



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101021182 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 19

(21) 申请号 200710087932. 4

US 6715916 B2, 2004. 04. 06, 全文.

(22) 申请日 2007. 02. 15

JP 特开 2001-329863 A, 2001. 11. 30, 全文.

(30) 优先权数据

审查员 张永锋

11/353953 2006. 02. 15 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 B·加拉赫 R·P·S·埃卢里帕蒂

J·C·塔彻尔 P·蔡尔德斯

B·E·斯维特

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 蔡民军

(51) Int. Cl.

F02C 9/26(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1156786 A, 1997. 08. 13, 全文.

JP 特开 10-184393 A, 1998. 07. 14, 全文.

CN 1228507 A, 1999. 09. 15, 全文.

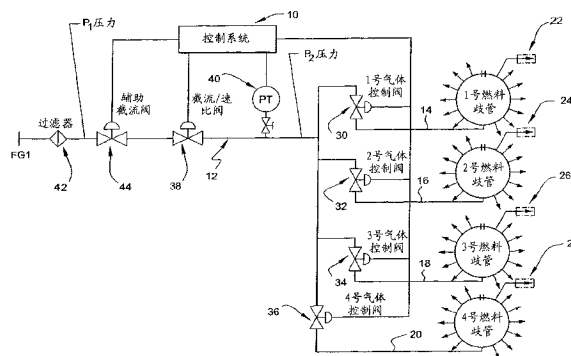
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

降低燃气轮机燃料供给压力需求值的压力控制方法和系统

(57) 摘要

本发明涉及一种用于降低燃气轮机气体燃料供给压力需求值的系统和方法, 这将增加可运行范围并降低燃气轮机跳闸可能性。按照该方法, 允许燃气轮机在供给压力作为环境状况和燃气轮机压缩机压缩比的函数的情况下启动并运行。这增加了可运行范围, 并降低或取消了对气体燃料压缩机的需求。



1. 一种确定在燃气轮机燃烧器中用于从压力控制阀供给到多个燃料喷嘴的气体流量控制阀的燃料压力参考值的方法,包括:

基于压缩机排气压力确定燃料喷嘴正上游处的第一所需燃料压力,所述第一所需燃料压力 P_4 由下式确定:

对于非节流的喷嘴压力比率:

$$P_4 = P_{cc} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{M}{A_e P_{cc}} \right)^2 \frac{RT(k-1)}{2gk}}}{2} \right]^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

和对于节流的喷嘴压力比率:

$$P_4 = \frac{M}{A_e \sqrt{\frac{gk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(k+1)}{(k-1)}}}}$$

其中 M = 燃料流量, lb/sec

P_{cc} = CPD — 燃烧器压降

A_e = 喷嘴有效面积

g = 重力加速度, ft/sec²

k = 比热比, C_p/C_v

R = 通用气体常数, 1bf. ft/lbm. R

T = 燃料温度, 兰氏度;

基于所述第一所需燃料压力确定气体流量控制阀上游处的最低可允许压力需求值;和基于所述最低可允许压力需求值确定用于压力控制阀的控制的燃料压力参考值。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中所述最低可允许压力需求值是维持所述气体流量控制阀的节流运行的最低可允许燃料压力。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其中该燃料压力参考值基于所述最低可允许压力需求值、可得到的供给压力和基本负荷燃料压力需求值来确定。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其中所述基本负荷燃料压力需求值是基于寒冷环境天气基本负荷压力需求值。

5. 如权利要求 3 所述的方法,其中最低可允许压力需求值基于所述第一所需燃料压力、气体控制阀和燃料喷嘴之间的管路压降和气体控制阀压降来确定。

6. 一种具有多个燃料喷嘴(22、24、26、28)和用于控制到所述燃料喷嘴的燃料供给压力的压力控制系统(10)的燃气轮机燃烧器,包括:

限定出气体燃料从上游燃料入口流至所述燃料喷嘴的路径的燃料管,包括主燃料管

(12) 和到所述燃料喷嘴(22、24、26、28)的分布燃料管(14、16、18、20)；

燃料流量控制阀,用于控制所述分布燃料管(14、16、18、20)中到所述燃料喷嘴(22、24、26、28)的燃料流量;和

置于所述主燃料管(12)内、在所述燃料流量控制阀(30、32、34、36)上游处的压力控制阀(38),

其中该控制系统(10)可操作地接合到所述压力控制阀(38)和所述燃料流量控制阀(30、32、34、36)以控制所述压力控制阀下游处的压力和流过所述燃料流量控制阀的流量,所述控制系统基于压缩机排气压力选择性地设定用于控制压力控制阀的燃料压力参考值;

其中所述控制系统基于最低压力需求值选择性地设定燃料压力参考值,其中所述最低压力需求值基于燃料喷嘴上游处的第一所需燃料压力 P4 来确定,且其中控制系统按下式计算所述第一所需燃料压力 P4:

对于非节流的喷嘴压力比率:

$$P_4 = P_{cc} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{M}{A_g P_{cc}} \right)^2 \frac{RT(k-1)}{2gk}}}{2} \right]^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

和对于节流的喷嘴压力比率:

$$P_4 = \frac{M}{A_g \sqrt{\frac{gk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(k+1)}{(k-1)}}}}$$

其中 M = 燃料流量, lb/sec

P_{cc} = CPD — 燃烧器压降

A_g = 喷嘴有效面积

g = 重力加速度, ft/sec²

k = 比热比, C_p/C_v

R = 通用气体常数, 1bf. ft/lbm. R

T = 燃料温度, 兰氏度。

7. 如权利要求6所述的燃气轮机燃烧器, 其中所述控制系统(10)基于维持所述燃料流量控制阀(30、32、34、36)节流运行的最低所需燃料压力选择性地设定用于控制压力控制阀(38)的燃料压力参考值。

