SPE 71480

高压分离器中泡沫监测技术的发展

M.K. Poindexter, SPE, and S.C. Marsh, Nalco/Exxon Energy Chemicals, L.P., and G. Fransen, Agar Corporation

摘要

墨西哥湾的深海平台油气产量巨大。受限于平台有限的空间，为了达到生产预期，不得不缩小一些分离设备的尺寸，更多的水下生产活动也因此被限制了。一旦需要扩大产量，所有分离设备不得不超负荷运行。另一方面，通过增加井口数量来促进产量增长则会改变现有产品的泡沫特性。如果泡沫增多，对生产活动会有很大影响。

高压分离器（HPS）是油气分离的第一步。高压分离器对油气进行有效分离十分重要，否则将降低下游压力容器的工作效率。平台甚至会因为过多的泡沫发生非必要的、意外的停产。

起泡会产生双重问题。当分离器顶部出口产生泡沫通常气体也可能会从底部出口混入。这个双重问题通常可以通过监测压力，流量以及液位来发现。但是往往这些仪表被安装在高压分离器之后，而且有的还不能即时反应泡沫的迅速增长。一种安装在 HPS 内部的新型探针将用以即时检测分离器中的起泡问题。在实验室和实际生产中对探针是否能够应用于 HPS 的高压力和高流量进行实验评估。运用探针同样也可以辅助优化止泡剂/阻沫剂使用。

引言

现在将从储蓄容器到生产设备的石油产品无间断连续高效生产称作流动生产安全保障。蜡状物、沥青质、水合物以及水垢等沉积是妨碍连续流动的首要问题。但是，连续不间断的流动也同样会产生流动生产问题。两个常见的例子就是意外的乳化和泡沫。可以预见，仪表监测、防止此类问题的发生对工艺过程的重要性不言而喻。这篇报告将着眼于流动安全生产，提出一种在 HPS 内部监测响应起泡的新方法。

本文将引用一些泡沫，液位监测仪表，他们大多被应用于石油石化产业中，为一些常见的技术工艺，包括运用电容原理，电磁辐射，反向散射，压差、声波反射原理的仪表设备。由于区分泡沫和液体的密度以及其他化学特性并不容易，所以通常检测泡沫与气体界面之下的液位会更加容易。

运用能量吸收原理的探针被用于检测油水混合物中的含水率已经有多年历史了。这种探针已经同样运用在油水连续相系统中。通过测量微波吸收量测出发射范围内的含水率。探针由三个主要部分组成：发送器，天线以及一个信号变送器。输出与含水率成比例的 4-20mA 模拟信号（输出越大含水率越高）。在实际使用中，探针也

能有效监控两相混合物中的泡沫含量（例如胺与乙醇）。

最近的实验结果表明，该探针也能够监测含水或其他极性材料的系统。通过标定 4-20mA 模拟信号跨度从纯气（4mA）到纯油（20mA），探针能够在实验室和实际生产中可再现性的检测出相对的气/油比率。此外，该方法可以延用到纯油与其他无水，无极性液体系统中的泡沫监测。

泡沫含量的定义是由气体体积分数/气液混合物体积得到的，越干的气体含气率越高，反之亦然。若监测仪表能够即时连续不间断的得出泡沫含量参数将会对不确定系统泡沫含量的监测有很大帮助。通过测定真实即时泡沫含量，操作人员能够有效了解生产状态以及及时做出调整维持气/油比率。不仅如此，恰当的安装探针可以在工艺过程或物料向储罐输送过程中正确识别泡沫。这种形式的应用可以在任意探针位置测定泡沫含量。

对于 HPS，气体分离要求严格，环境复杂，但是运用探针可以确定任意时刻储罐内部的物料含量。通过测定工艺过程中 HPS 的内部状态可以减少很多下游生产中传统仪表的使用。

