

安全滤芯及试验方法的试验研究

河北亿利橡塑集团有限公司 霍玉荣

摘要:

本文对《SAE J726 2002》《ISO 5011: 2000》关于安全滤芯的基本概念, 试验程序, 做了介绍; 对试验操作方法进行了试验验证, 对操作方法可行性进行了分析评价; 提出了《安全滤芯绝对称量法》的概念, 扩展了安全滤芯的应用目的和使用功能; 通过试验, 得出了无纺布和纸质滤材安全滤芯的阻力, 储灰能力, 滤清效率等性能参数的规律; 论述了纸质安全滤芯实际应用的问题。

关键词: 安全滤芯 无纺布 纸质安全滤芯 二级滤芯 堵塞试验 绝对称量法

1 安全滤芯的概念

空气滤清器的安全滤芯, 位于主滤芯下游; 目的, 不在于提高滤清效率, 主要对发动机提供一种保护性措施。

第一, 在汽车保养时刻, 拆下空气滤清器主滤芯, 不至于使发动机进气口, 直接暴露于现场作业环境中, 避免脏物污染增压器进气口; 第二, 当主滤芯漏装, 或者当主滤芯发生破损, 过滤失效的情况下, 安全滤芯在短期内, 还可以有一定的过滤能力, 储存少量灰尘杂质; 但储存能力很低, 安全滤芯会迅速堵塞, 通过报警器, 提醒驾驶人员, 空气滤清器发生故障, 需要停车检修保养;

安全滤芯只用于干式空气滤清器, 可以选装, 也可以不装; 基于国际标准的概念, 装与不装安全滤芯的空气滤清器总成, 只是总成阻力有所增加; 原始效率, 储灰量, 全寿命滤清效率, 不会有什么改进; 提高空气滤清器的总效率, 不是安全滤芯的目的。

滤清器行业, 很多情况下把安全滤芯称为二级滤芯, 不太十分贴切, 使人很容易理解为是继主滤芯过滤之后, 接续下来的第二次过滤; 《安全滤芯》比较名符其实。

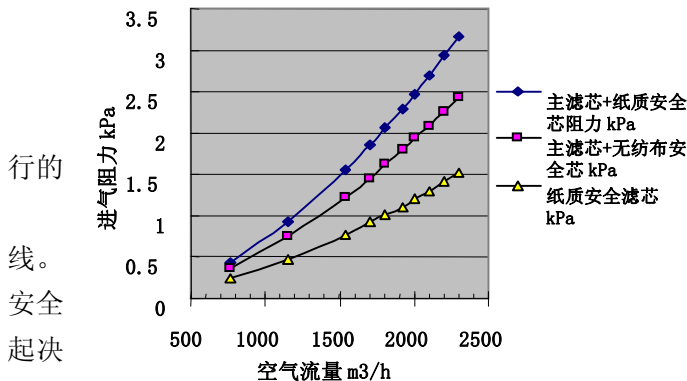


图1 YL55A 空滤器装纸质和无纺布安全滤芯流量阻力曲线

2.2 安全滤芯的储灰能力

主滤芯一旦失效, 短期之内, 安全滤芯阻力应迅速提高, 甚至堵塞, 空滤报警器就会发出报警信号。因此, 安全滤芯的储灰量不是越高越好; 是不是对安全滤芯储灰量一点要求也没有, 应恰到好处, 但是不应按照主滤芯的概念追求安全滤芯的储灰量。尽快发出报警信号才是安全滤芯的目的。

空滤器多次维护保养, 甚至达 5~6 次之多, 只拆主滤芯, 安全滤芯不容许动, 安全滤芯的寿命是模糊的, 主要取决于主滤芯效率的高低, 其次取决于安全滤芯自身的条件。实际上, 从报警灵敏性来讲, 安全滤芯储灰能力, 不希望太高; 从发动机的要求, 安全滤芯有一定的储灰能力是必要的。这种自相矛盾的要求, 为制定安全滤芯储灰量的限值产生一定困惑。