降低燃气轮机燃料供给压力需求值的压力控制方法和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及降低燃气轮机燃料供给压力需求值的压力控制方法和系统。

背景技术

[0002] 为燃料提供克服由于过滤器、阀门、管道和燃料喷嘴造成的压力损失的动力,并使其在所有可能的操作条件下进入燃气轮机燃烧室,需要一个最低气体燃料供给压力。

[0003] 现有的气体燃料控制系统无论环境条件如何,都基于从全速无负荷(FSNL)到基本负荷的固定气体燃料供给压力需求值(称为P2压力需求值)。该固定需求值是基于最坏条件:最冷天的基本负荷,也就是在特定地点的最冷环境设计温度。如果气体燃料供给压力小于控制系统的压力需求值,燃气轮机就不能启动。在运行过程中,如果气体燃料供给压力下降至低于控制系统需求值20psi,控制系统启动快速减负荷(runback)至一预定的低负荷操作模式从而需要操作员动作。

[0004] 如果源气体供给压力预计低于固定的燃气轮机供给需求值,就需要昂贵的气体燃料压缩机以确保燃气轮机的可运行性。然而,这是一种非常昂贵的解决方案,需要花费电厂所有者数百万美元的初始投资并耗费高额的辅助电力负担。实际上,即使实际压力需求值可能低得多时,气体压缩机也将气体燃料压缩至寒冷环境条件下的供给压力需求值,从而浪费了数百千瓦的能量。

发明内容

[0005] 按照本发明的一个实施例,提供一种方法和控制系统以允许燃气轮机在比最坏条件规定的压力低的供给压力下启动并运行,同时增加可运行窗口,降低或大致消除对昂贵的气体燃料压缩机的需求。

[0006] 因此,本发明可以实施为确定在燃气轮机燃烧器中用于从压力控制阀向多个燃料喷嘴的气体控制阀供给燃料的燃料压力参考值的方法,包括:确定燃料喷嘴上游处的第一所需燃料压力;基于所述第一所需燃料压力确定气体控制阀上游处的最低可允许压力需求值;和基于所述最低可允许压力需求值确定用于压力控制阀的控制的燃料压力参考值。

[0007] 本发明也可以实施为一种具有多个燃料喷嘴和用于控制到所述燃料喷嘴的燃料供给压力的压力控制系统的燃气轮机燃烧器,包括:限定出气体燃料从上游燃料入口流至所述燃料喷嘴的路径的燃料管,包括主燃料管和向所述燃料喷嘴分布燃料的分布燃料管;燃料流量控制阀,用于控制从所述分布燃料管向所述燃料喷嘴流动的燃料流量;和置于所述主燃料管内,在所述燃料流量控制阀上游处的压力控制阀,其中该控制系统可操作地接合到所述压力控制阀和所述燃料流量控制阀以控制所述压力控制阀下游处的压力和流过所述燃料流量控制阀的流量,所述控制系统基于压缩机排气压力选择性地设定用于控制压力控制阀的燃料压力参考值。

附图说明

[0008] 本发明的这些和其他特征和优点将通过仔细研究下述更详细的有关本发明目前优选实施例的描述并结合附图而更充分地理解和领会,其中:

[0009] 图 1 是示意性地示出基本负荷下气体燃料供给压力需求值与环境温度关系的图表;

[0010] 图 2 是示意性地示出依据相关技术基于 TNR 的 P2 压力需求值的图表;

[0011] 图 3 示意性地示出了按照本发明一个实施例采用调整的压力控制而增加的可运行窗口;

[0012] 图 4 是实施本发明的压力控制系统的简图;

[0013] 图 5 是示意性地示出按照本发明一个实施例的最低可允许的压力需求值的偏差图表;和

[0014] 图 6 是按照本发明一个实施例的 P2 压力参考值的选择的示意性说明。

具体实施方式

[0015] 如上所述,现有的气体燃料控制系统是基于由最坏条件确定的固定的气体燃料供给压力需求值。然而,实际的燃气轮机供给压力需求值是环境状况和燃气轮机压缩机压缩比的函数。因而,随着环境温度从确定该固定需求值的场所最低值增加,预设的固定需求值和实际燃气轮机的需求值之间的差值不断增加(图 1)。

[0016] 本发明致力于改变这种方式,为此,允许气体燃料供给压力需求值作为环境状况的函数而跟踪变化,而不遵循实施常规气体燃料控制基理的常规固定最坏情况下的需求值。实施本发明的跟踪或调整的压力控制将允许使燃气轮机能在比按照常规控制方法所允许的更低的气体燃料供给压力下启动并运行。因此,如上所述,本发明提供一种压力控制方法和系统,其允许气体燃料供给压力需求值(低于其燃气轮机不能起动)作为例如环境温度、环境压力和燃气轮机负荷的函数来确定。

[0017] 在本发明的一个实施例中,压力控制系统部分基于压缩机排气压力来确定燃料供给压力需求值,所述压缩机排气压力体现了环境温度、环境压力和燃气轮机负荷。供给压力需求值对所有可能的运行模式进行计算,并绘制作为压缩机排气压力的函数(例如参见将在下面讨论的图 3、5 和 6 中的示意性说明)。

[0018] 图 3 中,虚线表示目前的供给压力需求值,其在任何燃气轮机负荷下都是固定值。实线表示按照本发明一个实施例的压力需求值。在这些供给压力需求值之间的阴影部分用现有的控制基理不能运行,但采用本发明实施例中调整的压力控制就变得可以运行。可以理解,寒冷的环境中基本负荷压力需求值是图表中右上角的点,在该点水平的虚线和代表调整的压力需求值控制的实线相交。如果在基本负荷下运行时供给压力下降到该需求值之下,该控制系统沿着实线压力需求值线减载燃气轮机负荷。

