

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



# [12] 发明专利说明书

F02D 21/08 (2006.01)

F02B 47/08 (2006.01)

F02D 13/02 (2006.01)

专利号 ZL 200480010219.4

[45] 授权公告日 2009年7月29日

[11] 授权公告号 CN 100520019C

[22] 申请日 2004.4.14

[21] 申请号 200480010219.4

[30] 优先权

[32] 2003.4.17 [33] DE [31] 10317685.3

[86] 国际申请 PCT/EP2004/003903 2004.4.14

[87] 国际公布 WO2004/092561 德 2004.10.28

[85] 进入国家阶段日期 2005.10.17

[73] 专利权人 FEV 发动机技术有限责任公司

地址 德国亚琛

[72] 发明人 乔肯·米勒 伯恩德·基尔舍

马库斯·杜斯曼 伊诺·洛斯

[56] 参考文献

DE3437330A 1986.4.24

WO03040540A 2003.5.15

DE1222735B 1966.8.11

CN1380937A 2002.11.20

US4722315A 1988.2.2

审查员 闫 周

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 王景刚 王 冉

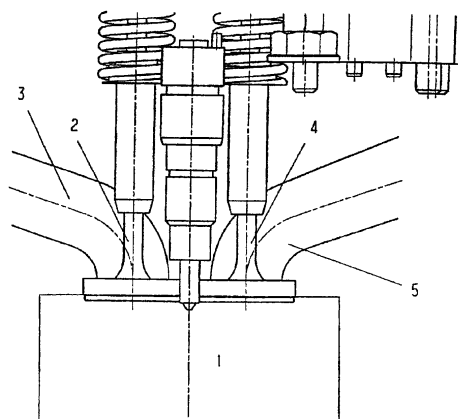
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 7 页

[54] 发明名称

在内燃机中进行内部废气再循环的方法以及  
内燃机

[57] 摘要

本发明涉及一种在带有由凸轮轴根据四冲程原理而周期性控制的气体交换阀的内燃机中进行内部废气再循环的方法，在通过开启排气阀而将相应气缸的废气排放到排气管的气体交换期间，与相应气缸有关的进气阀在所述气缸中存在的气体混合物的点火上止点之后开启为一曲柄角度范围，以便将部分废气排放到进气管内，从而在下一次气体交换进气期间，从所述进气管将新鲜空气和废气吸入，在独立于周期性气体交换进气的气体交换排气期间，相应的进气阀被致动，在点火上止点后大致 110°~150°曲柄角度范围内实施相应进气阀的额外开启，本发明还公开了带有由凸轮轴根据四冲程原理而周期性控制的气体交换阀的内燃机以及相应内容机的应用。



1、一种在带有由凸轮轴(22)根据四冲程原理而周期性控制的气体交换阀的内燃机中进行内部废气再循环的方法,在通过开启排气阀(4)而将相应气缸(1)的废气排放到排气管(5)的气体交换期间,与相应气缸(1)有关的进气阀(2)在所述气缸(1)中存在的气体混合物的点火上止点之后开启为一曲柄角度范围,以便将部分废气排放到进气管(3)内,从而在下次气体交换进气期间,从所述进气管(3)将新鲜空气和废气吸入,在独立于周期性气体交换进气的交换排气期间,相应的进气阀(2)被致动,其特征在于,在点火上止点之后大致 $110\sim 150^\circ$ 曲柄角度范围内,实施相应进气阀(2)的额外开启。

2、如权利要求1所述方法,其特征在于,在由所述排气阀(4)开始开启所述排气管(5)的开启角的 $110\sim 130\%$ 的范围内,实施相应进气阀(2)的额外开启。

3、如权利要求1或2所述方法,其特征在于,所述进气阀(2)和/或所述排气阀(4)由电动机械进行致动。

4、如权利要求3所述方法,其特征在于,根据内燃机的操作状态,对所述进气阀(2)和/或所述排气阀(4)的开启和/或关闭时刻和/或行程进行控制。

5、如权利要求3所述方法,其特征在于,所述开启和/或关闭时刻和/或行程从电子存储器中调用出来。

6、一种带有由凸轮轴(22)根据四冲程原理而周期性控制的气体交换阀的内燃机,在气体交换进气期间,所述气体交换阀用于将气缸(1)连接到进气管(3),在气体交换排气期间,所述气体交换阀用于将气缸(1)连接到排气管(5),其中具有排气阀(4)和进气阀(2),在将所述气缸(1)的废气排放到所述排气管(5)的气体交换期间,所述进气阀(2)额外开启,以便将部分被排放的废气排放到所述进气管(3)中,从而在下次气体交换进气期间,将新鲜空气和废气从所述进气管(3)吸入所述气缸(1)内,相应进气阀(2)的额外开启设置在点火上止点之后大致 $110\sim 150^\circ$ 曲柄角度范围内。

7、如权利要求6所述内燃机,其特征在于,具有一控制设备,该控制

设备在气体交换进气期间，独立于周期性气体交换排气而对所述排气阀(4)进行致动，和/或在气体交换排气期间，独立于周期性气体交换进气而对所述进气阀(2)进行致动。

8、如权利要求6或7所述内燃机，其特征在于，电磁致动器(12)与控制设备相连，并作用在被安装于气缸盖上的换向器杠杆(15)的肢状件(14)上，所述换向器杠杆的其他肢状件(16)通过自由轮连接到气体交换阀中的一个的自由端上，在所述换向器杠杆(15)没有被调整情况下，允许所述气体交换阀进行由凸轮轴控制的开启。

9、如权利要求7所述内燃机，其特征在于，所述控制设备用于在气体交换排气期间或在气体交换进气期间，开启和关闭所述进气阀(2)和/或排气阀(4)。

10、如权利要求6或7所述内燃机，其特征在于，所述进气阀(2)和/或所述排气阀(4)是气体交换阀。

11、如权利要求6或7所述内燃机，其特征在于，所述进气阀(2)和/或所述排气阀(4)是附加阀，在涉及到气体交换的气体交换进气期间和/或气体交换排气期间，所述附加阀被关闭。

12、如权利要求7所述内燃机，其特征在于，所述控制设备包括所述凸轮轴(22)上的附加凸轮(24)。

13、如权利要求7所述内燃机，其特征在于，所述进气阀(2)和/或所述排气阀(4)是电动机械的可致动阀(17, 17')，所述控制设备是电路。

14、如权利要求13所述内燃机，其特征在于，所述控制设备设计成根据所述内燃机的运转状态对所述进气阀(2)和/或所述排气阀(4)的开启和/或关闭时刻和/或阀行程进行控制。

