

冒泡试验与过滤精度

戴天翼 (新乡市东风过滤技术有限公司, 新乡, 453002)

摘要:冒泡试验法是评定滤材及其成品滤芯质量的一种方法。本文介绍了冒泡试验的原理和方法, 用冒泡试验测得的滤材孔径与过滤精度间的关系, 冒泡试验在滤芯完整度和理化特性试验评定中的作用。

关键词:过滤材料, 冒泡试验, 孔径, 过滤精度, 测试方法

中图分类号: TQ 028.53

文献标识码: A

文章编号: 1004-7093(2003)07-0015-05

1 冒泡试验原理及应用

冒泡试验可以测定孔隙性材料及其制品的孔隙尺寸, 各种过滤材料及其成品滤芯都采用冒泡试验法评定质量。在被测定的面积范围内, 可以提供最大孔径和平均孔径, 还能测定滤材正常孔径以外的破损洞及制造缺陷(不完整度)尺寸。该试验也称作孔隙度试验或滤芯完整度试验。

1.1 试验原理

冒泡试验是以毛细管压力的物理现象为基础的一种试验。当试验液浸湿且充满滤材纤维间空隙时, 由另一端充入洁净空气, 气体取代孔中液体时的瞬间, 测量其取代过程所需压力。若与该压力相对抗的液体表面张力(包含液面高度)与其相等, 就能合理地表征孔的尺寸。

1.2 微孔孔径模型及孔径计算

图 1 所示微孔孔径模型说明, 当气泡与孔周边界分离前一瞬间可把量 F_c 和 F_L 视作平衡。 F_c 起因于孔内压力, 作用在气泡或孔的垂直面上; 总压力 F_L 由分布在孔周边上的液体表面张力和液面高度产生。 F_c 和 F_L 的矢量处于平衡状态: $F_c = F_L$, 两种力可按圆形孔分析:

$$F_c = PA = P\pi \frac{D^2}{4} \quad (1)$$

式中: P ——压力;

A ——孔面积;

D ——孔径。

$$F_L = S\cos\theta L = S\cos\theta\pi D \quad (2)$$

式中: S ——与气体接触的液体表面张力;

θ ——液体相对于孔壁的前置接触角;

L ——孔的周边(也可用孔径 D 表示)。

由矢量方程可表示为:

$$P\pi \frac{D^2}{4} = S\cos\theta\pi D$$

解上述方程, 其圆形孔直径为:

$$D = \frac{4S\cos\theta}{P} \quad (3)$$

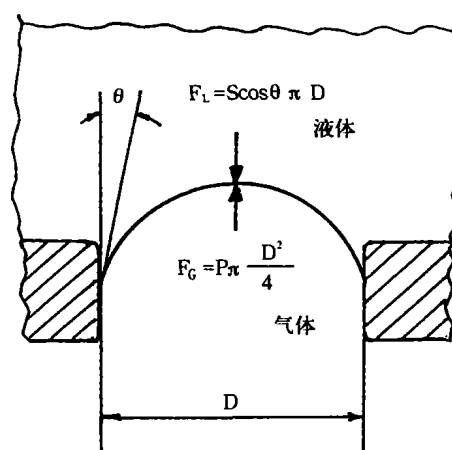


图 1 微孔孔径模型

收稿日期: 2003-04-05

作者简介: 戴天翼, 男, 1938 年生, 高级工程师。原任航空工业总公司颗粒度计量测试站站长, 现在东风过滤技术有限公司从事过滤技术的测试设备设计与研究。

如果试验液为异丙醇,则接触角为零,公式简化为:

