

[51] Int. Cl.



[12] 发 明 专 利 说 明 书

专利号 ZL 02815339.1

F01N 11/00 (2006.01)

F01N 3/20 (2006.01)

F01N 3/20 (2006.01)

B01D 53/94 (2006.01)

F23D 11/10 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 5 月 20 日

[11] 授权公告号 CN 100489280C

[22] 申请日 2002.8.6 [21] 申请号 02815339.1

[30] 优先权

[32] 2001. 8. 6 [33] US [31] 60/310,345

[86] 国际申请 PCT/US2002/024937 2002.8.6

[87] 国际公布 WO2003/014620 英 2003.2.20

〔85〕 进入国家阶段日期 2004.2.5

[73] 专利权人 西南研究会

地址 美国得克萨斯州

[72] 发明人 M·N·小因高尔斯

G · J · 巴特利 C · C · 维布

[56] 参考文献

US5826428A 1998. 10. 27

US5339630A 1994.8.23

车用催化剂的性能评价技术和试验方法.
朱洪涛, 王建昕, 黄实, 李剑. 汽车工程, 第
21 卷第 1 期. 1999

审查员 张广宇

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 吴明华

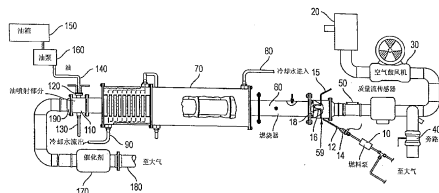
权利要求书 1 页 说明书 41 页 附图 28 页

[54] 发明名称

测试催化式排气净化器耐用性的方法和装置

[57] 摘要

本发明一般涉及一种用于测试在模拟的汽车长时间驾驶发生的状况下汽车催化式排气净化器的性能的装置和方法。 本发明提供一新颖的漩涡板和一新颖的燃料喷射器，它们能使燃烧器在延伸的时间段内按配比地运行。



1. 一种用于模拟由一内燃机所产生的排气的系统，包括：

用于供给燃烧用受压空气的鼓风机；

具有至少一个燃烧器的燃烧器系统，所述燃烧器用于容纳具有一定空气-燃料配比的空气和燃料，并且燃烧燃料以产生模拟的内燃机排气；

所述燃烧器具有一充气腔室、一漩涡板、一燃料喷头、一燃烧管和点火器；

所述漩涡板将所述燃烧管与所述充气腔室隔开；

所述喷头将雾状燃料经所述漩涡板中的一钻孔传送至一燃烧腔；

所述空气和燃料在所述燃烧腔内以一火焰燃烧；

所述漩涡板将所述受压空气经一组内漩涡射流、一组外漩涡射流、一组内紊流射流、一组第一外紊流射流和一组第二外紊流射流传送到所述燃烧腔内；

所述内漩涡射流和所述外漩涡射流倾斜设置，以便在所述燃烧管内形成一漩涡路径；

所述内紊流射流朝着所述燃烧管的纵向中心倾斜设置，从而提供防止所述燃烧器的火焰与所述燃料喷头相接触的喷头罩；

所述外紊流射流朝着所述燃烧管的纵向中心倾斜设置，从而提供使所述火焰与所述燃烧管的内壁之间的接触最少的壁罩；

用于将来自所述燃烧器的所述排气传送至一排气控制装置的排气管；

可操作用来控制所述燃烧器且模拟多个内燃机运行模式的计算机控制系统，其中至少一种模式是稳定状态内燃机运行模式。

2. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述点火器位于所述漩涡路径的预定膨胀区域的所述燃烧器腔内。

3. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述燃料喷头以朝着所述燃烧腔的内壁的一预定角度喷射雾状燃料。

4. 如权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述燃料喷头经一面板喷射雾状燃料，所述面板具有气孔和燃料孔，其中所述气孔邻接位于所述面板中的燃料孔。

测试催化式排气净化器耐用性的方法和装置

相关申请

本申请要求对 2001 年 8 月 6 日提交的临时专利申请系列号 No. 60/310,345 的优先权，本文援引该文以供参考。

技术领域

本发明一般涉及一种用于测试在模拟的汽车长时间驾驶发生的状况下汽车催化式排气净化器的性能的装置和方法。

背景技术

汽车催化式排气净化器是一包含在排气总管和消音器之间的汽车排气系统中的排气控制装置。催化式排气净化器包含一个或多个诸如基于铂、钯，或铑之类的催化剂，它们降低碳氢化合物（HC）、一氧化碳（CO）和氮氧化物（NO_x）在废气中的水平，由此，减小从车辆排放到大气中的污染物。在典型的市场上销售的催化式排气净化器中，废气中的 HC 和 CO 氧化生成二氧化碳（CO₂）和水，而 NO_x 还原成氮、二氧化碳和水。

由于最近规章的发端，现要求包括催化式排气净化器的汽车排放控制装置具有较长的使用寿命。例如，美国环境保护署（EPA）在 1996 的 40 C. F. R. 86.094-2 中将汽车排放控制元件必须起作用的英里里程数从 50,000 提高到 100,000 英里。由于引入到典型的汽车内燃机废气内的成分对于排气净化器内的催化器起作一毒物作用，所以，该要求对催化式排气净化器提出了严峻的要求。

为了推定潜在的催化式排气净化器催化剂毒物的作用，必须要求有一测试装置和程序，其对会影响催化剂性能的各个可变物的长期作用作出评价。传统上，一直使用一内燃机来作这样的评估，然而，这样的装置一致性差，维护强度大，以及操作费用高。此外，这样一装置不便于分离诸如燃料组分和油组分作用的诸可变物的评估。再者，内燃机的油耗随内燃机的年龄、运行温度、速度，以及难于控制的其它变量而变化。

需要有一克服上述不足的测试装置和试验方法。

发明内容

因此，本发明的目的在于提供一种能克服现有技术中所存在的上述不足的用于模拟由一内燃机所产生的排气的系统。

为了实现上述发明目的，本发明提供了一种用于模拟由一内燃机所产生的排气的系统，包括：用于供给燃烧用受压空气的鼓风机；具有至少一个燃烧器的燃烧器系统，所述燃烧器用于容纳具有一定空气—燃料配比的空气和燃料，并且燃烧燃料以产生模拟的内燃机排气；所述燃烧器具有一充气腔室、一漩涡板、一燃料喷头、一燃烧管和点火器；所述漩涡板将所述燃烧管与所述充气腔室隔开；所述喷头将雾状燃料经所述漩涡板中的一钻孔传送至一燃烧腔；所述空气和燃料在所述燃烧腔内以一火焰燃烧；所述漩涡板将所述受压空气经一组内漩涡射流、一组外漩涡射流、一组内紊流射流、一组第一外紊流射流和一组第二外紊流射流传送到所述燃烧腔内；所述内漩涡射流和所述外漩涡射流倾斜设置，以便在所述燃烧管内形成一漩涡路径；所述内紊流射流朝着所述燃烧管的纵向中心倾斜设置，从而提供防止所述燃烧器的火焰与所述燃料喷头相接触的喷头罩；所述外紊流射流朝着所述燃烧管的纵向中心倾斜设置，从而提供使所述火焰与所述燃烧管的内壁之间的接触最少的壁罩；用于将来自所述燃烧器的所述排气传送至一排气控制装置的排气管；可操作用来控制所述燃烧器且模拟多个内燃机运行模式的计算机控制系统，其中至少一种模式是稳定状态内燃机运行模式。

较佳地，在上述系统中，所述点火器位于所述漩涡路径的预定膨胀区域的所述燃烧器腔内。

较佳地，在上述系统中，所述燃料喷头以朝着所述燃烧腔的内壁的一预定角度喷射雾状燃料。

较佳地，在上述系统中，所述燃料喷头经一面板喷射雾状燃料，所述面板具有气孔和燃料孔，其中所述气孔邻接位于所述面板中的燃料孔。

附图说明

图 1 示出系统的一实施例的示意图。

图 2A 是适用于本发明的一燃烧器的优选实施例的视图。

图 2B 是燃烧器圈出部分的特写图。

图 3A 是一漩涡板的前视图，漩涡板给予进入燃烧器的燃烧部分的空气以要求的漩涡运动。

图 3C 是图 3A 的漩涡板的后视图。

图 3B、3D 和 3E 是通过图 3A 和 3C 的漩涡板的截面图。

图 4A 是示出一适用于本发明的热交换器的实施例的局部剖视图。

图 4B 是相对于图 4A 的视图约转过 90° 的热交换器的另一部分的局部剖视图。

图 5A 是一适用于本装置的空气辅助的燃料喷射喷头的一实施例的分解视图。

图 5B 是图 5A 的空气辅助燃料喷射喷头的阳配件突缘端的前视图，示出空气喷射孔的结构。

图 5C 是图 5B 的空气辅助燃料喷射喷头的相对端的前视图。

图 5D 是一优选的空气辅助燃料喷射喷头的视图。

图 5E 是图 5D 的空气辅助燃料喷射喷头的阳配件突缘端的前视图。

图 5F 是图 5D 的空气辅助燃料喷射喷头的相对端的前视图。

图 6A 是示出适用于本发明的一油喷射系统的优选实施例的视图。

图 6B 是图 6A 的油喷射喷头的分解图。

图 7 是适用于本系统的一数据采集和控制系统的方框图。

图 8 是 SMD 为 20 微米的雾滴分布中的不同大小雾滴的雾滴轨线的图表（实施例 1）。

图 9 是一图表，示出用于本系统（50SCFM）和福特 4.6L, V-8 内燃机（50SCFM, 1500rpm, 90 lb-ft, 无 EGR）的测量的未净化废气的浓度，两者在同批的 CA Phase II 燃料上，以及在略微贫瘠和略微富有的废气 A/F 上操作。

图 10 是用来保持催化剂入口温度的一闭式环路风扇控制的逻辑示意图。

图 11 示出与内燃机相比拟的 FOCAS™ 上的 RAT-A 模拟。

图 12 示出对于平均的内燃机和燃烧器老化的催化剂的 FTP 性能退化的比较。

图 13 示出未老化和已老化催化剂的 THC 净化效率，其由基于内燃机的催化剂性能评价台架测得。

图 14 是 FTP 驱动循环的 505 和 867 状态的速度对时间的图示。

图 15 示出老化前后模态 THC 排放。

图 16 示出按催化剂和老化编组的平均 FTP 排放。

图 17 示出对于平均的内燃机和燃烧器老化的催化剂的 FTP 性能退化的比较

。

图 18 示出用于燃烧器系统的控制软件的面板。

图 19 示出在内燃机台架上和在燃烧器台架上操作的 RAT-A 循环过程中的催化剂床的温度。

图 20 示出预示燃料/空气流与燃烧器壁冲击的示意图。

图 21 示出作为空气辅助喷射角的函数的燃料在燃烧器上喷雾冲击的计算值。

图 22 示出冷起动，bag-1 的结果：燃烧器和内燃机老化催化剂。

图 23 示出在冷起动过程中，老化前后的累积的 THC 质量。

图 24 示出在冷起动过程中，老化前后的累积的 NO_x 质量。

图 25 示出根据老化类型，催化剂和老化时间的 THC 排放。

图 26 示出根据老化类型，催化剂和老化时间的 NMHC 排放。

图 27 示出根据老化类型，催化剂和老化时间的 NO_x 排放。

图 28 示出根据老化类型，催化剂和老化时间的 CO 排放。

图 29 示出在 FTP 冷起动状态过程中测得的质量排放。

具体实施方式

本发明提供一试验装置，其产生一成分和温度对应于由汽车内燃机产生的成分和温度的模拟的废气。如果需要的话，可在废气中添加精确的润滑油量。该装置和方法适合用来老化一汽车催化式排气净化器，或如果要求的话，老化一在模拟延长的驾驶条件下的小尺寸芯催化式排气净化器。该装置快捷地和精确地产生在模拟的延长运行的时间段内来自内燃机燃料和/或润滑油的添加剂和污染物对一全尺寸催化式排气净化器寿命的作用。该装置能产生一老化的催化式排气净化器，其可在实际的车辆上进行性能试验。

如在本文中采用的术语“汽车催化式排气净化器”，或“催化式排气净化器”，是指一全尺寸的排气控制装置，其适合于包含在排气总管和消音器之间的汽车排气系统中。如在本文中采用的术语“延长的驾驶条件”是指至少 50,000 车辆英里，且较佳地至少为 100,000 车辆英里。

如本文所说明的，本发明允许同时地或单独地确定在模拟的延长运行的时间段

内汽车燃料和/或润滑油中的添加剂和污染物对一催化式排气净化器寿命的作用。此外,本发明能够产生一适用于在实际车辆上进行试验的老化的催化式排气净化器的催化剂。

汽车燃料和润滑油的各种成分可促使催化式排气净化器中的催化剂劣化或毒化。例如,众所周知,由于作为抗爆化合物而添加到汽油中的四乙铅是已知的催化剂毒物,所以,含铅汽油可致使催化剂中毒。此外,如果内燃机的燃料和润滑油系统中的其它的成分通过内燃机并成为废气的一种组分,则它们也可起作催化剂毒物。例如,如果燃料中存在有硫,则其可以作为催化剂毒物存在于废气中。此外,如果磷和锌存在于内燃机润滑油中,则它们可以作为催化剂毒物存在于废气中。

本发明提供一独特的装置和使用该装置的方法,其能分离燃料和油的作用,允许精确地控制各个变量。本发明提供一由汽油或其它燃料燃烧排出的无油废气,燃料诸如有汽油;合成汽油;柴油;由煤、泥煤或类似材料产生的液化燃料;甲醇;压缩天然气;或液化石油气。排气管设置有精确的空气到燃料比控制,和一单独的雾化油系统,以便以不同的消耗率和氧化状态最后隔绝燃料和润滑剂的作用。该装置能够在不同的条件下进行操作,允许模拟内燃机运行的各种模式,例如,冷启动、稳态配比、贫瘠、富含、循环波动,等。

该装置包括:(1)一空气供应系统,其提供燃烧用的空气到燃烧器,(2)一燃料系统,其提供燃料到燃烧器,(3)一燃烧器系统,其燃烧空气和燃料的混合物,并提供合适的废气组分,(4)一热交换器,其控制废气的温度,(5)一油喷射系统,以及(6)一计算机控制系统。

空气供应系统

现参照诸附图,首先参照图1,图中示出该系统的示意图。一空气鼓风机30通过一入口空气过滤器20抽取周围的空气,并排出一加压的空气流。空气鼓风机30和质量流传感器50可以是本技术领域内的技术人员熟知的任何传统的设计。在一优选的实施例中,空气鼓风机30是一诸如富士电气VFC404A型的环式鼓风机的电动离心式鼓风机,而质量流传感器50是一汽车入口空气流传感器,例如,可从大部分汽车零件零售商店中购得的Bosh型0280214001。供应的空气体积通过调节旁通阀40予以设定,以产生一要求的空气流量,空气流量由质量流传感器50测定。

燃料供应系统

一标准的汽车燃料泵10通过一燃料管12将汽车燃料泵送到一电子致动的

燃料控制阀 14，然后，再到燃烧器 60（将在下文中详细描述）。如在本文中采用的，术语“汽车燃料”是指可用作汽车内燃机的燃料的任何物质，包括但不限于限制于：汽油、合成汽油、柴油、由煤、泥煤或类似材料中产生的液化燃料；压缩天然气；或液化石油气。

尽管可使用其它类型的控制阀，但较佳的燃料控制阀 14 是一电磁阀，其接收一由计算机控制系统发出的信号调制的脉冲宽度，并正比于脉冲宽度调节流到燃烧器的燃料流。电子致动的电磁阀 14 可以是本技术领域内的技术人员熟知的用脉冲调制信号进行操作的一种设计。在一优选的实施例中，电子致动的电磁阀 14 是可从大部分汽车零件零售商店中购得的 Bosh 频率阀型 0280 150 306-850。从燃料控制阀 14 出发，燃料通过管道输送到燃烧器组件内的空气辅助的燃料喷射喷头 16（将在下文中描述）。

燃烧器

燃烧器是如下文所述特殊加工的燃烧器，以形成燃料和空气的配比燃烧。在一优选的实施例中，燃烧器 60 是一能够产生雾化燃料的连续的配比燃烧的漩涡稳定的燃烧器。

现参照图 2，在一优选的实施例中，燃烧器包括一充气室 200 和一燃烧管 210。一漩涡板 18 从燃烧管 210 中分离充气室 200。燃烧管 210 由能耐极度高温的材料构造。较佳的材料包括但不限于限制于：因康镍合金（INCONEL）或不锈钢，并可选择地在 INCONEL 管的地方装备有一石英管，以便观察合成的火焰型式。

空气和燃料单独地引入到燃烧器 60 内。来自于质量流传感器 50 的空气通过管道进入充气室 200（图 2），然后，通过漩涡板 18 进入燃烧管中。漩涡板 18 装备有一燃料喷头 16。

燃料喷头

在第一实施例中，一空气辅助燃料喷射喷头 16 利用传统的方法接合在充气室 200 内的漩涡板 18 的中心处（图 2）。来自燃料供应管 12 的燃料输送到空气辅助燃料喷射喷头 16，在那里燃料与来自空气管道 15 的压缩空气混合，并喷射到燃烧管 210 中（图 2）。压缩空气管道 15 提供高压空气，以帮助燃料雾化。

图 5A 是空气辅助燃料喷射喷头 16 的一实施例。如图 5A 所示，空气辅助燃料喷射喷头 16 包括阳和阴突缘的配件，它们与漩涡板 18 接合。各种合适的接

合方法均为本技术领域内的技术人员所熟知。阴配件 250 具有一突缘端 252 和一基本上呈管形的延伸件 251。一阳配件 254 包括一突缘端 256 和一基本上呈圆柱形具有一相对端 268 的延伸件 253。圆柱形延伸件沿其长度配装在阴配件的管形延伸件内。在一优选的实施例中，管形延伸件 251 的内壁 259 和管形延伸件 253 的外壁 263 之间的间隙 270 较佳地约为 $1/8''$ 。间隙形成一用于燃料喷射的周向槽 257，它与燃料喷射孔 264 连通。

空气喷射钻孔 262（较佳地约为 $1/16''$ ）通过突缘端 256，并大致地平行于阳配件的管形延伸件 253 的轴线延伸到一与漩涡板 18 接口的钻孔 260。燃料喷射钻孔 264 从邻近空气喷射钻孔 262 的外壁 263 出发并径向向内延伸。空气喷射钻孔 262 以任何合适的方式与空气管道 15 接合。燃料喷射钻孔 264 以任何合适的方式与燃料管道 12 接合。

图 5B 是示出空气喷射钻孔 262 的结构阳配件的突缘端 254 的前视图。如图 5B 所示，五个空气喷射钻孔 262a-d 和 265 类似于游戏骰子上的数字“5”那样进行排列。具体来说，通过中心空气孔 265 的中心引出一直线和通过角上的空气孔 262 中的任何一个的中心引出一直线，当与沿图 5B 中 5x-5x 引出的一直线相比是，上述两直线将具有 45° 的夹角。换句话说，角上的空气孔 262a-d 的中心形成在一围绕中心空气孔 265 画出的正方形的四个角上。

空气辅助喷头 16 在接合时的所有部分的相对端的前视图示于图 5C 中。在此“靶心”图中，内圆周是阴配件的钻孔 260；下一个同心环是阳配件的管形延伸件 253 的相对端 268；下一个同心环是由阴配件的管形延伸件 251 和阳配件的延伸件 253 之间的间隙形成的环形槽 270；以及，最外环是形成端口 255 的突缘 252。

在燃料喷头 16 的一优选实施例中（图 5D-F），同样的零件给以与图 5A-5C 相同的标号。参照图 5D，空气喷射钻孔 262 呈倾斜引导燃料进入到用于混合和保护的空气罩盖，同时剪切通过燃料喷射钻孔 264 的燃料输入，使喷射的空气直接地通过燃料喷射流。燃料喷射钻孔 264 较佳地直接地指向到用于混合和保护的空气罩盖内。喷射角度使空间要求内的燃料雾化达到最大，并与漩涡板 18 协作。

空气辅助燃料喷射喷头 16 使用传统的方法接合在漩涡板 18 的中心处。空气辅助燃料喷射喷头 16 包括一适于与漩涡板 18 内的中心孔 244（图 3C）匹配的突缘的阳配件 252。在一优选的实施例中，在空气辅助燃料喷射喷头的外壁 254a 和漩涡板 18 的中心钻孔的壁 281 之间的同心间隙 270 较佳地从约 $0.2''$ 至约 $0.75''$ ，最佳

地约为 $0.25''$ 。空气辅助燃料喷射喷头 16 形成具有一由线 Y-Y' 代表的纵向轴线的空气喷射钻孔 262。线 Y-Y' 相对于线 5F-5F 形成沿漩涡板的内壁 280 画出的角度 x , x' 。角度 x , x' 较佳地约从 65° 至 80° , 较佳地约为 76° 。空气喷射钻孔 262 基本上可具有任何结构。在一优选的实施例中, 空气喷射钻孔 262 从一供应端 298 延伸到一喷射端 299, 并具有一内直径有效地允许燃料的适当流动。在一优选的实施例中, 空气喷射钻孔 262 具有的内直径从约 $0.060''$ 至 $0.080''$, 较佳地约为 $0.070''$ 。空气喷射钻孔 262 从供应端 298 延伸到在喷射端 299 上的燃烧管 210 (图 2)。

空气辅助燃料喷射喷头 16 包括一适于与漩涡板 18 的外壁 282 匹配的第一突缘端 252a。第一突缘端 252a 和外壁 282 的对齐可采取多种结构, 例如, 互补的槽, 互补的角, 或其它类型的匹配的机器配件。在一优选的实施例中, 第一突缘端 252a 和外壁 282 基本上是平的, 并互相平行, 沿大致垂直于纵向轴线 A-B 的线互相邻接。在一优选的实施例中, 第一突缘端 252a 从纵向轴线 (由 A-B 线所示) 径向向外地延伸到一距离, 该距离约从 $0.38''$ 至 $0.65''$, 较佳地延伸到约 $0.38''$ 的距离。

然而, 一第二突缘端不完全地必要; 在一优选的实施例中, 空气辅助燃料喷射喷头 16 还包括一第二突缘端 252b, 其从由 A-B 线限定的纵向轴线径向向外地延伸到一距离, 该距离约从 $0.3''$ 至 $0.45''$, 较佳地延伸到约 $0.38''$ 的距离。

如图 5D 所示, 第一突缘端 252a 和第二突缘端 252b 形成一包括一在供应端 298 处的端口 255 的流动腔室 297。该端口 255 的结构和尺寸不是关键的, 只要端口 255 允许一足够的燃料量通过流动腔室 297 到由空气辅助燃料喷射喷头 16 限定的燃料喷射钻孔 264。空气辅助燃料喷射喷头 16 的喷射端 299 形成燃料喷射钻孔 264, 其从流动腔室 297 延伸到在空气喷射钻孔 262 内的一开口 291 中。燃料喷射钻孔 264 基本上可具有任何的结构, 只要它们供应足够的燃料流。燃料喷射钻孔 264 具有一由线 R-R' 代表的纵向轴线, 其相对于线 5F-5F 形成角度 z , z' 。在一优选的实施例中, 燃料喷射钻孔 264 呈圆柱形并具有一约从 $0.020''$ 至 $0.040''$ 的直径, 较佳地约为 $0.031''$ 。较佳地, 角度 z , z' 约从 60° 至 80° , 较佳地约为 73° 。

在操作中, 燃料流动通过端口 255, 通过流动腔室 297, 且通过燃料喷射钻孔 264 和开口 291, 并喷射入空气喷射钻孔 262, 其导致空气和燃料同时地在空气辅助燃料喷射喷头 16 的喷射端 299 喷入。燃料在开口 291 处与空气碰撞, 导致流动的射流有效地与空气罩盖碰撞。用于喷射喷头 16 的所有部件的结构材料和尺寸将根据过程的操作条件变化。

如图 5E 所示, 空气喷射钻孔 262 包括在喷射端 299 处的诸开口 262a-d, 它们

的布置如同游戏骰子上的数字“4”。诸开口 262a-d 较佳地互相近似地间隔 90° （如 AB 和 A'B' 所示）。

图 5F 是空气辅助燃料喷射喷头 16 的供应端 298 的前视图。在此“靶心”图中，内圆周是钻孔 260，而其余的同心环包括第二突缘端 252b 的外表面 261。燃料从燃料管道 12 通过端口 255 流到喷射喷头 16，进入到燃料流动腔室 297 内，并通过燃料喷射钻孔 264 进入到空气喷射钻孔 262。

