

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01F 1/84 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480008564.4

[43] 公开日 2007 年 11 月 21 日

[11] 公开号 CN 101076710A

[22] 申请日 2004.2.10

[21] 申请号 200480008564.4

[30] 优先权

[32] 2003.2.10 [33] US [31] 60/445,795

[32] 2003.3.10 [33] US [31] 60/452,934

[32] 2004.2.9 [33] US [31] 10/773,459

[86] 国际申请 PCT/US2004/003646 2004.2.10

[87] 国际公布 WO2004/072588 英 2004.8.26

[85] 进入国家阶段日期 2005.9.28

[71] 申请人 因万西斯系统股份有限公司

地址 美国马萨诸塞州

[72] 发明人 韦德·M·马塔尔

马努斯·P·亨利

米黑拉·D·达塔

迈克尔·S·图姆斯

[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

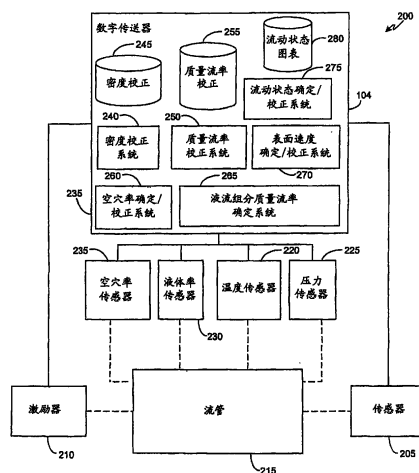
权利要求书 4 页 说明书 20 页 附图 20 页

[54] 发明名称

多相哥氏流量计

[57] 摘要

本发明公开了一种流量计(200)。流量计(200)包括可振动流管(215)和连接于流管(215)的激励器(210)，后者用于激发流管(215)中的运动。传感器(205)连接于流管(215)并用于感测流管(215)的运动以及生成传感器信号。控制器(104)经连接以接收传感器信号。控制器(104)用于确定经过流管的二相流中第一相的第一流率并且确定二相流中第二相的第二流率。



1. 一种流量计, 包括:

可振动的流管;

激励器, 连接于所述流管并用于激发所述流管中的运动;

传感器, 连接于所述流管并用于感测所述流管中的运动以及生成传感器信号; 以及

控制器, 经连接以接收所述传感器信号, 所述控制器用于确定经过所述流管的二相流中的第一相的第一流率并确定所述二相流中的第二相的第二流率。

2. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述第一相包含气体, 所述第二相包含液体。

3. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于输入由所述流量计检测到的二相流的视得密度并输出所述二相流的校正密度。

4. 按照权利要求 3 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述视得密度与所述校正密度之间的理论关系来校正所述视得密度。

5. 按照权利要求 3 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述视得密度与所述校正密度之间的经验关系来校正所述视得密度。

6. 按照权利要求 3 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述视得密度与所述校正密度之间的表格储存关系来校正所述视得密度。

7. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于输入由所述流量计检测到的二相流的视得质量流率并输出所述二相流的校正质量流率。

8. 按照权利要求 7 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述视得质量流率与所述校正质量流率之间的理论关系来校正所述视得质量流率。

9. 按照权利要求 7 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述视得质量流率与所述校正质量流率之间的经验关系来校正所述视得质量流率。

10. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于输入由所述流量计检测到的二相流的视得第一相份额, 所述份额定义了所述二相流中第一相的量, 并输出所述二相流的校正第一相份额。

11. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于输入由相份额传感器检测到的所述二相流的第一相份额, 所述传感器位于所述流量计的外

部。

12. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述二相流的检测密度和检测质量流率的经过校正的数值来确定所述第一流率和所述第二流率。

13. 按照权利要求 12 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据定义出所述二相流中第一相的量的检测第一相份额来确定所述第一流率和所述第二流率。

14. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述第一相和所述第二相的密度分别确定所述第一流率和所述第二流率。

15. 按照权利要求 1 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述第一流率和所述第二流率来分别确定所述第一相的第一表面速度和所述第二相的第二表面速度。

16. 按照权利要求 15 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述第一表面速度和所述第二表面速度来确定所述二相流的流动状态。

17. 按照权利要求 16 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述第一相的平均速度和所述第二相的平均速度来确定所述第一相与所述第二相之间的滑移速度。

18. 按照权利要求 17 所述的流量计, 其中所述控制器用于根据所述第一和第二表面速度、已确定的流动状态或者滑移速度对所述第一流率和所述第二流率进行校正, 由此获得校正第一流率和校正第二流率。

19. 一种方法, 包括:

确定经过流管的二相流的整体密度, 所述二相流包括第一相和第二相;

确定所述二相流的整体质量流率; 并且

根据所述整体密度和所述整体质量流率确定所述第一相的第一质量流率。

20. 按照权利要求 19 所述的方法, 包括根据所述整体密度和所述整体质量流率确定所述第二相的第二质量流率。

21. 按照权利要求 19 所述的方法, 其中确定所述整体密度包括:

确定所述二相流的视得整体密度; 以及

校正所述视得整体密度以获得所述整体密度。

22. 按照权利要求 21 所述的方法, 其中对所述视得整体密度进行校正包

括将所述视得整体密度输入至使所述视得整体密度关系于一校正整体密度的理论关系中。

23. 按照权利要求 21 所述的方法,其中对所述视得整体密度进行校正包括将所述视得整体密度输入至使所述视得整体密度关系于一校正整体密度的经验关系中。

24. 按照权利要求 21 所述的方法,其中对所述视得整体密度进行校正包括输入所述第一相的第一密度。

25. 按照权利要求 24 所述的方法,包括根据所述整体密度、所述第一相的第一密度和所述第二相的第二密度确定所述二相流的第一相份额。

26. 按照权利要求 25 所述的方法,其中确定所述第一相的第一质量流率包括根据所述第一相份额和所述第一密度来确定所述第一质量流率。

27. 按照权利要求 20 所述的方法,包括根据所述第一质量流率和所述第二质量流率分别确定所述第一相的第一表面速度和所述第二相的第二表面速度。

28. 按照权利要求 27 所述的方法,包括根据所述第一表面速度和所述第二表面速度确定所述二相流的流动状态。

29. 按照权利要求 28 所述的方法,包括根据所述第一相的平均速度和所述第二相的平均速度确定所述第一相与所述第二相之间的滑移速度。

30. 按照权利要求 29 所述的方法,包括根据所述第一和第二表面速度、所确定的流动状态或者滑移速度对所述第一流率和所述第二流率进行校正。

31. 按照权利要求 20 所述的方法,其中所述第一相包括气体,所述第二相包括液体。

32. 一种流量计控制器,包括:

密度校正系统,用于输入二相流的视得密度并输出所述二相流的校正密度,所述二相流包括第一相和第二相;

质量流率校正系统,用于输入所述二相流的视得质量流率并输出所述二相流的校正质量流率;以及

液流组分质量流率确定系统,用于根据所述校正密度和所述校正质量流率确定所述第一相的第一质量流率。

33. 按照权利要求 32 所述的流量计控制器,其中所述液流组分质量流率确定系统用于根据所述校正密度和所述校正质量流率确定所述第二相的第

二质量流率。

34. 按照权利要求 33 所述的流量计控制器, 其中所述第一相包含液体, 所述第二相包含气体。

35. 按照权利要求 34 所述的流量计控制器, 包括相份额确定系统, 该系统用于确定所述二相流的校正相份额, 其中所述液流组分质量流率确定系统用于根据所述校正相份额确定所述第一流率和第二流率。

36. 按照权利要求 35 所述的流量计控制器, 其中所述相份额确定系统是确定所述二相流中气体量的空穴率确定系统。

37. 按照权利要求 34 所述的流量计控制器, 包括表面速度确定系统, 该系统用于确定所述第一相的第一表面速度和所述第二相的第二表面速度。

38. 按照权利要求 37 所述的流量计控制器, 其中所述流量计控制器包括流动状态确定系统, 该系统用于确定所述二相流的流动状态。

39. 按照权利要求 38 所述的流量计控制器, 其中所述流动状态确定系统还用于根据所述第一相平均速度和所述第二相平均速度确定相位转移速度。

40. 按照权利要求 39 所述的流量计控制器, 其中所述液流组分质量流率确定系统用于根据所述第一和第二表面速度、所述流动状态或者所述相位转移速度而改进对所述第一质量流率和所述第二质量流率进行的确定。

多相哥氏流量计

技术领域

本发明涉及流量计。

背景技术

流量计可提供关于传输经过导管或流管的物质的信息。例如，质量流量计可提供传输经过导管的物质的质量读数。同样，密度流量计，或者密度计，可提供流经导管的物质的密度读数。质量流量计也可提供物质的密度读数，因此也可得出体积流率的读数。

例如，哥氏质量流量计量是以哥利奥里斯效应为基础的，其中流经导管的物质成为沿径向流动的质量而受到哥氏力的作用并因此经受加速度。许多哥氏式质量流量计可通过使一围绕正交于导管长度的枢转轴的导管进行正弦振荡而诱发哥氏力。在这种质量流量计中，流动的液体质量所经受的哥氏反作用力被传递给导管本身并表现导管在转动平面中哥氏力矢量方向上的挠度或偏移。

发明内容

按照一项整体方案，一种流量计包括可振动的流管；激励器，连接于流管并用于激发流管中的运动；传感器，连接于流管并用于感测流管的运动以及生成传感器信号；以及控制器，经连接以接收传感器信号，该控制器用于确定经过流管的二相流内第一相的第一流率并确定二相流内第二相的第二流率。

各种实施方案可以包含一个或多个下述特征。例如，第一相可包含一气体，第二相可包含一液体。

控制器用于输入由流量计检测到的二相流的视得密度并输出该二相流的校正密度。控制器用于根据视得密度与校正密度之间的理论关系式，或者根据视得密度与校正密度之间的经验关系式（诸如，视得密度与校正密度之间的表格储存关系）来校正视得密度。

控制器用于输入由流量计检测到的二相流的视得质量流率并输出该二相流的校正质量流率。控制器可用于根据视得质量流率和校正质量流率之间的理论或实际关系，例如表格关系，对视得质量流率进行校正。

控制器用于输入由流量计检测到的二相流的视得第一相份额，该视得第一相份额确定出二相流中第一相的量，并且输出二相流的校正第一相份额。控制器可用于输入由在流量计外部的相份额传感器检测到的二相流的第一相份额。

控制器可用于根据二相流中检测密度和检测质量流率的校正值来确定第一流率和第二流率。控制器可用于根据确定二相流中第一相的量的检测第一相份额的校正值来确定第一流率和第二流率。控制器可用于根据第一相和第二相的密度分别确定第一流率和第二流率。

控制器可用于根据第一流率和第二流率分别确定第一相的第一表面速度和第二相的第二表面速度。控制器可用于根据第一表面速度和第二表面速度确定二相流的流动状态。控制器可用于根据第一相的平均速度和第二相的平均速度确定第一相与第二相之间的滑移速度。控制器可用于根据第一和第二表面速度，所确定的流动状态，或滑移速度对第一流率和第二流率进行校正，由此获得校正第一流率和校正第二流率。

按照另一整体方案，一种方法包括确定经过流管的二相流的整体密度，该二相流包括第一相和第二相；确定二相流的整体质量流率；并且根据整体密度和整体质量流率确定第一相的第一质量流率。

各种实施方案可包括一种或多种下述特征。例如，第二相的第二质量流率可根据整体密度和整体质量流率予以确定。在确定整体密度时，可确定二相流的视得整体密度，而视得整体密度可经校正以获得整体密度。

当校正视得整体密度时，视得整体密度可输入到一将视得整体密度关系于校正整体密度的理论关系式中去，或者可输入到一将视得整体密度关系于校正整体密度的经验关系式中去。

当校正视得整体密度时，可输入第一相的第一密度。可根据整体密度、第一相的第一密度和第二相的第二密度来确定二相流的第一相份额。当确定第一相的第一质量流率时，第一质量流率可根据第一相份额和第一密度予以确定。

第一相的第一表面速度和第二相的第二表面速度可根据第一质量流率

和第二质量流率分别进行确定。二相流的流动状态可根据第一表面速度和第二表面速度进行确定。第一相与第二相之间的滑移速度可根据第一相的平均速度和第二相的平均速度进行确定。可根据第一和第二表面速度、所确定的流动状态或者滑移速度对第一流率和第二流率进行校正。

第一相可以包含一气体，第二相可包含一流体。

按照另一整体方案，流量计控制器包含密度校正系统，该系统用于输入二相流的视得密度并输出该二相流的校正密度，该二相流包括第一相和第二相；质量流率校正系统，用于输入该二相流的视得质量流率并输出该二相流的校正质量流率；以及液流组分质量流率确定系统，用于根据校正密度和校正质量流率来确定第一相的第一质量流率。

各种实施方案可以包括一种或多种下述特征。例如，液流组分质量流率确定系统用于根据校正密度和校正质量流率来确定第二相的第二质量流率。

第一相可以包含一液体，第二相可以包含一气体。该方案可包括一种相份额确定系统，该系统用于确定二相流的校正相份额，其中液流组分质量流率确定系统用于根据校正相份额来确定第一流率和第二流率。该相份额确定系统可以是可确定二相流中气体量的空穴率确定系统。

该方案可包括表面速度确定系统，该系统用于确定第一相的第一表面速度和第二相的第二表面速度。流量计控制器可包括流动状态确定系统，该系统用于确定二相流的流动状态。

流动状态确定系统可进一步用于根据第一相的平均速度和第二相的平均速度确定相位滑移速度。液流组分质量流率确定系统用于根据第一和第二表面速度、流动状态或者相位滑移速度来改进对第一质量流速和第二质量流速所进行的确定。

一种或多种实施方案的细节将在附图和以下述说明书中进行阐述。其他特征可从说明书、附图以及权利要求中清楚地得到。

附图说明

图 1A 是利用弯曲流管的一种哥氏流量计的示意图；

图 1B 是利用平直流管的一种哥氏流量计的示意图；

图 2 是一种哥氏流量计的方框图；

图 3 是示出了图 2 中哥氏流量计运转的流程图；

图 4 是示出了用于确定两相流中液体和气体流率的方法的流程图;

图 5A 和 5B 是分别示出了空穴率和液体率的测量中百分误差的曲线图;

图 6 是示出了对于具有特定取向和遍及所选定流量范围的一种流管而言的作为密度下降值的函数的质量流率误差的曲线图;

图 7 是示出了校正密度测量结果的方法的流程图。

图 8 是示出了二相流的视得密度下降值与视得质量流率之间关系的表格;

图 9 是示出了用于确定空穴率测量结果的方法的流程图;

图 10 是示出了用于确定已校正的质量流率测量结果的方法的流程图;

图 11 是示出了二相流视得质量流率与校正密度下降值之间关系的表格;

图 12-14 是表示用于大量流管的密度校正值的实例的曲线图;

图 15-20 是表示用于大量流管的质量流率校正值的实例的曲线图。

具体实施方式

流量计的类型包括数字流量计。例如, 美国专利 6,311,136, 在此纳入作为参考, 公开了一种数字流量计以及包括信号处理和测量方法在内的相关技术。这种数字流量计的测量结果可以是非常精确的, 噪音几近没有或可忽略不计, 而且能够使得在用于激励导管的激励电路中具有范围很广的正和负增益。这种数字流量计因而在多种结构中是很有好处的。例如, 共同转让的美国专利 6,505,519, 在此纳入作为参考, 公开了利用宽增益范围, 以及/或者利用负增益, 来防止气流分离 (stalling) 并更为精确地对流管进行控制, 即使在诸如二相流 (例如包含一种液气混合物的液流) 这样的困难条件下也是如此。

虽然下面将参照例如图 1 和 2 具体地说明数字流量计, 但应当理解, 也存在着一些模拟流量计。虽然这些模拟流量计可能倾向于具有模拟电路的一些典型缺点, 例如相对于数字流量计来说精度较低和噪声较高的测量结果, 但它们也可与在此说明的各种方法和装置相兼容。因而, 在以下的讨论中,

“流量计”或“计器”一词用于指代任何类型的装置和/或系统, 其中哥氏流量计系统采用多种控制系统和相关器件来测量流经流管或其他导管的某种或多种物质的质量流率、密度以及/或者其他参数。

图 1A 是采用弯曲流管 102 的一种数字流量计的示意图。具体地说, 弯

曲流管 102 可用以测量例如某一（流动）流体的一个或多个物理特征量，一如上文所述。在图 1A 中，数字传送器 104 与弯曲流管 102 交换传感器和激励两种信号，从而可相应地既感测弯曲流管 102 的振荡，又激励弯曲流管的振荡。通过迅速而精确地确定传感器和激励这两种信号，数字传送器 104，如上所述，保证了弯曲流管 102 的快捷和精确的运作。与弯曲流管共同使用的数字传送器 104 的一些实例记载于例如共同转让的美国专利 6,311,136 中。

图 1B 是利用平直流管 106 的一种数字流量计的示意图。更为具体地说，在图 1B 中，平直流管 106 与数字传送器 104 相互作用。这样一种平直流管的运作在概念层面上类似于弯曲流管 102，并相对于弯曲流管 102 来说具有多种优点/缺点。例如，只是由于其结构的几何状况，平直流管 106 比起弯曲流管 102 来说更易于（完全）充填和出空。在运作上，弯曲流管 102 可以在例如 50-110Hz 的频率下运作，而平直流管 106 可以在例如 300-1000Hz 的频率下运作。弯曲流管 102 代表具有多种直径的流管，并可以在多种取向上运作，诸如在垂直或水平取向上。

