 和 10 Hz 之间的速度注入雾化气体。优选地，通过控制流动调节阀实现雾化气体注入速度的变化。

根据一个实施例，液态燃料以可变的脉动速度脉动。这是因为液态燃料流量的变化结合雾化气体的变化使得可以更好地控制液态燃料喷雾的物理特征。有利地，液态燃料以与雾化气体的注入速度同相变化的脉动速度脉动。该双重变化的目的是保持燃料喷雾具有大致恒定的液滴尺寸。但是，所传输的液态燃料的量由此而改变，并且除火焰长度之外，这还将影响燃烧的化

学计量关系。在围绕一使得完全燃烧并且满足加热过程要求的额定值变化的情况下，在变化期间将保持这些条件。优选地，通过控制流动调节阀实现液态燃料速度的变化。

## 附图说明

借助于下面结合附图给出的详细说明，将更加清楚地理解本发明的实施方式，在附图中：

- 图 1 是根据本发明的第一实施例的方法的示意性表示，其中，雾化气体的速度在整个燃烧过程中变化；
- 图 2 是表示图 1 所示方法中火焰长度随雾化气体的流量而变化的曲线；
- 图 3 是根据第二实施例的方法的示意性表示，其中，液态燃料的速度在整个燃烧过程中与雾化气体的速度同相变化；
- 图 4 是表示图 3 所示方法中火焰长度随液态燃料的流量而变化的曲线。

## 具体实施方式

如图 1 中所示的燃烧方法利用具有外部混合器（也称辅助雾化器）的喷雾雾化器 1。该雾化器 1 包括液态燃料进给管 2 和雾化气体进给管 3，并输送液态燃料喷雾 4。更准确地说，雾化气体进给管 3 设有由控制器 6 控制的调节阀 5，该调节阀 5 能够改变雾化气体的流量并因此改变其速度。所述喷雾 4 随后与由氧化剂进给管 8 输送的氧气 7 接触，以使燃料能够燃烧。最初，将雾化气体的流量调节成使得对于给定的液态燃料流量能够获得稳定的火焰并且完全燃烧。该雾化气体的额定流量  $m_{g,nom}$  对应于额定速度  $U_{g,nom}$ 。对于这些值，燃烧产生的火焰具有额定火焰长度  $L_{f,nom}$ 。在实施根据本发明的方法的期间，控制器 6 控制调节阀 5，使得雾化气体的流量随时间的变化是由曲线 9 示出的周期为  $T$  的正弦曲线，所述流量在最大流量值  $m_{g,max}$  和最小流量值  $m_{g,min}$  之间振荡，该最大流量值  $m_{g,max}$  和最小流量

值  $m_{g,min}$  分别对应于雾化气体的速度  $U_{g,max}$  和  $U_{g,min}$ 。假定液态燃料的流量  $m_f$  以及因此速度  $U_f$  是恒定值。当雾化气体的流量振荡时, 火焰长度也随之在值  $L_{f,max}$  和值  $L_{f,min}$  之间变化。火焰长度的变化增加了热传递的表面积, 并阻止高温区域的形成。但是, 在雾化气体流量变化的过程中, 必须保持火焰稳定性和燃烧质量。为了防止火焰分离和灭火并确保燃料液滴充分蒸发, 使雾化气体的速度在设定为 0.7 倍额定速度的下限  $U_{g,min}$  和设定为 1.2 倍额定速度的上限  $U_{g,max}$  之间振荡。通过控制器 6 致动所述(调节)阀, 以便在相应的值  $m_{g,min}$  和  $m_{g,max}$  之间改变流量。雾化气体的流量随时间的变化通过曲线 9 示出, 该曲线是周期为  $T$  的正弦曲线。

图 2 示出在所使用的雾化气体是空气且液态燃料具有 2.3 m/s 的速度的情况下, 火焰长度  $L_f$  随雾化气体流量  $m_g$  的变化。雾化气体提供稳定的火焰和完全燃烧的额定速度值已确定为等于 99 m/s。根据上述等式, 雾化气体的速度因此在 69 m/s 和 118 m/s 之间变化。在这些条件下, 当额定火焰长度为 4 m 时, 火焰长度在 3.2 m 和 4.8 m 之间变化。该火焰长度的范围使其能够覆盖大的面积, 从而在防止产生高温  $NO_x$  生成区的同时确保热传递增强, 进而确保更大的能量效率。

