

# 滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸一体化装置设计与试验

周鹏鹏, 孙润富, 迟德霞\*, 王双全, 鲁灵捷, 杜洋洋, 景钊时

辽宁石油化工大学机械工程学院, 辽宁 抚顺

收稿日期: 2024年9月28日; 录用日期: 2024年10月21日; 发布日期: 2024年10月29日

## 摘要

针对滤袋弹性圆环的弹力检测由人工经验评价和人工拆卸已检圆环劳动强度大等问题, 设计了一种滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸一体化装置。首先测试了滤袋弹性圆环约束状态下受径向压力下的弹力和变形量, 提出了滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸装置原理, 其次开展结构设计和样机试制、组装、调试。用本研究开发的装置开展了滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸因素影响试验, 结果表明拆卸机构的主气缸推压深度、拆卸气缸推压位置、拆卸气缸推力分别为90 mm、b、80 N时能够成功拆卸滤袋弹性圆环。

## 关键词

弹性圆环, 径向弹力, 除尘滤袋, 压力检测, 拆卸机构

# Design and Experiment of Elastic Force Detection and Disassembly Integration Equipment for Elastic Ring of Dust Filter Bag

Pengpeng Zhou, Runfu Sun, Dexia Chi\*, Shuangquan Wang, Lingjie Lu, Yangyang Du, Qianshi Jing

College of Mechanical Engineering, Liaoning Petrochemical University, Fushun Liaoning

Received: Sep. 28<sup>th</sup>, 2024; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Oct. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

To address issues such as the high labor intensity of manual evaluation and disassembly of the  
\*通讯作者。

文章引用: 周鹏鹏, 孙润富, 迟德霞, 王双全, 鲁灵捷, 杜洋洋, 景钊时. 滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸一体化装置设计与试验[J]. 机械工程与技术, 2024, 13(5): 482-490. DOI: 10.12677/met.2024.135056

elastic rings used in dust filter bags, we designed elastic force detection and disassembly integration equipment for an elastic ring of the dust filter bag. First, we tested the elasticity and deformation of the elastic rings under radial pressure in a constrained state. We then proposed the working principle of the equipment for elasticity testing and ring disassembly. Subsequently, we conducted structural design, prototype fabrication, assembly, and debugging. Utilizing the equipment developed in this study, we performed experiments to investigate the factors affecting both the elasticity testing of the elastic rings and the disassembly process. The results indicated that the main cylinder's push depth, push position, and push force of the disassembly cylinder, set at 90 mm, b, and 80 N, respectively, successfully enabled the disassembly of the dust filter bag's elastic rings.

## Keywords

Elastic Ring, Radial Elastic Force, Dust Filter Bag, Force Detection, Disassembly Equipment

Copyright © 2024 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

除尘滤袋是袋式除尘器的核心部件,是由纺织而成的滤布或非纺织而成的毡制成。如图 1,滤袋胀圈是由一个弹性圆环 3 (即滤袋弹性圆环)和一个有表面凹槽的橡胶套 4 组合而成,滤袋胀圈的弹力把除尘滤袋袋口径向压紧在袋式除尘器花板 1 圆孔中,起到固定除尘滤袋的功能。此外,除尘滤袋口与除尘器花板圆孔的密封,是通过与滤袋弹性圆环直径相同的花板圆孔过盈配合时产生的弹力,将滤袋袋口 2 径向压在花板 1 圆孔形成。滤袋袋口与花板圆孔之间密封不良会降低除尘效率,因此滤袋弹性圆环的弹力大小对滤袋与花板之间密封有重要意义。滤袋弹性圆环的张力检测和拆卸工作均是由人工完成,首先将弹性圆环安装进花板圆孔中,再用手沿花板孔圆周方向转动弹性圆环,凭借操作人员感知到的摩擦力判断弹性圆环弹力是否合格;存在弹性圆环弹力检测结果不能定量表达、完全凭工人的经验等问题。当拆卸已检弹性圆环弹力,需要人工施加约 200 N 的力将弹性圆环压成凹型后取出,存在劳动强度大、工人不能长时间操作等问题。