实验室泡沫研究

实验室研究包括将探针垂直安装在 500mL 小尺寸玻璃 demo 上。然后在纯油中发泡，让探针被不同状态的泡沫包围。图 2 为探针天线与护罩。用小尺寸（10-30μm）的玻璃熔铸器具（46mL）在纯油中用氮气发泡。图 3 为实验的配置。

为了了解探针在 HPS 上层气相或者下层液相中如何工作，将探针垂直安装在距离排水口 3 倍天线长度的位置。首先探针末端天线被安装在紧贴油层上方的位置，氮气开始制造泡沫。同时泡沫体积分数与用万用表测得探针天线的输出信号反映在图 4 中。

在检测到泡沫之前信号为 3.6mA，当泡沫下降，即使探针杆和天线表面附着有泡沫液体，信号也会回到 3.6mA。当泡沫上升到 155mL，探针信号增加到 3.63mA（红线）。但是信号输出的变化很小，而 4-20mA 标准输出信号可以在任何设定下进行重新标定。（气与油、气与水）。

第二个实验是向泡沫筒内加入纯油使气液界面达到 90mL（如图 4 所示）。这样设定来表示探针处于该界面。继续发泡使泡沫上升到 465mL。在此过程中探针读数从初始的 3.72mA 降低到 3.64mA 然后在泡沫收缩之后又回到 3.72mA。油滴同样会附着在探针外表面，但是并不会影响读数的再现性。

第三个实验是第二个实验的变形。即继续向容器内加入油品，使油层界面上升到完全覆盖住探针天线（见图 4 的右部分）。增加的油品使初始信号变化为 3.77mA。继续用氮气发泡使泡沫达到最高 485mL，即实验 2 中的 3.66mA 位置。停止供气使泡沫收缩，探针信号再次回到初始的 3.77mA。第三个实验描述了探针天线在气体连续相之下的工作情况。

如图 4 所示，在第一个试验中，探针信号随泡沫高度成比例的升降，但是在第二个试验中却呈现相反的情况。这就解释了在空气中读数更低而在油品中读数更高的原因。有泡沫的信号读数一定介于纯油和气体之间。

在第一个实验中，探针先处于空气中然后再检测到泡沫。泡沫信号值低于其他两个实验中的信号值是因为泡沫的浓稠程度不同，它更稀释。这个结果与“探针先处于油品中再发泡”是相反的。

在不同油品高度进行区别实验的另一个目的是为了证明探针工作不受油品/泡沫界面位置的影响。例如，探针安装在 HPS 内部，无论液位怎样改变，探针依然能够检测到内部油/气界面的改变。

实验室辅助研究

天线。上述实验天线护罩内径为 16mm 以及另外一种较大的护罩直径为 28.5mm。由于天线尺寸更大，所以需要使用一个不同的发泡容器（1L）。在三个油层高度大尺寸护罩天线的初始信号并没有从 2.08mA 波动。这说明信号传输的距离对监测泡沫的精度十分重要。

雾化。分离器中的高压气流（>200MMSCFD）使雾化不可避免。探针被安装在气相中会发生不同程度的雾化。这种现象有可能会影响泡沫检测的精确度。为了检测探针能否确定雾化，将两个实验容器充满水，达到相同的液面高度，将探针公平的浸入液体中。检测到一个可以忽略的信号变化（+0,02mA）。结果标明，探针对雾化信号并不敏感，不会将雾化信号检测为泡沫。

温度。温度对探针信号的影响是必须在考虑范围内的，因为不同井口会有不同的温度，以及温度变化程度。尽管很多检测仪表安装在分离器内部，但是温度因素也是会被考虑的。其次，这有利于将应用于相似工况下的其他位置。在墨西哥湾 6 个不同的信号高度 225mL，个别的达到 500mL 量筒刻度。当探针被浸入油品中，三个温度的刻度将会被记录（21,42,54℃）。如图 5 所示，6 个原油样品中的探针信号并没有随着温度变化而改变。这适用于非极性溶剂：甲苯，但对于甲醇一类极性溶剂，信号随着温度反比例变化。这种逆相关特性标明了极性溶剂可极化微粒的变化与温度的关系，但是这种关系在非极性液体上并不明显。

