

# 聚氨酯油浴式空气滤清器的研制开发

河北亿利橡塑集团有限公司 霍玉荣 尹长敬

**摘要：**本文介绍了传统油浴式空气滤清器的现状；提出了聚氨酯油浴式空气滤清器的设计方案，聚氨酯滤芯材料的性能要求以及试验结果，对聚氨酯油浴式空气滤清器与传统油浴式空气滤清器做出了分析评价。

**关键词：**油浴式 聚氨酯 失油 软质泡绵 孔隙度

## 1 对油浴式空气滤清器的评价

### 1.1 油浴式空气滤清器的发展及现状

油浴式空气滤清器历史悠久，应用广泛，结构简单，滤芯经过反复保养，可以长期使用；中国一汽解放牌 CA10 系列，南汽 NJ230 ，前苏联嘎斯，吉斯系列车型，都是油浴式空滤器；早期的发动机压缩比低，升功率较低，平均有效压力不高，发动机承受热负荷较小，发动机气缸活塞组磨损强度并不大，油浴式空气滤清器没有出现太大的问题，很长时期，油浴空气滤清器一直占有主导地位。

随着发动机的逐渐强化，机械负荷，热负荷，日趋严重，单独油浴式空气滤清器，时有发动机早期磨损发生；20 世纪 50 年代，美国三滤滤纸问世；我国 1965 年成功研制出树脂处理的三滤滤纸，一时间，车辆发动机普遍采用纸质空气滤清器，代替油浴式空气滤清器；现在，只有拖拉机，部分工程机械采用油浴式空气滤清器。油浴式空气滤清器大有淘汰出局的态势，油浴式空气滤清器肯定就退出历史舞台了吗？话还不能简单这样说。

在环境恶劣灰尘严重的地区，或者由于地区闭塞，缺乏滤芯配件等原因，采用油浴式作为粗滤器，下游为纸质空气滤清器，作为精滤器，构成复合式滤清系统，国内外都有这样的先例，油浴式空滤器有较高效率，从而极大地减轻了下游纸芯的负荷，纸芯可以延长保养周期，甚至可以长期无需更换。对于灰尘严重条件下的车辆，工程机械，矿山机械，更为实用。

早期单级油浴式空气滤清器常见结构，见图 1。中等吨位卡车用周边进气方式较多，重型卡车用管状进气方式较多。

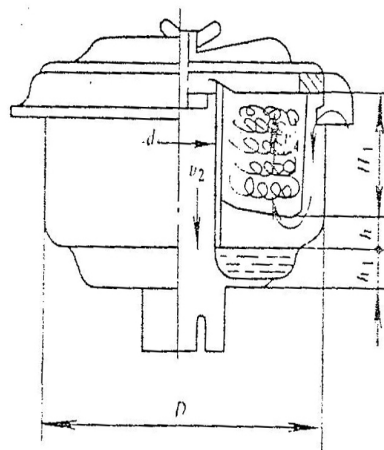


图 1 周边进气油浴式空气滤清器

### 1.2 油浴式空气滤清器存在的问题

1.2.1 油浴式空滤器最大问题，滤清效率低；过去试验结果，即使在额定空气流量下，滤清效率也只有 96%，汽车发动机绝大多数工况下，都处于部分负荷运行，此时的滤清效率会更低，一汽老解放牌汽车测试过，油浴式空滤器的效率还不到 90%。

1.2.2 铁丝油浴式空气滤清器的设计难度大，要求精确掌握发动机的空气流量与合理溅油的关系，稍有偏差，不是失油，就是不能溅油，滤清效率大大下降。

1.2.3 镀锌铁丝的镀层不易控制，镀层不匀，有的镀层过薄，使用中常有铁丝锈蚀折断现象；

1.2.4 铁丝缠绕成滤芯，铁丝的密度不均，内部形成空洞；

1.2.5 为了保持铁丝滤芯成固定形状，铁丝滤芯总成需要上下钢板，还需要外侧和内侧钢板，装配焊接成形；

1.2.6 由于铁丝滤芯总成与空滤器壳体刚性接触，产生一定的间隙，无法密封，会造成漏气漏灰；

1.2.7 铁丝滤芯形状固定，软质纤维状的杂质一旦进入铁丝滤芯内部，根本无法清洗；

1.2.8 镀锌铁丝，作为滤芯，消耗大量金属；

## 2 聚氨酯油浴空气滤清器的设计

### 2.1 聚氨酯油浴式空滤器在进气系统中的布置



把聚氨酯油浴式空滤器作为粗滤器，其滤清效率高达 98%~99%，高于包括旋流管在内任何一种粗滤器，经过聚氨酯油浴式空滤器过滤后，剩下极少量的细粒灰尘，进入下游的纸质空滤器，纸质空滤器作为精滤器，效率接近 99.9%，构成一套合理的空气过滤系统。

