

# Study on Strength of Filter under Blockage Condition

Yixiong Liu

Beijing Institute of Aerospace Launch Technology, Beijing  
Email: 13698266791@163.com

Received: Nov. 7<sup>th</sup>, 2018; accepted: Nov. 23<sup>rd</sup>, 2018; published: Nov. 30<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

The structure strength of filter under the condition of blockage is studied by experiment to find out the pressure limit of pipeline filter under abnormal working condition. Meanwhile, the static strength and buckling instability of the filter are analyzed by the finite element analysis method. The results show that the filter is likely to breakdown due to the buckling instability of the filter under the condition of complete blockage.

## Keywords

Filter, Blockage, Strength

---

# 堵塞工况下过滤器强度研究

刘贻雄

北京航天发射技术研究所, 北京  
Email: 13698266791@163.com

收稿日期: 2018年11月7日; 录用日期: 2018年11月23日; 发布日期: 2018年11月30日

---

## 摘要

为了摸清管道过滤器在非正常工况下的承压极限, 本文通过试验研究了滤网堵塞工况下过滤器的结构强度, 同时借助仿真软件分析了过滤器在堵塞工况下的静强度及骨架失稳。结果表明: 在滤网全堵塞工况下, 过滤器极可能出现因骨架屈曲失稳而失效。

## 关键词

过滤器, 堵塞, 强度

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

过滤器的主要作用是滤除介质中一定尺寸的杂质, 保证介质洁净度要求。为了防止多余物进入火箭发动机, 液体型号运载火箭及其加注系统中, 广泛使用各种形式的过滤器。一方面, 过滤器是保证推进剂洁净的最后屏障; 另一方面, 若过滤器自身的强度不够, 尤其是非正常工况下过滤器的承压能力不足, 导致过滤器损坏而引入多余物, 危及运载火箭飞行安全。

目前大多数研究都是针对煤炭、石油、空调过滤器的研究[1][2][3][4], 而内容更多地关注过滤器压降及性能研究, 鲜见关于过滤器的非正常工况下的承压极限研究。例如, 柳志忠等人[5]针对网式过滤器压降设计中的不足, 提出采用滤器流道压降数学仿真计算和滤网压降数值计算相结合的方法。王宪成等人[6]建立了过滤器过滤初期压降模型及过滤器后期压降增长率模型, 分析了丝网结构参数、过滤器结构参数、微粒大小及介质对过滤器压降的影响。文献[7]研究了过滤器在堵塞工况下的流量压降特性, 揭示了过滤器压降随滤网堵塞面积及流量的变化规律。

本文通过实验对某过滤器在滤网全堵塞工况下的承压特性进行研究, 并借助数值仿真手段分析过滤器在极限工况下的结构强度及失效原因, 为过滤器的使用提供了故障判据。

## 2. 过滤器结构

本文研究的过滤器, 主要由滤网、骨架、壳体、头锥、压条等部分组成, 过滤元件均为金属丝网+骨架形式, 如图1所示。骨架上滤网采用不锈钢压条和不锈钢螺钉固定在骨架上, 并用不锈钢丝捆紧在骨架上。过滤器在管路上安装时, 取下两端的堵盖, 通过快速接头与管路连接。其中, 导流锥一侧为进口, 另一侧为出口。

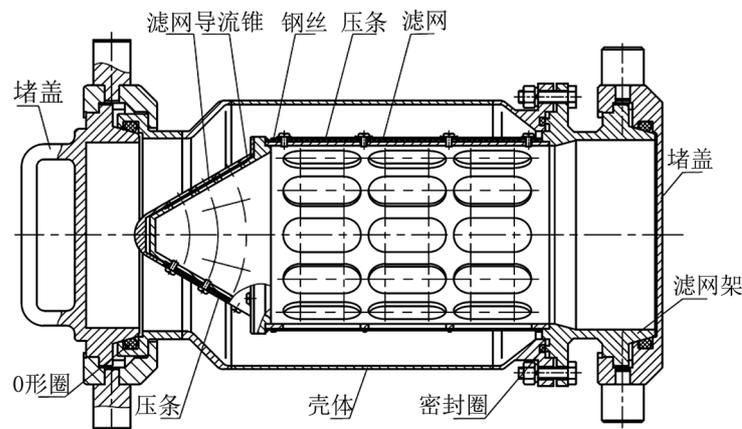


Figure 1. The diagrammatic sketch of filter

图1. 过滤器结构示意图

### 3. 试验装置及试验过程简述

连接试验管路和过滤器如图 2 所示, 在管路末端接入过滤器, 过滤器出口敞开。管路始端封堵并在管路始端安装压力传感器, 接入压力采集设备, 在管路始端高点处焊接接管嘴, 与氮气瓶连接。试验时将管道内注满水, 通过氮气瓶给管路增压, 进而实现过滤器入口的压力阶跃。通过调节氮气瓶手阀开度, 控制管道内压力, 采集管道测压点的瞬时压力值。

