

一种煤矿用电液控换向阀过滤器滤网扭曲变形问题分析

王瑞琦*, 李 强, 宋艳亮, 于 淼, 李树斌, 武士夺, 陈 凯, 陈 琪, 马洪琛

北京天玛智控科技股份有限公司, 北京

收稿日期: 2025年7月8日; 录用日期: 2025年8月1日; 发布日期: 2025年8月8日

摘 要

本文针对煤矿反馈的电液控换向阀过滤器滤网扭曲问题进行分析, 对过滤器尺寸进行测试均满足图纸要求, 说明过滤器并未发生整体的塑性变形; 将同型号的新过滤器安装在阀体上再拆除, 观察过滤网未发现扭曲, 说明过滤网扭曲与过滤器拆装过程无关; 将新过滤器放在350℃加热炉中保温3 min, 以将两端起固定作用的固体胶软化和将滤网内部应力释放, 发现滤网未发生扭曲变形, 说明扭曲变形不是因为滤网内部钢丝的固有内应力, 且固有内应力不大, 不足以诱发明显扭曲变形; 将使用过的扭曲变形的过滤器放在300℃加热炉中保温3 min, 滤网发生更加明显的塑性变形, 说明使用过的过滤器滤网仍有大量的残余应力, 加热后固体胶软化, 同时滤网内应力得以释放, 导致扭曲加剧, 扭曲及内应力来源于使用过程中; 从装配结构看, 高压液体对滤网有直接作用力, 作用力未直接指向过滤器轴线, 高压液造成滤网弯曲变形, 变形方向与液体冲击方向一致。

关键词

电液控换向阀, 过滤器, 滤网, 弯曲变形

Analysis on Distortion of Filter Screen of Electric Hydraulic Controlled Reversing Valve in Coal Mine

Ruiqi Wang*, Qiang Li, Yanliang Song, Miao Yu, Shubin Li, Shiduo Wu, Kai Chen, Qi Chen, Hongchen Ma

Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co. Ltd., Beijing

Received: Jul. 8th, 2025; accepted: Aug. 1st, 2025; published: Aug. 8th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 王瑞琦, 李强, 宋艳亮, 于淼, 李树斌, 武士夺, 陈凯, 陈琪, 马洪琛. 一种煤矿用电液控换向阀过滤器滤网扭曲变形问题分析[J]. 机械工程与技术, 2025, 14(4): 428-433. DOI: 10.12677/met.2025.144042

Abstract

This paper analyzes the problem of the filter screen distortion of the electro-hydraulic control reversing valve reported by the coal mine. The dimensions of the filter were tested and all met the drawing requirements, indicating that the filter did not undergo overall plastic deformation. A new filter of the same model was installed on the valve body and then removed. No distortion was found in the filter screen, suggesting that the distortion of the filter screen was not related to the installation and removal process of the filter. A new filter was placed in a 300°C heating furnace for 3 minutes to soften the solid glue at both ends that serves a fixing function and release the internal stress of the filter screen. No distortion was observed in the filter screen, indicating that the distortion was not due to the inherent internal stress of the steel wire in the filter screen, and the inherent internal stress was not significant enough to cause obvious distortion. A used filter with distorted screen was placed in a 350°C heating furnace for 3 minutes. The filter screen underwent more obvious plastic deformation, suggesting that the used filter screen still had a large amount of residual stress. After heating, the solid glue softened, and the internal stress of the filter screen was released, leading to an increase in distortion. The distortion and internal stress originated from the usage process. From the perspective of the assembly structure, the high-pressure liquid exerts a direct force on the filter screen, and the force does not directly point to the axis of the filter. The high-pressure liquid causes the filter screen to bend and deform, and the deformation direction is consistent with the direction of the liquid impact.

Keywords

Electro-Hydraulic Directional Control Valve, Filter, Filter Screen, Bending Deformation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

液压支架一般用于对采煤工作面的支护，电液控换向阀作为支架电液控的关键元件通常吊装在液压支架的支架顶梁，并且安装在两个立柱油缸之间，对控制支架的正常动作起到关键作用。近年来，随着综采工作面的采煤作业要求越来越高，对电液控换向阀的稳定性能、动态性能及寿命要求越来越严格[1]。

过滤器作为电液控换向阀的重要部件，串联在电液控换向阀对电磁先导阀的供液主干路上，它介于单向阀和电磁先导阀油路之间，对提供给电磁先导阀的乳化液进行过滤，以保证提供给电磁先导阀的液压源的清洁度，这是由于电液控换向阀密封结构尺寸相对于主阀芯尺寸更小，精度要求也更高，加装过滤器对电磁先导阀的正常工作起到重要作用[2]。