刘冬基于塑性较坍塌模型分析了径向荷载与位移的理论表达式,对压头形状、尺寸及加载方式等因素对圆管截面塑性变形规律及吸能特性的影响进行了试验[1]。焦光伟运用塑性变形理论和虚功原理,建立了一个受均匀径向荷载作用下的管道挤压变形模型,并使用钢管进行实验得到了管道挤压的荷载-位移曲线[2]。祝效华等建立了考虑材料非线性的数值模型,分析了海洋柔性管骨架层在径向夹持荷载作用下的力学特性[3]。汤明刚基于有限元分析方法研究了海洋柔性管道互锁型骨架层由于外部静水压力可能引起的压溃失效问题[4]。王彩山基于有限元数值分析方法分析海洋柔性管道互锁型骨架层在径向压缩荷载作用下骨架层的力学行为,开展了骨架层试件的径向压缩试验[5]。杨玉亮等分别采用数值建模叠加法和拉格朗日法,建立了圆环在自由状态和约束状态下运动情况的数学方程式[6]。Lawrence N. Virgin 等通过对铝合金圆环与某一刚性对象的横向撞击进行了深入的研[7]。Narinder Kumar Gupta 研究了不同的尺寸大小和不同的边界条件的圆形薄壁结构处于不同特征和不同冲击载荷下的大变形问题[8]。Guangzhao Han 等人提出了一种圆环构件弹性模量、应力应变关系、屈服强度和拉伸强度的实验测量方法[9]。Ya-Pu Zhao 研究了圆弧形状的金属薄壁圆环静态压缩问题[10]。

国内外学者关于圆环承受径向压力的研究主要从试验与数值分析两方面开展,取得了较多的研究结

果，但是对除尘滤袋弹性圆环约束状态下受径向压力及变形的研究报道不多。本文拟先开展除尘滤袋弹性圆环约束状态下受径向压力及变形试验，设计一种滤袋弹性圆环压力检测与弹性圆环拆卸装置，再开展该装置的运行参数优化试验。

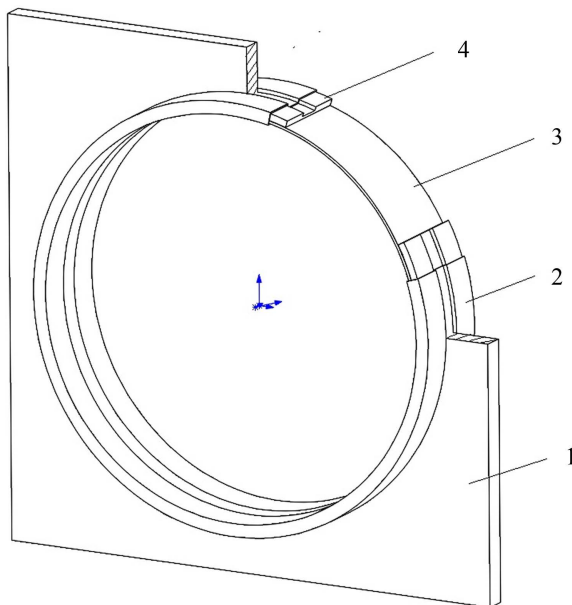
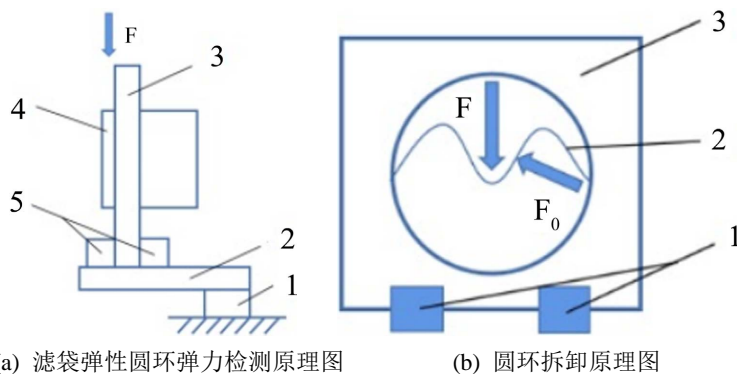


Figure 1. Installation structure diagram of filter bag mouth  
图 1. 滤袋袋口安装结构示意图

## 2. 滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸装置结构设计

### 2.1. 滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸原理

#### 2.1.1. 滤袋弹性圆环弹力检测原理



(a) 滤袋弹性圆环弹力检测原理图 (b) 圆环拆卸原理图  
(a) 1. 底座, 2. 传感器, 3. 花板, 4. 待测圆环, 5. 夹紧气缸; (b) 1. 夹紧气缸, 2. 待测圆环, 3. 花板