参照图 2，数字质量流量计 200 包括数字传送器 104、一个或多个运动传感器 205、一个或多个激励器 210、流管 215（也称作导管，而且可以代表或是弯曲流管 102、平直流管 106，或者任何其他类型的流管），以及温度传感器 220。数字传送器 104 可采用例如以下的一种或多种器件予以实现，例如处理器、数字信号处理器（DSP）、现场可编程门阵列（FPGA）、ASIC 和其他可编程逻辑或门阵列，或者带有处理器芯的可编程逻辑线路。应当理解，如 6,311,136 所述，相关联的数字-模拟转换器可以包含在内用于激励器 210 的运作，而模拟-数字转换器可用于转换传感器 205 的传感器信号以供数字传送器 104 之用。

数字传送器 104，至少根据从各运动传感器 205 接收的信号，产生例如流经流管 215 的物质的密度和/或质量流率的测量结果。数字传送器 104 还可控制激励器 210 以激发流管 215 中的运动。该运动由运动传感器 205 进行感测。

流经流管的物质的密度测量结果均相关于，例如，由激励器 210 施加的激励力在流管 215 中产生的流管运动的频率，以及/或者相关于流管 215 的温度。同样，流经流管 215 的质量流率相关于流管 215 运动的相位和频率，以及流管 215 的温度。

流管 215 中的温度可利用温度传感器 220 予以测量,该温度会影响流管的某些性质,诸如其刚度和尺寸。数字传送器 104 可以补偿这些温度效应。同样在图 2 中,压力传感器 225 连通于传送器 104,并连接于流管 215 以便用于感测流经流管 215 的物质的压力。

应当理解,进入流管 215 的流体压力和经过流管上相关各点的压降这二者都是某些流动条件的指标。另外,虽然可使用外部的温度传感器测量流体温度,但这些传感器也可在内部流量计传感器(设计用来测量典型温度)之外用于对流管进行校正。另外,一些流管采用多个温度传感器,目的在于对过程流体与环境(例如流管外壳的表面温度)之间的温差效应的测量结果进行校正。如下文较为详细地说明那样,入口流体温度和压力两种测量结果的可能的一种用途是,按照预定的公式来计算二相流中液体和气体的实际密度。

液体率探测器 230 指的是一种装置,用于在流管 215 中的液体包含水和另一流体—诸如石油—的时候,测量液体—例如水—的体积份额。当然,如果测量结果优先选定,或者如果该液体并不包含水,那么这种探测器,或类似探测器,可用于测量并非水的某种流体的体积份额。在下述说明中,被测量的液体一般假定为水,并且本文用水作为例证,液体率探测器 230 一般被称为水份额探测器 230,或水量(water-cut)探测器 230。

空穴率传感器 235 测量流管 215 中处于气态形式的物质的百分比。例如,流经流管 215 的水可包含可能形状为气泡的空气。这种情况,即其中流经流管 215 的物质包含一种以上物质,一般被称为“二相流”。具体地说,术语“二相流”可指代一种液体和一种气体;不过,“二相流”也可指代物质的其他组合,诸如两种液体(例如石油和水)。

目前存在着多种方法,在图 2 中一般由空穴率传感器 235 表示,用于测量一种液气两相流之中的气体空穴率。例如,存在着多种传感器或探测器,可以插进二相流中以确定气体空穴率。作为另一实例,文氏管(即,带有一狭窄喉部的管子,通过当某种流体流过管子时测量在喉部处产生的压差来确定流体压力和速度),根据穿过节流口时气体以大于(各)液体的速度运动这一事实,可用于确定压力梯度并且由此可确定气体空穴率。利用完全在流管外部的设备也可获得气体空穴率的测量结果。例如,可采用声呐测量结果以确定气体空穴率。作为这样一种基于声呐的系统的实例,可以采用由

康涅狄克州沃灵福的 CiDRA 公司 (CiDRA Corporation of wallingford, connecticut) 生产的 SQNAR tracTM 气体空穴率监测系统。

在该说明书中, 由空穴率传感器测量或以其他方式予以确定的流动流体中的气体量称为空穴率 α , 并定义为 $\alpha = \text{气体体积} / \text{总体积} = \text{气体体积} / (\text{液体体积} + \text{气体体积})$ 。因此, 在此称为液体率的量定义为 $1 - \alpha$ 。

在许多要求质量流率测量结果的应用中, 液流中的空穴率可高达 20、30、40% 或更多。不过, 甚至在 0.5% 的极小空穴率下, 哥氏流量计的基础理论就会变得不大可用了。

而且, 液流中存在的气体还可以影响到液流密度的测量, 通常会导致密度测量结果读数较低。即, 应当理解, 由于在二相流中气体 (例如, 空气) 的密度通常会低于液体 (例如, 水) 的密度, 所以本身流经流管的液体的密度 $\rho_{\text{液}}$ 将高于包含该液体和某一气体的二相流的实际密度 $\rho_{\text{真实}}$ 。换句话说, 当气体被添加入原先只包含液体的液流时, 会出现密度降低。

在该物理现象之外, 测量包含气体的二相液流的哥氏流量计可输出密度读数 $\rho_{\text{视得}}$, 亦即二相流 (例如由水和空气组合而成) 整体密度的表观测量结果。该原始测量结果 $\rho_{\text{视得}}$ 一般不同 (低) 于二相流的实际整体密度 $\rho_{\text{真实}}$ 。例如, 由于气体在液流中的相对运动所致, 流量计所采用的共振频率可能会虚高而导致密度测量结果读数较低。应当理解, 由于大多数这种哥氏流量计在甚至最微小数量的空穴率下都无法持续运行 (例如失流或输出不精确的测量结果), 所以许多常规的现有技术中的流量计都不曾处理该问题。

美国专利 No. 6,505,519, 以上纳入作为参考, 公开了 $\rho_{\text{视得}}$ (即, 由哥氏流量计输出的二相流的标示原始或整体密度读数) 与 $\rho_{\text{真实}}$ (即, 二相流的实际原始或整体密度) 的不同可由多种方法予以表征。结果, 测得的 $\rho_{\text{视得}}$ 可予以校正以获得实际的整体密度 $\rho_{\text{校正}}$, 该校正的密度至少大致上等于 $\rho_{\text{真实}}$ 。

稍有类似地, 由哥氏流量计测量所得的标示原始或整体质量流率 $MF_{\text{视得}}$ (即, 全部二相流的质量流率) 可与实际的整体质量流率 $MF_{\text{真实}}$ 相差一个可预测的或可表征的量。应当理解, 用于已校正的整体质量流率 $MF_{\text{真实}}$ 的校正方法可不同于用于密度的校正方法。例如, 用于校正测量的 $MF_{\text{视得}}$ 以获得实际 $MF_{\text{真实}}$ (或者, 至少, $MF_{\text{校正}}$) 的多种方法记载于美国专利 No. 6,505,519 中。

下面将更加详细地说明用于校正 $\rho_{\text{视得}}$ 和 $MF_{\text{视得}}$ 的各种详细方法的实例。

虽然一般说来,就图 2 而言,数字传送器示出为包含密度校正系统 240,该系统可连接于密度校正数据库 245,以及质量流率校正系统 250,该系统可连接于质量流率校正数据库 255。一如下面较为详细地所述,数据库 245 和 255 可包含例如已经在理论上导出的或在经验上获得的各种校正算法,以及/或者针对给定一组输入参数提供了已校正的密度或质量流量数值的各种校正表格。数据库 245 和 255 还可储存多种其他类型的可用于实现密度或质量流量校正中的信息。例如,密度校正数据库可以储存许多对应于特定液体(例如水或石油)的密度 $\rho_{\text{液体}}$ 。

其次,在图 2 中,空穴率确定/校正系统 260 可用于确定包含某一液体和某一气体的二相流的空穴率。在一项实施方案,例如,空穴率确定/校正系统 260 可从已校正的密度 $\rho_{\text{真实}}$ 中确定实际空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ 。在另一项实施方案中,空穴率确定/校正系统 260 可以输入由空穴率传感器 235 获得的标示或视得空穴率测量结果,并可根据类似于上面提及的密度和质量流量方法的一种误差特征来校正这一测量结果。在另一项实施方案中,空穴率传感器 235 可用于直接测量实际空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$,在此情况下,空穴率确定/校正系统 260 完全可输入该测量结果。

一旦因子 $\rho_{\text{真实}}$, $MF_{\text{真实}}$ 和 $\alpha_{\text{真实}}$ 已经确定,并且或许结合于其他已知或未知量,那么液流组分质量流率确定系统 265 用于同时确定液相组分的质量流率和气相组分的质量流率。也就是,传送器 104 可用于确定液流组分的各自流率 $MF_{\text{液体}}$ 和 $MF_{\text{气体}}$,这与只是确定组合或总的二相流的整体流率 $MF_{\text{真实}}$ 的情况相反。虽然,正如刚及提及的那样,这种测量结果可同时予以确定和/或输出,但它们也可以单独地或彼此独立地予以确定。

一旦组分流率 $MF_{\text{液体}}$ 和 $MF_{\text{真实}}$ 已经以上面概述的方式确定,那么这些初步确定结果就可以借助一种根据液流组分的表面速度 (superficial velocity)、组分之间的滑移速度以及/或者液流的经过识别流动状态的过程来予以改进。这样,可获得经过改进的流率 $MF_{\text{液体}}$ 和 $MF_{\text{气体}}$ 的数值,或者可随着这些流率的改变而随时获得。

表面速度在此指的是假如作为单一相的某一给定相以同样质量流率流经流管 215 时将会出现的那种速度。表面速度确定/校正系统 270 包含在传送器 104 内,例如用于确定二相流中某一气体或液体的视得或已校正的表面速度。

滑移速度指的是一种状态,在该状态下二相流中的气液二相具有不同的平均速度。也就是,某一气体的平均速度 $AV_{\text{气体}}$ 不同于液体的平均速度 $AV_{\text{液体}}$ 。如此,相位滑移 S (phase slip) 可以定义为 $S=AV_{\text{气体}}/AV_{\text{液体}}$ 。

流动状态 (flow regime) 一词指的是其中两相彼此相对和/或相对于流管 215 流经流管 215 的方式的特征,并可以至少部分地使用适才确定的表面速度予以表述。例如,一种流动状态已知为“气泡状态”,其中气体作为气泡被夹带在某一液体之内。作为另一实例,“塞芯状态”指的是一系列由较大的气囊隔开的许多液“塞”或液“芯”。例如,在垂直接流动中,塞芯流动状态中的气体可占据几乎流管 215 的整个横截面积,以致最终的流动交替在高液体与高气体组成之间变化。已知存在其他一些流动状态并具有某些确定的特征,包括例如环形流动状态,弥散流动状态和泡沫流动状态,以及其他状态。

所存在的某一特定流动状态已知会受多种因素的影响,包括例如液流中的气体空穴率,流管 215 的取向(例如垂直或水平的)、流管 215 的直径、包含在二相流之内的物质,以及二相流中物质的速度(和相对速度)。根据这些和其他因素,某一特定液流可在给定时段内转换于若干流动状态之间。

关于相位滑移的信息可以至少部分地从流动状态资料中确定出来。例如,在气泡流动状态中,假定气泡是均匀分布的,那么在各相之间可能有较小的相对运动。在气泡聚集以及组合起来而形成气相的不太均匀的分布的地方,在各相之间可能会出现某种滑移,此时气体趋向于贯穿液相。

在图 2 中,流动状态确定系统 275 被包含在内,该系统可连接于具有流动状态图像的数据库 280。这样,关于现有流动状态的信息,包括相位滑移信息在内,可以获得、存储和读写以用于同时确定二相流中液体和气体各自的质量流率。

在图 2 中,应当理解,数字传送器 104 的各种部件是彼此联系的,尽管为了清晰起见,各种联系线路并未明显画出。而且,应当理解,数字传送器 104 的常规部件没有示出于图 2 中,但被认为是存在于数字传送器 104 内或可在其中读写。例如,数字传送器 104 一般包括(整体)密度和质量流率的测量系统,以及用于激励所述激励器 210 的激励电路系统。

图 3 是示出了图 2 中哥氏流量计 200 运作的流程图 300。具体地说,图 3 示出了图 2 中的流量计 200 同时确定二相流的液体和气体流率 $MF_{\text{液体}}$ 和

MF_{气体}所使用的方法。

在图 3 中,可确定某一气/液二相流存在于流管 215 中(302)。这一点可以例如通过操作人员在用于气/液流的质量流量计/密度计的配置期间完成。作为另一实例,这种确认可以通过利用哥氏流量计的一种特性来检测出存在二相气-液流的条件而自动地完成。在后一情况下,这种技术比较详细地记载于例如美国专利 NO. 6,311,136 和美国专利 NO. 6,505,519 中,所述专利在此纳入以作为参考。

一旦确定了二相流的存在,那么就可利用传送器 104 的密度校正数据库 245 通过密度校正系统 240 确定经过校正的整体密度 $\rho_{\text{真实}}$ (304)。也就是,标示的密度 $\rho_{\text{视得}}$ 经过校正以获得 $\rho_{\text{真实}}$ 。进行这种校正的方法下文将较为详细地予以说明。

一旦确定了 $\rho_{\text{真实}}$,那么就可通过空穴率确定/校正系统 260 确定经过校正的气体空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ (306)。另外,由质量流率校正系统 250 确定经过校正的整体质量流率 MF_{真实} (308)。关于密度,用于获得经校正的空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ 和质量流率 MF_{真实} 的各种方法将在下文较为详细地予以说明。

在图 3 中,从流程图 300 中应当理解, $\rho_{\text{真实}}$, $\alpha_{\text{真实}}$ 和 MF_{真实} 的确定可以按许多顺序进行。例如,在一种实施方案中,经过校正的空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ 是基于先前计算出的校正密度 $\rho_{\text{真实}}$ 而确定的,而后,校正质量流率 MF_{真实} 根据 $\alpha_{\text{真实}}$ 予以确定。在另一实施方案中, $\alpha_{\text{真实}}$ 和 $\rho_{\text{真实}}$ 可以彼此独立地予以计算,以及/或者 $\rho_{\text{真实}}$ 和 MF_{真实} 可以彼此独立地予以计算。

一旦校正密度 $\rho_{\text{真实}}$ 、校正空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ 和校正质量流率 MR_{真实} 已知,那么气体和液体组分的各自质量流率就可以由液流组分质量流率确定系统 265 予以确定 (310)。用于确定液体/气体组分流率的各种方法将在下文参照图 4 较为详细地予以说明。

一旦确定出来,液体/气体组分各自流率可输出或显示 (312) 以供流量计操作人员之用。这样,操作人员可能会同时得到关于二相流液体的质量流率 MF_{液体} 和气体质量流率 MF_{气体} 二者的信息。

在某些情况下,这种确定可能是很充分的 (314),此时,液体/气体组分流率的输出完成了过程流量。不过,在其他一些实施方案中,各个组分质量流率的确定可通过考虑下述因素而进行改善,例如气体/液体两组分的各自表面速度、液流的(各)流动状态,以及各组分之间的相位滑移(如果存在的

话)。

具体地说, 气体和液体各自的表面速度 $SV_{\text{气体}}$ 和 $SV_{\text{液体}}$ 确定如下。气体表面速度 $SV_{\text{气体}}$ 确定为:

$$SV_{\text{气体}} = MF_{\text{气体}} / (\rho_{\text{气体}} * A_T) \quad \text{方程 1}$$

其中量 A_T 表示流管 215 的横截面积, 该横截面可在液流空穴率进行测量的一点处取得。同样, 液体表面速度 $SV_{\text{液体}}$ 确定为:

$$SV_{\text{液体}} = MF_{\text{液体}} / (\rho_{\text{液体}} * A_T) \quad \text{方程 2}$$

如图 1 和 2 中所示, 在上文中各表面速度的确定是根据早先确定的 $MF_{\text{气体}}$ 和 $MF_{\text{液体}}$ 。从以上说明以及图 3 中应当理解, 由于这些因子是根据 $\rho_{\text{真实}}$ 、 $\alpha_{\text{真实}}$ 和 $MF_{\text{真实}}$ 计算出来的, 所以 $MF_{\text{气体}}$ 和 $MF_{\text{液体}}$ 表示经过校正的或真实的质量流率 $MF_{\text{真实气体}}$ 和 $MF_{\text{真实液体}}$ 。结果, 表面速度 $SV_{\text{气体}}$ 和 $SV_{\text{液体}}$ 表示经过校正的数值 $SV_{\text{真实气体}}$ 和 $SV_{\text{真实液体}}$ 。其次, 如上所述, 密度数值 $\rho_{\text{气体}}$ 和 $\rho_{\text{液体}}$ 指的是有待讨论的液体和气体的已知密度, 该密度可储存在密度校正数据库 245 中。如下关于计算经过校正的密度 $\rho_{\text{真实}}$ 的各种方法所述, 密度数值 $\rho_{\text{气体}}$ 和 $\rho_{\text{液体}}$ 可以称为是现有温度或压力的函数, 由温度传感器 220 和压力传感器 225 予以检测。