[0019] 跟踪或调整的压力控制的一种方案已在位于威尔士(Wales)的 Baglan Bay 的 9H 型框架燃气轮机上实现。然而,那个跟踪压力控制方案只是当燃料供给压力(P2 压力)降至低于一预定点时阻止气体控制阀变成非节流的一种保护性措施,气体控制阀非节流将导致燃料流动失控。因此,在 Baglan Bay,跟踪压力控制不是一个正常的操作模式并且只在出现故障的情况下才被启用。另外,所需的最低燃料供给压力是转速-负载参考值(称为 TNR)的函数(图 2)。

[0020] 转速-负载参考值 (TNR) 是燃气轮机负荷的很好的指示值,但它并没有考虑所有影响燃料压力需求值计算的燃气轮机参数。本发明提出一种改用压缩机排气压力 (CPD) 来控制燃料压力的更有效的方式。采用 TNR 的缺点包括:(1)P2 压力参考值对电网频率变化没有响应,(2) 基于 TNR 的控制假定一个特定的加载路径并因此不得不为环境状况而偏离,和(3)TNR 增加了控制次序的复杂性,在部分负荷下需要采用环境温度传感器或为入口放气加热 (IBH) 偏离的 CTIM。采用 CPD 的优点包括:(1)CPD 更能代表燃料供给压力必须克服的压力降,因此是一个更好的控制参数,和(2)CPD 无需偏离环境温度。

[0021] 参照图 4,示意性地示出了包括在燃气轮机中的燃料压力控制系统具有多个限定出燃料从上游入口处到燃料喷嘴的流动路径的管道,包括主燃料管 12 和通向喷嘴的分布管 14、16、18、20。作为示例,进一步说明了四个燃料歧管用于引导燃料至各自的多个燃料喷嘴 22、24、26、28,为了便于说明,对每个燃料歧管只说明其中的一个。控制系统,用 10 来表示,提供燃料流量控制信号以控制气体流量控制阀 30、32、34、36 各自的开度,该控制阀与用于流量控制的各个分布管相关联。控制系统进一步提供了压力控制信号以通过控制截流/速比阀 38 来控制管 12 中的压力,和一个压力传感器 40 被连接到阀 38 的出口侧用于向控制系统反馈。

[0022] 如图 4 中所标注的,P1 压力是过滤器 42 下游处以及辅助截流阀 44 和截流/速比阀 38 上游处的压力,而 P2 压力是截流/速比阀 38 下游处的压力,也即提供给气体控制阀 30、32、34、36 的压力。因此,阀 38 调整燃料压力至一预定的压力 P2。(最初)在 P2 压力的燃料于是流经管 12 进入各自的气体流量控制阀 30、32、34、36 中,这些气体流量控制阀调整燃料量至一预定流量且燃料按该预定流量通过分布管被提供给各自的燃料歧管,并进入每个喷嘴从而在燃气轮机燃烧器中燃烧。这样,截流/速比阀 38 的开度基于控制系统提供的压力控制信号进行调节。相似地,控制阀的开度基于控制系统提供的流量控制信号进行调节。

[0023] 在此引用的燃料压力参考值,P2 参考值,P2 供给需求值和类似的技术术语都是具有相同含义的术语。术语“参考值”是一个通用工业标准控制术语,其描述了用于闭环控制的设定点。从而,P2 参考值是截流/速比阀 38 (SRV) 的设定点,该阀用于基于给定控制曲线来控制燃料气压力。换句话说,P2 参考值是从控制器对 SRV 的需求值。现有系统具有固定的 P2 燃料压力参考值,而本发明跟踪或调整的压力控制引入了变化的 P2 参考值,这也是在此公开的重点。

[0024] 参考图 6,在本发明的一个实施例中,P2 参考值是三个控制曲线的中间值:最低可允许的压力需求值(节流压力需求值)、可得到的供给压力和基本负荷需求值。最低压力需求值曲线是为维持节流气体控制阀 30、32、34、36 所需的最低气体燃料中间压力 (P2),以下参照图 5 详细说明。供给压力曲线是截流/速比阀 38 (SRV) 上游处的测量压力 P1 与经过 SRV 的固定压降之差。基本负荷压力需求值是图 3 所示的现有压力与同一图表中的环境偏差的最小者。基本负荷需求值本质上是基本负荷运行下所需的气体燃料压力需求值,其将跟随压缩机入口温度 (CTIM) 增加或减小。

[0025] 因为除寒冷环境天气基本负荷外,在其他任何条件下 P2 压力参考值将很有可能降低,因而 P2 修正因子已经应用到用于开环控制阀位置控制的“气体控制阀”比例增益。比例增益偏差有助于修正新的跟踪或调整 P2 参考值的总燃料需求值。这就避免了会导致燃

气轮机能量输出减少的总燃料流量的减少。该修正因子是初始 P2 参考值和调整的 P2 参考值的比率：

[0026]

$$\frac{P_{2ref,初始} + P_{环境}}{P_{2ref,调整} + P_{环境}}$$

[0027] 启动许可已经修改成当供给压力等于或高于在旋转备用运行所需的压力时允许启动燃气轮机。另外,在一个实施例中,如果操作者在供给压力低于预混模式所需的压力时按下主控制启动按钮,就会在 HMI 显示屏上跳出一个对话框,例如:“气体燃料压力对于预混操作太低。继续启动?”这种特征使得操作者可以在了解存在降低的供给压力条件情况下决定是否启动装置。

