



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97194279. X

[45] 授权公告日 2003 年 11 月 26 日

[11] 授权公告号 CN 1128989C

[22] 申请日 1997.5.15 [21] 申请号 97194279. X

[30] 优先权

[32] 1996.5.17 [33] US [31] 08/650,140

[86] 国际申请 PCT/US97/08193 1997.5.15

[87] 国际公布 WO97/46851 英 1997.12.11

[85] 进入国家阶段日期 1998.10.30

[71] 专利权人 迪特里奇技术控股公司

地址 美国科罗拉多州

[72] 发明人 尤格那·米勒斯·沙那翰

约翰·埃沃莱特·噶那特

罗伯特·詹姆斯·格雷

噶布里尔·杰格尼

审查员 周胜生

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 马 浩

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称 用来校准压差流体流量测量系统的
方法

[57] 摘要

在一种包括一个初级流量传感器(10)、和一个用来把来自初级流量传感器的高、低流体压力信号转换成代表流体流量的电信号输出的次级电子转换装置的流量测量系统(11)中，一种用来把系统作为一个整体单元来校准的过程包括步骤：在系统的流量条件工作范围内，把多个已知基准流体流率施加到初级流量传感器；对于所述多个已知基准流体流率的每一个，检测次级电子转换装置的电气输出；对于所述电输出值的每一个，建立一个能线性化流体流率与测量系统电输出之间的关系的校正因子；及把校正因子存储在作为次级电子转换装置一部分的一个微处理器中的非易失存储器中。

1. 一种系统校准方法，用于一条封闭管中有流体流动的压差流量测量系统，其中这样的系统包括一个初级流量传感器、和一个包括电子存储器的次级机电转换装置，该次级机电转换装置用来把由初级流量传感器引出的高、低流体压力信号转换成代表流体流量的电信号输出，该方法包括步骤：

在装置的工作范围内相对于已知压力校准次级装置，以得到初始输出特性化数据，并把特性化数据存储在电子存储器中；

对于多个已知基准流体流量，检测流体冲击压力和流体静态低压，以在一个流量范围内建立多个高、低压力信号；

通过利用初始输出特性化数据，对于多个基准流率的每一个，把所述高、低压力信号转换成代表检测的高、低压力之差的测量电气压差信号；

对于多个基准流率的每一个，确定一个用于次级装置输出的校正因子，对应于所述多个基准流率的每一个，每个校正因子被确定作为测量压差每个值偏离标称压差的偏差的函数；

通过在电子存储器中用确定的校正因子重写初始特性化数据，修正来自初始特性化次级装置的数据。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中对于多个基准流率的每一个、确定用于次级装置输出的校正因子的步骤包括：通过定义初级流量传感器的标称流量系数来确定系统标称压差输出的步骤。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，进一步包括对于多个基准流量确定平均实际流量系数值的步骤。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其中对于多个基准流率的每一个、确定用于次级装置输出的校正因子的步骤包括：对于实际流量系数偏离标称流量系数的偏差、校正测量压差输出值的步骤。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其中对于多个基准流率的每一个、确定用于次级装置输出的校正因子的步骤包括：使测量的压差值

和确定的标称压差值经受统计回归分析以建立校正因子的步骤。

6. 一种系统校准方法，用于一种压差流量测量系统，该系统包括一个初级流量传感器和一个次级机电转换装置，该次级机电转换装置用来把来自初级流量传感器的高、低流体压力信号转换成代表流体流量的电信号，该方法包括步骤：

在系统的流量条件工作范围内，把多个已知基准流体流率加到初级流量传感器；

对于所述多个基准流体流率的每一个，检测次级电子转换装置的电输出；

对于多个基准流率的每一个，建立一个能线性化流体流率与测量系统电输出之间关系的校正因子，对应于多个基准流率的每一个，每个校正因子被确定作为测量压差每个值偏离标称压差的偏差的函数；

把校正因子存储在非易失存储器中；

在装置的工作范围内，相对于已知压力初始线性化次级机电装置，以得到用来线性化所述机电装置输出的数据；及

用确定的校正因子，修正用于次级机电装置的初始线性化数据。

7. 一种系统校准方法，用于一种系统中的压差流量测量，该系统使流体在一条封闭管中流动，并且具有一个初级流量传感器和一个包括电子存储器的次级机电转换装置，该次级机电转换装置用来把由初级流量传感器引出的高、低流体压力信号转换成代表流体流量的电信号，该方法包括步骤：

对于多个已知基准流体流率，检测流体冲击压力和流体静态低压，以在一个流量范围内建立多个高、低压力信号；

对于多个基准流率的每一个，把所述高、低压力信号转换成代表检测的高低压力之差的测量电气压差信号；

对于多个基准流率的每一个，建立基准流率与次级装置电输出之间的关系，对应于多个基准流率的每一个，每个关系被建立作为测量压差每个值偏离标称压差的偏差的函数；

把所述建立的次级装置的关系重写到电子存储器中；

在装置的工作范围内，相对于已知压力初始特性化次级机电装置，以得到用来特性化所述机电装置的输出的数据；及

用建立的关系修正通过初始特性化次级机电装置得到的数据。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，进一步包括步骤：把建立的关系存储在非易失存储器中。

用来校准压差流体流量测量系统的方法

本发明涉及基于压差的流体流量测量，包括速率、体积和质量，更具体地说，涉及一种通过在其工作范围内、用已知的流体流量基准校准作为一个整体的系统来改进测量精度的方法。

对于充满一个封闭通道如管路的流体，基于压差的流体流量计、或测量系统一般包括两个基本元件。系统包括：一个浸入流体的传感器，作为系统的初级元件；和一个次级元件，包括机械和电子装置，以把检测的流体动力转换成可用来得到需要信息的形式，如流率、体积流量和流动流体的质量。