现场结果

实际设备是图 1 所示模型的大尺寸版本。实际探针外径达到 31.75mm，长度由 HPS 决定。由于探针是插入式设备，它必须承受分离器内部的压力与流动，所以在安装之前需要确认探针的完整性。根据以往经验，引文探针的工作环境复杂，必须确保探针的完整性。一些压力测试损坏了探针顶部的不锈钢管。如果压力测试峰值不能达到 28718 磅，探针就不能用于分离器：用设备代表性部分测试，内部压力值达到接近实际油田系统的 23405psig，更多的其他测试包括，各种 HPS 工作情景中的压力与剪应力测试。结果表明在安全范围内探针的结构完整。迄今为止很多探针已经服役两年以上，没有发生任何探针结构性损坏的情况。

探针安装时，天线可能处于气相或液相中。根据开孔情况不同，探针也有水平安装与垂直安装。实验结果表

明无论哪种安装方式都不会影响测量结果。

在上面两个例子中，探针安装在气相中。两种情况中，探针都不会检测工艺过程的变化以及阻沫剂用量的变化。但是安装在分离器底部的部分往往会灵敏地检测到过程变化。不确定探针是否插入到泡沫中或是泡沫在分离器中收到静电干扰，实验设置垂直如图 3 所示。HPS 中的高气流率会使干燥泡沫迅速雾化，对于湿的泡沫更浓密的泡沫会留存于 DPS 底部。鉴于气/油分离逐渐减少，湿泡沫预计会移动到 HPS 底部直到气体开始进入下游低压分离器。现场测量表明探针可在液体中测量。

图 6-9 举例说明了探针在多种工艺过程以及阻沫剂用量情况下的测量情况。在图 6 中，高含气井被高压分离器从多个混合井口中分离出来。其变化很容易被 HPS 的气体流量计和液相探针检测到（如 B 所示）。纵坐标代表 5 个不同参数，其中 4 个有明显不同的刻度范围。测量了下游中压分离器以及结合含气率还有气相探针数值，不含阻沫剂变化。

图 7 为阻沫剂优化。液相探针很容易检测到其他气体仪表不能检测到的阻沫剂用量减少。图 8 所示 HPS 引入阻沫剂，降低了含气率。根据数据，液相探针再一次唯一检测出了用量的变化。如图 8 所示气相探针信号周期性的升降：但是这些变化与任何已知过程或阻沫剂用量变化并不匹配。最后一个例子中图 9 展示了持续 80 分钟的生产率增加。这些变化很容易因含气率与 HPS 细微的含气率结合变化所影响，尽管这些变化幅度很小。在整个过程中没有检测到泡沫变化。这是因为，生产率的增加与显而易见的泡沫增加并没有必要关联。

含水产品。上述例子中并没有涉及产品中含水的情况。但是，在一处装置中发生了水的混入。虽然含水率仍然很低，仅有 6%，但是在没有泡沫的情况下水依然被探针检测到了。在这种情况下，探针只是最初在纯油中标定初始信号为 18mA。在多个点这样做是为了帮助检测水混入。探针检测泡沫在下述情况中同样表现良好：当含水量轻微变化时，探针读数依然变化。接下来将要关注测定多少含水会影响泡沫测量的精确度。

总结

当些微湿泡沫产生时，安装在高压分离器内部的基于微波吸收原理的探针将会即时检测到。然而安装在分离器外部的传统仪表（压力，流量，液位）在某种程度也能够追踪工艺过程。但是这存在一个信号延迟。对于工艺条件的即时响应才能对发泡做出有效对应。