15、如权利要求14所述内燃机，其特征在于，设置有电子存储器，将开启和/或关闭时刻和/或阀行程作为内燃机运转状态的函数存储在所述电子存储器内。

16、如权利要求8所述内燃机，其特征在于，所述自由轮是螺栓(18)，其作为所述气体交换阀的延长轴线进行移动。

17、如权利要求16所述内燃机，其特征在于，所述螺栓(18)设置在所述换向器杠杆(15)的阀侧肢状件(16)上。

18、如权利要求8所述内燃机，其特征在于，所述换向器杠杆(15)

的阀侧肢状件（16）与所述气体交换阀的自由端（19）相结合。

19、如权利要求 8 所述内燃机，其特征在于，所述换向器杠杆（15）的阀侧肢状件（16）与所述气体交换阀的阀桥（20）或摇杆（21）相结合。

20、一种根据权利要求 6~19 中任一项所述内燃机的应用，所述内燃机应用于发动机制动。

## 在内燃机中进行内部废气再循环的方法以及内燃机

### 技术领域

本发明涉及一种内部废气再循环方法和进行了相应设计的内燃机。

### 背景技术

在世界范围内，对内燃机废气纯度的要求正受到越来越多的法规控制，而且法规的控制也正变得越来越严格。一种可满足这些与  $\text{NO}_x$  排放有关的要求的方法包括使用内部废气再循环。这涉及到在点火之前将一定量的废气与新鲜空气在内燃机汽缸内混合。如果使用优化的混合比，那么就能够可观地降低  $\text{NO}_x$  的排放。

为了产生上述混合物，德国专利文献 DE 34 01 362 C2 公开了一种内燃机中内部废气再循环的方法，所述内燃机带有根据四冲程原理而由凸轮轴周期性控制的气体交换阀，在汽缸内已经结束气体交换后，除了新鲜空气之外被保留的废气量可借助所述气体交换阀的开启和关闭时间而进行调整。例如，如果在汽缸的废气排出已经终止后，排气装置没有关闭，而是在后续进气冲程期间仍保持敞开一可调整的时间段，那么数量上取决于上述时间段的废气可以与新鲜空气混合。因而，气体交换阀的开启和关闭时间同时对气体交换和内部废气再循环进行控制。因此，这些阀的执行可在最优气体交换和最优内部废气再循环之间形成折衷。

WO 03/040540 公开了一种内部废气再循环的方法，在将汽缸的废气排放到排气管的气体交换期间，进气阀开启，以便将部分废气排放到进气管内，从而在下一次气体交换进气期间，使新鲜空气和废气从进气管被吸入。在此情况下，在独立于周期性气体交换进气的气体交换期间，进气阀被致动，进气阀的主要行程起始于点火上止点之后的  $180^\circ$  和  $210^\circ$  曲柄角之间范围内，该主要行程结束于大致在点火上止点之后大概  $270^\circ$  至  $310^\circ$  曲柄角的范围内。然而这仅允许在满负荷下实现适度的废气再循环率。

### 发明内容

因此，本发明的目的是提供一种内部废气再循环，在满负荷条件下也可实现非常高的废气再循环率，在低发动机速度下，可实现较低或零废气再循环速率。

因此，本发明提供一种一种在带有由凸轮轴根据四冲程原理而周期性控制的气体交换阀的内燃机中进行内部废气再循环的方法，在通过开启排气阀而将相应气缸的废气排放到排气管的气体交换期间，与相应气缸有关的进气阀在所述气缸中存在的气体混合物的点火上止点之后开启为一曲柄角度范围，以便将部分废气排放到进气管内，从而在下一次气体交换进气期间，从所述进气管将新鲜空气和废气吸入，在独立于周期性气体交换进气的气体交换排气期间，相应的进气阀被致动，在点火上止点之后大致 $110\sim 150^\circ$ 曲柄角度范围内，实施相应进气阀的额外开启。

优选地，在由所述排气阀开始开启所述排气管的开启角的 $110\sim 130\%$ 的范围内，实施相应进气阀的额外开启。

优选地，所述进气阀和/或所述排气阀由电动机械进行致动。

优选地，根据内燃机的操作状态，对所述进气阀和/或所述排气阀的开启和/或关闭时刻和/或阀行程进行控制。

优选地，所述开启和/或关闭时刻和/或阀行程从电子存储器中调用出来。

根据本发明第二方面，提供了一种带有由凸轮轴根据四冲程原理而周期性控制的气体交换阀的内燃机，在气体交换进气期间，所述气体交换阀用于将气缸连接到进气管，在气体交换排气期间，所述气体交换阀用于将气缸连接到排气管，其中具有排气阀和进气阀，在将所述气缸的废气排放到所述排气管的气体交换期间，所述进气阀额外开启，以便将部分被排放的废气排放到所述进气管中，从而在下一次气体交换进气期间，将新鲜空气和废气从所述进气管吸入所述气缸内，相应进气阀的额外开启设置在点火上止点之后大致 $110\sim 150^\circ$ 曲柄角度范围内。

优选地，所述内燃机具有一控制设备，该控制设备在气体交换进气期间，独立于周期性气体交换排气而对所述排气阀进行致动，和/或在气体交换排气期间，独立于周期性气体交换进气而对所述进气阀进行致动。