利用各表面速度和其他已知或计算出来的因子(其中一些可储存于流动状态图表数据库 280 中), 相关的流动状态和/或相位滑移可由流动状态确定/校正系统 275 予以确定(318)。一旦表面速度、流动状态和相位滑移已知, 则可对校正整体密度 $\rho_{\text{真实}}$ 、校正质量流率 $MF_{\text{真实}}$, 以及/或者校正空穴率 $\rho_{\text{真实}}$ 进行进一步的校正。这样, 如图 3 所示, 可以确定组分流率 $MF_{\text{气体}}$ 和 $MF_{\text{液体}}$ 。

二相液/气流中的(各)流动状态可以用一绘制有液体表面速度与气体表面速度之间关系的曲线上的等高线予以描述。如刚才所述, $\rho_{\text{真实}}$ 、 $\alpha_{\text{真实}}$ 和/或 $MF_{\text{真实}}$ 的确定可以以如下方式进行改进, 即首先确定液体和气体各自流率的近似值, 然后为识别出的流动状态建立较为详细的模型。例如, 在相对较低 GVP 和相对较高流量处存在一种流动状态, 在该状态下, 充气流体如同一种在密度和质量流率两方面都带有极少或根本没有误差的均质流体。作为不需要任何校正的均质流动, 其可完全利用激励增益的观测结果而检测出来, 这表明在这样一种设置中, 尽管在观测到的密度方面有显著的下降, 但极少或根本没有增长。

图 4 是示出了用于确定二相流的液体和气体流率 $MF_{\text{液体}}$ 和 $MF_{\text{气体}}$ 的各种方法的流程图 400。也就是，流程图 400 通常表示用于确定液体和气体流率的各种方法的一项实例（310），如以上参照图 3 所述。

在图 4 中，液体和气体流率的确定（310）始自输入校正密度、空穴率以及质量流率因子 $\rho_{\text{真实}}$ 、 $\alpha_{\text{真实}}$ 和 $MF_{\text{真实}}$ （402）。在第一情况（404）下，液体和气体流率是利用方程 3 和 4 确定的（406）：

$$MF_{\text{气体}} = \alpha_{\text{真实}} (\rho_{\text{气体}} / \rho_{\text{真实}}) (MF_{\text{真实}}) \quad \text{方程 3}$$

$$MF_{\text{液体}} = (1 - \alpha_{\text{真实}}) (\rho_{\text{液体}} / \rho_{\text{真实}}) (MF_{\text{真实}}) \quad \text{方程 4}$$

图 3 和图 4 假定在液体与气体两相之间没有滑移速度（即，气相的平均速度 $AV_{\text{气体}}$ 和液相的平均速度 $AV_{\text{液体}}$ 是相等的）。这一假定与以下事实一致，即在第一情况下，表面速度和流动状态（并因此，相位滑移）并未已被确定。

在第二情况下及后文中（404），可能由流动状态确定/校正系统 275 确定关于相位滑移是否存在（408）。如果不存在，那么再次使用方程 3 和 4（406）或者过程结束。

如果上文定义为 $S = AV_{\text{气体}} / AV_{\text{液体}}$ 的相位滑移的确存在（408），那么 $MF_{\text{气体}}$ 和 $MF_{\text{液体}}$ 两项可利用同样在方程 1 和 2 中用于计算各表面速度的流管横截面积 A_T 予以计算（410）。利用刚才给定的滑移 S 的定义。

$$MF_{\text{气体}} = \rho_{\text{气体}} (\alpha_{\text{真实}} A_T) (AV_{\text{气体}}) = \rho_{\text{气体}} (\alpha_{\text{真实}} A_T) (S) (AV_{\text{液体}}) \quad \text{方程 5}$$

$$MF_{\text{液体}} = \rho_{\text{液体}} ((1 - \alpha_{\text{真实}}) A_T) (AV_{\text{液体}}) \quad \text{方程 6}$$

由于 $MF_{\text{真实}} = MF_{\text{气体}} + MF_{\text{液体}}$ ，方程 5 和 6 可以求解 $AV_{\text{液体}}$ 以获得方程 7：

$$AV_{\text{液体}} = MF_{\text{真实}} / (A_T (\rho_{\text{气体}} \alpha_{\text{真实}} S + \rho_{\text{液体}} (1 - \alpha_{\text{真实}}))) \quad \text{方程 7}$$

结果，液体和气体流率利用方程 8 和 9 予以确定（406）：

$$MF_{\text{液体}} = [\rho_{\text{液体}} (1 - \alpha_{\text{真实}}) / (\rho_{\text{气体}} \alpha_{\text{真实}} S + \rho_{\text{液体}} (1 - \alpha_{\text{真实}}))] [MF_{\text{真实}}] \quad \text{方程 8}$$

$$MF_{\text{气体}} = MF_{\text{真实}} - MF_{\text{液体}} \quad \text{方程 9}$$

如上所述，夹带在液体中的气体形成二相流。使用哥氏流量计对这一二相流进行的测量可得出标示参数 $\rho_{\text{视得}}$ 、 $\alpha_{\text{视得}}$ 和 $MF_{\text{视得}}$ 分别用于二相流的密度，空穴率和质量流速。由于二相流的本质与哥氏流量计操作的关系所致，这些标示数值是不正确的而相差一可预料的因数。结果，标示参数可经校正以获得实际的参数 $\rho_{\text{真实}}$ 、 $\alpha_{\text{真实}}$ 和 $MF_{\text{真实}}$ 。反过来，实际的、经过校正的数值可用于同时确定两个（气体和液体）组分的各自流率。

图 5A 和 5B 是分别示出空穴率和液体率测量中的百分误差的曲线。在图 5A 中，百分误差是取决于多种设计和操作参数的密度百分误差，并且一般指的是视得（标示）密度与真实综合密度的偏差，该偏差以液体中气体的百分数（%）的形式给出。

在图 5B 中，示出了真实液体率与标示液体率之间的关系。图 5B 表示对于相关的流量计设计来说若干管线尺寸和流率的结果。更为广泛地说，函数关系可能更为复杂并取决于管线尺寸和流率两个因素。在图 5B 中，示出了一简单的多项式拟合，用于校正视得液体率。

可以采用其他的绘制方法：例如，真实空穴率可相对于标示空穴率标绘制出来。例如，图 6 是表示对于具有特定取向和遍及选定的流动范围的一种流管来说的作为密度下降函数的质量流率误差。

图 7 是示出了用于校正密度测量结果的各种方法的流程图 700（图 3 中 304）。在图 7 中，过程开始于输入所采用的流管 215 的类型（702），可包括例如，流管 215 是弯的还是直的，以及其他一些相关的事实，诸如流管 215 的尺寸和取向。

接下来，对不含气体的液体密度 $\rho_{\text{液体}}$ 进行确定（704）。该量可以用于以下（各）计算中，同时用于确保可能会影响密度测量结果 $\rho_{\text{视得}}$ 的其他因素，诸如温度，不会被误解为空穴率效应。在一项实施方案中，用户可以连同密度的温度依赖度一起直接输入液体密度 $\rho_{\text{液体}}$ 。在另一实施方案中，已知的一些流体（以及它们的温度依赖度）可储存在密度校正数据库 245 中，在该库中用户可以按名称查询流体。在又一实施方案中，流量计 200 可以确定单一相时期的液体密度、液体流量，并储存此值以供未来之用。

从哥氏流量计可读出标示质量流率 $MF_{\text{视得}}$ （706），然后从哥氏流量计读出标示密度 $\rho_{\text{视得}}$ （708）。接下来，密度校正系统 240 应用理论算法（710）或者实践表格校正法（712）来确定气/液混合物的真实密度 $\rho_{\text{真实}}$ 。数值 $\rho_{\text{真实}}$ 然后可以作为校正密度予以输出（714）。

算法密度校正（710）可根据以下的认识予以确定，即当哥氏流量计被用以测量密度时，假如二相流没有受到流量计正常运作的影响，那么标示密度会下降一个值，该值可由描述空穴率的方程推导出，这一校正在上文使用体积流量予以表述而在此按照方程 10 的密度重复表示：

$$\alpha (\%) = [(\rho_{\text{视得}} - \rho_{\text{液体}}) / (\rho_{\text{气体}} - \rho_{\text{液体}})] \times 100 \quad \text{方程 10}$$

这一方程可用于定义值“密度下降值”或者 $\Delta \rho$ ，如方程 11 所示：

$$\Delta \rho = (\rho_{\text{视得}} - \rho_{\text{液体}}) = \alpha (\%) \times (\rho_{\text{气体}} - \rho_{\text{液体}}) / 100 \quad \text{方程 11}$$

注意，方程 11 表明数值 $\Delta \rho$ 是正的；不过，该数值可简单地通过将方程的右侧乘以-1 而表示为负的下降值，从而得到方程 12：

$$\Delta \rho = (\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{视得}}) = \alpha (\%) \times (\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{气体}}) / 100 \quad \text{方程 12}$$

数值 $\rho_{\text{气体}}$ 可以小于 $\rho_{\text{液体}}$ ，此时方程 12 可以简化为方程 13：

$$\Delta \rho = (\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{视得}}) = \alpha (\%) \times \rho_{\text{液体}} / 100 \quad \text{方程 13}$$

如上广泛所述，用哥氏流量计或任一振动密度计作出的密度测量结果，一般被计器低估而需要校正。因此，在二相流情况下，方程 12 或 13 因而可以用于确定以下两个数值：经过改正的或真实的密度下降值 $\Delta \rho_{\text{真实}}$ 和标示或视得密度下降值 $\Delta \rho_{\text{视得}}$ 。利用方程 13 作为一项实例，可得到方程 14 和 15：

$$\Delta \rho_{\text{真实}} = (\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{真实}}) = \alpha (\%) \times \rho_{\text{液体}} / 100 \quad \text{方程 14}$$

$$\Delta \rho_{\text{视得}} = (\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{视得}}) = \alpha (\%) \times \rho_{\text{液体}} / 100 \quad \text{方程 15}$$

可以导出或凭经验确定 $\Delta \rho_{\text{真实}}$ 与 $\Delta \rho_{\text{视得}}$ 和视得质量流率 $MF_{\text{视得}}$ 以及其他一些参数 - 诸如激励增益、传感器补偿、温度、相位状态，等等 - 之间的关系。这种关系可以表述为 $\Delta \rho_{\text{真实}} = f(MF_{\text{视得}}, \text{激励增益}, \text{传感地补偿}, \text{温度}, \text{相位状态和/或其他一些因素})$ 。

结果，对于每种设置的每种流管，通常都可导出或至少可证实该关系。对于一个模型流管，在此已知为并称作 Foxboro/Invensys CFS10 模型流管，已从经验上确定，在一些条件下，上述函数关系可以简化为只是函数 $\Delta \rho_{\text{视得}}$ 并具有示于方程 16 之中的形式：

$$\Delta \rho_{\text{真实}} = \sum_{i=0}^M \alpha_i (\Delta \rho_{\text{视得}})^i \quad \text{方程 16}$$

为了在没有视得密度时强使方程 16 两侧的条件为零，下降值关系式得到方程 17：

$$\Delta \rho_{\text{真实}} = \sum_{i=1}^M \alpha_i (\Delta \rho_{\text{视得}})^i \quad \text{方程 17}$$

M 一般取决于经验关系式的复杂度，但在许多情况下可以小至 2（平方）或 3（立方）。

一旦确定出真实的密度下降值，那么返回去通过上述方程就可直接导出真实的混合物密度 $\rho_{\text{真实}}$ ，以及真实的液体和气体（空穴）率（后者将参照图 9 较为详细地予以讨论）。

例如当函数关系式过于复杂或不便施用的时候,可采用表格式密度校正(712)。在这些情况下,已知的数值 $\Delta \rho_{\text{视得}}$ 和 $\Delta MF_{\text{视得}}$ 可以用以通过采用具有图8表800形式的表格确定 $\rho_{\text{真实}}$ 。

表格800可以是例如表格式查询表,可以例如储存在数据库245中,或者另一存储器中,以便表格用于多种应用场合。另外,该表格在初始化过程中可进行填充,从而储存在数据库245中以便表格的单独应用。

应当理解,算法和表格形式中的一个或二者全部可以扩展以包含多个方面,诸如比方增益、温度、补偿或流动状态。算法或表格式校正也可经扩展以包含其他一些表面拟合方法,诸如中性网络、合理的基础函数,小波分析,或者主成分分析。

结果,应当理解,这些扩展可在图3的范围内并在其中所述的处理期间予以实现。例如,在第一情况期间,密度可如上所述进行确定。然后,在第二情况期间,在已识别出流动状态之后,密度可利用流动状态信息予以进一步校正。

图9是示出了用于确定空穴率测量结果的各种方法的流程图900(图3中306)。在图9中,过程开始于由空穴率确定系统240输入先前确定的液体和整体(已校正的)密度 $\rho_{\text{液体}}$ 和 $\rho_{\text{真实}}$ (902)。

然后气体密度 $\rho_{\text{气体}}$ 可被确定(904)。与液体密度 $\rho_{\text{液体}}$ 相同,存在若干确定 $\rho_{\text{气体}}$ 的方法。例如, $\rho_{\text{气体}}$ 可完全假定为一般处于已知压力下的空气密度,或者可以是有待讨论的特定气体的实际已知密度。作为另一实例,该已知密度 $\rho_{\text{气体}}$ 可以是在由压力传感器225检测出来的实际或计算压力下和/或由温度传感器220检测出来的实际或计算温度下的以上各因素之一(即,已知的空气或特定气体的密度)。温度和压力可利用外部设备予以监测,如图2所示,包括温度传感器220和/或压力传感器225。

其次,可得知气体具有的在包括压力、温度或压缩度各因素方面的一些具体特征。这些特征可以连同气体的标识信息一起输入并用于确定当前气体密度 $\rho_{\text{气体}}$ 。与(各)液体相同,多种气体可以储存在存储器中,也可连同刚才所述的各特征一起,从而使用户可以简单地通过按名称从表列中选定气体而存取特定气体的密度特征。

一旦因素 $\rho_{\text{液体}}$ 、 $\rho_{\text{气体}}$ 和 $\rho_{\text{真实}}$ 已知,那么从图10应当清楚,可容易地确定空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ (906)。然后,如果需要,那么可仅通过计算 $1-\alpha_{\text{真实}}$ 来确定液

体率 (908)。

虽然上述说明提供了根据密度确定空穴率 $\alpha_{\text{真实}}$ 的各种方法, 但应当理解, 空穴率也可用其他方法予以确定。例如, 标示空穴率 $\alpha_{\text{视得}}$ 可以直接由哥氏流量计予以确定, 或者结合其他空穴率确定系统 (由图 2 的空穴率传感器 235 表示), 然后根据经验的或导出的方程予以校正以获得 $\alpha_{\text{真实}}$ 。在其他一些实施方案中, 这种外部空穴率确定系统可用于提供 $\alpha_{\text{真实}}$ 的直接测量结果。

图 10 是表示用于确定校正流率测量结果的方法的流程图 1000 (图 3 中 308)。在图 10 中, 质量流率校正系统 250 首先输入先前计算出来的校正密度下降值 $\Delta \rho_{\text{真实}}$ (1002), 然后输入测量出来的视得质量流率 $MF_{\text{视得}}$ (1004)。

质量流率校正系统 250 应用表格式 (1006) 或者算法式校正 (1008) 以确定气体/液体混合物的真实质量流率 $MF_{\text{真实}}$ 。数值 $MF_{\text{真实}}$ 然后可以作为校正质量流率予以输出 (1010)。

在应用质量流率的表格式校正时 (1006), 已知的数值 $\Delta \rho_{\text{真实}}$ 和 $\Delta MF_{\text{视得}}$ 可用于通过采用具有图 11 中表格 1100 形式的表格来确定 $MF_{\text{真实}}$ 。

表格 1100, 如表 900 所述, 可以例如是表格式查询表, 可储存在例如数据库 245 中, 或另一存储器中, 以便将其用于多种应用场合。此外, 该表格可在初始化过程期间填充, 用于储存在数据库 245 内以使表格进行单独应用。

标准化的数据 $MF_{\text{标准_视得}}$ 和 $MF_{\text{标准_真实}}$ 可用于代替以上所述的实际数值, 以便包括一个规格以上的哥氏流管。另外, 各项数值可进行校正, 其中校正由方程 18 确定:

$$\Delta MF = MF_{\text{真实}} - MF_{\text{视得}} \quad \text{方程 18}$$

方程 18 中的值应理解为表示实际的或是标准化的数值。

在一种算法式方法中, 与密度相同, 质量流率的校正可借助于理论的或经验的函数关系, 一般理解为具有 $\Delta MF = f(MF_{\text{视得}}, \text{空穴率}, \text{激励增益}, \text{传感器补偿}, \text{温度}, \text{相位状态和/或其他因素})$ 的形式, 予以实现。

对于一些情况, 该函数可简化为多项式, 诸如示出于方程 19 中的多项式:

$$\Delta MF = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N a_i b_j (\Delta \rho^i_{\text{真实}}) (MF^j_{\text{标准_视得}}) \quad \text{方程 19}$$