$$D = \frac{4S}{P} \quad (4)$$

1.3 计算实例

用图 2 所示的试验装置可对滤材或滤芯进行冒泡试验,并计算得出孔径。

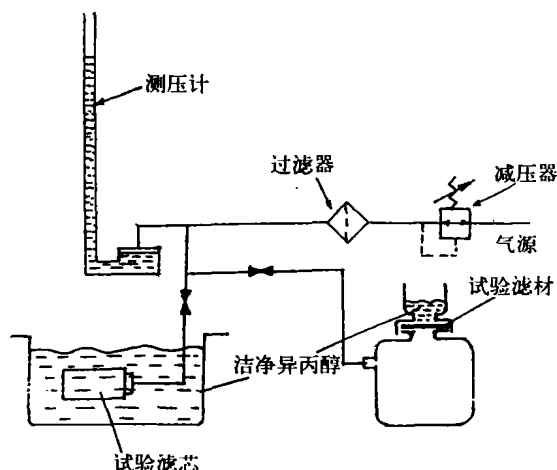


图 2 滤材及滤芯的冒泡试验原理

试验中的冒泡点是指空气压力顶开微孔中液体并呈泡状溢出孔口时的压力。当试验开始冒出第一个气泡时,有可能是恒定气泡,稳定在一个压力点上,该压力称为最小冒泡压力或称第一冒泡点,第一冒泡点所对应的孔径为最大孔隙尺寸或称最大孔径。该最大孔径不一定是滤材本身实际孔结构,也可能是工艺过程的斑点,因此第一冒泡点不能代表多数孔径,但可用于检验滤材斑点或滤芯不完整性。

例如,测得某滤材的第一冒泡压力为 1 200 Pa,求滤材孔径。

试验液异丙醇 20℃ 时的表面张力为 0.0217 N/m。按公式(4)计算:

$$D = \frac{4 \times 0.0217 (\text{N/m})}{1\,200 (\text{Pa})} \times 10^6 = 72 (\mu\text{m})$$

冒泡试验并不能评定过滤材料阻截的最大颗粒尺寸。人们希望一个过滤器能滞留所有大于最大孔径的颗粒,但是因为孔隙形状的不规则和与过滤过程有关的其他种种现象,相同孔隙但材质不同的许多过滤器会滞留比最大孔隙尺寸小得多

的颗粒。测定某一孔隙尺寸滤材的滞留颗粒尺寸及滞留百分比的方法较为繁琐,如玻璃微珠通过法(检查最大颗粒),单次通过法或多次通过法(计算某尺寸颗粒通过百分比)。

2 过滤机理和过滤精度

深型滤材孔隙道的形状多样,图 3 是深型滤材切片放大照片。从纵断面可以了解,孔径尺寸取决于孔道最狭窄处的位置、孔道弯曲状态和粗细不规则情况。孔道形状是过滤效应的基础。

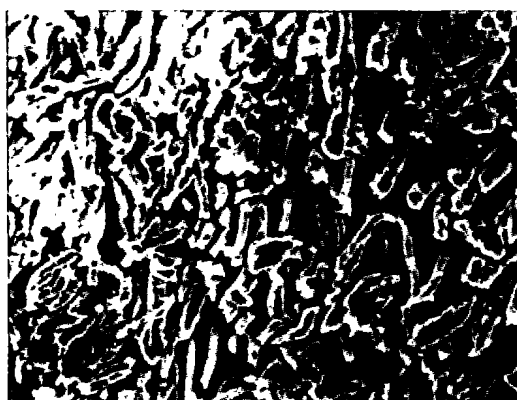


图 3 深型滤材纵断面结构

2.1 过滤机理

深型滤材的过滤效应并非是孔径尺寸拦截。图 4 是颗粒通过滤材时被阻截的示意图,表示了颗粒被阻截的 5 种方式:重力吸附、静电吸附、布朗运动吸附、惯性撞击吸附和网孔直接拦截。

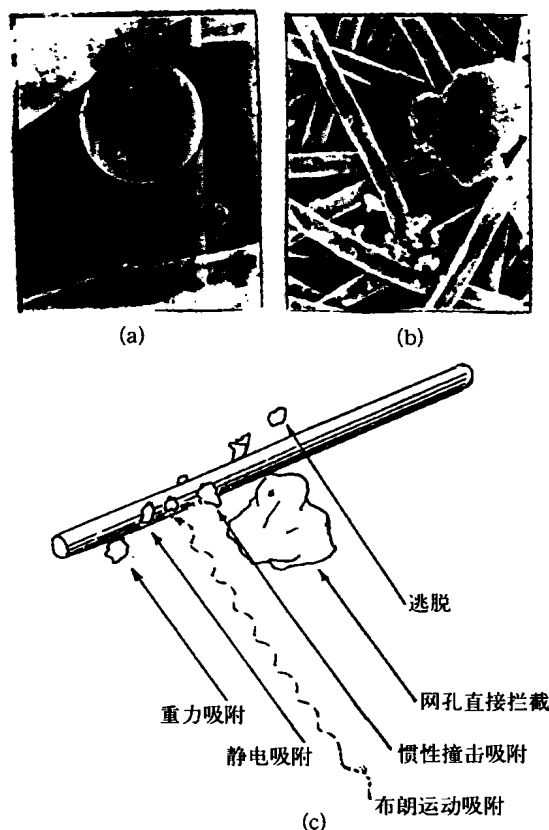
深型滤材过滤时因为有良好的吸附效果,其过滤效果要比单面滤材(编织网)好。深型孔复杂的孔道形状造成了上述几种吸附效应,这是单面滤材所没有的,所以单面滤材过滤特性不佳,单靠网孔阻截,易堵塞,使用寿命短。

