



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102369344 B

(45) 授权公告日 2013. 10. 23

(21) 申请号 201180002436. 9

代理人 汪洋

(22) 申请日 2011. 03. 14

(51) Int. Cl.

F02B 33/22(2006. 01)

(30) 优先权数据

61/313, 831 2010. 03. 15 US

61/363, 825 2010. 07. 13 US

61/365, 343 2010. 07. 18 US

(56) 对比文件

CN 1809691 A, 2006. 07. 26, 全文.

CN 1118620 C, 2003. 08. 20, 全文.

CN 101375035 A, 2009. 02. 25,

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 12. 13

审查员 孙金凤

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/028274 2011. 03. 14

(87) PCT申请的公布数据

W02011/115866 EN 2011. 09. 22

(73) 专利权人 史古德利集团有限责任公司

地址 美国马萨诸塞

(72) 发明人 理查德·美尔德雷斯

尼古拉斯·巴丹吉林

伊万·吉尔伯特

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

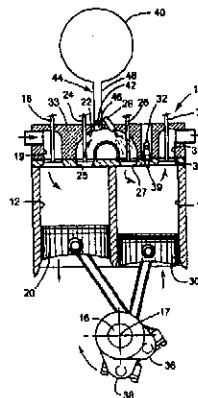
权利要求书2页 说明书8页 附图14页

(54) 发明名称

具有高剩余膨胀比的分开式循环发动机

(57) 摘要

本发明公开一种发动机,包括可旋转曲轴。压缩活塞可滑动地容纳在压缩气缸内并且可操作地连接到曲轴。膨胀活塞可滑动地容纳在膨胀气缸内和可操作地连接到曲轴。交换通道将压缩气缸和膨胀气缸相互连接。交换通道包括设置在其中的交换膨胀(XovrE)阀。在发动机点火(EF)模式中,发动机在XovrE阀关闭时具有10.0:1或更大,更优选地15.7:1或更大的剩余膨胀比。



1. 一种发动机,包括:

曲轴,能够围绕曲轴轴线旋转;

压缩活塞,可滑动地容纳在压缩气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使压缩活塞通过曲轴的单次旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

膨胀活塞,可滑动地容纳在膨胀气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使膨胀活塞通过曲轴的单次旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动;和

交换通道,将压缩气缸和膨胀气缸相互连接,交换通道包括设置在其中的交换膨胀(XovrE)阀;

该发动机能够在发动机点火(EF)模式中运转,其中,在EF模式中,该发动机在XovrE阀关闭时具有处于10.0:1的比率至15.7:1的比率范围内的剩余膨胀比。

2. 根据权利要求1所述的发动机,其中,在EF模式中,XovrE阀在膨胀活塞的上死点之后(ATDCe)在22度至30度的范围内关闭。

3. 根据权利要求1所述的发动机,其中交换通道包括设置在其中的交换压缩(XovrC)阀,所述交换压缩(XovrC)阀和交换膨胀(XovrE)阀在其间限定有压力室。

4. 根据权利要求3所述的发动机,包括:

空气存贮器,可操作地连接到交换通道,并且能够选择性地操作以储存来自压缩气缸的压缩空气,并且传送压缩空气到膨胀气缸;和

空气存贮器阀,选择性地控制空气流入和流出空气存贮器,其中,在EF模式中,空气存贮器阀关闭。

5. 根据权利要求1所述的发动机,其中,在EF模式中,压缩活塞抽吸和压缩在膨胀气缸中使用的进口空气,并且压缩空气在膨胀冲程开始时被允许与燃料一起进入膨胀气缸,所述燃料在膨胀活塞的同一膨胀冲程中被点燃、燃烧和膨胀,传输动力到曲轴,并且在排气冲程中排出燃烧产物。

6. 一种操作发动机的方法,该发动机包括:

曲轴,能够围绕曲轴轴线旋转;

压缩活塞,可滑动地容纳在压缩气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使压缩活塞通过曲轴的单次旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

膨胀活塞,可滑动地容纳在膨胀气缸内,并且可以操作地连接到曲轴,以使膨胀活塞通过曲轴的单次旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动;和

交换通道,将压缩气缸和膨胀气缸相互连接,交换通道包括设置在其中的交换膨胀(XovrE)阀;

该发动机能够在发动机点火(EF)模式中运转;

该方法包括下述步骤:

使用压缩活塞抽吸和压缩进口空气;

允许来自压缩气缸的压缩空气在膨胀冲程开始时与燃料一起进入膨胀气缸,所述燃料在膨胀活塞的同一膨胀冲程中被点燃、燃烧和膨胀,传输动力到曲轴,在排气冲程排出燃烧产物;以及

在EF模式中,在XovrE阀关闭时保持处于10.0:1的比率至15.7:1的比率范围内的剩余膨胀比。

7. 根据权利要求6所述的方法,在EF模式中,包括在膨胀活塞的上死点之后(ATDCe)在22度至30度范围内关闭XovrE阀的步骤。

8. 根据权利要求6所述的方法,其中发动机包括:

设置在其中的交换压缩(XovrC)阀,所述交换压缩(XovrC)阀和交换膨胀(XovrE)阀在其间限定有压力室;

空气存贮器,可操作地连接到交换通道,并能够选择性地操作以储存来自压缩气缸的压缩空气,并且传送压缩空气到膨胀气缸;和

空气存贮器阀,选择性地控制空气流入和流出空气存贮器;并且

该方法还包括在发动机在EF模式中运转时保持空气存贮器阀关闭的步骤。

## 具有高剩余膨胀比的分开式循环发动机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种分开式循环发动机,且更特别地,涉及具有高剩余膨胀比和任选地结合空气混合系统的这种发动机。

### 背景技术

[0002] 为了清楚的目的,在本申请中所使用的术语“传统发动机”是指内燃机,其中公知的奥托循环(Otto cycle)的所有四个冲程(即进气(或进口)、压缩、膨胀(或动力)和排气冲程)包含在发动机的每个活塞/气缸结合中。在传统发动机的每个气缸中,每个冲程的需要曲轴的半个旋转(180度曲轴角(CA)),完成整个奥托循环需要曲轴的两个完整旋转(720度CA)。

[0003] 为了清楚的目的,对可能会应用于现有技术中公开的发动机和在本申请中涉及的术语“分开式循环发动机”提供如下定义。

[0004] 在此涉及的分开式循环发动机包括:

[0005] 曲轴,能够围绕曲轴轴线转动;

[0006] 压缩活塞,所述压缩活塞可滑动地容纳在压缩气缸内并且可操作地连接到曲轴,使得压缩活塞通过在曲轴的单次转动期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

[0007] 膨胀(动力)活塞,可滑动地容纳在膨胀气缸内并且可操作地连接到曲轴,使得膨胀活塞通过在曲轴的单次转动期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动;和

[0008] 使膨胀气缸和压缩气缸相互连接的交换通道(端口),交换通道至少包括设置在其中的交换膨胀(XovrE)阀,但更优选地包括其间限定有压力室的交换压缩(XovrC)阀和交换膨胀(XovrE)阀。

[0009] 2003年4月8日授权给Scuderi(史古德利)的美国专利No. 6,543,225和2005年10月11日授予Branyon等人的美国专利No. 6,952,923(通过参考将二者结合于此)包含对分开式循环及类似类型的发动机所展开的讨论。此外,这些专利公开了现有发动机形式的细节,本发明详述这种现有发动机形式的进一步改进。

[0010] 分开式循环空气混合动力发动机将分开式循环发动机与空气存贮器和各种控制相结合。这种结合能够使分开式循环空气混合动力发动机将能量以压缩空气的形式存储在空气存贮器中。空气存贮器中的压缩空气后来用在膨胀气缸中为曲轴提供动力。

[0011] 在此涉及的分开式循环空气混合动力发动机包括:

[0012] 曲轴,能够围绕曲轴轴线旋转;

[0013] 压缩活塞,可滑动地容纳在压缩气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使压缩活塞通过在曲轴的单次旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动;

[0014] 膨胀(动力)活塞,可滑动地容纳在膨胀气缸中,并且可操作地连接到曲轴,以使膨胀活塞通过在曲轴的单次旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动;

[0015] 使压缩气缸和膨胀气缸相互连接的交换通道(端口),交换通道至少包括设置在其中的交换膨胀(XovrE)阀,但更优选地包括其间限定有压力室的交换压缩(XovrC)阀和

交换膨胀 (XovrE) 阀;和

[0016] 空气存贮器,可操作地连接到交换通道,并且选择性地可操作以存储来自压缩气缸的压缩空气,并传送压缩空气到膨胀气缸

[0017] 通过参考结合于此的 2008 年 4 月 8 日授予 Scuderi 等人的美国专利号 No. 7, 353, 786 包含分开式循环空气混合和类似类型发动机的广泛讨论。此外,这个专利公开了本发明详述其进一步改进的现有发动机形式的细节。

[0018] 分开式循环空气混合动力发动机可以以及正常运行模式或点火 (NF) 模式 (通常也称为发动机点火 (EF) 模式) 和四个基本空气混合模式运转。在 EF 模式中,该发动机用作非空气混合分开式循环发动机,在不使用其空气存贮器的情况下运转。在 EF 模式中,可操作地将交换通道连接到空气存贮器的罐阀保持关闭以将空气存贮器与基本分开式循环发动机分开。

[0019] 分开式循环空气混合动力发动机在四个混合模式中在使用其空气存贮器的情况下运转。这四个混合模式是:

[0020] 1) 空气膨胀 (AE) 模式,其包括在没有燃烧的情况下使用来自空气存贮器的压缩空气能量;

[0021] 2) 空气压缩机 (AC) 模式,其包括在没有燃烧的情况下将压缩空气能量储存在空气存贮器中;

[0022] 3) 空气膨胀和点火 (AEF) 模式,其包括在燃烧的情况下使用来自空气存贮器的压缩空气能量;和

[0023] 4) 点火和充气 (FC) 模式,其包括在燃烧的情况下将压缩空气能量储存在空气存贮器中;

[0024] 然而,期望进一步优选这些模式 EF、AE、AC、AEF 和 FC,以提高效率和减少排放。

### 发明内容

[0025] 本发明提供了一种分开式循环发动机,其中发动机点火模式“(EF) 的使用被优化用于潜在地处于任何驱动循环的任何车辆,用于提高效率。

[0026] 更特别的是,根据本发明的发动机的示例性实施例包括能够围绕曲轴轴线旋转的曲轴。压缩活塞可滑动地容纳在压缩气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使压缩活塞通过曲轴的单次旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动。膨胀活塞可滑动地容纳在膨胀气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使膨胀活塞通过曲轴的单次旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动。交换通道将压缩气缸和膨胀气缸相互连接。交换通道包括设置在其中的交换膨胀 (XovrE) 阀。该发动机能够在发动机点火 (EF) 模式中运转。在 EF 模式中,该发动机在 XovrE 阀关闭时具有 10.0 : 1 或更大的剩余膨胀比。