优选地，电磁致动器与控制设备相连，并作用在被安装于气缸盖上的换向器杠杆的肢状件上，所述换向器杠杆的其他肢状件通过自由轮连接到

气体交换阀中的一个的自由端上，在所述换向器杠杆没有被调整情况下，允许所述气体交换阀进行由凸轮轴控制的开启。

优选地，所述控制设备用于在气体交换排气期间或在气体交换进气期间，开启和关闭所述进气阀和/或排气阀。

优选地，所述进气阀和/或所述排气阀是气体交换阀。

优选地，所述进气阀和/或所述排气阀是附加阀，在涉及到气体交换的气体交换进气期间和/或气体交换排气期间，所述附加阀被关闭。

优选地，所述控制设备包括所述凸轮轴上的附加凸轮。

优选地，所述进气阀和/或所述排气阀是电动机械的可致动阀，所述控制设备是电路。

优选地，所述控制设备设计成根据所述内燃机的运转状态对所述进气阀和/或所述排气阀的开启和/或关闭时刻和/或阀行程进行控制。

优选地，所述内燃机设置有电子存储器，将开启和/或关闭时刻和/或阀行程作为内燃机运转状态的函数存储在所述电子存储器内。

优选地，所述自由轮是螺栓，其作为所述气体交换阀的延长轴线进行移动。

优选地，所述螺栓设置在所述换向器杠杆的阀侧肢状件上。

优选地，所述换向器杠杆的阀侧肢状件与所述气体交换阀的自由端相结合。

优选地，所述换向器杠杆的阀侧肢状件与所述气体交换阀的阀桥或摇杆相结合。

根据本发明另一方面，提供了一种根据本发明第二方面的所述内燃机的应用，所述内燃机应用于发动机制动。

与本领域技术人员的期望相反，如果废气可在上述范围内进入进气管，该范围也即点火上止点后的正好  $180^\circ$  曲柄角度之前 (CA) ( $180^\circ$ CA 是点火上止点之后的上死点)，即最多大致为  $160^\circ$ CA，最好在点火上止点之后的  $110^\circ \sim 150^\circ$ CA 处，并且如果该废气即使在高发动机速度下也可保持在进气管内，那么将是有利的。另一方面，在低发动机速度下，考虑到在膨胀期间明显的较大减压，压力条件导致已经被传输到进气管内的废气立刻再次流回，在后续的排气阶段被排放到排气管内，因此在进气阶段不会参与来自进气管的额外废气再循环。考虑下述事实，即进气阀开启和排气阀开启

可采用上述方式独立地设定，因而可利用存在于气缸内的废气量将  $\text{NO}_x$  率降低到理想的法令规定的值。因此，也可实现相对简单的改进，以便在下一阶段实现这些数值。根据本发明，由于废气没有充分降低  $\text{NO}_x$  率，而且将过分地影响涡轮增压器，所以没有废气被倒吸出排气管。尽管如此，在低发动机速度范围内，考虑到空气/燃料比下降，相对高的废气再循环将导致烟量增加，然而根据本发明，可以避免上述烟量的增加。

本发明的方法对于商业车辆发动机在满负荷范围内具有优异的效果，并具有非常高的废气再循环率。

本发明使用凸轮轴的固定凸轮，或使用一个主凸轮和一个附加凸轮。在排气阀开启后，在低发动机速度下，压力条件是这样的，即压力已经下降，从而当进气阀借助主凸轮而刚刚开启后，流动方向被反向，因此，进气管内的废气被推回，在主凸轮开启进气阀并且关闭排气阀之前，废气也被吹走 (flush out)。相反，如果单独使用主凸轮，与现有技术相同，考虑到其轮廓影响所有负荷作用点，再循环废气量取决于负荷作用点，因此也取决于发动机速度，但是废气量是固定的，尤其是因为最大阀行程、开启持续时间和相对位置等参数可确定被传输到进气管内的废气量。

此外，在新鲜空气从进气管吸入到气缸内时，排气阀可被打开，以便除了从排气管吸入废气之外，在独立于周期性排气的进气期间，使该排气阀也被致动。

气体交换与内部废气再循环的分离不仅允许这两个操作被优化，而且还独立地与特定需求相匹配。废气再循环可借助相应阀的开启和关闭时间以及行程而被优化，其优化程度会受到限制，该限制只来自汽缸中的压力条件，在某些情况下该限制不允许阀在任何时刻开启或关闭，该限制也可能来自内燃机的设计，尤其是阀齿轮部件的设计。

因此，满负荷时所获得的废气再循环率高于现有技术。而且由于低废气质量流，燃料消耗率也被降低，尤其有助于减少气体交换的功。

进气阀和/或排气阀可以是气体交换阀或是附加阀中的一种。前一种方案可实现内燃机中比较紧凑的结构，然而后一种方案由于机械分离可确保在更宽范围内进行调整。

可以由凸轮轴对用于废气再循环的进气阀和/或排气阀进行控制。这仅要求在凸轮轴上设置附加凸轮。该附加凸轮可布置在进气凸轮的前方或布

置在排气凸轮的后方。用于废气再循环的附加凸轮的连续侧面与用于气体交换的凸轮的连续侧面在此情况下彼此不应相互交叉，即附加凸轮的下降侧面和进气凸轮的升高侧面或排气凸轮的下降侧面和附加凸轮的升高侧面不应彼此相互交叉。如果适当的话，可使用一可调整凸轮轴，以使控制时间适应于发动机状态。

可选择地，用于废气再循环的进气阀和/或排气阀也可以被电动机械控制。

如果进气阀或排气阀是附加阀，电控设备与电磁、电动机械、电动液压、电动气动等公知致动器电气连接，并直接作用在附加凸轮上，或经由换向器杠杆等实现较平的整体形状以及增加的致动力。与凸轮轴分离的控制器允许控制作为运转状态的函数，从而使阀升程曲线可在任何时刻被最优地设定。为此目的，给出控制时间和阀行程的特征曲线图可作为内燃机的操作参数（例如，负荷状态）的函数而存储于电子控制设备内。

如果进气阀或排气阀是气体交换阀，那么可设置电磁致动器对其进行调节，该致动器作用在被安装于气缸盖上的换向器杠杆的一个肢状件上，另一个肢状件通过自由轮与气体交换阀中的一个的自由端相连，允许在不调整换向器杠杆的情况下使该气体交换阀进行凸轮轴控制的开启。

通过自由轮的调整使气体交换阀的致动与凸轮轴的致动分离。这就可实现气体交换阀的额外致动状态的最优控制，尤其是作为运转状态的函数。因此，内部废气再循环的混合物的废气含量可在任何时间被优化设定，甚至不需要附加值，尤其在考虑内燃机负荷状态的情况下。

而且，还可实施其他的控制方案。例如，气体交换阀的电动机械控制允许发动机制动功能被执行。在这种情况下，在压缩期间，排气阀被短暂地开启，以便允许气缸的受控减压，从而对内燃机进行制动。通过独立于气体交换阀致动的开启和关闭时间以及排气阀行程，可以设定所希望的制动动作。

可以使用换向器杠杆将较大的力传送到气体交换阀。对于发动机制动功能来说，这尤其是有利的，在与高气缸内压相反的压缩期间，必须开启排气阀。而且，换向器杠杆允许实现平坦的整体形状。

