



# 如何管理分析系统中的汽化现象

作者: Dean Slejko 和 Tony Waters

如果您的分析系统中的分析仪需要气体，而您的样品是液体，唯一的办法是将液体转化为气体。这一过程称为汽化或闪蒸汽化。目的是将纯液体样品快速转化为纯蒸气 - 而不改变成分。

汽化样品并不容易，也并非总是可能的，因此在您尝试之前应确保汽化样品真的是必需且可能的。除非有充足理由需要在气相下进行，否则应始终在液相下对液体进行分析。

如果您开始进行汽化，了解蒸发和汽化之间的差别非常重要。蒸发随着温度的升高逐渐发生。而汽化随着压力的下降瞬时发生。通过升高温度来汽化样品是不可能的。热量会导致蒸发，增加更多热量只能使蒸发进行得更快。

在混合样品中，蒸发会使某些混合物先于其它成分蒸发，从而造成分馏。在操作正确的情况下，汽化可以确保所有混合物同时汽化，从而保持样品的成分。

尽管如此，汽化时也可能出错。您可能会无意中造成汽化和蒸发的同时发生，而不是瞬时将全部样品变为蒸气。结果可能是分馏。一旦混合物样品发生分馏，就不再适合进行分析。对于分馏，一种常见的情况是较轻的分子先蒸发并流入分析仪，而较重的分子仍保持液相状态。即使在过程的稍后阶段分馏的样品都显现为气体，混合气体的分子比例与分馏之前已不再相同。它将不再能够准确代表从工艺管路所取的产品。

我们来详细了解一下汽化过程以及我们该如何控制其中的变量（温度、压力和流量）来确保进行正确汽化和得到准确的分析结果。

## 了解汽化

要汽化样品，一般使用汽化调压阀，也称为汽化器，它是一种减压调压阀，能够在准确位置将热量传输给样品。

汽化是一个包含三个阶段的过程（图 1）。首先，样品作为液体进入汽化器。此时，液体不应起泡或沸腾。

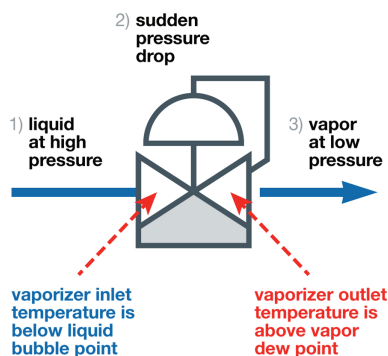


图 1。三个阶段的汽化过程。

其次，液体经过汽化器的调节孔，造成剧烈而突然的压力下降，使液体汽化。同时，供给热量，使汽化的液体保持气态。

最后，现为气态的样品从汽化器流出，进入分析仪进行读数。由于突然转变为汽相，气体成分与液体成分相同，从而可以确保读数准确。

这一过程非常敏感，有很多可以决定成败的变量或输入值。出于本讨论之目的，我们假设主要有两组输入值。

第一组输入值涉及样品的成分。根据样品的成分，它将在不同的压力和温度下开始起泡和完成汽化。我们需要知道这些压力和温度才能成功控制汽化过程。



第二组输入值涉及您在取样系统中控制的各项设置：压力、温度和流量。压力和温度在汽化器中控制，而流量受下游的转子流量计（变截面流量计）和针阀控制。根据我们对第一组输入值所了解的信息设置这些输入值。正确的汽化要求保持所有输入值的精密平衡。

即使以上述系统方式进行汽化，该过程还需要进行一些试验，并会产生些误差，因此我们还将讨论如何诊断和解决这些问题。

## 了解您的样品

了解第一组输入值的最佳方法是相位图。相位图可以标绘压力和温度，显示在任一对条件下物质是汽相、液相还是固相。图中的线指示两种相之间的界面。

大多数纯气体的相位图可在互联网上找到，例如：<http://encyclopedia.airliquide.com>。但如果没有商业软件，则极难创建混合气体图。

图 2 代表含 20% 己烷的戊烷的相位图。当样品高于始沸点（蓝色线）时，它全部为液相。我们希望样品在进入汽化器时全部是液相。当混合物低于露点（金色线）时，它全部为汽相。样品离开汽化器时必须全部为汽相。