对于一组条件, 函数关系式可以是多项式和指数式的组合, 如方程 20 所示:

$$\Delta MF = a_1 d e^{(a_2 d^2 + a_3 d + a_4 m^2 + a_5 m)} + a_6 d^2 + a_7 d + a_8 m^2 + a_9 m \quad \text{方程 20}$$

在方程 20 中, $d = \Delta \rho_{\text{真实}}$, $m = f(MF_{\text{视得}})$

在一项实施方案中, 方程 20 中的 m 可使用视得表面液体速度 $SV_{\text{液体}}$ 代替, 后者如上所述由方程 2 给出为 $SV_{\text{液体}} = MF_{\text{液体}} / (\rho_{\text{液体}} * A_T)$ 。在这种情况下, $\rho_{\text{液体}}$ 和流管横截面积 A_T 是已知的或输入的参数, 并可采用例如数字控制器/传送器 104 的单板式温度测量装置 220 以实时方式对温度予以校正。

应当理解, 与上述密度校正相同, 算法式和表格式两种形式中的一种或者全部经扩展可包括多个方面, 诸如增益、温度、补偿或流动状态。算法式或表格式校正还可经扩展以包括其他一些表面拟合方法, 诸如中性网络、合理的基础函数、小波分析或主成分分析。

结果, 应当理解, 这些扩展可在图 3 的范围内并在其中所述的处理期间予以实现。例如, 在第一情况期间, 质量流率可如上所述进行确定。然后, 在第二情况期间, 在已识别出流动状态之后, 质量流率可利用流动状态信息予以进一步校正。

所有以上关于质量流率的函数关系式可以, 如图 11 表格 1100 中所反映的那样, 采用气体率 (α) 或液体率 ($100 - \alpha$) 来代替密度下降值从而进行重新表述。另外, 虽然上述各种方法取决于已知校正密度下降值 $\Delta \rho_{\text{真实}}$, 但应当理解, 其他一些方法也可用于校正标示的质量流率。例如, 用于校正二相流的质量流率测量的多种方法记载于美国专利 6,505,519 中, 后者在上文被纳入以作为参考。

以上在一般意义上说明了密度、空穴率和质量流率的校正, 为了实现例如同时地计算出在二相流中各个液流组分 (相位) 的目的, 下述说明和相应附图提供了实施这些方法的具体实例。

图 12-14 是表示许多流管的密度校正实例的曲线图线。特别是, 这些实例基于从三种垂直水流管获得的数据, 各流管是直径 1/2"、3/4" 和 1"。

更为具体地说, 1/2" 的数据取自 0.15kg/s 流率和 0.30kg/s 流率的情况; 3/4" 数据取自 0.50kg/s 流率和 1.00kg/s 流率的情况; 1" 数据取自 0.50kg/s 流率、0.90kg/s 流率和 1.20kg/s 流率的情况。图 12 表明液-气混合物 (二相流) 视得密度的误差 e_d 与液-气混合物密度的真实下降值 $\Delta \rho_{\text{真实}}$ 之间的关系:

$$\Delta \rho_{\text{真实}} = 100 \cdot \frac{\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{真实}}}{\rho_{\text{液体}}} \quad \text{方程 21}$$

$$e_d = 100 \cdot \frac{\rho_{\text{视得}} - \rho_{\text{真实}}}{\rho_{\text{真实}}} \quad \text{方程 22}$$

其中,如上所述, $\rho_{\text{液体}}$ 是不含气体的液体密度, $\rho_{\text{真实}}$ 是液-气混合物的真实密度, $\rho_{\text{视得}}$ 是液-气混合物的视得或标示密度。

在图 12 中,校正按照混合物密度中的视得下降值 $\Delta\rho_{\text{视得}}$ 予以进行的,如方程 23 所示

$$\Delta\rho_{\text{视得}} = 100 \cdot \frac{\rho_{\text{液体}} - \rho_{\text{视得}}}{\rho_{\text{视得}}} \quad \text{方程 23}$$

在图 12 中,当拟合数据时,混合物密度的视得和真实下降值都曾被除以 100 而标准化为 0 与 1 之间的数值,其中该标准化目的是要确保优化算法的数值稳定性。换句话说,混合物密度的经过标准化的视得和真实下降值是定义为液体密度 $\rho_{\text{液体}}$ 的比值而不是其百分数的混合物密度中的视得和真实密度,如方程 24 所示:

$$\Delta\rho_{\text{标准化的视得}} = \frac{\Delta\rho_{\text{视得}}}{100} \quad \text{方程 24}$$

基于方程 17 的模型公式给出方程 25:

$$\Delta\rho_{\text{标准化的真实}} = a_1 (\Delta\rho_{\text{标准化的视得}})^3 + a_2 (\Delta\rho_{\text{标准化的视得}})^2 + a_3 (\Delta\rho_{\text{标准化的视得}})$$

方程 25

在这种情况下,系数为 $a_1 = -0.51097664273685$, $a_2 = 1.26939674868129$, 以及 $a_3 = 0.24072693119420$ 。图 13A 和 13B 表示带有实验数据和剩余误差的模型。图 14A 和 14B 提供同样的信息,但每一流率都是单独绘制出来的。

综上所述,密度下降值的校正是利用视得密度值 $\rho_{\text{视得}}$ 和液体密度 $\rho_{\text{液体}}$, 通过计算视得密度下降值 $\Delta\rho_{\text{视得}}$ 在传送器 104 中予以实现的。视得密度下降值的数值经过标准化以获得 $\Delta\rho_{\text{标准化的视得}} = \Delta\rho_{\text{视得}}/100$, 从而如上所述,密度下降值计算为比值而不是百分数。(各)密度校正模型然后可用于获得标准化的经过校正的混合物密度下降值 $\Delta\rho_{\text{标准化的真实}}$ 。最后,该数值未经标准化以获得校正的密度下降值 $\Delta\rho_{\text{真实}} = 100 \cdot \Delta\rho_{\text{标准化的真实}}$ 。当然,如果经过校正的混合物密度下降值 $\Delta\rho_{\text{真实}}$ 定义为真实数值的比值而不是百分数,那么最后的计算就不需要了。

图 15-20 是表示许多流管的质量流率校正的实例的曲线图。特别是,这些实例是以从三种垂直水流管获得的数据为基础的,这些流管的直径为: 1/2"、3/4" 和 1"。更为具体地说, 1/2" 数据取自 0.15kg/s 流率和 0.30kg/s 流率的情况; 3/4" 数据取自 0.50kg/s 流率和 1.00kg/s 流率的情况; 1" 数据取自

0.30kg/s 与 3.0kg/s 之间 18 种流率的情况，最大的密度下降值大约为 30 %。

图 15A 和 15B 示出了用于拟合模型的数据相对于校正混合物密度下降值 $\Delta\rho_{\text{真实}}$ 和标准化真实表面流体速度的视得质量流率误差；即，每条流送管的视得质量流率误差曲线，以及该视得质量流率误差相对于校正密度下降值 $\Delta\rho_{\text{真实}}$ 和标准化真实表面流体速度 V_{tn} 的散点图，如方程 26 所示：

$$v_{\text{tn}} = \frac{v_t}{v_{\text{max}}}, v_t = \frac{m_t}{\rho_{\text{液体}} \cdot A_T} \quad \text{方程 26}$$

其中 m_t 是真实的流体质量流率，即单独测量的质量流率值， $\rho_{\text{液体}}$ 是液体密度， A_T 是流管横截面积，以及 v_{max} 是表面流体速度的最大值（在此认为是 12），从而使 V_{tn} 给出了来自流管 215 的整个范围的真实表面流体速度的比值。在这些实例中，混合物密度下降值和表面流体速度在拟合该模型之前在 0 与 1 之间被标准化，从而确保模型优先算法的数值稳定性。

图 16 表示视得质量流率误差与校正混合物密度下降值和标准化视得表面流体速度的关系，并带有校正模型的安全边界。也就是，图 16 给出了视得质量流率误差相对于校正密度下降值和标准化表面液体速度的散点图，而此时标准化表面液体速度 $v_n = \frac{v}{v_{\text{max}}} = \frac{m}{v_{\text{max}} \cdot \rho \cdot A}$ ，其中 m 是视得流体质量流率（即，如传送器 104 所测量）。重叠于曲线图上的是限定模型的安全区域——即，该模型的精度与拟合数据精度类似的区域——的多个边界。采用这种符号，视得质量流率误差 e 由 $e = 100 \cdot \frac{m - m_t}{m_t}$ 给出。

这种情况下的模型公式如方程 27 所示：

$$e_n = a_1 dd_{cn} \cdot e^{a_2 dd_{cn}^2 + a_3 dd_{cn} + a_4 v_n^2 + a_5 v_n} + a_6 dd_{cn}^2 + a_7 dd_{cn} + a_8 v_n^2 + a_9 v_n \quad \text{方程 27}$$

其中

$$e = \frac{e}{100} = \frac{m - m_t}{m_t} \quad \text{方程 28}$$

其中，在方程 27 和 28 中， dd_{cn} 是标准化的校正的混合物密度下降值，而 V_n 是液体的标准化的视得表面速度。

在这种情况下，系数是： $a_1 = -4.78998578570465$ ， $a_2 = 4.20395000016874$ ， $a_3 = -5.93683498873342$ ， $a_4 = 12.03484566235777$ ， $a_5 = -7.70049487145105$ ， $a_6 = 0.69537907794202$ ， $a_7 = -0.52153213037389$ ， $a_8 = 0.36423791515369$ ，以及 $a_9 = -0.16674339233364$ 。

图 17 表示模型残余量的散点图，并带有模型公式和系数；即表明模型残留量与校正混合物密度下降值和标准化真实流体速度之间的关系。图 18A

- 18D 和图 19A - 19D 分别给出用于拟合模型的整个数据集的模型残差量误差和单独的实际数据。最后, 图 20A 和 20B 表示既内插又外插于安全拟合区域外部的模型表面。从图 16、20A 和 20B 中, 应当了解到视得质量流率(表面液体速度)和密度界限的下降值。

综上所述, 传送器 104 的质量流率校正在该实例中通过如下方式予以实现, 即计算视得密度下降值、利用上述(各)方法予以校正并通过将其除以 100 而使得出的数据标准化(或者利用从密度模型获得的标准化校正密度下降值)。然后, 计算出标准化的表面流体速度 V_n , 并应用该模型以获得标准化质量流率误差 e_n 的估计值, 其中该值将视得质量流率误差作为真实质量流率的比值。获得的数值可以通过将其乘以 100 而予以非标准化, 并由此获得作为真实质量流率的百分数的质量流率误差。最后, 视得质量流率可使用非标准化的质量流率误差:

$$m_c = \frac{m}{e_n + 1} \text{ 进行校正。}$$

可以理解, 上述说明具有大应用范围, 可在二相流条件下提高哥氏流量计的测量和校正精度。具体地说, 上述方法在液相质量流率和气相质量流率必须予以测量和/或校正至高精度水平的多种测量应用场合下是特别有用的。一项示例性应用是在油气生产环境下测量液相质量流率并且测量气相。

上述说明是在图 2 的数字流量计的环境中进行的。不过, 应当理解, 任何振动式或振荡式密度计或流量计, 模拟的或数字的密度计或流量计, 只要能够测量包含某一百分数气相的多相流, 都是可以采用的。也就是, 当该气相限于整个过程流体的一个很小的百分数 - 诸如小于 5% - 的时候, 一些流量计只能够测量包含某一气相的过程流体。其他流量计, 诸如以上提及的(各)数字流量计, 甚至在气体空穴率达到 40% 或更高的时候也能够运作。

许多上述的方程和计算都是通过密度、质量流率和/或空穴率而予以说明的。不过, 应当理解, 利用这些参数的各种变化也可达到相同的或相似的结果。例如, 可采用体积流率代替质量流率。此外, 可采用液体率代替空穴率。