探针能够检测生产变化，如多个混合井口中某些井口变化对生产率产生的变化。某些混合物难以分离或者需要不同的化学处理来维持预期的生产效率。同时也演示了如何进行阻沫剂的优化使用。在情况变得更坏之前探针就能够检测出可能发生的泡沫情况。

未来可以聚焦于将气相探针安装在靠近分离器顶部气体出口的位置。由于开口位置的限制，现在已经存在的分离器选择很少。将来可以在设计分离器时就将插入口也设计好。

缩写词

DC= direct current 直流电流
GHz = gigahertz (109 cycles/sec)
千兆赫兹
HPS = high pressure separator
高压分离器
ID = inner diameter 内径
IPS = intermediate pressure separator
中压分离器
mA = milliampere 毫安
mL= milliliter 毫升
MMSCFD= million standard cubic feet per day
百万立方英尺每天
mm= micrometer 测微计
OD = outer diameter 外径
RF= radio frequency 无线电频率

致谢

我们十分感谢 Oilfield Chemicals Research Group of Nalco/Exxon Energy Chemicals L.P.对我们的赞助，已及 Agar 公司提供的各种实验仪器设备。特别感谢 John Hera, Dale Landry, Steve Neff, Gregg Swindle, and John Waldvogel（Nalco/Exxon）对现场实验的帮助，Andrei Strikovski (Agar)对于压力与剪应力的计算，Ismael Fiecas (Agar)对探针的标定。此外，对 Bob Adamski, Sheila Dubey, and Gene Holloway (all of Equilon Enterprises LLC)表示感谢，感谢他们设计制造了用于实验室研究的 500mL 玻璃泡沫研究装置。

参考文献

1. Fu, B. Flow Assurance – A Technological Review of Managing Fluid Behavior and Solid Deposition to Ensure Optimum Flow, Deeptec 2000 7th Annual International Forum on Deepwater Technologies, Aberdeen, U.K.; IIR Limited, January 26-28, 2000.
2. Laurence, L.L. Foaming Crudes Require Special Separation Techniques. *World Oil* **1981** (November), 103.
3. For reviews on foam/liquid level monitors, see: (a) Hall, J. Measuring Interface Levels – Matching Devices with Applications. Instrum. Control Syst. 1981, 54(10), 31. (b) Liptak, B.G. Level Measurement. Chem. Eng. 1993, 100(3), 130.
4. (a) Agar, J.; Zanker, K.J. (assigned to Agar Corporation), US 4,503,383; March 5, 1985, filed January 7, 1982. (b) Agar, J. (assigned to Agar Corporation), US 4,774,680; September 27, 1988, filed September 19, 1986.
5. Poindexter, M.K.; Emmons, D.H.; Marsh, S.C.; Edwards, M.C. (assigned to Nalco/Exxon Energy Chemicals, L.P.), US 6,121,602; September 19, 2000, filed June 18, 1998.
6. (a) Schramm, L.L.; Wassmuth, F. Foams: Basic Principles, in Foams: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry; Schramm, L.L., Ed.; Advances in Chemistry Series 242; American Chemical Society: Washington, DC, 1994, p 7. (b) In the preceding text, for a formal definition of foam quality see, Chambers, D.J. Foams for Well Stimulation, in Foams: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry; p 359.
7. Bikerman, J.J. Foams, Springer-Verlag: New York, 1973, p 1.
8. The 4-20 mA signal for the lab unit, a simplified demo unit, was calibrated against

air and water. Recalibration was not possible, nor necessary for the lab studies.

9. For dielectric constant dependence on temperature for numerous liquids, see CRC Handbook of Chemistry and Physics, 67th ed.; R.C. Weast, Ed., CRC Press, Boca Raton, 1986-1987, p E-50.
10. Tests were kindly performed by the Swagelok Company.
11. Unpublished results. Sample calculations are available upon request from Nalco/Exxon Energy Chemicals, L.P. or the Agar Corporation.



Figure 1. Probe used in laboratory studies.



