

# 高压条件下药液过滤器抗压性能的影响因素及优化策略

卢安琪, 陈敦栋\*

(杭州科百特过滤器材有限公司, 杭州 310000)

**摘要:** 药液过滤器广泛应用于制药、化工等行业, 其在高压环境下的抗压性能直接关系到设备的安全性和工作效率。随着工业需求的增长, 对药液过滤器在高压工况下的可靠性和稳定性提出了更高要求。本文系统研究了药液过滤器的抗压性能, 分析了抗压强度、抗压疲劳性能、压降特性及密封性等指标, 并探讨材料选择、结构设计和工作环境等因素对抗压性能的影响。研究表明, 材料的选择和结构设计对抗压性能有显著影响, 而智能监控技术为过滤器的运行安全提供了新的保障。本文为药液过滤器在高压工况下的设计与应用提供了理论支持, 具有重要的实际意义。

**关键词:** 药液过滤器; 抗压性能; 监控技术; 材料创新

## 0 引言

药液过滤器广泛应用于制药、化工等行业, 尤其是在高压环境下, 其抗压性能对设备的安全性和过滤效果至关重要。过滤器在高压条件下的工作负荷和压力波动常常对其性能产生影响, 任何抗压性能的不足都可能导致设备损坏或药液泄漏, 进而影响生产的稳定性与安全性。因此, 开展药液过滤器抗压性能的检测与研究显得尤为重要。本文旨在深入探讨影响药液过滤器抗压性能的主要因素, 提出相应的检测技术, 为过滤器在高压工况下的应用提供理论支持与技术保障。

## 1 药液过滤器抗压性能的检测指标

### 1.1 抗压强度

抗压强度是评估药液过滤器抗压性能的最基本指标之一。它代表了过滤器在遭受外部压力作用下, 能够承受的最大压力值而不发生破坏或失效。在高压条件下, 过滤器的抗压强度直接影响其使用寿命和安全性<sup>[1]</sup>。通常, 抗压强度通过实验室的静态或动态负载试验来测定, 试验过程中会逐渐增加压力, 直到过滤器破裂、变形或失效<sup>[2]</sup>。因此, 确保过滤器具有足够的抗压强度, 是高压环境下使用药液过滤器的基本要求。

### 1.2 抗压疲劳性能

抗压疲劳性能是指药液过滤器在反复承受压力变化的过程中, 仍能保持良好性能和结构稳定性的能力。在实际应用中, 过滤器在高压环境下常常经历不断的压力波动, 这种反复的压力变化容易导致材料的疲劳和损伤<sup>[3]</sup>。抗压疲劳性能的评估通常通过模拟实际工况的动态负载试验进行, 即让过滤器在规定

的压力范围内反复承受压力变化, 观察其在多次加载下的表现。抗压疲劳性能是衡量药液过滤器长期可靠性的关键指标。

### 1.3 压降特性

压降特性指的是药液通过过滤器时, 由于过滤器内部结构或滤材的阻力作用, 导致流体在过滤器两端产生压力差。高压条件下, 过滤器的压降特性不仅反映了过滤器的过滤效率, 也反映了其在承受压力时的工作稳定性。过大的压降意味着过滤器阻力过大, 可能导致系统效率下降甚至出现故障<sup>[4]</sup>。在高压环境下, 过滤器的压降特性尤为重要, 因为压力过高会加剧过滤器的损耗并可能导致设备损坏。因此, 评估过滤器的压降特性对于判断其是否适应高压环境至关重要。

### 1.4 密封性与耐漏性

在高压条件下, 药液过滤器的密封性至关重要, 因为任何密封失效都可能导致药液泄漏或污染, 影响整个系统的运行安全<sup>[5]</sup>。过滤器的密封性能通常通过静态密封测试和动态测试来评估, 确保在高压环境下所有密封部件能够有效防止液体泄漏。耐漏性则是指过滤器在长期使用过程中, 特别是在高压和高温等极端工况下, 能够维持长期的密封效果, 防止液体渗漏或泄漏<sup>[6]</sup>。密封性确保过滤器初期的有效密封, 而耐漏性则保证其在长期运行中的持续可靠性, 两者共同决定了过滤器在高压环境下的工作稳定性和安全性<sup>[6]</sup>。