本文已经对许多实施方案进行了说明。然而, 应该理解, 可进行多种修改。因此, 其他的实施方案都处于下述权利要求的范围内。

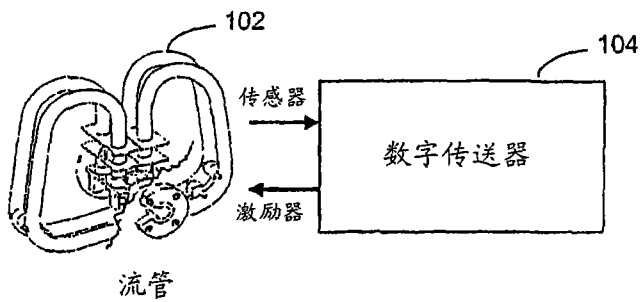


图 1A

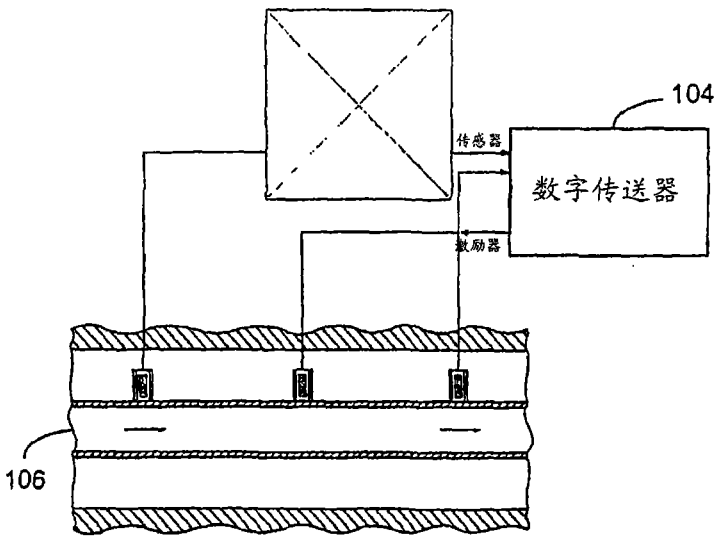


图 1B

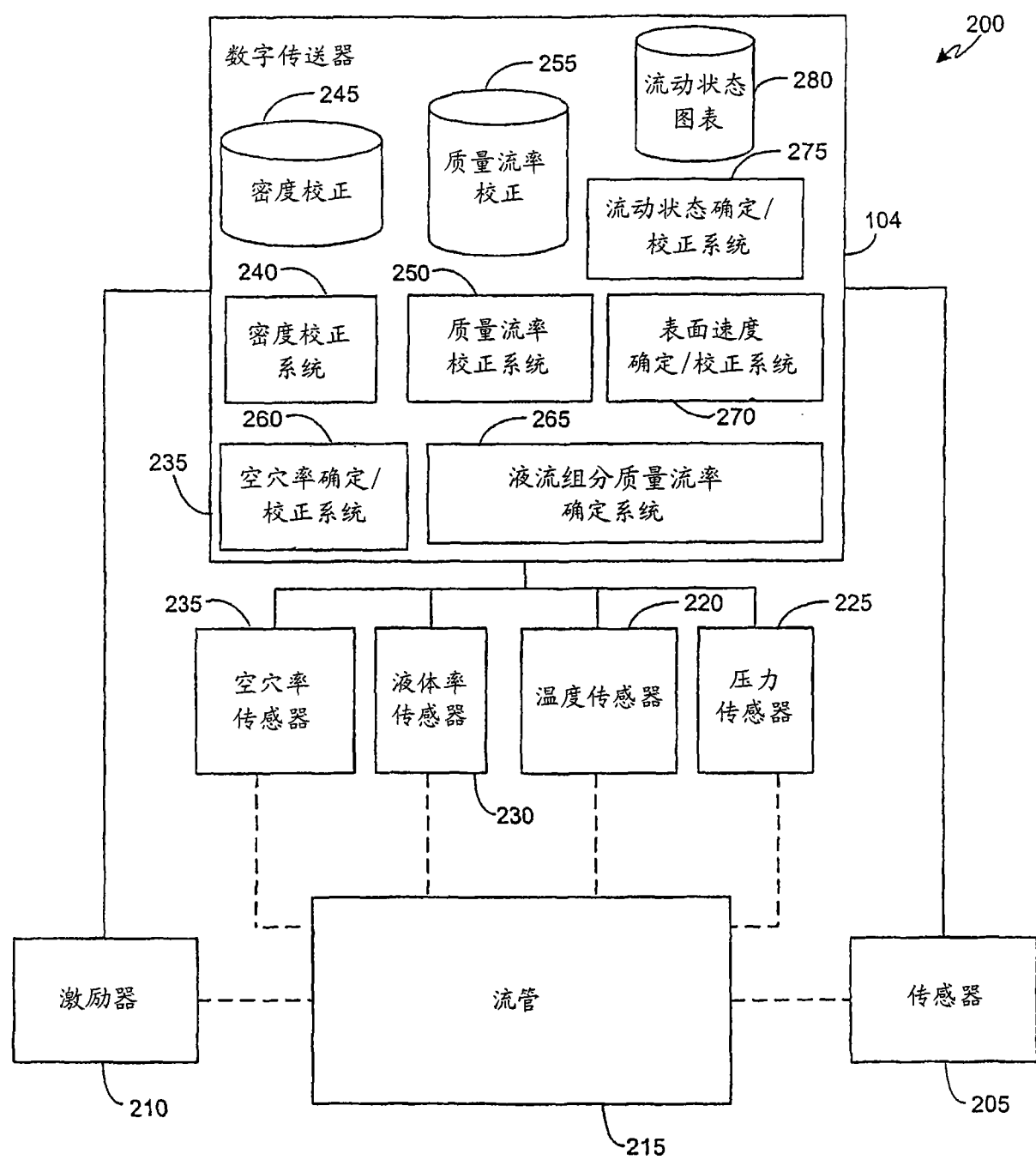


图 2

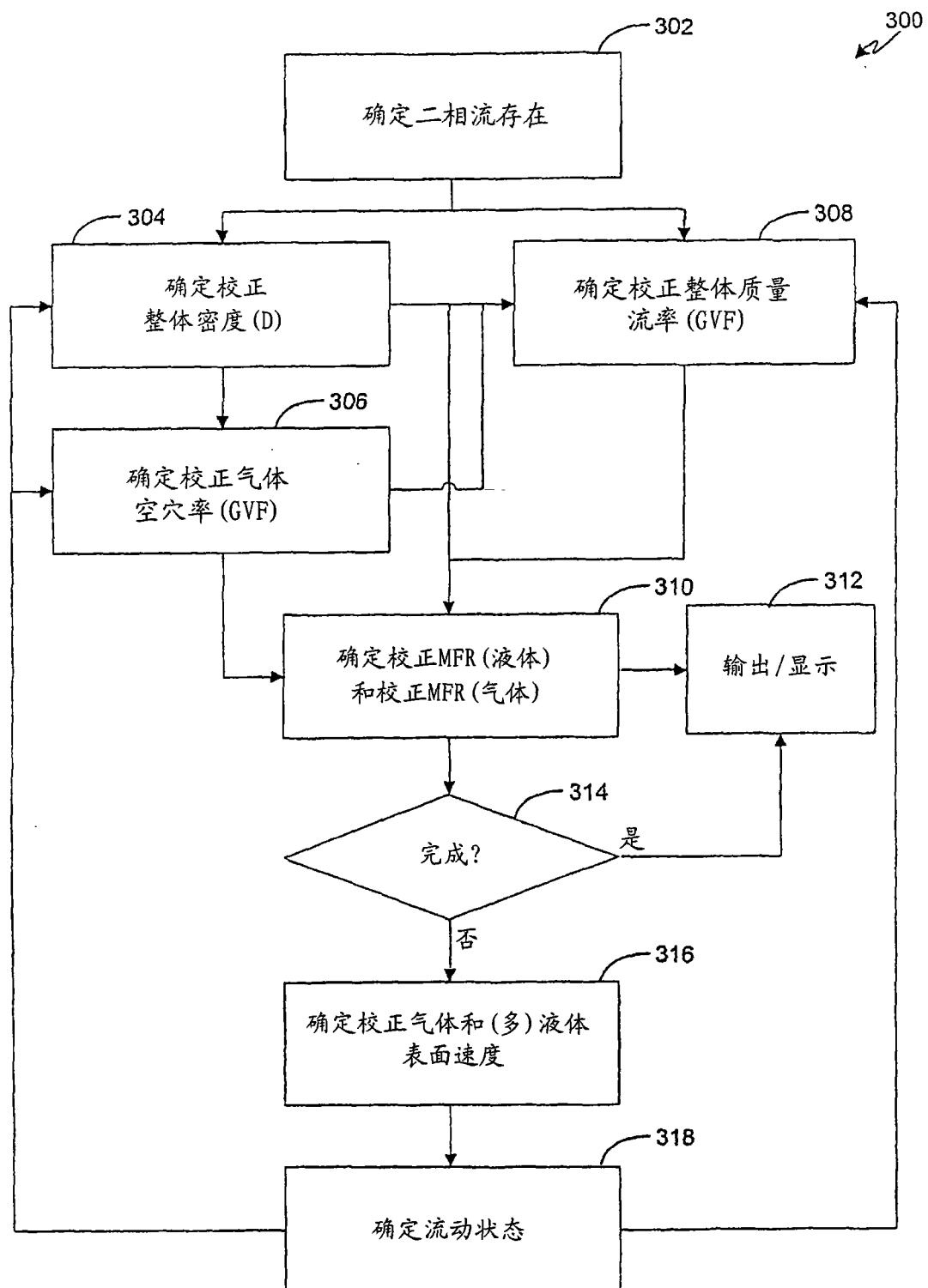


图 3

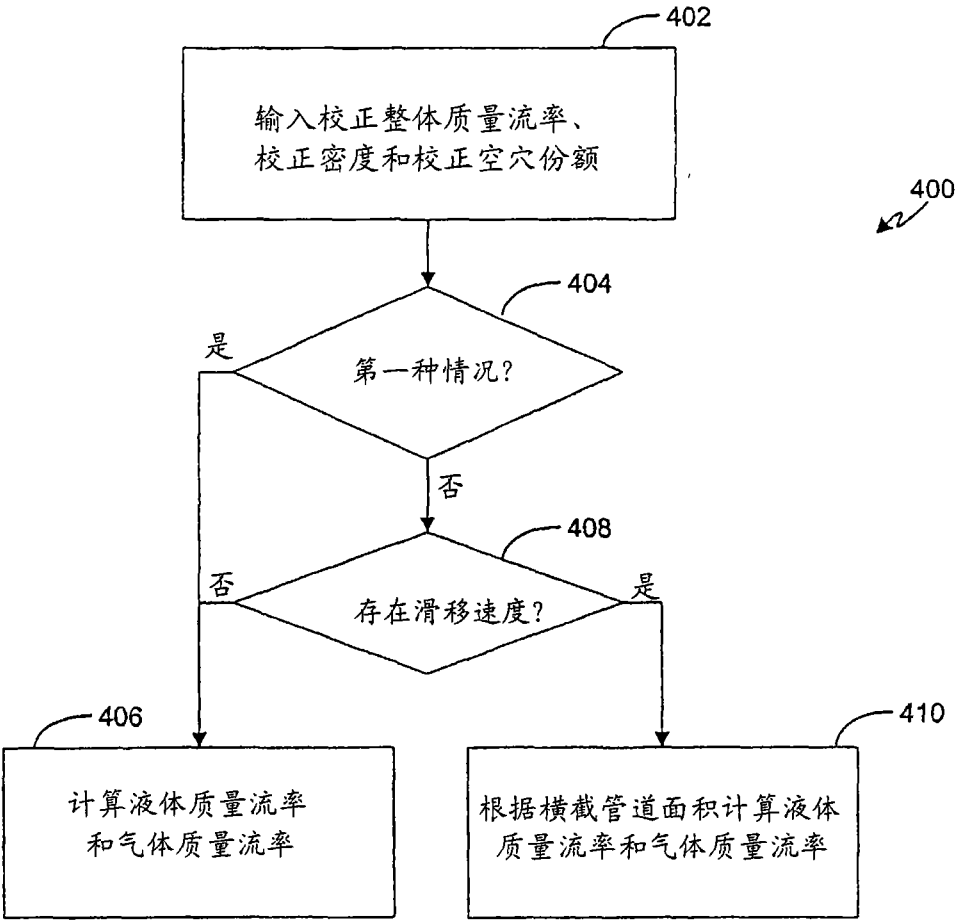


图 4

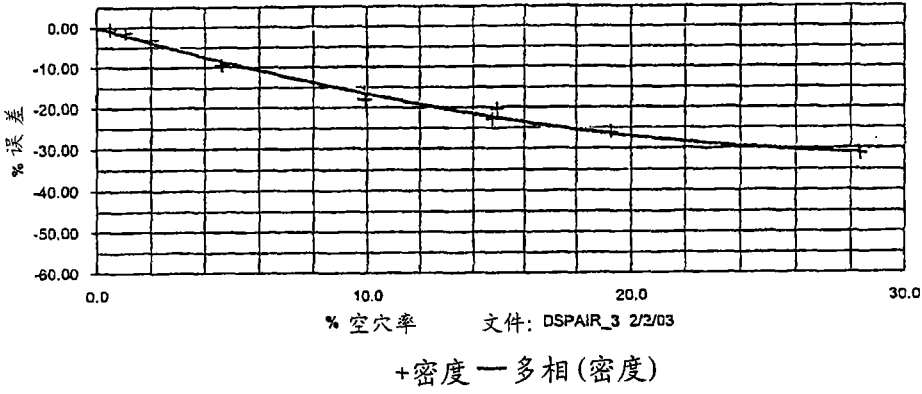


图 5A

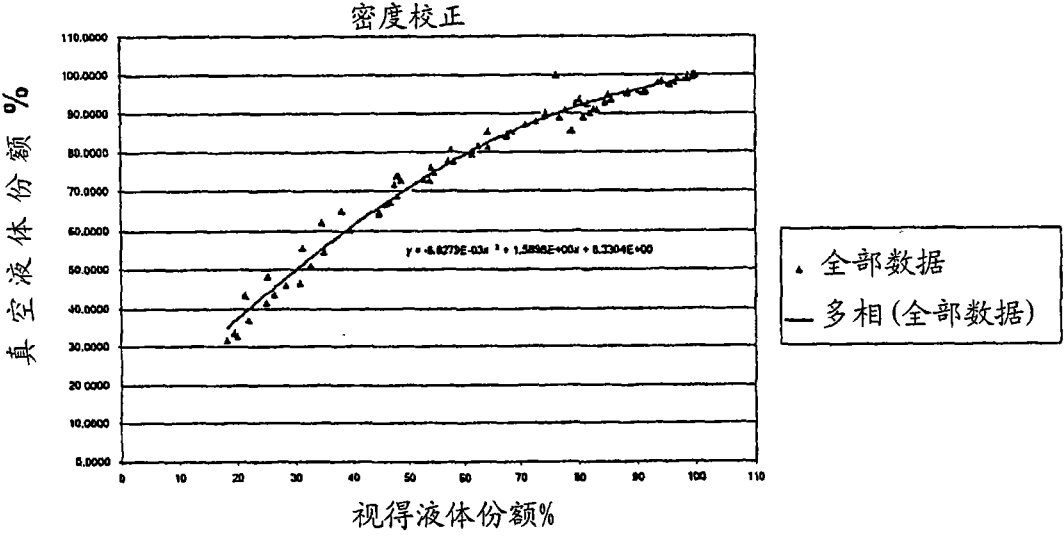


