

## 理论和方法概述

样品内部的通孔可以采用气液置换孔径仪来测量，通孔是指样品中两端都相通的孔隙，它决定着滤材或滤膜的性能。重要的参数有最大孔径，平均流量孔径和最小孔径。最小的孔径决定了通过滤膜的最小颗粒尺寸，而平均流量孔径MFP代表了孔径的平均值，最大孔径也称第一起泡点FBP决定着通过滤膜的最大颗粒尺寸。此外，孔径分布和气体透过率也可以计算出来。

早在1921年，Washburn 观察到压力和孔隙大小之间的关系，无论是非浸润液体如汞被压入孔隙中，还是完全浸润液体被排出孔隙中，以下方程都是适用的：

$$\text{压力 } P = 4 * \gamma * \cos\theta * (\text{形状因子}) / \text{孔径 } D$$

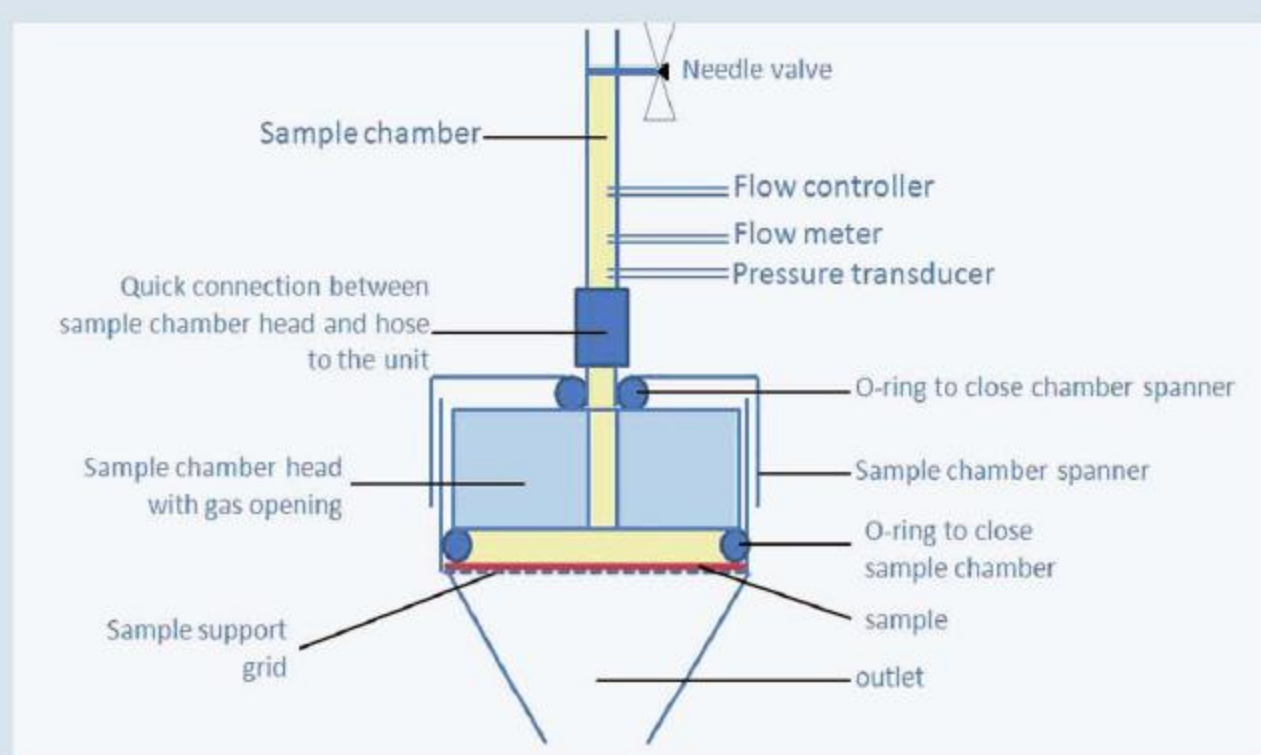
其中压力P的单位是Bar，孔径D是um，

$\gamma$ 是浸润液体的表面张力系数，

$\theta$ 是浸润液在样品材料上的接触角。

形状因子取决于样品内部孔隙的形状和弯曲程度。

毛细管流动气孔仪采用能自然完全浸润样品材料通孔的液体，然后将该样品放入仪器逐渐增加气体压力。在既定的压力点，液体被排出样品，而孔隙大小就可以通过Washburn方程计算出来，典型的装置如下图所示。