漩涡板

在一优选的实施例中，漩涡板 18 能产生高度紊流的漩涡燃烧，如图 3A-E 所示，以便在燃烧区域内提供一截顶圆锥的复杂型式和漩涡流。由漩涡板 18 造成的流道图形包括多个漩涡射流的互相作用，它们是旋涡射流 242 和 242a-c、253 和 253a-c 和紊流射流 243 和 248a-c、249 和 249a-c、以及 250 和 250a-c。这些射流的互相作用造成一坍塌和膨胀的漩涡流，两者的间隔较佳地大致等于燃烧管 210 的内直径的长度。在一优选的实施例中，燃烧管 210 的内直径是 4 英寸，而旋涡流坍塌和膨胀的每个间隔是 4 英寸。图形清晰地限定沿燃烧管 210 壁的流道，燃烧管 210 限定点火器 220 沿燃烧管 210 的位置。在本文描述的实施例中，点火器位于沿内漩涡射流（253a, b, c）的流道上的第一和第二全膨胀处。

在一优选的实施例中，如图 3A-3E 所示，漩涡板 18 是一大致呈圆形的盘，其厚度足以固定空气流动图形，并形成一有效保护燃料喷射器的“空气罩盖”。厚度通常约为 1/2 英寸或以上。漩涡板 18 具有一中心圆孔 255。空气辅助喷头 16 利用合适的方法配装在漩涡板 18 的该中心钻孔 255 内。在所述的实施例中，漩涡板 18 具有通过板的钻孔 240，以便连接空气辅助喷头 16。漩涡板 18 由能够耐受高温的基本上任何的材料制成，一种较佳的材料是不锈钢。

中心钻孔 255 由壁 244 形成。一般来说，位于离漩涡板纵向轴线一给定径向距离处的各种类型的射流具有四个元件（有时称之为射流的一“组”），它们沿一同心圆在离中心钻孔 255 一给定距离处约以 90° 间隔开。三组紊流射流 248、249 和 250 引导空气朝向中心钻孔 255。漩涡射流的内和外组 242、253 分别引导空气从漩涡板 18 的外圆周 256，并基本上平行于线 3C-3C 或 4E-4E（图 3C）通过沿燃烧器的方向对应的象限内的漩涡板的直径、

射流的精确的尺寸和角度定向将非常取决于燃烧器的内直径，在本文所述的实施例中该内直径约为 4 英寸。给出本文的描述，则本技术领域内的技术人

员能够修改漩涡板来用于具有不同尺寸的燃烧器。

射流的定向将根据漩涡板的前面 257、漩涡板 18 的纵向轴线 241、以及将漩涡板 18 划分为四个象限的图 3C 中的线 3C-3C 和 4E-4E 来进行描述。示出六个同心圆 244 和 244a-e (图 3C)，在内部以形成中心钻孔 255 的壁 244 为起始，并同心地延伸到漩涡板 18 的外圆周 244e。在本文所述的实施例中，中心钻孔具有 1.25 英寸的内直径，或 0.625 英寸的内半径。第一同心圆 244a 离壁 244 为 0.0795 英寸；第二同心圆 244b 离壁 244 为 0.5625 英寸；第三同心圆 244c 离壁 244 为 1.125 英寸；第四同心圆 244d 离壁 244 为 1.3125 英寸；以及，第五同心圆 244e 离壁 244 为 1.4375 英寸。

一组外漩涡射流标以 242 和 242a, b, c。一组内漩涡射流标以 253 和 253a, b, c。外漩涡射流 242 和 242a-c 和内漩涡射流 253 和 253a-c 相对于漩涡板 18 的表面 257 具有相同的角 z (图 3B)，较佳地为 25° 角。在一优选的实施例中，外漩涡射流 242 和 242a-c 和内漩涡射流 253 和 253a-c 具有内直径 $5/16''$ 。外漩涡射流 242 引导空气从入口点 242x 沿在燃料喷射侧 59 上的漩涡板的外圆周 256，到沿在燃烧器侧 60 上的圆 244b 的出口点 242y。外漩涡射流 242 的纵向轴线平行于在对应象限内的线 3C-3C 和 4E-4E 并离线间隔 0.44 英寸。内漩涡射流 253 沿在燃料喷射侧 59 上的圆 244b 从入口点延伸到沿中心钻孔 244 的燃烧器侧 60 上的出口点。内漩涡射流 253 的纵向轴线也平行于对应象限内的线 3C-3C 和 4E-4E。

空气罩盖射流 250 引导空气从沿圆 244b 直接向内朝向中心钻孔 255 的中心。空气罩盖射流 250 的纵向轴线沿线 (3C-3C 和 4E-4E) 走向。空气罩盖射流 250 的纵向轴线 251 相对于漩涡板 18 的纵向轴线 241 的角度 a (图 3D) 是 43.5° 。空气罩盖射流 250 较佳地具有约 $1/4$ 英寸的内直径。在漩涡板 18 上的燃烧器侧 60 上的外漩涡射流 242 的出口点 242y 较佳地沿纵向对齐，或沿平行于漩涡板的纵向轴线 241 的方向，使空气罩盖射流 250 的入口点在漩涡板 18 的燃料喷射侧 59。

空气罩盖射流 250 主要用来防止火焰接触空气辅助喷射喷头 16。从空气罩盖射流 250 流出的空气会聚在燃料喷射器 16 (图 1 和 2) 前面的位置，并形成一锥形的空气罩盖，其导致在漩涡板 18 的燃料喷射侧 59 (图 1) 上的低压区域，以及在漩涡板 18 的燃烧器侧 60 上的高压区域。在燃料喷射侧 59 上的低压区域有助于抽取燃料进入到燃烧管 210 内，而燃烧器侧 60 上的高压区域防

止燃烧器火焰附连到空气辅助喷射喷头 16 的表面上,并防止喷头 16 的焦化和过热。在一优选的实施例中,空气罩盖射流 250 会聚在喷头 16 前面约 0.5cm 至 1cm 处。

燃烧管 210 装备有若干个火花点火器 220 (见图 2)。在一优选的实施例中,三个基本上等间隔的点火器 220 位于由漩涡板 18 形成的气体“漩涡流道”内的燃烧管的圆周周围。在一优选的实施例中,这些点火器 220 是船用火花塞。

在另一实施例中,为了适用于燃烧低挥发性燃料。燃烧管 210 还装备有位于离喷射喷头 16 下游约一英尺处的陶瓷泡沫。基本上可使用任何合适的泡沫,较佳地是可从加利福尼亚州 91331 的 Pacoima 市的 Ultra-Met Corporation 购得的 10 孔/英寸的 SiC 陶瓷泡沫。

燃料喷射器和漩涡板的互相作用

燃烧器 60 和燃料喷射器 16 一起工作来提供基本上连续的和“有效配比燃烧”。如本文中所采用的术语“有效配比燃烧”是指保持燃烧管壁的完整性,而燃料喷射器基本上无焦化现象的配比燃烧。其结果,燃烧器可以配比地基本上连续运行至少 200 小时而不需维护保养。在一优选的实施例中,燃烧器可以配比地基本上连续运行至少 1500 小时而只需最少的维护保养。所谓最少的维护保养是指只变换火花塞。

(上述)的燃料喷射器 16 的设计考虑漩涡板 18 的主要特征,即:

1. 外紊流射流 248 和 249 (部分 3C-3C 所示)保持火焰不与燃烧管 210 的内壁持续的接触。因为燃烧器 60 连续地操作,并在配比(最热空气/燃料比的操作点)下延长的时间内,所以必须保持燃烧管 210 的壁的完整性。目前,INCONEL 燃烧管 210 已经暴露在 1500 小时的操作中,而没有劣化的迹象。该特征基本上不影响燃料喷射。

2. 内漩涡射流 242 在燃烧器内建立总的漩涡图形。从内漩涡射流 242 退出的空气在漩涡板 18 的下游约 3 英寸处冲击燃烧管 210 的内壁,并直接地与从燃料喷射器 16 喷出的燃料发生互相作用。

3. 内紊流射流 250 有时被称之为“空气罩盖”射流。从内紊流射流 250 中退出的空气会聚在燃料喷射器 16 前面的 0.75 英寸处。该特征提供两个非常重要的功能。会聚点在燃烧器 60 内形成一高压点,其防止燃烧器火焰附连到燃料喷射器 16 上(防止焦化)。第二个功能是直接与燃料喷射互相作用并影响火焰质量,该功能在于当雾滴进

入到燃烧器火焰时其剪切余下的大的燃料雾滴。

热交换器

从燃烧器 60 排出的废气走向到热交换器 70。热交换器 70 可以是本技术领域的技术人员熟知的任何类型的传统的设计。在一优选的实施例中，热交换器 70 包括两个部分。上游部分包括一水套管。下游部分是一垂直的横向流的壳和管的热交换器。垂直的横向流设计最大程度地减小蒸汽的形成和蒸汽分离在冷却管内。热交换器 70 设置有一入口水管 80 和一出口水管 90，它们供应和排出冷却水来将废气冷却到模拟存在于典型的汽车催化式排气净化器入口处的一温度。

现参照图 4，其示出优选实施例的热交换器的细节，对于上游部分，一壳 305 配装有一水入口连接 306。壳 305 对包含从燃烧器排出的废气的内管起作一水套作用。水流过设置有若干个折流板 308 的水套，以引导水绕过内管的所有部分。在下游端处，壳 305 配装有一出口水连接 309。

对于热交换器的下游部分，壳 310 配装有一水入口连接 320，它又连接到一入口集管 330。入口集管 330 与从壳 310 的底到顶延伸的多个半英寸的管 340 流体连通，由此，多个半英寸的管在位置上与配装有一出口水连接 360 的出口集管 350 流体连通。在操作中，热废气引导通过废气与多个半英寸的管 340 接触的壳 310。冷却水循环流入入口水入口连接 320，于是，其被入口集管 330 引导流过多个半英寸的管 340。存在于废气中的热量传导到冷却水中，在图 1 的热交换器 70 的出口处形成一温度降低的废气。

油喷射系统

接下来，废气走向到一油喷射部分 110（图 1）。油喷射部分提供一雾化的油喷射，其包括具有充分小直径的油雾滴，以便在其到达催化剂之前蒸发和氧化油。油喷射系统可位于燃烧器下游的任何地方。

利用一 Malvern 激光颗粒尺寸仪进行一系列的试验，以确定作为气体辅助管内的氮气压力的函数的较佳的油雾滴尺寸。合适的油滴尺寸具有小于 80 微米的沙得（Sauter）平均尺寸，较佳地沙得平均尺寸约为 20 微米或更小。

在操作中，借助于一油泵 160 从一油箱 150（图 1）抽取内燃机油的取样。基本上可使用任何类型的泵，较佳地是一蠕动泵，其从油箱通过一油喷射管 140 将油输送到一水冷却的探针 120，油从该探针喷射到存在于油喷射部分 110 内的废气中。

油喷射系统安装在一四英寸直径的管子上，并放置在废气温度近似为 600℃的位置上。在一优选的实施例中，油喷射部分 110 构造成如图 6A 和 6B 所示。在此实施例中，一分离的油喷射管道 434 和氮喷射管道 410 通过一连接 430，该连接 430 旋入到喷射部分外壳 432 内和旋入到在喷射部分外壳 432 内的水冷却套筒 420 内。油喷射管道 434 与油喷射喷头 440 的机加工的油环 444（图 6B）连通。氮喷射管道 410 与油喷射喷头 440 的机加工的空气环 448（图 6B）连通。除机加工的油环 444 和机加工的空气环 448 之外，油喷射喷头还包括一修改的螺栓 442，一 O 形环密封 446，一备料射流 450，以及一备料喷头 452。

在操作中，一冷却剂溶液（较佳地为水）连续地循环通过套筒 420，其夹套油喷射管道 434 和氮喷射管道 410，致使油和氮喷射器系统保持在要求的温度上。润滑油通过油喷射管道 434 泵送到喷头 440，在那里，油与氮进行混合。合成的氮/油混合物通过喷头 440 喷射到废气中。已与喷射的油混合的废气最终通过一汽车催化式排气净化器 170，其后，废气通过一排气管 180 排气到大气中。

计算机控制系统

现参照图 7，设置一适用于本发明的数据采集和控制系统。该系统较佳地提供一装置，其控制点火、空气辅助燃料喷射器、辅助空气、燃料输送、鼓风机空气输送、油喷射等（下文中将更完全地予以描述）。合适的控制系统的实例是一比例积分微分（PID）控制回路，例如，用来控制燃料计量。

数据采集系统包括一系列测试探针 610、620、630，它们采集有关多种参数的数据。合适的参数选自下面的组群：系统中的质量流；空气/燃料比（线性和 EGO）；离热交换器出口处的废气温度；到催化剂的入口处的废气温度；离催化剂的出口处的废气温度；以及它们的组合。在一优选的实施例中，采集上述所有参数的数据。由测试探针测得的信息通过电子信号传输到一电子数据记录系统 650。在一优选的实施例中，电子数据记录系统包括一带有程序的计算机系统，该程序使计算机定期地测量所有上述的参数，将所有获得数据记录在硬盘驱动器上。

较佳地，数据采集和控制系统监视代表安全性的测试（例如，通过证实燃烧器是否点着，废气是否在对于温度和空气/燃料比的规定的限值内）。控制系统包含一自动起始和自动关闭的选项。燃烧器燃料被致动之后，一组安全校合自动地起始，并监视燃烧器的故障。在测试进行过程中，程序以 4Hz 采集数据，以 0.5Hz 储存数据，并以 1Hz 显示催化剂入口、床和出口的温度以及测得的空气对燃料比，以允许

操作者观察系统的总体稳定性。长时间无人照看情况下操作一汽油燃料燃烧器可能是危险的。系统使用三个内置的安全限值来检查系统的故障。在燃料喷射致动后的四秒钟内，热交换器出口必须达到大于 100°C 的温度，并在运行过程中，保持最小的安全设定点水平，这指示燃烧器已合适地点着并保持点燃。第三设定点检查催化剂床的温度，以证实催化剂不处在对试验有害的温度。如果任何的安全设定点均得到兼顾，则计算机程序关闭所有的试验系统，分流鼓风机的气流，致动两分钟氮的吹洗进到燃烧器头，以熄灭燃烧器火焰，并在氮气中暂停任何未燃烧的燃料，由此，阻止试验装置内大的发热反应。一光亮的红屏显示，描述系统关闭的状态，以及数据和时间。在兼顾安全性后的十分钟内以 4Hz 连续地记录数据。

此外，当探测到失去电力时，也致动氮吹气系统，随后紧跟着安全关闭。

在一优选的实施例中，数据采集和控制系统还能控制多个参数，其中包括控制润滑油喷射和燃烧器系统。计算机装备有接触屏监视器和一连接到一数字中继模块上的多功能的 DAQ 卡，以监视和记录系统信息，并控制系统的电子系统。使用计算机接口，操作者可切换电源到鼓风机和燃料泵，并控制空气辅助燃料喷射器、燃烧器火花、油喷射，以及辅助空气，所有操作通过接触屏。系统温度、用于燃烧器空气的大量空气流，以及燃烧器空气对燃料比经测量后转换为工程单位。软件程序使用测得的数据来计算总的废气流量和燃烧器空气对燃料比，并校合指示系统故障的状况。燃烧器空气对燃料比可控制为开式或闭式回路，或者保持规定的燃料流量，或者保持规定的空气对燃料比。通过变化供应到燃烧器的燃料比率（修改一固定的频率控制波形的脉冲占空周期），可达到空气对燃料比的控制。不管何时需要的时候，可致动开式回路的控制，以允许操作者进入一固定的燃料喷射脉冲占空循环。可致动闭式回路控制，其中，测量实际的燃烧器空气对燃料比，并与测得的空气对燃料设定点的值进行比较，然后，调整燃料喷射器占空循环以纠正测得的误差。程序的面板用来允许使用者输入一老化循环，并使用一单一屏来进行试验。

在一优选的实施例中，数据采集和控制系统设置有一计算机程序来控制系统，并获得和处理来自测得的参数中的信号。计算机程序可以本技术领域内的精通人士熟知的各种不同的方式写入。控制器较佳地设置有一闭合回路的风扇控制，以保持催化剂入口的温度，较佳地围绕一设定点温度约从 -50°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ ，较佳地围绕一设定点温度约从 -5°C 至 $+5^{\circ}\text{C}$ 。设定点温度受被模拟的循环所支配。图 10 示出一合适的闭式回路风扇控制的示意图，其中，控制器的输出从关闭至低速到高速变化冷却风扇的速度。

参照下面的工作实例（它们仅是为了说明而已）本发明将会得到更好地理解。

实例 1

实施一系列的试验来确定喷射入系统内的润滑剂的雾滴的尺寸。雾滴尺寸试验的结果示于图 8 中。该图示出作为预计油流量 0.8mL/min 的空气压力的函数的微米级的雾滴的“沙得平均直径”（标以 $D(3, 2)$ ）。沙得平均直径（或 SMD 或 D_{32} ）是一理想的单分散喷雾的雾滴的直径，该喷雾具有与实际的多分散喷雾相同的表面面积对体积的比。表面面积对体积比与喷雾的蒸发率相关，这样，SMD 对于蒸发或燃烧喷雾是喷雾特性的一公共测量。SMD 数学上定义如下：

$$SMD = D_{32} = \frac{\sum \phi n_i D_i^3}{\sum \phi n_i D_i^2}$$

其中， n_i 是尺寸级 D_i 的雾滴数。从图中可见，雾滴尺寸随空气压力的增加而减小。如果没有其它的考虑，最高压力将用来给出最小雾滴，由于要求具有尽可能多的油蒸发。然而，对于此装置，氮（不是空气）被用作“空气辅助”气体。无论从操作成本的观点，还是将废气流中的氮的百分比保持在尽可能低的水平上来看，氮的消耗较佳地保持在最小。其结果，在雾滴尺寸和压力之间存在着一交替换位。在装置的优化试验过程中，确定可接受的压力。

为了帮助确定压力—雾滴尺寸的交替换位，使用一计算机程序（TESS, Southwest Research Institute）来运行一计算机模拟过程，其计算在液体雾滴喷射的下游的不同位置处蒸发的液体量。计算机模拟假定—2.5 英寸直径管和在 400°C 的 50scfm 的废气流。油喷雾具有 20 微米的 SMD。喷雾的半角相对于中心线为 9 度。

图 8 示出在 SMD 为 20 微米的雾滴分布中的各种尺寸的雾滴的轨线。较大的雾滴在喷头下游约 250mm 处击中 2.5 英寸直径管（31.75mm 半径）的壁。采用 20 微米的 SMD，约 75% 油蒸发，25% 撞击在壁上。采用 30 微米的 SMD，在撞击在壁上之前只有 50% 油蒸发。根据该数据，重要的是具有尽可能小的 SMD。

实例 2

为了证明装置能对全尺寸催化式排气净化器油喷射耐用性提供有用的信息，实施一系列试验。实施的试验采用的催化剂砖表示在下表中：

催化剂制造商	Englehard
名称	FEX-010-M2
尺寸	3.268" 直径 × 3.0" 长

元密度	400 元/平方英寸
催化剂金属	钯/铑@9:1
金属载荷	60g/cu. ft.

用于试验的完全合成的润滑油是指：润滑油具有清洁剂和其它的添加剂以及基础的润滑剂原料。润滑剂油描述在下面表中：

	No. 1 油	No. 2 油
SwRI 标识	EM-2209-E0	EM-2210-E0
SAE 粘度	5W30	5W30
密度, g/cu. Cm	0.867	0.865
重量百分比磷	0.11	0.06

现代计算机控制的车辆内燃机提供两种燃料控制模式，一种在催化剂达到操作温度之后的开式回路控制（内燃机曲柄，预热，急加速），以及配比闭式回路控制（部分节流和空转状态）。在闭式回路模式过程中内燃机的空气对燃料比在略微富有和略微贫瘠之间恒定地摄动（由于用于反馈的废气氧传感器的开闭的开关型操作）。因此，利用富有的开式回路（稳态）模式和摄动的配比闭式回路模式来执行性能评估试验。HC、CO 和 NO_x 的转换有效地达到 50%时的温度在富有的稳态空气对燃料比试验过程中进行评估，而催化剂 HC、CO 和 NO_x 在 425℃时的效率在摄动配比试验过程中进行评估。

点燃和稳态的效率评估的结果呈现在下表中。数据按喷射油量递增的次序排列，而不是按催化剂老化或评估的时间次序排列。

确认的试验结果

芯	位置 英寸	小时	使用 油 mL	油 mL/hr	磷 (P) 重量 百分比	总磷 (P) 克	磷 (P) mg/hr	富有稳态			摄动配比		
								温度℃ 50%转换			%转换 @425℃		
								HC	CO	NO _x	HC	CO	NO _x
REF	N. A.	0	0	0	0	0	0				71	96	50
B4	30	25	500	20	0.11	0.476	19.05	374	310	314	88	98	52
B5	30	25	500	20	0.06	0.260	10.39	377	312	335	88	99	47
B4 (平均 2)	30	50	1000	20	0.11	0.953	19.05	372	313	329	84	95	44
B5	30	50	1000	20	0.06	0.520	10.39	374	319	341	86	93	53

(平均 2)													
B1	56	37.5	3781	100.8	0.11	3.602	96.05	382	320	330	79	88	44

确定从摄动配比试验中得到的作为喷射油量函数的 HC、CO 和 NO_x 的催化剂转换效率。对于 HC 和 CO，在最小喷射油量和最大油量之间的转换效率上有 10 个百分点的下降。对于 NO_x，在同样的喷射油量范围内有约 5 个百分点的下降。应注意到，尽管在 0.11 重量百分比的磷油和 0.06 重量百分比的磷油之间有时存在转换效率的差异，但与百分比磷没有明显的相关。

在富有点燃的过程中获得作为喷射油量函数的 50%的转换效率，确定此时的温度。从上面的确认试验结果表中可见，在 HC、CO 和 NO_x 的 50%转换效率温度上只有略微的增加，这指明在催化剂对点燃的能力上有略微的变劣。然而，该温度的增加是很小的。从效率的测量上可见，在 0.11 和 0.06 百分比磷油之间似乎没有点燃温度的测量差异。

本技术领域内的技术人员一般地认为油中的磷毒化催化式排气净化器的催化剂。因此，对于相等的喷射油量，可以预计带有较高磷含量水平的油将在较大程度上毒化催化剂。这个趋势在上面的确认试验结果中不显然可见。由此引起的问题是：随着变化的磷的水平催化剂的特性是否真正不存在差异，至少在试验的范围内，或本发明是否不能重现在实际内燃机操作中可见的差异。为了更完全地探索催化剂性能的差异，根据重量百分比的磷，油密度以及喷射的油量计算在各试验过程中喷射的磷含量。喷射的油和磷的总量，以及每次试验的油和磷的喷射率，也呈现在上面的确认试验结果表中。

作为总的磷质量喷射的函数的 HC、CO 和 NO_x 的摄动的转换效率分别地予以确定。比较作为磷质量的函数和喷射油的函数的所有的排放的转换效率，对于磷质量绘出的图显示出比油耗绘出的图略少的数据分散。这种观察对比给予假设予以确信的佐证：正是油中的磷毒化催化剂。确定作为总的磷质量的函数的对于富有的点燃试验的 50%转换温度。可见较之先前的实例具有较少的数据分散。

实例 3

进行试验来比较典型的汽油燃料的内燃机排出的废气和本发明的燃烧器系统。图 9 示出本系统（50SCFM）和福特 4.6L，V-8 内燃机（50SCFM，1500rpm，901b-ft，无 EGR）的测量的未净化废气浓度，两者均以同一批的 CA Phase II

燃料，略微的贫瘠和略微富有的废气 A/F 运行。采用测量的未净化的废气成分和燃料特性（一种本技术领域内技术人员熟知的方法）计算 A/F。

图 9 示出较之福特 4.6L 内燃机本系统的废气包含远低得多 THC 和 NO_x 的水平。CO 水平约是内燃机水平的二分之一至四分之三，而 CO_2 和 O_2 大致相同（这两种元素主要受 AFR 的控制，而不是燃烧条件的控制）。因为燃烧器由于稳定而高蒸发的燃料流，且如在内燃机中的无导致部分燃烧的熄灭的区域，所以 THC 较低。因为燃烧器在接近大气压力下操作，不象在一内燃机中， NO_x 是高压燃烧的结果，所以， NO_x 较低。然而，可认为本系统的废气足够地类似于内燃机的废气，因为对于潜在的催化剂毒物，可认为废气只是一“载体气体”。