例如通过阀桥或摇杆，气体交换器的阀侧肢状件可直接或间接地对气体交换阀的自由端进行致动。气体交换阀的直接致动采用简单的设计，允

许施加可能的最大致动力，特别适用于发动机制动功能。如果，例如，肢状件通过摇杆与阀桥结合，虽然力被分解，但是多个气体交换阀可以被同时致动。

自由轮最好是螺栓，其可以在作为气体交换阀延伸轴线的套筒内移动，并可布置在换向器杠杆的阀侧肢状件上。因此，换向器杠杆与气体交换阀有导向地结合，或者如果适合，与阀桥等结合。自由轮也可以是气体交换阀侧的轴承，换向器杠杆的阀侧肢状件上的突出部分承载在该轴承上。

本发明的进一步详细结构将在后续说明中给出。

#### 附图说明

下文将结合附图对示例性实施例进行详细的说明。

图 1 示出了四冲程内燃机气缸的剖视图；

图 2 和 3 示出了进气和排气的阀升程曲线，阀行程作为曲柄角度、位于  $0^\circ$  的点火 TDC 以及位于  $360^\circ$  的气体交换 TDC 的函数；

图 4 示出了曲柄轴 - 独立阀控制；

图 5 示出了曲柄轴的剖视图；

图 6 示出了曲柄轴部分；

图 7 示出了根据本发明将废气进入排气管的传输以及从排气管进入气缸的传输绘制为在不同发动机速度情况下的质量流 - 曲柄角的曲线图；

图 8 示出了能量、废气再循环率和相对空气比率相对于发动机速度的示意图。

#### 具体实施方式

图 1 示出了四冲程内燃机的多个气缸中的气缸 1 可以通过进气阀 2 与进气管 3 相连，用于吸入新鲜空气，通过排气阀 4 与排气管 5 相连，用于废气的排出。

内燃机顺序地进行进气冲程、压缩冲程、燃烧冲程和排气冲程，其中排气冲程和进气冲程代表气体交换。为此目的，阀 2、4 采用公知方式，具体说在凸轮轴控制下，被周期性致动。在进气期间，图 2 部分地示出的阀升程曲线 6 代表进气阀 2，在排气期间，阀升程曲线 7 代表排气阀 4；两条阀升程曲线 6、7 可采用公知方式相互重叠，以便使废气从气缸 1 中被完全

排出。

为了进行内部废气再循环，进气阀 2 和/或排气阀 4 除了气体交换之外而被致动，而且，进气阀 2 和/或排气阀 4 还可独立于气体交换而被致动。

在排气期间，进气阀 2 的额外致动用于使燃烧期间所形成废气的一部分进入进气管 3 内，以便在下一次进气冲程期间将新鲜空气和废气的混合物导入气缸内。为了设定排气量，可以调节开启和关闭时刻以及进气阀 2 的阀行程，相应地参考阀升程曲线 8。在排气阀 4 开启之后，进气阀 2 开启一短冲程，并在排气阀 4 关闭之前良好地关闭，这是非常有利的，例如参考阀升程曲线 9。然而，也可以在排气阀 4 开启之前开启进气阀 2，或在排气阀 4 开启的同时开启进气阀 2。

此外作为备选方案，排气阀 4 可在进气之前或进气期间开启，从而不仅新鲜空气而且废气也可进入气缸 1。在此情况下，根据周围环境条件，参照图 3，阀升程曲线 10 可以具有不同的开启和关闭时刻以及阀升程。参考阀升程曲线 11，排气阀 2 在进气阀 4 开启后马上开启一短冲程，并在进气阀 4 关闭之前良好关闭，这是非常有利的。

作为在气体交换中所使用的进气阀 2 和排气阀 4 的致动的备选方案，可以提供一个或多个附加阀用于废气再循环。在每种情况下，这些附加阀通过附加连接通路方便地与进气管 3 或排气管 5 相连。

参照图 4，无论进气阀 2 和/或排气阀 4 作为气体交换阀还是作为附加阀，已公知的一种电磁致动器 12 都可设置在气缸盖上，用于对进气阀 2 和/或排气阀 4 进行致动。致动器 12 通过其可纵向移动的螺栓 13 而结合在安装于气缸盖上的换向器杠杆 15 的肢状件 14 上。换向器杠杆 15 的另一肢状件 16 经由一自由轮作用在有待控制的阀 17 上。在此情况下，自由轮由螺栓 18 形成并位于肢状件 16 上，自由轮在阀桥 20 内被导向并直接作用在阀杆端部 19 上，从而该自由轮可作为阀轴线的延长线以滑动的方式进行移动。因此，阀 17 可经由摇杆 21 和阀桥 20 被致动以进行公知的由凸轮轴控制的气体交换，或独立地经由换向器杠杆 15 进行废气再循环或发动机制动等。换向器杠杆 15 也可作用在摇杆 21 的阀侧端部上，从而使图中所示的阀 17、17' 能够被共同致动。

在此情况下，可设置电控设备对进气阀 2 和/或排气阀 4 的开启和/或关闭时刻和/或阀行程进行控制。因此，发动机制动和/或内部废气再循环可根

据需求转换并作为操作状态的函数进行控制。因此，阀升程曲线 8、10 能够始终与内燃机的当前负荷状态等实现最优匹配。为此目的，设置电子存储器是非常有利的，在该电子存储器内可存储特征图表，从该图表中，开启和/或关闭时刻和/或阀行程可以作为内燃机开启状态的函数而被调用，从而实现理想的废气再循环率或理想的发动机制动效果。

致动器 12 可具有永久磁铁，该磁铁在使螺栓 13 偏转的方向上起作用，有助于在致动器 12 中电气致动关闭磁铁，从而降低偏转所需的能量。

作为使用致动器 12 的备选方案，也可使进气阀 2 和/或排气阀 4 进行致动从而使废气再循环由凸轮轴控制。参照图 5，为此目的，凸轮轴 22 既具有用于气体交换的凸轮 23 还具有用于废气再循环的附加凸轮 24，参照图 6，上述凸轮可沿凸轮轴 22 的纵向轴线彼此分开。当内燃机具有双凸轮轴时，凸轮 23 可设置在一个凸轮轴上，将附加凸轮 24 设置在另一凸轮轴上。