检测流动中的流体压差的初级传感器包括这样的专用类型，如平均皮托管、孔板、流量喷嘴和文氏管流量计。

系统的次级部分可以包括一个压差(DP)变换器、一个静态压力变换器、一个流体温度变换器和一个流量计算机。这些变换器的原始电气输出一般处理成一个传送信号，以便在诸如流量计算机之类的附加设备中进行以后的电子处理。变换器和以后的电子装置（如 A/D 转换器、放大器和中央处理单元）的组合在行家中通常称为 DP 变送器，并且该术语也在本说明书中使用。通常初级传感器和次级（或 DP）变送器实际上是远离的，并且一般作为独立的仪器实体来处理，这意味着两个元件独立地校准，并且给出其各自的精度标准。

在理解流体流量测量技术的当前状态、和与本发明相比现有系统所能达到的精度之前，回顾评定测量装置精度的可供选择方法是有益的。

有两种表示精度的方法。第一种通常表达为“读数百分比”或“值的百分比”。这种方法以具体的读数识别误差。在测量装置中，这种方法的使用意味着装置在整个工作范围内产生一个基于其读数的误差陈述。第二种方法表达为“满刻度百分比”(fs 的百分比)精度标准。这种方法与测量代表输出 100% 量时装置中的误差有关。对于用“满刻度百分比”精度陈述校准的装置的等效“值的百分比”误差数值，使用如下公式计算：

$$\% \text{ 读数误差} = \frac{\% \text{ 满刻度误差}}{\% \text{ 刻度}} \times 100 \quad \text{公式#1}$$

这两种精度等级方法之间的差别直到把他们画出来才变为明显。图 1 表示用来表达测量误差的两种方法的每一种的结果。曲线“ A ”表示 1% 的读数误差，而曲线“ B ”表示 1% 的满刻度误差陈述。两者都按 10:1 的衰减画出。在所示的例子中，“满刻度的±1%”误差等效于在全量程范围的 20% 处的“值的±5%”误差(5:1 衰减)。流量衰减是在某一所述精度下，期望由系统测量的最大流率与期望测量的最小流率的比值。这个量一般以双点表达在一条线上，如对于 10 的衰减比值为 10:1。大多数流量测量装置具有能在所述精度极限内能够测量的一个最大流量和一个最小流量。一般的流率落在这些值之间。

在压差测量装置中，流率 Q 按照公式 $Q=C\sqrt{DP}$ 导出，其中 C 是常数，而 DP 是检测的高、低流体压力之差。不同类型的压差传感器具有其优点和缺点，但所有它们都受到固有的不能提供在较宽工作范围内按照数学公式绝对与流体流率有关的流体压力输出之害。这些压差流量传感器的引入误差和最终性能特性由每个装置的安装参数限定，并且随之而变化，如传感器的形状和尺寸、其过流孔的位置和数量、及传感器在流体输送管内部的位置。图 3 是示意曲线，以实线表明流体流量 Q 与压差 DP 之间的数学理想关系。虚线曲线表明相同的关系，但带有考虑到初级检测元件的固有误差。能使平均皮托管型初级传感器或其他 DP 传感器在较宽流量范围内表现出与所述数学理想状态的紧密相似性，但即使这些类型的传感器也不能在 10:1 衰减范围内提供远比±1% 好的读数。

除初级引入的误差之外，流量测量系统次级的元件也各自把误差引入系统中。尽管误差由所有次级元件产生，但其大部由变换器的非线性引入的。在这个意义上，线性是元件产生、或精密近似实际物理输入与 DP 变送器输出之间的线性关系的能力。其他次级元件也产生非线性，导致次级误差。图 4 的实线根据公式： $m.a=B\times DP$ 表明 DP 变送器的理想线性，其中 $m.a$ 是按毫安的次级输出， B 是常数及 DP 是流体压差。图 4 的虚线曲线根据公式： $m.a=B\times DP+E_s(DP)$ 示意表明流量计次级的非线性性能(不涉及流体的静态压力或温度)，其中 E_s 是由于次级造成的压差的%误差。尽管可

以有几种不同的线性表示，但假定该术语表示流量计次级的独立线性。在图 5 中使用一条直线来使实际特性最大偏差最小。该图的曲线已经归一化，以把线性表示为读数误差偏差偏离可能是直水平线的理想零误差曲线的百分比。当前流量测量的实践认识到次级的非线性，并且试图通过“特性化”DP 变送器来补偿它。这最经常的是这样来进行，通过采用净重(dead weight)、或某些其他形式的校准 DP 源，来模拟在变换器图上的各种压力，然后修正电气输出以纠正观察到的不一致。然而，在这类过程中，在线性化的偿试中既没有考虑实际流体流量也没有考虑初级传感器的异常特性。

因而，当把独立校准的初级和次级元件相结合时，必须通过在选择的工作范围内按照“平方和的平方根”组合初级和次级元件的误差，来确定最终的测量系统精度：

$$\% \text{ 系统误差} = \sqrt{E_p^2 + E_s^2} \quad \text{公式\#2}$$

其中： E_p =由于初级造成的流量%误差；及

E_s =由于次级造成的流量%误差，即

$$E_s = E_{DP}^2 + E_p^2 + E_T^2$$

其中： E_{DP} =由于压差变换器造成的误差，

E_p =由于静态压力变换器造成的误差，及

E_T =由于温度变换器造成的误差。

初级元件的误差直接产生流量误差，而次级装置产生是流量误差的平方的压差(DP)误差。DP 的百分比误差将取决于百分比刻度，如图 1 中所示。对于 DP 变送器或测量仪，造成次级流量计算误差的是：

$$\% E_{DP} = \pm 1 + \frac{\% Efs}{\% DP} - 1 \times 100 \quad \text{公式\#3}$$

其中： $\% Efs$ = DP 变送器满刻度误差(精度)的%；

$\% DP$ = DP 变送器工作的刻度的%。

类似地计算 E_p 和 E_T 。

为了对于希望的流量衰减确定在最小刻度处的流量误差，公式 3 必须代入公式 2 中。为了更好地表明这一点，参照图 2，这里对于不同类型的流量计作为衰减的函数画出读数流量系统精度。其中没有造成系统误差的次级元件、具有%读数精度的流量计的一个例子以实线表示。与 DP 变送器