深型滤材过滤时有可能出现以下现象:①比孔径尺寸小的颗粒能被阻截在滤前;②比孔径尺寸大的颗粒能逃到下游(滤后)。

2.2 过滤精度

目前国际上对过滤精度定义大致有三种。

(1) 液压过滤技术使用规定的试验粉末(如以前为 ACFTD,现为 ISO MTD),试验标准为“多次通过试验法”ISO 16889(前为 ISO 4572)。凡采



(a) 被阻截的球形颗粒; (b) 被阻截的污物颗粒;
(c) 纤维阻截颗粒示意

图 4 颗粒被阻截实况及原理示意

用 ISO 16889 和试验粉末为 ISO MTD 者,在标注过滤器的精度时用(C)注明。该试验法是将试验系统加入一定浓度 ISO MTD 粉末后,在过滤器上下游分别取样测试,并选择合适的至少 5 种颗粒尺寸范围,用颗粒计数器测定并计数。上游某尺寸颗粒数与下游同尺寸颗粒数之比值为 β ,是一个对应于过滤效率的值。取 β 值为 20、75、200、2 000,可作为自己企业评定过滤器水平的指标。假如 $5\ \mu\text{m}$ 颗粒的 β 值为 20,则可理解为对于 $5\ \mu\text{m}$ 颗粒的过滤效率为 95%。通常用 β_x 标注过滤精度, x 表示所测定的 β 值对应的颗粒尺寸,如上例则可表示为 $\beta_5 = 20$ 。

假如测定方法使用 ISO 16889,使用粉末为 ISO MTD,测定 $5\ \mu\text{m}$ 颗粒 β 值为 200,则标注为 $\beta_5(\text{C}) = 200$,其过滤效率理解为 99.5%,过滤精度为 $5\ \mu\text{m}$; $\beta_{10}(\text{C}) = 2\ 000$,则理解为 $10\ \mu\text{m}$ 颗粒过滤效率为 99.95%,用多次通过试验法测得,使

用标准为 ISO 16889,试验粉末为 ISO MTD,过滤精度为 $10\ \mu\text{m}$ 。

(2) 汽车、工程车和一般设备的润滑油、燃油等过滤器大多用 SAE 806b 标准。采用最大颗粒通过法,使用玻璃微珠或 AC 试验粉末,在试验台上加入粉末后从过滤器下游取样,液样用微孔滤膜($0.8\ \mu\text{m}$ 或 $0.45\ \mu\text{m}$)过滤并收集颗粒,然后在显微镜下查看。如果发现最大颗粒为 $20\ \mu\text{m}$,则过滤精度定为 $20\ \mu\text{m}$ 。显然和 ISO 16889 试验得出的精度定义不同。

该试验也可用简易设备在试验室中进行,即将一定体积的污染液,一次通过被试验的滤芯(正压力法或负压力法),污染液通过滤芯瞬间在滤后取 100 ml ~ 200 ml 液样在显微镜下分析(也可在自动颗粒计数器上分析)。

近年来许多厂家对该类过滤器也开始使用 ISO 16889 标准,这是一项提高质量的好措施。

(3) 空气滤清器。净化环境用的过滤器通常以重量过滤效率标称过滤特性。习惯以不规范的几个“9”来标称,如 99.99%,称为“4 个 9”。使用试验粉末为 ACFTD 或其他替代粉末。因为试验粉末从 $1\ \mu\text{m}$ ~ $80\ \mu\text{m}$ (或更大)颗粒各尺寸的分布是标准状态的,所以被过滤器所截留的重量百分比也表明了对某粒径的截留效率。