Figure 2. Filter bag elastic ring elastic force detection and ring disassembly principle  
图 2. 滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸原理

滤袋弹性圆环弹检测原理如图 2(a)，首先由操作人员将已安装了滤袋弹性圆环的花板放于施力元件主气缸推头下，夹紧气缸 5 夹紧花板 3。主气缸推头推压滤袋弹性圆环 4 使其发生较大形变，此时滤袋

弹性圆环 4 呈“凹”型，如图 2(b)。滤袋弹性圆环在变形过程中会产生一定的弹力，该弹力作用于安装在压力检测机构底板的压力传感器 2，压力传感器检测滤袋弹性圆环的弹力。

### 2.1.2. 滤袋弹性圆环拆卸原理

滤袋弹性圆环拆卸工作原理如图 2(b)，滤袋弹性圆环弹力检测完成后，滤袋弹性圆环 2 呈“凹”型；拆卸气缸施加力  $F_0$  冲击“凹”型滤袋弹性圆环的边缘，使得滤袋弹性圆环脱离主气缸推头，此时滤袋弹性圆环会因变形产生的弹性势能而弹出花板孔，完成滤袋弹性圆环拆卸。

## 2.2. 滤袋弹性圆环径向压力和径向变形量试验

采用 YG026H 型多功能电子织物强力机检测花板圆孔约束状态下滤袋弹性圆环弹力。取直径为 125 mm、145 mm、155 mm 的碳钢和不锈钢两种成品滤袋弹性圆环各五个，测试花板圆孔约束状态下滤袋弹性圆环弹力。

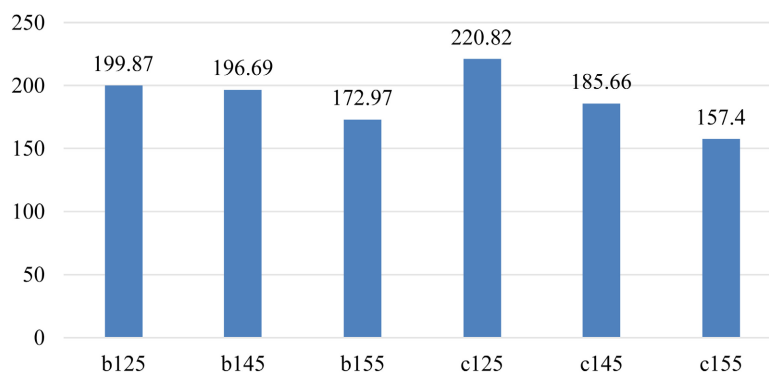


Figure 3. Column diagram of maximum radial elastic force and deformation of bag elastic ring  
图 3. 袋弹性圆环最大径向弹力和变形量柱状图

由图 3 可知，直径为 125 mm、145 mm、155 mm 的碳钢滤袋弹性圆环在花板圆孔约束状态下的最大径向弹力分别为 220.8 N、185.6 N、157.4 N，产生最大径向弹力时的径向压缩量分别为 18.4 mm、16.6 mm、13.6 mm；直径为 125 mm、145 mm、155 mm 的不锈钢滤袋弹性圆环在花板圆孔约束状态下的最大径向弹力分别为 199.7 N、196.763 N、172.9 N，产生最大径向弹力时的径向压缩量分别为 18.8 mm、17.1 mm、13.6 mm [10]；滤袋弹性圆环弹力极大值如图 3，该参数值是装置设计的主要参数。

## 2.3. 滤袋弹性圆环压力检测与弹性圆环拆卸装置总体设计

滤袋弹性圆环压力检测与弹性圆环拆卸装置是一种集成了滤袋弹性圆环压力检测和圆环拆卸功能的自动化装置，由弹性圆环弹力检测机构、由弹性圆环拆卸机构、拆卸气缸平面导轨机构、花板夹紧机构、电控系统、气动系统以及机架平台等部分组成。