[0027] 还公开了一种发动机操作方法。该发动机包括能够围绕曲轴轴线旋转的曲轴。压缩活塞可滑动地容纳在压缩气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使压缩活塞通过曲轴的单次旋转期间的进气冲程和压缩冲程而往复运动。膨胀活塞可滑动地容纳在膨胀气缸内,并且可操作地连接到曲轴,以使膨胀活塞通过曲轴的单次旋转期间的膨胀冲程和排气冲程而往复运动。交换通道将压缩气缸和膨胀气缸相互连接。交换通道包括设置在其中的交换膨胀 (XovrE) 阀。该发动机能够在发动机点火 (EF) 模式中运转。根据本发明的方法包括

下述步骤:使用压缩活塞抽吸和压缩进口空气;允许来自压缩气缸的压缩空气在膨胀冲程开始时与燃料一起进入膨胀气缸,所述燃料在膨胀活塞的同一膨胀冲程中被点燃、燃烧和膨胀,传输动力到曲轴,在排气冲程排出燃烧产物;以及在 XovrE 阀关闭时保持 10.0 : 1 或更大,更优选 15.7 : 1 或更大的剩余膨胀比。

[0028] 根据接下来参照附图的详细说明,将更充分地理解本发明的这些以及其他特征和优势。

#### 附图说明

- [0029] 图 1 是根据本发明的示例性分开式循环空气混合发动机的横向剖视图;
- [0030] 图 2 是根据本发明的剩余膨胀比(即有效体积膨胀比)的优选示例性范围与交换膨胀(XovrE)阀的关闭角之间的关系的关系的图示说明;
- [0031] 图 3 是关于发动机转速和负荷的进气阀开启时间的图示说明;
- [0032] 图 4 是关于发动机转速和负荷的进气阀关闭时间的图示说明;
- [0033] 图 5 是关于发动机转速和负荷的进气阀持续时间的图示说明;
- [0034] 图 6 是关于发动机转速和负荷的交换压缩(XovrC)阀开启时间的图示说明;
- [0035] 图 7 是关于发动机转速和负荷的交换压缩(XovrC)阀关闭时间的图示说明;
- [0036] 图 8 是关于发动机转速和负荷的交换压缩(XovrC)阀持续时间的图示说明;
- [0037] 图 9 是关于发动机转速和负荷的交换膨胀(XovrE)阀开启时间的图示说明;
- [0038] 图 10 是关于发动机转速和负荷的交换膨胀(XovrE)阀关闭时间的图示说明;
- [0039] 图 11 是关于发动机转速和负荷的交换膨胀(XovrE)阀持续时间的图示说明;
- [0040] 图 12 是关于发动机转速和负荷的排气阀开启时间的图示说明;
- [0041] 图 13 是关于发动机转速和负荷的排气阀关闭时间的图示说明;以及
- [0042] 图 14 是关于发动机转速和负荷的排气阀持续时间的图示说明;

#### 具体实施方式

- [0043] 以下首字母缩写词的词汇和术语定义供参考。
- [0044] 一般情况
- [0045] 除另有规定外,所有阀门开启和关闭时间都是以膨胀活塞的上死点之后(ATDCe)的曲轴角角度测量的。
- [0046] 除另有规定外,所有阀门持续时间都处于曲柄角角度(CA)内。
- [0047] 气罐(或空气储罐):用于压缩空气的储罐。
- [0048] ATDCe:膨胀活塞的上死点之后。
- [0049] Bar:压力单位,1bar(巴) =  $10^5\text{N}/\text{M}^2$
- [0050] BMEP:制动平均有效压力。术语“制动”指在考虑摩擦损失(FMEP)后传递到曲轴(或输出轴)的输出。制动平均有效压力(BMEP)是以术语平均有效压力(MEP)值表示的发动机的制动扭矩输出。BMEP 等于制动扭矩除以发动机排量。这是考虑由于摩擦引起的损失以后获得的性能参数。因此,  $\text{BMEP} = \text{IMEP} - \text{摩擦力}$ 。在这种情况下摩擦力通常以 MEP 值表示,MEP 值熟知为摩擦平均有效压力(或 FMEP)。
- [0051] 压缩机:分开式循环发动机的压缩气缸和其相关的压缩活塞。

- [0052] 排气 (或 EXH) 持续时间 : 排气阀的持续时间。
- [0053] 排气 (或 EXH) 阀 : 控制气体从膨胀气缸排出的阀。
- [0054] 膨胀机 : 分开式循环发动机的膨胀气缸和其相关的膨胀活塞。
- [0055] IMEP : 指示平均有效压力。术语“指示”是指在考虑摩擦损失 (FMEP) 之前传递到活塞顶部的输出。
- [0056] RPM : 每分钟转数。
- [0057] 罐阀 : 连接 Xovr 通道与压缩空气储罐的阀。
- [0058] 阀门持续时间 : 阀门的开启开始和阀门关闭结束之间的曲柄角度间隔。
- [0059] VVA : 可变阀门致动。可操作以改变阀门升程轮廓的形状或时间的机制或方法。
- [0060] Xovr (或 Xover) 阀、通道或端口 : 连接压缩气缸和膨胀气缸的交换阀、通道和 / 或端口, 气体通过交换阀、通道和 / 或端口从压缩气缸流到膨胀气缸。
- [0061] XovrC (或 XoverC) 阀 : 在 Xovr 通道的压缩机端处的阀。
- [0062] XovrC 持续时间 : XovrC 阀的开启和 XovrC 阀关闭结束之间的曲柄角度间隔。
- [0063] XovrE (或 XoverE) 阀 : 在交换 (Xovr) 通道的膨胀端处的阀。
- [0064] XovrE 持续时间 : XovrE 阀门的开启和 XovrE 阀门关闭结束之间的曲柄角度间隔。
- [0065] 参照图 1, 示例性分开式循环空气混合动力发动机大致由数字 10 显示。分开式循环空气混合动力发动机 10 用一个压缩气缸 12 和一个膨胀气缸 14 的结合取代传统发动机的两个相邻气缸。气缸盖 33 通常设置在膨胀和压缩气缸 12、14 的开启端, 以覆盖和密封气缸。
- [0066] 奥托循环的四个冲程在两个气缸 12 和 14 上是“分开”, 以使压缩气缸 12 与其相关的压缩活塞 20 一起执行进气冲程和压缩冲程, 并且膨胀气缸 14 与其相关的膨胀活塞 30 一起执行膨胀冲程和排气冲程。因此, 曲轴 16 围绕曲轴轴线 17 每旋转一次 (360 度 CA), 奥托循环就在这两个气缸 12、14 中完成一次。
- [0067] 在进气冲程期间, 通过设置在气缸盖 33 中的进气端口 19 将进口空气吸入压缩气缸 12。向内开启 (向内开启进入气缸和朝向活塞) 的提升进气阀 18 控制进气端口 19 和压缩气缸 12 之间的流体连通。
- [0068] 在压缩冲程期间, 压缩活塞 20 加压空气进料并驱动空气进料进入交换通道 (或端口) 22, 交换通道 (或端口) 22 通常设置在气缸盖 33 中。这意味着, 压缩气缸 12 和压缩活塞 20 是到交换通道 22 的高压气源, 交换通道 22 作为用于膨胀气缸 14 的进口通道。在一些实施例中, 两个或两个以上的交换通道 22 将压缩气缸 12 和膨胀气缸 14 相互连接。
- [0069] 分开式循环发动机 10 的压缩气缸 12 (并且一般用于分开式循环发动机) 的几何 (或体积) 压缩比在此通常指分开式循环发动机的“压缩比”。分开式循环发动机 10 的膨胀气缸 14 (并且一般用于分开式循环发动机) 的几何 (或体积) 压缩比在此通常指分开式循环发动机的“膨胀比”。气缸的几何压缩比在本领域中公知为在其中往复的活塞处于其下死点 (BDC) 位置时在气缸 (包括所有凹槽) 中的封闭 (或捕获) 体积与所述活塞处于其上死点 (TDC) 位置时气缸内的封闭体积 (即余隙容积) 之比。具体地, 对于在此限定的分开式循环发动机, 在 XovrC 阀关闭时确定压缩气缸的压缩比。同样具体地, 对于在此限定的分开式循环发动机, 在 XovrE 阀关闭时确定膨胀气缸的膨胀比。
- [0070] 由于压缩气缸 12 内的非常高的压缩比 (例如, 20 : 1、30 : 1、40 : 1 或更大),

在交换通道入口 25 处的向外开启（远离气缸和活塞向外开启）的提升交换压缩（XovrC）阀 24 用来控制从压缩气缸 12 进入交换通道 22 的流动。由于膨胀气缸 14 内非常高的膨胀比（例如，20 : 1、30 : 1、40 : 1 或更大），在交换通道 22 的出口 27 处的向外开启的提升交换膨胀（XovrE）阀 26 用来控制从交换通道 22 进入膨胀气缸 14 的流动。XovrC 阀 24 和 XovrE 阀 26 的致动速度和相位被定时以在奥托循环的所有四个冲程期间将交换通道 22 中的压力维持在高的最低压力（在满负荷时通常 20 巴或更高）。

[0071] 至少一个燃料喷射器 28 与 XovrE 阀 26 的开启一致地在交换通道 22 的出口端处将燃料注入加压空气，这发生在膨胀活塞 30 到达其上死点位置前不久。在膨胀活塞 30 接近其上死点位置时，空气 / 燃料进料进入膨胀气缸 14。在活塞 30 开始从其上死点位置下降时，并且同时 XovrE 阀 26 仍然开启时，包括突入气缸 14 的火花塞尖端 39 的火花塞 32 被点燃以在火花塞尖端 39 附近的区域中启动燃烧。在膨胀活塞处于越过其上死点（TDC）位置之后的 1 度和 30 度 CA 之间时，可以启动燃烧。更优选地，在膨胀活塞处于越过其上死点（TDC）位置之后的 5 度和 25 度 CA 之间时，可以启动燃烧。更优选地，在膨胀活塞处于越过其上死点（TDC）位置之后的 10 度和 20 度 CA 之间时，可以启动燃烧。此外，可以通过其他点火装置和 / 或方法启动燃烧，如使用电热塞、微波点火装置或通过压缩点火方式。

[0072] 在排气冲程期间，通过设置在气缸盖 33 中的排气端口 35 将排出气体抽出膨胀气缸 14。设置在排气端口 35 的进气口 31 中的向内开启提升排气阀 34 控制膨胀气缸 14 和排气端口 35 之间的流体连通。排气阀 34 和排气端口 35 与交换通道 22 分开。也就是说，排气阀 34 和排气端口 35 不与交换通道 22 接触或不设置在交换通道 22 中。