图 5B

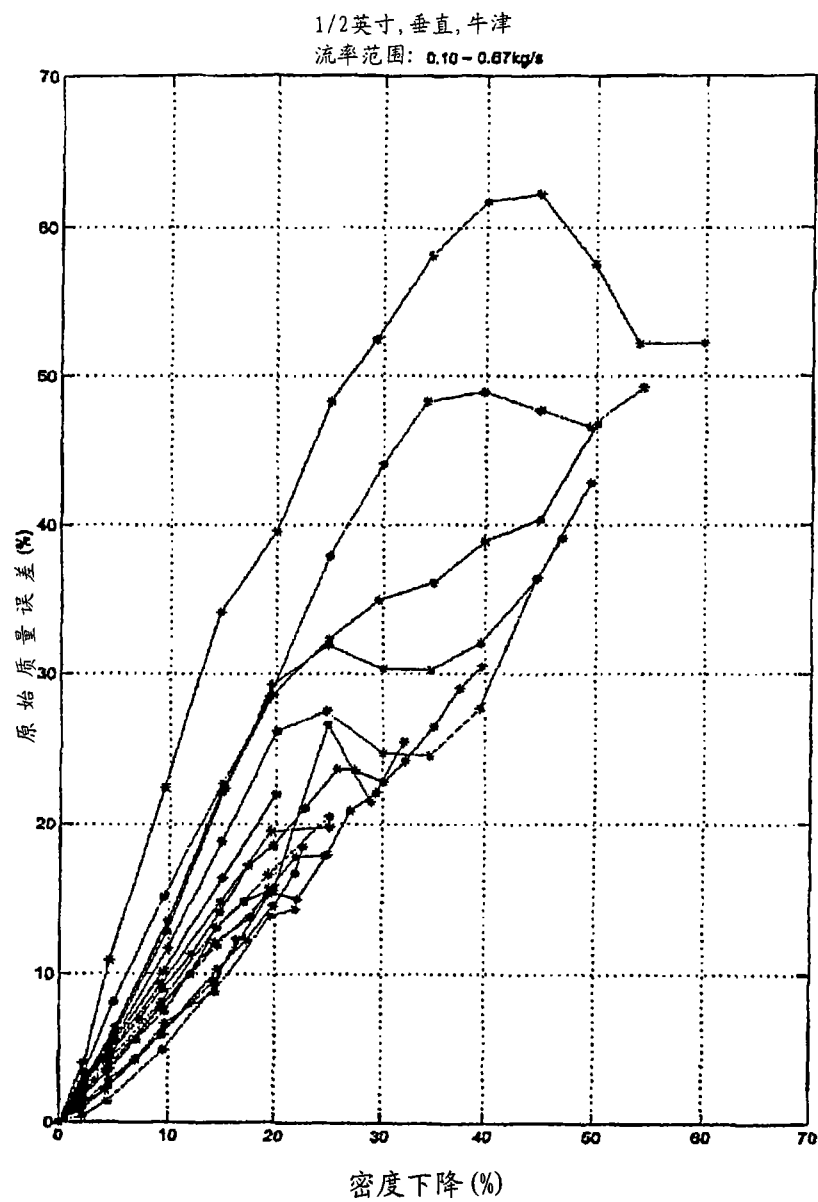


图 6

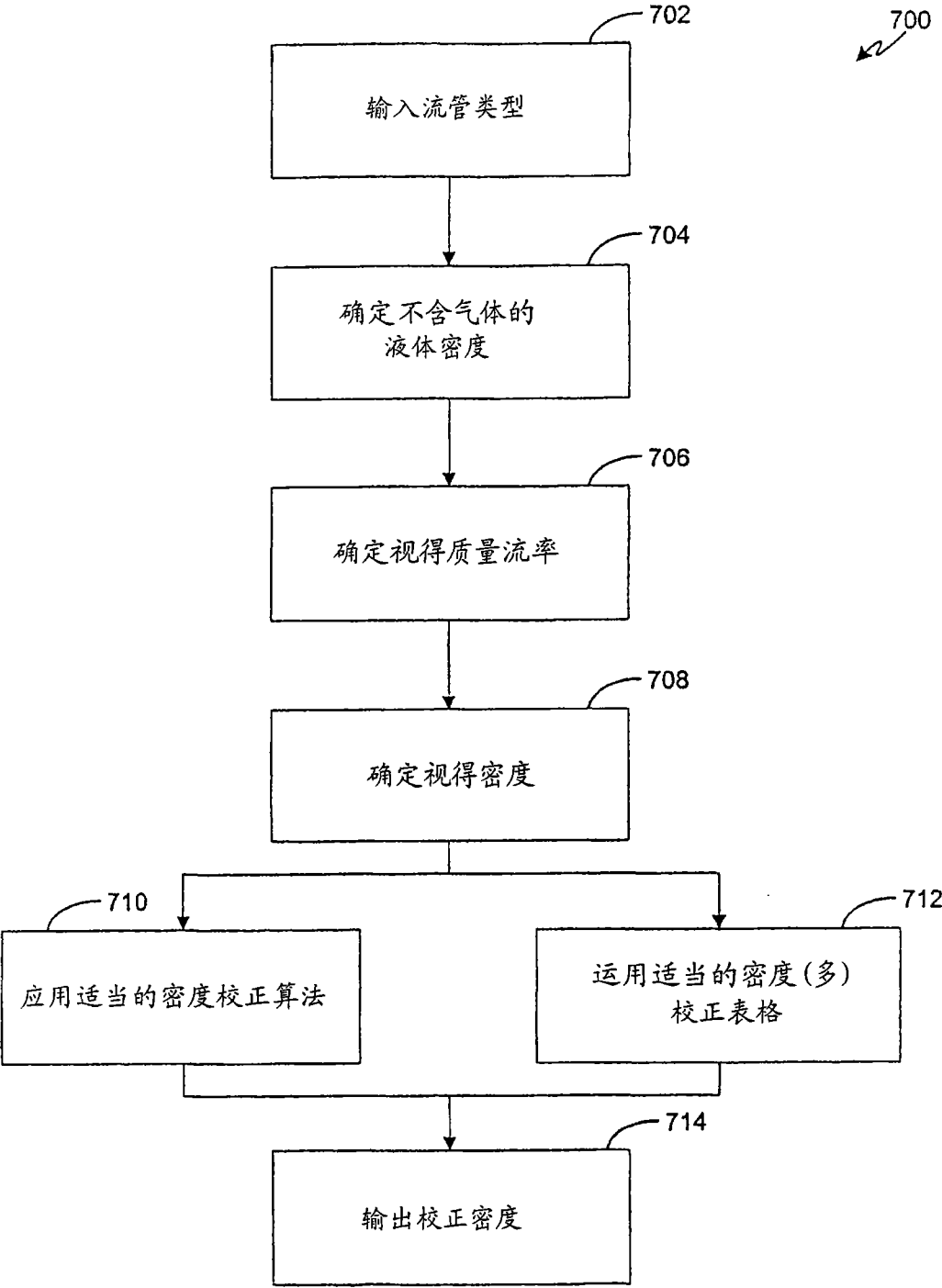


图 7

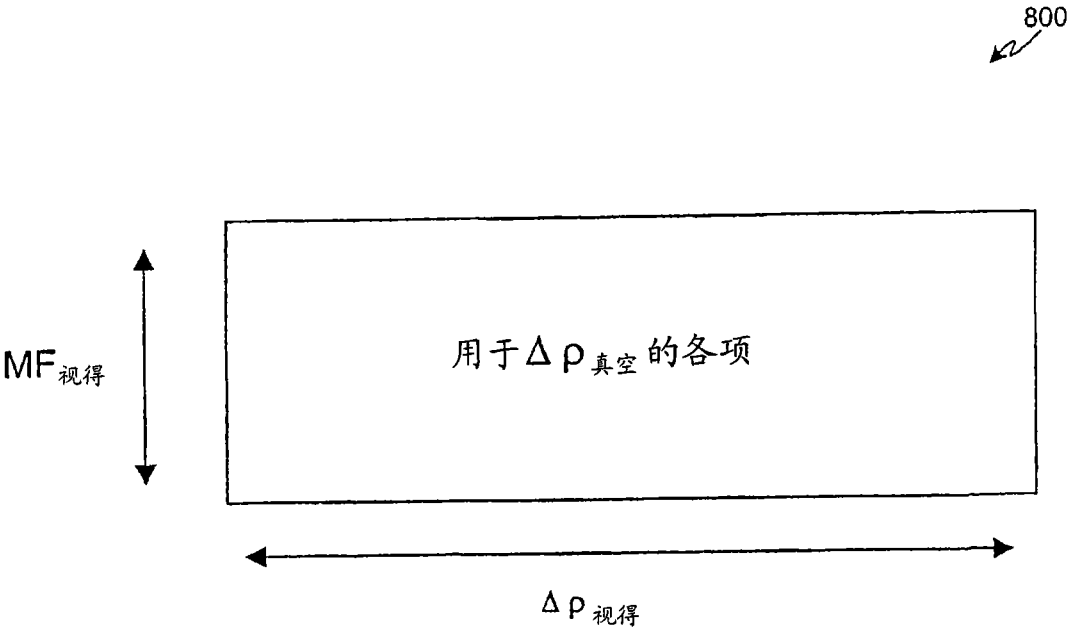


图 8

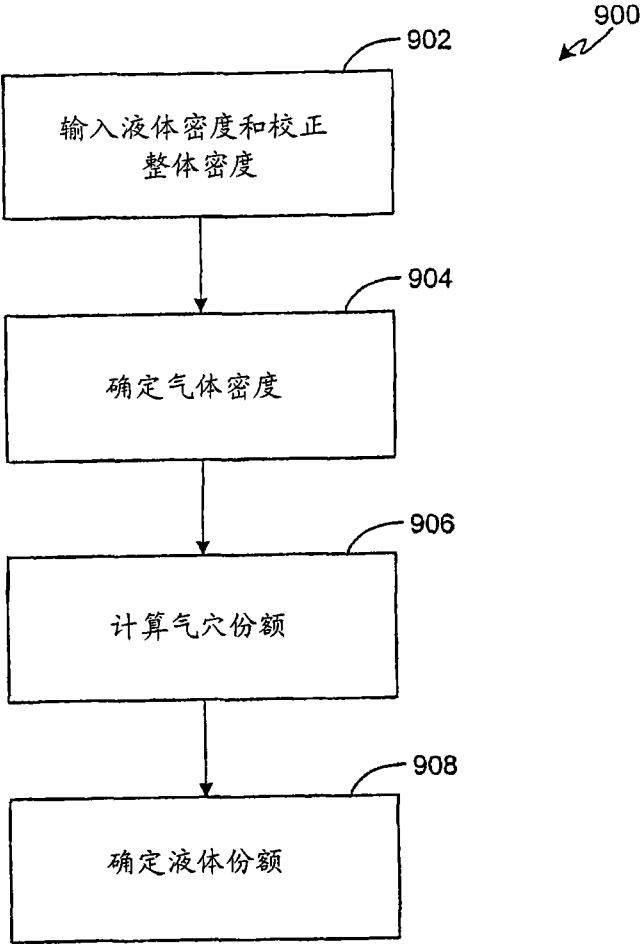


图 9

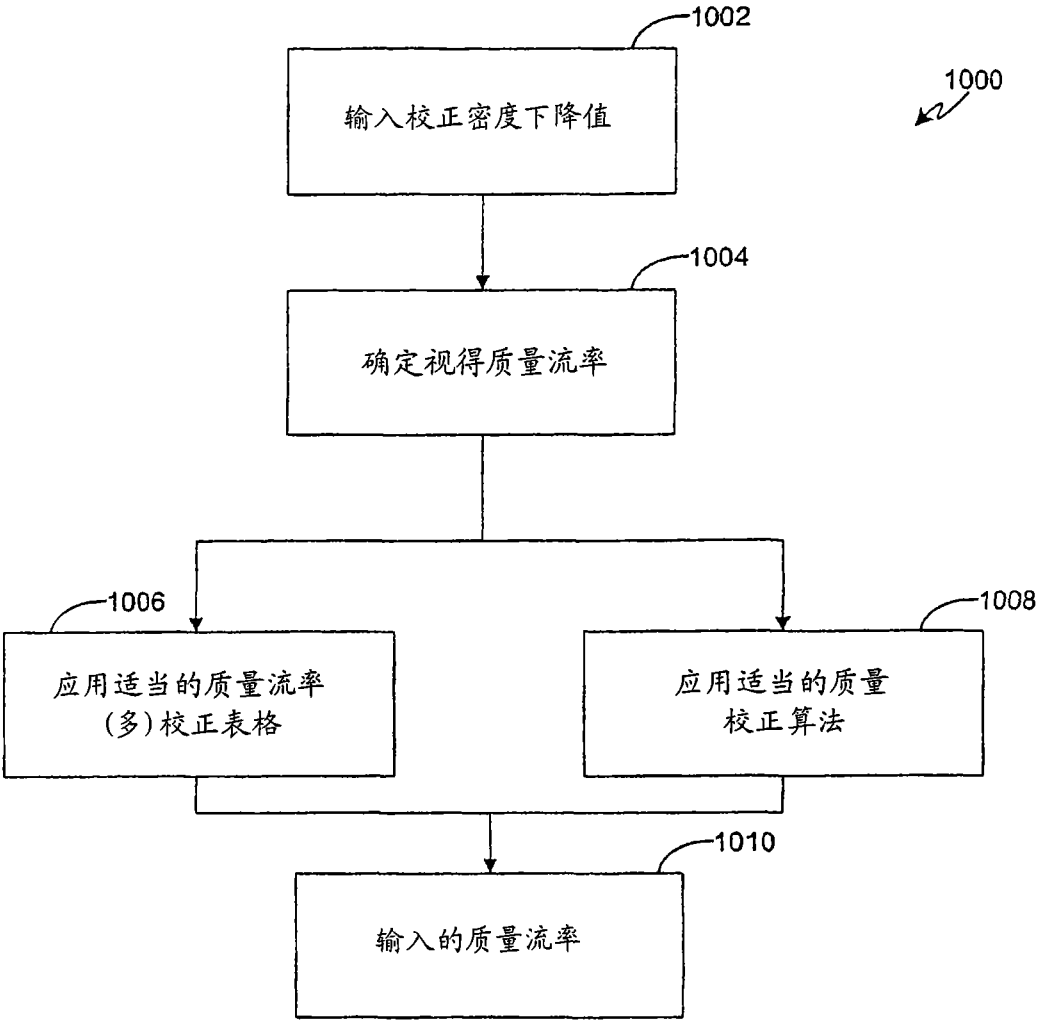


图 10

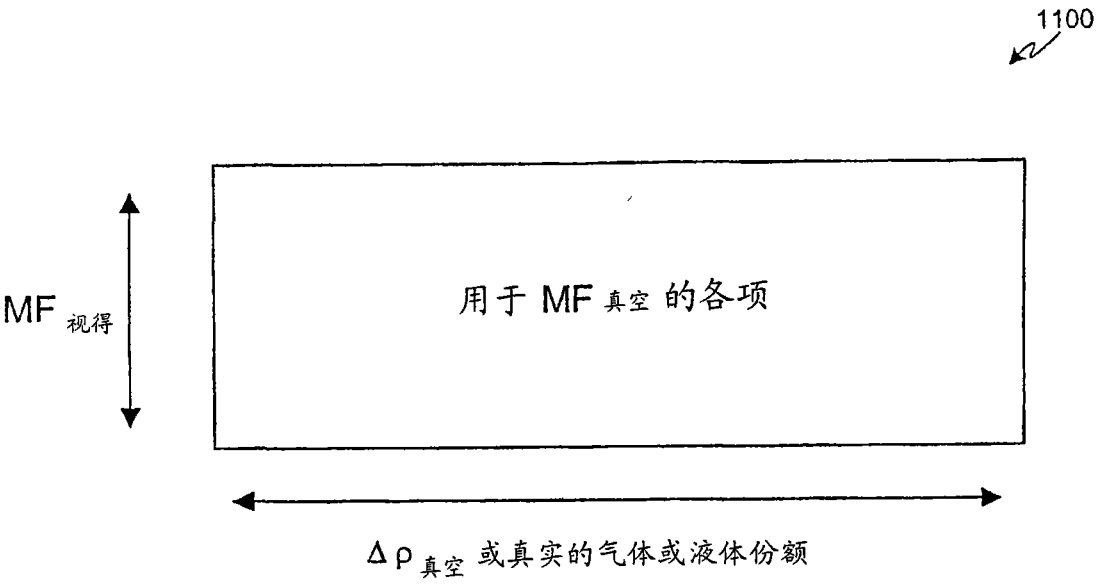


图 11

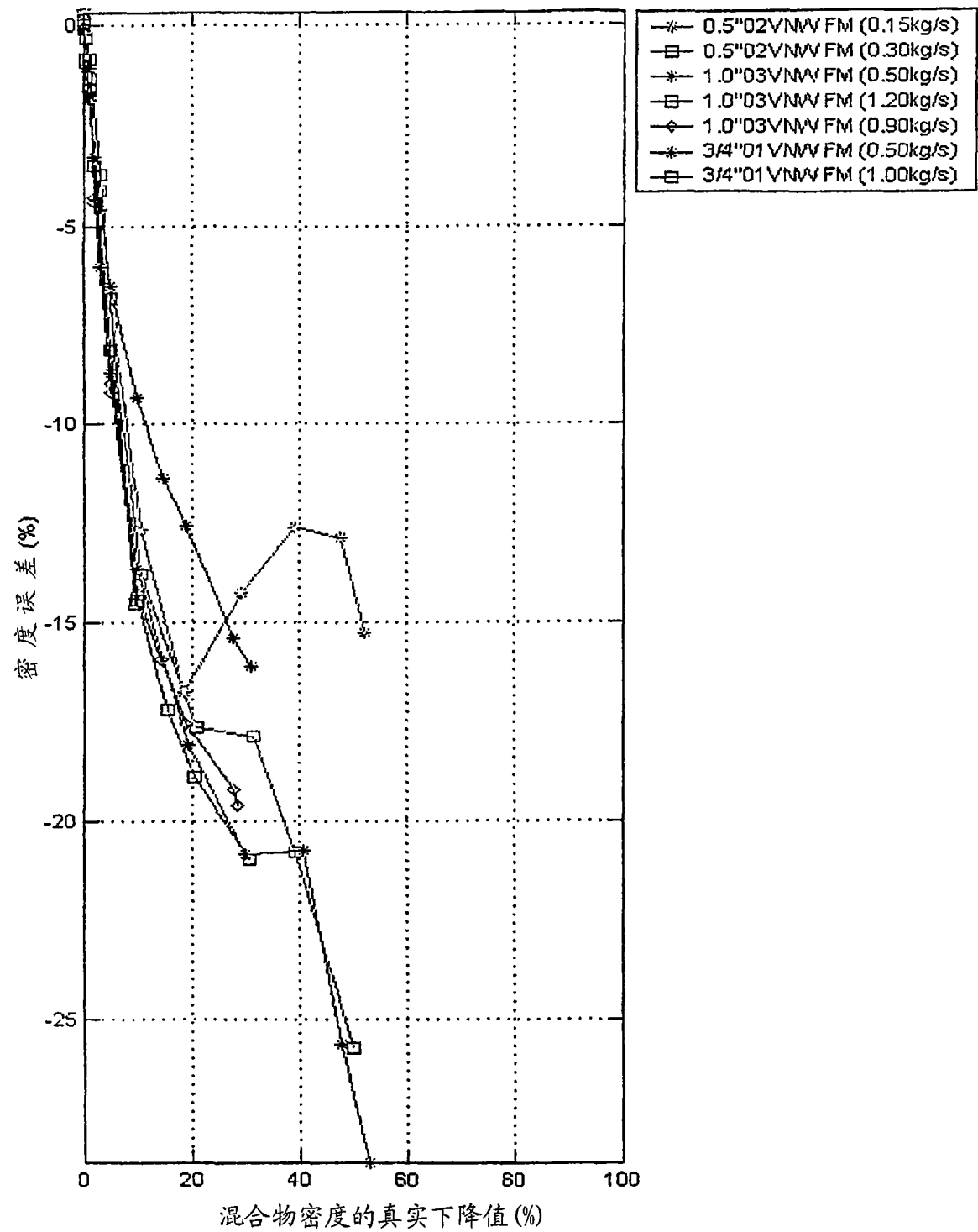


图 12

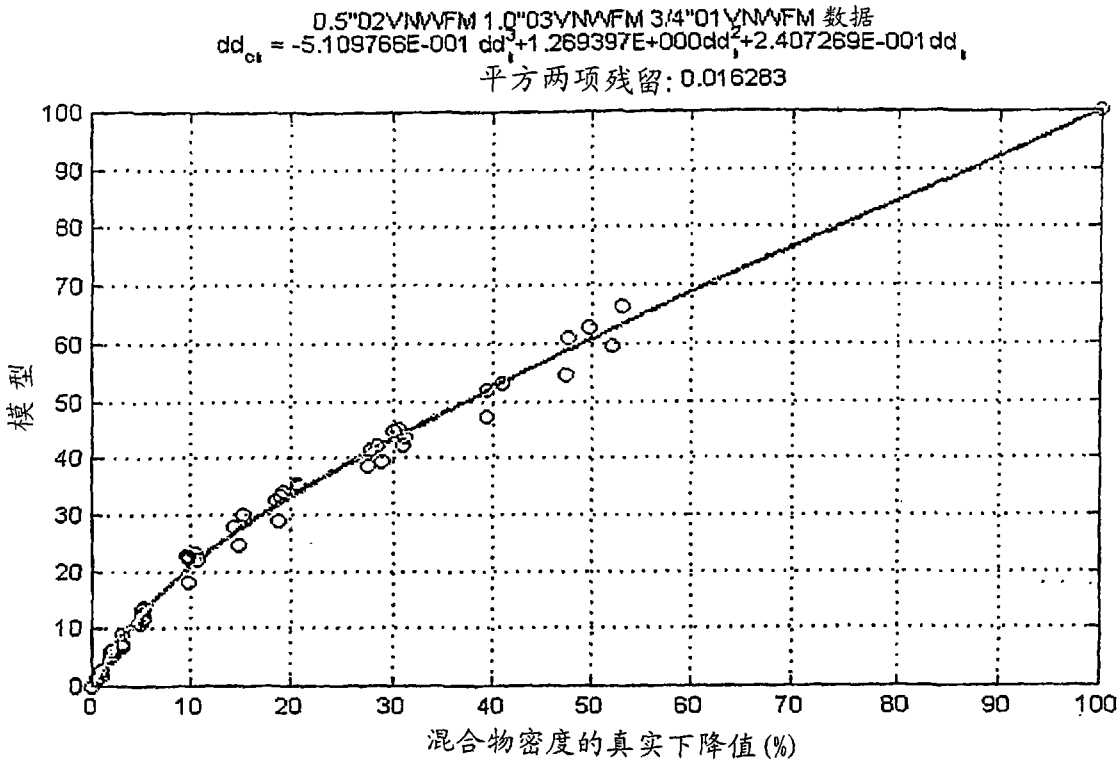