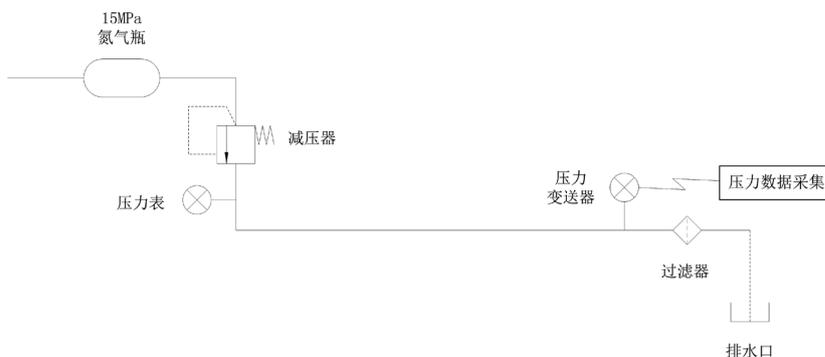


Figure 2. The diagrammatic sketch of filter experiment system  
图 2. 过滤器试验系统简图

### 4. 试验结果与分析

#### 4.1. 试验结果与分析

第一组试验, 设定压力 1MPa, 试验过程中缓慢调节氮气瓶供气压力, 在 20 秒内使得压力提升至 1.0MPa, 压力随时间变化情况如图 3(a)所示。试验过程中, 压力最高为 1017 kPa, 20 秒达到最高压力后, 氮气瓶不再增压, 约两分钟后, 管道内压力跌至 0, 压力的释放比较缓慢。试验过程中, 过滤器出口水流缓慢流出(包覆不严, 有泄漏), 但没有出现井喷状况。试验后, 查看过滤器滤网无破损。

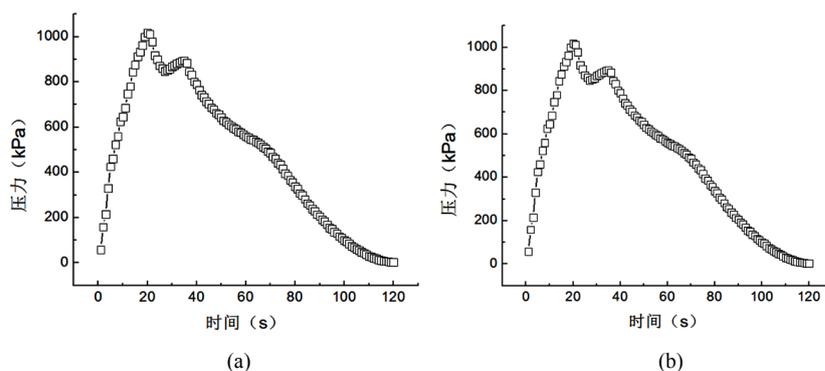


Figure 3. The tests of filter underblockage conditions. (a) The first test 1 MPa; (b) The second test 1.3 MPa  
图 3. 过滤器滤网全堵塞试验。(a) 第一次试验压力 1 MPa; (b) 第二次试验压力 1.3 MPa

第二组试验, 加快了管道升压, 升压时间为 10 秒, 设定压力 1.3 MPa。压力随时间变化情况如图 3(b)所示。压力在 10 秒迅速提升至 1317 kPa, 压力达到最大值后, 在 5 秒下降为 0。现场观察过滤器出口情况, 在压力达到最大值时, 过滤器出口水流井喷, 推测滤网破损。试验结束, 检查过滤器滤芯时发现滤芯失稳, 滤芯骨架严重变形将滤网拉扯, 出现滤网破损。

