确保分析仪表系统提供准确的结果 – 第 1 部分: 了解和测量延时

作者: Doug Nordstrom 和 Tony Waters

工艺测量是即时的，但分析仪响应却不可能是即时的。从取样口到分析仪总是存在延迟。不幸的是，这段延时常常被低估，或者不被考虑或理解。样品系统内的延时是导致工艺分析仪结果不正确的最常见原因。

许多情况下，分析仪专家和技术员看不到这种延时，他们的注意力放在如何让样品适合分析仪上。分析仪专家经常假设分析测量是即时的。事实上，样品系统常常达不到一分钟响应的工业标准。

一般而言，即使对于长周期，也最好尽量缩短延时。不过，超过行业标准的延时也不一定带来问题。工艺工程师根据工艺动力学确定可接受的延时。

当延时超过系统设计师的预期时就会成为问题。时延的估算不准或假设错误必然导致工艺控制不良。

本文的目的是加强读者对延时成因的理解，并为在合理误差范围内计算或估算延时提供所需的工具。我们还将提供一些关于如何缩短时延的建议。分析仪表（AI）系统（图 1）的如下各部分可能会存在延时：工艺管路、取样口和探头、野外站、输送管路、样品调整系统、流切换系统和分析仪。

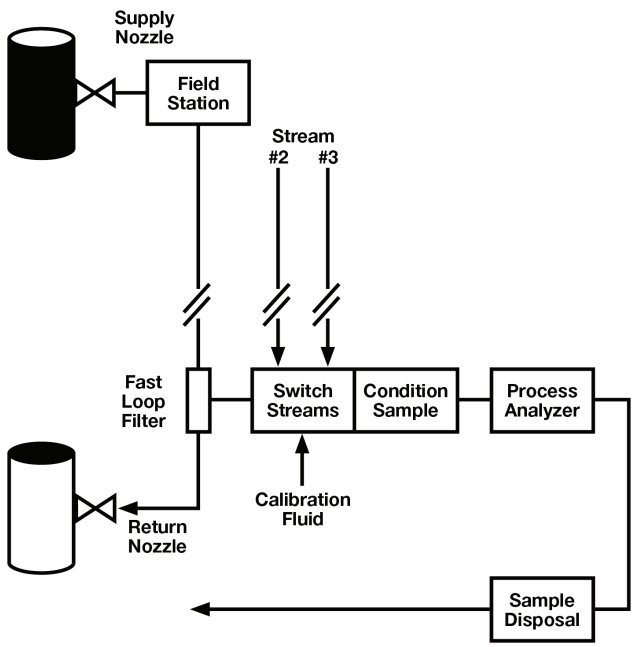


图 1。AI 取样系统的基本部分。

首先，我们必须知道延时是累积的，这一点非常重要。延时是流体从工艺管路内的最后一步到分析仪所用的***总时间***，其中包括在分析仪内进行分析所需的时间。例如，假设气相色谱仪分析样品需要用五分钟时间，那么，就必须在样品调整系统时延和流切换系统延时以及输送管路、现场站、取样口和探头的延时基础上加上这五分钟。然后在上述时间和的基础上还必须加上从被监测的工艺装置到取样口所需的时间。***这才是从被监测的工艺装置到计数的分析仪所需的总时间。***

工艺管路、取样口位置、快速回路和输送管路

一般而言，虽然还要考虑其他因素，但是从延时角度看，最好把取样口放在尽可能靠近分析仪的位置。例如，取样口应位于桶、罐、死角、滞流管路、冗余设备、陈旧设备等延时源的上游。而且，取样口位置必须提供足够压力来使样品能够在不使用泵的条件下流过输送管路或快速回路。泵不仅昂贵，而且还增加了一种影响因素。

许多情况下，分析仪工程师、技术员或分析仪专家都可能无法指定取样口位置。他或她可能不得不凑合使用原有取样口位置，而且还经常不得不凑合使用原有分析仪安装位置。

当取样口与分析仪之间的距离较大时，建议使用快速回路加快流体输送到分析仪的速度。设计恰当时，快速回路内的流速会比分析仪管路内的流速快得多。

可使用下面的公式计算输送管路、快速回路或工艺管路的延时:

流体速度 = 体积流量/单位长度管道容积

延时 = 管道长度/流体速度

表 1 列出了标准尺寸卡套管和公称管的单位长度容积。流量通常是测定的而不是计算的。

表 1。标准尺寸卡套管和公称管的容积换算。

卡套管	体积	公称管	体积
1/8 in. 卡套管	1 cm^3/英尺或 2.5 cm^3/m	1/8 in. 公称管	7 cm^3/英尺或 23 cm^3/m
1/4 in. 卡套管	5 cm^3/英尺或 17 cm^3/m	1/4 in. 公称管	14 cm^3/英尺或 46 cm^3/m
1/2 in. 卡套管	25 cm^3/英尺或 82 cm^3/m	1/2 in. 公称管	46 cm^3/英尺或 151 cm^3/m

示例 1: 输送管路内的液体延时

考虑一条管径为二分之一英寸、长 100 英尺、流量为每分钟 5 升的输送管路。

流量 = 5 l/min 即 5,000 cm^3/min

每英尺管道容积（表 1 中的 ½ 英寸卡套管） = 25 cm^3/ft

液体速度 = 5,000 cm^3/min / 25 cm^3/ft

液体速度 = 200 ft/min

延时 = 100 ft / 200 ft/min

延时 = 0.5 min 即 30 s

结论: 这条输送管路符合一分钟响应这一通用行业标准。

示例 2：输送管路内的气体延时

管路内任何一部分的气体延时计算公式中都包含另一个变量即压力。气体是可压缩的。同样大小的空间可容纳不同数量的气体。因此，固定容积（卡套管）内的流量将随压力变化。压力越高，流速越低。

气体速度 = (体积流量/单位长度管道容积) x (流量计压力/工艺管路压力)*

延时 = 管道长度/流速

**在测量流量时必须考虑测量位置的压力。流量计通常位于处置位置附近。*

假设样品是从 285 psig 的工艺管路提取的，之后由与示例 #1 所述相同的输送管路输送，流量计排放到大气（大气压力为 ~15 psia）。必须输入绝对压力而不是大气压力。因此，必须把压力读数 285 psig 调整为 300 psia。

气体速度 = (5,000 cm^3/min / 25 cm^3/ft) x (15 psia / 300 psia)

气体速度 = 200 ft/min x (1/20)

气体速度 = 10 ft/min

延时 = 100 ft /10 ft/min

延时 = 10 min

结论：同样的输送管路设计应用在气体场合时，由于工艺气体压力为 285 psig 而未能达到一分钟目标。为了克服这种情况，必须在取样口位置安装一个调压阀来降低输送管路内的压力。对于该示例，调压阀的压力应设定为 15 psig 或 30 psia。

气体速度 = (5,000 cm^3/min / 25 cm^3/ft) x (15 psia / 30 psia)

气体速度 = 200 ft/min x (1/2)

气体速度 = 100 ft/min

延时 = 100 ft / 100 ft/min

延时 = 1 min

结论：在工艺取样口安装调压阀后，输送管路内的流速加快了 10 倍。现在，分析系统达到了一分钟响应标准。

探头

大多数分析仪表系统内都存在的另一个延时源是探头。探头的容积越大，延时就越严重。探头的长度和宽度都将影响容积。

探头必须足够长，以使其能够伸到工艺管路直径的“中间三分之一”位置。这个位置的流速最快，能够提供最清洁、最具代表性的样品。不过，探头不应长于必要的长度。

另外，探头必须有足够的强度，以使其能够耐受工艺管路内的环境。不过，探头也不能过大，因为延时直接与内部容积成正比。许多应用场合都使用二分之一英寸公称管。

探头内的流体速度是无法直接测量的，但是可以计算出来。有时，人们假设探头内的流速与输送管路内大致相同，但这是错误的。有些情况下，由于卡套管或公称管的尺寸不同而存在相当显著的差异。另外，对于气体，探头内的压力比输送管路内高时，其流速就会相对较低。

请记住，对于气体，*压力越高流速越低*。加快 AI 系统内流速的方法之一就是降低压力。

示例 3：探头内液体的流量

要计算探头的延时，我们首先必须确定探头内的流体速度。液体的计算公式为:

探头内流体速度 = 工艺管路内体积流量 / 探头的单位长度容积

延时 = 探头长度 / 探头内流体速度

针对前面所述的输送管路，考虑一个使用 18 英寸 (1.5 英尺) 的二分之一英寸的规格 80 公称管制造的探头。

工艺管路流量 = 5 liter/min = 5,000 cm^3/min

每英尺探头容积（½ 英寸公称管）= 46 cm^3/ft*

*从表 1 查得。

探头流体速度 = 5,000 cm^3/min / 46 cm^3/ft

探头流体速度 = 109 ft/min

延时 = 1.5 ft / 109 ft/min

延时 = 0.014 min = 0.8 sec

结论：该探头的应用延时极小，不到一秒。与示例 #1 的结果结合在一起后，液体样品的总时延为 30.8 秒，符合一分钟行业标准。

示例 4：探头内气体的流量

由于在抵达野外站内的调压阀后才能调压，因此很多情况下探头内的气体压力都比输送管路内的压力高得多。探头内气体样品的计算公式与液体样品基本相同，只是增加了一个压力变量。

探头内气体速度 = (工艺管路体积流量 / 探头的单位长度容积) x (流量计内压力[1] / 探头内压力[2])。

[1]输送管路上的流量计。

[2]探头内的压力与工艺管路内的压力相同。

代入示例 3 内使用的数据，我们得到:

探头内气体速度 = (5,000 cm^3/min / 46 cm^3/ft) x (15 psia /300 psia)

探头内气体速度 = (109 ft/min) x (1/20)

探头内气体速度 = 5.45 ft/min

延时 = 1.5 ft / 5.45 ft/min

延时 = 0.27 min = 16.5 sec

结论：与示例 #2 中的传输管路一起使用这个探头，并且调压阀在野外站内时，响应时间将为一分钟零 16.5 秒。探头位于调压阀之前，因此探头内的压力是无法控制的。当要求一分钟响应时间时，必须采用较小的探头和/或增加输送管路的流量。

野外站

对于气体，可使用野外站减小输送管路或快速回路内的压力。在相同的流量下，输送管路延时的缩短幅度直接与绝对压力的降低幅度成正比。压力降低一半时，延时将缩短一半。

野外站应尽可能靠近取样口。降压的时间越早越好。

对于液体样品，不采用调压野外站。最好把液体保持在高压力以避免产生气泡。

当液体样品需转变为气体后再进行分析时，可以在野外站内安装一个汽化调压阀。汽化调压阀将产生较长的延时。当液体转变为气体时，体积将剧烈膨胀。膨胀率取决于液体的分子重量。

一般，调压阀后蒸气流量测值将是汽化调压阀前液体流量的 >300 倍。例如，当蒸气流量为 500 cm^3/min 时，液体流量可能还不到 2 cm^3/min。因此，液体将需要 25 分钟才能流过一段 10 英尺长的四分之一英寸卡套管。为了缩短这段时间，我们必须减小调压阀前的卡套管容积。例如，使用长度仅为一英尺的八分之一英寸卡套管时，仅需要 30 秒时间液体就能够到达调压阀。不过，这个时间还必须加上探头内的延时。探头越细，响应越快。

可用于加快响应的另一种方法是把调压阀安装在尽可能靠近分析仪的位置。在图 2 中，调压阀位于快速回路过滤器后面，同时使用另一个液体快速回路保证汽化调压阀之前的快速液体流动。这种设计的目的是最大程度地减少抵达蒸气调压阀的慢速液体量。

