

# 影响空气滤芯剩余寿命预测结果因素的讨论

崔本涛

新乡航空工业(集团)有限公司 河南 新乡 453000

**【摘要】**：随着人工智能、故障预测与健康管理等新技术的大规模应用，越来越多的零部件级寿命预测算法出现在我们的视野当中。本文从空气滤清器寿命检测的原理开始，阐述了空气滤清器剩余寿命的预测方法，最后推导出了影响空气滤清器寿命预测结果的因素。

**【关键词】**：车载过滤系统；滤芯寿命预测；系统故障诊断

## Discussion on Factors Affecting Prediction of Residual Life of Air Filter Element

Bentao Cui

Xinxiang Aviation Industry (Group) Co. LTD., Henan Xinxiang 453000

**Abstract:** With the large-scale application of new technologies such as artificial intelligence, fault prediction and health management, more and more parts-level life prediction algorithms appear in our field of vision. Starting from the principle of life detection of air filter, this paper expounds the prediction method of residual life of air filter, and finally deduces the factors that affect the prediction result of air filter life.

**Keywords:** on-board filtration system; life prediction of filter element; system fault diagnosis

### 前言

近年来，随着人工智能、故障预测与健康管理等新技术的大规模应用，越来越多的零部件级寿命预测算法出现在我们的视野当中。例如：笔记本电脑电池的剩余使用时间算法、汽车的剩余行驶里程算法、发动机甚至是飞机的剩余寿命预测算法。剩余寿命预测算法是21世纪提高复杂系统“六性”和降低寿命周期费用的一项非常有前途的军民两用技术。本文讨论的就是影响空气滤芯剩余寿命预测算法的相关因素。

### 1 空气滤清器的寿命检测意义

车辆在行驶过程中，发动机需要将空气吸入缸内与燃油进行燃烧获取动力。首先，如果没有过滤系统对空气进行过滤，大量含有不易燃烧颗粒的空气就会进入发动机，在发动机的运行过程中，这些颗粒会使发动机气缸磨损严重甚至是损坏；其次由于过滤系统的拦截作用，需要经常对滤芯进行维护保养，否则滤芯外表就会被颗粒覆盖堵塞流道，引发发动机的功率不足甚至是冒黑烟等现象。

我们通常会按照说明书要求的时间或里程对滤芯进行维护或者是更换。在工况良好的条件下按照说明书进行维护，会出现滤芯还能继续使用就被换掉的浪费现象。在工况条件差的条件下按照滤芯说明书进行滤芯维护，就会出现滤芯流道被堵塞引起发动机进气不足的情况。

### 2 空气滤清器的寿命检测原理

发动机都要经过进气、压缩、燃烧膨胀、排气四个工作过程才能完成一个工作循环。在发动机的进气冲程中，空气由空气滤清器的进气口进入滤清器内部，然后流过滤芯从滤清器的

出气口流出进入发动机。空气滤清器的作用是将外界空气中的灰尘进行过滤，然后将干净的空气送至发动机和燃油混合进行燃烧获取动力。空气滤清器的核心组件是空气滤清器滤芯，滤芯通过拦截的方式将空气中的颗粒分离在滤层之外。当空气滤清器使用一段时间后，滤芯表面会被灰尘等颗粒覆盖，这些灰尘会吸附在滤芯表面增加空气流过滤芯的难度，也称为增加了空气流过滤芯的阻力，这个阻力是造成空气在滤芯前和滤芯后空气压力不一致的原因。固定空气流速下过滤前空气压力和过滤后空气压力差的绝对值，就是这个滤芯在这个流速下的流阻值。