图 13A

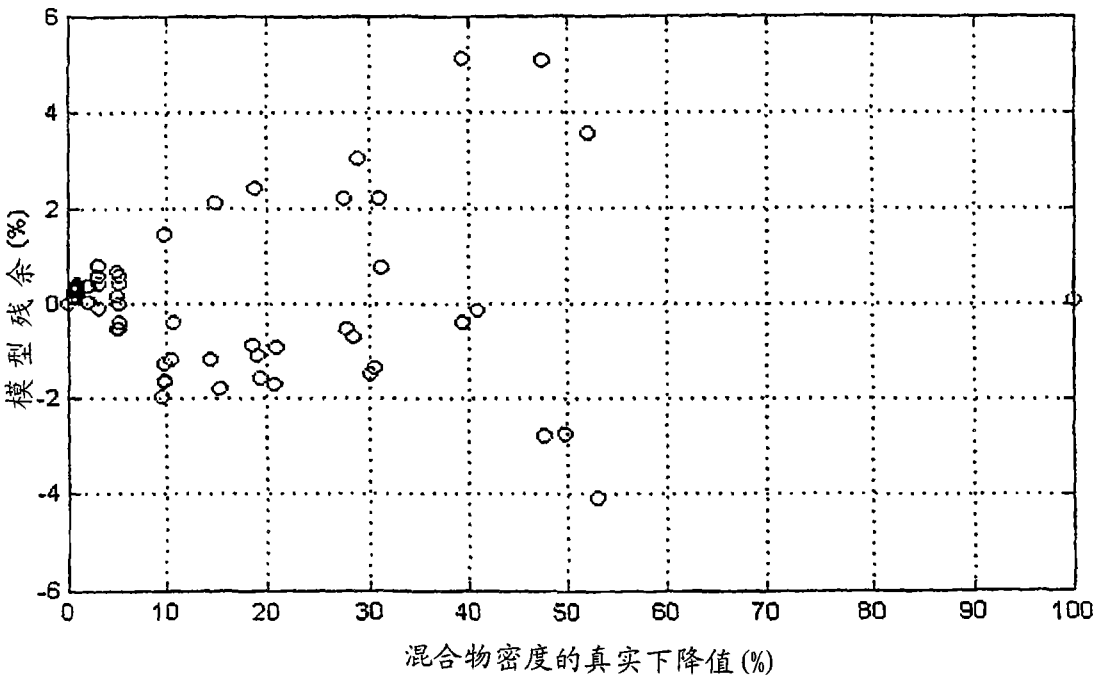


图 13B

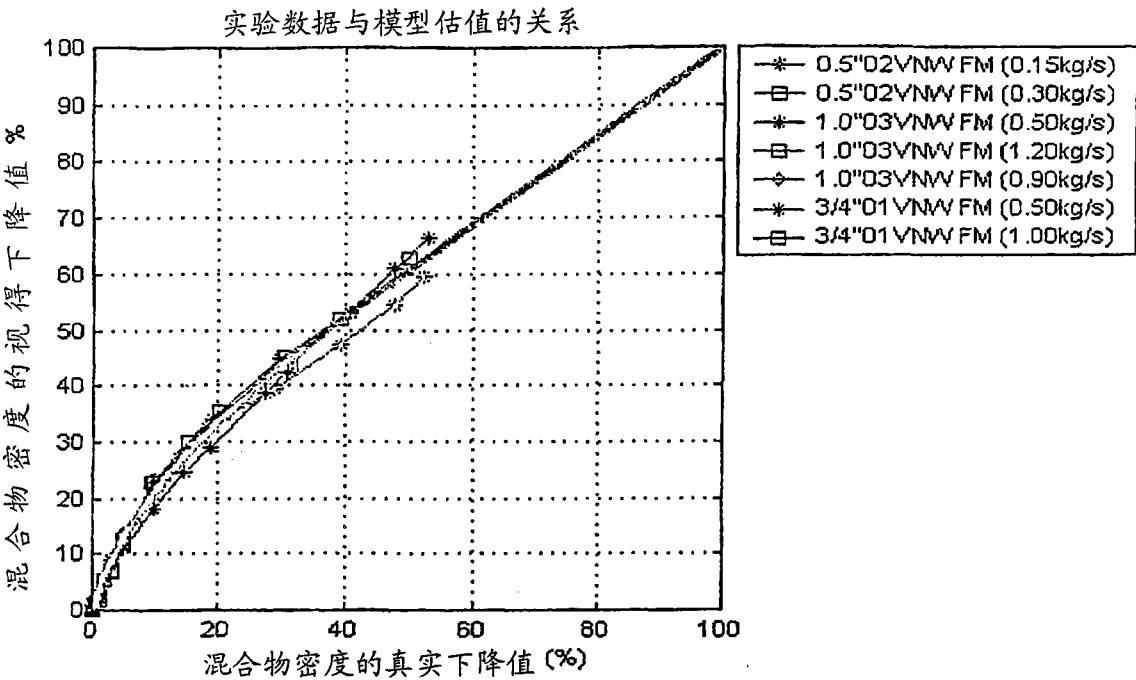


图 14A

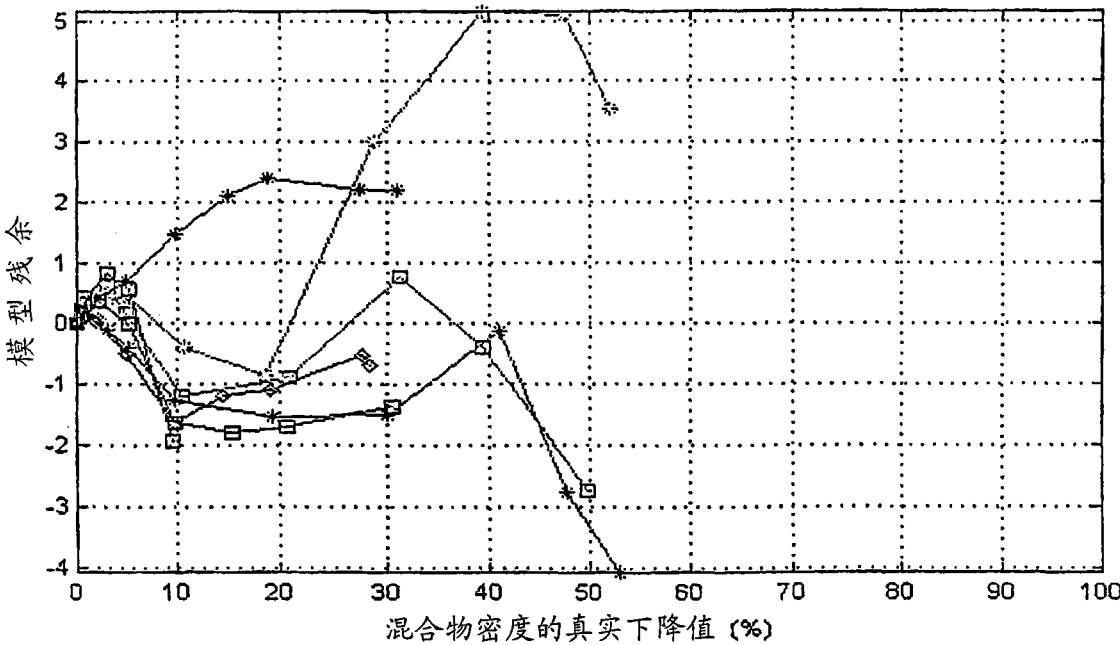


图 14B

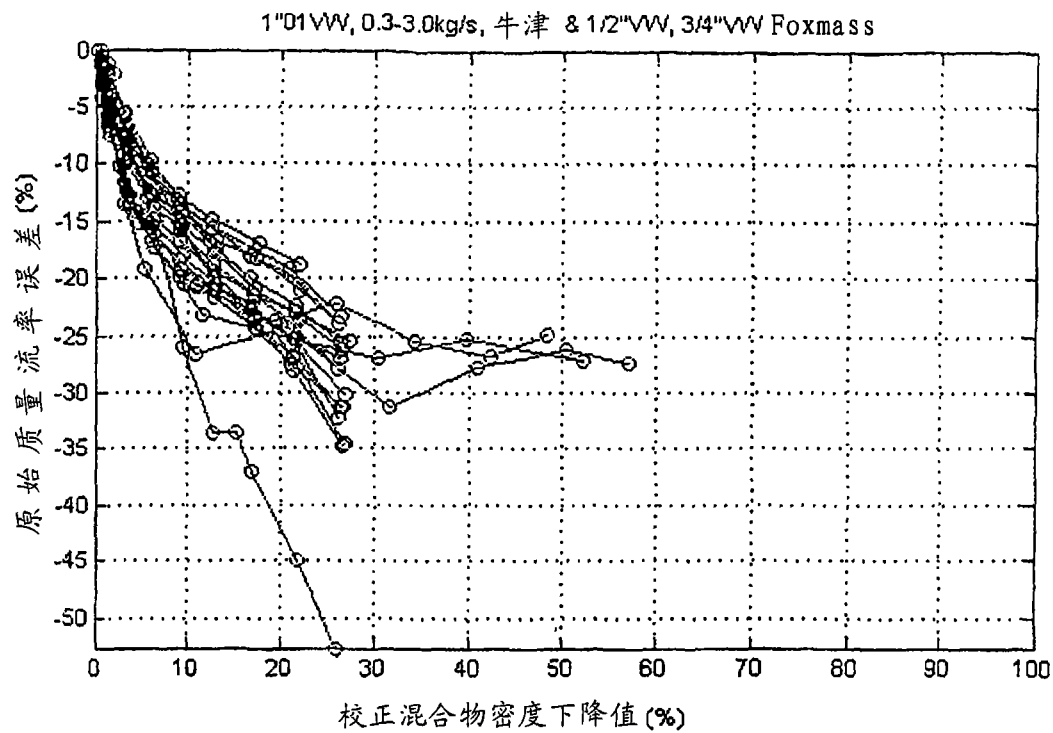


图 15A

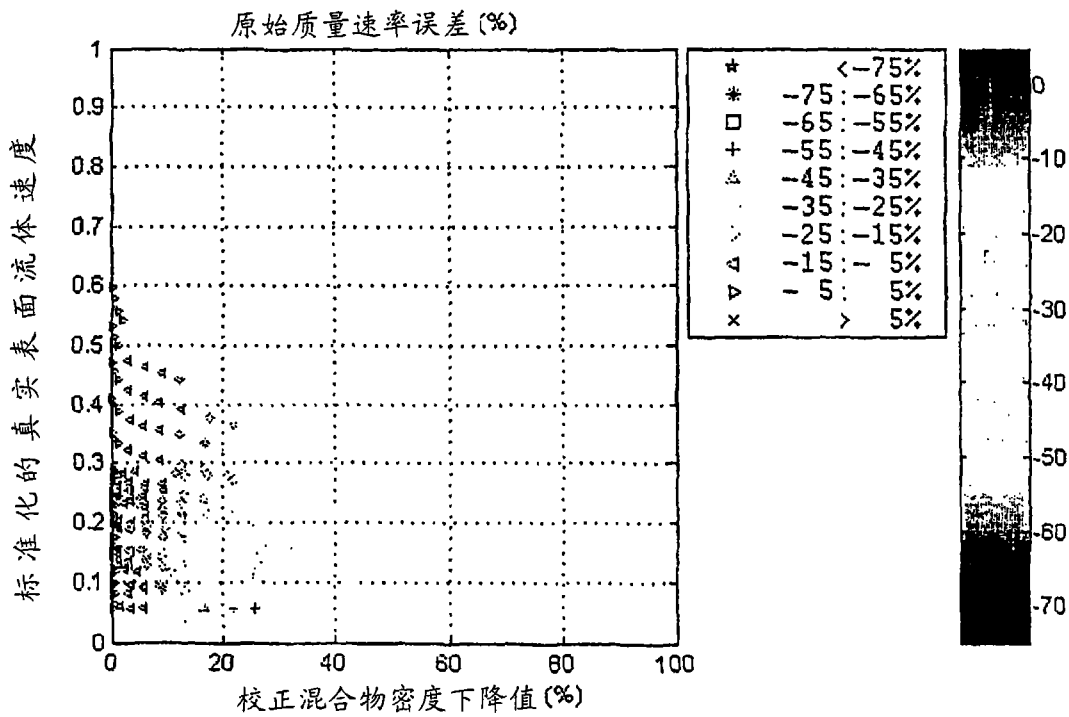


图 15B

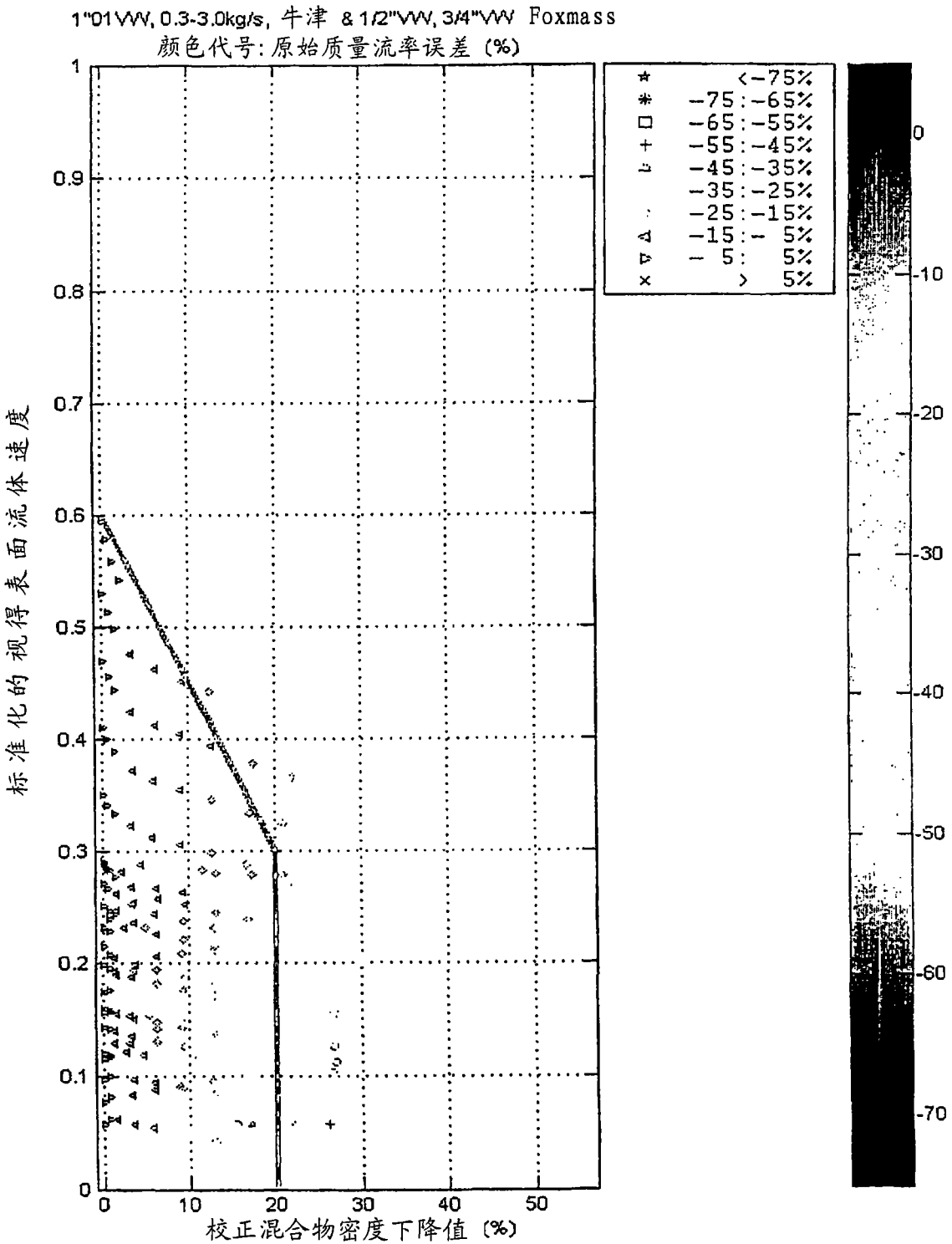


图 16

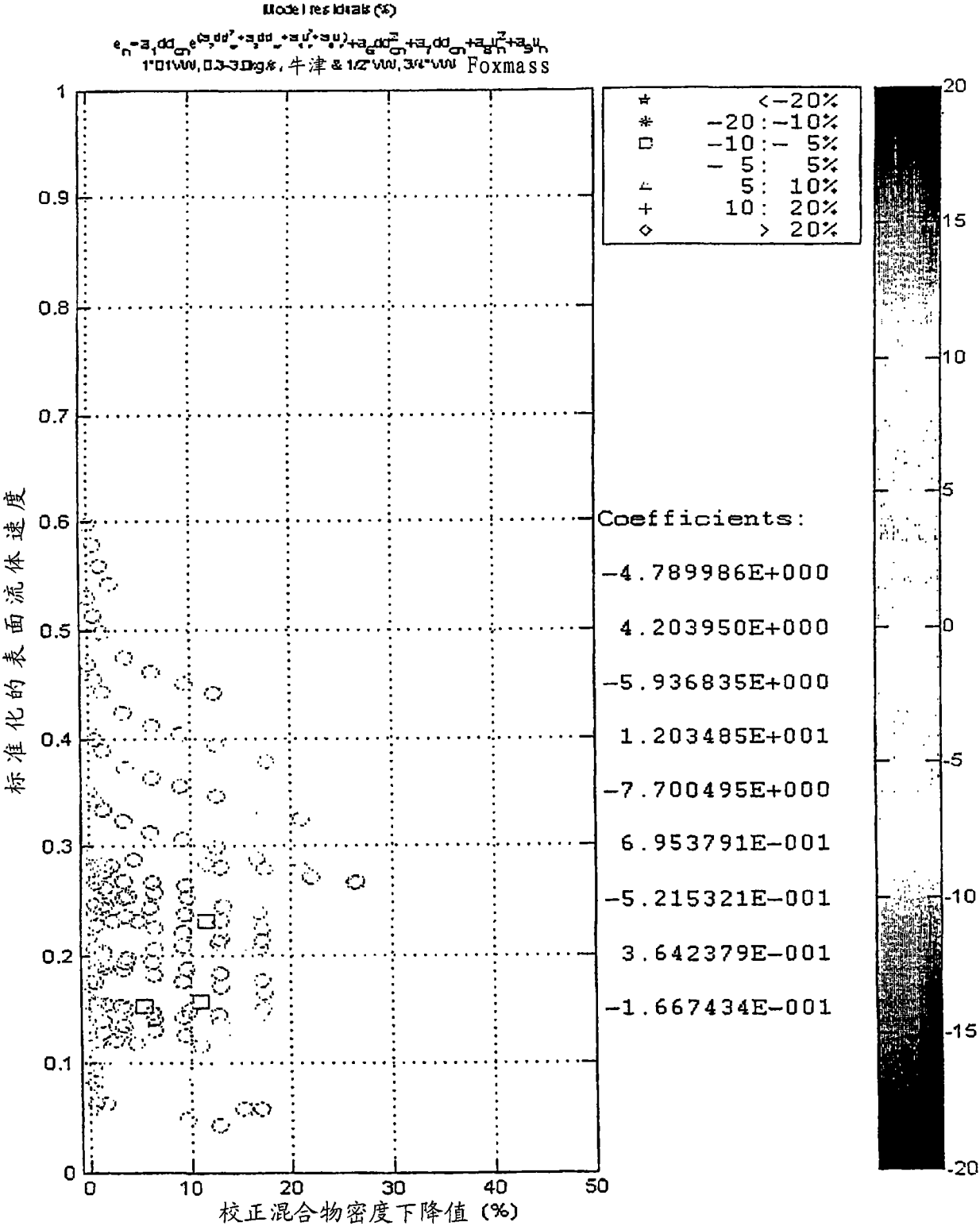
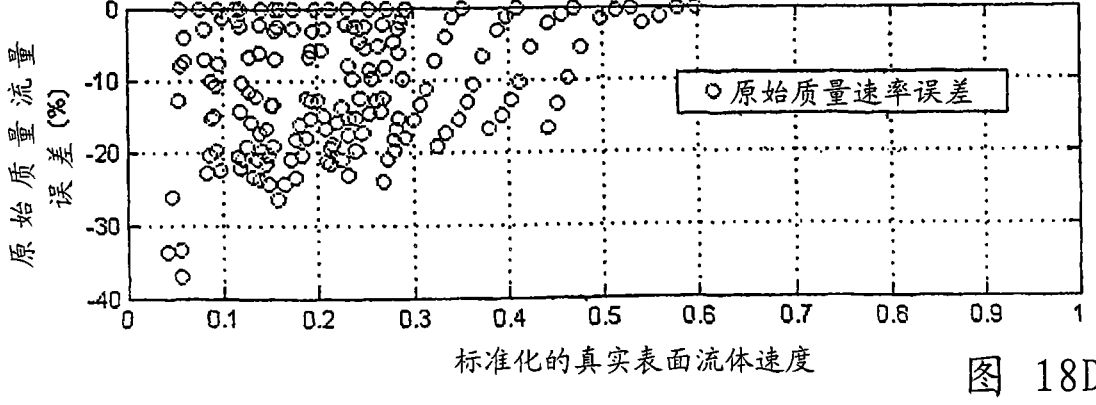