### 2.2 独立式设计方案

2.2.1 聚氨酯油浴式空滤器为独立式，结构设计见图 2。进气口在顶部，出气口在侧向，用绕性胶管与下游的纸质空滤器连接；方案的基础，在传统油浴式滤清器的基础上，参照铁丝滤芯布置方式，设计聚氨酯滤芯，好处在于，尽量采用现有零件，减少模具投入，简化不少程序，缩短试制周期。

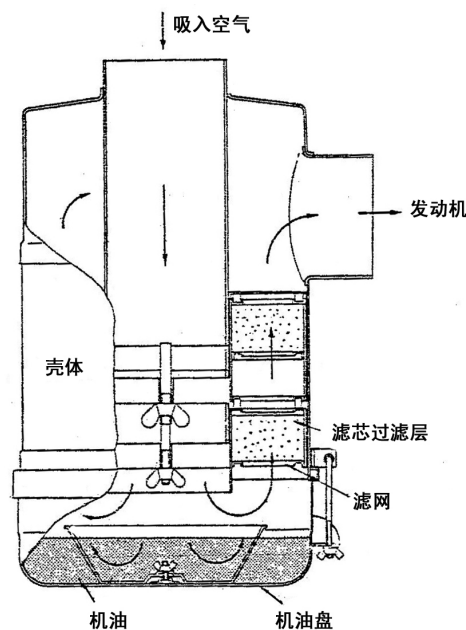


图 2 独立油浴式空气滤清器

2.2.2 工作原理，最下面为机油盘，上面为壳体，包括进气口和出气口，关键是聚氨酯滤芯过滤层的设计，额定流量下滤芯过滤层的气体流速低于 3.6 m/s，多次反复试验，确定滤芯过滤层由上下两部分构成，下层厚度 70mm，上层厚度 100mm，中间气体膨胀空间厚度 30mm。含尘气流沿中心管冲到油面，90%以上的灰尘粒子，浸入油盆和下层滤芯，其余不到 10%的粒子，粘结在上面过滤层上，随着滤料粘结的机油和粒子增多，在重力作用下，逐渐返回油盆，滤芯有自净作用，形成一种动态平衡。

### 2.2.3 技术参数

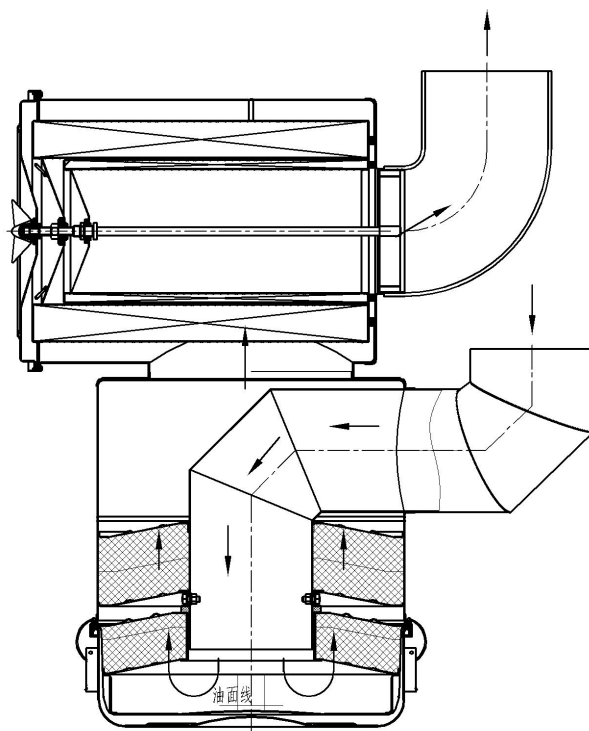
关键结构尺寸，参考表 1 的经验数据验算，最终还得根据试验结果确定。

表 1 油浴式空气滤清器的技术数据<sup>(1)</sup>

技术参数类别	推荐值
单位空气流量占有的机油量 (L/m <sup>3</sup> /min)	0.20~0.30
滤网油湿时, 空气流量占额定流量的百分数 (%)	35~43
进气管出口流速与油面气体流速的矢量和 (m/s)	5.0~9.5
通过过滤层的空气流速 (m/s)	3.0~3.5
单位空气流量下, 油面与滤网距离 (mm/m <sup>3</sup> /min)	6~10
中心管空气流速 (m/s)	10~20
滤芯高度(mm)	单滤芯 50; 双滤芯 100
纤维丝当量直径 (mm)	0.3
聚氨酯的孔隙度 (%)	97
聚氨酯滤芯的水力半径 (mm)	1.25~3.0
聚氨酯滤芯的当量直径 (mm)	5~12