## 2 药液过滤器抗压性能的检测方法

### 2.1 抗压强度的检测方法

抗压强度是评估药液过滤器在高压环境下的承载能力的关键指标。常规的检测方法包括静态负载试验和动态负载试验。

第一作者: 卢安琪, 分析工程师, 研究方向为药液过滤器。

\* 通信作者: 陈敦栋, 分析工程师, 研究方向为药液过滤器。E-mail:823177068@qq.com

静态负载试验通过逐渐增加外部压力, 直到过滤器破裂或发生形变, 以测量其最大承受压力。这一过程能够有效反映过滤器的抗压强度<sup>[7]</sup>。动态负载试验则通过模拟实际工况中的压力波动, 反复施加压力变化来评估过滤器在压力变化下的表现, 确保其在长期使用中的可靠性和稳定性。

## 2.2 抗压疲劳性能的检测方法

抗压疲劳性能是衡量过滤器在长期高压波动中能否维持稳定性的关键指标。此项性能通常通过动态负载试验进行评估, 模拟实际工况中的反复压力波动, 测试过滤器在规定的压力范围内反复承受压力变化, 观察其抗疲劳能力。在试验过程中, 过滤器会经历一定次数的压力循环, 通常为10000到50000次, 测试其耐久性、抗裂性和结构稳定性。

## 2.3 压降特性的检测方法

压降特性指的是液体通过过滤器时产生的压力差, 这一特性直接影响过滤器的工作稳定性和系统效率。在高压环境下, 过大的压降可能导致过滤器阻力过大, 降低系统效率<sup>[8]</sup>。压降特性的测试方法通常通过微流量计量法或压降测试设备来测量过滤器两端的压力差。通过准确测量流体通过过滤器时的压力变化, 可以评估过滤器在高压条件下的流动阻力与工作稳定性, 并根据压力差的变化判断其适应高压环境的能力<sup>[9]</sup>。

## 2.4 密封性与耐漏性的检测方法

密封性与耐漏性是药液过滤器在高压环境下是否能够安全稳定工作的关键因素。密封性检测通常通过静态密封测试和动态测试来进行, 确保过滤器的所有密封部件(在高压条件下能够有效防止液体泄漏<sup>[10]</sup>)。耐漏性检测则着重于评估过滤器在长期高压和高温环境下, 能否维持良好的密封性能。此测试一般通过模拟实际工作环境进行, 检测过滤器在极端工况下是否发生液体渗漏或泄漏, 以确保长期运行中的安全性和可靠性<sup>[11]</sup>。

# 3 药液过滤器抗压性能的影响因素

## 3.1 材料的选择与特性

材料的选择是影响药液过滤器抗压性能的关键因素。不同材料具有不同的抗压强度和韧性, 这直接影响其在高压环境中的承载能力。聚四氟乙烯(PTFE)和聚酰胺(PA)等聚合物材料的抗压强度较低, 通常只能承受20~50 MPa的压力, 因此其在高压环境中的应用受限。材料的疲劳性能也是一个重要因素, 高压条件下频繁的压力波动可能导致材料疲劳失效, 尤其是对于某些金属材料或复合材料来说, 这种疲劳损伤可能导致过滤器的破裂或失效。随着高性能材料的出现, 如超高强度合金和复合材料, 能够在更苛刻的高压环境下保持更高的稳定性和承压能力。此外, 材料的化学稳定性与耐腐蚀性也会在高压环境中产生影响<sup>[12]</sup>, 特别是在处理具有腐蚀性的药液时, 材料的腐蚀速率和抗化学反应能力成为关键。

## 3.2 结构设计的影响

药液过滤器的结构设计直接影响其在高压下的承载能力。

过滤器的外壳厚度、滤芯的布局、支撑结构的强度以及密封设计, 都会对抗压性能产生显著影响。外壳的厚度和材质决定了过滤器的承压能力, 厚度不足可能导致过滤器在高压环境下发生变形或破裂。滤芯的设计同样会影响抗压能力, 尤其是在高压下, 滤芯的强度要求较高。如果滤芯设计不合理, 容易在高压下出现变形或破损, 导致过滤器无法正常工作。支撑结构的设计也非常重要, 支撑不当可能导致内部应力集中, 从而影响整个过滤器的抗压性能。密封设计则决定了过滤器在高压环境下的密封性, 密封不足可能导致液体泄漏或压力降低, 影响过滤效果<sup>[13]</sup>。此外, 过滤器的连接部分, 如法兰和螺纹连接, 也需考虑承压能力, 设计不当可能导致连接处泄漏, 影响整体抗压性能和使用安全。滤芯与外壳之间的紧密配合、支撑材料的选用及其结构合理性, 都会直接影响过滤器的耐压性能, 减少因结构设计缺陷导致的故障风险。