在始沸点和露点线之间的部分我们称之为不过端区。该区是样品的沸腾范围。在这里，混合物处于两种状态，部分为液相，部分为汽相。样品一旦进入不过端区，即被分馏，不再适合进行分析。汽化的目标是设置温度、流量和压力，使样品直接从不过端区的液相侧瞬时跳到不过端区的汽相侧。

对于纯和近似纯样品，几乎没有沸腾范围或不过端区。始沸点和露点线紧挨着或几乎紧挨着。确实，纯和近似纯样品会转化为相同成分的蒸汽，无论是通过蒸发还是通过汽化。某些工业样品接近这种程度的纯度，转化很容易。

另一方面，某些样品的沸腾范围或不过端区非常宽，以至于无法成功汽化。没有办法从不过端区的液相侧直接跳到不过端区的汽相侧。我们无法控制变量（温度、流量和压力）以避免分馏。

大多数样品都处于这两个极端之间。例如，在图 2 中，始沸点和露点之间的区域非常狭窄，只要设置正确，我们就能够使样品有效地从不过端区的液相侧跳到汽相侧。同时，图 2 中的这一区域又相当宽，我们承担不起疏忽造成的后果。我们确实需要熟练控制各个变量，否则我们最终就会将样品置于不过端区。

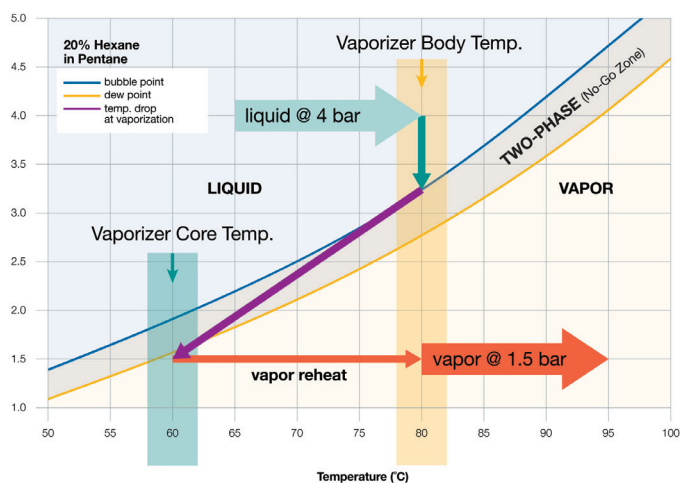


图 2. 显示含 20% 己烷的戊烷的相图，带温度设置



## 设置温度、压力和流量

我们来继续研究图 2 中的样品（含 20% 己烷的戊烷），看看我们该如何设置我们的输入值以确保成功完成汽化。

一般而言，在进口，我们需要高压和低温。在出口，我们需要高温和低压。但是这些参数应该多高和多低是有限度的，并非所有参数都在我们的完全控制之下。汽化基本上是各个变量之间的平衡作用。

以下是包含四个步骤的设置输入值的过程。

**第一**，确定汽化器的进口压力。该压力是固定的，倘若您的汽化器位于样品取样口附近，则是您的工艺压力。在图 2 中，该压力是 4 bar。压力越大越好，因为这样您就可以在不使进来的液体沸腾的情况下保持更高的汽化器温度。

**第二**，设置您的进口温度，或您的汽化器的温度。有两个目标。第一，温度必须足够低以便样品进入汽化器时完全处于液相状态并且不起泡。在图 2 中，4 bar 时的始沸点是 88°C，但我们要建立一个缓冲，那么我们选择 80°C，距离 88°C 足够远的一个约整数以确保安全。

第二个目标是温度必须足够高以促成样品的完全闪变，确保只有蒸气离开汽化器。汽化样品时，根据能量守恒定律，温度会下降。样品温度开始时必须足够高，以便压力下降后样品不会处于沸腾范围或不过端区。在图 2 中，压力下降后的蒸气温度是 60°C，正好处于露点线的气相侧。

**第三**，我们来设置汽化器的出口压力。您的目标是将压力降到金色露点线以下。在图 2 中，出口压力设置为 1.5 bar。在此例中，如果出口压力再高一点儿，样品将不能完全汽化。它将分馏。

**第四**，设置您的流量。流量在下游的阀门和转子流量计设置，而不是汽化器设置。在取样系统中，最好设置较高的蒸汽流量，因为这样样品可以更快地流入分析仪。但是，高流量也会带来问题，因为在高流量下，需要更多热量来汽化样品。换言之，高流量导致汽化时的温度下降更大。在图 2 中，紫色线说明温度下降。随着流量增加，紫色线将更急剧地向左倾斜。