与图 5 所示相反，如果凸轮 23、24 布置在凸轮轴的相同部位上时，每个凸轮 23、24 就需要分离的阀调整，从而允许相应阀的独立致动。这可与图 4 所示的调整类似地进行。具体地说，凸轮 23、24 每个可被分配一摇杆，在此情况下，两个摇杆独立地作用在阀杆端部或阀桥上。

如图 7 所示的曲线图绘制有在下述情况下满负荷状态的不同发动机速度的曲线，即在点火的上止点之后相应进气阀 2 的额外开启 (IVO) 通过附加凸轮 24 在  $150^\circ$  曲柄角度 ( $^\circ\text{CA}$ ) 处开始，同时，排气阀 4 的开启 (EVO) 在  $104^\circ\text{CA}$  处进行，这些曲线使用质量流  $[\text{g/s}]$  - 曲柄角 ( $^\circ\text{CA}$ ) 绘制出废气进入进气管内或离开进气管进入气缸 1 所进行的传输。低于 0 轴线的曲线部分代表将从相应气缸 1 排出的废气传输至进气管 3 内，高于 0 轴线的曲线部分代表在由附加凸轮轴 24 所导致的进气阀 3 的开启期间，将流出进气管 3 的废气传输回气缸 1 内。

对于借助附加凸轮轴 24 使进气阀 3 额外开启而实现的内部废气再循环来说，图 8 示出了多个曲线图，图中使用以 % 表示的能量、废气再循环率 (EGR 率，以 % 表示) 和相对空气比例  $\lambda_{\text{air}}$  相对于以 % 表示的发动机速度在如下两条线之间进行计算比较，即其他方面条件相同情况下 (EVO 在  $85^\circ\text{CA}$ ) 时，点火上止点之后进气阀 3 在大致  $180^\circ\text{CA}$  处开启 (参考 WO03/040540)，即虚线，以及点火上止点之后进气阀 3 在  $120^\circ\text{CA}$  处开启 (根据本发明)，即实线。能量 - 发动机速度的比值的曲线图中只示出了实线，因

为图表中这两条曲线是重合的。两个其它曲线示出在大概  $180^{\circ}\text{CA}$  处的开启将导致废气再循环量显著降低，特别是在大概 70% 的发动机额定速度时，几乎不再存在任何废气再循环（即使根据本发明，此时需要并且也存在废气再循环），从而在整个发动机速度范围内持续进行无烟燃烧。虽然在大致  $180^{\circ}\text{CA}$  处的开启将导致不需要的较高的空气比率。