[0028] 这种保护性动作已被修改为包括在高于最低所需 P2 的阈值时禁止负荷升高,这将允许装置只能加载至可用压力极限点。按照图 6,如果燃气轮机在该点被允许增加负荷,那么供给压力最低需求值将增加。当任何气体控制阀 30、32、34、36 或 SRV38 达到最大可允许的位置时,该装置将自动减少能量输出。这种自动减载是用来保护燃气轮机不会在非节流的阀工况下运行,这种运行由于在开环气体控制阀分布控制中引入的误差可能形成燃烧器不稳定或高动态导致的设备损坏。如果供给压力超过最大衰变率,燃气轮机将自动进入旋转备用;由此,燃气轮机不能以足够快以致超过压力衰减的速度减载。另外,作为一个选择还可以采用自动转换至第二燃料来取代燃气轮机跳闸。这种转换在供给压力小于 f1 的水平部分时发生(参考图 6)。

[0029] 计算式：

[0030] 燃料压力 = f(CPD、燃料流量、燃料温度、喷嘴面积 A_e)，其中 CPD = 压缩机排气压力，喷嘴面积 A_e = 喷嘴有效面积(“修正的”物理面积，依赖于压力、流速和上游及下游的温度)。该修正的面积采用称作“排放系数”(Cd)的乘法因子。

[0031] 燃料喷嘴上游的燃料压力 (P4) 由下式给出：

[0032] 对于非节流的喷嘴压力比率：

$$[0033] \quad P_4 = P_{cc} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + 4 \left(\frac{M}{A_e P_{cc}} \right)^2 \frac{RT(k-1)}{2gk}}}{2} \right]^{\left(\frac{k}{k-1} \right)}$$

[0034] 和对于节流的喷嘴压力比率：

$$[0035] \quad P_4 = \frac{M}{A_e \sqrt{\frac{gk}{RT} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{(k+1)}{(k-1)}}}}$$

[0036] 其中 M = 燃料流量, lb/sec

[0037] P_{cc} = CPD- 燃烧器压降

[0038] g = 重力加速度, ft/sec^2

[0039] k = 比热比, C_p/C_v

[0040] R = 通用气体常数, $\text{lbf} \cdot \text{ft}/\text{lbm} \cdot \text{R}$

[0041] T = 燃料温度, 兰氏 (Rankine) 度

[0042] 通过孔口、喷嘴或阀门的流量是上游和下游压力状况的函数。这些压力的比率决定出流量的大小。当该比率高于称为“临界压力比率”的固定值时, 阀门 (或孔口或喷嘴) 被视为节流。在该压力比率之上的任何点, 通过阀门的质量流量是固定的。典型的气体燃料喷嘴被设计为在低于该临界压力比率时进行操作。气体燃料喷嘴的临界压力比率 (CPR) 是其 $k(C_p/C_v \text{ 比率})$ 的函数, 且典型的 CPR 是 1.78。因此对于通常的操作, 燃料喷嘴总是在非节流状态操作而气体控制阀总是在节流状态操作。然而, 近来燃烧系统沿每个回路具有更大的燃料分流变化, 且节流喷嘴压力比率已在具有非常高的燃料分流和相对小尺寸的喷嘴的几个例子中被观察到。为在我们的燃料系统中计算 P_4 , 可采用一种迭代的方法来计算流量和喷嘴压力比率 (NPR)。在该方法中, 我们基于在先前的迭代中计算出的 NPR 来选择 P_4 计算式。

[0043] 最低可允许需求值的燃料气体供给压力 f_1 和 f_2 可按下式计算:

[0044] 燃料供给压力 (f_x) = P_4 + 管路压降 + 气体控制阀压降

[0045] 其中的“管路压降”是由从气体控制阀向燃料喷嘴输送燃料的管路中的曲线和弯折而产生。这种压降被假定为固定值即便它是根据周围状况而轻微的变化。该固定值是基于以往的工程经验来确定。

[0046] 该“气体控制阀压降”也假定为固定的压降。这个数值是来自阀门生产厂商的乘法因子。

[0047] 按上式计算出的最低可允许需求值的燃料供给压力需求值 f_x 的一个例子由图 5 示出。波峰和波谷代表燃烧系统模式转换。曲线 f_1 和 f_2 构成最低可允许的压力需求值, 允许足够的压力越过波峰但忽略了波谷。因此, 由图 3 和图 6 示出的 f_1/f_2 曲线的平台段是以图 5 中最大中间压力的峰值为基础。

[0048] 因此, 和常规的控制基理和上面提到的 Baglan Bay 的压力控制相反, 按照本发明的实施例, 气体控制阀上游的燃料压力参考值 (P_2 参考值或 P_2 供给需求值) 现在是环境温度的函数, 从而在较暖日子里能够采用较低的压力需求值。

[0049] 本发明的主要的优点是能够在降低的气体燃料供给压力下启动燃气轮机并运行燃气轮机, 降低的气体燃料供给压力是基于实际的客观需求而不是基于固定的最坏情况下的需求值。调整的压力控制策略在供给压力降至供给压力需求值以下时尽量降低燃气轮机的负荷, 而一旦供给压力恢复将允许燃气轮机加载。

[0050] 另外, 降低的供给压力需求值作为压缩机排气压力的函数将很可能在夏季当环境温度较高时允许电厂的气体压缩机关闭。在多数情况下, 将不再需要气体压缩机。

[0051] 尽管本发明用目前被认为是最实用和最优选的实施例被描述, 可以理解的是本发明并不局限于该公开的实施例, 而是相反的, 本发明覆盖包括在附加权利要求的范围和意旨中的各种修改和等同装置。

[0052] 部件表

- [0053] 燃料压力控制系统 10
- [0054] 主燃料管 12
- [0055] 分布管 14、16、18、20
- [0056] 燃料喷嘴 22、24、26、28
- [0057] 气体流量控制阀 30、32、34、36
- [0058] 截流 / 速比阀 38
- [0059] 压力传感器 40
- [0060] 过滤器 42
- [0061] 辅助截流阀 44