### 2.3.1. 滤袋弹性圆环压力检测机构设计

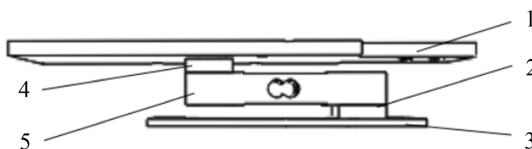


Figure 4. Filter bag elastic ring pressure detection mechanism  
图 4. 滤袋弹性圆环压力检测机构

如图4, 弹性圆环压力检测机构主要由压力传感器上顶板、压力传感器下底板、两块压力传感器、四块压力传感器垫板及螺栓组成。压力传感器下底板通过四个螺栓和机架底板上滑槽固定连接, 对滤袋弹性圆环压力检测机构起到了固定作用。

### 2.3.2. 滤袋弹性圆环拆卸机构设计

如图5, 滤袋弹性圆环拆卸机构由拆卸气缸、拆卸气缸固定板、SBR 圆柱导轨与 SBR 滑块组、SGR 直线导轨与 SGR 滑块组、平面导轨平台板、支撑板、四个单衬直线轴承组成。拆卸气缸端部安装冲头, 用以拆卸弹性圆环; 不同形状、尺寸的拆卸推头可在滑槽内左右自由移动和旋转, 可针对不同变形量的滤袋弹性圆环随时进行调整, 通过四个螺钉可对拆卸推头进行锁定。拆卸气缸通过拆卸气缸固定板安装在四个 SBR 圆柱导轨滑块上, 四个圆柱导轨滑块以正方形阵列安装在两根圆柱导轨上, 实现 X 轴方向移动并停驻在任意位置。圆柱导轨安装在两个 SGB 直线导轨滑块, SGB 直线导轨滑块在两根平行的 SGR 直线导轨上, 实现 Y 轴方向移动并停驻在任意位置。SGB 直线导轨用螺栓安装在支撑板上, 支撑板的四角装有直线轴承, 四个直线轴承可以帮助拆卸气缸平面导轨平台实现 Z 轴方向移动并停在 Z 轴上的任意位置。

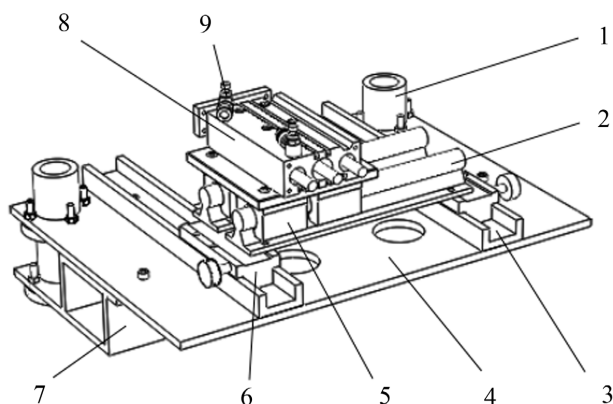
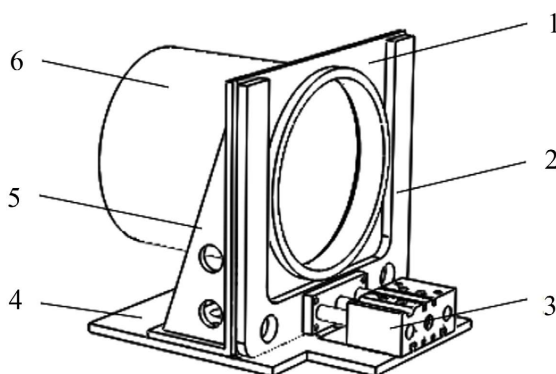