表 1 引用 40A 型空滤器, 叶片环作为粗滤器, 用空滤滤纸和无纺布制成同一尺寸安全滤芯, 额定流量 1080m³/h, 扣除粗滤器的储灰量, 两种安全滤芯实际储灰量见表 1。《ISO 5011: 2000》规定的的终了阻力为 10 kPa, 《SAE J726 2002》的终了阻力 6.0 kPa, 同一种材料, 按国际标准试验, 储灰量较高; 按同一标准, 无纺布高于滤纸的储灰量, 因为无纺布为深度过滤, 滤纸为表面过滤。

小, 安全滤芯的孔隙度须大于主滤芯才是可用纸质的。
无纺布安全滤芯, 纸质安全滤芯, 流量阻力曲线
纸质安全滤芯, 空滤器总成阻力明显增加。
芯, 用什么材料, 对空滤器总成阻力的影响,
以后, 额定流量下阻力增值不应超过 0.5kPa;

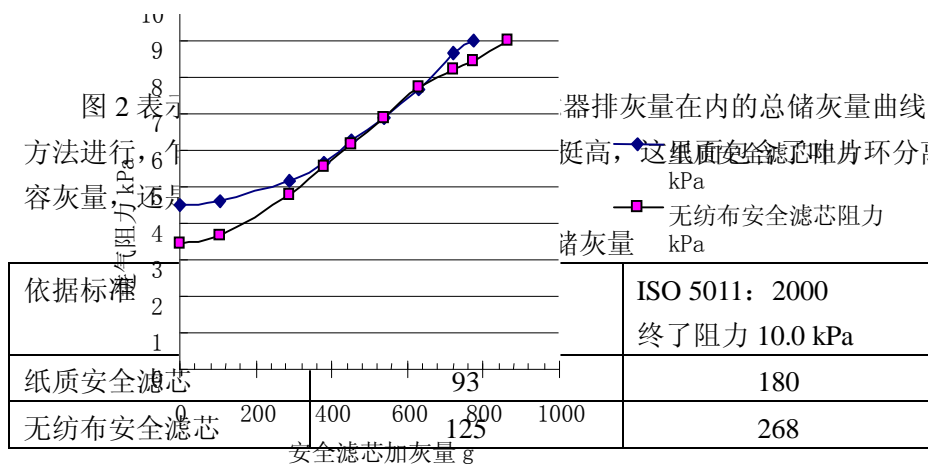


图 2 40A 型空滤器，两种安全滤芯带叶片环的总储灰量

2.3 安全滤芯的效率

按国际标准的观点，空滤器总效率是由主滤芯保证的，主滤芯的滤清过程是精滤，总效率，取决于主滤芯，与安全滤芯无关，不能试图用安全滤芯进一步提高空滤器的总效率；试验时，拆掉主滤芯的滤纸，只剩下带骨架的虚空主滤芯，使安全滤芯直接暴露在高浓度的含尘气流中，国际标准规定试验终止条件为 10 kPa，是为了缩短试验周期采取的强化性的考核办法，比实际严酷得多，测得的安全滤芯效率并不反映真实工作情况；上述标准测定的滤清效率值，是一个模糊概念，无从比较，更无法规定合理的限值；如何在试验台上测定并评价安全滤芯效率，有待通过试验加以探索。

3 安全滤芯的试验方法

关于安全滤芯，我国汽车行业标准仅仅一提而过，内燃机行业标准根本没有提及。当前，国内滤清器行业，卡车空气滤清器多数装有安全滤芯。一些图纸文件，很少提及安全滤芯技术要求，表明对安全滤芯的工作做得不多，对安全滤芯的实质认知不深。