实例 4

为了比较由瞬时应用产生的结果和用实际内燃机获得的结果，这些结果可与下文中提供的结果进行比较，由 Beck, D. C., Somer, J. W. 和 DiMaggio, C. L. 所著的“紧密偶联的点燃和装于车底下的催化式排气净化器的催化剂活性的轴向特征”一文可见应用催化作用 B: 环境卷 11(1977), 第 257—272 页, Elsevier Science B. V. (“Beck”)。Beck 车具有一 3.8 升的 V-6 内燃机，其带有从每排内燃机气缸出来的排气管中的紧密偶联的“点燃”的催化式排气净化器，以及从组合到包含单一车底下净化器的单一管中的诸出口。点燃的催化剂在 75g/. cu. ft. 载荷处仅包含钯。该催化剂类似于在实例 2 的第一表中所述的瞬时应用的试验中使用的催化剂。

磷趋于更多地聚集在催化剂的上游端。在 Beck 车中，三英寸长的点燃催化剂被切割成三部分，从上游面开始每个一英寸厚。可以预料，包含在每个部分内的磷随离前面的距离而减少。每个部分的磷分析表明：上游部分包含 1.6 重量百分比磷，中间部分包含 0.9 百分比，以及下游部分包含 0.25 百分比磷。类似于用来确定瞬时应用的转换效率的取样，对取自 Beck 催化剂的取样进行试验，测试其在合成气体反应器系统内的转换效率。在配比的空气对燃料比和对 HC、CO 和 NO_x 的 600℃ 下分别地试验取样的预热特性。与带有不同水平磷的瞬时应用的确认试验相比，Beck 从三种取样中呈现的转换效率具有三种不同水平的磷毒化。此外，Beck 陈述“磷和锌的绝对浓度与已经大大老化的净化器系统中发现的那些浓度相一致”，并提出用于该研究的车辆以相对公称的速率耗油。该 56,000 英里的名义的暴露也可与 37.5 小时的 100mL/hr 的瞬时应用的最大确认试验下比拟，后者与大致 37,500 英里的名义暴露相当。因此，瞬

时应用的转换效率的结果看来在数量上可与 Beck 研究的转换效率的结果相比拟，假定在该研究和瞬时应用的确认试验中的最大含磷率都代表对于大约 50,000 英里的名义油耗。

比较 HC、CO 和 NO_x 的转换效率和两种研究中增加的磷含量，在两组数据的数据范围上存在有约 10% 的 HC 效率的下降。对于 CO 效率，对两组数据下降小于 10 个百分点。对于 NO_x 效率，随增加的磷含量效率下降的总趋势与两数据组相同，但从 Beck 研究得出的数据组比瞬时应用的数据有略微较大的下降。从瞬时应用得出的数据也显示比 Beck 数据低的 NO_x 效率。总体上来说，数据组看来非常相似，因此，证实瞬时应用可产生类似于野外见到的磷毒化的数据。

实例 5

本工作的目的是开发一用于 FOCASTM 燃烧器系统（如果必要的话添加的副系统）的控制方法，其允许燃烧器模拟废气温度、流量，以及由内燃机在加速热老化过程中产生的 AFR。接下来，通过确定燃烧器系统是否提供与内燃机相比拟的加速热老化来对该方法的确认。采用通用内燃机快速老化试验型式 A

（RAT-A）进行老化试验，该研究的确认部分检查在六个类似催化剂之间的老化差异。三个催化剂采用汽油燃料内燃机进行老化，另三个催化剂用于修改的 FOCASTM 燃烧器系统。两个系统编程在内燃机试验循环技术规格书要求下运行，以提供同样的入口温度、AFR 曲线，以及催化剂空间速度条件。在限定的间隔和老化结束时测量催化剂的特性，并在两个系统之间进行比较。此外，评估和比较各系统的温度变化和重复性以及 AFR 控制。

一工业界认可的基于内燃机的催化剂加速老化循环（其用作本研究中的一参考点）是通用内燃机快速老化试验型式 A（RAT-A）循环。RAT-A 循环的模拟在 FOCASTM 燃烧器系统上进行，并与在内燃机上运行的循环进行比较。业已证实燃烧器可以用来产生与由内燃机产生的曲线相比时，在催化剂内的非常类似的热力曲线。热偏移的形状可以再生，而进入到催化剂内的 AFR 可被控制和再生。在两个系统之间可注意到两种差异；在进入到燃烧器系统内的催化剂之前，排气管中出现某些反应剂的燃烧，而 FOCASTM 燃烧器比内燃机具有更紧密的 AFR 控制。反应剂在催化剂前的燃烧导致在热偏移过程中峰值温度的位置略微向前移动。由内燃机和燃烧器产生的热力曲线，连同每个系统的测得的 AFR 示于图 11 中。

然后，通过使用 FOCASTM 燃烧器系统来老化催化剂，测试类似性。在程序的

试验部分中，六个催化剂在 RAT-A 循环上持续 100 小时老化；三个在内燃机老化台架上，三个在 FOCAS™ 燃烧器系统上。在限定的间隔和老化结束时测量催化剂的特性，并在两个系统之间进行比较。此外，评估和比较各系统的温度变化和重复性以及 AFR 控制。

特性评估包括：比较在联邦试验程序（FTP）上的控制的排放，以及使用基于内燃机的催化剂特性评估装置来测量作为废气空气/燃料比（AFR）的函数的催化剂转换效率及催化剂点燃温度。FTP 排放采用一 1998 Honda Accord 汽车，而基于内燃机的催化剂特性评估在一内燃机台架上进行。

FTP 特性评估显示燃烧器和内燃机产生相当的老化作用，导致对于 THC、CO 和 NO_x 的劣化因素，THC、CO 和 NO_x 从统计上讲在两种方法之间没有差异。图 12 示出对于内燃机老化和燃烧器老化的催化剂在老化前和老化后的平均 FTP 特性。基于内燃机的催化剂特性评估揭示：两种方法在接近的配比（其中调节一汽油内燃机运行）产生相当的结果。然而，如从配比导出的 AFR 至富有的侧，业已观察到，燃烧器老化导致对于 THC 和 CO 更严重的老化效果（在 AFR > 14.1 时，轻微，在 AFR < 14.1 时，更严重）。尽管在此效果中差异小且离典型的操作位置偏移，但可注意到是一差异。图 13 示出作为 AFR 函数的测量的 THC 转换效率以及催化剂老化。

最终的催化剂评估涉及催化剂取芯，以及分析表面区域和成分。两个分析运行是用于表面区域和多孔性评估的 BET（Bruhauer-Emmett-Teller），以及用于成分分析的 PIXE（中子诱发的 X 射线发射）。BET 试验提供在基底和修补基面涂层表面区域上的信息。该分析可与热降级相关。PIXE 提供在基底、修补基面涂层和在催化剂表面上的任何沉积的成分上的信息。PIXE 分析可提供在内燃机和燃烧器（其提供无油老化）之间的催化剂上的沉积中的差异的信息。业已发现催化剂由非常类似水平的修补基面涂层组成，若非 FOCAS™ 老化的催化剂具有明显的缺乏由油形成的沉积。然而，在内燃机老化的催化剂上发现的油沉积的水平是小的，可能它们不影响特性。

总的来说，业已发现，FOCAS™ 燃烧器系统提供一用来模拟内燃机老化循环的灵活的装置，并产生与内燃机循环相当的热老化结果。事后分析表明 FOCAS™ 老化提供缺少非热老化（即，油沉积）情况下的热老化，由此，形成一用于最后隔绝热和非热老化效果的装置。使用燃烧器提供一内燃机的老化的某些优点包括：非常紧密的 AFR 控制（±0.02AFR），非常宽范围的稳定 AFR 操作（8:1 至 25:1），较少的运动部件（一鼓风机和一燃料计量阀），以及最少的调整来达到设定点。再者，一燃

烧器可以非常高的温度运行而不严重损坏系统的部件，形成一低成本、低风险的非常高温循环的模拟。

实例 6

采用七个通用的设计标准/准则来设计优选的燃料喷射器。这些标准是：

1. 空气通道内的压力不超过燃料通道内的压力，否则燃料流将中断。假定燃烧器流是稳态（合理的假设）：

$$\text{对于空气: } \frac{P_{1A}}{A_{1A}} \times A_{2A} = P_{2A} \quad \text{对于燃料: } \frac{P_{1f}}{A_{1f}} \times A_{2f} = P_{2f}$$

2. 要求的燃料入口压力（根据燃料泵的技术条件）是 $40\text{psig} < P_f < 60\text{psig}$ 。

3. 燃料流的区域在给定的操作压力范围内必须对要求的流动范围提供足够的燃料流。

4. 燃料孔的尺寸必须是标准的钻头尺寸，并必须足够大以允许机加工而无过度的困难。

5. 燃料/空气喷雾应对准在空气罩盖外会聚，以保持燃烧器火焰远离燃烧器壁的距离尽可能长。

6. 燃料射流会聚的直接点在空气罩盖后面。调整 P_A 可用来变化燃料喷雾相对于空气罩盖的位置。

7. 在组合的出口孔的中心处保持燃料和空气射流的互相作用点，以防止驱动燃料喷雾到喷射器的内壁。这将导致油滴和喷射器面的焦化。

8. 雾化和稳定的程度采用石英燃烧器用目视确定。评估根据火焰的蓝色度（橙色火焰指示多烟灰状态），煤烟形成的可能（由检查喷射器、燃烧器、热交换器和排气管加以评定），以及火焰的稳定性（使用一线性 AFR 传感器进行评定）。

由于设计燃烧器主要在配比下操作，所以，使用要求的总的废气流和用来老化的燃料的配比 AFR，来计算要求的燃料流。下列分析呈现用于以配比操作的燃烧器所要求的燃料流的计算，其中，总的废气流为 70SCFM。

$$m_{\text{exh}} = 70\text{SCFM} = 2.3015\text{kg/min}$$

$$m_{\text{fuel}} = m_{\text{exh}} \times \text{AFR}_{\text{stoich}}^{-1} \times 1 \text{ lb}/0.45359 \text{ kg} \times 60\text{min/hr}$$

$$m_{\text{fuel}} = 21.28 \text{ lb/hr} \quad \text{以配比}$$

$$m_{\text{air}} = m_{\text{fuel}} \times (\text{AFR}_{\text{avg}}/\text{AFR}_{\text{stoich}})$$

$$AFR_{avg} = (16/60 \times 13) + (44/60 \times 14.4) = 14.03 \quad \text{RAT-A}$$

循环

$$m_{air} = 65.1 \text{ SCFM}$$

因此，燃烧器在循环上的能耗率是：

$$Q = m_{fuel} \times \text{燃料的能量}$$

$$Q = m_{fuel} \times 18,400 \text{ BTU/lb} = 21.28 \text{ lb/hr} \times \text{hr}/3600 \text{ sec} \times 18,400 \text{ BTU/lb} \times 1.055$$

$$Q = 115 \text{ kW}$$

参照图 20，距离 l_1 是燃烧器管的半径，而 l_2 是与燃烧器管 210 的内壁冲击的距离。距离 l_2 可用几何方法进行计算，但然后对与燃料射流（其趋于延长 l_2 ）和内漩涡射流 242（其趋于缩短 l_2 ）互相作用进行修整。内漩涡射流 242 具有最大的冲击。X、X' 的最终角是燃料剪切和雾化（其随低的 X、X' 改进）的函数，并通过引导燃料喷雾到图 3 中的外漩涡射流 253 会聚（约离漩涡板的面四至五英寸）的区域内，防止与燃烧管 210 壁的冲击。这些外漩涡射流 253 帮助火焰最热的部分保持远离燃烧管 210 的内壁，其能使燃烧器在延长的时间段内配比地运行。表 1 示出燃料喷雾与燃烧管 210 壁的计算的冲击（有和没有漩涡射流的互相作用）。从这些数据，建立两个燃料喷射器，E-62 和 E-76（其中，数字是指角 X、X' 的度数）。

表 1

空气喷射角 X、X'	计算冲击距离 无互相作用， 英寸	观察的冲击， 英寸	计算介质互相作用的 冲击距离， 英寸
60	2.75		2.5
61	2.88		2.57
62	3.03		2.64
63	3.18		2.71
64	3.34		2.8
65	3.52		2.89
66	3.71		2.98
67	3.92		3.08
68	4.14	3.25—3.5	3.2
69	4.38		3.32

70	4.65		3.45
71	4.95		3.6
72	5.27		3.76
73	5.63		3.94
74	6.04		4.14
75	6.5		4.37
76	7.02		4.64
77	7.62		4.94
78	8.32	5	5.29
79	9.15		5.7
80	10.13		6.19

实施诸多试验来开发一用于 FOCAS™ 燃烧器系统（如果需要的话，添加的副系统）的控制方法，其允许燃烧器模拟废气温度、流量，以及在加速热老化过程中由内燃机形成的 AFR。通过确定燃烧器系统是否提供与内燃机相比拟的加速热老化来对该方法确认。采用通用内燃机快速老化试验型式 A（RAT-A）循环进行老化试验，该研究的确认部分检查在六个类似催化剂之间的老化差异。三个催化剂采用汽油燃料内燃机进行老化，另三个催化剂用于修改的 FOCAS™ 燃烧器系统。两个系统编程在内燃机试验循环技术规格书要求下运行，以提供同样的入口温度、AFR 曲线，以及催化剂空间速度条件。在限定的间隔和老化结束时测量催化剂的特性，并在两个系统之间进行比较。此外，评估和比较各系统的温度变化和重复性以及 AFR 控制。

使用基于内燃机的催化剂特性评估台架来试验系统的基线的特性。催化剂的特性是作为废气的空气/燃料比和废气温度函数进行测量。通过在 RAT-A 内燃机老化循环上持续四小时操作，催化剂被分级。然后，重新评估各催化剂的特性。各系统然后安装在车辆上，并实施两个联邦试验程序（FTP）的评估。FTP 是底盘基的车辆排放试验循环，用来证明车辆的排放和燃料的经济性。从 FTP 循环出来的排放根据车辆的类型由 EPA 进行调节。选择六个特性最接近的催化剂，并随机地分配到老化的内燃机或燃烧器。第七个催化剂是“调定”催化剂。

试验设备和程序

从 Phillips 66 中获得的一合格级的 California Phase II 的汽油用作整个车辆试验的试验燃料。下表给出该燃料供货商的分析结果。

项目	技术规格		供货商 分析
	ASTM	无铅的	
辛烷, 研究	D2699	93 (min)	97.7
灵敏度		7.5 (min)	10.3
Pb (有机), g/U. S. gal	D3237	0.050	NR
蒸馏范围:			
IBPEF	D86	75-95	104
10%点, EF	D86	130-150	143
50%点, EF	D86	200-230	206
90%点, EF	D86	290-310	292
EP, EF	D86	390 (max)	375
硫, 重量百分比%	D1266	0.10 (max)	31
磷, g/U. S. gal.	D3231	0.005 (max)	0.001
RVP, psi	D323	6.7-7.0	6.8
碳氢化合物成分:			
芳香族, %	D1319	23-25 (max)	23.5
石蜡, %	D1319	4-6 (max)	5.95
饱和, %	D1319	a	-----
^a 剩余的 NR- 未报告			

泵级的 California Phase II 的汽油用作老化和进行评估, 两种燃料的差别是泵级具有防止内燃机沉淀的清洁剂。

A. 底盘功率计试验

所有的排放试验根据 EPA 联邦试验程序 (FTP) 实施, 该程序利用城市功率计驱动计划 (UDDS)。UDDS 是各集团十多年努力的结果, 他们改变洛杉矶产生烟气的驾车状况为底盘功率计操作, 并以 19.7mph 的平均速度在 1372 秒内无重复地驾车循环达 7.5 英里。其最大速度为 56.7mph。

一 FTP 包括一冷起动 505 秒, 冷瞬态 (Bag1), 其后立即是 867 秒的稳态

(Bag2)。在稳态之后，允许车辆在热起动之前内燃机关闭保温 10 分钟，505 秒热瞬态 (Bag3) 以完成试验。对于 3-bag FTP，行走距离是 11.1 英里，平均速度为 21.6mph。车辆的废气被收集、稀释，并彻底地与过滤后的本底空气混合，用一正压的往复式泵达到已知的恒定体积流量。该程序已知为恒定体积采样 (CVS)。稀释的废气的成比例的取样被收集在一采样袋中，以供在试验结束时进行分析。排放在数学上进行加权，以代表由冷和热起动造成的若干个 7.5 英里行程的平均数。FTP 驾驶循环的 505 和 867 态的速度对时间的图示在图 14 中给出。循环的时间、驾驶的距离，以及平均速度概括在下表中：

部分	耐久，秒	距离，英里	平均速度，mph
瞬态	505	3.60	25.7
稳态	867	3.90	16.2
总 UDDS	1372	7.50	19.7
(FTP 循环是 UDDS + 热起动瞬态 505)			

从 FTP 排出的废气涵盖车辆的效果和车辆在循环上操作时排放控制系统的预热。“稳定”态从完全预热或稳定的车辆和排放控制系统产生排放。当车辆和排放控制系统在操作过程中已经稳定，并然后保温（关闭）10 分钟之后，车辆起动时，产生“热起动”或“热瞬态”排放的结果。

在 68°F 至 86°F 的环境温度条件下从 FTP 得到的加权的总排放，由 EPA 进行调节。在冷态 (20°F) 下的对于 FTP 的唯一控制的污染物是一氧化碳 (CO)。小汽车 Tier1 的冷态 CO 水平是 10.0g/mile。对于轻型小汽车，中间寿命-50,000 英里的加利福尼亚州的 ULEV 1998 排放标准（试验车辆准许的标准）是：

NMOG: 0.04g/mile

CO: 1.7g/mile

NO_x: 0.2g/mile

对 EPA FTP-75 的加权的总质量的相当的排放，按 U. S. EPA 导则 (40 CFR86.144 -90) 的要求，采用以下方程进行计算：

$$\text{加权的 g/mile} = 0.43 \times \frac{\text{状态 1 克} + \text{状态 2 克}}{\text{状态 1 英里} + \text{状态 2 英里}} + 0.57 \times \frac{\text{状态 3 克} + \text{状态 2 克}}{\text{状态 3 英里} + \text{状态 2 英里}}$$

状态 3 英里 + 状态 2 英里

各老化组完成之后，催化剂安装在试验车辆上，并在 FTP 试验循环上重新试验，以获得变劣的信息。然后，比较老化 FTP 之前和之后的结果，以对各催化剂量化出一变坏因子。由催化剂和老化条件平均的 FTP 结果在表 11 中给出。

表 11 冷-BAG 和老化前和后的加权的 FTP 结果

试验 ID 催化剂	老化开始	排放，克				燃料经 济性， mpg
		THC	NMHC	CO	NO _x	
FTP Bag1						
内燃机催化剂—E1	0 小时	0.75	0.70	5.72	1.84	22.3
内燃机催化剂—E2	0 小时	0.76	0.71	6.36	1.58	22.4
内燃机催化剂—E3	0 小时	0.67	0.62	5.23	1.66	22.6
FOCAS™ 催化剂—B1	0 小时	0.73	0.68	5.30	1.58	22.7
FOCAS™ 催化剂—B2	0 小时	0.78	0.73	6.68	1.56	22.2
FOCAS™ 催化剂—B3	0 小时	0.76	0.70	6.03	1.71	22.5
内燃机催化剂—E1	100 小时	0.94	0.87	8.49	2.47	23.2
内燃机催化剂—E2	100 小时	0.94	0.85	8.63	2.65	22.8
内燃机催化剂—E3	100 小时	0.99	0.91	8.70	2.56	22.9
FOCAS™ 催化剂—B1	100 小时	0.95	0.89	7.93	2.62	22.6
FOCAS™ 催化剂—B2	100 小时	1.01	0.94	8.10	2.44	22.3
FOCAS™ 催化剂—B3	100 小时	1.05	0.98	8.87	2.63	22.1
加权的 FTP 排放结果， g/mi						加权 FE， mpg
内燃机催化剂—E1	0 小时	0.050	0.044	0.387	0.168	23.2
内燃机催化剂—E2	0 小时	0.050	0.045	0.442	0.151	23.3
内燃机催化剂—E3	0 小时	0.045	0.040	0.381	0.154	23.4
FOCAS™ 催化剂—B1	0 小时	0.048	0.042	0.409	0.151	23.5
FOCAS™ 催化剂—B2	0 小时	0.052	0.046	0.503	0.149	23.2
FOCAS™ 催化剂—B3	0 小时	0.050	0.044	0.461	0.146	23.5

内燃机催化剂—E1	100 小时	0.069	0.058	0.695	0.253	24.1
内燃机催化剂—E2	100 小时	0.067	0.055	0.738	0.257	23.8
内燃机催化剂—E3	100 小时	0.070	0.060	0.631	0.249	23.0
FOCAS™ 催化剂—B1	100 小时	0.068	0.058	0.579	0.252	23.5
FOCAS™ 催化剂—B2	100 小时	0.075	0.062	0.732	0.268	23.3
FOCAS™ 催化剂—B3	100 小时	0.073	0.062	0.698	0.279	23.0

图 15 示出老化前和后的所有 FTP 试验的累积的排气管碳氢化合物（THC）质量。图 15A 是分级的催化剂，其老化结果示于图 15C。图 15B 是分级的催化剂，其老化结果示于图 15D。对馈送气体 THC 在冷起动的更详细的研究（也示于图 15 中）揭示，正是内燃机输出造成排气管的变化。然后利用模态的排放来计算车辆的空气对燃料比（AFR）。

图 16 示出老化前和后净化器的加权的 FTP 排放的比较。图 17 比较内燃机老化的催化剂对燃烧器老化的催化剂的平均特性。在 THC 中有某种的变劣，但最大的影响是对 NO_x 质量排放（主要由于在车辆上的催化剂的毒化）。在两组催化剂上也出现非常类似的劣化的影响。表 12 给出由老化类型控制的各排放的计算得到的劣化因子。劣化因子由各催化剂的平均特性，利用以下方程进行计算：

$$1 + \frac{M_{\text{老化}} - M_{\text{未老化}}}{M_{\text{未老化}}}$$

表 12 催化剂和组的特性劣化因子

催化剂组	劣化因子		
	NMHC	CO	NO _x
催化剂 E1	1.31	1.79	1.50
催化剂 E2	1.24	1.67	1.70
催化剂 E3	1.57	1.92	1.74
平均内燃机老化	1.37	1.80	1.65
劣化的标准偏差	0.18	0.13	0.13
催化剂 B1	1.38	1.42	1.67
催化剂 B2	1.30	1.25	1.67

催化剂 B3	1. 43	1. 51	1. 92
平均燃烧器老化	1. 37	1. 39	1. 75
劣化的标准偏差	0. 06	0. 13	0. 14

审视表 12 揭示两种老化方法在 NMHC 排放上产生相当的影响，但燃烧器老化的催化剂在计算的劣化中具有较小的变化。在 NO_x 的劣化因子上也出现差异，但在统计上来看差异不显著。再者，在检查各催化剂的 NO_x 特性中可见，催化剂 B3 显现有较差的 NO_x 特性，并对 NO_x 维持最差的劣化。该外露的特性也显现在 AFR 的扫描数据上，并将呈现在下一部分中。

B. 加速的热老化循环

用于本工作中的加速热老化程序可见诸于以下出版物：Sims, G., Sjhohri, S., 的“采用 Taguchi 方法的催化剂特性研究”，SAE881589; Theis, J., 的“采用催化剂放热曲线的催化式排气净化器的诊断”，SAE94058; Ball, D., Mohammed, A., Schmidt, W., 的“带有毒物的加速快速老化试验 (RAT) 计划的应用：油引发的毒物作用，热降质，以及在 FTP 排放上的催化剂体积”，SAE972846, 各文献被援引在本文中以供参考。通用内燃机快速老化试验型式 A (RAT-A) 循环。在 GMRAT-A 循环上的一百小时的老化已经与某些平台上的路面运行的 100,000 英里相关，但对于试验比较和其它的平台精确的英里对小时的相关还是未知。然而，GM RAT-A 循环上的老化 100 小时并不证明能被工业界认可的耐用水平。下表概括出 GM RAT-A 老化计划。

模态编号	描述	参数技术规格	模态长度, 秒
1	闭式环路, 配比 AFR	入口温度 = 800℃	40
2	开式环路, 燃料富有操作, 功率加强	AFR ~ 13:1 (3%CO)	6
3	开式环路, 燃料富有操作, 空气喷射	AFR ~ 13:1 (3%CO) O ₂ = 3% (目标 160° -200° 放热-内燃机组第一, 燃烧器组匹配)	10
4	闭式环路, 配比 AFR	配比地从内燃机(燃	4