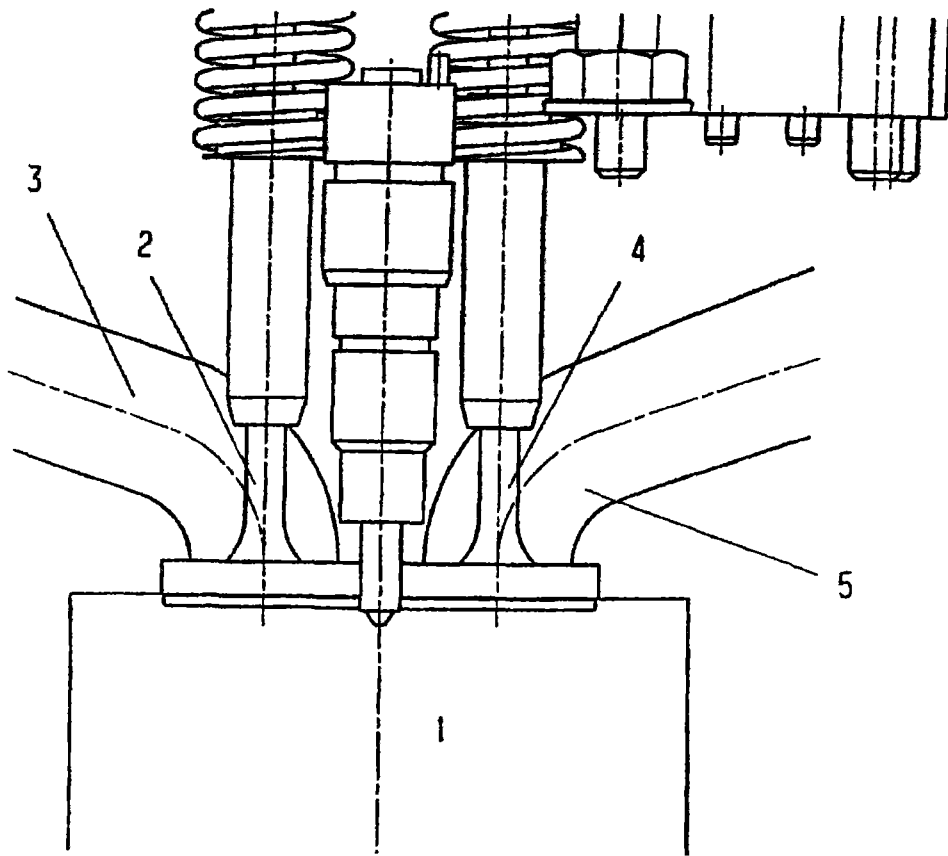


图 1

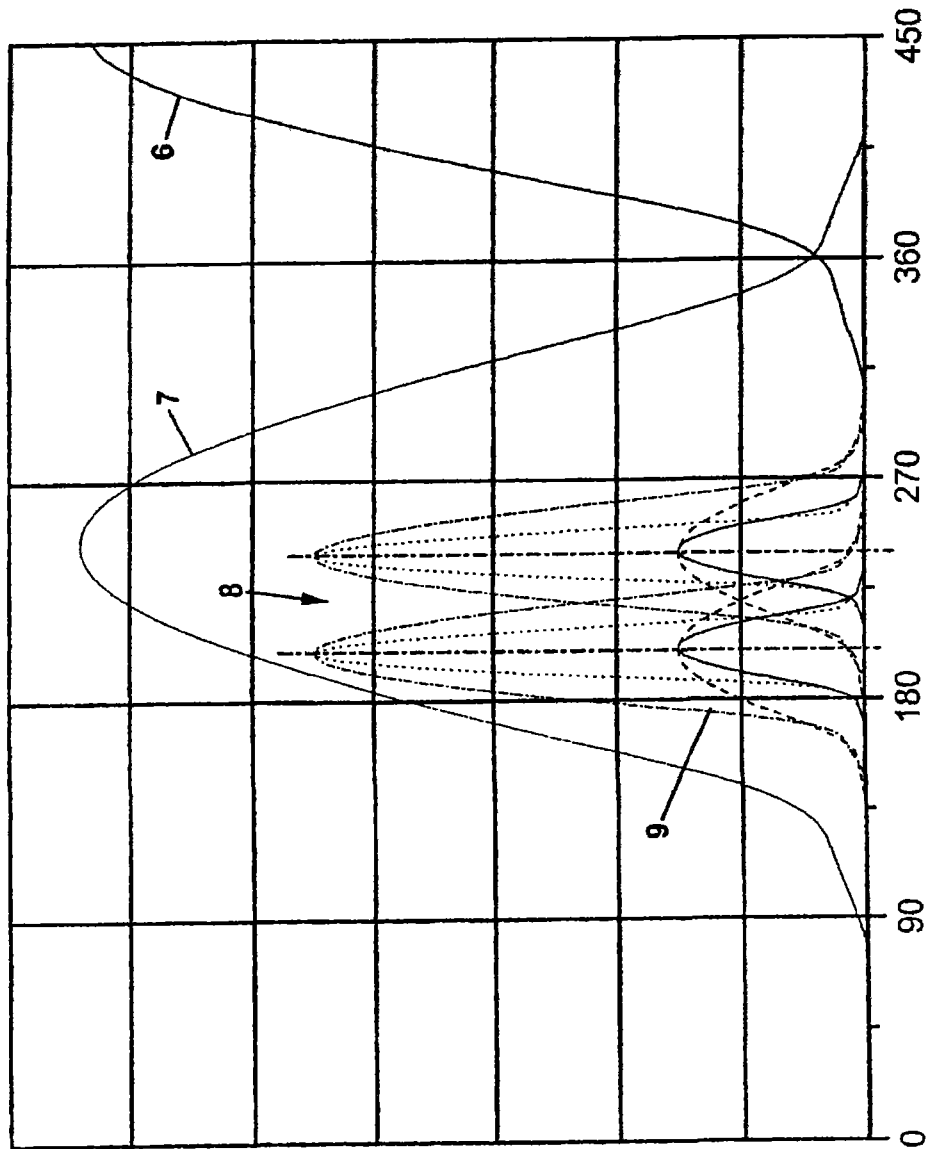


图 2