现把《SAE J726 2002》，《ISO 5011 2000》，关于安全滤芯内容，摘录下来，归纳在表 2 内，对其中操作困难，难以实现的内容，做了评论。

表 2 《SAE J726 2002》及《ISO 5011: 2000》关于安全滤芯的内容简介及评论

标准代号	SAE J726 2002	ISO 5011: 2000
安全滤芯别名	二级滤芯※	二级滤芯
适用范围	重型载货汽车、建筑机械、拖拉机、工业干式空滤器；	重型载货汽车、工程机械、拖拉机、工业干式空滤器；
安全滤芯目的	主滤芯失效、漏装、装配不当保护发动机，不是为了改善滤清效率和储灰能力；	当主滤芯发生泄漏时，它很快堵塞；该过程中，只有少量灰尘通过。
具体试验方式	① 参见多级试验装置，包括预滤器和二级滤芯的完整空滤器，拆除主滤芯过滤介质保留端盖和护网，形成一个只有骨架的虚空的主滤芯。 ② 参见单级空滤装置，专门设计制造一个与二级滤芯匹配的罩壳，滤芯放在试验罩壳里面。	原有的外壳，保留二级滤芯；包括一个只有骨架而无滤材的虚空的主滤芯和叶片环。
灰尘牌号	单级 用 ISO 12103—A2 细粒 多级 用 ISO 12103—A4 粗粒	无预滤器用 ISO 12103—A2 细粒 带预滤器用 ISO 12103—A4 粗粒
加灰浓度	单级 0.1g/m ³ 多级 1 g/m ³	一律 0.1g/m ³
二级滤芯的阻力	安装二级滤芯及不安装二级滤芯总成的阻力差值；	无规定

二级滤芯的效率试验方法	①多级，绝对滤清器法，精度 0.01g ②单级，二级滤芯称量法,精度 0.1g	绝对滤清器法
二级滤芯的效率和寿命终止条件	压力降 6kPa 或规定值	压力降 10kPa 或规定值
二级滤芯效率和寿命含义	属于全寿命效率概念，无原始效率	属于全寿命效率概念，无原始效率
特殊要求	增加了单级，二级滤芯（安全滤芯）试验法；	效率试验结束时，加大流量，使外壳阻力达到 12.5 kPa，二级滤芯不能破坏；增加了二级滤芯堵塞试验；用一个二级滤芯保持不换，而用一个或多个主滤芯持续进行接力式寿命试验，期间，二级滤芯不能堵塞；这和空滤器总成多次保养主滤芯，二级滤芯不动的情况相当。
笔者评论	<p>① 试验方法虽然操作可行；但是这种只有骨架的虚空的主滤芯结构，代替实际主滤芯的试验方法，使二次滤芯承受的压力差加大，改变了二次滤芯工作条件，测定出来的全寿命效率和储灰量，并不完全反映二级滤芯的真实性能。</p> <p>② 参见单级空滤装置，专门设计制造一个与二级滤芯匹配的罩壳，滤芯放在试验罩壳里面。 为试验安全滤芯，特意设计制造一个罩壳，还莫不如用安全滤芯的原配外壳，简单实用，操作方便，实验结果反映的是真实情况。</p> <p>③ 单级，二级滤芯称量法,精度 0.1g，偏低；一般，安全滤芯总质量都不高，达到 0.01g 没有问题。</p>	<p>① 具有叶片环总成，加灰浓度 $0.1\text{g}/\text{m}^3$，会使试验时间拖得过长；建议根据具体情况，可以在 $0.1\text{g}/\text{m}^3\sim 1.0\text{g}/\text{m}^3$ 范围内自由选取。</p> <p>② 只有骨架的虚空的主滤芯结构方法，同样存在左栏内的问题；</p> <p>③ 压力降 10kPa，太高，实际不会有这种情况；更不必增加到 12.5 kPa；</p> <p>④ 二级滤芯堵塞试验，使用中主滤芯几次反复保养，二级滤芯不动，无论如何，总会有少量灰尘积聚在二级滤芯上，考虑二级滤芯的堵塞问题是应该的；但该试验很难操作，真要是做起来，要花费很长很长时间；如果主滤芯效率都很高，二级滤芯永远不会堵塞，这样方法，对于研究二次滤芯的理论，制订试验标准是可行的，制造厂用于二级滤芯进行产品检验，难以操作。</p>

※注：美国《SAE J726 2002》，国际标准《ISO 5011 2000 中文译名》，称为二级滤芯，不够准确，还是叫做安全滤芯较好。

4 安全滤芯的作用及过滤机理的分析

4.1 《安全滤芯绝对称量法》

4.1.1 《安全滤芯绝对称量法》的思路

处于主滤芯下游的安全滤芯，到底能不能对透过主滤芯的灰尘颗粒，具有再次拦截扑获的能力，需要对安全滤芯进行深入的研究；

《安全滤芯绝对称量法》提供了测试研究安全滤芯的一种可能性。其实质就是把安全滤芯作为空滤器试验台《绝对滤清器》向上游的延伸，安全滤芯变成了第一级绝对滤清器，其质量增量，正是透过主滤芯的灰