2. 主要结构件分析

2.1. 外观和尺寸

观察从矿上寄回的 3 件问题过滤器组件，发现折叠过滤网都存在一定程度的扭曲变形现象，且扭曲方向一致，都是在滤网中心位置塑性变形最大，从螺纹端面一侧俯视方向看过滤网逆时针弯曲变形，具体如图 1 所示。测量 3 个过滤器总体尺寸，高度都满足图纸要求，说明除过滤网外过滤器整体未发生明显的塑性变形[3]。

取车间未用过的多个同型号过滤器，观察折叠过滤网外表面都没有发生扭曲变形，未使用过的过滤器滤网如图 2 所示。测量车间 5 个未使用过的同规格的过滤器总体高度，尺寸都满足图纸要求，且这些尺寸覆盖矿上寄回的 3 个过滤器的高度尺寸范围，进一步说明矿上寄回的 3 个过滤器高度方向未发生明显的塑性变形。



Figure 1. Mine return filter
图 1. 矿方返回过滤器



Figure 2. New filters that have never been used in the workshop
图 2. 车间未使用过的新过滤器



(a) Assembly of new filters
(a) 新过滤器组装



(b) Disassembly of new filters after assembly
(b) 组装后拆解新过滤器

Figure 3. Pictures of new filters that have never been used in the workshop being assembled and disassembled
图 3. 车间未使用过的新过滤器组装和拆解图片

2.2. 过滤器装配影响

将车间未使用过的过滤器按照主阀组装工艺组装到主阀阀体上, 再从主阀阀体上拆除, 观察拆除下来的过滤器的折叠过滤网状态, 折叠过滤网外观未发生任何扭曲现象。过滤器装在主阀阀体上的和拆下来的照片如图 3 所示。观察拆下来的过滤器, 折叠过滤网未发生肉眼可见的扭曲现象, 说明组装过滤器过程不会造成折叠过滤网的扭曲变形[4]。

2.3. 过滤网固有内应力

考虑到折叠过滤网是由细长钢丝编织而成, 过滤网可能在编织前的细长钢丝内部或者在过滤网编织过程中产生较大的内应力, 而过滤网在电液控换向阀内部工作时是过滤网外部承受高压冲击和作用力[5], 在一次次的高压冲击振动过程中过滤网内应力存在得到释放的可能[6], 将未组装过的新过滤器放入 350℃ 加热炉中保温 3 min, 取出后观察过滤器的滤网变形情况, 如图 4 所示。观察发现加热冷却后的过滤器相对于加热前过滤网有轻微变形, 说明过滤网内部确实存在一定内应力, 加热后滤网内应力得到释放, 但变形程度相对于矿上寄回的 3 个过滤器的变形程度要小得多, 说明矿上寄回的 3 个过滤器的过滤网发生明显塑性变形的主要原因不是内部固有内应力, 造成矿上用过的过滤器滤网变形的主要原因是使用过程的影响。



Figure 4. Picture of the new filter heating furnace after 3 min at 350℃
图 4. 新过滤器加热炉 350℃保温 3 min 后图片

2.4. 返回过滤器加热

因过滤器滤网两端面采用固体胶固定连接, 不排除去除固体胶后滤网残留较大内应力使变形进一步扩大, 现将过滤器放入 350℃ 加热炉保温 3 min, 然后去除过滤器观察滤网外形, 发现滤网发生更加明显的塑性扭曲变形, 如图 5 所示。图 5 中 3 个滤芯为矿方提供的 3 个滤网发生塑性变形的过滤器, 其中中间颜色发黑的为 350℃ 保温 3 min 后的, 相对于两侧的未经加热处理的 2 个过滤器滤网变形进一步加大, 说明返回的过滤器滤网内部还有大量的残余内应力, 是固体胶的连接固定作用使得滤网扭曲程度减弱, 当去除固体胶后滤网内应力得以释放。

对比图 5 中的过滤器和图 4 中加热后的过滤器, 发现未经使用直接 350℃ 保温 3 min 的过滤器滤网变形最小, 矿方提供的 3 个过滤器滤网变形更明显, 并且图 5 中间的已经使用过且加热保温后的过滤器滤网变形程度最大, 说明 350℃ 下保温 3 min 会释放滤网固有内应力, 但该变形程度相对于使用过的过滤器滤网明显偏小, 使用过的过滤器在使用过程中造成了滤网的明显变形, 又由于两端固体胶的约束作用滤