未经过滤的空气经由空气滤清器的进气管进入到空气滤清器内部，然后经过滤芯的过滤之后变成了干净的空气，干净的空气再经由出气管流出空气滤清器，整个过程如图1所示。

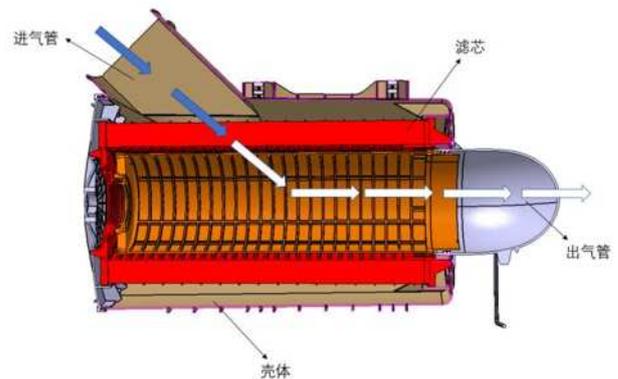


图1 空气滤清器示意图

在发动机进气系统当中，空气滤清器进气口连接大气，出气口连接发动机。发动机工作时，空气是由空气滤清器的进气

口进入到滤清器内部，然后流过滤芯，从滤清器的出气口流出进入到发动机中。在这个过程中因为发动机的吸气作用，所以整个进气系统内部的压力低于大气压，无论是过滤前还是过滤后，空气压力都是负压。

每个发动机都会有一个极限的进气阻力值，这个进气阻力值是整个进气系统阻力的总和。在固定进气流量下，唯一会发生变化的就是滤芯的流阻值。如果因为滤芯流阻值的增加，整个进气系统的阻力值影响到发动机进气，造成发动机进气不畅，最终发动机无法获得足够的空气和燃油进行混合燃烧。我们通常将这种状态下的滤芯流阻值叫做滤芯终了阻力，这种情况下需要及时对滤芯进行维护或者是更换。

负压开关以其低廉的价格和较强的稳定性一直被首选为流阻检测装置。随着国家要求的排放等级提高，负压开关已不能满足发动机排放的要求，负压传感器开始逐渐取代负压开关成为流阻报警器的主角。负压传感器和负压开关的区别是负压开关只有两种状态，分别表示是否达到了设计的报警值，而负压传感器可以将气压通过转换关系转换为连续的电压值，整车或者是信号接收器可以通过压力传感器获取整个空气滤清器生命周期的流阻信息。其输出电压与监测压力值关系如公式(1)所示

$$V_{out} = \alpha \times P + \beta \quad (1)$$

式中：

$\alpha$  —— 负压传感器系数；

$V_{out}$  —— 输出电压/V；

$P$  —— 监测压力/kPaG；

$\beta$  —— 气压为 0kPaG 时传感器的输出值/V

不同的负压传感器的  $\alpha$  值也不相同，计算时需要根据具体情况替换。负压传感器的电压值被控制器采集后，经过 ADC 转换我们就可以得到空气滤清器的当前时刻的流阻值。使用空气滤清器的终了阻力减去空气滤清器当前时刻的流阻值，得到的就是这个空气滤清器的剩余可使用寿命，如公式(2)所示

$$P_{\text{剩余}} = P_{\text{终了}} - P_{\text{当前}} \quad (2)$$

式中：

$P_{\text{剩余}}$  —— 空气滤清器剩余寿命/kPaG；

$P_{\text{终了}}$  —— 发动机所能承受最大流阻值/kPaG；

$P_{\text{当前}}$  —— 空气滤清器当前流阻值/kPaG；

空气滤清器的剩余使用寿命百分比计算方法如公式(3)所示

$$\beta = \frac{P_{\text{剩余}}}{P_{\text{终了}}} \quad (3)$$

式中：

$\beta$  —— 滤清器剩余寿命百分比；

$P_{\text{剩余}}$  —— 空气滤清器剩余寿命/kPaG；

$P_{\text{终了}}$  —— 发动机所能承受最大流阻值/kPaG；

### 3 空气滤清器剩余使用寿命的计算方法

在空气滤清器开发阶段的验证试验中，使用容灰量试验或总成试验室寿命试验作为检测空气滤清器到达终止使用条件时总的质量增量。灰尘可以使用粗灰或者是细灰，当空气滤清器的阻力达到 6.2kPa 终止条件时，试验结束。