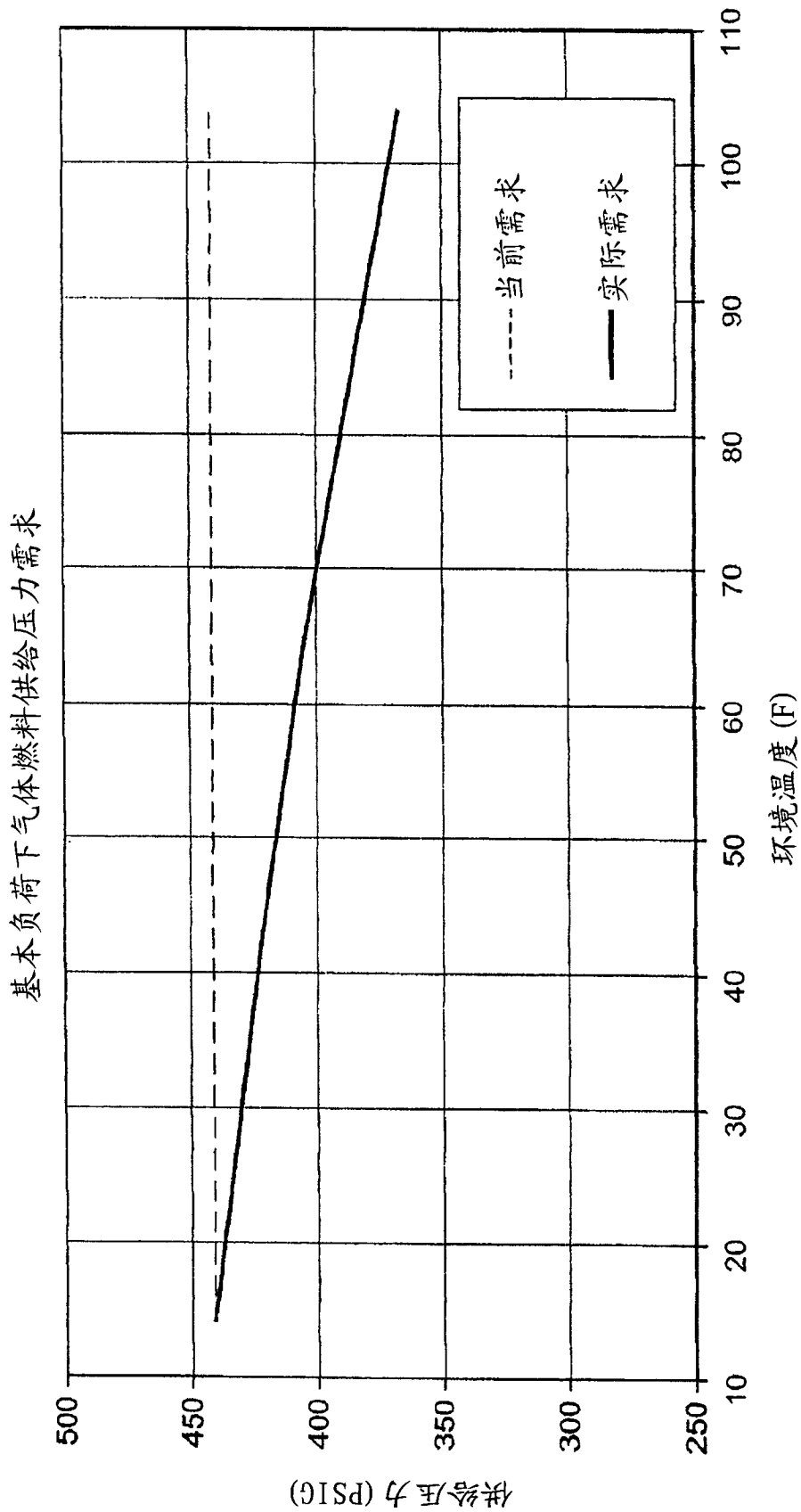


图 1

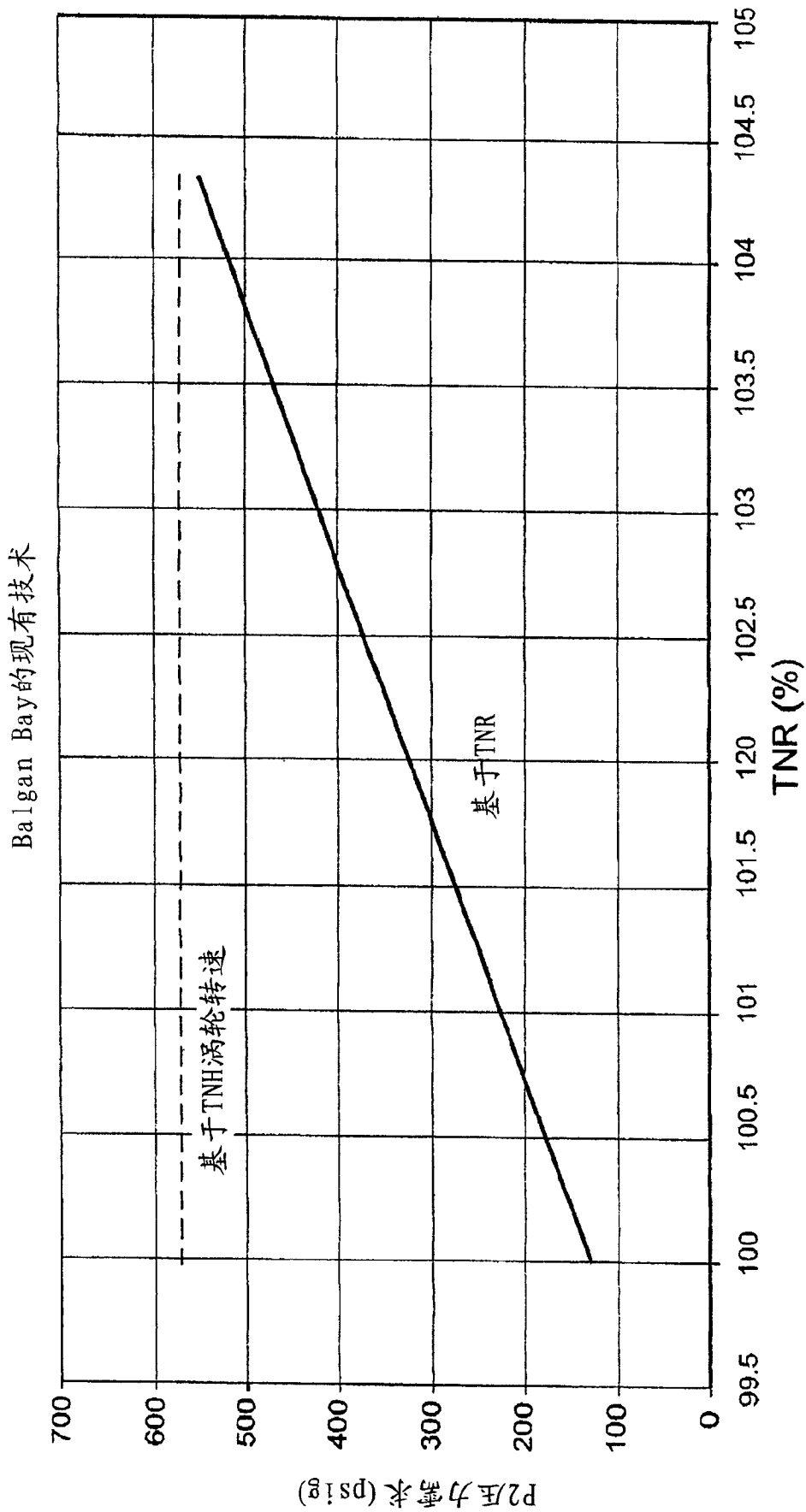