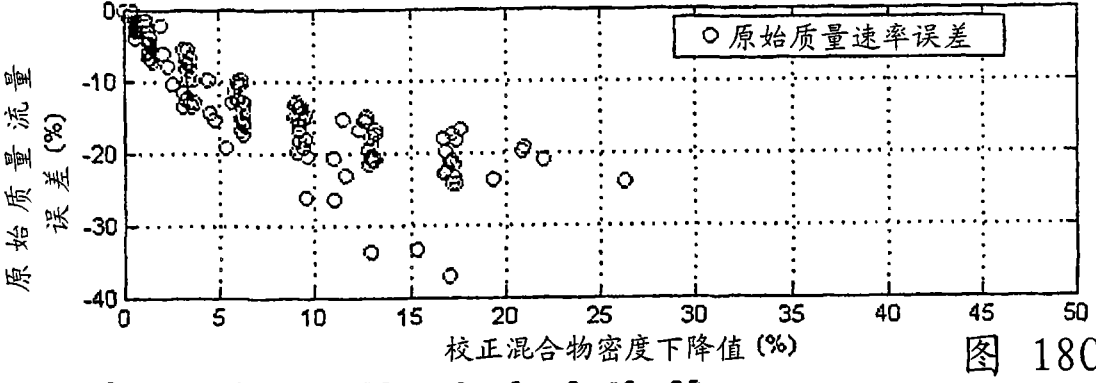
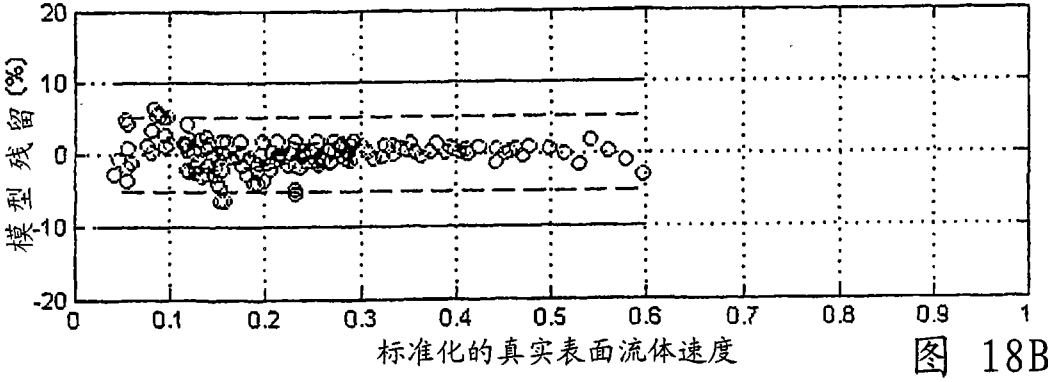
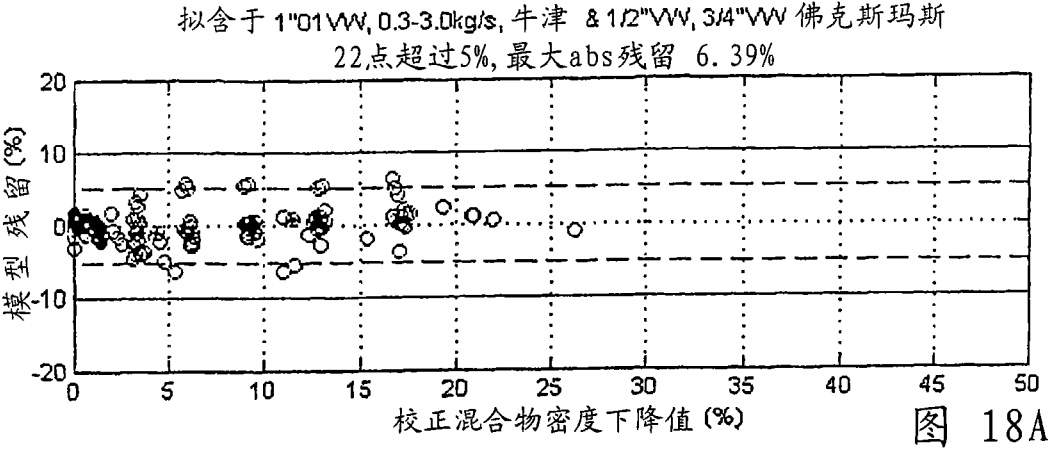
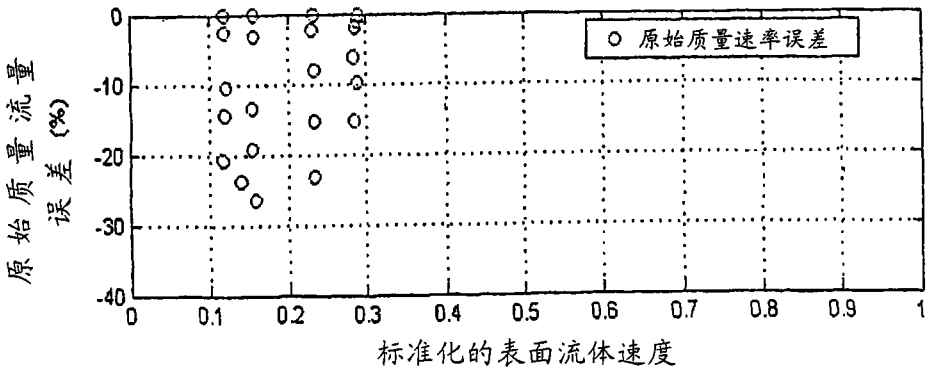
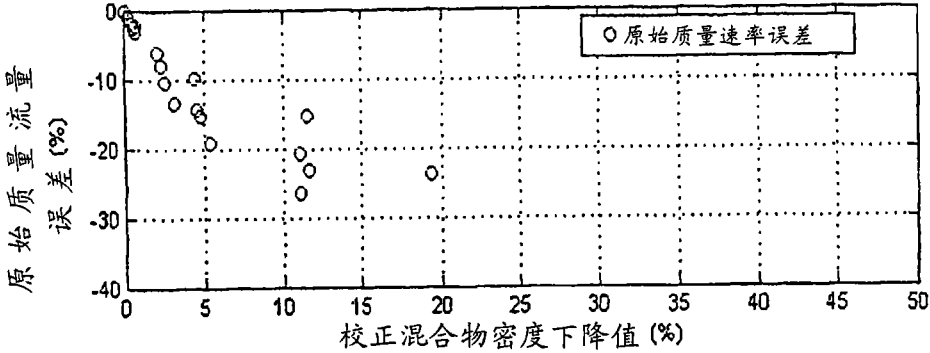
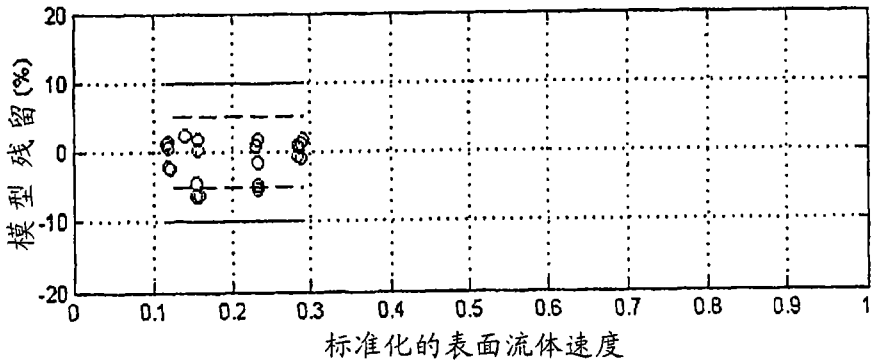
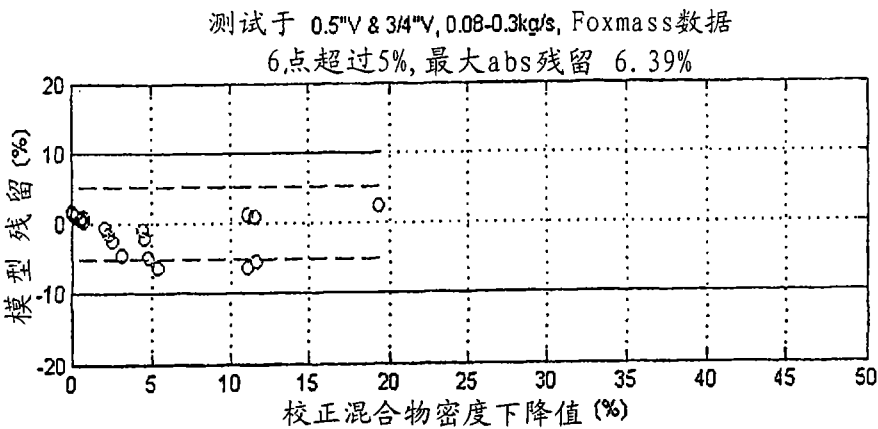


图 17





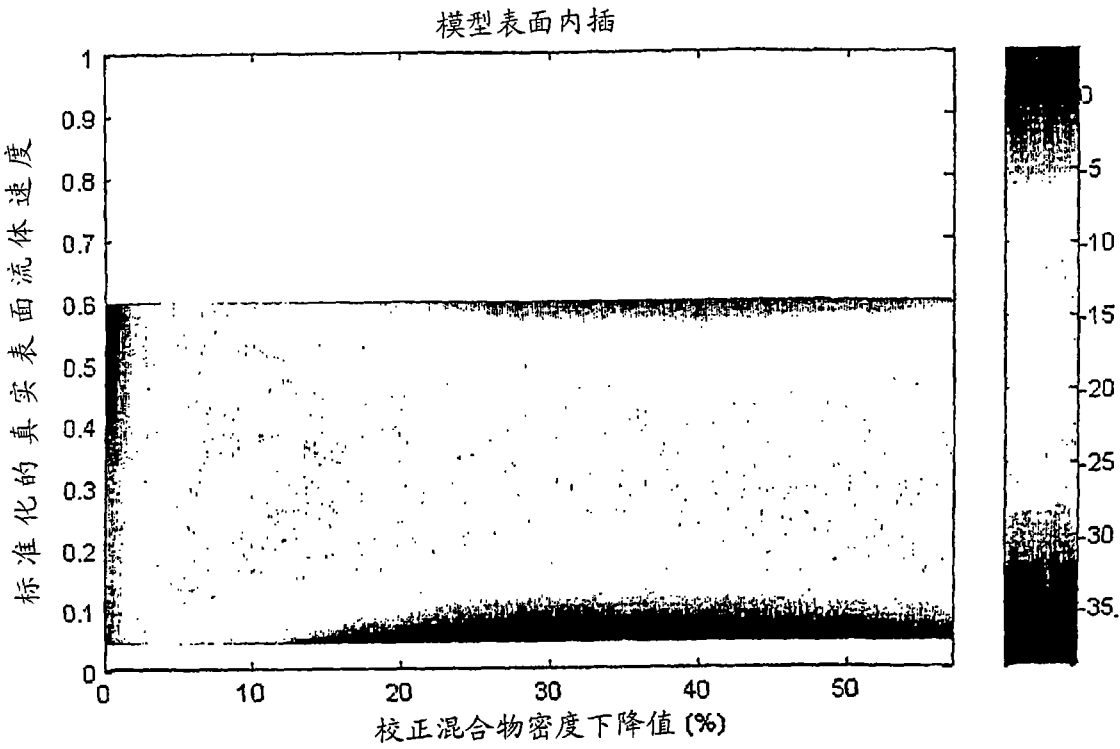


图 20A

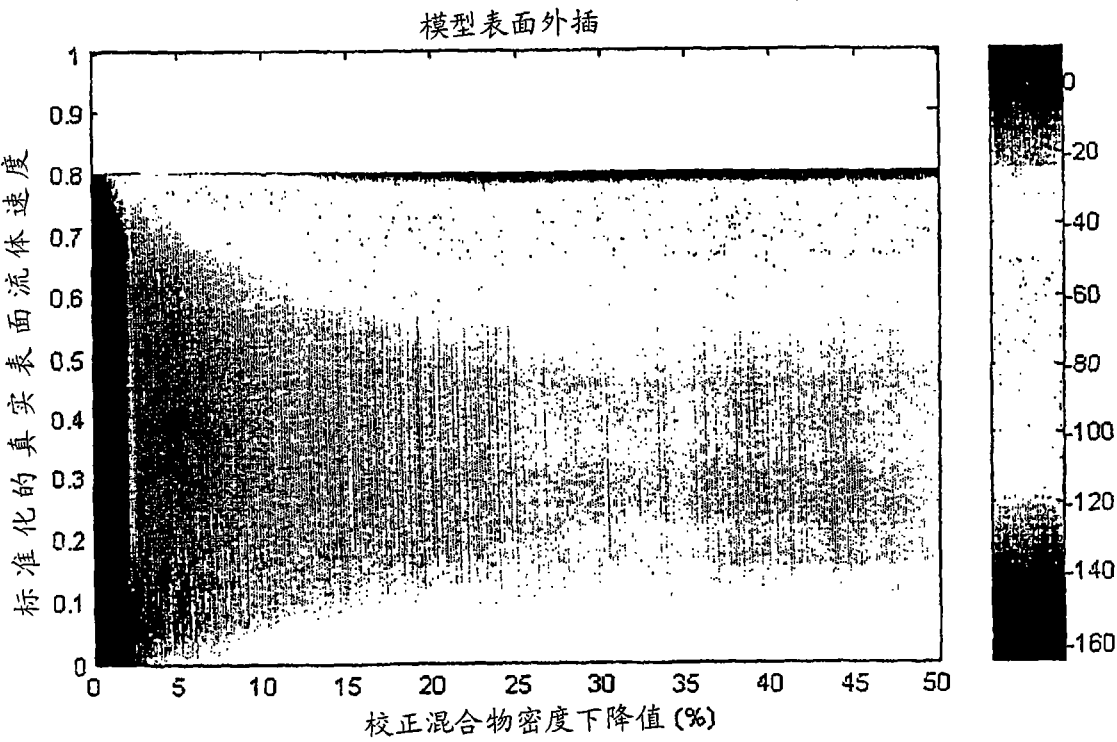


图 20B