	空气喷射	烧器) 排出废气, 同时连续地空气喷射	
步骤 3 中的放热在催化剂中心线上测量, 1 英寸深			

上述计划描述废气和催化剂的条件, 不规定如何设定内燃机来达到这些条件; 因此, 用来建立内燃机老化的同样的技术条件被用来建立燃烧器的老化。在老化过程中, 废气 AFR 和温度, 以及催化剂温度以 1Hz 进行监视, 并储存在文件中以备后处理。

C. 试验车辆

用于程序的试验车辆是 1998 Honda Accord, 带有 2.3L, 4 气缸 VTEC 内燃机, 通过加利福尼亚州的 ULEV 标准。下表提供车辆信息和排放证书的数据:

VIN	1HGCG6672WA165200
内燃机描述	2.3L SOHC I-4 16-阀 VTEC
内燃机编号	F23A4-1016788
内燃机族	WHNXV02.3PL4
传动	4 速 自动
惯性重量, lbs	3375
城市燃料经济性 (cert)	23mpg
公路燃料经济性 (cert)	30mpg
排放批准证书水平	1998 加利福尼亚 ULEV
在 50,000 英里下, FTP 批准证书排放水平, 克/英里	
NMOG	0.0249
NO _x	0.0594
CO	0.2919

E. 试验催化剂

采用的催化剂是 1997 Honda Civic ULEV 生产的催化剂。使用这些催化剂的过去的经验已指出: 它们产生非常可重复的结果并显现以非常接近的技术条件进行生产。Civic ULEV 催化剂多重地安装, 并供应附连到排气总管上。在接纳零件之后, 催化剂从原始的安装中取出, 然后, 罐装在“拆开”的小罐中,

以允许容易地安装在老化和性能试验台架上，并选择车辆上的催化剂的毒物。催化剂的位置从总管移动安装到下体中，以便减小废气温度进入到催化剂中，其会延迟冷起动的点燃（点火的致动）。因为该程序的目的是小心地比较两种老化方法之间的热变劣效果，所以，延迟的点燃应证实对于更精确地洞悉在催化剂老化中的变化是有利的。

F. 内燃机老化台架

采用福特 7.5L, V-8 内燃机进行老化。在老化过程中也监视油耗。

G. FOCAS™ 台架

FOCAS™ 台架的燃烧器是一灵活的燃料装置，并设定在汽油上运行。操作者预设提供供给燃烧器的空气流，并在整个试验中不再变化。通过修改供应到空气辅助的喷射系统的燃料，计算机控制燃烧器 AFR。燃烧器系统形成一非常稳定的稳态恒定压力的燃烧，其与汽油的燃烧能够以大的向下转折比进行操作（AFR 操作的范围是 8:1 至 25:1）。在配比下连续地操作可进行至少 200 小时，较佳地为 1500 小时或以上，并且维护保养降到最少。可调整燃烧器的操作以达到从 20 至 70SCFM 范围的流量（对此工作以 50SCFM 进行操作），台架具有一编程的冷起动模拟模式，以允许冷起动的效果容易地添加到一老化循环中。

图 9 示出 FOCAS™ 系统(50SCFM)和福特 4.6L, V-8 内燃机(50SCFM, 1500rpm, 90 lb-ft, 无 EGR)的未净化的废气浓度，两种均在同一批的 CA Phase II 燃料上运行，并在略微贫瘠和略微富有的稳态排气 A/F 上（采用城市 A/F 方法进行测量）。城市 AFR 计算方法利用测量的未净化的废气成分和燃料特性计算排气 AFR。

图 9 显示 FOCAS™ 台架包含较之福特 4.6L 内燃机远低得多的 THC 和 NO_x 水平。CO 水平大约是内燃机水平的二分之一至四分之三，而 CO₂ 和 O₂ 近似相等（由于这两个组分主要由 AFR 控制，不是由燃烧条件控制）。因为燃烧器高度有效且稳定，良好蒸发的燃料流，以及没有导致如在内燃机内的局部燃烧的熄灭区域，所以，THC 较低。因为燃烧器以接近大气压力操作，不象在内燃机中，NO_x 是高压和对应的燃烧的高峰值温度的结果。

FOCAS™ 台架的控制系统包括一 LabVIEW 编程的 PC，其装备有一接触屏监视器和一连接到持有两个 SCXI 1120 多元模块的 SCXI 底盘的多功能 DAQ 卡，一馈通屏，以及一监视和记录系统信息的 SCXI 1160 “中继模块”，操作者可将电源切换到鼓风机和燃料泵，并控制空气辅助的燃料喷射器、燃烧器火花、油

喷射器，以及辅助的空气，所有操作都用手指接触屏来实施。

测量系统温度、燃烧器所需空气的大量空气流，以及燃烧器 AFR，并转换为工程单位。软件利用测得的数据来计算总的废气流和燃烧器 AFR，并核查指示系统故障的状况。燃烧器 AFR 可被控制为开式或闭式的环路，以保持规定的 A/F。通过变化供应给燃烧器的燃料率（修整固定频率控制波形的脉冲占空循环）来实现 A/F 控制。如果必要的话，通过操作者输入一固定的燃料喷射器脉冲占空循环（脉冲宽度），实现开式的环路控制。通过测量实际的燃烧器 A/F（使用一 UEGO 传感器），比较测量值和 A/F 设定点，然后，调整燃料喷射器占空循环以纠正测量误差，来实现闭式的环路控制。程序的前屏设计成允许使用者输入一老化循环，并利用单一屏来运行试验操作。控制器包括一“自动启动”和“自动关闭”的选择以便于操作。在燃烧器燃料被致动之后，自动开始一组安全核查，并监视燃烧器的故障。在试验进行过程中，程序在 4Hz 纠正数据，在 5Hz 储存数据，并在 1Hz 显示催化剂入口、床和出口温度和测量 A/F 比，以允许操作者考察系统整体的稳定性。

图 18 示出控制软件的前屏。前屏示出实际试验系统的布置和在系统各点处测得数据的位置和值。由于在长时间内无人照看地操作一汽油燃料的燃烧器存在着潜在的危险，所以，系统使用三个核查系统故障的内置的安全限值。首先，热交换器输出必须在致动燃料喷射之后四秒钟内达到大于 100℃ 的温度，并在操作过程中必须保持最低的安全点水平，这表明燃烧器合适地点火并保持点着。第三个设定点核查催化剂床的温度，以证实催化剂不在会有害于试验部分的温度上。如果任何一个安全点受到危及，则计算机程序关闭所有试验系统，转向到鼓风机并致动两分钟 N₂ 的吹洗到燃烧器头（吹熄燃烧器并在 N₂ 中暂停任何未燃烧的燃料，由此，阻止在试验块中发生大的放热反应），并显示一光亮的红的屏，其描述系统关闭状况连同数据和时间，以及安全受到危及之后的十分钟时间内以 4Hz 记录的所有数据。此外，也致动 N₂ 吹洗系统，当探测到失电时，紧接着实施安全关闭，由此，在有问题的气候条件过程中，使其能安全地操作台架。

B. 在 FOCAS™ 台架上的 RAT-A 模拟

RAT-A 循环的特征主要是稳态、配比操作以及短的热偏移（先前已给出技术条件）。热偏移的产生来自于操作富有的、产生约 3% 的一氧化碳（CO），同时在催化剂前喷射二次空气（约 3% 氧，O₂）。过分的还原剂和氧化剂在催化剂

中反应，以热的形式释放化学能。催化剂入口温度和废气流量也被用来规定试验循环的建立。流量被规定为 scfm，本工作中采用 70scfm。

在内燃机上，流量的技术条件通过调整内燃机速度来建立。在循环的稳态、配比部分过程中，通过调整内燃机的载荷（节流位置），来达到通往催化剂入口处的气体温度。通过在循环的富有部分的过程中，调整内燃机的操作 AFR，并调整空气的喷射以达到 3% 的 CO 和 O₂ 的技术要求，以产生热偏移。

在燃烧器上，流量通过变化设定燃烧器的旁路值来加以修整，通过增加或减少热交换器单元数量，流过诸单元的流量，以及在热交换器出口和催化剂入口之间的废气部分的空气冷却，来调节催化剂入口气体温度。初步的气体入口温度控制通过热交换器来实现，而精细的控制来自于废气部分的空气冷却。

图 19 示出内燃机和燃烧器老化过程中测量的废气和催化剂床的温度。图中还示出在内燃机和燃烧器出口处的测量的 AFR。上左角示出在内燃机上的 RAT-A 循环，而上右角示出在 FOCAS™ 上的 RAT-A 循环。底部两个图示出互相直接比较的燃烧器和内燃机的特征。出口的热耦合位于略微不同的位置，并不作比较。

下右图示出在循环过程中催化剂入口和床的温度的比较。床温度在两个老化系统之间非常相似。然而，燃料切割和空气喷射的效果在两个系统之间产生不同的入口温度曲线。燃烧器示出更快的温度跌落（由于热偏移）但然后显示在循环的富有空气部分过程中，一较高的进入催化剂的温度。这表示在进入催化剂之前某些反应剂在管内正在燃烧。这种燃烧可能是两种系统之间空气喷射方式差异造成的结果，并导致一种其潜在的影响还不能完全理解的效果。这种效果在于，催化剂中的峰值温度在燃烧器催化剂中在 0.5'' 处被观察到，与之相反，在内燃机催化剂中（比较图 19A 和 19B）在 1.0'' 处观察到。图 19C 示出测量的废气 AFR 和催化剂床温度（1.0'' 深度）。比较 AFR 控制，可见燃烧器比内燃机具有更高的 AFR 控制。图中示出的其它的特性是：在热偏移的过程中，燃烧器比内燃机更富有。这对于克服管中燃烧和保持催化剂中的热偏移是必要的。总的来说，产生反应剂和导致两个系统之间的催化剂床温度的能力的差异是非常小的。

然而，随着程序的进展，开始出现作为燃烧器系统的问题的一个控制因素。该问题是日与日和日与夜在催化剂入口温度上的略微的变化。这个问题的原因似乎是热交换器和催化剂入口之间的部分的空气冷却的变化。通过变化废气

绝热量，以及在各试验开始处放置冷却风扇，可控制催化剂入口温度的微调，然而，随着试验的进展，可以发现冷却塔水的变化和在新的单元内的状况形成可随日与夜和日与日显著变化的状况。这使得催化剂入口温度变化高达 20℃。出于这个原因，形成一闭合环路的风扇控制，并嵌入在 FOCAS™ 控制器内。图 10 示出为催化剂入口温度而建立的闭合环路的风扇控制的示意图。控制器输出从停止到低速到高速变化冷却风扇的速度。

实例 6

采用七个一般的设计标准/导则来设计本较佳的燃料喷射器。这些标准是：

1. 空气通道内的压力不超过燃料通道内的压力，否则燃料流将中断。假定燃烧器流是稳态（合理的假设）：

$$\text{对于空气: } \frac{P_{1A}}{A_{1A}} \times A_{2A} = P_{2A} \quad \text{对于燃料: } \frac{P_{1F}}{A_{1F}} \times A_{2F} = P_{2F}$$

2. 要求的燃料入口压力（根据燃料泵的技术条件）是 $40\text{psig} < P_r < 60\text{psig}$ 。

3. 燃料流的区域在给定的操作压力范围内必须对要求的流动范围提供足够的燃料流。

4. 燃料孔的尺寸必须是标准的钻头尺寸，并必须足够大以允许机加工而无过度的困难。

5. 燃料/空气喷雾应对准在空气罩盖外会聚，以保持燃烧器火焰远离燃烧器壁的距离尽可能长。

6. 燃料射流会聚的直接点在空气罩盖后面。调整 P_A 可用来变化燃料喷雾相对于空气罩盖的位置。

7. 在组合的出口孔的中心处保持燃料和空气射流的互相作用点，以防止驱动燃料喷雾到喷射器的内壁。这将导致油滴和喷射器面的焦化。

8. 雾化和稳定的程度采用石英燃烧器用目视确定。评估根据火焰的蓝色度（橙色火焰指示多烟灰状态），煤烟形成的可能（由检查喷射器、燃烧器、热交换器和排气管加以评定），以及火焰的稳定性（使用一线性 AFR 传感器进行评定）。

由于设计燃烧器主要在配比下操作，所以，使用要求的总的废气流和用来老化的燃料的配比 AFR，来计算要求的燃料流。下列分析呈现用于以配比操作的燃烧器所要求的燃料流的计算，其中，总的废气流为 70SCFM。

$$m_{\text{exh}} = 70 \text{ SCFM} = 2.3015 \text{ kg/min}$$

$$m_{\text{fuel}} = m_{\text{exh}} \times \text{AFR}_{\text{stoich}}^{-1} \times 1 \text{ lb}/0.45359 \text{ kg} \times 60 \text{ min/hr}$$

$$m_{\text{fuel}} = 21.28 \text{ lb/hr} \quad \text{以配比}$$

$$m_{\text{air}} = m_{\text{fuel}} \times (\text{AFR}_{\text{avg}}/\text{AFR}_{\text{stoich}})$$

$$\text{AFR}_{\text{avg}} = (16/60 \times 13) + (44/60 \times 14.4) = 14.03 \quad \text{RAT-A}$$

循环

$$m_{\text{air}} = 65.1 \text{ SCFM}$$

因此，燃烧器在循环上的能耗率是：

$$Q = m_{\text{fuel}} \times \text{燃料的能量}$$

$$Q = m_{\text{fuel}} \times 18,400 \text{ BTU/lb} = 21.28 \text{ lb/hr} \times \text{hr}/3600 \text{ sec} \times 18,400 \text{ BTU/lb} \times 1.055$$

$$Q = 115 \text{ kW}$$

参照图 20，距离 l_1 是燃烧器管 210 的半径，而 l_2 是与内壁冲击的距离。距离 l_2 可用几何方法进行计算，但然后对与燃料射流（其趋于延长 l_2 ）和内漩涡射流 242（其趋于缩短 l_2 ）互相作用进行修整。内漩涡射流 242 具有最大的冲击。X、X' 的最终角是燃料剪切和雾化（其随低的 X、X' 改进）的函数，并通过引导燃料喷雾到图 3 中的外漩涡射流 253 会聚（约离漩涡板的面四至五英寸）的区域内，防止与燃烧管 210 壁的冲击。这些外漩涡射流 253 帮助火焰最热的部分保持远离燃烧管 210 的内壁，其能使燃烧器在延长的时间段内配比地运行。表 1 示出燃料喷雾与燃烧管 210 壁的计算的冲击（有和没有漩涡射流的互相作用）。从这些数据，建立两个燃料喷射器，E-62 和 E-76（其中，数字是指角 X、X' 的度数）。

表 1

空气喷射角 X、X'	计算冲击距离， 无互相作用，英寸	观察的冲击， 英寸	计算介质互相作用的 冲击距离，英寸
60	2.75		2.5
61	2.88		2.57
62	3.03		2.64
63	3.18		2.71
64	3.34		2.8
65	3.52		2.89
66	3.71		2.98

67	3.92		3.08
68	4.14	3.25—3.5	3.2
69	4.38		3.32
70	4.65		3.45
71	4.95		3.6
72	5.27		3.76
73	5.63		3.94
74	6.04		4.14
75	6.5		4.37
76	7.02		4.64
77	7.62		4.94
78	8.32	5	5.29
79	9.15		5.7
80	10.13		6.19

从这些数据，建立两个燃料喷射器，其中角度“ θ ”为度数 62 和 76（下文中有时分别称之为“E-62”和“E-76”）。在喷射器建立之后，它们在 FOCAS™ 台架上进行试验。火焰的质量采用三个标准进行评估：目视测量废气中烟气，燃烧器、热交换器和催化剂上的烟灰；火焰的外观（蓝度和透明度）；以及火焰冲击燃烧器壁的位置。此外，目视并使用一 UEGO 传感器测量 AFR 的反馈，评估火焰的稳定性。通过测量在 70scfm 的催化剂的放热和配比还量化燃烧的完整性。催化剂中的放热是未燃烧燃料水平的一种指示。对于汽油内燃机，在这些情形中催化剂的放热约为 60℃（使用本试验催化剂）。最终 FOCAS™ 喷射器给出约为 50 至 60℃ 的放热。在目视分析过程中燃烧器的状况如下：

	E-68-062	E-76-062
燃料喷射压力	50psig	50psig
空气喷射压力	100psig	55psig
燃烧器流量	70scfm	70scfm

这两种火焰的目视质量是非常能接受的（无形成的烟灰，无烟气），且催化剂床的温度在可接受的范围内。E-68-062 显示一非常蓝的火焰，表示极好的雾化；但

撞击在壁上的火焰非常靠近漩涡板，经验表明，这种类型的冲击会损坏燃烧器壁。这导致使用 E-76-062，其在蓝度和透明度上火焰的质量不高，但其火焰对燃烧器壁的冲击延伸到不会损坏燃烧器壁的区域。尽管某些火焰质量为了燃烧器的耐用性而作出牺牲，但与试验采用的市场上出售的喷射器相比，E-76-062 在蓝度和透明度上却显示一非常高质量的火焰。

图 21 示出计算的燃料喷雾冲击的图表。一般来说，热老化在催化剂一英寸前损坏催化剂的修补基面涂层，其影响催化剂的点火特性。图 22 示出在 FTP 的冷起动态过程中测得的质量排放。图中可见，NMHC、CO 和 NO_x 的质量排放有某些的差异。图 29 示出在冷起动过程中测得的催化剂床温度。检查图 29 表明，在第一加速过程中的开始，从该点继续，在老化和未老化的催化剂之间存在着催化剂床温度的分离。内燃机老化和燃烧器老化的催化剂显示出老化前后可比较的性能。这种温度上的差异指明，老化的催化剂以低的效率运行。图 22 示出老化前后 THC 和 NO_x 的积累模态的质量排放。从这些图中可见，在老化的净化器中确实存在着低的活性，看来内燃机老化和燃烧器老化的催化剂具有非常相似的性能。

实例 7

FTP 性能数据的统计分析

在本研究中检查六种催化剂，以确定基于实施老化类型的排放差异。三种催化剂在内燃机上进行老化，三种在 FOCAS[™] 上进行老化。各催化剂老化 100 小时。FTP 在所有六种催化剂上运行，其中，在老化过程前后测量 NO_x、THC、NMHC 和 CO。在各催化剂上进行多 FTP。表 13 列出本研究中对各催化剂进行的 FTP 运行。

表 13. 催化剂 FTP 统计数据

		内燃机老化			FOCAS [™] 老化		
催化剂		1	2	3	4	5	6
老化小 时	0	2	2	2	2	1	2
	100	2	2	3	2	1	2

为了比较老化类型在排放上的效应，采用一重复测量分析的变量统计模型。该模型包含下列诸因素：

- 老化类型（内燃机或 FOCAS）
- 嵌套在老化类型内的催化剂（各催化剂只用一种方法进行老化）
- 老化时间（0 和 100 小时）

— 老化类型×老化时间互相作用

采用本模型分别对四种排放中的各排放进行分析。表 14 列出重复测量模型的结果。试验各因素的假设是对于该因素的各水平的平均排放是否显著地不同。例如，老化类型因素在所有的时间段内内燃机上老化的催化剂和在 FOCAS™ 上老化的催化剂之间，比较平均的 NO_x ，对于模型中的各个因素，列出一 p 值，其表示接受因素水平之间的平均排放没有显著的差异的假设的概率。所有的统计比较作成 5% 的有效度水平。因此，p 值小于 0.05 表示对于该因素平均排放差异在统计上是显著的。

表 14. 重复测量的 ANOVA 模型结果

因素	NO_x	THC	NMHC	CO
老化类型	0.4023	0.5688	0.2221	0.5218
老化类型中嵌套 催化剂	0.5792	0.7303	0.8488	0.0596
老化时间	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
老化类型×时间 互相作用	0.3022	0.5712	0.9922	0.0026

根据重复的测量 ANOVA 模型得出的结论如下：

— 在两个时间段上内燃机上老化的催化剂和 FOCAS 上老化的催化剂之间的平均排放没有显著的差异。

— 在两个时间段上内燃机上老化的三种催化剂的平均排放没有显著的差异。

— 在两个时间段上 FOCAS 上老化的三种催化剂的平均排放没有显著的差异。

— 在零小时老化时间的催化剂和 100 小时老化时间的催化剂之间的平均排放统计上具有显著的差异。

— 在对 NO_x 、THC 和 NMHC 排放的老化类型和老化时间之间的平均排放没有显著的差异。然而，在老化类型和老化时间之间的平均的 CO 在统计上存在显著的差异。在此情形中，在内燃机上老化的催化剂较之在 FOCAS™ 上老化的催化剂，在从零小时至 100 小时 CO 显著地有更大的增加。由催化剂和老化时间绘出的 THC、NMHC、 NO_x 和 CO 排放的图分别示于图 25 至图 28。在 x 轴线上标以核对符号，第一字母代表老化类型（B=FOCAS，E=内燃机），第二数字代表催化剂数量，以及最后数字代表老化时间（0 或 100 小时）。

实例 8

事后催化剂评估

在所有的性能分析完成之后，催化剂进行拆卸，取出各催化剂的中心（一英寸直径，一英寸深），以便作表面区域和成分分析。两个分析操作是 BET

（Bruhauer-Emmett-Teller）和 PIXE（Proton-Induced X-Ray Emission），前者用来评估表面区域和多孔性，后者用来作成分分析。

BET 试验提供基底和修补基面涂层的表面区域上的信息。这种分析与热劣化相关。PIXE 提供基底和修补基面涂层以及催化剂表面上的任何的沉积物的成分的信息。PIXE 分析提供关于内燃机和燃烧器（其提供无油老化）之间的催化剂上的沉积物差异的信息。

表 15 给出对于选择的元素的 PIXE 分析的结果。

表 15. 对于选择的元素的 PIXE 分析结果

元素	质量浓度，重量百分比					
	E1	E2	E3	B1	B2	B3
磷（P）， ppm	<674	<723	<766	<715	<758	未运行
锌（Zn）， ppm	326	279	316	13	13	
铑（Rh）， ppm	0.672	0.650	0.731	0.626	0.662	
钯（Pd）， %	0.187	0.208	0.219	0.183	0.201	
铂（Pt）， %	0.187	0.208	0.219	0.183	0.201	
铈（Ce）， %	2.883	3.028	3.314	2.954	3.282	

表 15 突出两种基本类别的元素，油的组分，以及在催化剂的修补基面涂层内发现的元素。PIXE 分析表明修补基面涂层材料（铑、钯、铂、铈）在五种试验的催化剂中相当地一致。观察组之间的锌（Zn）沉积物可以看到，内燃机催化剂基本上具有更多的 Zn。磷（P）显得低于探测限值（约 700ppm）。然而，P 添加到油中作

为一防磨损添加剂，并通常呈 ZDP 的形式；催化剂在野外的沉积物显示 Zn:P 的重量比约为 0.5-0.75。这表明可能有某些 P 在内燃机催化剂上，大约在 400-600 的范围内，其低于本分析中采用的探测限值。

在催化剂上进行的最终分析是对于规定的表面区域的 BET 分析。处于良好状态下的催化剂具有高的表面区域。随着催化剂的老化，其热力上通过凝结（贵金属的迁移）和烧结（熔化），以及非热力上通过沉积物对孔的物理的阻塞，失去表面的区域。表 16 给出 BET 表面区域分析结果。

表 16. 老化的催化剂的 BET 表面区域分析

催化剂	状态	BET 表面区域, m ² /g
E1	100RAT-A-内燃机老化	11.50±0.22
E2	100RAT-A-内燃机老化	11.46±0.93
E3	100RAT-A-内燃机老化	11.91±0.13
B1	100RAT-A-燃烧器老化	12.84±0.72
B2	100RAT-A-燃烧器老化	13.32±0.34
B3	100RAT-A-燃烧器老化	12.47±0.22

BET 分析显示两种老化方法之间的最终规定的区域的差别，内燃机老化部分较之燃烧器老化部分具有较低的表面区域。新鲜的催化剂规定的表面区域大约为 18-25m²/g（尽管新鲜的催化剂不作为本程序的部分进行分析）。内燃机老化和燃烧器老化的催化剂之间的表面区域的差别不大，但可归结于下列原因中的一个或多个：内燃机老化的催化剂中观察到的少量的与油有关的沉积物；由于沉积物（由于表面区域测量为 m²/g）引起的增加的质量；和/或，当沉积物开始涂覆催化剂表面时，由于发生非热力上的不致动，所以催化剂孔开始阻塞。通常已认可在沉积物显著地影响催化剂性能之前，油沉积要求一最小的质量。