一起工件的孔板、或其他类型的 DP 传感器的误差，使用以上的公式 2 和 3 计算，并且以虚线在图 2 中的曲线中画出。在这条示范曲线中，孔板传感器本身产生 $\pm 1\%$ 的读数误差(E_p)，并且次级元件具有 $\pm 0.1\%$ 的满刻度(fs)误差(E_s)。

在导出图 2 的虚线曲线之后，分别校准初级和次级流量计元件的先有技术习惯的问题就是显然的。各元件的误差在流量系统中是添加性的，导致其中总误差永远不可能小于系统最不精确元件的组合。

因此，本发明的主要目的在于，提供一种通过用实际基准流体流量校准初级和次级系统元件的装配组合来得到较高测量系统精度的复合方法。

本发明的另一个目的在于，提供一种测量系统校准方法，该方法导致比由各自校准系统元件的平方和的平方根得到的精度意外好的精度。

本发明的又一个目的在于，提供一种用于以高精度导致较宽流量衰减的测量系统校准的方法。

本发明的又一个目的在于，提供一种用来校准流量测量系统的过程，其中便利地采用次级元件线性化潜力的灵活性，以纠正流量初级中的误差，以及纠正次级本身元件中的非线性。

当阅读本发明最佳形式的详细描述时，本发明的其他和另外的目的、特征和优点将成为显然的。

最相关的已知先有技术按如下列出：

Dieterich Standard Annubar® 流量测量系统手册，其中在第 2 和 3 页上(未计数)，表示了在本说明书中描述的类型的一种流量测量系统，并且在第 9 页上，讨论了压力变送器和其精度。所示的这种测量系统没有考虑本发明的校准和线性化方法。

Dieterich Standard Diamond II Annubar® 流量传感器样本，其中，在第 3 页上表示了类似于在本说明书中提及的一般系统的流量测量系统的图，但没有本发明的线性化方法，并且在其第 7 页上讨论了传感器初级的精度。

授予 **Borje Rantala** 的美国专利 No.5,111,827，公开了在一种呼吸抽样装置中，一个微处理器按照如由气体分析仪确定的气体成分调节流率。

授予 **Floyd W.Hagen** 的美国专利 No.4,836,019，公开了一种空气数据

传感器，带有一个编程的计算机以从各种传感器的校准曲线中取出各种补偿表。编程该计算机以对压力输出提供一个适当的校正因子。

授予 D.W.Moore 的美国专利 No.2,869,367，描述了一种利用压力响应膜来改变电阻以便线性化系统的响应特性的系统。

图 1 是曲线图，表示限定测量精度的“读数百分比”与“满刻度百分比”系统之间的关系。

图 2 是曲线图，表示对于两个不同类型的流体流量计作为衰减的函数的读数流量系统精度的百分比。

图 3 是示意曲线，以实线表明流体流量 Q 与压差 DP 之间的数学理想关系。虚线表明初级流量计测量的误差。

图 4 是曲线图，表明与压差相关的压差变送器(次级)输出的典型特性曲线。实线代表压差与电气系统输出之间的线性关系。虚线是实际曲线的示例，考虑到了由次级中的非线性引入的误差 E_S 。

图 5 是归一化曲线，表示作为偏离理想线性曲线的读数误差偏差的百分比的系统输出线性，理想线性曲线由直水平线代表，其误差为零。

图 6 是一种适于使用本发明校准方法的典型 DP 流体流率测量系统的方块图。

图 7 是图 6 所示系统中使用的 DP 变送器的初始校准的示意方块流程图。

图 8 是一张示例表，表示在 DP 变送器工作范围内以百分之十增量得到的压差的百分比值，其中 URL 是以英寸水柱度量的变送器的范围上限。该表表示如图 7 中所示进行的初始变送器特性化的相应值(校准 DP)、和图 6 所示的纠正 DP(DP 纠正)。

图 9 是本发明校准方法的方块流程图，带有从过程中所指示的点处得到的值的示例表。

图 10 曲线图，表示作为范围上限(URL)的百分比的 D_P 测量与作为 URL 百分比的归一化 DP 或 DP' 之间的关系。

本发明的方法使用初级传感器上的实际校准流量，把压差流量测量系统作为一个整体组件来校准和特性化。通过作为一个整体、用实际基准流体流量来校准系统，来代替依赖于初级和次级元件的分别校准，产生一种

意外的综合效果，由此系统精度和衰减好于通过单个校准系统元件的平方和的平方根所得到的效果。

在论述本发明的校准和特性化方法的细节之前，进行一种其中使用校准方法的流量测量系统的简短描述，以便建立本发明的背景。

图 6 是一种典型的基于压差的流量测量系统的方块图，本发明的校准方法特别适于这类系统。在这种测量系统中，一个皮托管型的压差流量传感器 4 起初级元件的作用，然而传统的压差装置如孔板、文氏管或流量喷嘴也能起压差检测装置的作用。所示的皮托管具有在授予 James B.Harbaugh 等的美国专利 No.4,154,100 和授予 Darrel F.Coleman 等的美国专利 No.4,559,836 中所述的类型，为了对图的 6 DP 流量传感器 4 作更完整解释，引用这些专利文献。

皮托管 4 的上游面对侧检测流动流体的平均传感器冲击压力以建立高压值。皮托管下游面对侧检测低压。从流量传感器 4 的过流孔 6 和 8 引出高、低流体压力到一个压力变换器 10，即压差变送器 11 的第一级。压力变换器把出自初级传感器的各高、低流体压力转换成一个电信号，该电信号的特性是压差(DP)的函数，该压差就是检测的高、低流体压力之差。一种典型的变换器是装有一个由一个硅隔膜组成的检测元件的变换器，向硅隔膜的表面中扩散可构成一个电桥的压电电阻，该电桥的输出与施加到变换器上的压差相似。可以使用其他类型的 DP 变送器，如电容或可变阻抗。来自压力变换器 10 的电模拟信号在 A/D 转换器 12 中转换成一个数字信号，以便输入到一个中央处理单元(CPU)16 中。CPU 16 进行平方根函数以及其他计算，包括为产生流量测量系统的精确最终输出信号所要求的系统误差校正。