尘，被安全滤芯所捕获的部分，也称安全滤芯的储灰量，如果说，安全滤芯起不到过滤灰尘作用，安全滤芯的增量应该为零，试验证明，事实并非如此。而透过安全滤芯的灰尘，继续被空滤器试验台《绝对滤清器》所捕获，《绝对滤清器》的增量，恰是全套空气滤清器总成的透灰量。所谓《绝对称量法》系借用空气滤清器试验标准的术语。称量安全滤芯的精度，要求 0.01g，特别大型安全滤芯，0.1g 的精度也足够。

4.1.2 滤清效率的几种概念及计算

令空气滤清器总加灰量为 m ，试验台《绝对滤清器》的质量增量为 m_1 ，安全滤芯的质量增量为 m_2 ，各分系统灰尘质量应符合下面规定：

空气滤清器总成，总储灰量为 $(m - m_1)$ g；

主滤芯包括预滤器的储灰量为 $(m - m_1 - m_2)$ g；

安全滤芯的储灰量为 m_2 g；

将装有安全滤芯的空气滤清器总成，做全寿命滤清效率试验，试验加灰前后，分别称量安全滤芯和绝对滤清器的质量增量；

如果考虑预滤器，主滤芯和安全滤芯在内，对全套空滤器总成的全寿命滤清效率，按下面公式计算，和传统试验方法相同：

$$\eta_1 = \frac{m - m_1}{m} \dots\dots\dots (1)$$

式中， η_1 —空气滤清器总成，考虑主滤芯和安全滤芯等因素，空滤器总成的总效率；

m —总加灰量，g；

m_1 —绝对滤清器质量增量，g；

如果只考虑主滤芯起作用，应从总成过滤出来的灰尘总量，剔除安全滤芯的增量，空滤器总成的滤清效率按下面公式计算，

$$\eta_2 = \frac{m - m_1 - m_2}{m} \dots\dots\dots (2)$$

式中， η_2 —空气滤清器总成，如果不包括安全滤芯，仅考虑主滤芯起作用，总效率，%；

m —总加灰量，g；

m_1 —绝对滤清器质量增量，g；

m_2 —安全滤芯质量增量，g；

试验显示，再好的主滤芯，总有极少量粒子透过，如果安全滤芯对粒子能够过滤的话，被安全滤芯过滤出来的灰尘粒子，就等于安全滤芯的质量增量。由此引入安全滤芯滤清效率这一新概念，用下面公式计算，

$$\eta_3 = \frac{m_2}{m_2 + m_1} \dots\dots\dots (3)$$

式中， η_3 —安全滤芯的滤清效率，%；

m_1 —绝对滤清器质量增量，g；

m_2 —安全滤芯质量增量，g；

4.1.3 《安全滤芯绝对称量法》试验实例

引用 D480E 型空气滤清器的试验数据，装有无纺布安全滤芯，用《安全滤芯绝对称量法》试验，数据列于表 3，涉及的几种滤清效率计算结果列于表 4：

表 3

主滤芯材料代号	A1(国威固化)	C1(奥斯龙固化)	D1(奥斯龙非固化)
m 总加灰量 g	1708	3136	2814
m_1 绝对滤增量 g(总透灰量)	0.47	0.51	6.63
m_2 安全滤芯增量 g	1.53	3.41	21.06
绝对滤和安全滤芯总	2.0	3.92	27.69

增量 ($m_1 + m_2$) g			
----------------------	--	--	--

表 4

主滤芯材料代号	A1 (国威固化)	C1 (奥斯龙固化)	D1 (奥斯龙非固化)
η_1 全寿命滤清效率 %	99.97	99.98	99.76
η_2 主滤芯全寿命效率 %	99.91	99.89	99.01
η_3 安全滤芯的滤清效率 %	76.50	86.98	76.05

表 4 和图 3，将安全滤芯和主滤芯作为整体结构考虑，3 个试件总效率很接近；这组数据不能判断安全滤芯在总效率中起多大作用；如果从总储灰量中剔除安全滤芯的储灰量，剩下的只有预滤器加主滤芯的储灰量，计算总效率，可以认为，这只是主滤芯全寿命效率，安全滤芯起了补偿作用。