事后分析表明 FOCAS™ 老化在没有非热力老化（即，油沉积）的情形下提供热力的老化，由此，对热力的和非热力的老化效应的最终的隔绝造成一装置。

在 FOCAS™ 燃烧器系统上模拟的 RAT-A 循环与内燃机上的循环进行比较。证实燃烧器可用来在催化剂内产生与由内燃机产生的曲线相比时非常类似的热力曲线。热偏移的形状可以再生，进入催化剂的 AFR 可以被控制和再生。两个系统之间值得注意的一个差异是，在进入燃烧器系统内的催化剂之前似乎有某些反应剂在废气管内燃烧。这导致在热偏移过程中峰值温度位置中的峰值略微地向前移动。

实例 9

采用 FOCAS™ 燃烧器系统模拟通用汽车快速老化试验型式 A (RAT-A) 循环来试验该方法。在程序的试验部分过程中, 六种催化剂在 RAT-A 循环上进行 100 小时的老化; 三个在内燃机台架上, 三个在 FOCAS™ 燃烧器系统上。在规定的间隔和老化结束时测量催化剂的性能, 并在两个系统之间进行比较。此外, 评价和比较各系统的温度的变化和重复性以及 AFR 控制。

性能评估包括: 比较联邦试验程序 (FTP) 有控制的排放, 使用基于内燃机催化性能评价台架来测量作为废气空气/燃料比 (AFR) 函数的催化剂转换效率以及催化剂点火温度。

FTP 性能评估显示燃烧器和内燃机产生相当的老化效果, 导致对于 THC、CO 和 NO_x 的劣化因子, 它们在统计上在两种方法之间没有差异。在 FTP 试验上对于 NO_x、THC 和 NMHC, 老化类型和老化时间之间的平均排放没有显著的差别。然而, 在老化类型和老化时间之间的 CO 平均排放有显著的统计上差别。在此情形中, 在内燃机上老化的催化剂较之在 FOCAS™ 上老化的催化剂显示出从零小时到 100 小时 CO 有显著较大的增加。评估揭示两种方法产生接近配比的相当的结果 (其中调节汽油内燃机运行)。然而, 由于 AFR 偏移配比至富有侧, 可以看到, 燃烧器老化在 THC 和 CO 上具有略微严重的老化效果。

最后的催化剂评估涉及到催化剂的取芯, 并分析表面区域和成分。两个分析运行是用于表面区域和多孔性评估的 BET, 以及用于成分分析的 PIXE。BET 试验提供在基底和修补基面涂层表面区域上的信息。PIXE 提供在基底、修补基面涂层和在催化剂表面上的任何沉积的成分上的信息。PIXE 分析可提供在内燃机和燃烧器 (其提供无油老化) 之间的催化剂上的沉积中的差异的信息。业已发现催化剂由非常类似水平的修补基面涂层组成, 若非 FOCAS™ 老化的催化剂具有明显的缺乏由油形成的沉积。然而, 在内燃机老化的催化剂上发现的油沉积的水平是小的, 在本研究中沉积可能不影响催化剂的特性。然而, 随着内燃机老化, 油耗将增加, 对催化剂老化添加变化的油毒化成分。通常已认可在沉积物显著地影响催化剂性能之前, 油沉积要求一最小的质量。BET 分析显示在两种老化之间的最终规定的表面区域内的差异, 内燃机老化部分较之燃烧器老化部分具有一更低的表面区域。减小的表面区域可能是由于沉积物 (由于表面区域测量为 m²/g) 引起的增加的取芯质量的结果。当沉积物开始涂覆催化剂表面时, 由于发生非热力上的不致动, 所以, 减小的表面区域也可以是催化剂孔开始阻塞。还可以是两种效果组合的结果。

总的来说，业已发现，FOCAS™燃烧器系统提供一用来模拟内燃机老化循环的灵活的装置，并产生与内燃机循环相当的热老化结果。事后分析表明 FOCAS™老化提供缺少非热老化（即，油沉积）情况下的热老化，由此，形成一用于最后隔绝热和非热老化效果的装置。使用燃烧器提供胜于内燃机的老化的某些优点包括：非常紧密的 AFR 控制（ $\pm 0.02\text{AFR}$ ），非常宽范围的稳定 AFR 操作（8:1 至 25:1），较少的运动部件（一鼓风机和一燃料计量阀），以及最少的调整来达到设定点。再者，一燃烧器可以非常高的温度运行而不严重损坏系统的部件，形成一低成本、低风险的非常高温循环的模拟。

在不脱离本发明的精神和范围的前提下，本技术领域内的技术人员将会认识到对于本发明可作出许多修改。本文所述的实施例意在说明而已，不应认为限制本发明，本发明由附后的权利要求书予以定义。