[0073] 在分开式循环的发动机概念中，压缩气缸 12 和膨胀气缸 14 的几何发动机参数（即内径、冲程、连杆长度、体积压缩比等）一般相互独立。例如，用于压缩气缸 12 和膨胀气缸 14 的曲轴行程 36、38 可以分别具有不同半径，并且可以彼此分开地定相，以使膨胀活塞 30 的上死点（TDC）发生在压缩活塞 20 的上死点（TDC）之前。这种独立性能够使分开式循环发动机 10 比典型四冲程发动机潜在地实现更高效率水平和更大的扭矩。

[0074] 分开式循环发动机 10 中的发动机参数的几何独立性也是如前面所讨论的为什么可以在交换通道 22 中维持压力的主要原因之一。具体来说，膨胀活塞 30 以预估的相角（通常在 10 和 30 曲柄角度之间）在压缩活塞到达其上死点位置之前到达其上死点位置。这个相角与 XovrC 阀 24 和 XovrE 阀 26 的适当定时一起使得分开式循环发动机 10 能够在其压力 / 体积循环的全部四个冲程期间将交换通道 22 中的压力保持在高的最低压力处（在满负荷运转期间通常为 20 巴的绝对值或更高）。也就是说，分开式循环发动机 10 可操作以定时 XovrC 阀 24 和 XovrE 阀 26，以使 XovrC 阀和 XovrE 阀都开启相当长的时间周期（或曲轴旋转周期），在此期间，膨胀活塞 30 从其 TDC 位置朝向其 BDC 位置下降，并且压缩活塞 20 同时从其 BDC 位置朝向其 TDC 位置上升。在阀 24、26 都开启的时间周期（或曲轴旋转）期间，大致等量空气从（1）压缩气缸 12 转移到交换通道 22 和（2）从交换通道 22 转移到膨胀气缸 14。因此，在此期间，防止交换通道中的压力降低到预定最低压力（在满负荷运转期间通常是 20、30 或 40 巴的绝对值）以下。此外，在发动机循环的实质部分（通常是整个发动机循环的 80% 或更高）期间，XovrC 阀 24 和 XovrE 阀 26 两者都关闭，以将捕获在交换通道 22 中的气体的量保持在基本恒定水平处。结果，在发动机的压力 / 体积循环的全部四个冲程期间，将交换通道 22 中的压力保持在预定最低压力处。



[0075] 为此目的,为了同时地传输大致相同量的气体流入和流出交换通道 22,在膨胀活塞 30 从 TDC 下降和压缩活塞 20 朝向 TDC 上升的同时使 XovrC 阀 24 和 XovrE 阀 26 开启的方法,在此称为推挽式气体输送方法。推挽式方法使得在发动机满负荷运转时,能够在发动机循环的所有四个冲程期间,将分开式循环发动机 10 的交换通道 22 中的压力典型地保持在 20 巴或更高。

[0076] 如前所述,排气阀 34 设置在气缸盖 33 的与交换通道 22 分开的排气端口 35 中。为了在排气冲程期间维持交换通道 22 中的被捕获的气体量,排气阀 34 不被设置在交换通道 22 中并且因此排气端口 35 不与交换通道 22 共享任何共同部分的结构布置是优选的,以因此防止大的循环压降,大的循环压降可能会使交换通道中的压力低于预定最低压力。

[0077] XovrE 阀 26 在膨胀活塞 30 到达其上死点位置前不久开启。此时,交换通道 22 中的压力与膨胀气缸 14 中的压力的压力比由于如下事实而是高的:交换通道中的最低压力通常是 20 巴的绝对值或更高,并且在排气冲程期间膨胀气缸中的压力典型地约 1 至 2 巴的绝对值。换句话说,当 XovrE 阀 26 开启时,交换通道 22 中的压力本质上高于膨胀气缸 14 中的压力(通常为 20:1 或更大的量级)。这种高的压力比引起空气和/或燃料供送的原始流动,从而以高的速度流动进入膨胀气缸 14。这些高流动速度可以达到声速,其称为声速流。这种声速流对分开式循环发动机 10 特别有利,因为其引起快速燃烧活动,其使得即使在膨胀活塞 30 从其上死点下降时启动点火时,分开式循环发动机 10 也能够保持高的燃烧压力。

[0078] 分开式循环空气混合动力发动机 10 还包括空气存贮器(罐)40,空气存贮器(罐)40 通过空气存贮器(罐)阀 42 可操作地连接到交换通道 22。具有两个或两个以上交换通道 22 的实施例可以包括用于每个交换通道 22 的罐阀 42,每个交换通道 22 连接到共用空气存贮器 40,或者替换地,每个交换通道 22 可以操作地连接到单独的空气存贮器 40。

[0079] 罐阀 42 通常设置在空气存贮器(罐)端口 44 中,空气存贮器(罐)端口 44 从交换通道 22 延伸到空气罐 40。空气罐端口 44 分为第一空气存贮器(罐)端口部 46 和第二空气存贮器(罐)端口部 48。第一空气罐端口部 46 将空气罐阀 42 连接至交换通道 22,并且第二空气罐端口部 48 将空气罐阀 42 连接到空气罐 40。第一空气罐端口部 46 的体积包括在罐阀 42 关闭时将罐阀 42 连接到交换通道 22 的所有附加端口和凹槽的体积。

[0080] 罐阀 42 可以是任何合适的阀装置或系统。例如,罐阀 42 可以由各种阀致动装置(例如,气动、液压、凸轮、电动等等)启动的主动阀。此外,罐阀 42 可以包括具有由两个或两个以上的致动装置致动的两个或两个以上阀的罐阀系统。

[0081] 如在上述 Scuderi 等人的美国专利号 No. 7, 353, 786 中所描述的那样,空气罐 40 用于储存压缩空气形式的能量,并在以后使用压缩空气以为曲轴 16 提供动力。这种储存潜在能量的机械装置提供了比当前技术状况多的潜在优势。例如,相比于在市场上的其他技术,如柴油发动机和电动混合动力系统,分开式循环发动机 10 可以以相对较低的制造和废物处理成本在燃料效率的提高和减少氮氧化物排放量方面潜在地提供许多优势。

[0082] 通过选择性地控制空气罐阀 42 的开启和/或关闭,并且因而控制空气罐 40 与交换通道 22 的连通,分开式循环空气混合动力发动机 10 能够在发动机点火(EF)模式、空气膨胀(AE)模式、空气压缩(AC)模式、空气膨胀和点火(AEF)模式、以及点火和充电(FC)模式中操作性。EF 模式是非混合模式,如上所述,发动机在没有使用空气罐 40 的情况下运转。

AC和FC模式是储能模式。AC模式是空气混合运转模式,其中如通过在制动期间利用包括发动机10的车辆的动能,将压缩空气储存在空气罐40中,而在膨胀气缸14中没有燃烧产生(即,没有燃料消耗)。FC模式是空气混合运转模式,其中如在不到发动机满负荷(如发动机怠速、车辆以恒定速度巡航)情况下将燃烧不需要的多余压缩空气储存在空气罐40中。压缩空气在FC模式中的储存有能源消耗(损失);因此,在稍后时间使用压缩空气时期望具有净增益。AE和AEF模式是储存的能源使用模式。AE模式是空气混合运转模式,其中在膨胀活塞30中不发生燃烧(即,没有燃料消耗)的情况下,储存在空气罐40中的压缩空气用于驱动膨胀气缸14。AEF的模式是一种空气混合运转模式,储存在空气罐40中的压缩空气被利用在膨胀气缸14中用于燃烧。

[0083] 在EF模式中,空气罐阀42在曲轴16的整个旋转期间保持关闭,以将空气罐40与发动机10的其余部分隔离开来。因此,压缩空气未被接收在空气罐40中,储存的压缩空气也没有从空气罐中释放。压缩活塞20和膨胀活塞30处于其各自的压缩和动力模式中,其中压缩活塞20抽吸和压缩在膨胀气缸14中使用的进口空气,并且允许压缩空气与燃料在膨胀冲程开始时进入膨胀气缸14,燃料在膨胀活塞30的相同的膨胀冲程中被点燃、燃烧和膨胀,传输动力到曲轴16,并且燃烧产物在排气冲程中排放。

[0084] XovrE阀26在膨胀冲程开始时(在膨胀活塞30从上死点下降时)关闭的时间对于处于EF模式的发动机10的效率具有重要意义。这是因为,当XovrE阀26开启时,交换通道22的体积是活塞上方的其中发生燃烧的余隙空间的一部分,在其中发生燃烧。然而,几乎所有燃料位于膨胀气缸14中,并且没有燃料在交换通道22中。一旦XovrE阀26封闭,则整个燃烧过程被密闭到膨胀气缸14,并且燃料和空气的膨胀燃烧量能够最有效地在活塞30上作功。

[0085] XovrE阀26关闭得越晚,剩余(即有效体积)膨胀比越小,剩余膨胀比限定为比率(a/b), (a)为膨胀活塞30处于下死点时在膨胀气缸14中被捕获的体积(即,大致由气缸壁14、膨胀活塞的顶部30和气缸盖33的底部限定的腔的体积), (b)为在XovrE阀26刚关闭时被捕获在膨胀气缸14中的体积。一旦XovrE阀26在膨胀活塞30的膨胀冲程期间关闭,则膨胀捕获量仅存在于膨胀气缸14中并且在该膨胀捕获量膨胀时作功。显然地, XovrE 26阀关闭得越晚,膨胀活塞30离上死点越远,因此剩余膨胀比越小,并且在膨胀冲程期间作功越少。

[0086] 如图2所示,为避免发动机效率在EF模式中的显著恶化,剩余膨胀比应为10.0:1或更大。优选地,剩余膨胀比应为15.7:1或更大。在这个示例性实施例中,为实现10:1或更大的剩余膨胀比,XovrE阀应在约30度或更小的ATDCe处关闭,并且更优选地,应在22度或更小的ATDCe处关闭。

[0087] 图3到14是在一定范围的发动机转速(1000至4000rpm)和发动机负荷(1至5巴IMEP)内,示例性阀定时和持续时间(从开启到关闭的时间)的图示说明。例如,在约2500RPM和3巴IMEP处:(i)进气阀18在约36度ATDCe处开启,并在约102度ATDCe处关闭,导致进气阀开启持续约66度;(ii)XovrC阀24在约-18度ATDCe处开启和在约24度ATDCe处关闭,导致XovrC阀开启持续约42度;(iii)XovrE阀26在约-14度ATDCe处开启并且在约22度ATDCe处关闭,导致XovrE阀开启持续约36度;以及(iv)排气阀34在约148度ATDCe处开启并在约-13度ATDCe处关闭,导致排气阀开启持续约199度。