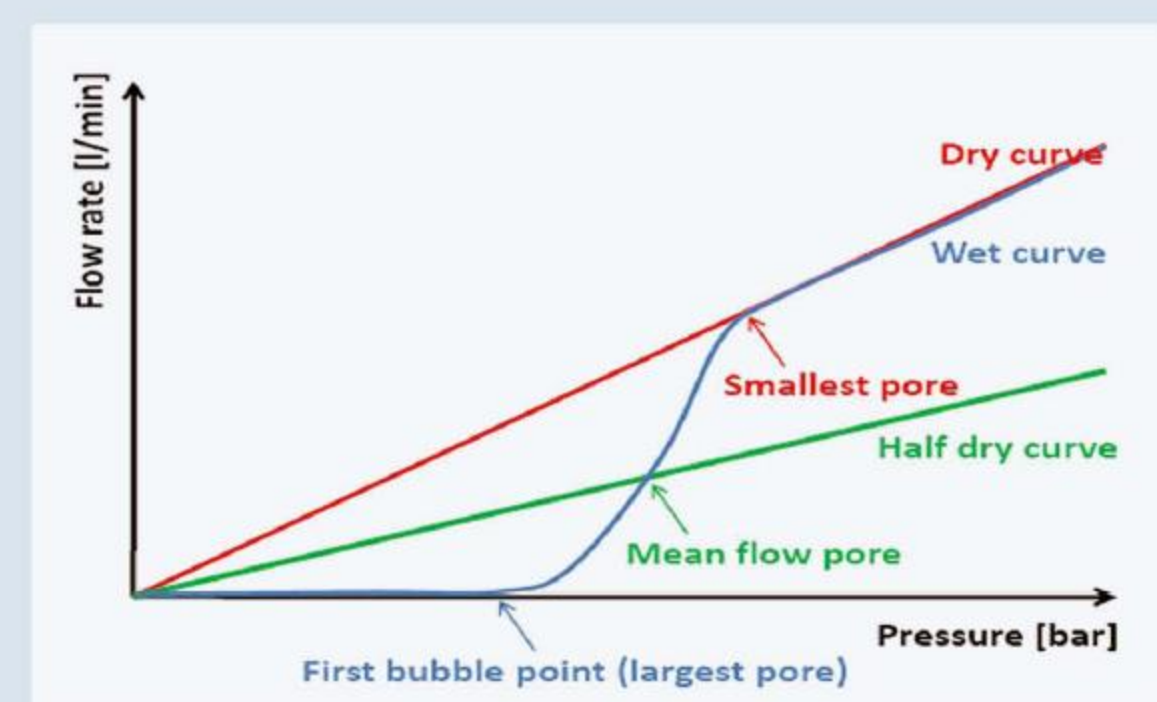


表面张力系数 $\gamma$ 是一个可以测量的物理参数，对许多液体而言是可测的。接触角 $\theta$ 取决于样品材料和液体的相互作用的浸润程度。在气液置换气孔仪中常用的典型的浸润液是全氟化醚的液体，它有很低的表面张力系数，几乎和大多数材料的接触角为零。

浸润液	化学成分	表面张力系数dyn/cm *
Porofil	Perfluoroether	16
Galpore	Perfluoroether	16
Silpore	硅油	20
水		72
甲醇		22.5

以上数据是20℃空气中测得

标准的分析过程由两个曲线的测量组成：样品浸润后测湿样曲线然后再测干样曲线。压力在预设的范围内增加。完整的气孔仪测量会产生如下图所示的曲线，从中关于孔隙的大小及分布的参数都可以计算出来。



## 我们的孔径仪技术

Porometer.com提供两种不同的气孔仪。Porolux 100系列采用压力扫描的方式。即在测量过程中，单向阀逐渐打开，压力和气流连续测量，该方式测量快速，而且能得到很好的重复性。因此Porolux 100系列非常适合质量检测。其缺点是很难测量具有复杂孔道的样品，而且在较高压力时准确度很难保证。对于大孔样品如织物和非织布，Porolux 100有一个专用的型号可以选择。

	Porolux 100	Porolux 100NW	Porolux 200
测量方式	压力扫描	压力扫描	压力扫描
最大压力	7bar	4bar	14bar
最小孔径 <sup>1</sup>	90nm	160nm	45nm
最大孔径 <sup>2</sup>	300um	500um	300um
最大流量	100L/min	200L/min	100L/min
样品尺寸	25mm	25mm	25mm
压力传感器	8bar	5bar	15bar
流量传感器	5-100L/min	10-200L/min	5-100L/min