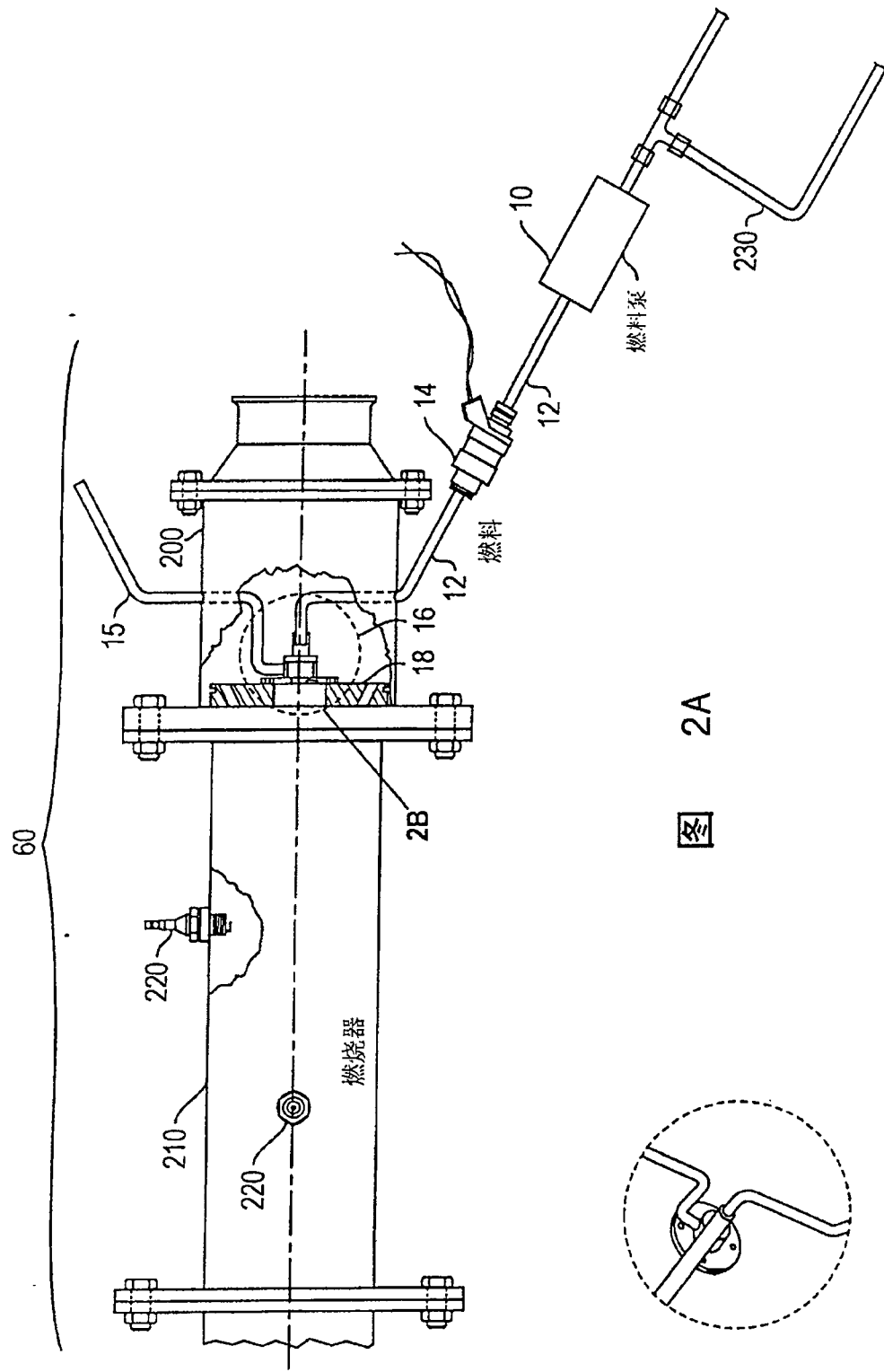


图 2A

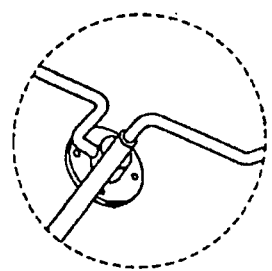


图 2B

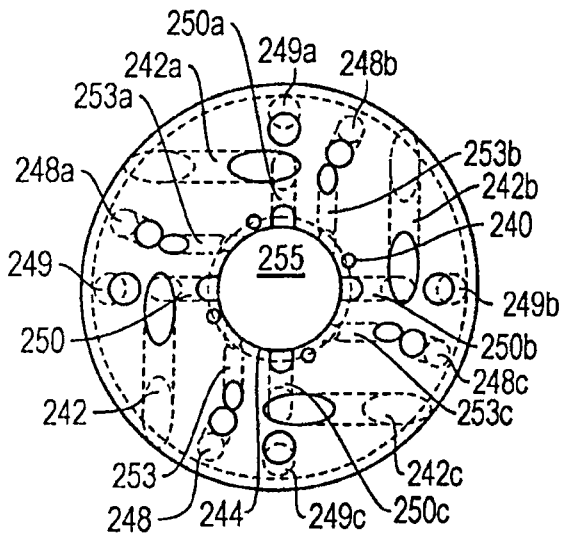


图 3A

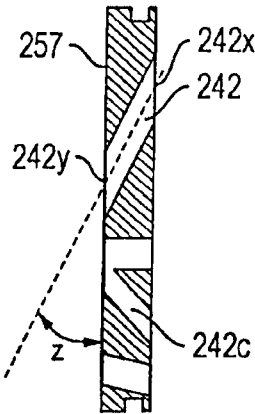


图 3B

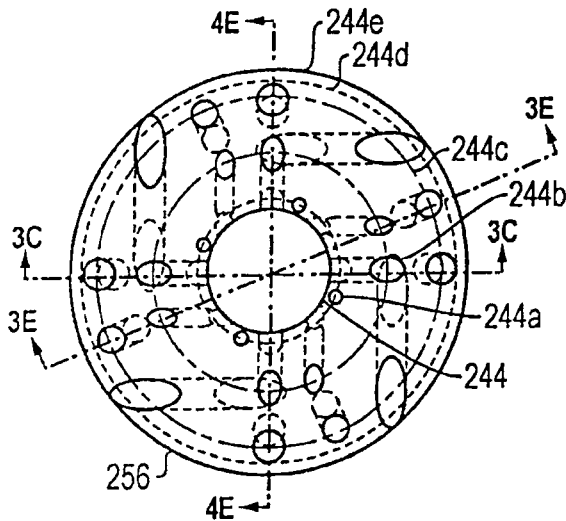


图 3C

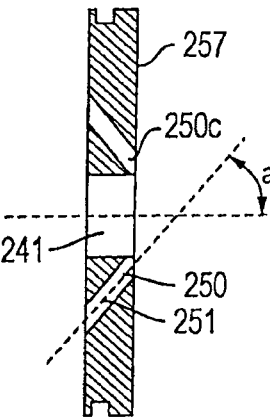


图 3D

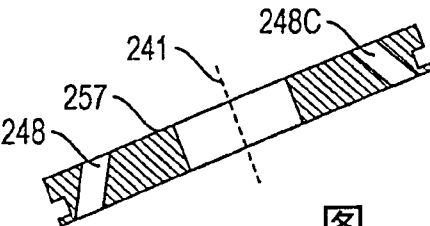


图 3E

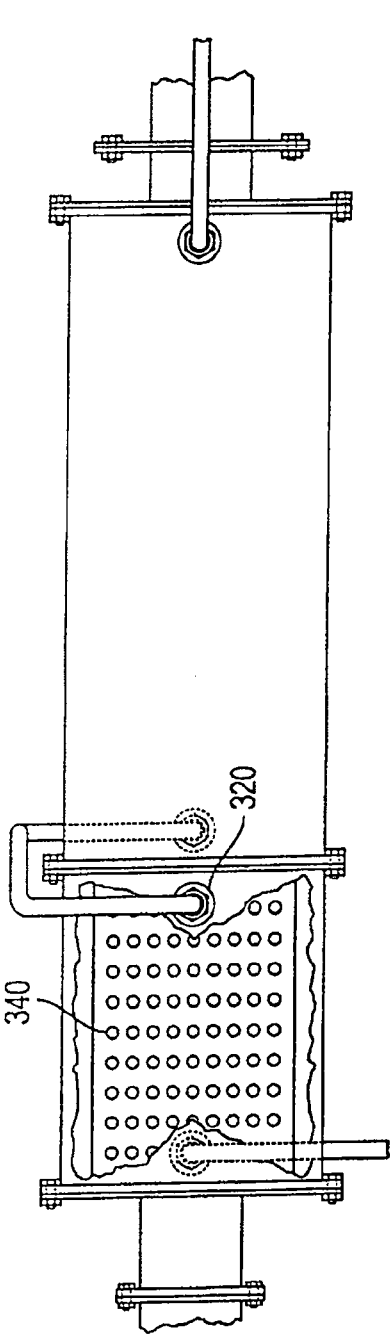


图 4A

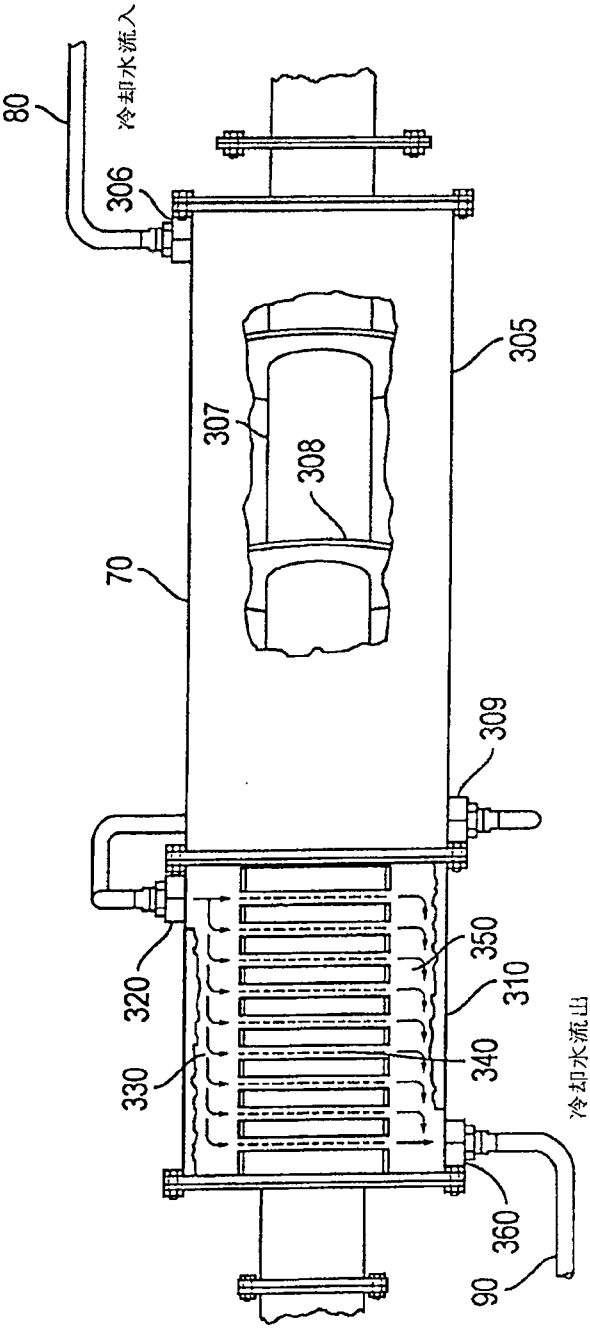


图 4B

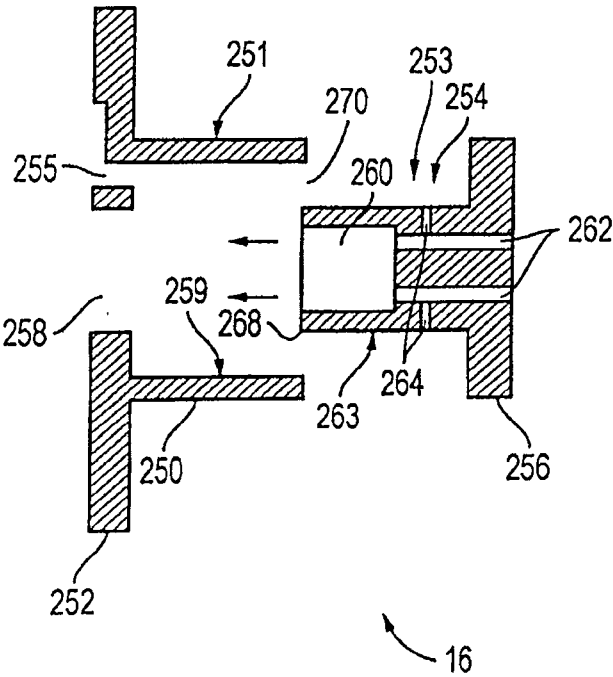


图 5A

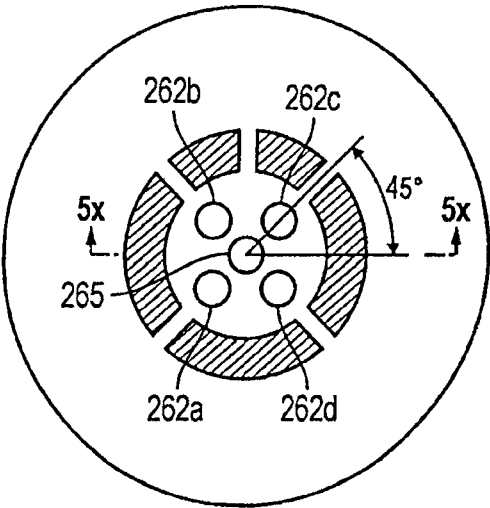


图 5B

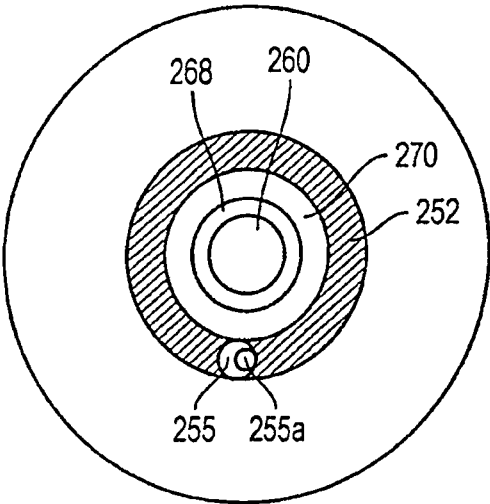


图 5C

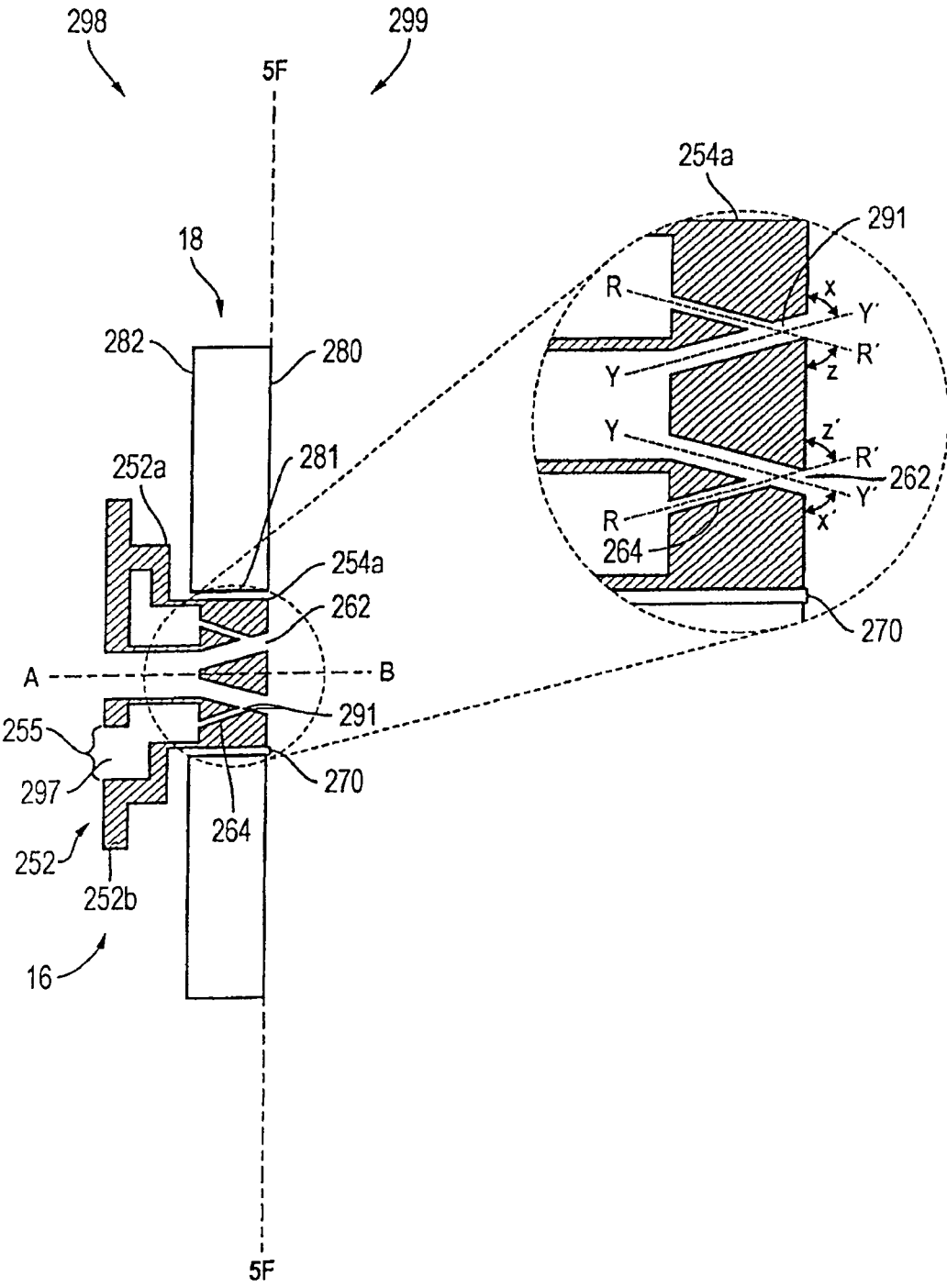


图 5D

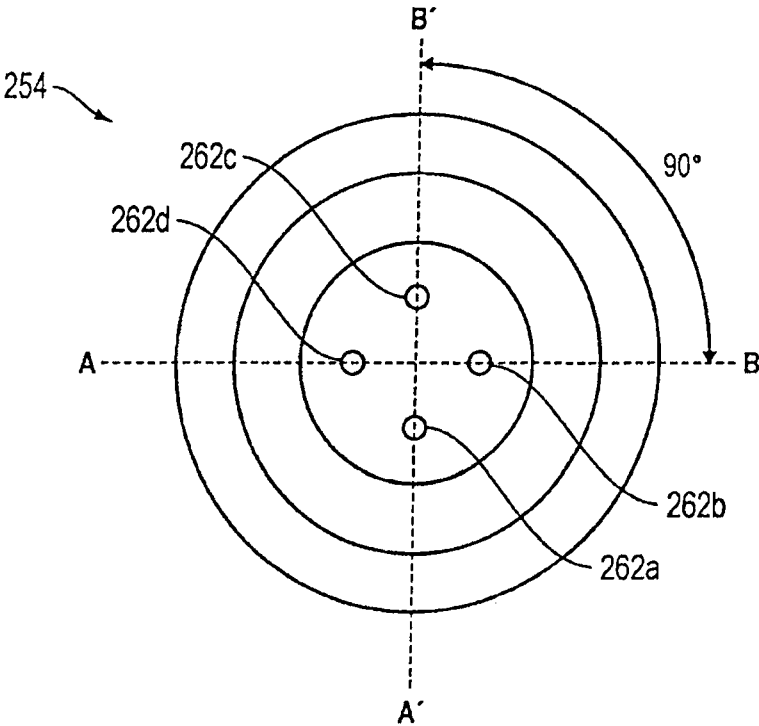


图 5E

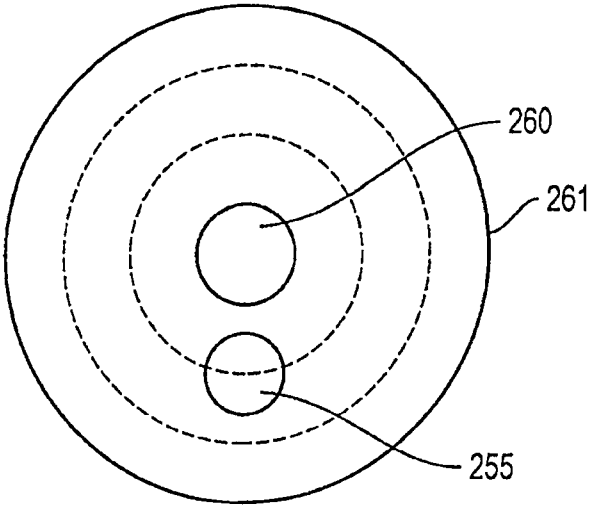


图 5F

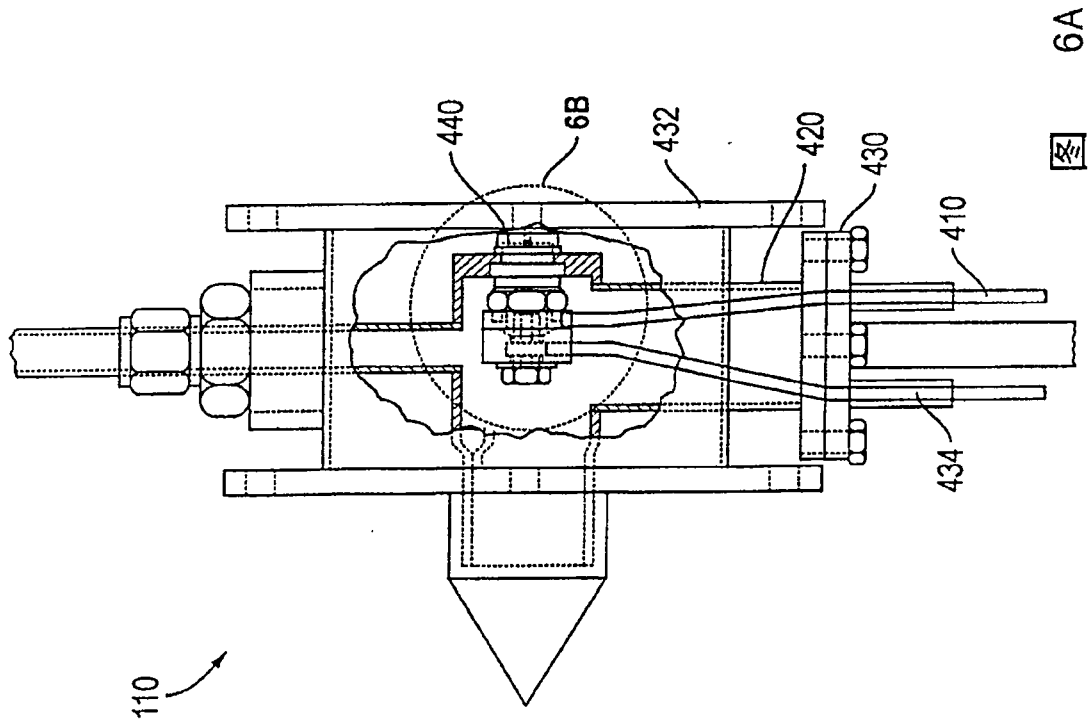


图 6A

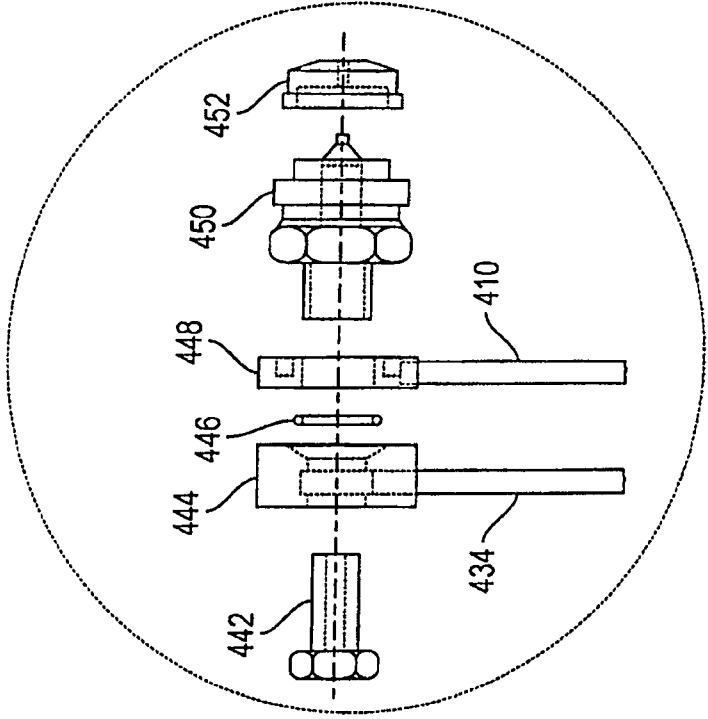
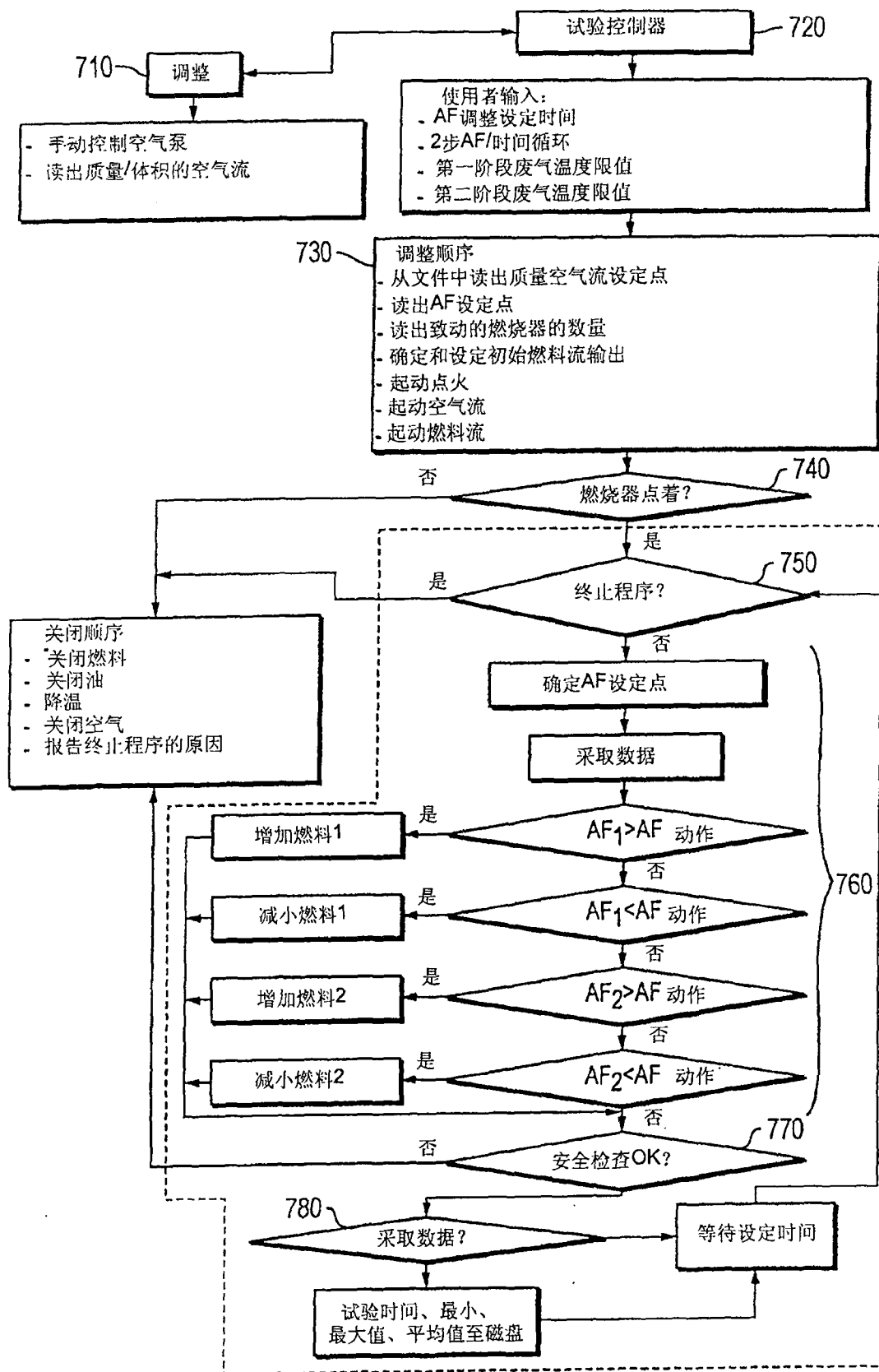