## 4.2. 失效骨架检测

过滤器金属骨架周向有 12 个网格，轴向有 3 个网格，网格高为 41 mm，宽为 18 mm，网格之间为筋条，竖筋宽 7.5 mm，横筋宽 4 mm，筋厚为 2.5 mm。过滤器骨架变形如图 4 所示。金属骨架垂直方向有 12 条竖筋，其中 2 条竖筋未发生明显变形，其余 10 条竖筋向内凸出，存在程度不一的塑性变形。横筋交替向内、向外凸出，其中有 3 个网格对应的横筋变形最为严重。金属骨架整体呈失稳变形特征。此外，金属骨架上未见明显的机械损伤、裂纹以及腐蚀痕迹，也未见明显宏观材料缺陷。



Figure 4. The destroy of filter skeleton

图 4. 过滤器骨架破坏

取金属骨架中变形最为严重的竖筋和横筋进行金相观察，如图 5 所示。微观组织均为孪晶奥氏体，未见明显组织缺陷，组织中均可见明显的变形流线，应是材料成形过程中形成，横筋中部变形最严重的位置变形流线有明显弧度，应是材料受外力变形所致。竖筋变形程度较小，竖筋中部和边缘的变形流线均未见明显弧度。

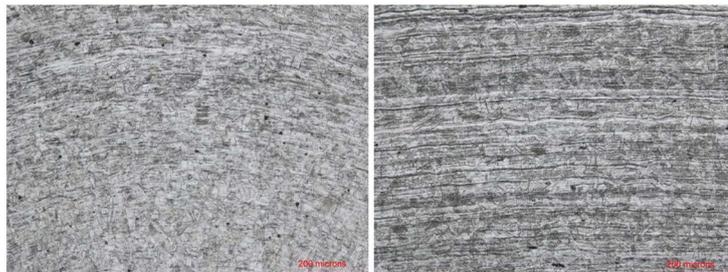


Figure 5. Metallographic analysis of filter skeleton

图 5. 过滤器骨架金相分析

参照 GB/T 228.1-2010 标准，取金属骨架上形状完好的竖筋进行拉伸性能测试，测试结果见表 1。从表 1 中可见，竖筋方向拉伸强度约为 660 MPa，屈服强度约为 330 MPa，满足 GJB 2295A-2006 中的拉伸性能要求( $R_m \geq 540$  MPa,  $R_{p0.2} \geq 196$  MPa)。

力学性能测试结果表明，材料抗拉强度及屈服强度满足相关标准性能要求。金相观察结果表明，金属骨架材料微观组织均为孪晶奥氏体，未见明显组织缺陷。

宏观观察结果表明，金属骨架存在明显的塑性变形，宏观呈外压失稳变形特征，由于金属骨架尺寸、材料成分、组织及力学性能均未见明显异常，也未见明显材料缺陷，因此失稳变形原因应与金属骨架承受较大外压有关。

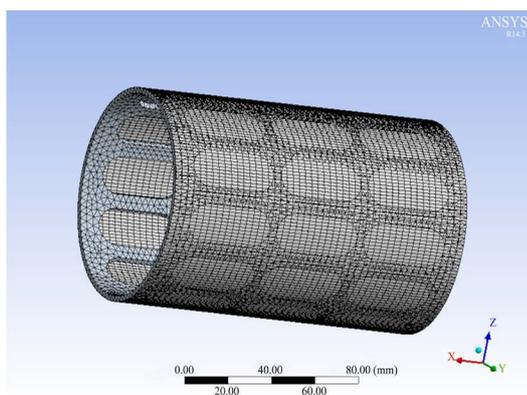
**Table 1.** Tensile property data of filter skeleton**表 1.** 拉伸性能测试数据

试验编号	Fm (kN)	Rm (MPa)	Fp0.2 (kN)	Rp0.2 (MPa)
1#	11.82	654	6.15	340
2#	11.76	665	5.54	313
3#	11.88	667	5.98	336

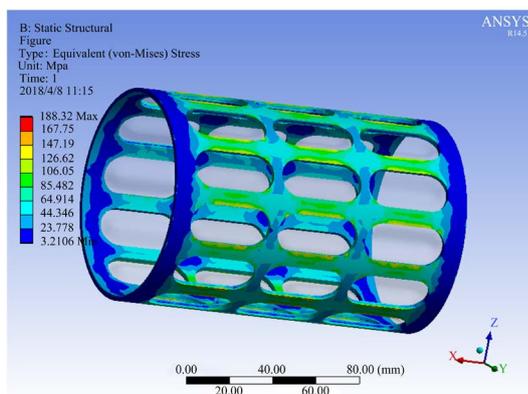
## 5. 数值仿真分析

根据过滤器实体模型进行模型简化,如图 6 所示,其中 X 轴为滤芯圆柱体轴向, Y、Z 轴为径向。模型的具体简化内容为:

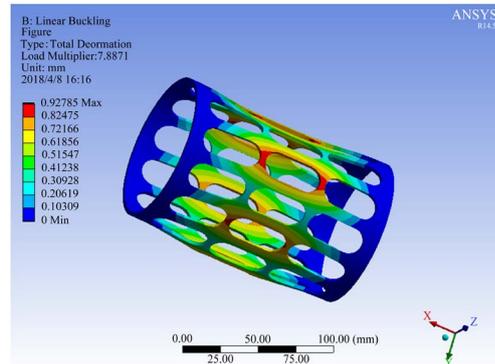
- 1) 不考虑过滤器外壳结构, 不考虑导流锥部分, 仅对滤芯和滤网的圆柱段进行建模;
- 2) 试验时通过在滤网表面外贴胶带的方式模拟滤网堵塞状态, 分析时该部分仅作传递载使用, 将其与滤网结构统一考虑为 0.1mm 的均匀圆柱面, 等效面与骨架外表面通过接触方式模拟。

**Figure 6.** Reduced model of filter**图 6.** 过滤器简化模型

将 1.3 MPa 压力施加至圆柱壳表面进行过滤器骨架静强度计算。骨架等效应力分布如图 7 所示, 由图可见, 骨架最大等效应力为 188 MPa, 而骨架测试的屈服强度约为 330 MPa。因此, 在 1.3 MPa 静压作用下, 骨架的强度满足要求, 不会出现结构失效变形。

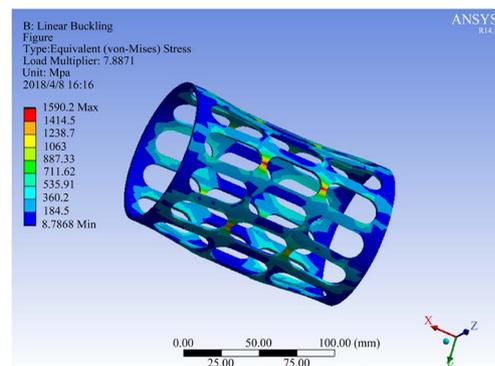
**Figure 7.** The equivalent stress distribution of filter skeleton**图 7.** 过滤器骨架等效应力分布

进一步,在骨架静强度计算的基础上,研究骨架的屈曲稳定性。通过在圆柱壁面上施加 1.3 MPa 的压力载荷作为基础载荷,进行特征值稳定性分析。骨架屈曲变形和应力如图 8、图 9 所示。可见,骨架在 1.3 MPa 压力作用下发生屈曲失稳,最大应力达 1590 MPa,远远超过骨架材料的屈服强度,发生失稳。



**Figure 8.** The deformation distribution of filter skeleton in linear buckling

**图 8.** 过滤器骨架屈曲失稳变形



**Figure 9.** The stress distribution of filter skeleton in linear buckling

**图 9.** 过滤器骨架屈曲失稳下应力分布

## 6. 结论

本文通过实验和数值计算方法研究了某液体过滤器在滤网堵塞下的极限强度。结果表明,过滤器在堵塞工况下,骨架存在屈曲失效风险,为过滤器使用的极限工况提供参考。

## 参考文献

- [1] 吴英,张世红.床料对流化床颗粒层过滤器过滤元件的压降的影响[J].能源技术,2006,27(2):57-59.
- [2] 张世红,郑楚光,刘德昌.流化床颗粒层过滤器过滤元件阻力实验研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2002,30(10):10-13.
- [3] 李淮颖,曹家枫,聂雪丽.多管式低阻高效空气过滤器的阻力特性研究[J].洁净与空调技术,2003(2):38-41.
- [4] 姚培,潘文群,李思田.输油管道网式过滤器压降的实验研究[J].管道技术与设备,2008(3):32-38.
- [5] 柳志忠,郑中,龙成毅.网式过滤器的压降计算和试验研究[J].机电设备,2010(5):55-58.
- [6] 王宪成,高希彦,张豫南,宁智.丝网过滤器压降解析模型研究[J].大连理工大学学报,2001,41(3):305-309.
- [7] 谢伟,李娟,石玉美,汪荣顺.液氮流过烧结金属过滤器的压降特性研究[J].低温工程,2007(3):40-49.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2167-6631，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[met@hanspub.org](mailto:met@hanspub.org)