在实际测试的过程中通常以固定流量为测试流量，然后使用固定速率向空气滤清器进气口送灰尘，整个试验过程的流阻—容尘量曲线如图 2 所示。

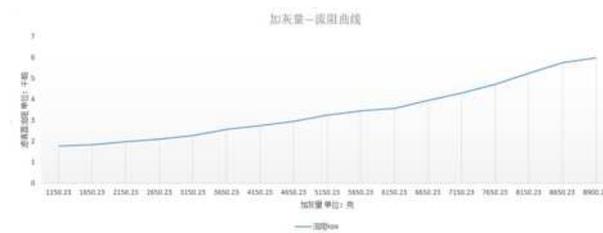


图 2 加灰量—流阻曲线图

图中 X 轴代表的是加灰重量，单位为 g；Y 轴代表的是滤清器的流阻，单位为 kPa。从图中可以看出，使用稳定的测试流量进行空气滤清器容尘量测试时，随着灰尘的增加，空滤的流阻也随之增加，当流阻增加至 6.2kPa 终止条件时，试验结束。整个试验过程中影响空气滤清器流阻唯一的变量就是加灰量。加灰量—流阻曲线趋近于斜率为常数的一元一次方程斜线，也证明其流阻的增加速率也趋近于常数。在恒定的空气滤清器流阻增长率下，我们需要构建两个相似三角形作为空气滤清器的剩余行驶里程或者剩余使用时间的计算模型。

为了计算空气滤清器的剩余行驶里程，则此空气滤清器的剩余行驶里程计算如公式(4)所示：

$$\frac{P_{\text{增}}}{S_{\text{行}}} = \frac{P_{\text{终了}}}{S_{\text{总}}} \quad (4)$$

式中：

$P_{\text{增}}$  —— 车辆行驶 S km 后，空气滤清器的流阻增值/kPaG；

$S_{\text{行}}$  —— 车辆行驶里程/km；

$P_{\text{终了}}$  —— 空气滤清器终了流阻/kPaG；

$S_{\text{总}}$  —— 空气滤清器可行驶总里程/km；

$P_{\text{增}}$ 、 $S_{\text{行}}$ 、 $P_{\text{终了}}$  均为已知数，通过式(3)可以计算出空气滤清器的总行驶里程 S km，使用总行驶里程减去已行驶里程就能得到空气滤清器的剩余行驶里程。此处计算出来的剩余行驶里程是基于空气滤清器在过去的一段时间内行驶的工

况数据得到的推算值。如果工况发生变化,则需要重新获取工况数据带入计算。

#### 4 影响空气滤清器剩余寿命预测的因素

在实际的车辆行驶过程中与试验室不同的是在整个空气滤清器的生命周期内,空气流过滤清器的流速并不是恒定的。变化的介质流量会引起空气滤清器流阻的变化,本文用ISO5011的阻力和压差试验来进行验证说明。

ISO5011的阻力和压差试验标准规定按额定流量的50%、75%、100%、125%和150%的流量间隔,或按用户和制造商认可的方式进行测量,并记录相应的流量点的阻力。按照其要求进行测试,其结果如图3所示。

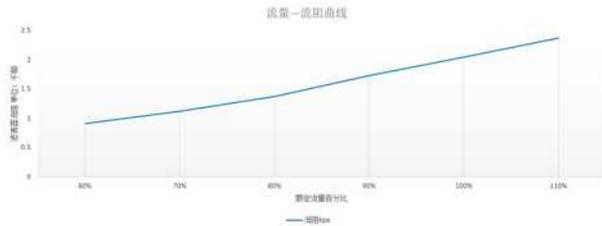


图3 流量—流阻曲线

图中X轴代表额定流量固定百分比下的空气流速,Y轴代表空气滤清器的流阻值。从上图可以看出当流过空气滤清器空气的流量发生变化时,即使没有向空气滤清器中加灰,也会引起空气滤清器流阻的变化。整个过程中影响空气滤清器流阻唯一的变量就是测试流量,流量—流阻曲线趋近于斜率为常数的斜线,也证明其流阻的增加速率也趋近于常数。