[0088] 虽然已经参照具体实施例描述本发明,但应该理解,在描述的创造性概念的精神和范围内可以进行各种变化。因此,意图在于,本发明不限于所描述的实施例,而是包括由附后权利要求的语言限定的全部范围。

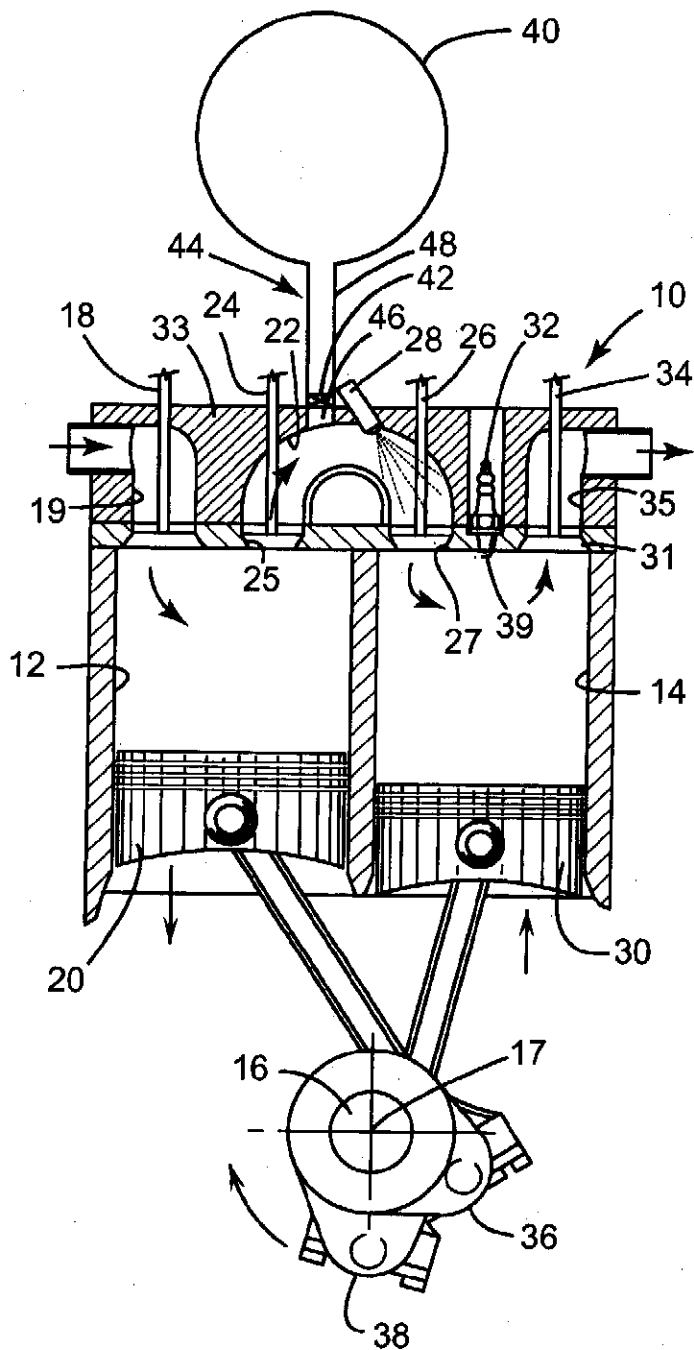


图 1