表 4 中
粒径，每
尘被主滤
度极小的
统计规律可

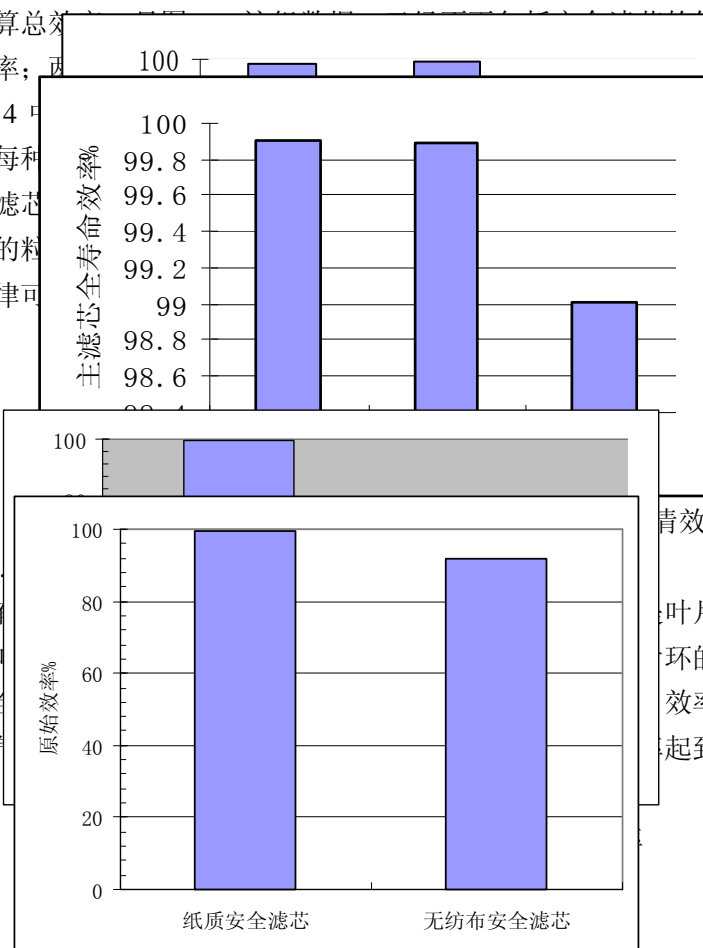


图 6 安装叶片环，两种安全滤芯的原始效率

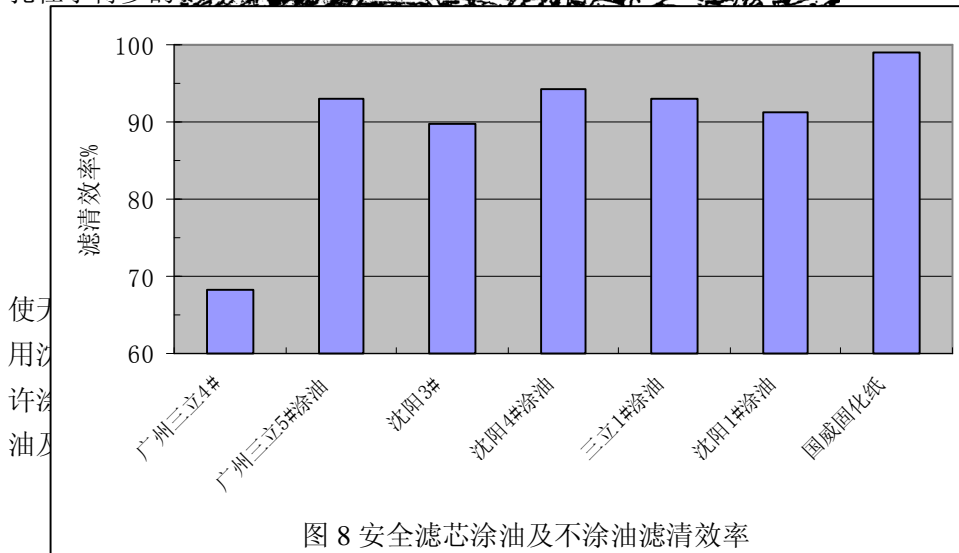
4.2 重新审视安全滤芯的作用

4.2.1 空滤器的总效率，取决于主滤芯和安全滤芯两个因素。需要分开测定各自的储灰量，不仅定性的判定安全滤芯滤除灰尘现象，还应定量地确定安全滤芯的储灰量。以便准确检测评价主滤芯和安全滤芯滤料的性能，不能使两者混为一体，界限不清。