为了验证车辆上的空气滤清器流量—流阻变化和试验室的试验保持一致。本文采集了某车辆原地驻车时不同空气流速下的空气滤清器流阻变化情况如图4所示。



图4 实车流阻测试曲线

图中X轴是实车测试时的时间轴,Y轴是表示空气滤清器的流阻值,单位kPa。从图中可以看出当驾驶员原地踩油门时,空气滤清器的流阻会随着油门的大小进行变化,其结果和试验室结果相吻合。

影响空气滤清器寿命预测结果的因素如表1所示。其中因素1、2、3、5会在短时间内造成流过空气滤清器的空气流量发生变化,这种变化虽然不是滤芯本身存灰量增多造成的,但是会对滤芯的剩余寿命预测甚至是剩余寿命百分比计算带来

#### 参考文献:

- [1] 上汽通用汽车有限公司.空气滤芯寿命监测系统 and 汽车:CN201920772456.8[P]. 2020-03-13.
- [2] 成都星图时代科技有限公司.一种滤芯寿命的计算方法和装置:CN201810646374.9[P]. 2019-12-31.
- [3] 皓庭(唐山)环境科技有限公司.滤芯的寿命监测方法和装置:CN201811054208.6[P]. 2019-01-25.

干扰。如果在算法当中没有妥善处理这类情况,会造成计算出的空气滤清器剩余寿命忽高忽低的不稳定状况。

表1 影响空气滤清器剩余寿命预测结果因素汇总表

序号	影响因素	相关变量	说明
1	驾驶员驾驶习惯	发动机进气量	驾驶员是否喜欢深踩油门直接影响到空气滤清器寿命预测的结果。当驾驶员深踩油门时,发动机进气量增加,空气滤清器流阻增加;当驾驶员放开油门时,发动机进气量减小,空气滤清器流阻减小。
2	车辆运行姿态	发动机进气量	车辆的运行姿态直接影响到空气滤清器寿命预测的结果。当车辆处于爬坡姿态时,发动机输出功率增大,需要更多的空气来维持功率输出,使发动机进气量增加;当车辆下坡时,发动机进气量相对于爬坡时骤减,发动机进气量骤减。
3	车辆货物负载状态	发动机进气量	车辆的货物负载状态直接影响到空气滤清器寿命预测的结果。负载货物更多的车辆需要更大的发动机输出功率,发动机输出功率增大,需要更多的空气来维持功率输出,使发动机进气量增加。
4	车辆所在海拔高度	发动机进气量	车辆所在海拔高度直接影响到空气滤清器的寿命预测结果。车辆所处的海拔较高时,空气中的氧气含量稀薄。发动机要维持车辆的正常工作,需要吸入相对于低海拔地区更多空气来维持发动机的功率输出,使空气滤清器流阻增大。
5	天气状况	滤芯表面灰尘状态	天气状况间接影响到空气滤清器的寿命预测结果。当遇到下雨天时,空气滤清器会吸入较为潮湿的空气,空气中的水分会使附着在滤芯表面的灰尘变为泥土状态。将原本灰尘之间的缝隙牢牢堵死,导致空气滤清器流阻的上升。等到天气转晴后,随着滤芯表面水分蒸发,流阻会有略微下降的趋势。
6	空气质量	滤芯表面灰尘覆盖速度	空气质量直接影响到空气滤清器的寿命预测结果。空气质量较好的工况,流阻增加的较慢。空气质量较差的工况,空气滤清器的有效流阻增加的较快。是空气滤清器寿命预测结果的主要考虑因素。

#### 5 总结

本文首先阐述了空气滤清器进行增加寿命预测功能的必要性,然后对空气滤清器的工作原理及寿命检测的原理进行了说明,又详细地描述了空气滤清器的剩余寿命预测方法,最后通过试验室测试及整车实际测试推导出影响空气滤清器寿命预测结果的因素。此篇论文清晰地指出了能够影响空气滤清器流阻的因素,为开发出准确的空气滤清器剩余寿命预测算法奠定了基础。