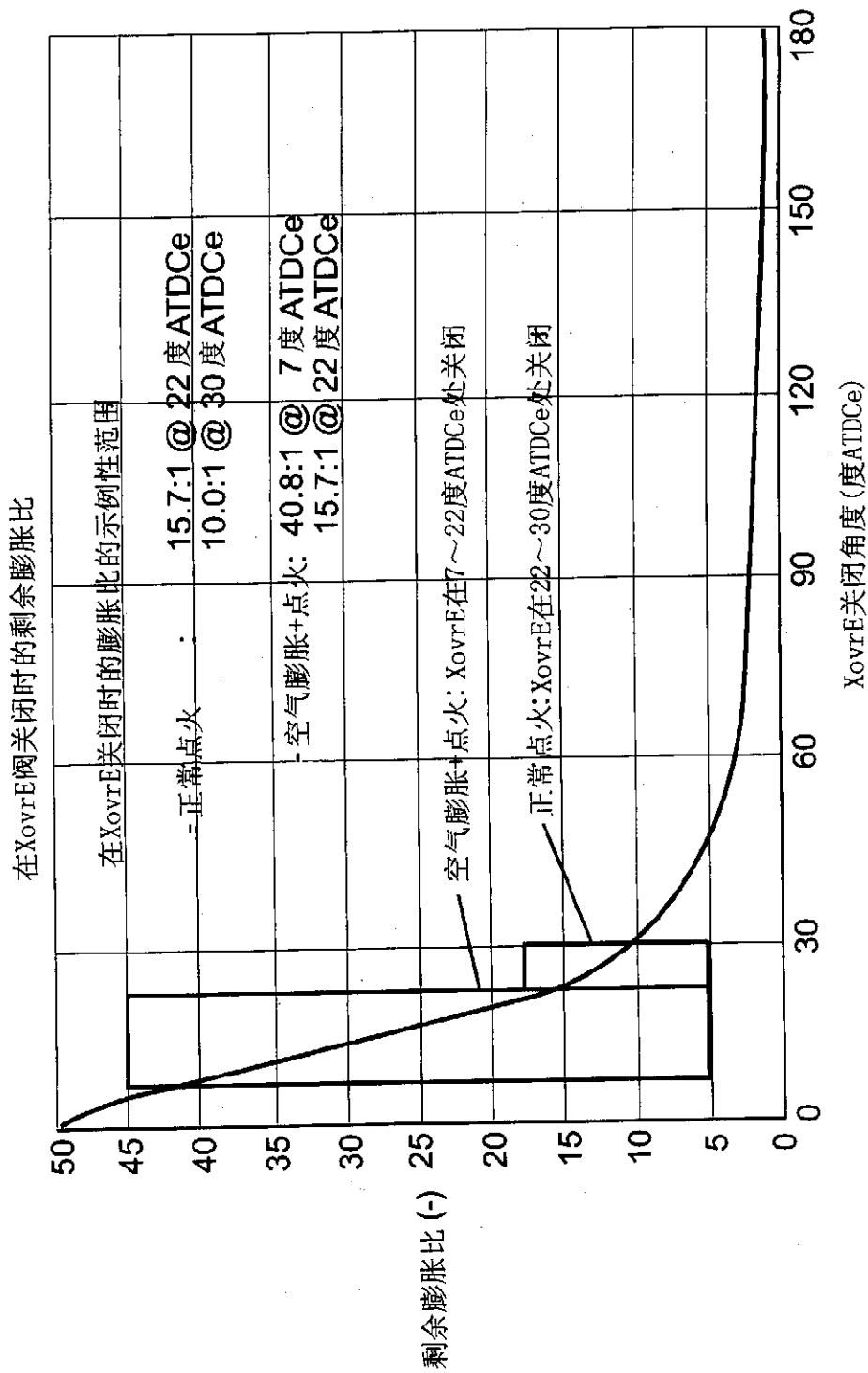


图 2

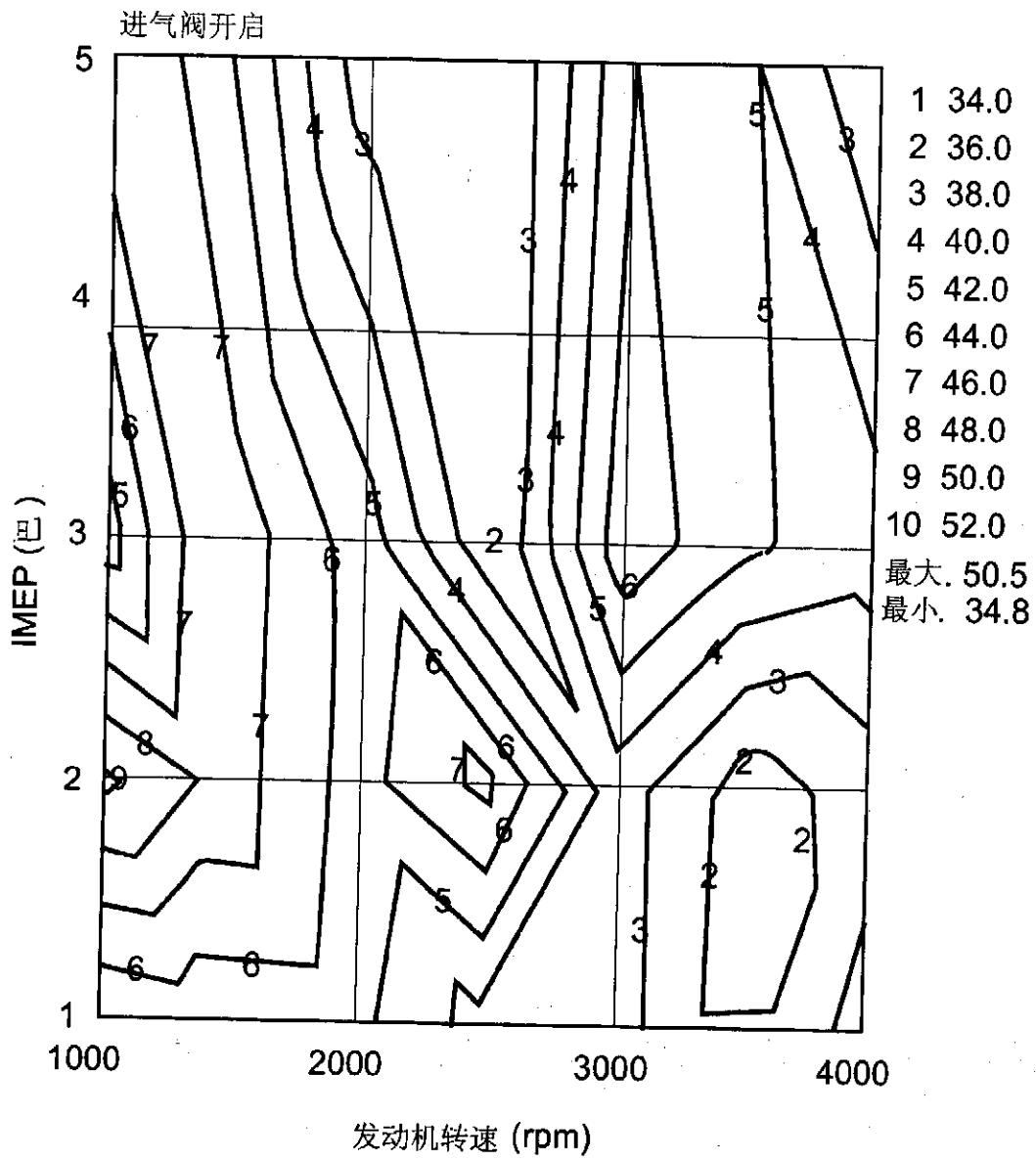


图 3

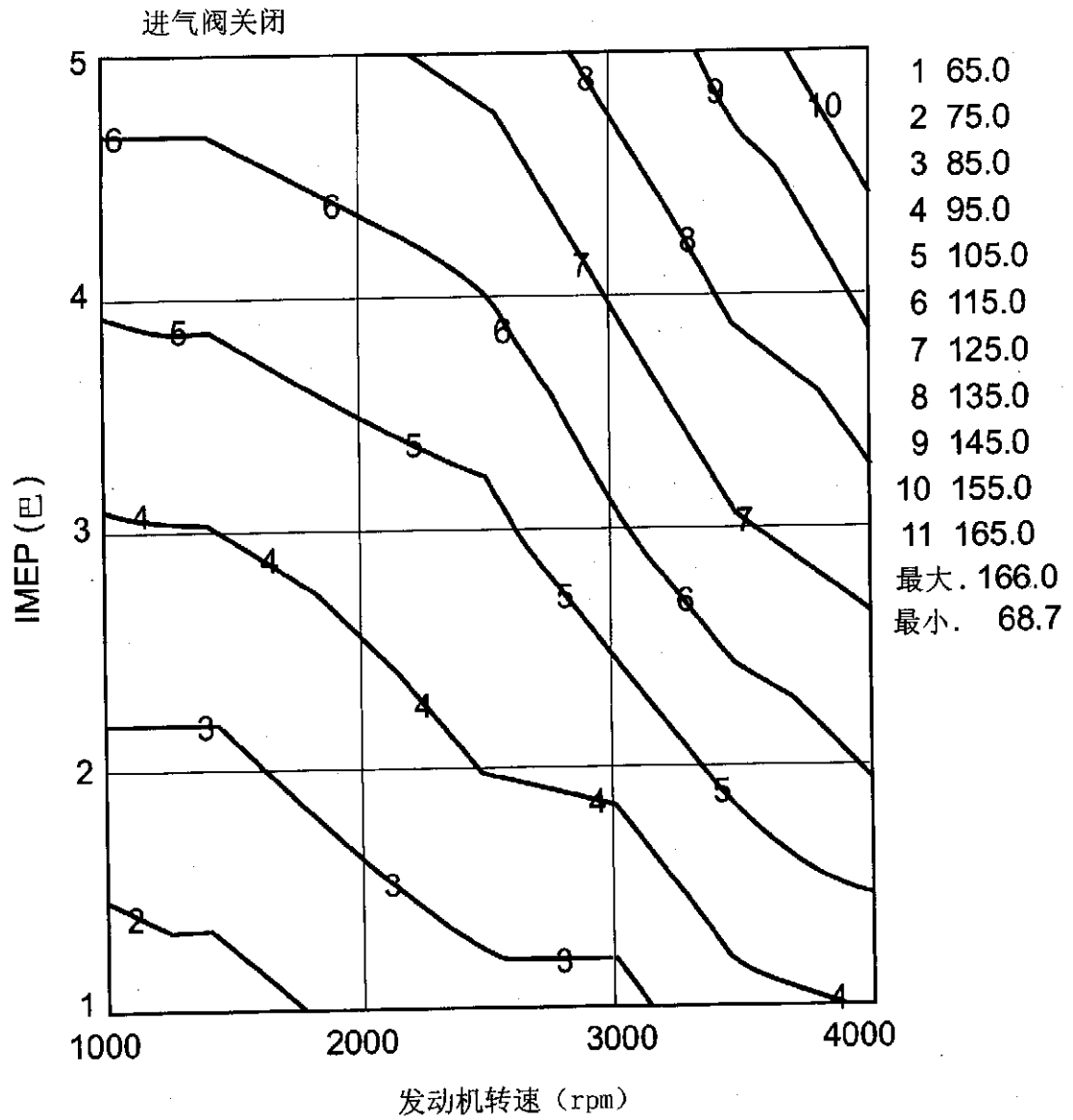


图 4