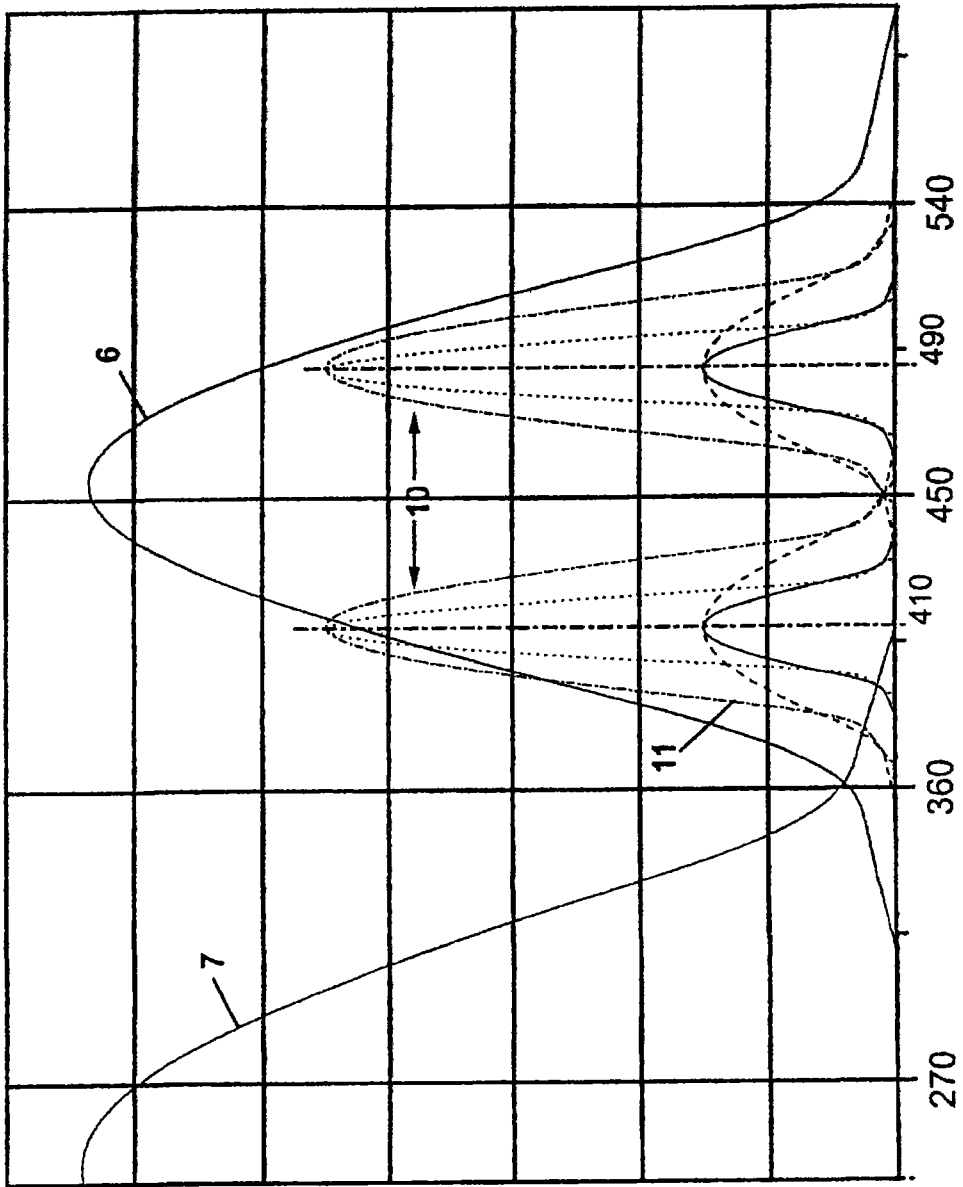


图 3

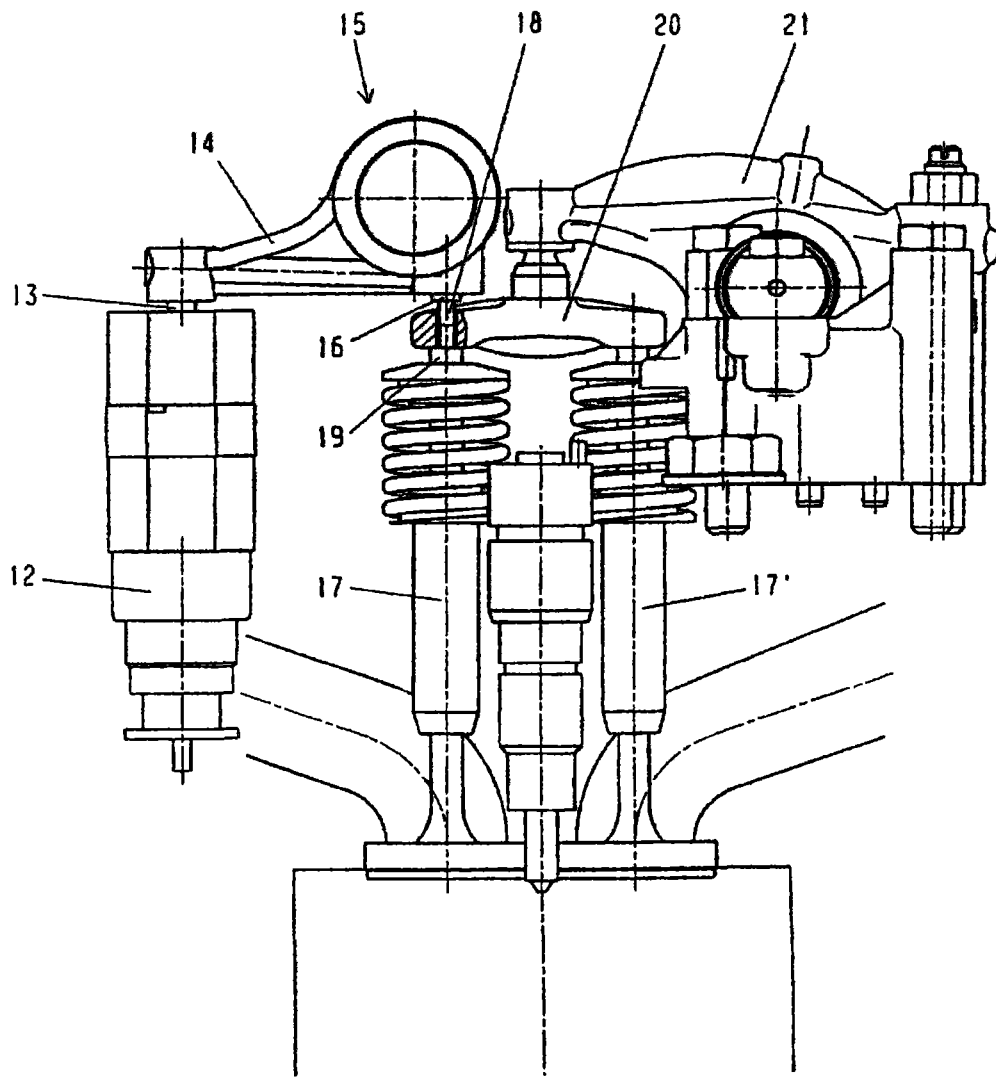


图 4

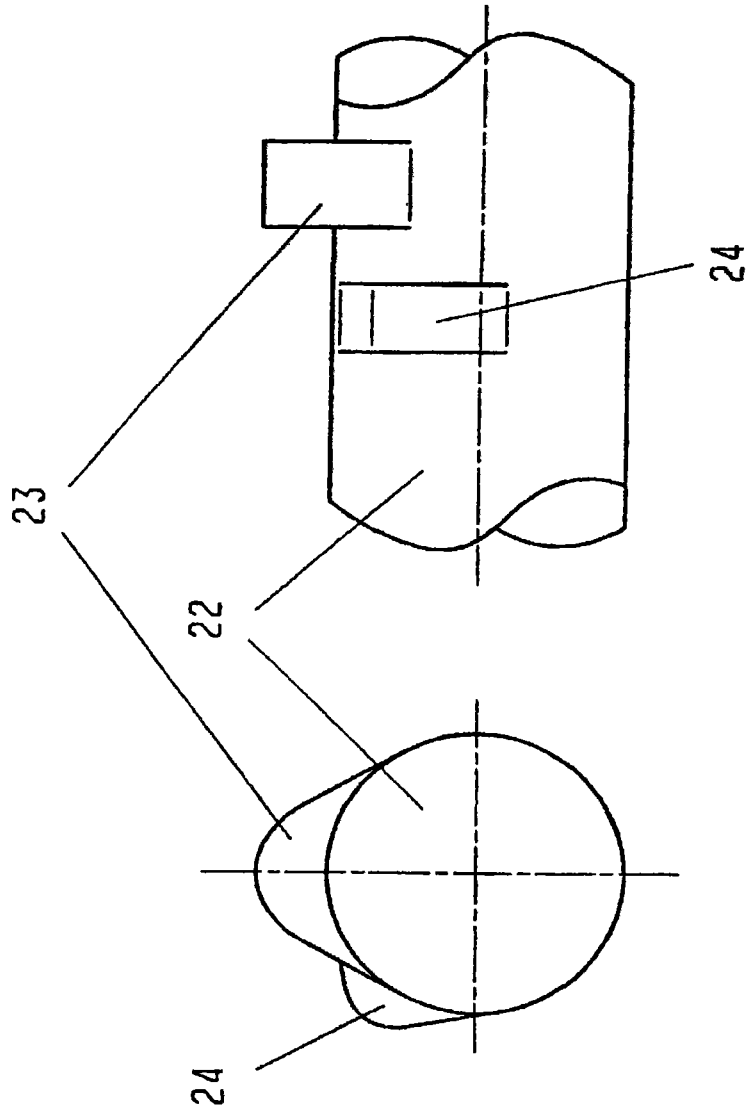