4.2.2 进入安全滤芯的灰尘，是透过主滤芯的灰尘颗粒；如果没有安全滤芯，这部分灰尘将被吸入发动机进气系统；要求长寿命发动机卡车，增加安全滤芯是必要的。

4.3 安全滤芯过滤机理

那么，处于主滤芯下游的无纺布安全滤芯，其孔隙度明显大于主滤芯，为啥还能过滤更细的粒子呢？滤材孔隙度是决定滤清效率的重要因素，但不是唯一因素。从过滤机理来讲，纸质主滤芯，以表面过滤为主，以深度过滤为辅；无纺布有一定厚度，其断面的纤维结构如图 7 所示，纤维层形成的孔隙流线弯曲不规则，孔隙大小与纤维材料直径有关，属于深度过滤。深度过滤机理颗粒物的机理归纳起来大体有三个解释：第一布朗运动；第二... 通过纤维形成的弯曲孔隙，发生撞击，由于撞击速度不... 有机会被扑捉。深度过滤，能滤除比自身孔径小得多的



行油湿处理，
基础空滤器，
机油和燃油配制成混合液，少
条件的滤清效率和储灰量，涂

5 纸质安全滤芯的应用

5.1 纸质安全滤芯的问世

我国大片地域空气灰尘浓度过高。卡车空气滤清器，出现了用滤纸代替无纺布，作为纸质安全滤芯（纸质二级滤芯）。纸质安全滤纸过滤效率高于无纺布，可以起到双保险的作用。

5.2 纸质安全滤芯存在的问题

为了讨论方便，引用本文开头提到的 YL55A 空滤器的数据，见表 5。

表 5 YL55A 空滤器装纸质和无纺布安全滤芯阻力值

项目	只有主滤芯 kPa	无纺布安全滤芯及主 滤芯 kPa	纸质安全滤芯及主滤 芯 kPa
额定流量 1920 m ³ /h	1.19	1.80	2.30
最大流量 2300 m ³ /h	1.65	2.44	3.17

从表 5 看出，额定空气流量下，无纺布安全滤芯阻力增加 0.61 kPa，而纸质安全滤芯阻力增加 1.11 kPa；空气流量再增加，两者阻力相差更悬殊；由此看出，纸质安全滤芯在效率方面起双保险，这是以增加进气阻力，做代价的。

并非所有空滤器都可以用纸质安全滤芯，一般来说大功率柴油机，空滤容量大，因为滤纸折宽的限值，主滤芯内径较大，有放置安全滤芯的空间，可以采用纸质安全滤芯，但是要注意，安全滤芯的内径与空气滤清器壳体出气口直径应该相应，安全滤芯出气口内径过小是不可取的，小排量，小功率发动机的空气滤清器，不宜布置安全滤芯。

6 结论

6.1 《安全滤芯绝对称量法》，测定安全滤芯的效率，储灰量，分析对空滤器总效率的实际影响，是可行的；

6.2 试验结果显示,安全滤芯兼有拦截捕获透过主滤芯粒子的作用,扩大了安全滤芯的应用目的范围,为全面评价安全滤芯更为合理;

6.3 《ISO 5011: 2000》有关安全滤芯的部分内容,值得商榷,应进一步通过试验,做必要的修改。

6.4 无纺布和空滤滤纸,用于安全滤芯都是可行的;无纺布最好做油湿处理,纸质安全滤芯的阻力高一些,适合于较高空气流量的卡车进气系统,小容量空滤器并不适用。

参考文献

(1) ISO 5011: 2000 内燃机和空压机进气空气滤清器—性能试验

(2) SAE J726—2002 空气滤清器试验规范

(3) 宋天定,等. 滤清器技术选编. 中国内燃机工业协会滤清器分会,中国汽车工业协会车用滤清器委员会, 1998.

(4) 宋天定,等. 滤清器技术选编. 中国内燃机工业协会滤清器分会,中国汽车工业协会车用滤清器委员会, 1998.