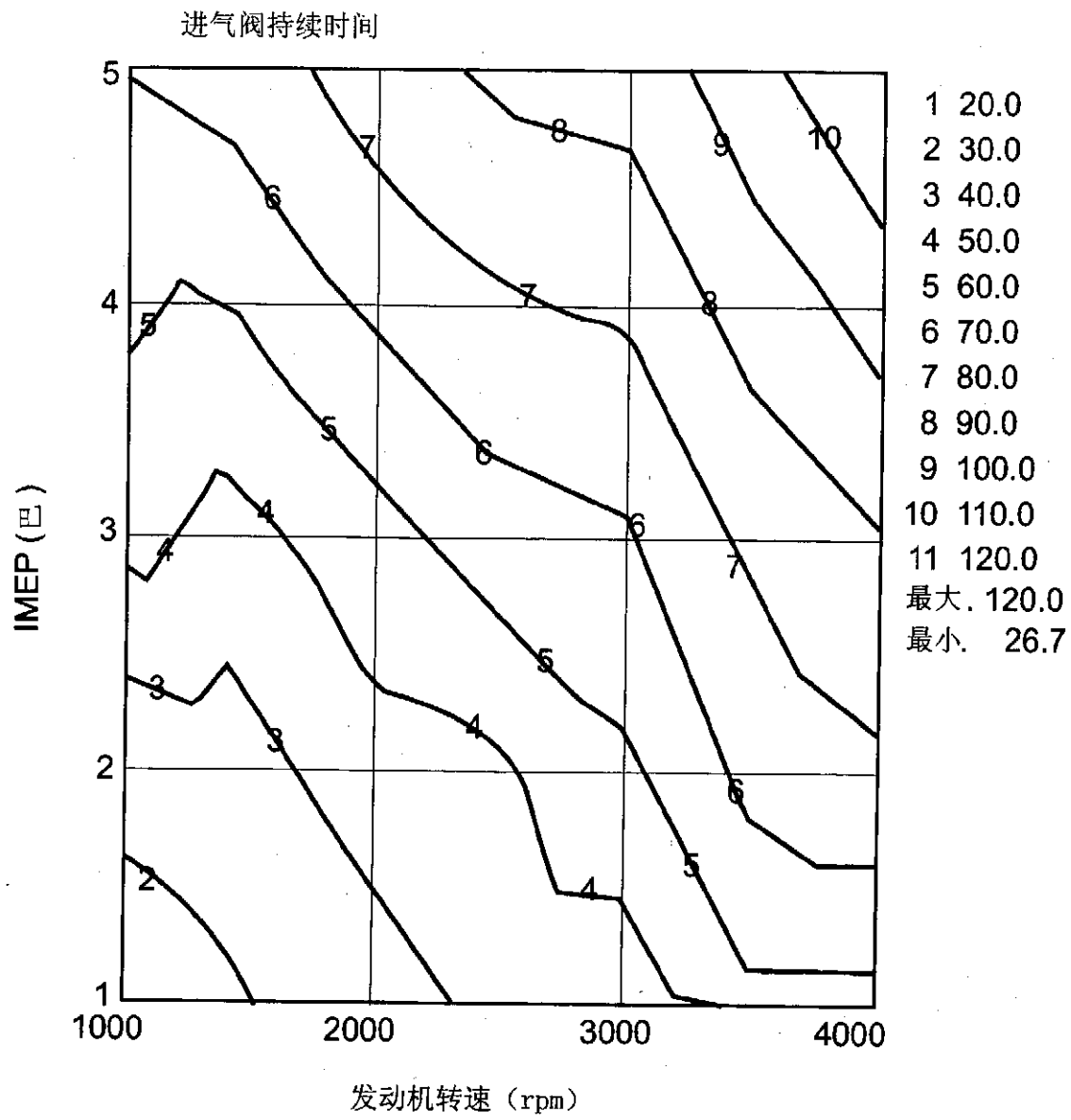


图 5



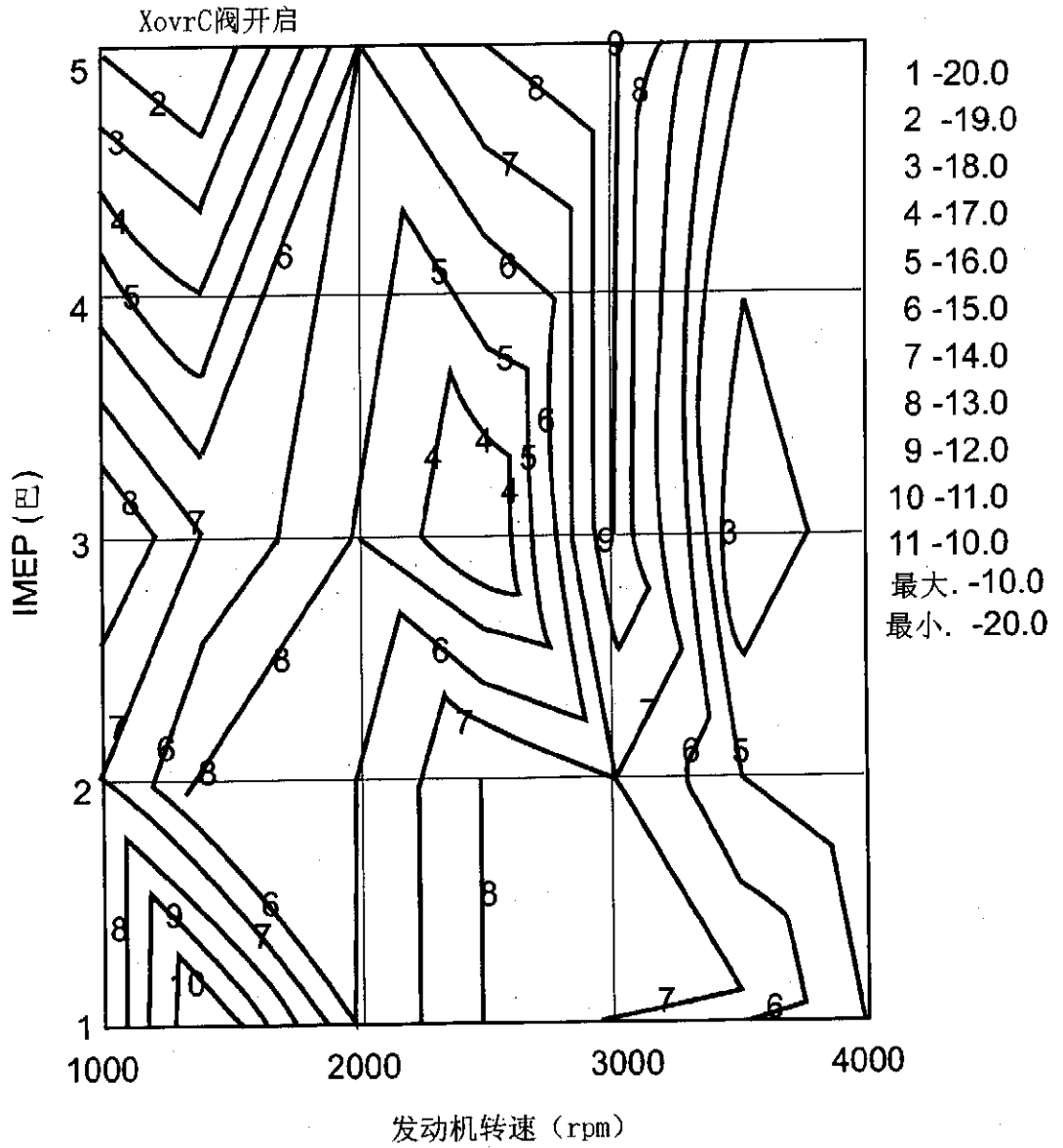


图 6

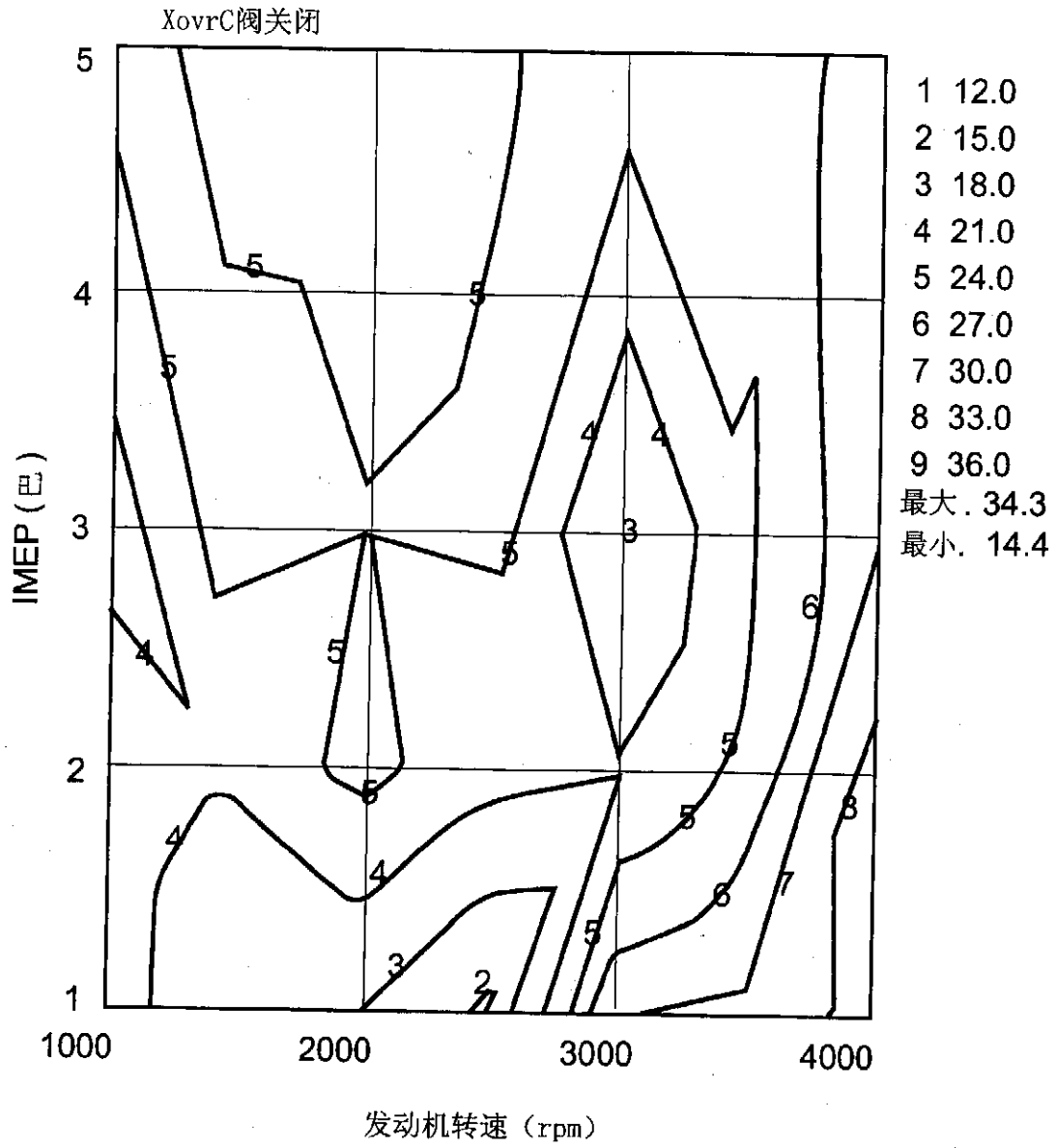


图 7

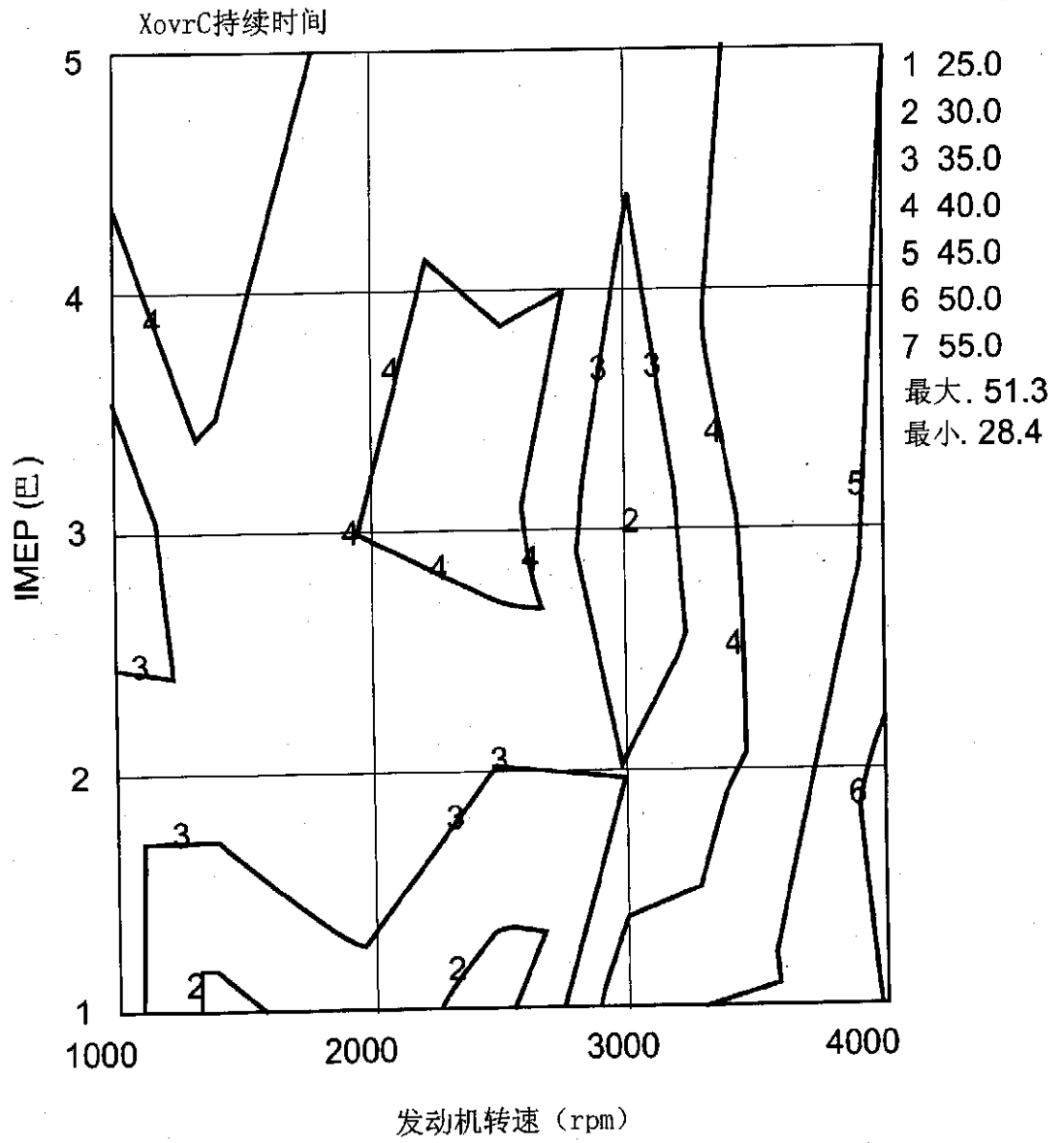