## 3.3 工作环境与操作条件

药液过滤器的抗压性能还受到工作环境与操作条件的显著影响。高温环境会导致材料的机械性能发生变化, 尤其是聚合物材料, 其抗压强度在高温下通常会显著下降。温度升高可能导致材料软化、膨胀或变形, 从而影响过滤器的抗压性能。特别是在化学药液过滤中, 高温常常伴随着强烈的化学反应, 这可能加速材料的降解, 影响其长时间的承压能力。药液的流速和压力波动也是影响抗压性能的重要因素。在实际操作中, 药液的压力波动较大时, 过滤器需要承受瞬时的高压力, 这可能会造成过滤器发生破裂或变形。频繁的压力波动还会引发材料的疲劳损伤, 影响其长期稳定性。某些流体的脉动压力波动, 尤其是在泵送系统中, 更易对过滤器产生过载作用, 导致局部应力集中的风险<sup>[14]</sup>。腐蚀不仅降低材料的抗压强度, 还可能导致局部裂纹或孔洞, 影响密封性和安全性。

# 4 药液过滤器抗压性能优化策略

针对药液过滤器在高压环境下的性能要求, 可通过材料优化与工艺强化、结构设计改进、工作环境适配性优化等手段提升其抗压性能与使用寿命。

## 4.1 材料优化与工艺强化

优化药液过滤器抗压性能的首要步骤是材料的选择和强化。在现有的材料基础上, 选择适合高压环境的高强度合金、复合材料和耐腐蚀材料, 能够有效提高过滤器的抗压强度。例如, 采用高强度不锈钢或钛合金代替传统的低强度钢材, 可以在相同的厚度下提高过滤器的抗压能力。钛合金的抗拉强度可达到900 MPa, 屈服强度在850 MPa以上, 能够在高压环境下提供更加可靠的支持。同时, 陶瓷和碳纤维复合材料也在一些特殊应用中得到广泛使用, 这些材料的抗压性能优异, 并且具有极好的耐腐蚀性, 适用于在极端工况下使用的过滤器<sup>[15]</sup>。除了基础材料的选择, 材料的处理工艺同样至关重要。通过先进的表面处理技术, 如激光熔覆、热喷

涂等,可以显著提高过滤器表面的硬度和耐磨性。激光熔覆技术可以提高不锈钢表面硬度,使其在高压条件下的抗压能力和抗腐蚀能力得到增强<sup>[16]</sup>。

#### 4.2 结构设计改进

药液过滤器的结构设计对抗压性能的提升至关重要。合理的结构设计能够有效分散外部压力,减少应力集中,避免局部破裂。采用加强型结构和优化的滤芯设计是提高过滤器抗压能力的重要手段。在高压工作条件下,过滤器的外壳设计必须具备足够的强度和韧性。为此,许多过滤器采用了多层次结构设计,外层采用高强度合金钢或钛合金,内层则使用耐高压的陶瓷或复合材料<sup>[17]</sup>。这种分层结构可以更好地承受外部压力,并在不同材料之间实现互补,增强过滤器的抗压能力。多层结构不仅能有效分散压力,还能避免单一材料因应力过大而发生破裂或变形。滤芯的布局设计同样影响抗压性能,合理的滤芯支撑和增强设计能够有效提高其在高压环境下的承压能力。此外,密封设计的优化也非常关键,尤其是在高压环境下,过滤器的密封系统需要具备足够的耐压能力<sup>[18]</sup>。多道密封设计和高压密封圈的应用,可以确保过滤器在高压下的良好密封性,防止液体泄漏,提升整体安全性。

#### 4.3 工作环境的适配性优化

优化过滤器的适应性,确保其能够在特定环境下稳定运行,是提高其抗压性能的重要方面<sup>[19]</sup>。例如,在高温环境下使用过滤器时,可以选择耐高温材料,如耐高温不锈钢、碳纤维复合材料等,来提高过滤器在高温下的机械强度和稳定性<sup>[20]</sup>。在压力波动较大的应用环境中,过滤器的抗压疲劳性能至关重要。为了应对频繁的压力变化,可以通过优化滤芯的设计、选择具有更高疲劳强度的材料来增强过滤器的抗压疲劳能力<sup>[21]</sup>。