1、采用Porofil浸润液  
2、采用硅油浸润液

Porolux 1000系列采用一种不同于Porolux 100的压力控制方式测量孔径——压力步进方式。气体进口处是一个大型的专用的针阀，能够准确而精确的调整阀的开合。增压时，阀能够开到精确位置点然后保证压力的稳定。当压力和流量满足设定的稳定性条件时，压力和流量传感器只测量这时一组数据点。在这种控制测量方式中，Porolux 1000检测某一特定压力对应孔隙的打开情况并且能够测量同一孔径的所有不同孔隙完全打开时的压力流量数据。因此保证孔径的准确测量和真实孔径分布的计算。Porolux 1000配置高达35bar的压力变送器，可测最小孔径到18nm（1），该系列还配置更多选项如多种泡点检测模式，液体透过率，承压测试，专用于中空纤维和大样品的测试组件等等

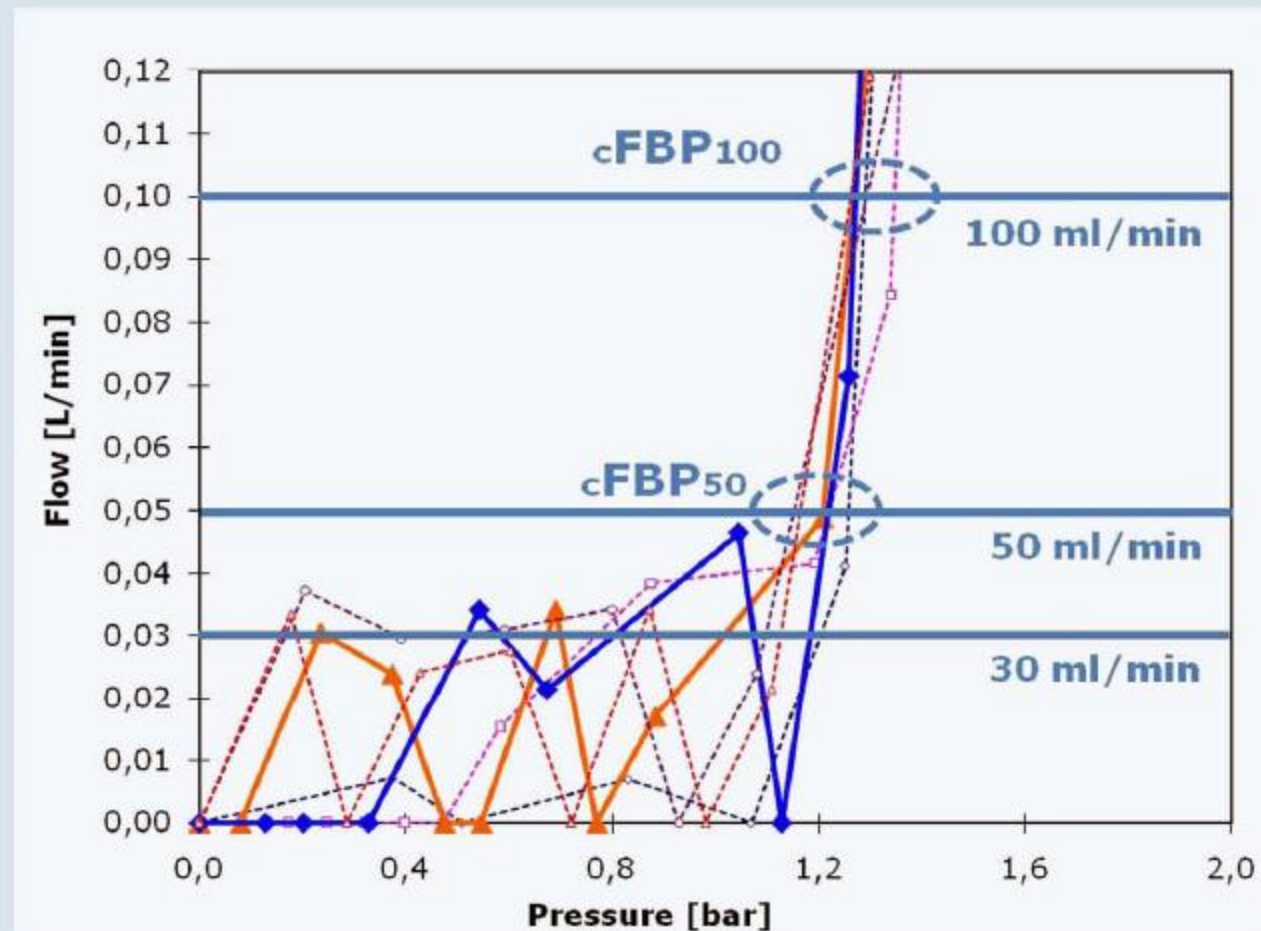
	Porolux 1000LP	Porolux 1000
测量方式	压力步进	压力步进
最大压力	8bar	35bar
最小孔径 <sup>1</sup>	80nm	18nm
最大孔径 <sup>2</sup>	500um	500um
最大流量	100L/min	200L/min
样品夹具	25mm	13-25-47mm
压力传感器	1-10bar	2-50bar
流量传感器	5-100L/min	10-200L/min
泡点流量调节	5-30ml/min	5-30ml/min
泡点测量法	可以	可以
泡点计算法	可以	可以
液体透过率	可选	可选
承压测试组件	可选	可选
观测组件	可选	可选
大样品夹具	可选	可选
中空纤维测试组件	可选	可选