图 2

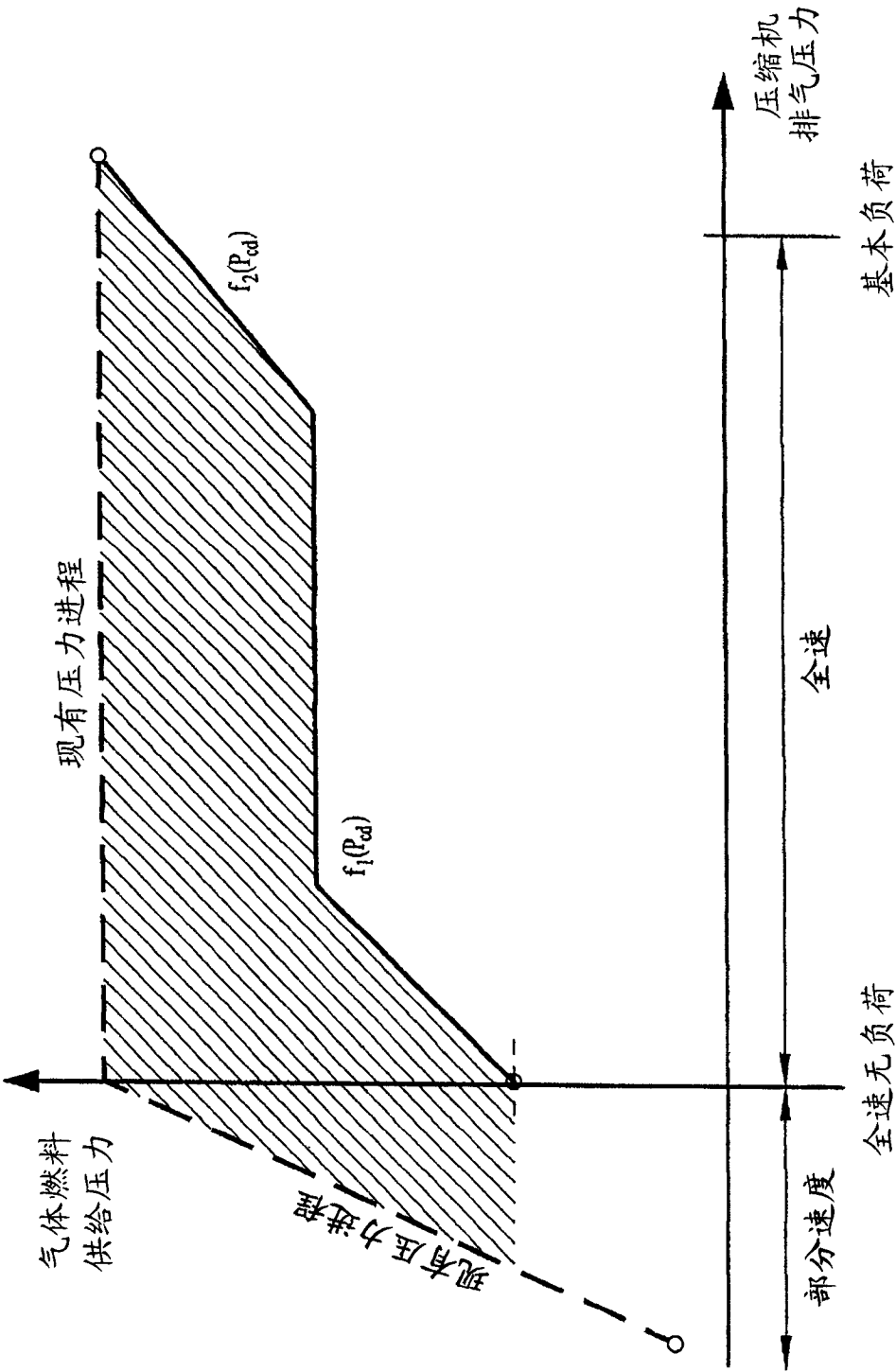


图 3