### 2.3 复合式设计方案

油浴式与纸质空滤器集成一体, 为复合式; 见图 3。改变从顶部直管进气, 为侧向弯管进气, 油浴式的结构与独立式方案完全相同, 两者大部分零部件通用。纸质空滤器布置在油浴式壳体的顶部, 结构紧凑; 两种布置各有千秋, 总的来说独立式油浴式空滤器结构简单, 工艺性好, 整车布置灵活; 复合式空气滤清器总成结构紧凑, 占用总体空间较小, 进气阻力低, 抗失油能力更强。



### 2.4 关于聚氨酯材料

#### 2.4.1 物理性能

油浴式空滤器滤芯的合适材料, 是发泡聚氨酯, 也称软质泡绵, 密度 0.027~0.031g/cm<sup>3</sup> 颜色, 黑色, 拉伸强度 150MPa, 延伸率 200; 在温度 80° ~ -30° °C 的条件下, 聚氨酯材料不能老化变脆; 对机油有浸润现象, 使纤维表面分布一层极薄的油膜, 粒子经过带有油膜的纤维层, 产生一种附着力, 将粒子粘结在过滤介质内。

#### 2.4.2 孔隙度

发泡海绵, 是一种蓬松的海绵体, 由当量直径为 0.3mm 的纤维丝构成网络式骨架, 内部全部为孔洞状态, 不允许有盲孔, 孔隙度不能小于 97%。

### 2.4.3 水力半径及当量直径

聚氨酯纤维丝为线状或片状，近似直径 0.3mm，这是一个经验数据；这里还需要引用水力学的一个概念，水力半径，也称液力半径，是过水断面与湿周之比，按下面公式计算：

$$r = \frac{v_0 - v_m}{f}$$

式中  $r$ —水力半径，mm；

$v_0$ —聚氨酯滤芯所占的空间容积， $\text{mm}^3$ ；

$v_m$ —聚氨酯纤维丝自身所占的容积， $\text{mm}^3$ ；

$f$ —聚氨酯纤维丝总表面积， $\text{mm}^2$ ；

计算过程比较繁琐，为节省篇幅，略去计算过程，得出水力半径  $r=2.5\text{mm}$ 。

当量直径  $d_e=4r=10\text{mm}$ ，当量直径允许范围 5—12mm 之内<sup>(2)</sup>。孔隙度、纤维直径、水力半径，属于经验数据。

## 3 试验结果

### 3.1 性能试验

阻力，效率，储灰量等有关性能试验数据归纳于表 2。从表 2 可知，聚氨酯油浴式空滤器阻力与铁丝油浴滤清器相当，而滤清效率和储灰能力高于铁丝油浴式滤清器。

表 2 铁丝油浴式空滤器与聚氨酯油浴式空滤器性能

试验滤清器类型	铁丝油浴式滤清器	聚氨酯油浴式空气滤清器
阻力 kPa	两者阻力相当	
滤清效率%	95.0 <sup>(3)</sup> ~ 97.0 <sup>(4)</sup>	98.5~99.5
储灰量 g	3600	10400

\*注，这是国外资料的数据，一般为 95.0%，日本为 96%，美国为 97%；

### 3.2 失油界限空气流量

控制失油率是油浴式空滤器的难点；失油与多种因素有关，滤芯结构及布置，滤芯材料物理性能，油面高度，机油油量；车辆上坡下坡时滤清器倾斜；最容易失油。表 3 数据表明，聚氨酯油浴式空滤器抗失油能力高于铁丝油浴式空气滤清器。

表 3 失油界限空气流量

试验滤清器类型	铁丝油浴式滤清器	聚氨酯独立式油浴式	聚氨酯复合式油浴式
失油界限流量 $\text{m}^3/\text{h}$	1512	1850	2050

### 3.3 部分负荷下滤清效率

表 4 聚氨酯油浴式空气滤清器在部分负荷下的效率

流量 $\text{m}^3/\text{h}$	672	840	1008	1428	1512	1680	1800	1900
占额定流量百分数 %	35	44	53	75	80	88	95	100
滤清效率 %	98.2	98.6	99.9	99.6	99.2	99.3	99.7	99.4

铁丝油浴空滤器很大一个问题是发动机部分负荷条件下，滤清效率下降过大，只有 86%—93%；而发动机却经常在部分负荷下运行；表 4 试验数据表明，聚氨酯油浴式空滤器滤清效率随空气流量变化很小。