在按照本发明的方法校准之后，且在实际流量测量条件下的工作期间，代表流体压差的电子信号寻址在一个 EEPROM 存储器 18 中存储的校准信息，以便对该信号中的误差提供集中校正，该信息可以具有一张查阅表或一个多项式 19 的形式，该信号中的误差是由于变送器 11 中的非线性和初级传感器 4 工作中的异常的结果而出现。得到存储在 EEPROM 中的信息以实现这些校正，就是本发明的校准结果和特性化过程，并将在以后详细描述。校正 DP 信号在标号 27 的步骤中进一步由 CPU 处理，以确定

已校正过的 DP 的平方根。该值用来确定随后在适当仪器 30 中读出的、或者用于某一另外的过程或仪器的流量 Q。

已经概括地描述了流量计在实际工作中的功能，现在将描述得出存储在 EEPROM 中的校准系数的方法。如前所述，初级传感器和次级元件两者都产生误差，并且每个都对系统精度产生不利影响。通过对两者这些误差源同时提供校正，最终流量系统信号将具有比通过分别校准初级和次级元件高的精度。

关于理解通过初级传感器产生的误差，再参照图 3。至于次级，DP 变送器的非线性输出相对于一个校准的 DP 源（如一个净重检验器）来初始线性化。对于 DP 变送器本身的初始线性化过程的示意说明，见图 7。这时应该注意，线性化是当希望的输出是装置输入的线性函数时使用的校准形式。然而，存在希望的输出是输入的指数或多项式函数或者其他函数的情形。因此，为了在种类上限定包括所有这些函数的本发明的校准方法，术语“特性化”或“特征化”可以用来广泛地包括线性化、以及所述的其他形式。

初始线性化过程根据由一个校准的 DP 源提供的已知力差，来特性化变送器的输出。作为这种初始特性的结果，将把变送器输出称作 DP 校准。作为这种初始校准的一个例子，参照图 8，其中对于压差值增量从零到变送器范围上限(URL)的 100% 表示了 DP 校准，DP 校准是由校准的 DP 源提供的。作为初始校准过程的一部分，这些 DP 校准 值存储在变送器的 CPU 的非易失性存储器中。对于中央处理单元的表示见图 6。

然而，按照本发明的目的，仅线性化 DP 变送器是不够的。通过相对于变送器的 DP 校准 输出特性化该系统 DP 输出、再加上用于初级传感器的流量系数 K，就是：DP 校准 + K → DP 校正，来实现本发明的目的。

换句话说，从整个测量系统的角度，通过在校准中考虑初级传感器的 K 值变化，进一步加强 DP 变送器的初始特征化。通过把一个或多个校正系数存储在 EEPROM 存储器 18 中且使用这些系数作为一个整体特性化测量系统，来实现这一点。

参照图 9 将有利于理解如何导出存储在 EEPROM 中的校正系数 21。涉及图 9 的不同部分的、表中的数量仅是示范性的，目的是更好地理解该

过程。首先，确定用于选择的不同数量的流量的 K 值。对于校准过程选择的流体流量值的数量是一个判断请求。为了进行这种描述，选择十一个，以百分之十的增量从零开始覆盖系统的工作范围。尽管基准流体流量可以通过多种不同的技术得到，但最佳的形式涉及使用直接确定质量流量的高精度实验室称量槽。多个不同选择的基准流量导入带有一个初级传感器（如图 6 的平均皮托管 4）的管中。检测的高、低压力引到已经初始校准的 DP 变送器中，从 DP 变送器得到一个压差信号 $DP_{\text{测量}}(DP_M)$ 。这个信号、以及代表来自称量槽的校准基准流体流量的输入信号 Q ，根据公式：

$$K_{\text{实际}} = \frac{Q}{\sqrt{DP_M}}$$

计算初级传感器的实际 K 值 $K_{\text{实际}}$ 。由对于选择的流率的每一个的 $K_{\text{实际}}$ 值，通过已知的统计分析方法确定一个平均值 $K(K_{\text{平均}})$ 。在下一个步骤中，根据公式 $\left(\frac{K_{\text{实际}}}{K_{\text{平均}}}\right)^2 \times DP_M = DP'$ 确定标称 DP 或 DP' 。在对于选择的流率的每一个确定标称 DP 之后，使用统计回归分析得到系统的一个或多个校正系数，然后把这些系数存储在 EEPROM 中。最好，回归使用最小二乘法来拟合通过一组点的一条直线，每个点代表对于测量的 DP 值之一的对应的标称 DP 值。在分析中的因变量是测量的 $DP(DP_M)$ ，而自变量是标称 DP 或 DP' 。按照熟知的技术，为了提高精度通过使用另外的自变量 $DP^{''2}$ 、 $DP^{''3}$ 、 $DP^{''4}$ 和 $DP^{''5}$ ，能展开回归分析。回归分析产生表示在图 9 表中的 X 变量、及其示范性的系数值。这些是需要存储进变送器的 EEPROM 中的初始校准值的系数，从而可以确定新的校准值：

$$DP_{\text{cor}} = \text{截距} + X_{\text{var1}}(DP_{\text{cal}}) + X_{\text{var2}}(DP_{\text{cal}})^2 + \dots + X_{\text{var5}}(DP_{\text{cal}})^5$$