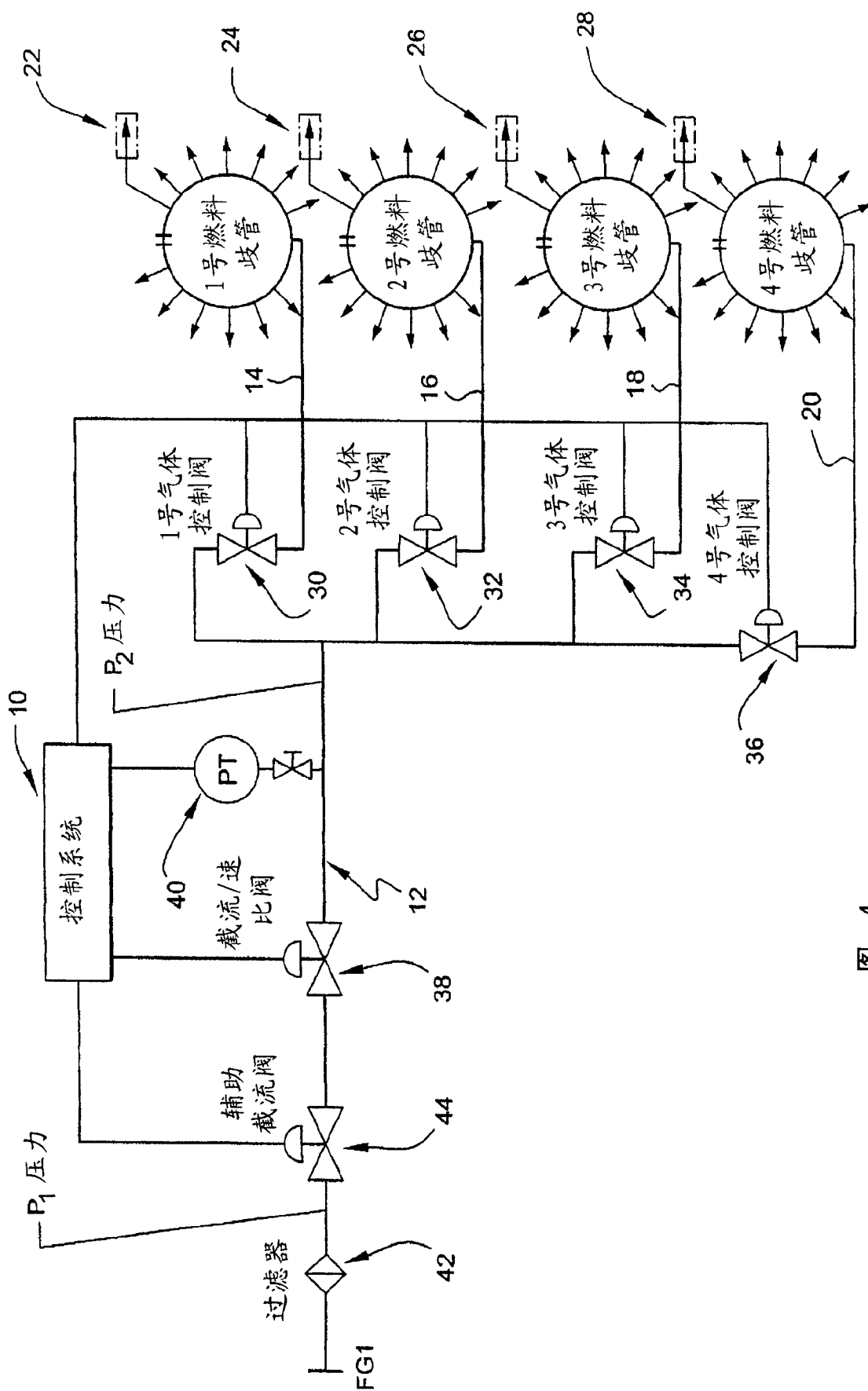


图 4

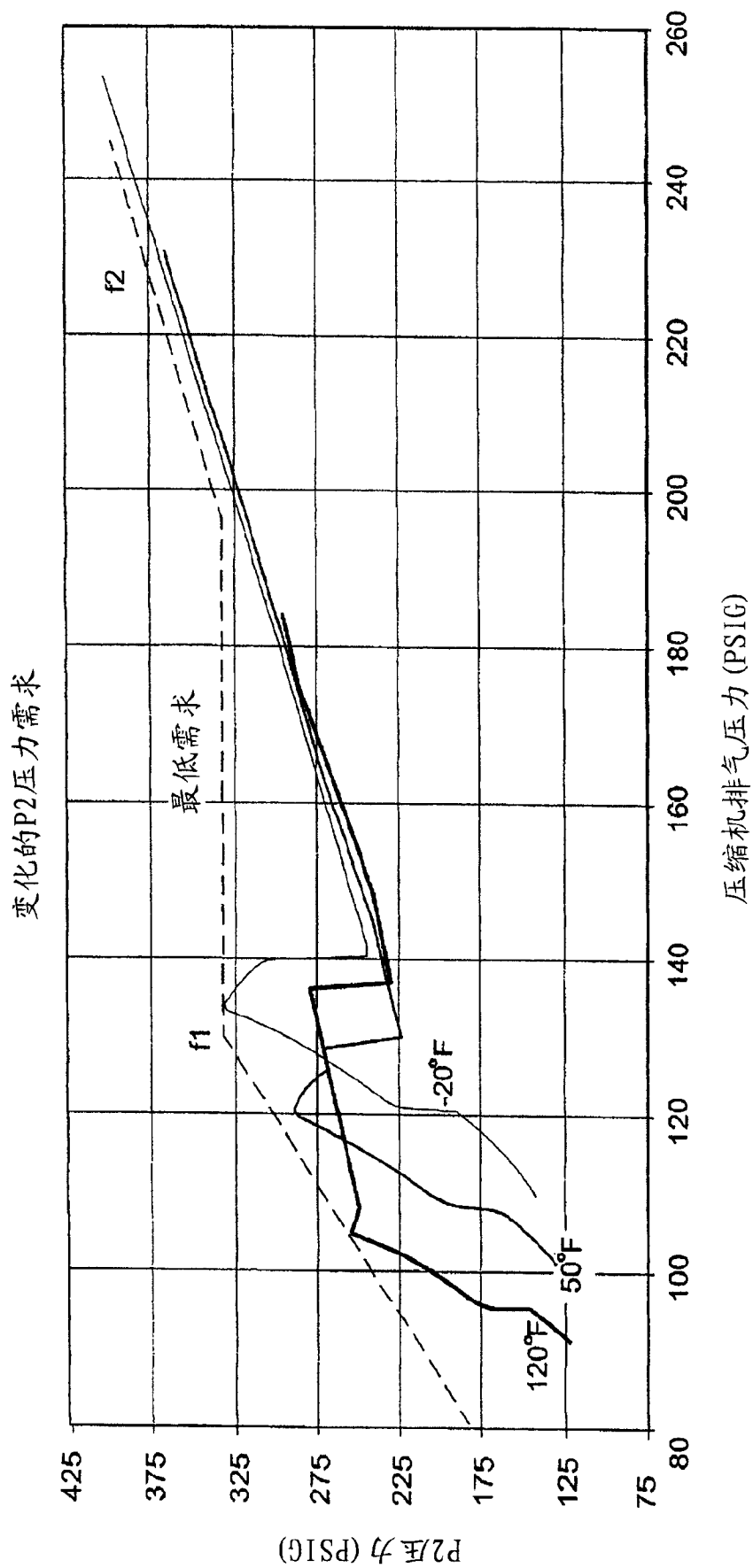