图 6B



图

7

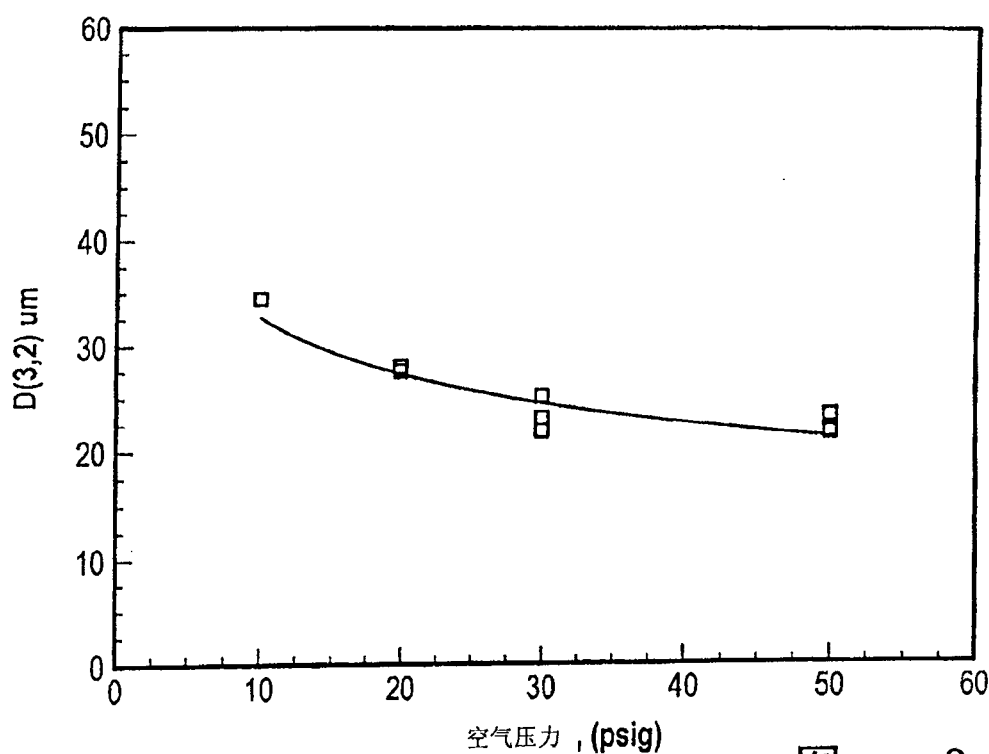


图 8

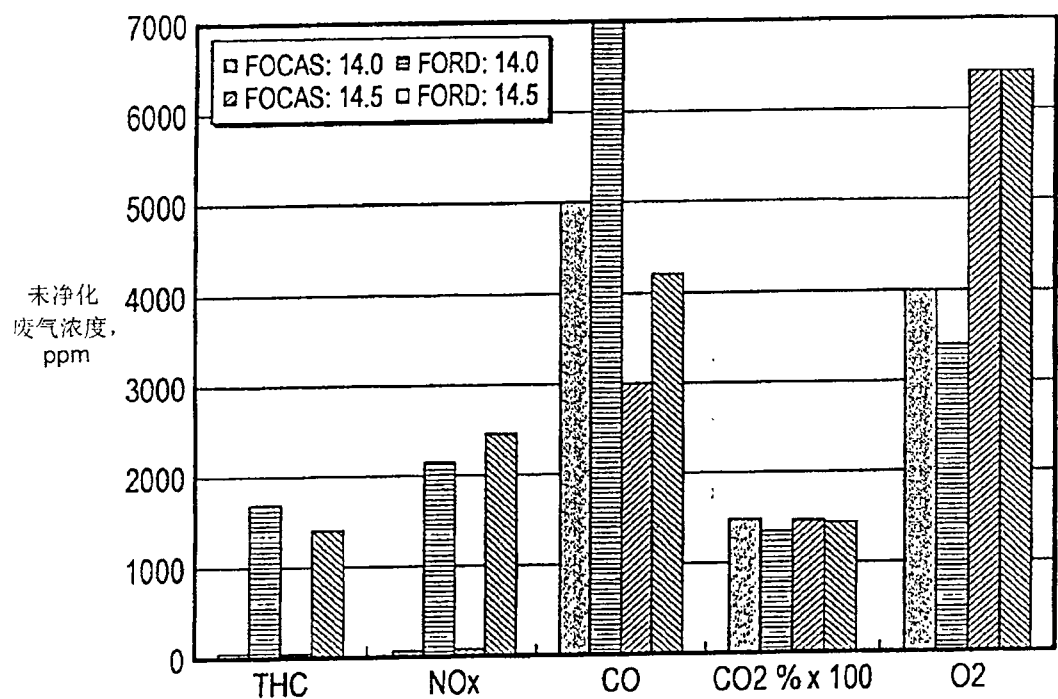


图 9

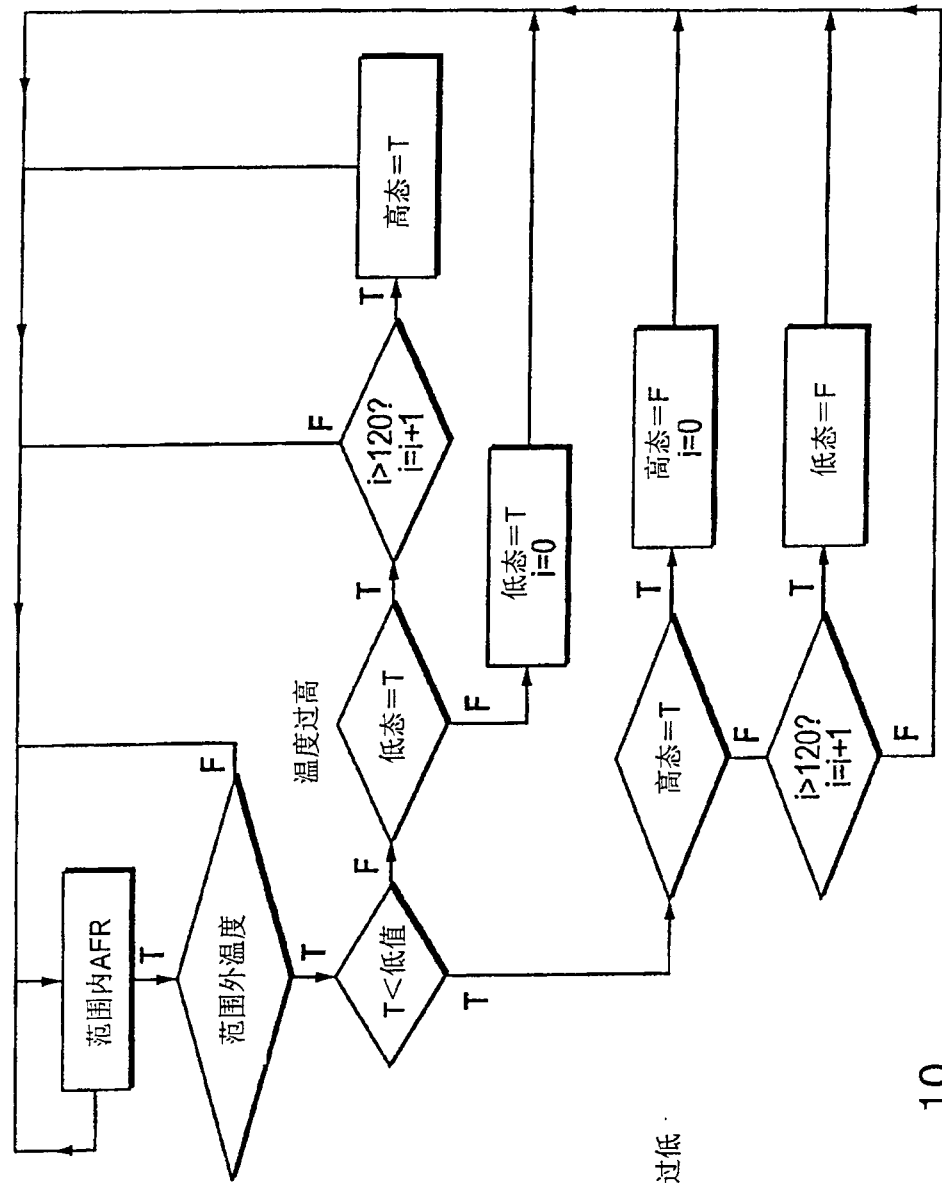


图 10

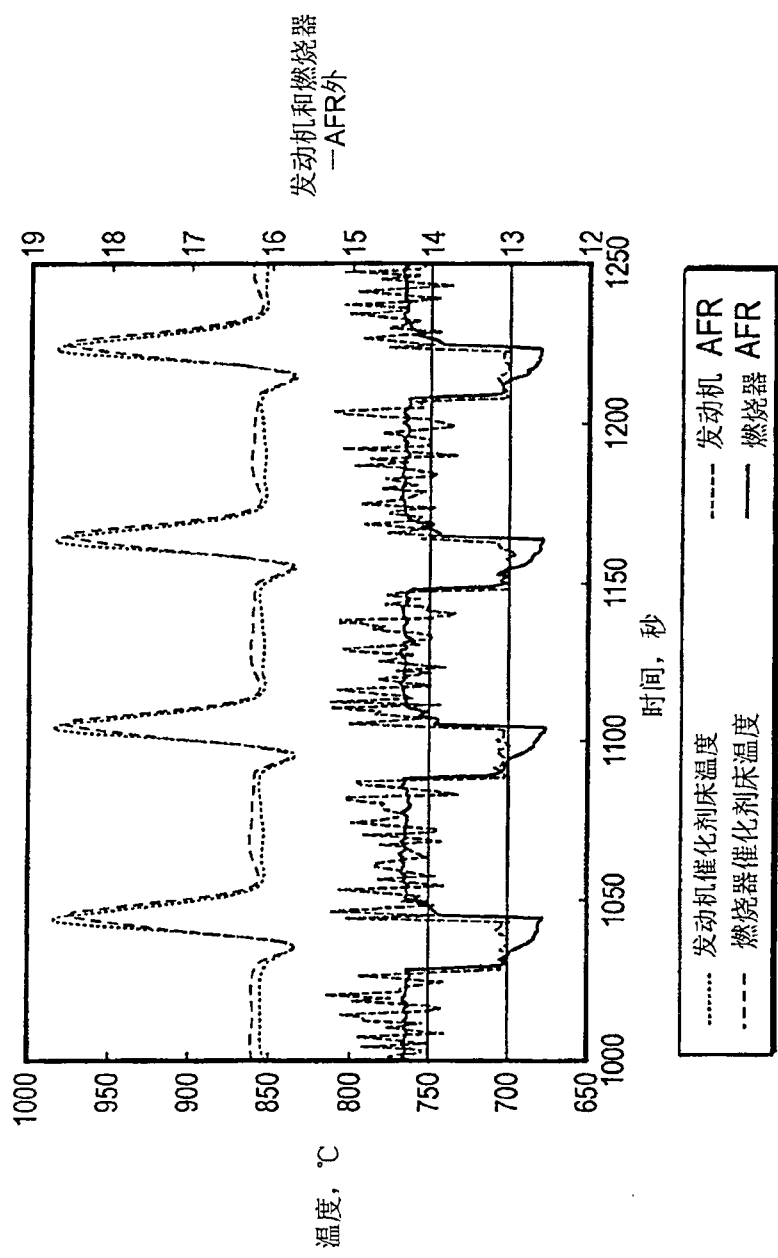


图 11

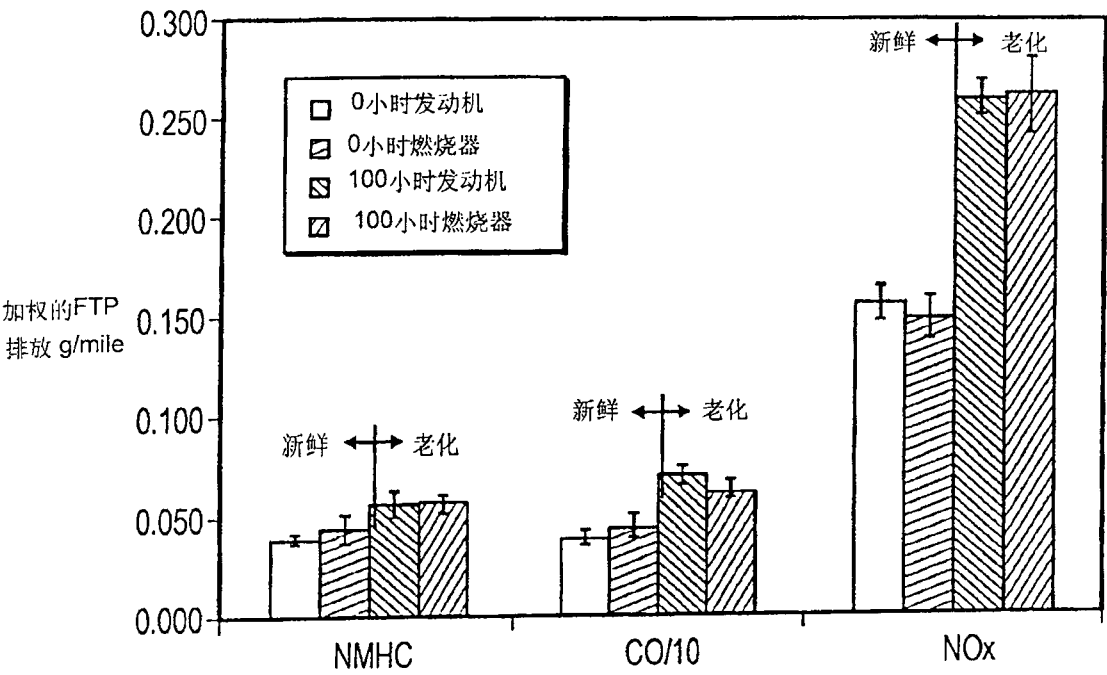


图 12

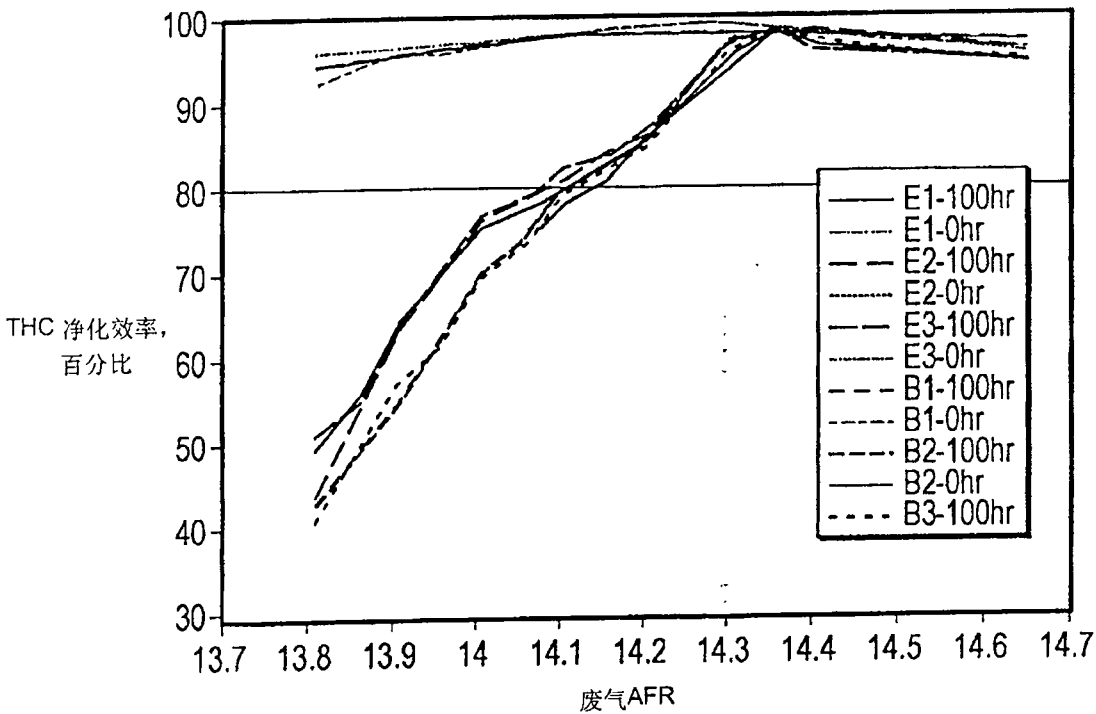


图 13

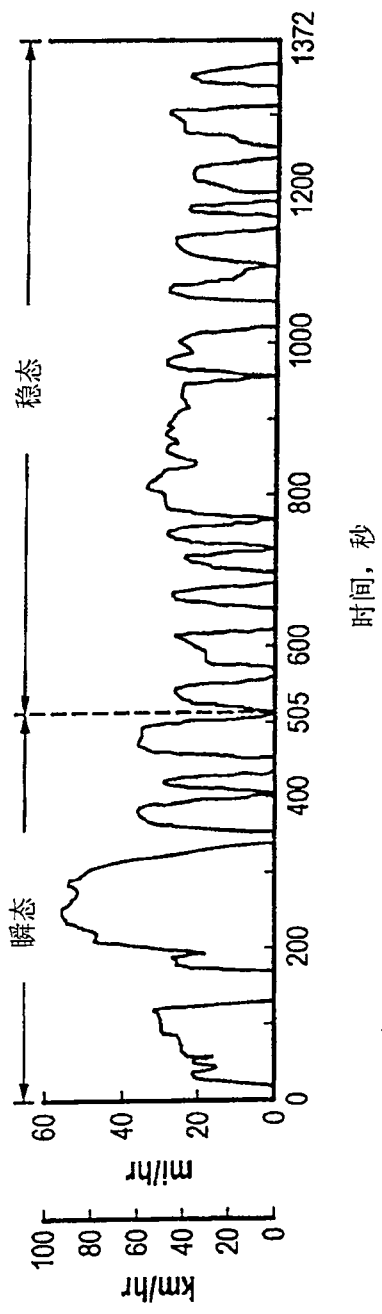


图 14

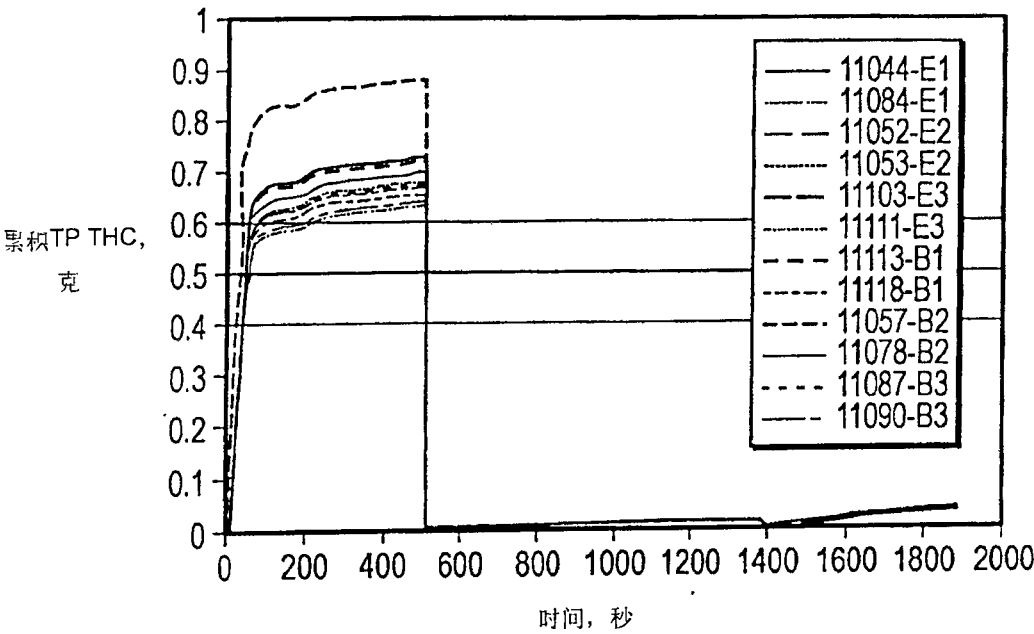


图 15A

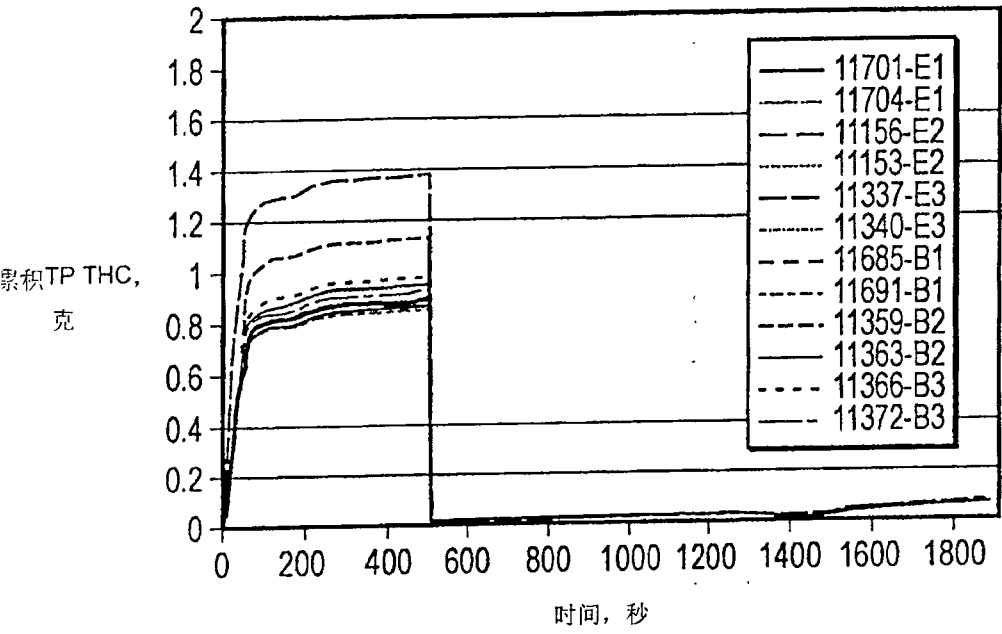


图 15B

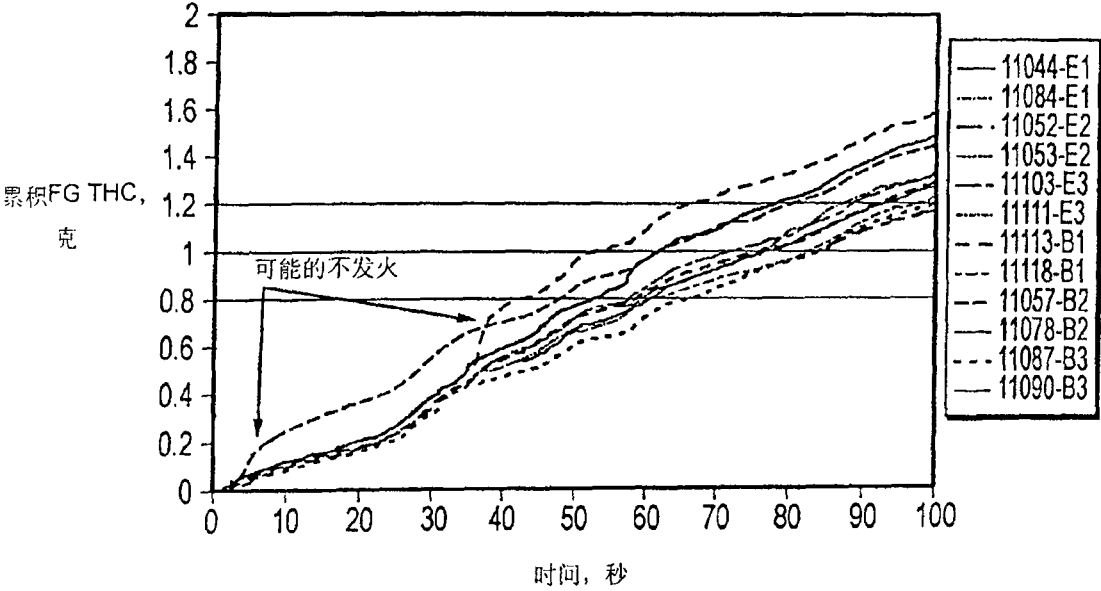


图 15C

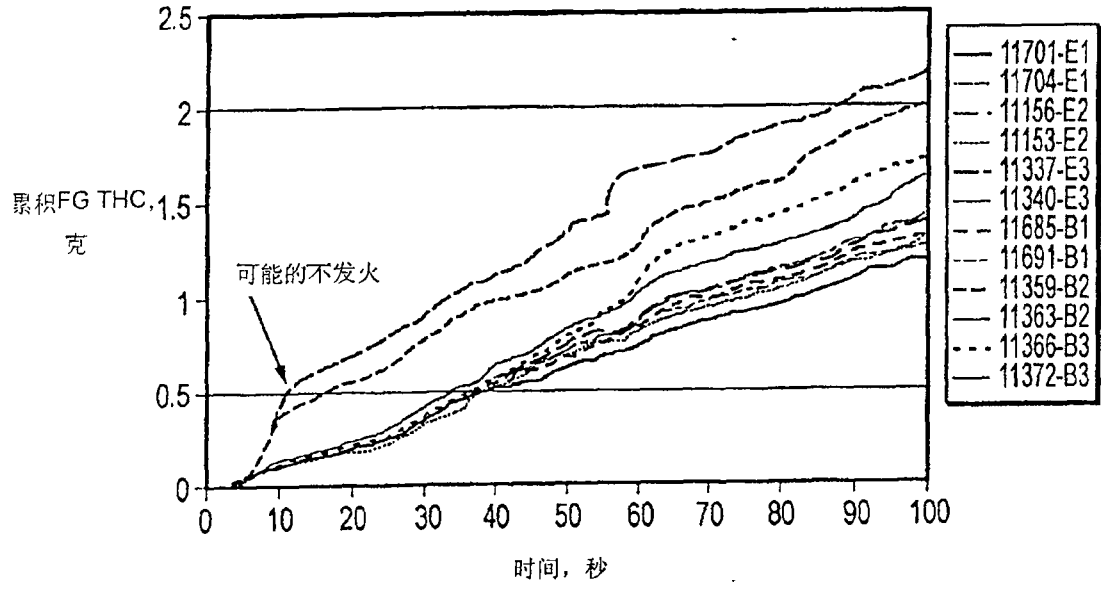
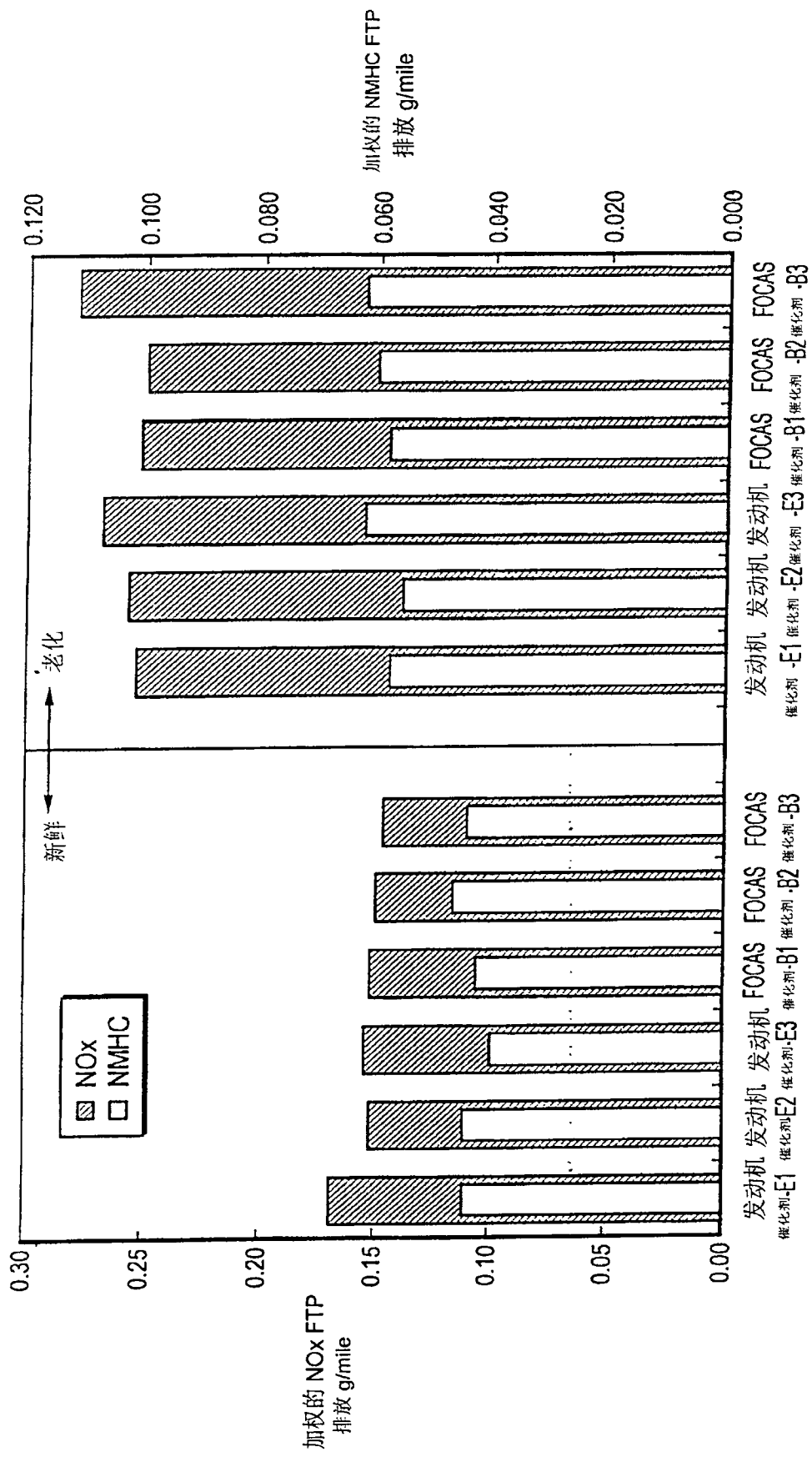


图 15D



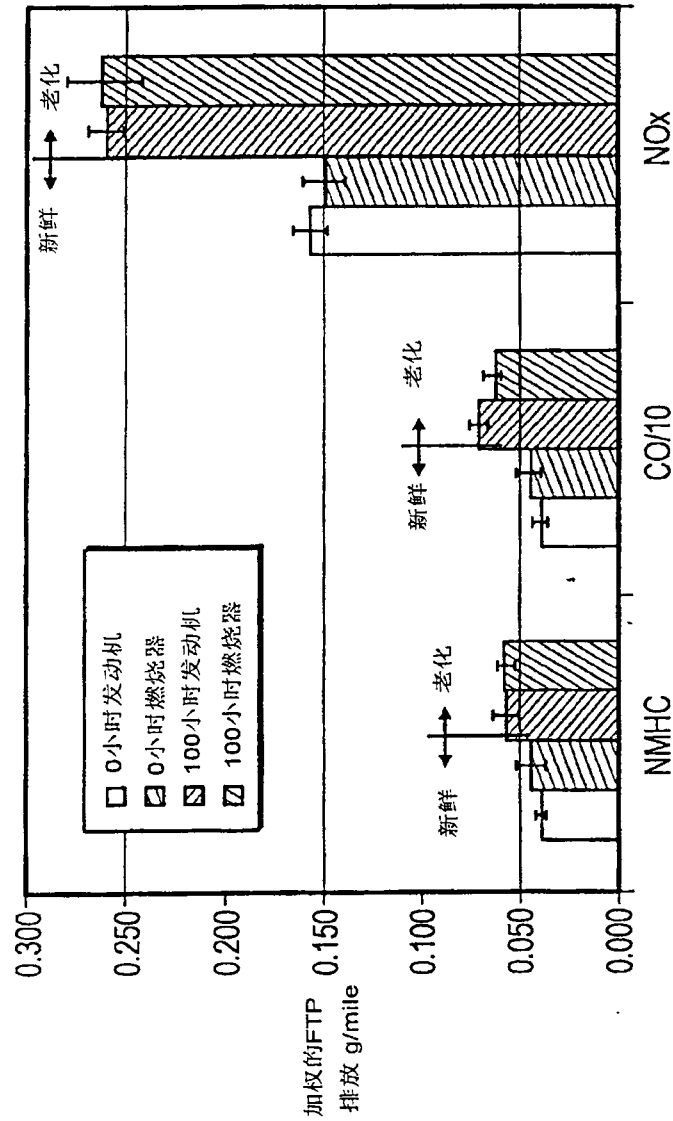
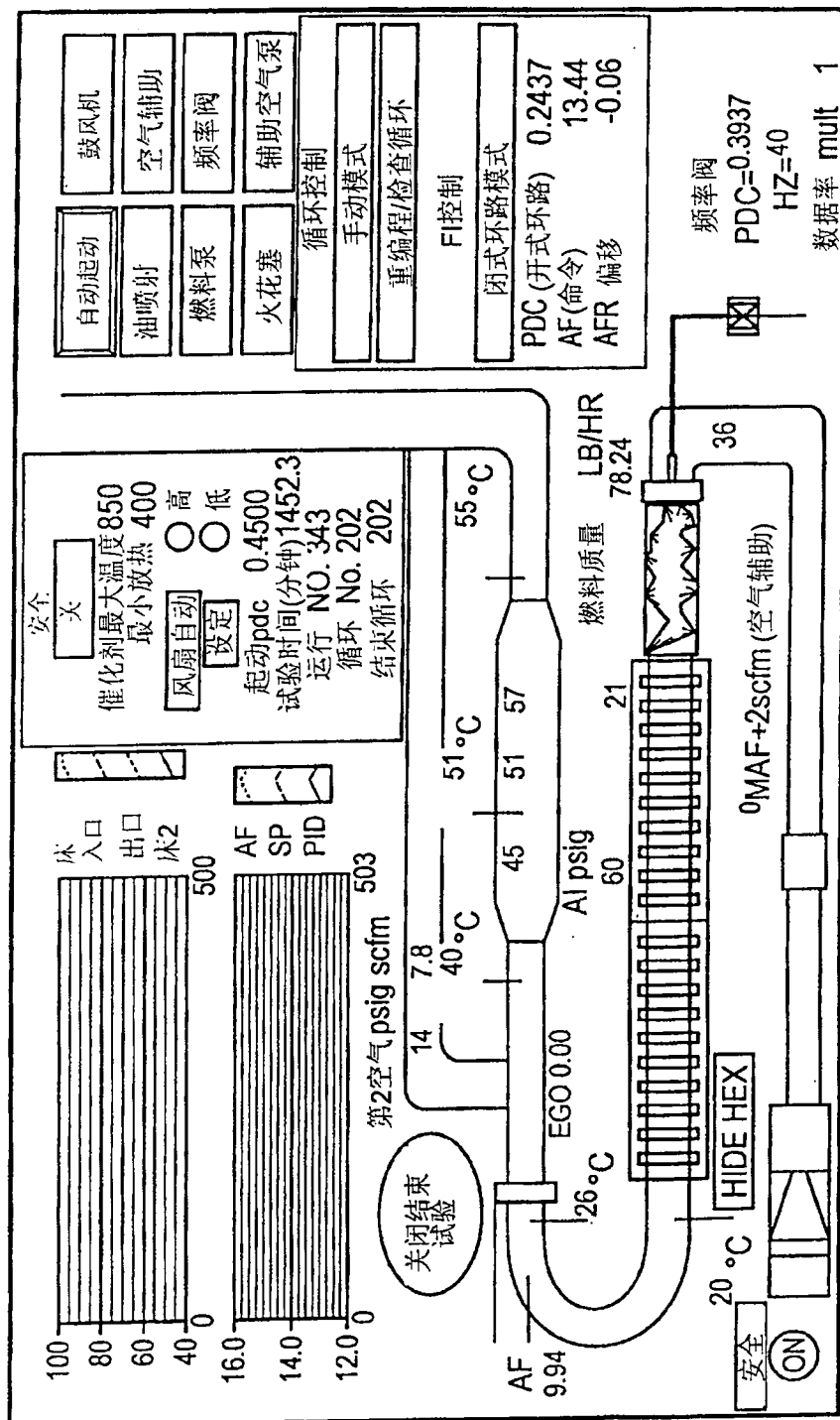