根据本发明的变型, 如图 3 所示, 雾化器 1 与图 1 中的雾化器的区别仅在于, 液态燃料进给管设有由控制器 6 控制的调节阀 50。该控制器 6 将调节阀 50 控制成使得液态燃料的流量随时间的变化是由曲线 11 示出的周期为  $T$  的正弦曲线, 所述流量在最大流量值  $m_{f,max}$  和最小流量值  $m_{f,min}$  之间振荡, 该最大流量值  $m_{f,max}$  和最小流量值  $m_{f,min}$  分别对应于燃料的速度  $U_{f,max}$  和  $U_{f,min}$ 。此外, 所述控制器还使调节阀 5 和 50 同步, 以使曲线 9 和 11 同相。该双重的同相振荡使得液滴尺寸可以保持恒定, 并因此使得燃料喷雾 4 的大部分物理特征尤其是蒸发时间也可以保持恒定。因此, 在流量变化期间保持了额定条件下所实现的燃烧(状态), 即, 完全燃烧。

当限定了雾化气体的最小和最大流量及速度值时, 也限定了燃料的最小和最大流量及速度值。为了确保恒定的液滴尺寸和不变的雾化状态, 使液态燃料的速度在等于 0.3 倍额定速度的最小值和等于 1.7 倍额定速度的最

大值之间振荡。

图 4 示出火焰长度  $L_f$  随液态燃料流量的变化。与图 2 所示的示例中相同，所使用的雾化气体是空气，并且液态燃料具有 2.3 m/s 的额定速度。因此，液态燃料的速度在 0.7 m/s 和 3.9 m/s 之间变化。雾化气体使得能够获得稳定的火焰和完全燃烧的额定速度值确定为等于 99 m/s。根据上述等式，雾化气体的速度因此在 67 m/s 和 118 m/s 之间变化。在这些条件下，当额定火焰长度为 4 m 时，火焰长度在 1.7 m 和 6 m 之间变化。