其中： X_{varn} 是用于第 n 个自变量的回归系数；

截距是直线穿过 Y 轴的点。

依据希望的精度，能使用 2 个、3 个或 6 个自变量，来代替这个例子中的五个。

当在实际系统工作中寻址存储器时，使用最终校正 DP 值(DP_{cor})来确定校正流量输出。

在测量系统的整个流量范围内进行校准，在整个校准流量范围内建立

至少 $\pm 0.5\%$ 的精度。计算的校正值(校正的 DP')替换在变送器初始特性化期间建立的、在 EEPROM 中的校正，如图 7 中所示。用这种校准方法特性化流量计允许测量仪的电气输出 27 跟踪真实的基准流量，由此补偿由于非线性、和初级系统的流量系数造成的所有误差，如图 10 中所示。

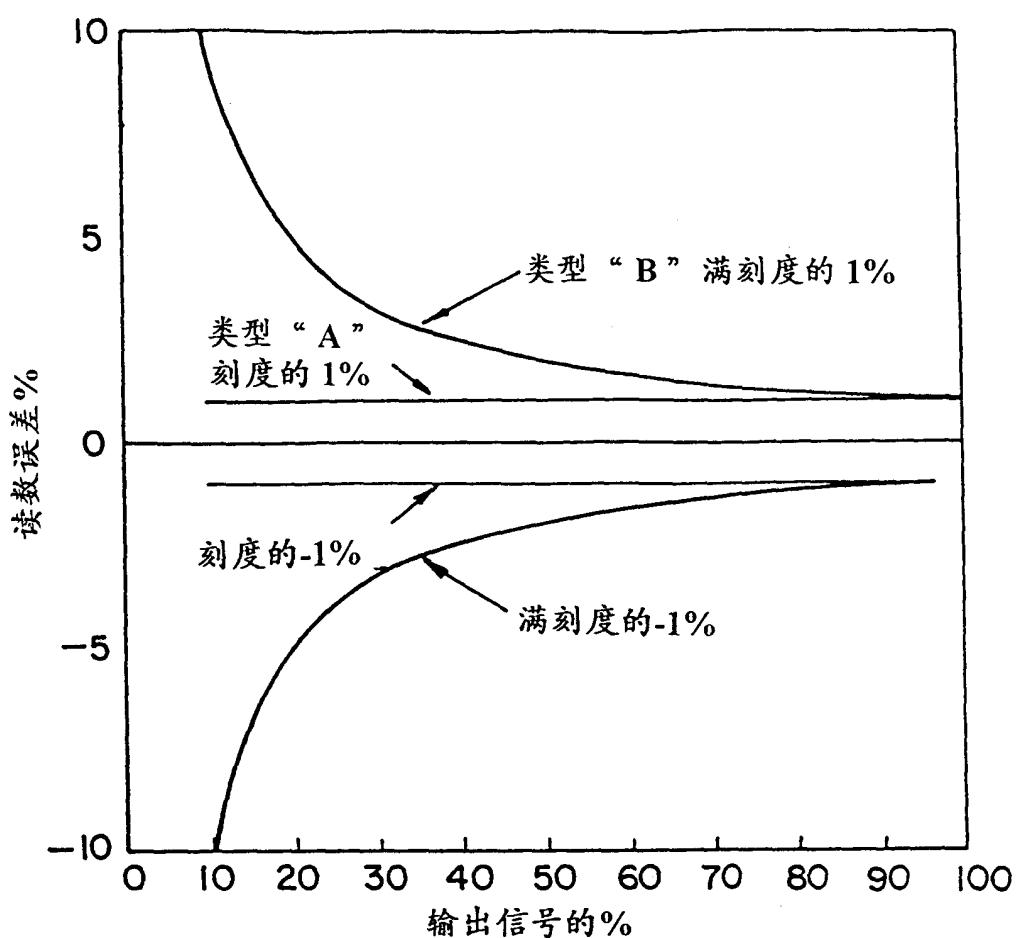


图 1

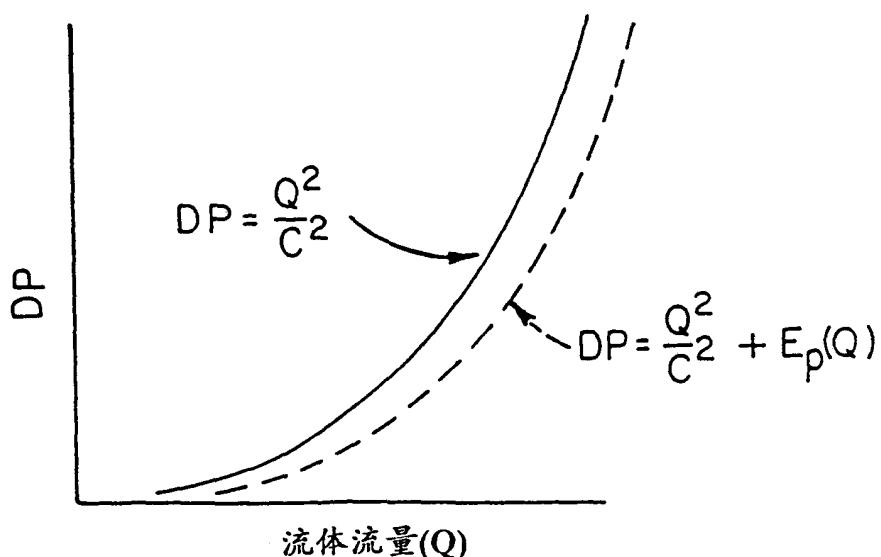


图 3

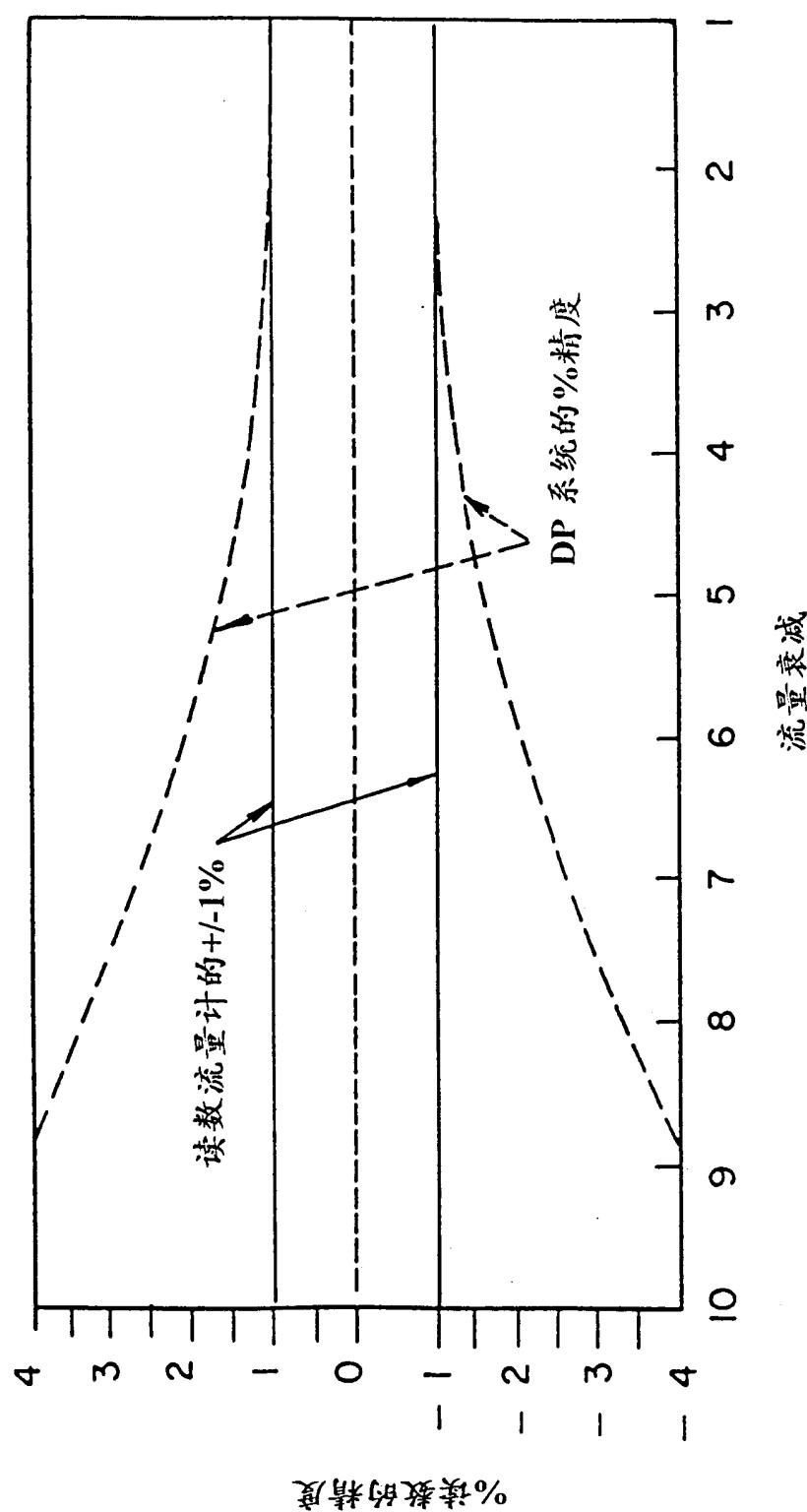


图 2

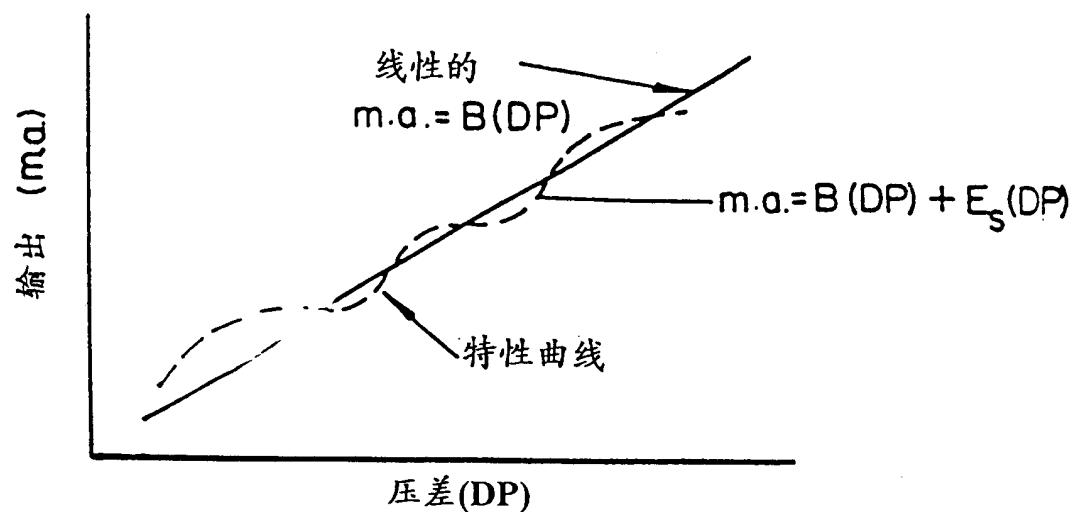


图 4

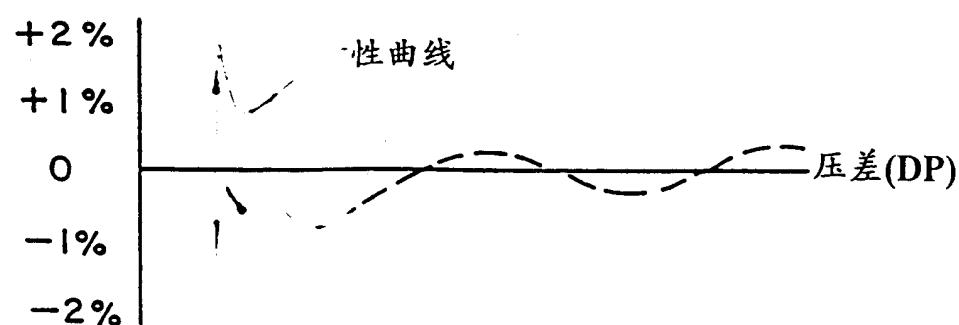


图 5