Figure 2. Antenna (bottom) and antenna guard (top)

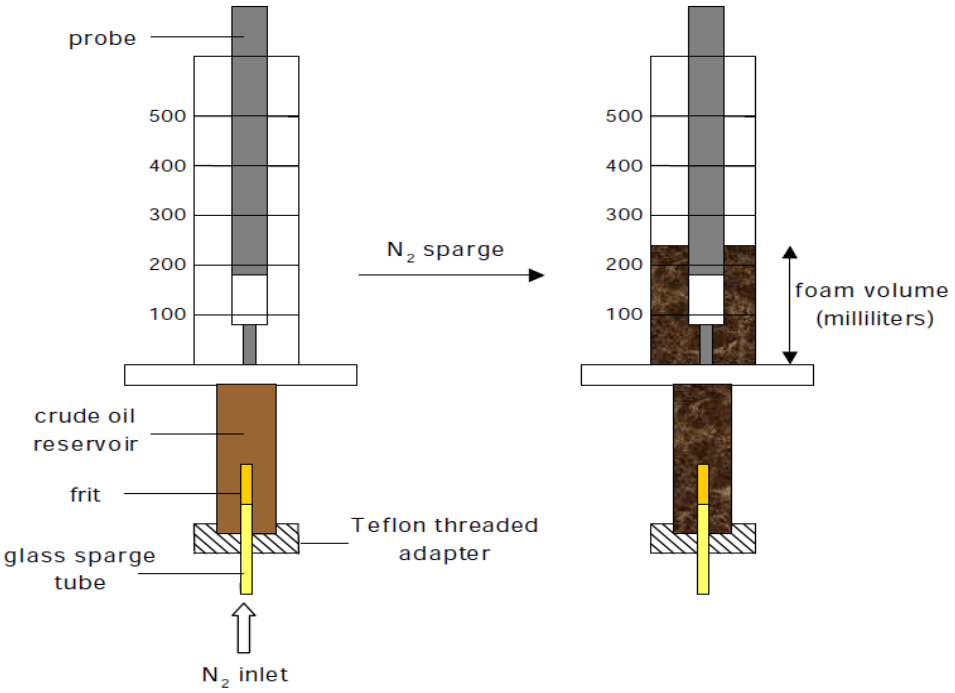


Figure 3. Configuration of probe in laboratory foam studies.