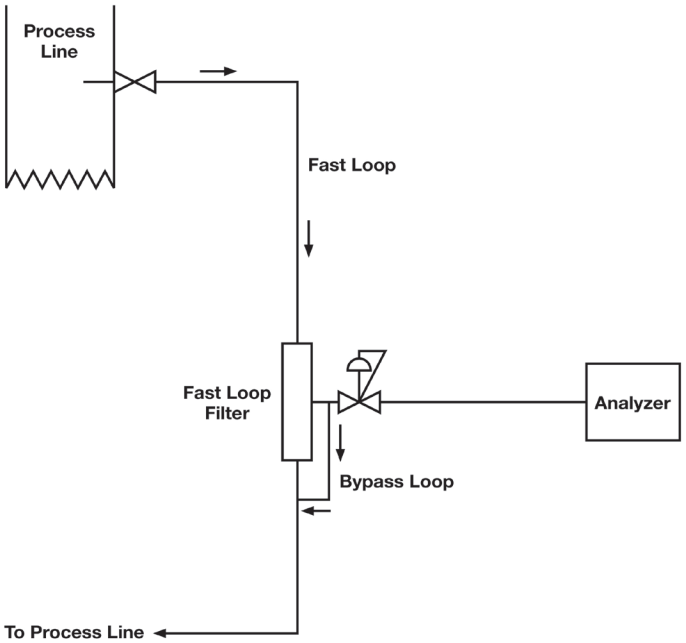


图 2。汽化调压阀位于快速回路过滤器后面。第二条液体流动回路消除了通常在汽化调压阀液体侧发生的长延迟。

流切换

从延时角度看，流切换组件的速度必须快，而且在把新流送到分析仪时必须能够快速冲洗干净旧样品。双关断和排放 (DBB) 阀构造目前采用传统元件或小型模块式设计，能够提供死角小且无阀门泄漏造成的交叉流污染的流切换。

传统 DBB 构造采用串联的 DBB（图 3），从而可通过使用第二个截止阀而非 T 形连接件来消除死角。

DBB 串联构造的一个问题是流道曲折，因此导致压力降低、流速慢。可以通过查看产品的 C_V（一个流阻指标）来估算压力降。C_V 越低，压力降就越大，流速就越慢。

在 DBB 串联构造中，主流（图 3 中为流 1）不会导致过高压力降，但是流 2、流 3 等会产生越来越大的压力降和更长的流道，从而导致抵达出口的行程时间越来越长。

结果造成不同流的抵达时间不同，因此难以为所有流设定统一的冲洗时间。

采用集成流动回路的 DBB 构造（图 4）具有 DBB 串联构造的全部优点，同时又能保证所有流的压力降都一致并且很低。各流的 C_V（决定各流的抵达时间）都是相同的。请注意，C_V 为 0.3 的元件产生的压降是 C_V 为 0.1 的元件的三分之一。

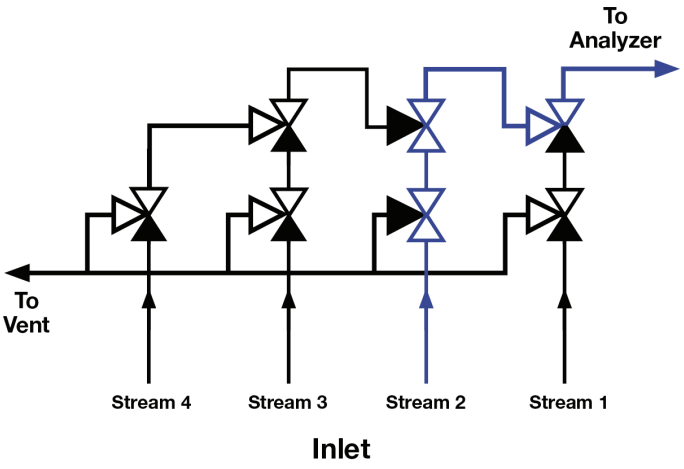


图 3。串联式 DBB 构造通过用第二个截止阀取代 T 形连接件来消除死角。

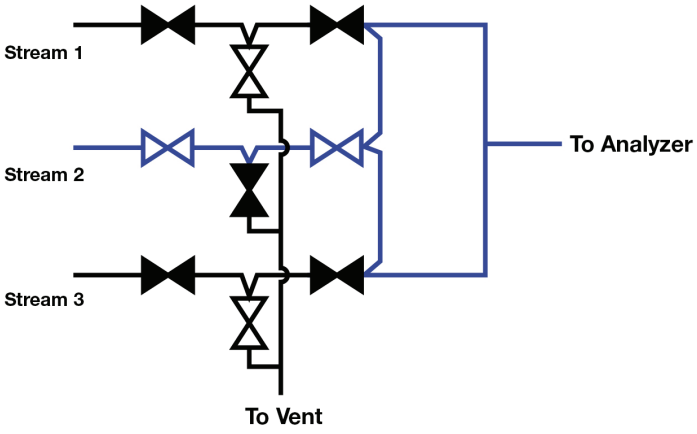


图 4。采用集成流动回路的 DBB 构造通过为所有流体流提供一致的压降和一致的送达时间而改善了串联的 DBB 构造。

样品调整系统

样品调整系统用于在分析之间对样品进行处理。样品调整系统对样品进行过滤以确保样品处于正确的相并调整样品的压力、流动和温度。这种系统使用的部件很多，包括压力表、调压阀、变截面流量计、流量控制器、单向阀、控制阀、球阀等。