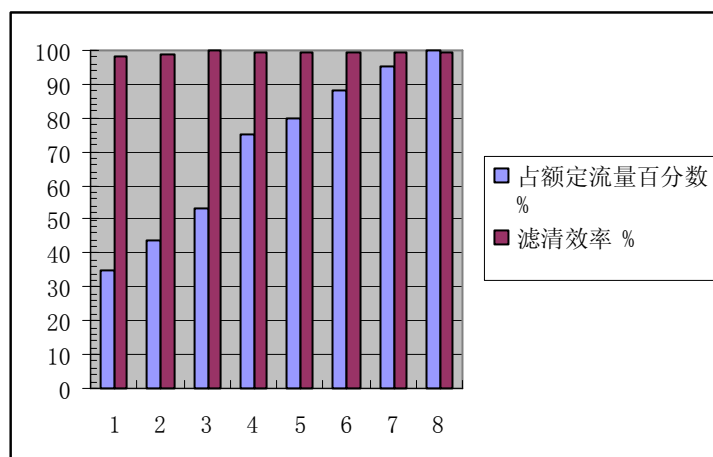


图4 聚氨酯油浴式空滤器部分负荷下的滤清效率

### 3.4 聚氨酯油浴式空滤器试验方法

油浴式空气滤清器比干式滤清器试验难得多，如果按照试验标准来做，很难得出精确结果，极容易污染空滤试验台；本文全部试验，以油浴式空滤为试验对象，将下游干式纸质空滤器作为绝对滤清器，观察失油现象并测定失油量，精度为 0.01g，已经足够；为了确定失油界限空气流量，空气流量每次以 2%或 2.5%逐渐递增。

以一次寿命试验为例，加灰量 6020g，油浴滤清器平均滤清效率为 99.4%，失油界限空气流量高达 2250m<sup>3</sup>/h。试验结束，拆检精测，油盆和下层聚氨酯滤除灰尘 5595g，占油浴空滤器滤除灰尘总量的 93.5%；上层滤芯滤除 394g，只占总量的 6.5%；有资料介绍，油盆滤除灰尘占 70%，上滤芯滤除灰尘占 30%<sup>(1)</sup>；足见聚氨酯具有极强的过滤能力；

### 3.5 清洗保养及复原性

尽管聚氨酯油浴式空滤器容灰量很大，还应该定期保养，用洗涤剂或者煤油，清洗聚氨酯滤芯和油盆，阻力复原性超过 95%。每次保养聚氨酯滤芯时，无需保养主滤芯，待聚氨酯滤芯保养几次以后，再保养纸芯，主滤芯使用寿命可以延长。

### 3.6 聚氨酯滤芯与铁丝滤芯材料比较

表 5 聚氨酯滤芯与铁丝滤芯比较

对比项目	铁丝滤芯油浴空气滤清器	聚氨酯滤芯油浴空气滤清器
滤芯总成结构工艺性	滤芯结构复杂，铁丝需要上下盖板，侧板，组成总体，钣金件多，工艺繁琐；	滤芯结构简单，就是一块海绵，仅要上下盖板固定；
滤芯总成与壳体密封性	滤芯总成与壳体有间隙，无法密封；	滤芯与壳体弹性软接触，密封性好；
滤材均匀性	铁丝滤芯，疏密不匀，局部有空腔和较大空洞；	材料疏密度均匀；
滤材可靠性	镀锌铁丝，镀层不匀，容易锈蚀，铁丝易碎裂；	聚氨酯物理性能稳定，长期工作不发生变化；
滤芯保养问题	滤芯内部进入纤维状脏物无法清洗；	保养容易，滤芯内部进入纤维脏物容易清洗；
空滤总成复原性	复原性可以；	复原性好；
滤芯材料对比	消耗电镀铁丝；	用发泡高分子聚氨酯，无后续工艺，性能稳定；
对空滤总成重量的影响	铁丝油浴式空气滤清器总成重量大；	以河北亿利橡塑集团有限公司 1109510Q889 聚氨酯油浴式空气滤清器为例，比铁丝空滤器重量降低 8.48 kg，是相当可观的数字。

#### 4 结论

聚氨酯油浴式空气滤清器，与传统油浴式空气滤清器比较，结构简单，重量大幅度减轻，抗失油能力强，滤清效率高，部分负荷工况下，滤清效率变化小，储灰量大，保养方便，复原性好；特别适用于恶劣环境的道路、矿山、建筑工地，作为进气系统的粗滤器。

#### 参考文献：

- (1) エアクリーナの設計について 内燃機関 Vol. 18, No. 225, 1979. 7, p. 77～79
- (2) 孙祖培 柴油机设计手册 . 中册. 中国农业机械出版社 1984.
- (3) 日本科学工业公司交流资料 エンジン部品第4章 エアクリーナ 1986.
- (4) Erich J. Schulz. DIESEL MECHANICS. 1983. McGraw-Hill