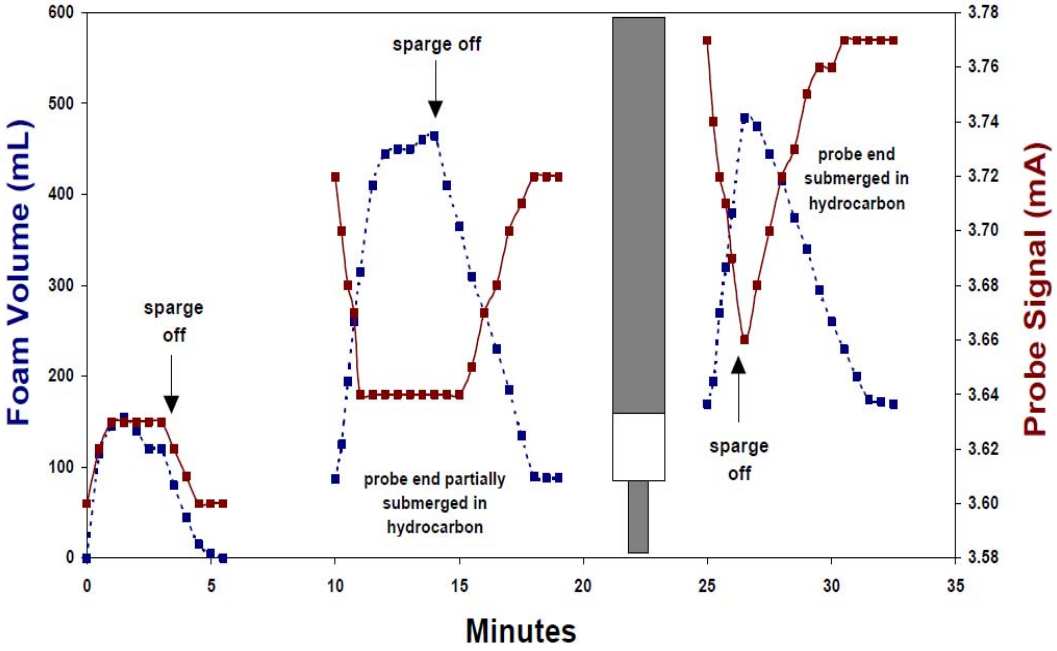


Figure 4. Probe sensitivity studies.

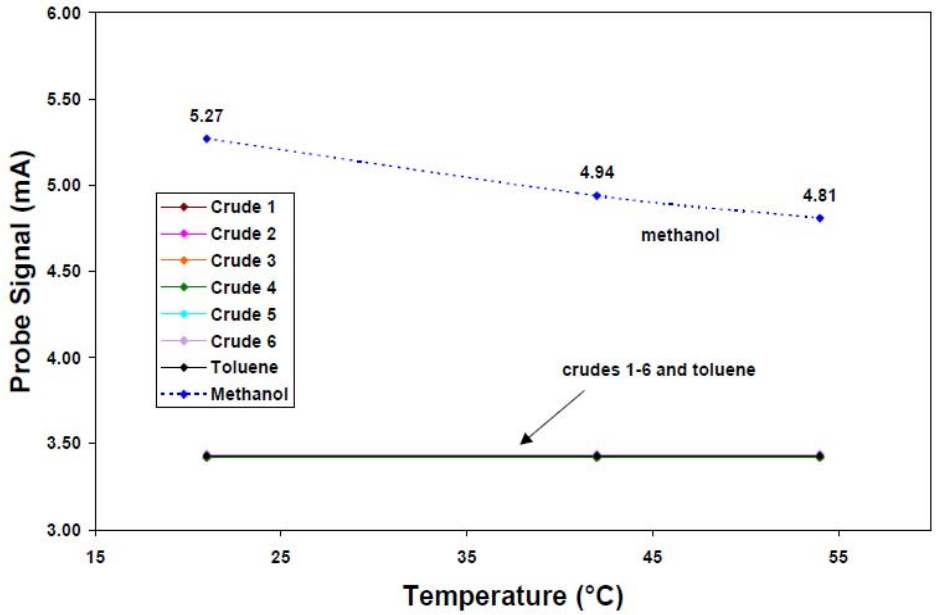


Figure 5. Effect of temperature and fluid composition on probe signal.