1、porofil浸润液  
2、硅油浸润液

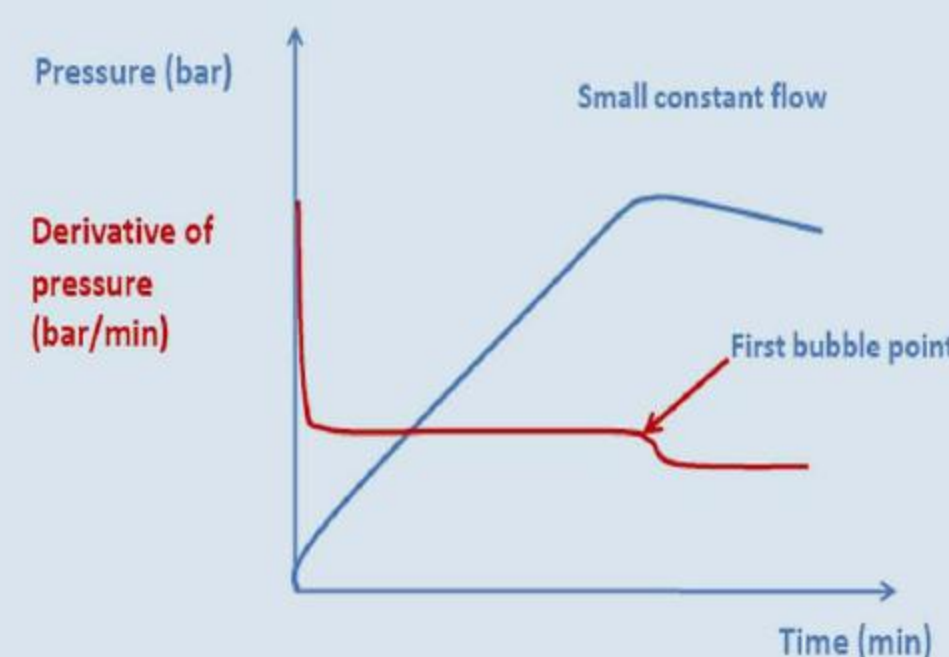
所有Porolux系列产品都是采用美国国家仪器公司NI最新的通用的PLC测控技术和Labview软件。仪器可通过网络连接实现远程诊断和在线服务。

## 泡点检测方法

第一起泡点FBP是Porolux孔径仪可以测量的重要参数之一，它对应于样品内部最大孔径。按照ASTM F-316定义它为第一串连续气泡产生时的压力。第一起泡点可以定义选择采用不同的流量如30、50、100ml/min。这种方法快速简单，但由于采用此方法，在第一起泡点处，已经事先定义了流量数据，所以这种定义方法得出的泡点孔径总是会小于实际的泡点孔径，因此这种计算的泡点并不能准确表征最大孔的实际打开情况。



Porolux同时提供另一种检测泡点的方法是测量法，在仪器中，浸润样品和样品室直到针阀位置形成一个密封的系统，所以，如果采用恒定的较小气流如5-30ml/min缓慢的注入该系统，压力会缓慢的增加，由于该系统容积是已定的，气流会导致样品上的气压线性增加。当第一个最大孔被打开的瞬间，气压增加的线性即单位时间的斜率会发生变小，如右图红线所示，此时对应的压力就是样品真正的第一起泡点，可以通过定义压力-时间的斜率变化大小来确定泡点的位置，该方法测试泡点显示出极其优良的重复性！



## 附件

多数附件只配置给Porolux 1000系列，因为对于这些附件来说，高压范围和压力流量的稳定性是需要的；

除了气体透过率，用户也可以选择液体透过率测试附件，这个选项可以测试非腐蚀性液体通过样品的透过率；

为了测试材料和液体之间的不渗透性能，承压测试附件可选，该附件可模拟测试材料能够承受的水柱压力的高度；

标准样品夹具主要是13, 25, 47mm的规格，但其他规格的平板样品夹具也可以提供；一些特别应用和规格样品夹具可按要求设计和制作。专用于中空纤维材料研究的特别样品夹具也可提供，因为中空纤维的管层结构，需要由内向外或者由外向内测量，这种夹具可满足双向测试的要求，同时能够保证高压条件下的测试安全，并且易于清洁，能够多次重复使用。