## 5 结束语

本文深入探讨了药液过滤器在高压环境下的抗压性能,研究了抗压强度、抗压疲劳性能、压降特性和密封性等关键指标,并对这些指标的检测方法进行了详细分析。研究表明,药液过滤器的抗压强度直接决定了其在高压环境下的承载能力,而抗压疲劳性能则反映了其在长期压力波动下的稳定性。通过静态负载试验、动态负载试验、微流量计量法等检测手段,能够准确评估过滤器在高压条件下的抗压性能。此外,密封性和耐漏性是确保过滤器在高压工作环境下安全运行的关键因素。研究成果为药液过滤器的设计、检测和应用提供了理论依据,推动了高压环境下药液过滤技术的发展,并为未来的优化设计和安全保障提供了有力支持。

#### 参考文献

[1] 牛桂玲,陶银萍,相恒学,等.静电纺纳米纤维膜的制备及其在空气过滤中的应用[J].中国材料进展,2024,43(06):513-524.

- [2] 邓鹏,洪娜,苏尚民,等.高效静电新风机在医院ICU中的应用研究[J].资源信息与工程,2024,39(03):114-116,121.
- [3] 靳玺,王道辉,霍建斌.管束末端结构对陶瓷膜过滤器流场分布特性影响分析[J].现代盐化工,2024,51(03):16-18.
- [4] 张金懿.洁净手术室末端送风设计及速度校核[J].暖通空调,2024,54(S1):240-243.
- [5] 袁祥龙,沈小攀,翟利华,等.磁质谱高丰度灵敏度阻滞过滤器研制与性能测试[J].质谱学报,2024,45(05):600-608.
- [6] 闫晓飞.氮氧化物气体粉尘过滤器的设计和制造要点[J].设备管理与维修,2024,(11):179-181.
- [7] 马耸,周艳民,孙中宁,等.耐辐照型纤维过滤器过滤性能的数值模拟[J].哈尔滨工程大学学报,2024,45(09):1848-1856.
- [8] 王三众,宋梓鹏,潘娜,等.纤维球过滤器布流系统优化及过滤性能研究[J].燕山大学学报,2024,48(03):223-228.
- [9] 刘学敏,陈晟,张艺竹,等.过滤器全价值管理及智能诊断预测分析[J].今日制造与升级,2024,(05):44-46.
- [10] 徐兴隆.评定水介质过滤器过滤性能的试验方法比对研究[J].汽车零部件,2024,(05):83-88.
- [11] 张金珠,张栋楠,刘宁宁,等.基于阿基米德螺旋轮的自清洗泵前过滤器设计与试验[J].农业工程学报,2024,40(10):76-84.
- [12] 张立峰,郭齐,丛轮刚,等.异构脱蜡装置金属过滤器设计与试验研究[J].石油化工设备,2024,53(03):1-4.
- [13] 崔月会,赵虎,张珂旭.一种陶瓷过滤器自动反冲洗系统及工艺[J].燃料与化工,2024,55(03):8.
- [14] 陶洪飞,靳楨,喜炜,等.基于量纲分析下浮筒网式旋转过滤器水头损失预测模型[J/OL].排灌机械工程学报,1-8 [2025-03-04].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.th.20240517.1435.002.html>.
- [15] 朱春光,王朝晖,田喆,等.大管径Y型过滤器流动阻力特性数值模拟及实验研究[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2024,57(05):462-472.
- [16] 郑长娟,朱德兰,高洒洒,等.网式过滤器水头损失动态变化规律[J].农业工程学报,2024,40(08):62-70.
- [17] 简书基.VPSA装置解吸气压缩机入口过滤器改造[J].聚酯工业,2024,37(03):47-50.
- [18] 陈芝,张秋军.品管圈在提升共享呼吸机过滤器应用效果中的研究[J].中国医疗设备,2024,39(05):87-91,147.
- [19] 陈欣,魏鹏,李晓晨,等.圆筒形高效过滤器模拟分析与样机试制[J].核科学与工程,2024,44(05):1073-1079.
- [20] 王振涛.流体设备过滤器改造优化探索[J].设备管理与维修,2024,(09):126-130.
- [21] 宋庆年.细菌过滤器对医用真空废气排放安全的影响[J].医用气体工程,2024,4(02):59-61.