图 8

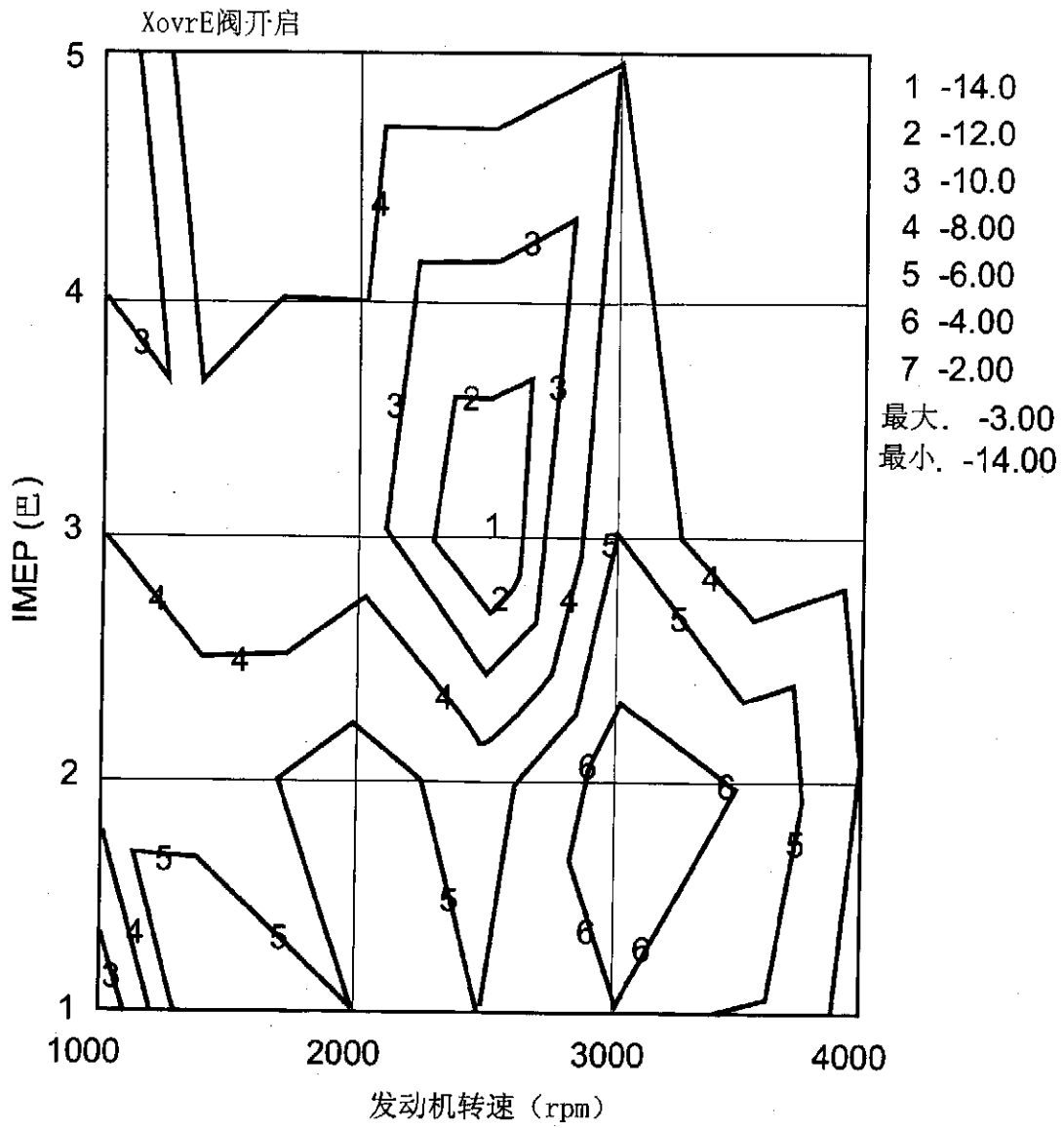


图 9

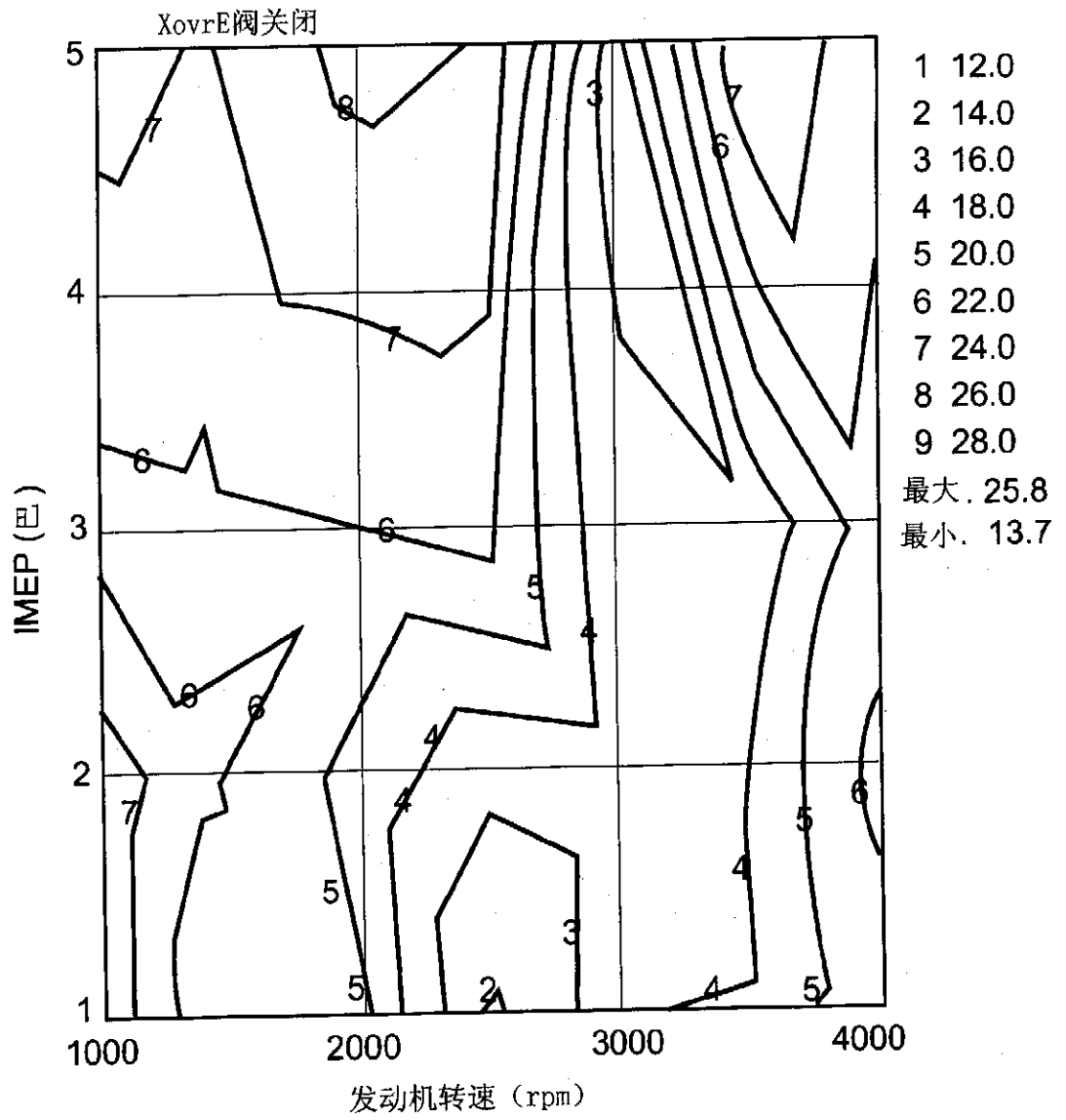


图 10

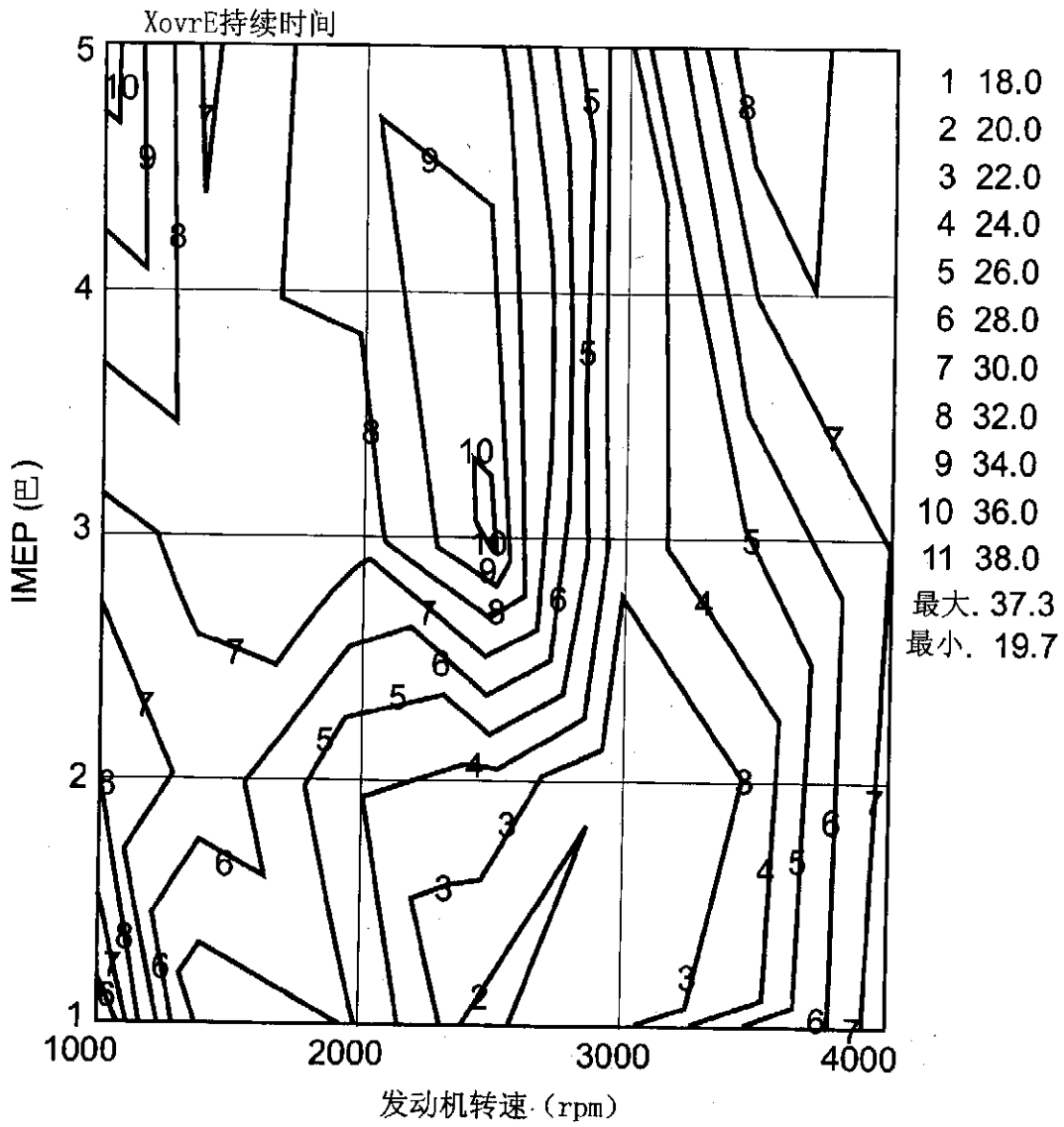