尽管已结合具体的示例性实施例对本发明进行了说明，但是，本发明当然绝不是局限于此，只要它们落入本发明的范围内，则本发明包括所述方法的所有技术等同物以及它们的组合。

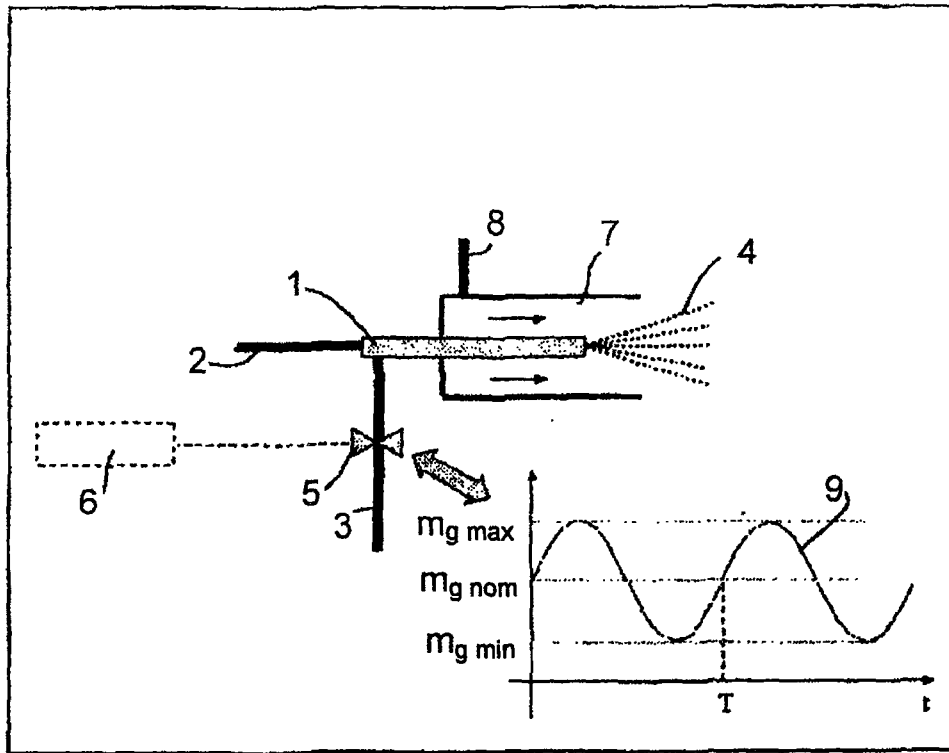


图 1