Figure 5. Disassembly of cylinder plane guide rail mechanism  
图5. 拆卸气缸平面导轨机构

### 2.3.3. 滤袋弹性圆环花板夹紧机构的设计



1. 花板, 2. 花板移动挡板, 3. 夹紧气缸, 4. 花板夹紧固定底板, 5. 花板固定挡板, 6. 滤袋弹性圆环

Figure 6. Filter bag elastic annular plate clamping mechanism  
图6. 滤袋弹性圆环花板夹紧机构



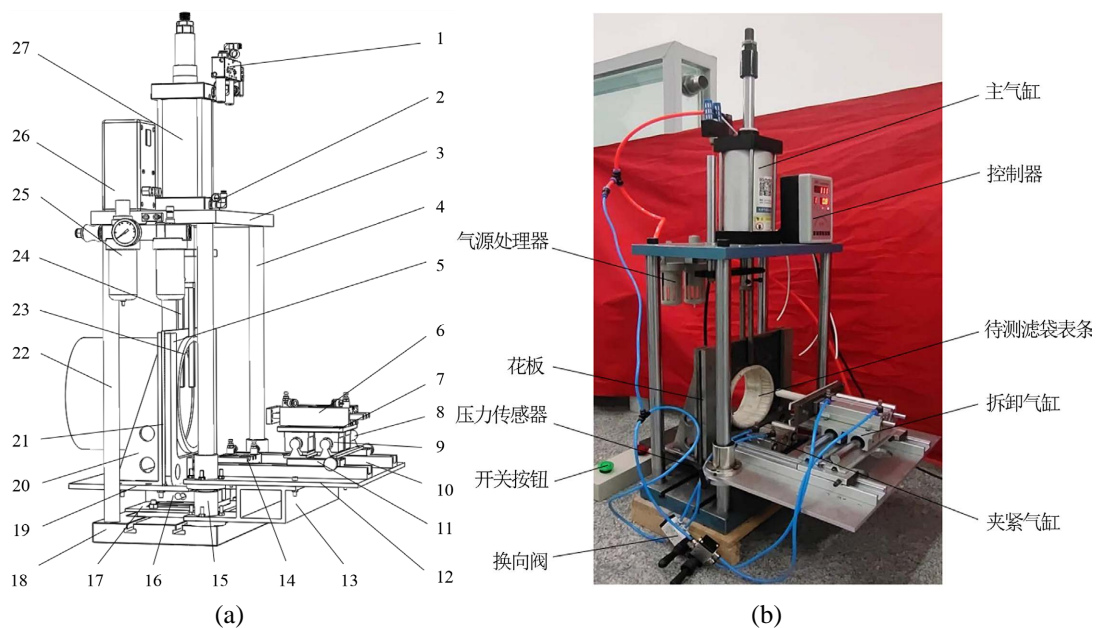
如图 6, 该机构由花板移动挡板、花板固定挡板、夹紧气缸、花板夹紧固定底板及连接件组成。花板固定挡板和夹紧气缸安装在花板夹紧固定底板上, 花板移动挡板安装在夹紧气缸推杆上, 而装有滤袋弹性圆环的花板被花板移动挡板和花板固定挡板夹紧[11]。

#### 2.3.4. 压力传感器选择

传感器受到滤袋弹性圆环向下作用时, 弹性测点就会出现微小变形, 附着在弹性测点上的弹性应变片也会出现微小变形, 影响到电桥的电阻值, 从而形成压差信号, 经 A/D 转换电路将滤波后的电压信号转换成可利用的数字信号。

本文采用纳威克(NVK) KA2 高精度称重传感器, 该传感器工作稳定、精度较高的单点式压力传感器, 灵敏度为  $2.0 \pm 0.2\% \text{ m V/V}$ , 量程为 0~60 KG, 能够满足于大多数工作场合。

设计完成的滤袋弹性圆环弹力检测与弹性圆环拆卸装置总体结构如图 7(a)。零件加工与采购后, 组装试验样机装配与调试, 对压力传感器进行标定, 连接显示仪表以及供电设备接线。滤袋弹性圆环压力检测与弹性圆环拆卸装置实物如图 7(b), 经调试该样机能够运行, 进行空载试验可以正常工作。



1. 两位五通电磁阀, 2. 气管接头, 3. 机架上顶板, 4. 机架碳钢柱, 5. 花板移动夹持板, 6. 拆卸气缸, 7. 拆卸气缸固定小板, 8. 圆柱直线导轨, 9. 圆柱直线导轨滑块, 10. 直线导轨, 11. 直线导轨滑块, 12. 平面导轨平台板, 13. 支撑板, 14. 夹紧气缸, 15. 直线轴承, 16. 单点式压力传感器, 17. 压力检测机构底板, 18. 机架下底板, 19. 花板夹紧固定底板, 20. 花板固定挡板, 21. 花板, 22. 机架碳钢柱, 23. 滤袋弹性圆环, 24. 主气缸推头, 25. 气源处理器, 26. 控制器, 27. 主气缸