图 11

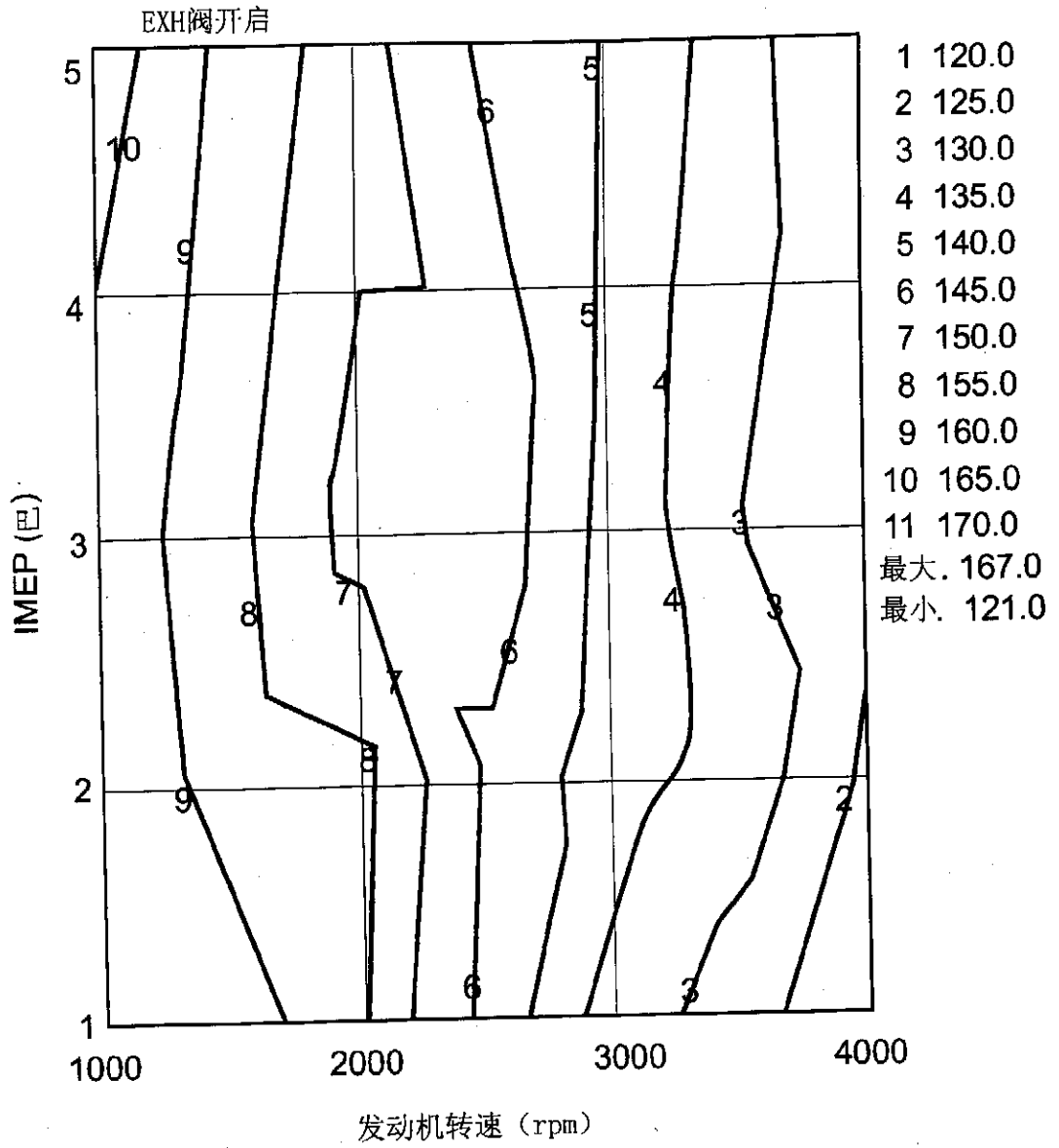


图 12

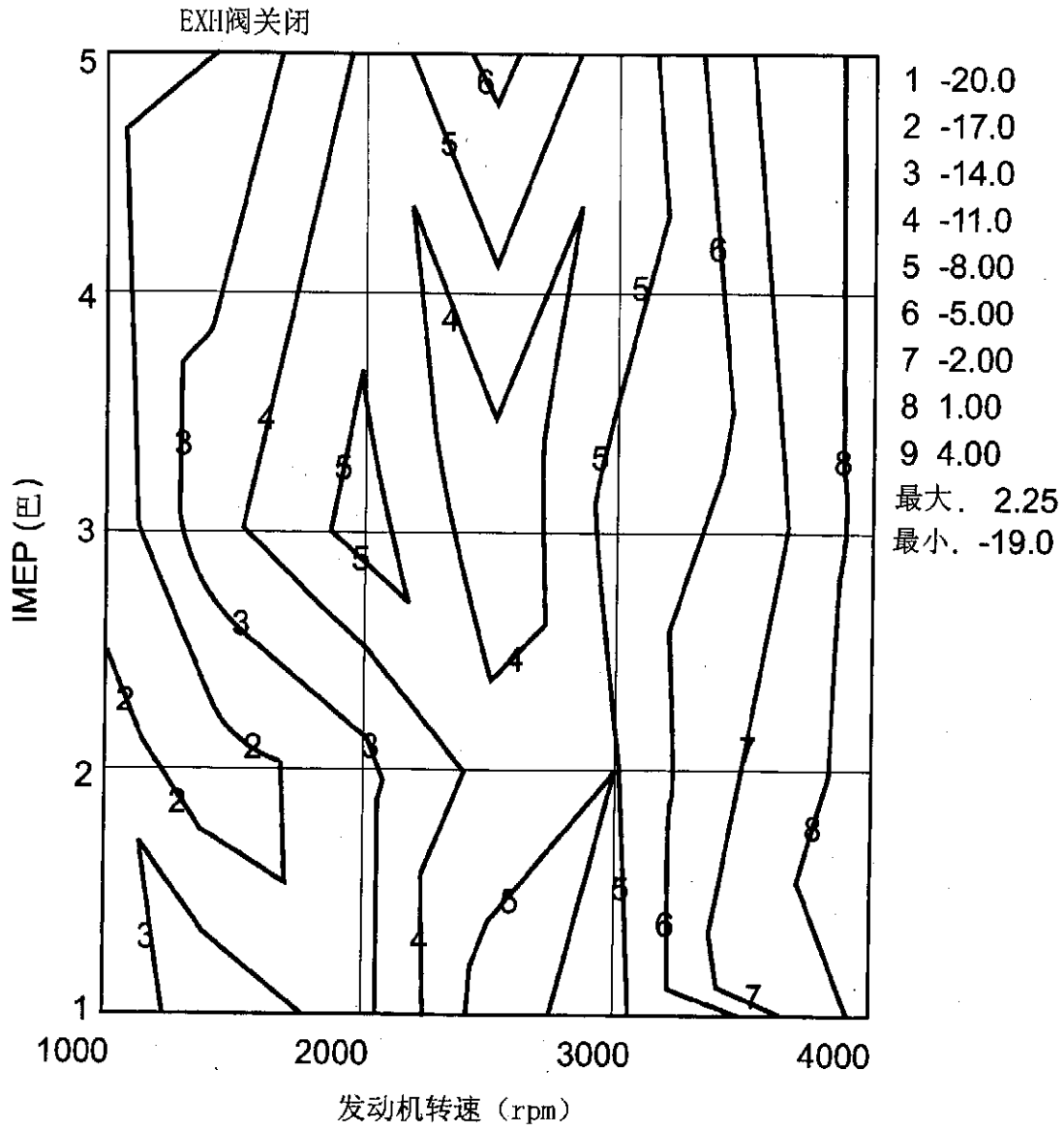


图 13



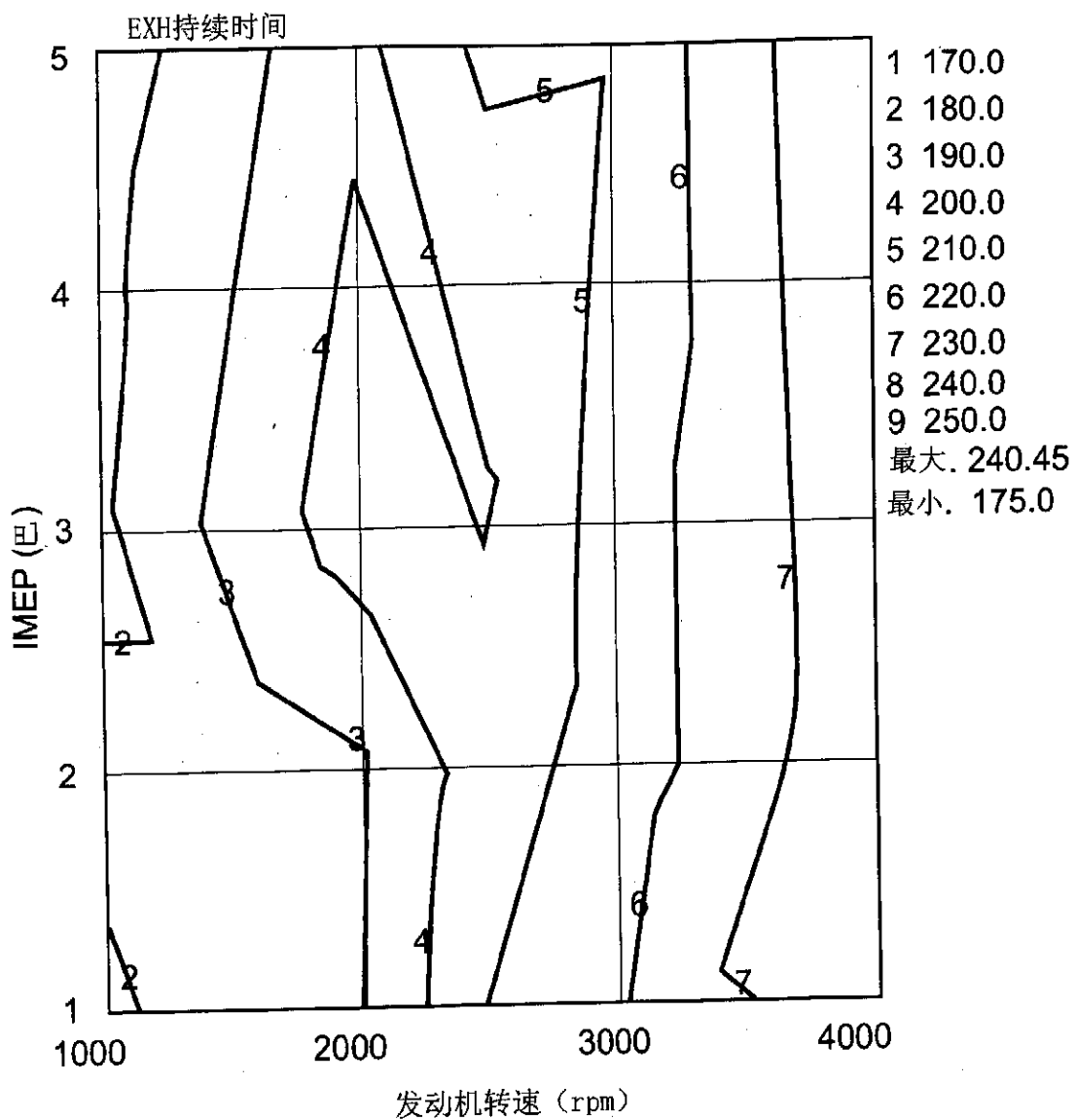


图 14