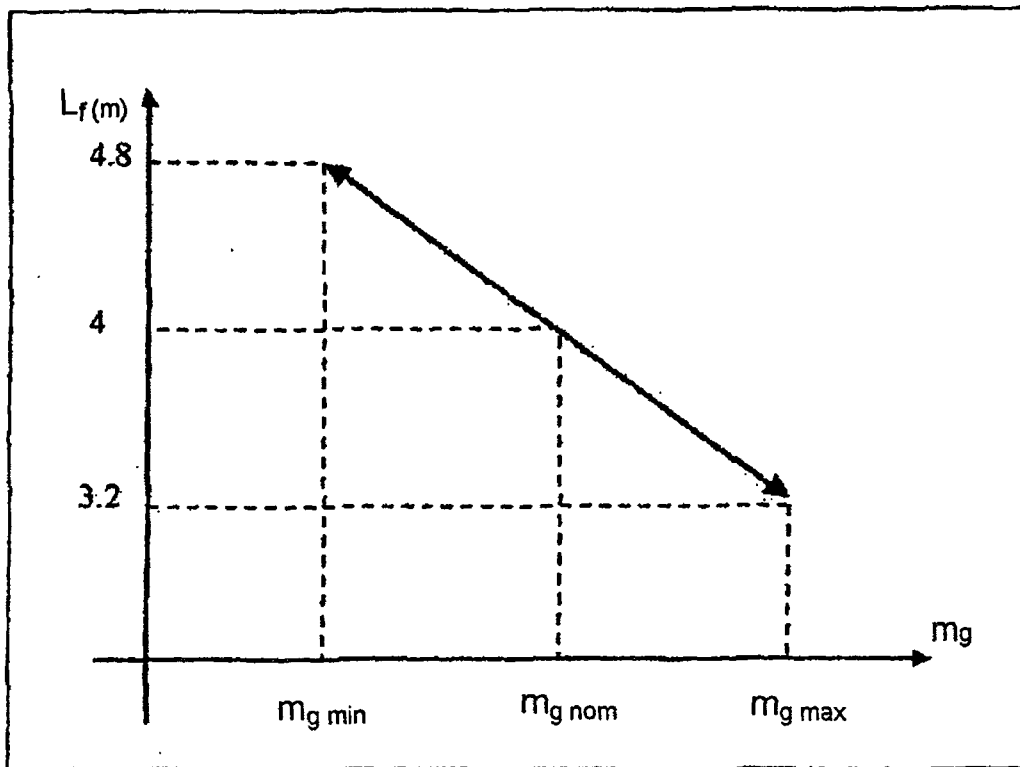


图 2

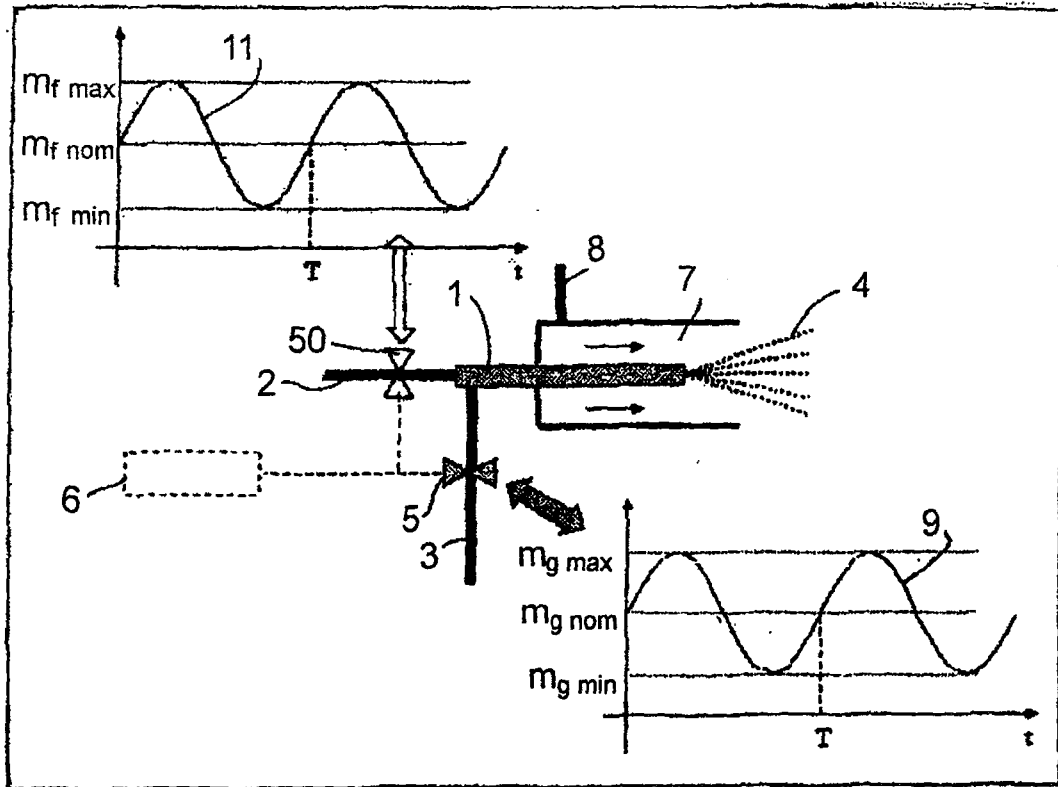


图 3

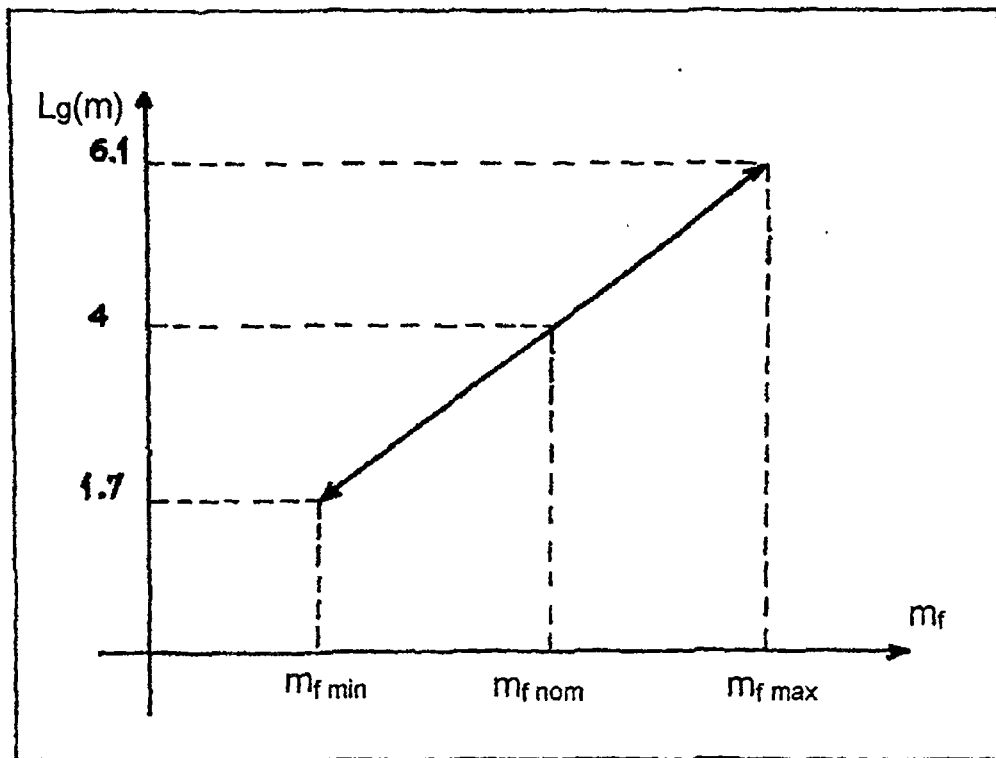


图 4