以上三种过滤器的过滤特性(或称过滤精度)虽然定义不同,但都基于一种测试方法,即颗粒传输法。现代过滤技术对过滤器特性的评定都废除了以往的孔径测定法和滤材目数法,而玻璃微珠通过法也因与过滤器实际使用有差异被认为不适用。

采用颗粒传输法,以比率表示颗粒阻截特性有一个公认的事实,即某颗粒尺寸阻截率都不规定 100%。空气过滤以几个“9”表示效率也寓意着不可能将所有颗粒(全粒径)都阻截。称绝对过滤器者也并非出现“绝对”现象。过滤器是比率控制器,是非绝对控制器。

3 孔径测试法的作用

利用孔径测试法在控制滤芯制作完整度以及其他理化特性试验后的最终裁决中发挥着决定性

的作用。

3.1 滤芯完整度试验

滤芯在制作过程中存在“不完整”现象,主要原因有:①工艺设备将滤材损坏;②滤材的合缝不严密;③端盖与滤材端面连接不完全。上述现象可以冒泡法进行检查,其破损、不严密及不完全的量值以孔隙度表示,所以统称“不完全度”或“不完整度”。

滤芯不完整度严重将导致工作中污染颗粒从缺陷点旁路,滤材本身不能发挥对颗粒的阻截作用。如果用颗粒传输法测定滤芯过滤特性,其不完整度严重将大大降低 β 值。冒泡法检查滤芯不完整度也是测定过滤特性之前的预测,结果不合格者就不必进行 β 值测定。

3.2 滤芯理化特性试验后的评定

以液压过滤器为例,对滤芯质量评定中的试验可归纳为以下七项(指 ISO 标准):

- (1) ISO 2942 滤芯结构完整性试验(冒泡试验法);
- (2) ISO 16889 评定滤芯过滤特性的多次通过法(原 ISO 4572);
- (3) ISO 3968 压降流量特性试验;
- (4) ISO 3724 滤芯流动疲劳特性试验;
- (5) ISO 3723 滤芯端面负荷试验;
- (6) ISO 2943 滤芯材料与液体相容性试验;
- (7) ISO 2941 滤芯抗破裂试验。

以上各项试验除第(1)、(2)项外其余均可称为理化特性试验,都与滤芯寿命相关。滤芯寿命主要是以过滤特性降低程度为基准。第(3)项试验主要是考核流量压降特性,其延伸是滤芯的逐渐堵塞寿命。堵塞过程不仅仅是流通不顺畅,也存在因阻力增加而使滤芯破损。对理化特性试验结果的验证方法正是冒泡试验法。例如端面负荷试验后,再测量因端面加压而造成的不完整度,称其为最终裁决。冒泡试验在滤芯质量评定试验中的作用可从下例看出:如进行 ISO 2941 滤芯抗破裂试验,第一顺序是进行 ISO 2942 滤芯完整性试验(冒泡法),第二顺序是进行 ISO 2941 滤芯抗破裂试验,第三顺序是再进行 ISO 2942 滤芯完整性试验(冒泡法)。在试验项目中插入 ISO 2942 两次,主要是在破裂性试验前后对比滤芯的破损程

度。

3.3 孔径与过滤精度的关系

过滤精度在任何一种过滤器滤材的定义中都与颗粒传输试验有联系,或者说都与颗粒阻截率有关系。孔径尺寸不能代表过滤精度,也不能给过滤器标称精度,希望能找出孔径尺寸与代表某尺寸颗粒的过滤比 β 值的一种联系。

在过滤过程中起主要作用的不是网孔拦截,而是吸附。不同材料(纤维)对颗粒的吸附效果是不同的,不能相互取代,简单地以某孔径尺寸代表某尺寸颗粒的被阻截率是错误的设想,所以建立孔径—颗粒之间的关系是一项量大且繁琐的工作。

然而,已经有人进行了孔径—颗粒关系的工作。比利时 Bekipor 型不锈钢纤维滤材是按美国军用标准 MIL-F-8815 的试验方法标称过滤精度的(颗粒传输),并可用孔径尺寸准确地表示精度值,即测定出滤材平均冒泡压力点就能得到精度值。在 Bekipor 资料中,笔者从滤材型号、标称精度和冒泡压力点发现了一个经验系数,利用该系数即可使孔径代表精度。表 1 是 Bekipor 滤材资料数据与计算数据的比较。计算公式为:

$$\text{过滤精度} = \text{孔径} / \text{经验系数}$$

从表 1 可以得出下述结论:对于 Bekipor 不锈钢纤维滤材,用 MIL-F-8815 标准试验标称的绝对过滤精度与用冒泡试验法得出的孔径计算得到的过滤精度几乎相同,其经验系数为 2.4。该结论