图 6

图 5

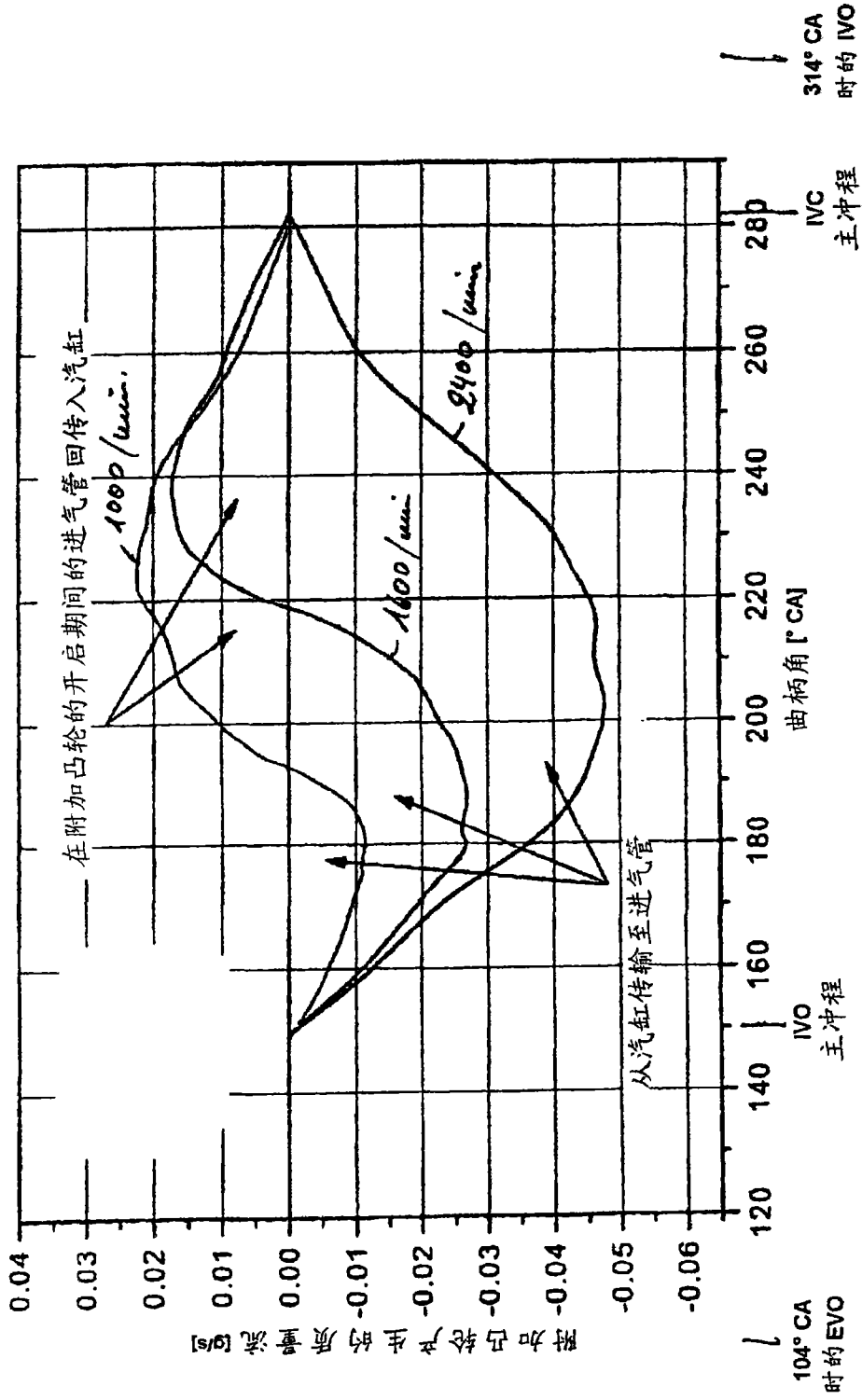


图 7

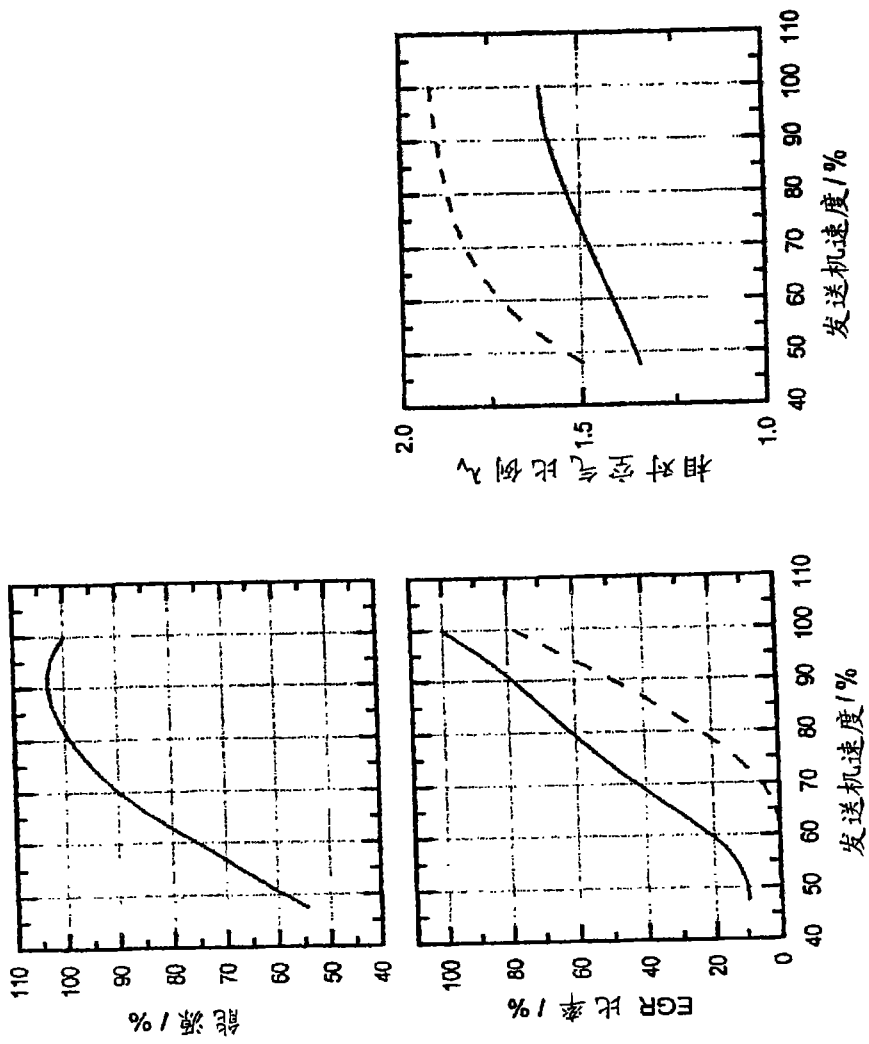


图 8