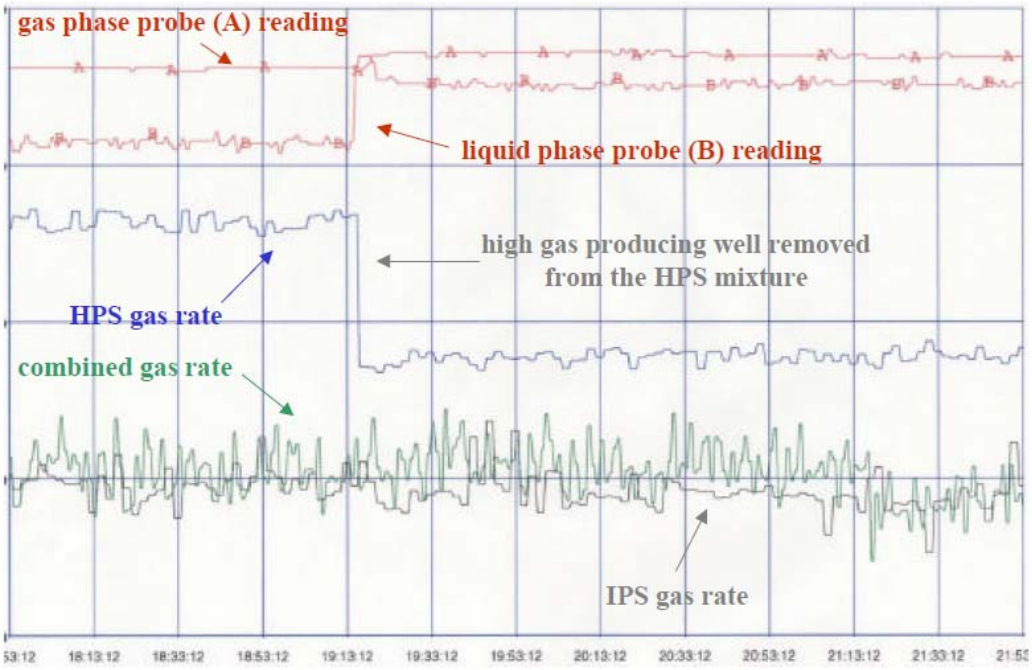


Figure 6. High gas producing well removed from the HPS mixture.

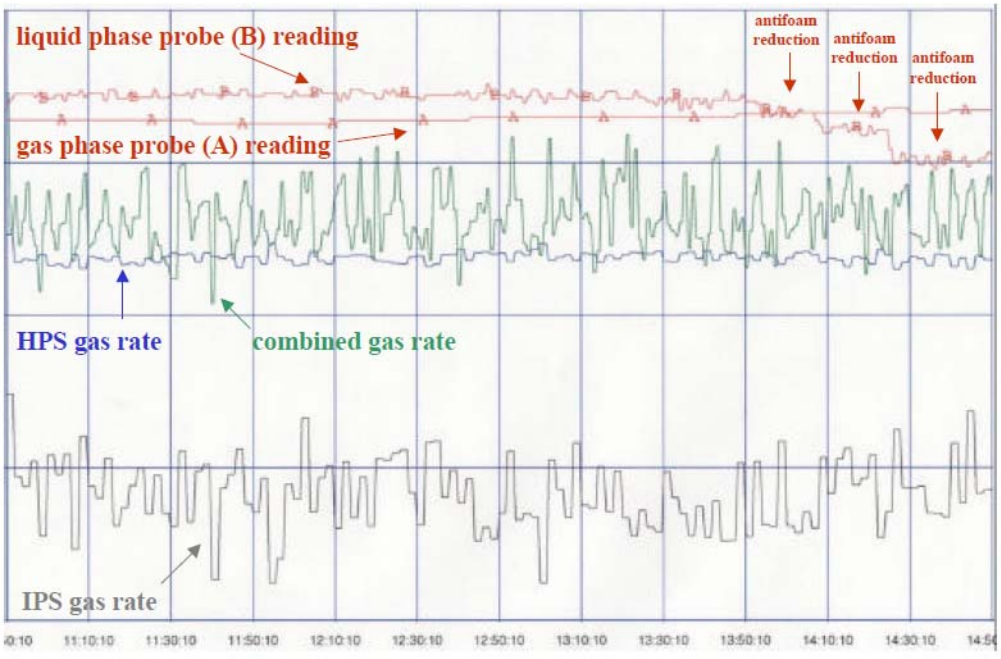


Figure 7. Antifoam optimization using the liquid phase probe.