表 1 Bekipor 滤材原始数据与计算数据比较

滤材 型号	原始数据		计算数据	
	绝对过 滤精度 (μm)	冒泡点 压 力 (Pa)	孔 径 (μm)	计算过 滤精度 (μm)
3A12	2.8	13 200	6.576	2.75
5A13	4.9	7 600	11.42	4.76
5A12	7	5 190	16 724	6.97
10A12	10	3 730	23.3	9.70
15A12	14	2 620	33.12	13.80
20A12	19	1 970	44.06	18.36
25A12	23	1 575	55.11	22.96
40A12	35	1 065	81.50	33.9
60A12	62	600	144.60	60.3

在多次验证性试验中得到证实。

然而,经验系数存在一定的局限性。经验系数的取得和使用存在如下问题:

(1) 每种材质都有自己的经验系数。严格地说,只有在材质确定和工艺方法稳定后才能去寻找其经验系数。

(2) 某一经验系数只能适用于一种颗粒传输试验法。用 MIL-F-8815 测得的过滤精度对应的以孔径和经验系数计算的精度,绝不能用于 ISO 16889 测得的某粒径 β 值。

(3) 经验系数是以颗粒传输试验为基础,并与冒泡试验相结合而获得的结果。要防止单纯以孔径和经验系数计算得出绝对精度值来标称精度,而一定要用颗粒传输法予以验证。颗粒传输试验的颗粒数值大,计算结果几乎全有偏离,因此数值取舍要十分慎重。

(4) 冒泡试验必须严格谨慎,室温、试验液温、液面高度、试验液清洁度、微压表的校验等必须执行相关标准,最终得出准确的冒泡压力值,以期计算出一个准确的孔径尺寸。

4 冒泡试验的注意事项

滤芯和滤材进行冒泡试验时必须按标准要求

4.1 试验液

标准试验液应该用异丙醇,其特点是:①浸润角为零,孔径计算时非常方便;②挥发性好,试验完毕后产品很快干燥,可以立即交付、包装、起运;③表面张力十分稳定,计算结果准确;④清澈透

明,观察气泡方便。

其他准用试验液有:氟里昂、甲醇、乙醇、10号航空液压油和四氯化碳。其中常用试验液的物理参数见表 2。

表 2 常用试验液物理参数

试验液	密 度 (g/cm^3)	表面张力(20℃) (N/m)
异丙醇	0.79	0.0217
甲 醇	0.79	0.0225
乙 醇	0.805	0.023
四氯化碳	1.59	0.027

由于氟里昂、甲醇和四氯化碳对健康或环境不利而很少使用;乙醇含水不易挥发,产品必须干燥才能包装起运,使用不太方便。

由于水和汽油没有一个稳定的表面张力,不能用其作试验液;而煤油会产生静电,有极大危险性,也不能使用。

4.2 其他注意事项

(1) 液面高度直接影响冒泡压力值。在公认的计算公式中,液面高度已标准化,即 2.54 cm 或 1.27 cm。

(2) 试验液温度应稳定在一个数值上,以防止表面张力变化。

(3) 始终保持试验液的清洁度,因为清洁度也影响表面张力,且不清洁的试验液不能清楚地观察气泡。

(4) 使用 U 型管压力计时,观察水柱液面不太准确;使用数字压力表则必须经过严格校验,以获得准确的数值。

Bubbling Test and Filtration Accuracy

Dai Tianyi (Dongfeng Filtration Technology Co., Ltd.)

Abstract: Bubbling test is one method for evaluating on quality of filter media and filter core. The principle and method of bubbling test was introduced in the article. The relationship between porosity diameter of filter media measured by bubbling test and filtration accuracy, and the effect of bubbling test on evaluating for integrity and physical and chemical characteristics of filter core were also discussed.

Keywords: filtration material, bubbling test, porosity diameter, filtration accuracy, test method