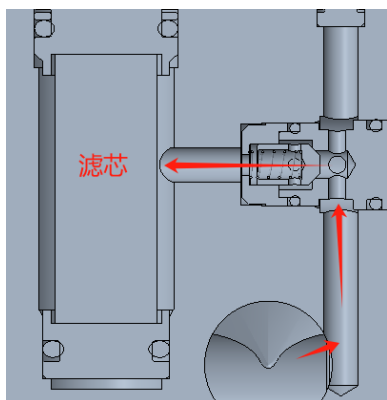
网变形被限制,当 350℃保温 3 min 后两对固体胶被破坏,同时滤网在使用过程中产生的内应力进一步释放,滤网变形进一步加大。加热会诱发滤网轻微变形,但明显的塑性变形根源不是加热,是使用造成的影响。



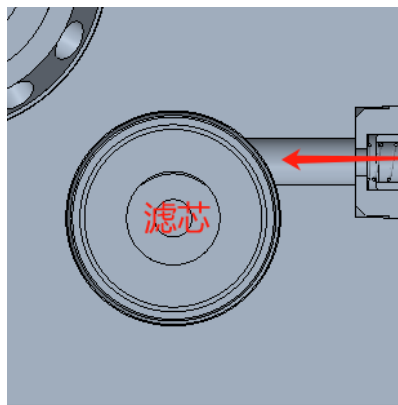
Figure 5. Return to the picture after the filter screen is heated
图 5. 返回过滤器滤网加热后图片

2.5. 结构受力分析

过滤器在装入主阀阀体后的装配结构如图 6 所示。从图 6(a)可知过滤器的折叠过滤网承受来自进液单向阀的高压液体的冲击作用[7] [8],从图 4(b)可知过滤器的折叠过滤网承受的冲击力未指向过滤器中心,导致折叠过滤网在液压冲击的作用下在进液口相同高度位置(接近滤网中间)发生沿着液体冲击方向的塑性变形[9] [10],变形状态一致。造成塑性变形的根源是高压流体的偏心冲击作用。



(a) Longitudinal profile of the filter assembly drawing
(a) 过滤器装配图纵向剖面图



(b) transverse profile of the filter assembly drawing
(b) 过滤器装配图横向剖面图

Figure 6. Filter assembly profile
图 6. 过滤器装配剖面图

3. 结语

- 1) 本次过滤网发生明显扭曲变形的过滤器总体尺寸未发生变化,仅过滤网塑性变形。
- 2) 折叠过滤网的塑性变形与安装和拆解过程无关。

3) 折叠过滤网发生的明显的塑性变形与过滤网内部固有的钢丝内应力无关, 扭曲变形是在使用过程中由于受力才诱发塑性变形。

4) 折叠过滤网的塑性变形根源是来自阀体内高压液的压力冲击作用, 发生塑性变形的位置与阀体进液口的高度一致; 因高压进液口未指向过滤器中心轴线, 折叠过滤网未直接向中心凹陷, 而是沿着液体流动方向圆周分布。

5) 发生塑性变形的过滤网在加热后内应力得以释放, 扭曲变形进一步加剧。

参考文献

- [1] 高智, 吴勇, 李红颖, 程旭文, 方立宇. 液压支架电液换向阀动态特性测试系统[J]. 机电产品开发与创新, 2013, 26(2): 90-92.
- [2] 应一帜, 王从贤, 竺肖君. 一种超高压数字换向阀的研制[J]. 机床与液压, 2017, 45(16): 209-210.
- [3] 白鑫, 冯德福, 韩江义. 一种伺服电机驱动的比例换向阀结构设计与特性分析[J]. 机床与液压, 2023, 51(12): 91-98.
- [4] 任伟. 基于 PLC 一体机的电液换向阀检测装置设计[J]. 煤炭科技, 2023, 44(3): 13-17+24.
- [5] 毕晓锋. 液压破碎锤换向阀空蚀问题解析[J]. 内燃机与配件, 2021(5): 62-63.
- [6] 张顺锋, 张胜, 王强, 何晓晖, 徐磊. 流固耦合作用下的液控换向阀动态特性仿真[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(9): 151-155.
- [7] KD420: 换向阀阀芯两级液控结构[J]. 科技创新与品牌, 2017(8): 81.
- [8] 璩金超, 薛小伟, 张士卫, 阮健, 朱登魁. 2D 换向阀异常打开故障分析与改进[J]. 机床与液压, 2021, 49(13): 190-194.
- [9] 刘博嘉, 徐立群, 倪福生, 李洪彬. 6 通径旋转型换向阀的设计分析[J]. 液压与气动, 2017(10): 72-77.
- [10] 任俊琴, 廉自生, 廖瑶瑶. 基于 FLUENT 的大流量电液换向阀主阀的数值模拟[J]. 矿山机械, 2015, 43(1): 24-27.