图 17



18

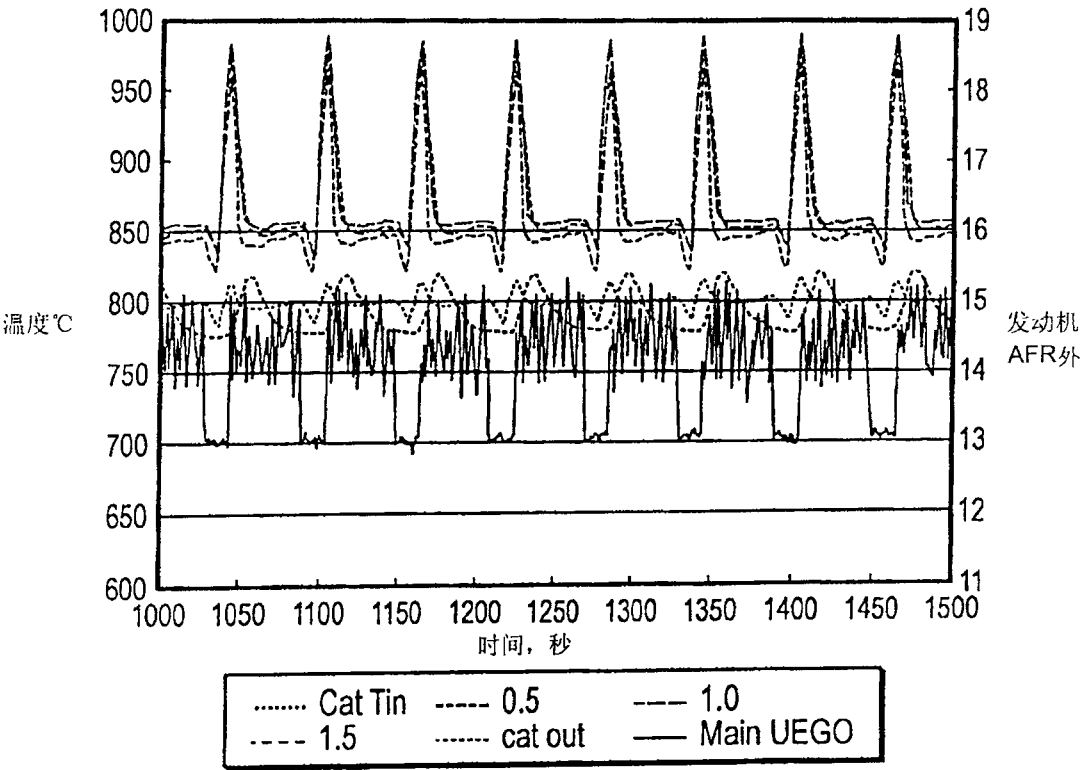


图 19A

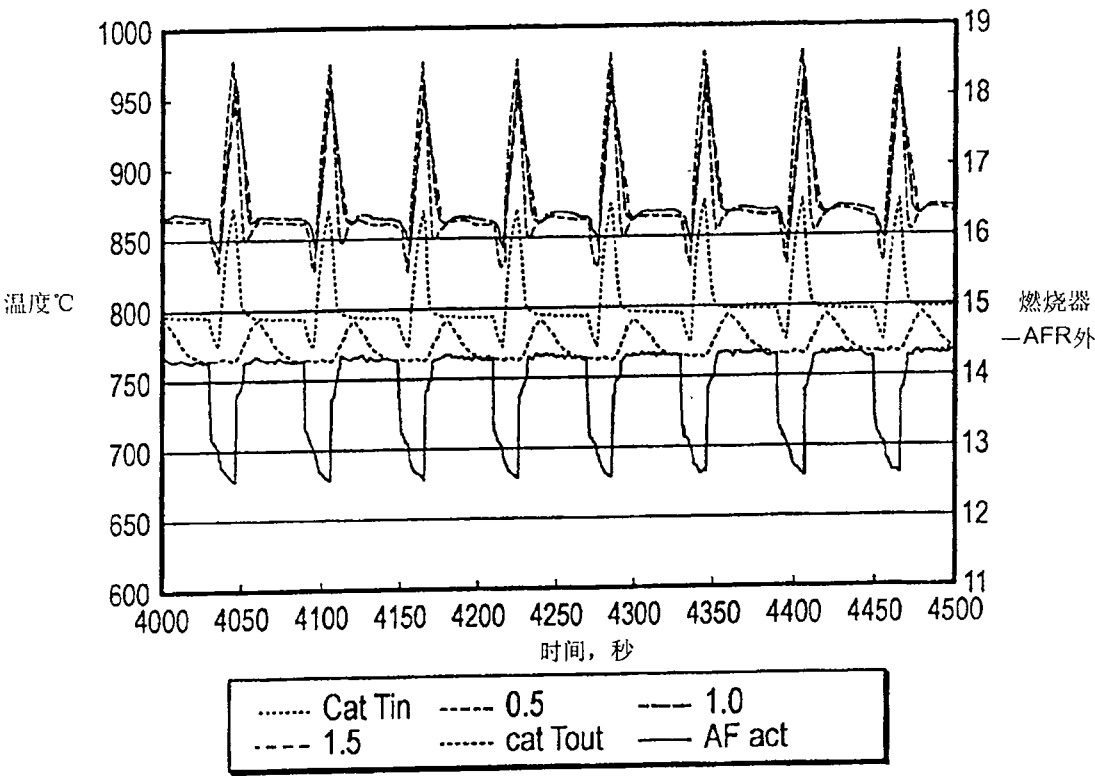


图 19B

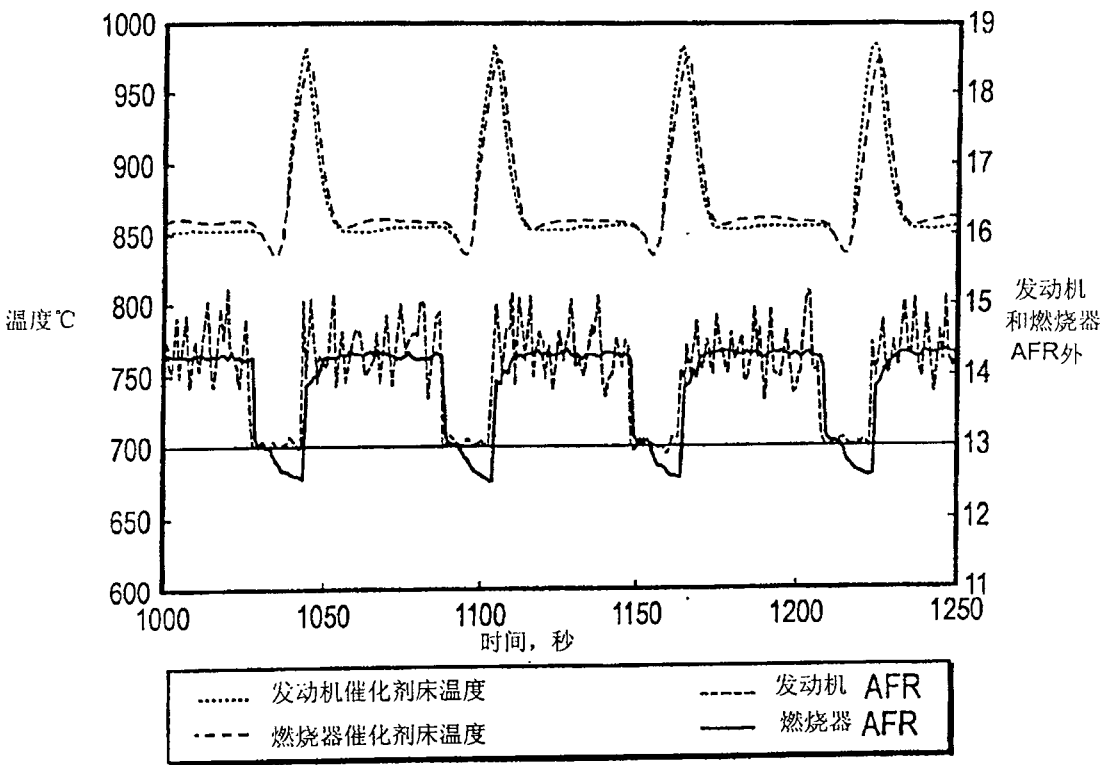


图 19C

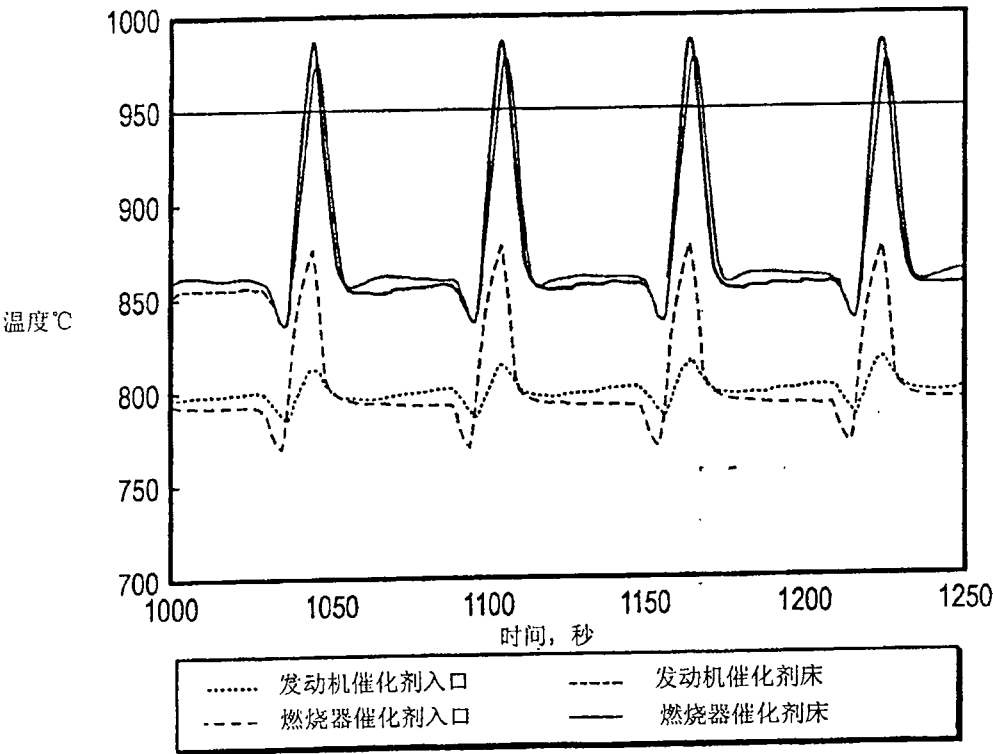


图 19D

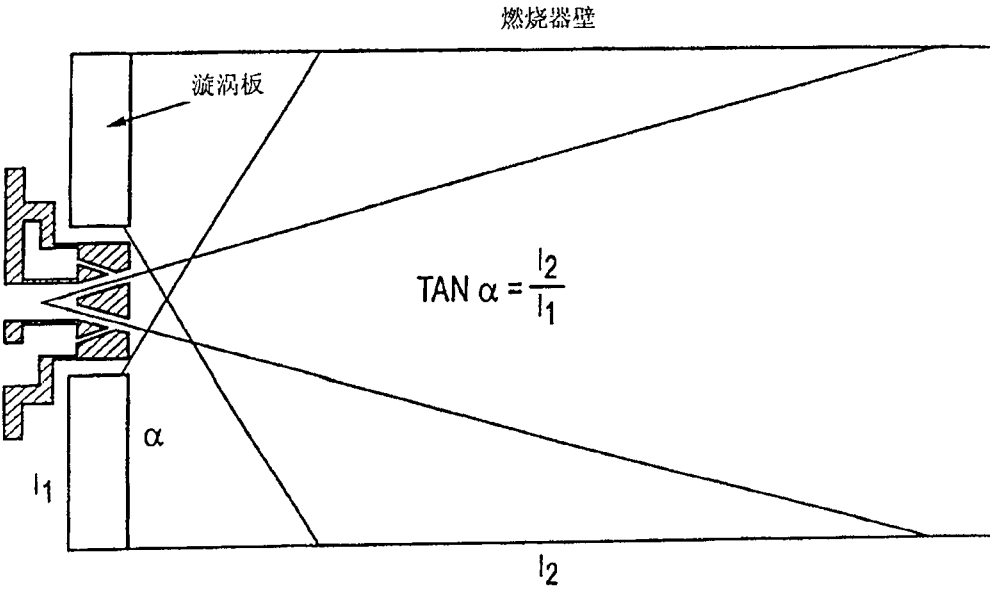


图 20

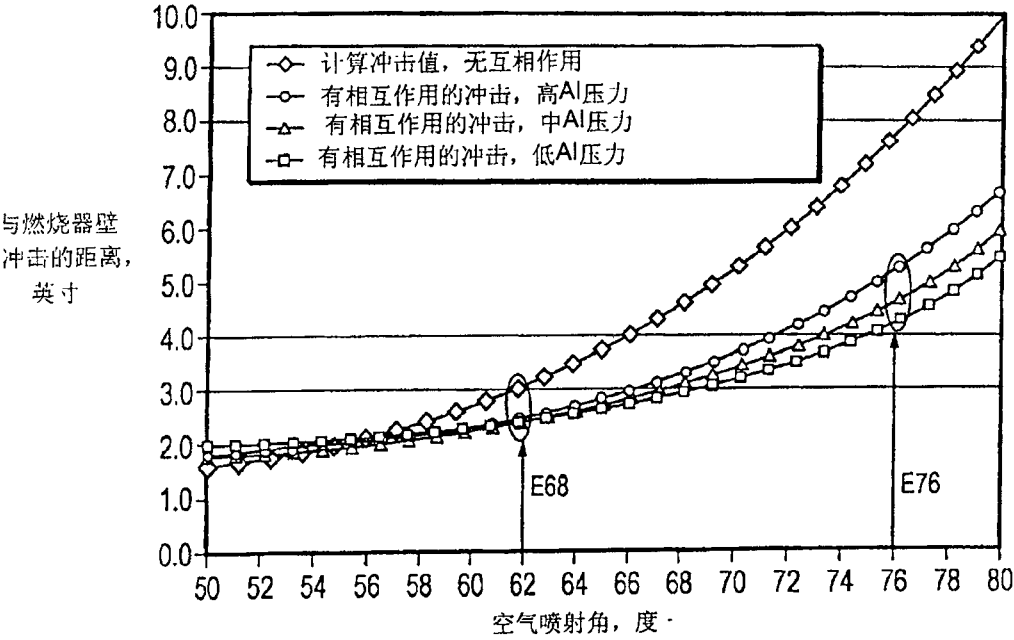


图 21

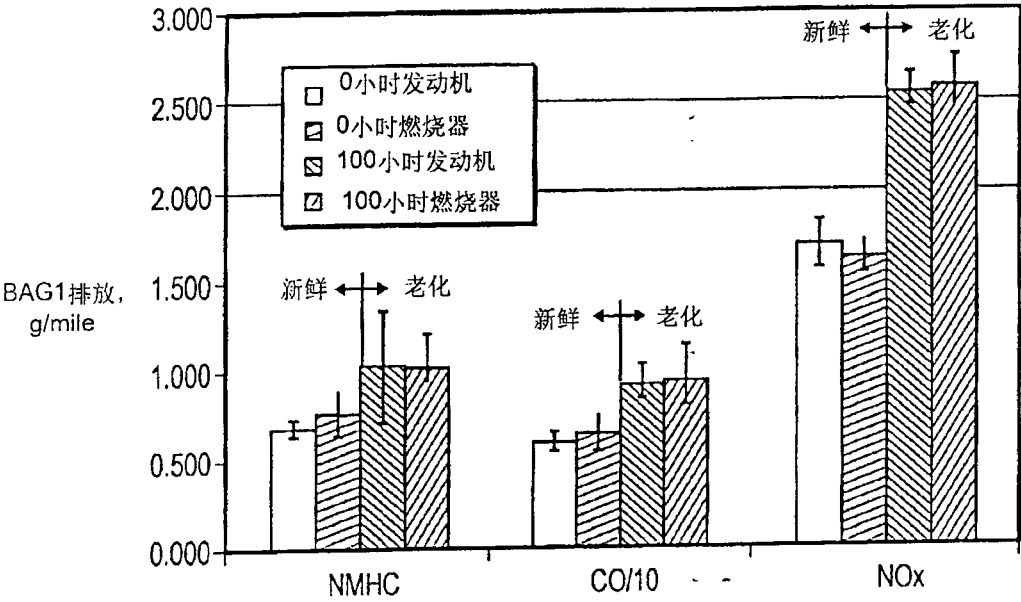


图 22

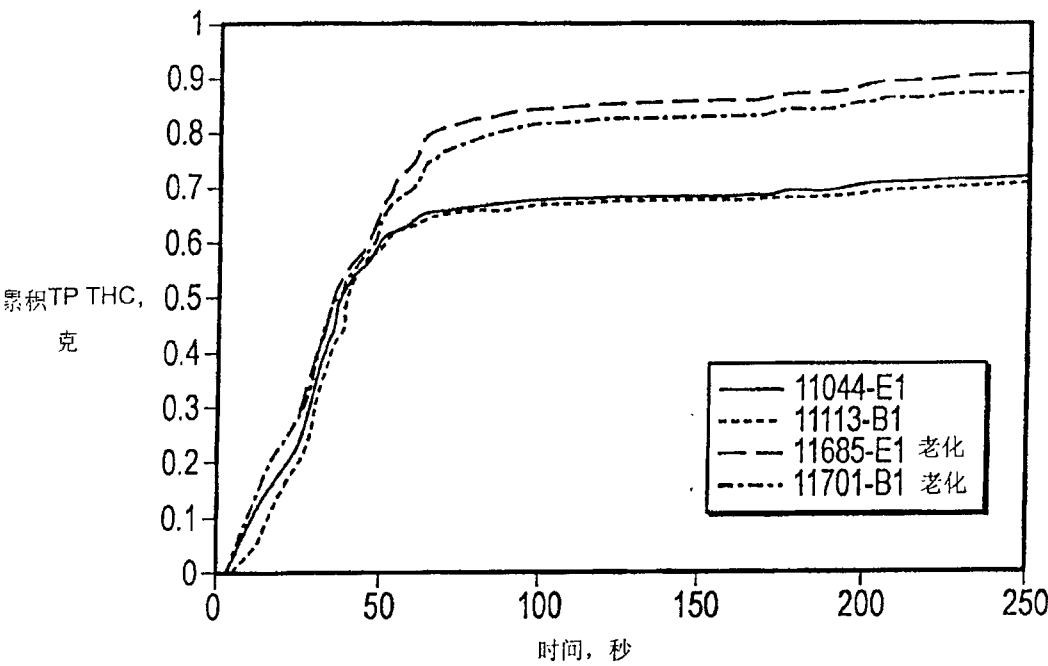


图 23

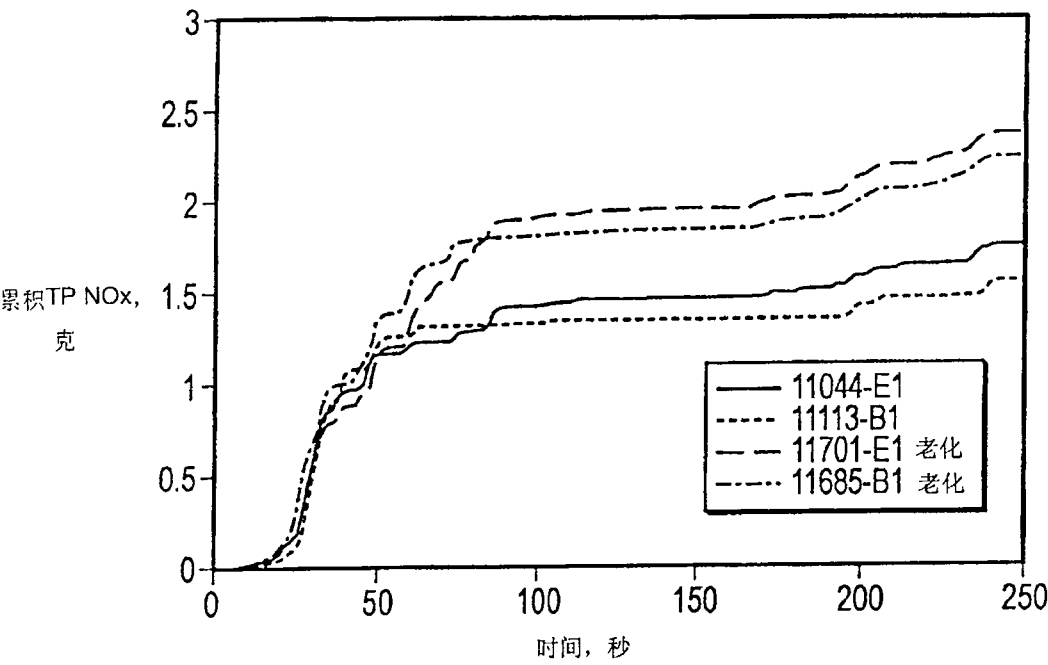


图 24

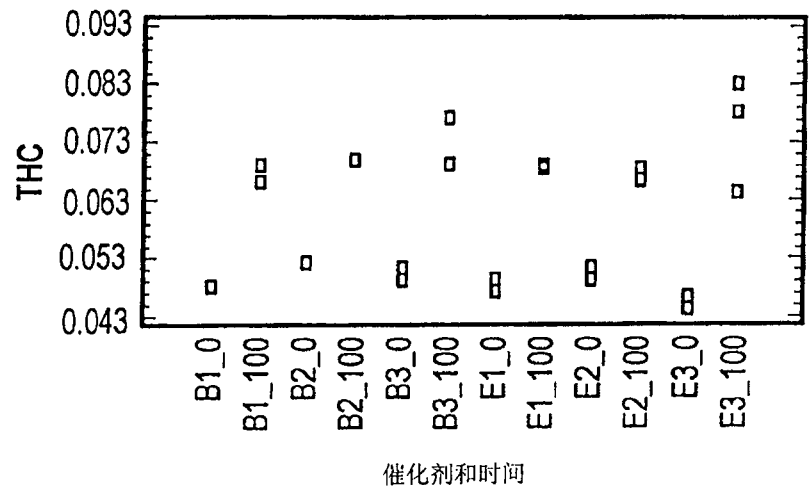


图 25

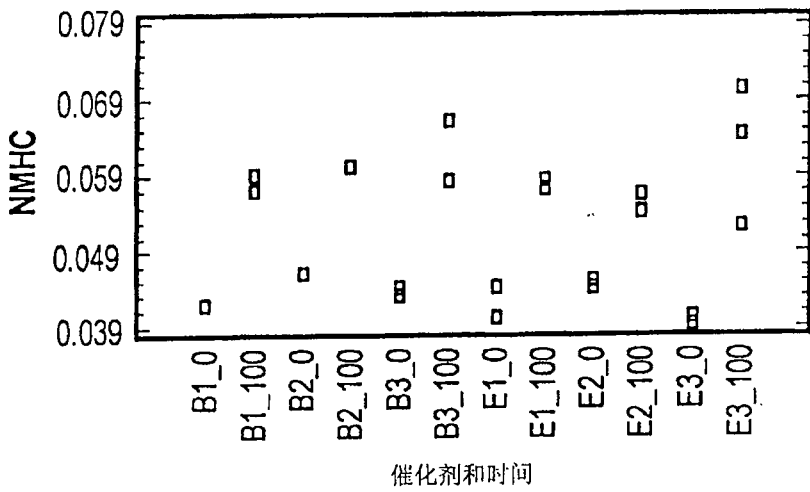


图 26

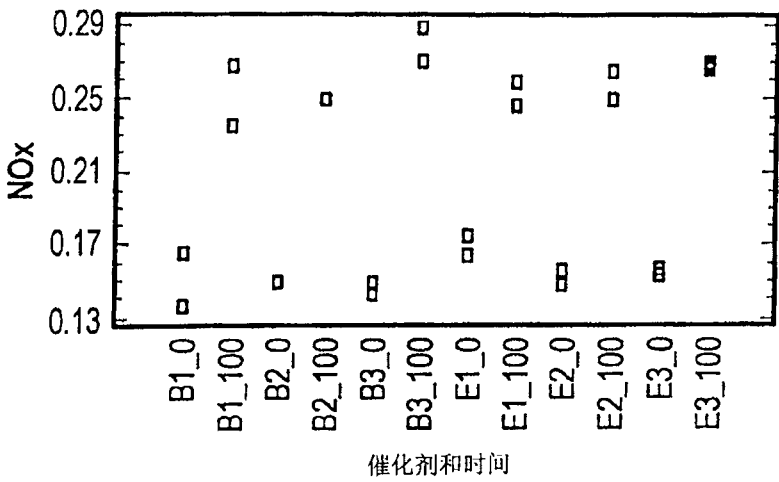


图 27

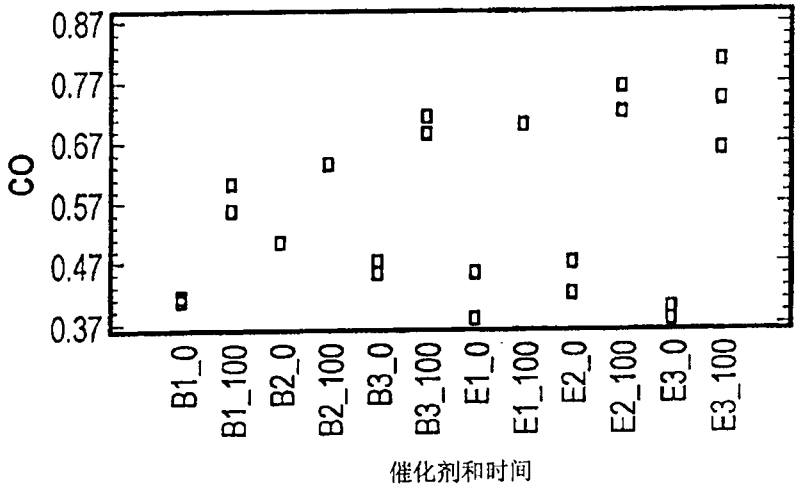


图 28

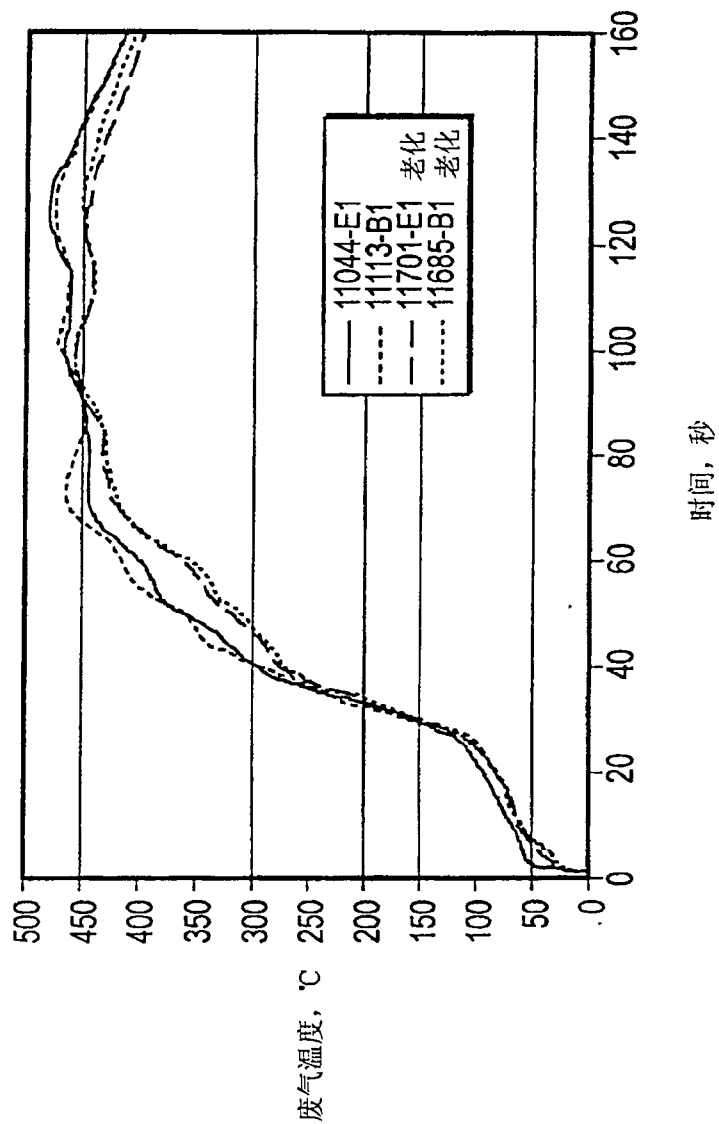


图 29