这些都是较小的部件。通常使用小型模块式元件。小型模块式部件是根据新型取样/传感器计划 (NeSSI) 的ANSI/ISA 76.00.02 标准制造的。

像流体切换阀一样，关键之处不是内部容积而是压力降。在选择元件时，应比较制造商提供的 Cv。

样品调整系统使用的过滤器、汽液分离罐、凝聚过滤器等其它元件可能会使进入的样品与旧样品混合，因此也会导致显著的延时。需要三倍部件容积的样品才能冲洗干净过滤器或脱离罐 – 清除 95% 的旧样品。这条结论的前提是入口和出口是相邻的，如图 5 所示。

假设有一个其入口和出口设计如图 5 所示的过滤器：当流量为 100 cm^3/min、过滤器容积为 100 cm^3 时，需要三分钟才能保证冲洗掉 95% 的旧样品。因此，为了确保样品准确，在计算这种 AI 系统的延时必须加上三分钟。

这些计算公式也适用于工艺管路内的混合容积。

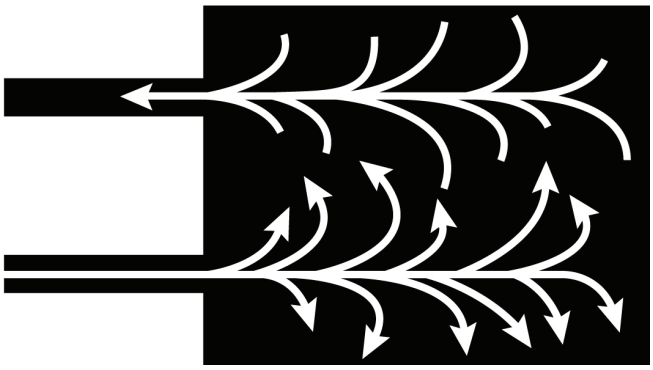


图 5。带有相邻入口和出口的混合容积。

分析仪

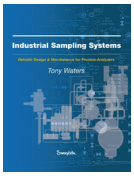
根据经验，气相色谱仪需要五到 10 分钟的时间来分析样品。红外线和紫外线分析仪的速度则快得多，在数秒内就能完成分析。分析仪专家、技术员或工程师必须知道分析仪处理样品所需的时间。必须在上文所述的从取样口到分析仪的总延时估算值的基础上加上这段时间。

结论

使用上面所述的工具计算出的总延时应该是一个处于合理误差范围内的估算值。请记住，重要的是从被监测工艺到分析仪所需的总时间，构成这一延迟的所有元件都必须加和到这个总时间内。

上述讨论应该能够使分析仪专家注意到关于样品时间的一些错误假设，特别是关于探头、野外站内的汽化调压阀等常见问题点的错误假设。分析仪专家应该能够根据上述讨论与流体系统提供商或顾问一起正确选择元件以及构造（如取样口位置、快速回路设置、恰当的管径、流体切换结构等）。延时是一个需要分析仪专家密切关注的问题。错误的假设可能会使分析仪专家的所有辛苦工作付之东流，并导致昂贵的分析仪本身失效。

资源



有关更多信息，请参阅由专家 Tony Waters 编纂的权威取样系统参考指南：世伟洛克手册*《工业取样系统》*(2013)。

作者简介

Doug Nordstrom 是世伟洛克公司通用工业阀门的产品经理，他的主要工作是拓展公司业务并成功地将阀门销往石油和天然气、化工、炼油、电力及一般工业细分市场。他曾担任调压阀产品经理、化工市场经理，并曾经在世伟洛克从事过新产品开发工作，为世伟洛克获得了包括 Swagelok® 液流选择阀 (SSV) 和模块化平台元件(MPC) 在内的多项产品专利。Nordstrom 获得了凯斯西储大学 (Case Western Reserve University) 的机械工程理学士学位、肯特州立大学 (Kent State University) 的工商管理硕士学位。

Tony Waters 拥有 45 年的工艺分析仪与取样系统经验。他曾在分析仪制造公司、最终用户和系统集成公司从事工程和市场营销工作。他成立了三家公司来为流程工业提供专业分析仪服务，是炼油厂、化工厂工艺分析仪应用专家。Waters 特别熟悉工艺分析仪培训课程，曾在亚洲、欧洲、中东、北美、南美的许多国家授课。他的课总是特别受欢迎，对工程师和维护技术人员都具有吸引力。

© 2017 世伟洛克公司，CORP-0148-01CN