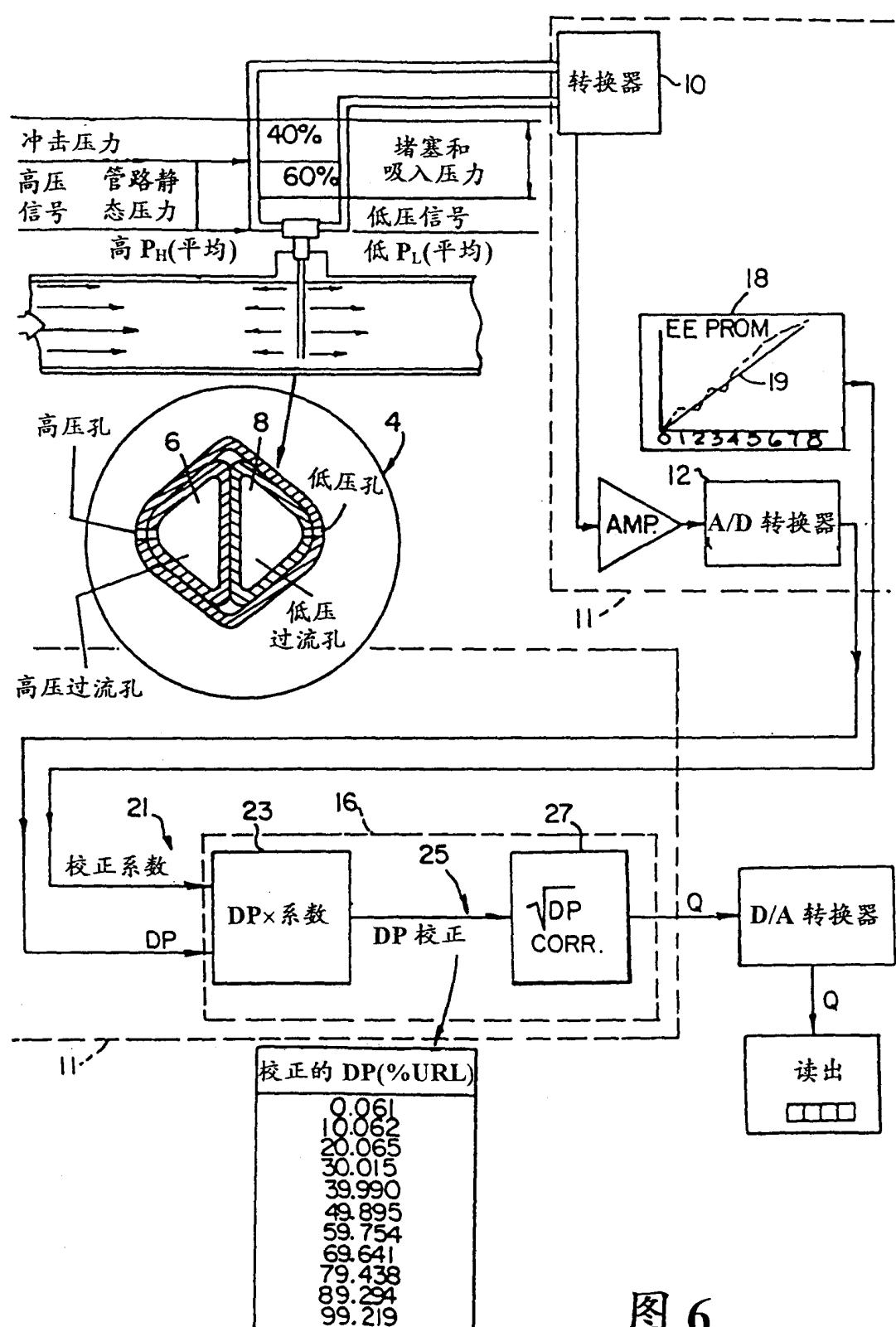


图 6

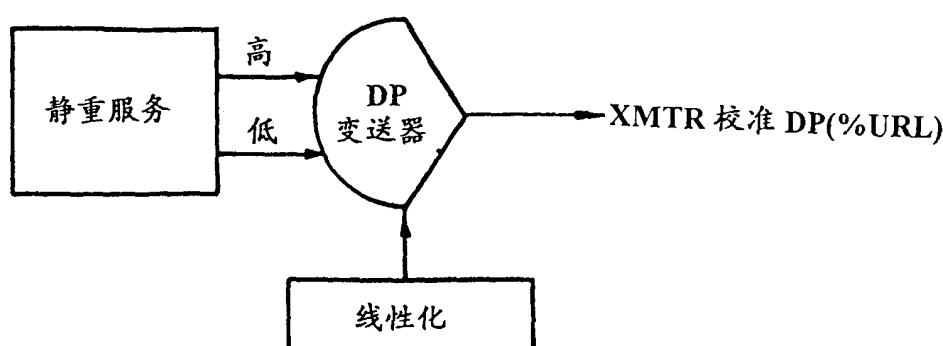


图 7

DP (在 H ₂ O 中)	DP (%URL)	XMTR 校准 DP(%URL)
0	0.00	0.060
3	10.00	9.980
6	20.00	20.010
9	30.00	30.030
12	40.00	40.090
15	50.00	50.090
18	60.00	60.060
21	70.00	70.080
24	80.00	80.020
27	90.00	89.990
30	100.00	99.920