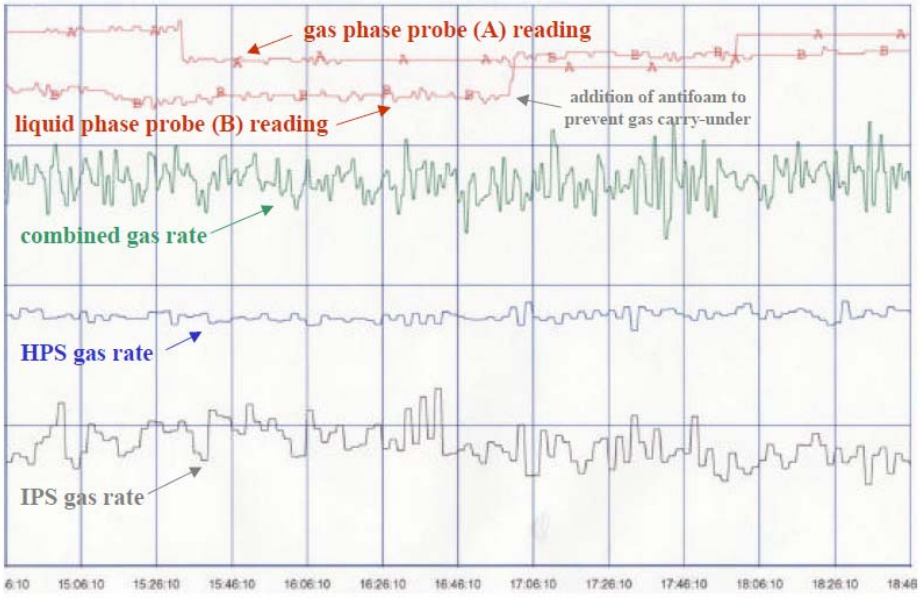


Figure 8. Liquid phase probe detecting introduction of an antifoam that prevents gas carry-under.

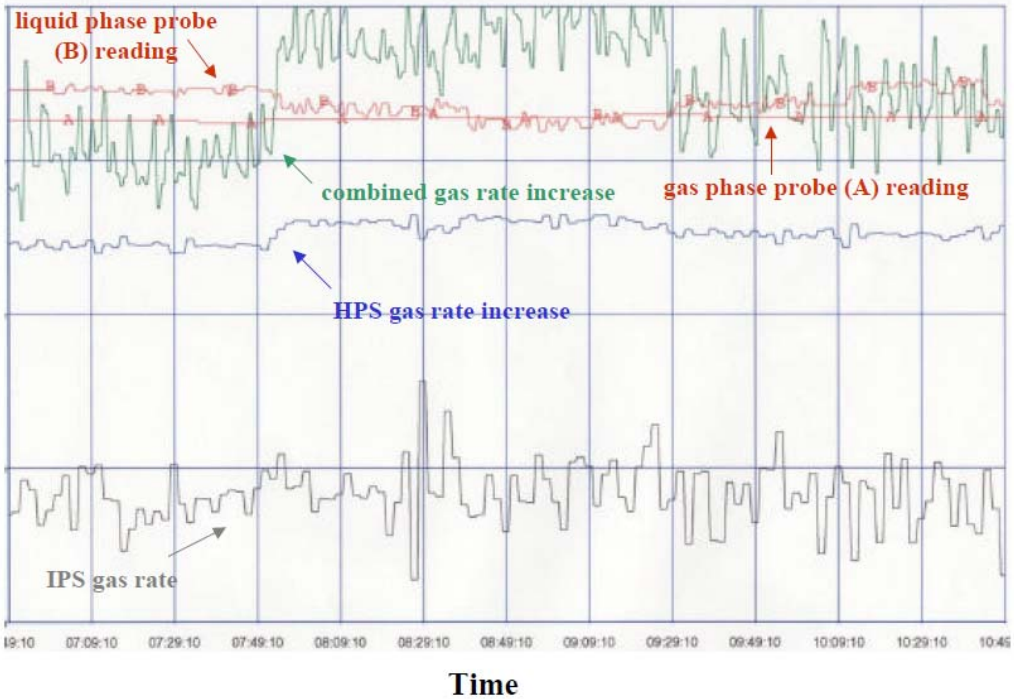


Figure 9. Production rate increase detected by liquid phase probe and gas meters.