图 5

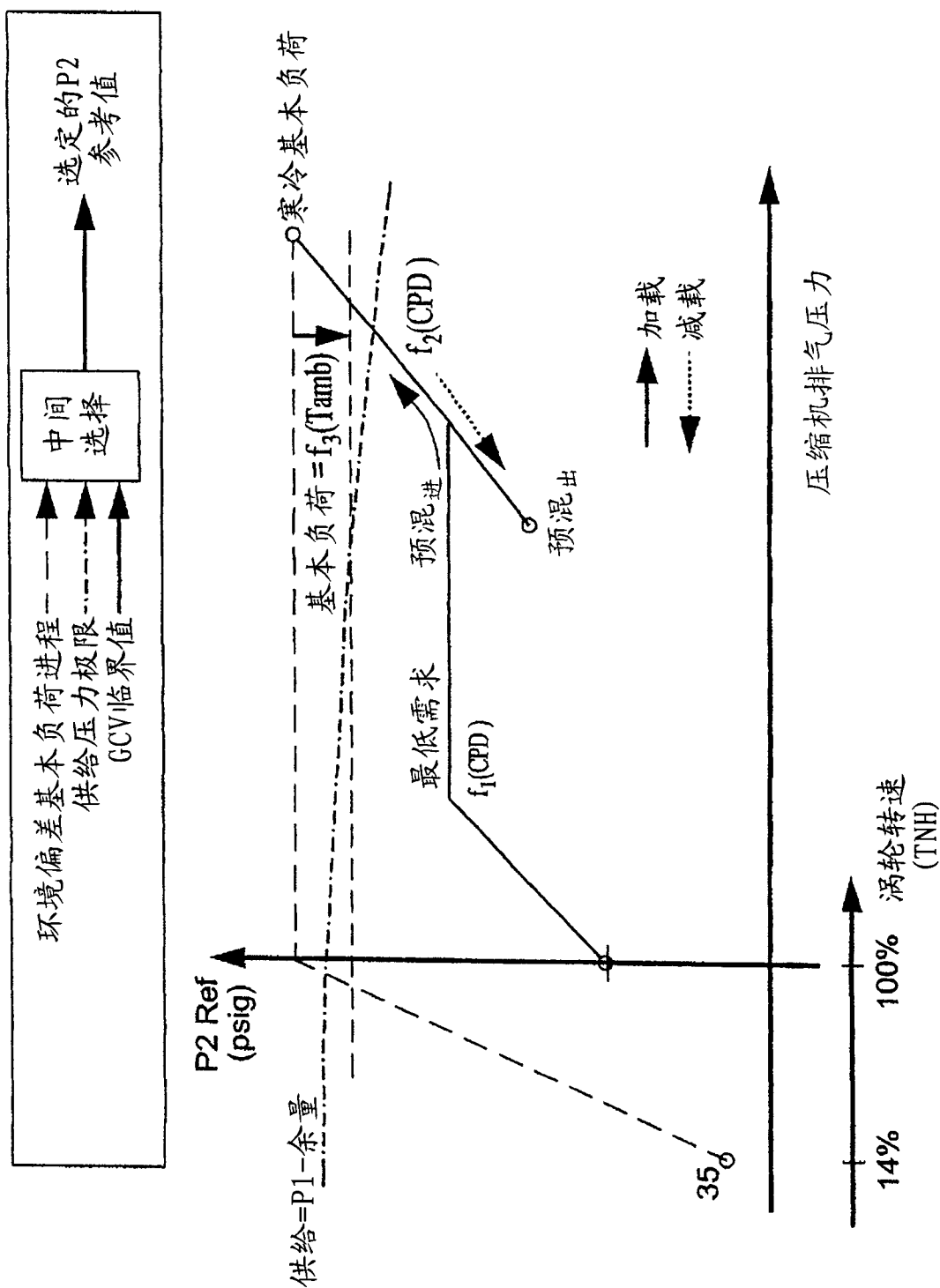


图 6