图 8

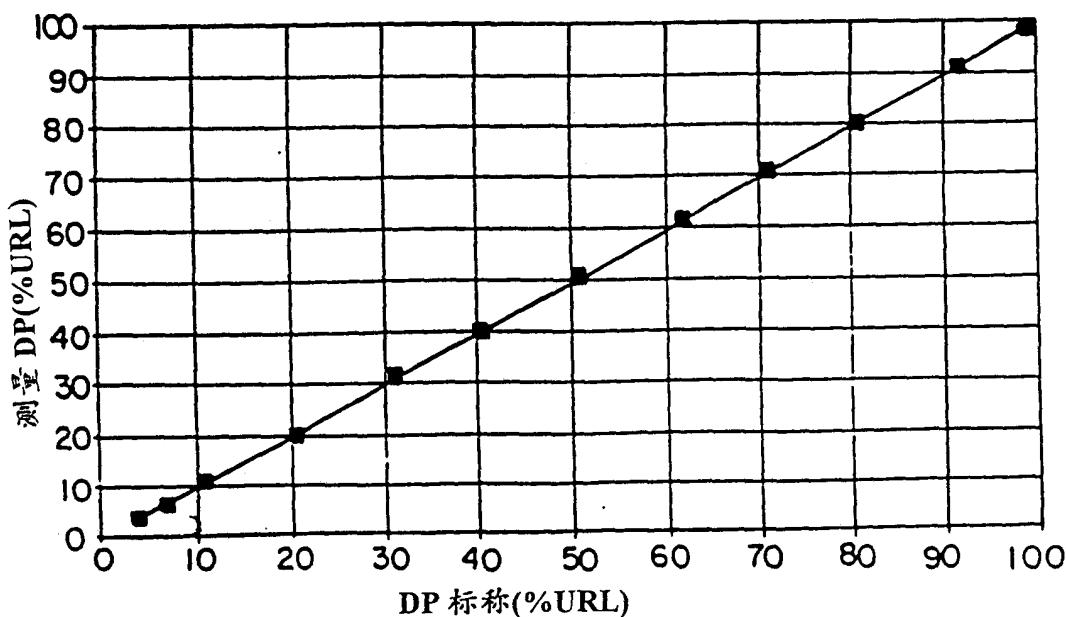


图 10

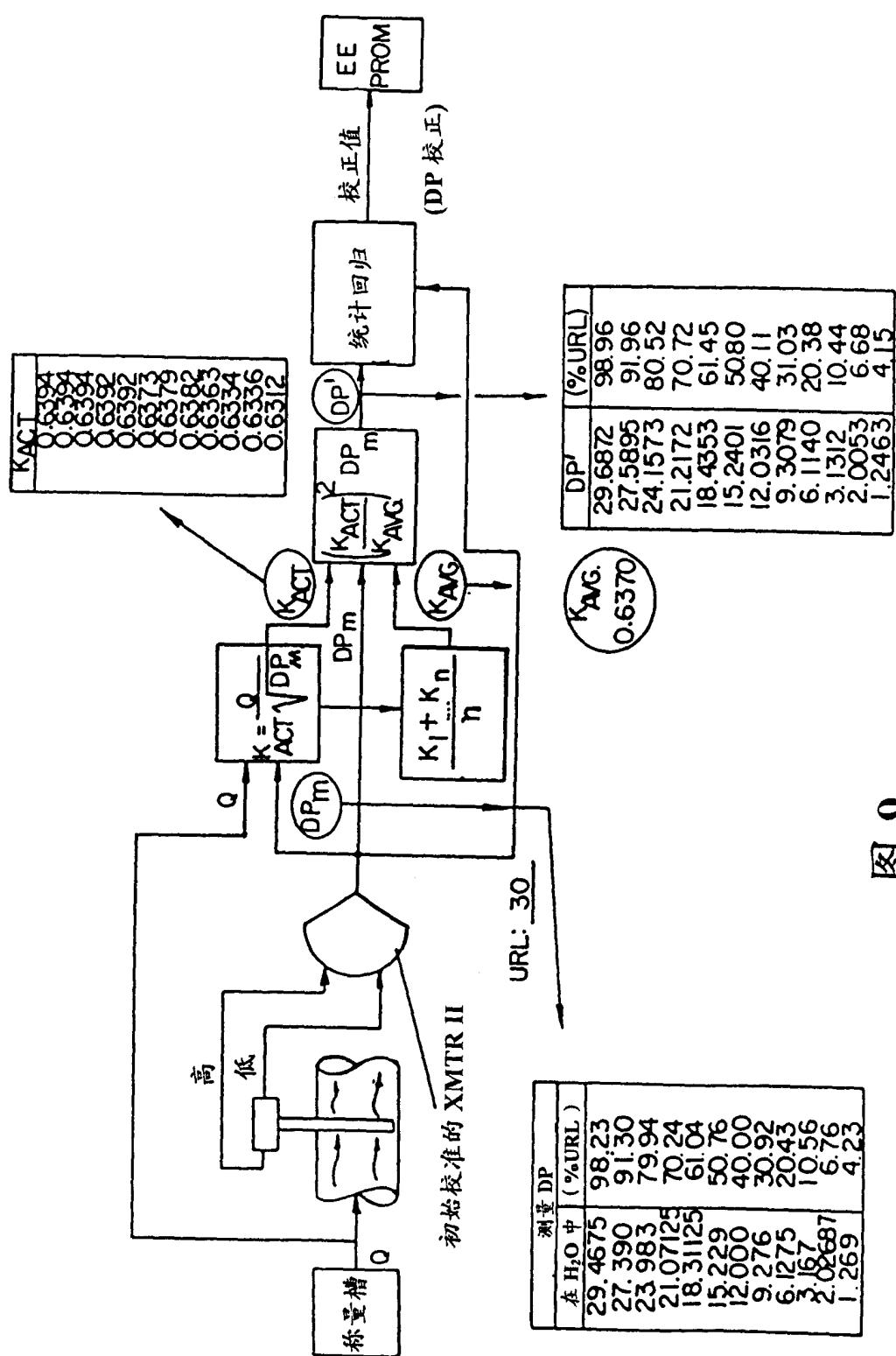


图 9