影响温度下降的另一个变量是汽化器的热量传输能力。某些汽化器在构造上使热量能够更有效地传输给样品。当液体样品转化为蒸气、温度下降时，它会从周围的不锈钢吸收热量。关键问题是汽化器恢复该热量并将其传输给样品的效率如何。样品能够吸收的热量越多，它在汽化过程中温度的下降就越小。

在某些情况下，汽化器的外面可能摸起来很烫，而里面的内核却很凉。这是因为被汽化的样品正在吸收大量热量，而汽化器无法传输保持温度所需的足够热量。最佳解决方案是降低流量。

总之，图 2 中紫色线的角度是流速和汽化器热量传输能力的共同产物。有了优良的汽化器和较低的流量，该线将变得更为竖直。不幸的是，没有一个简单的方法可以用来计算紫色线的位置，也无法用任何已知的软件程序来生成其位置。因此，汽化带有一定近似性。根据经验，应尽量降低流速，同时要确保不造成样品到分析仪行进时间的不可接受延迟。从较低的流速开始，然后试验逐渐提高流速，比从较高的流速开始要好。



## 故障排除

相位图将使您能够估算温度、压力和流量设置，但仍然需要某些故障排除方法。出现问题的一个确定的因素是分析仪结果存在较差的重复性。

样品被分馏而不是汽化存在两种可能性，问题 1 更为常见：

**问题 1：**只有部分样品被汽化。液体通过汽化器并滞留在下游的卡套管中。最终，液体会蒸发。蒸发时液体会从周围卡套管吸收热量，使卡套管摸起来很凉或造成结霜或结冰。

**指标：**汽化器出口和下游卡套管摸起来很凉或表面有霜或冰。

（注：在很多情况下，汽化器下游的液体可能会穿过汽化器进入其它元件，如流量计和过滤器，这会造成相当大的损坏。）

**解决方法：**在上述问题中，您的最佳选择是降低流速。另一个选择是降低汽化器出口压力（如果可能的话）。第三个选择是增加输入汽化器的热量，但在这种情况下，您要承担出现问题 2（参见下文）的风险。

**问题 2：**样品在汽化器进口沸腾。样品在汽化之前分馏。较轻的分子蒸发并产生厚厚的一层蒸气分子。其中一些较轻的分子会移动到分析仪上，从而给出不准确的分析结果。其余部分会形成将液体回推到过程中的“蒸气墙”。之后，部分蒸气墙冷却凝结。最终，液体样品重新流向汽化器，在汽化器中，较轻的分子蒸发，循环再次开始。最终，较重的分子到达汽化器，然后向分析仪移动，从而给出完全不同的分析结果。这一周期性分馏过程导致测量值出现波动。

**指标：**汽化器进管颤动，有时很剧烈，测量值随着轻组份与重组份的异相循环而波动。

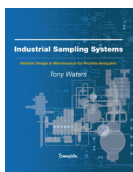
**解决方法：**降低汽化器温度。

## 结论

汽化液体样品是复杂的。在全球很多取样系统中，每时每刻汽化器都会分馏样品，将不具代表性的样品送入分析仪。通过研究您系统的特殊混合物的相位图，可以极大提高成功的机会。通过了解汽化过程的具体情况，尤其要了解是哪些变量（温

度、压力和流量）在起作用及其对汽化结果的影响，能够进一步提高成功机会。有了这一框架，您能够实现正确的设置，从而可根据观察到的迹象和征兆进行调整。

## 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

**Dean Slejko** 是世伟洛克公司分析仪器产品经理，他的主要工作是拓展公司在样品处理系统应用领域的解决方案和服务。在加入世伟洛克之前，Dean 担任与工艺控制、电力管理和公用事业计量应用解决方案相关的市场和产品管理职位。Dean 拥有 Case Western Reserve University 的环境工程科学学士学位和工商管理硕士学位，并且是俄亥俄州拥有执照的专业工程师。

**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。