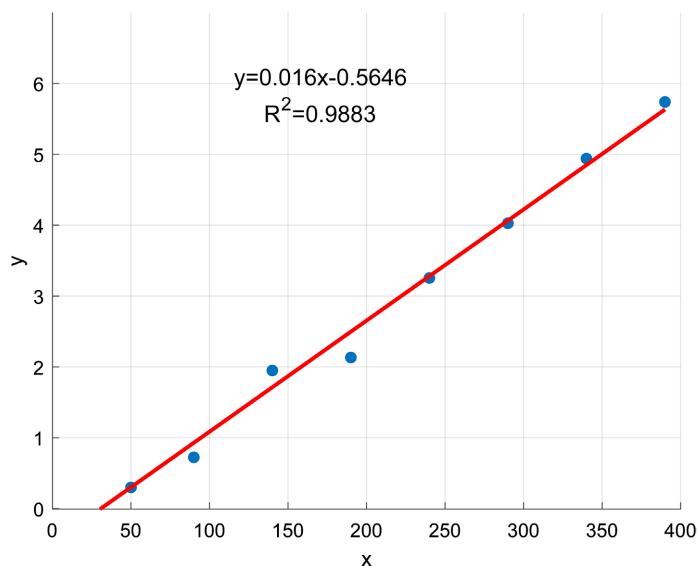
Figure 7. Filter bag elastic ring pressure detection and elastic ring disassembly device

图 7. 滤袋弹性圆环压力检测与弹性圆环拆卸装置

### 3. 滤袋弹性圆环弹力检测与圆环拆卸试验

#### 3.1. 压力传感器标定试验

在进行滤袋弹性圆环拆卸与压力检测装置性能测试之前, 对滤袋弹性圆环压力检测机构电阻应变片式传感器进行标定, 得到相应电压值所对应的弹性圆环压力大小。在标定试验中, 将花板夹紧机构和弹性圆环压力检测机构顶板做整体标定, 标定结果如图 8。



**Figure 8.** The relationship curve between the pressure sensor voltage and the load  
**图 8.** 压力传感器电压与负载的关系曲线

得到滤袋弹性圆环压力检测机构的输出电压( $y$ )与负载( $x$ )的关系曲线, 用 MATLAB 对试验数据进行拟合, 函数关系为  $y = 0.016x - 0.5646$ ,  $R^2$  为 0.988。

### 3.2. 滤袋弹性圆环弹力检测试验

选取材料为 60 钢的滤袋弹性圆环为试件, 采用滤袋弹性圆环压力检测装置做压力检测试验。制备直径为 220 mm, 宽度为 30 mm, 厚度为 0.5 mm 的滤袋弹性圆环。用数据采集卡和显示仪表记录滤袋弹性圆环弹力 - 位移值, 结果如表 1。

**Table 1.** Relative deviation of test results in two ways

**表 1.** 两种方式测试结果相对偏差

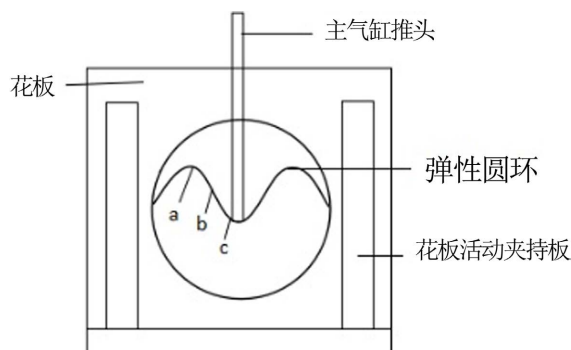
弹性圆环径向压缩量 L/mm	数据采集卡测试值 N	仪表显示值 N	偏差/%
10	154.66	156.32	1.07
20	77.23	78.47	1.61
30	62.31	64.57	3.63
40	55.12	56.33	2.20
50	50.88	52.68	3.54
60	49.64	50.24	1.21
70	48.45	49.86	2.91
80	48.18	49.52	2.78

使用滤袋表条压力检测装置测得的滤袋表条压力最大偏差百分比为 3.63%, 最小偏差百分比为 1.07%, 平均偏差百分比为 2.37%。说明滤袋弹性圆环弹力检测装置有较高的准确性, 满足工程应用要求。

### 3.3. 滤袋弹性圆环拆卸机构性能参数试验

由滤袋弹性圆环拆卸机构工作原理分析和初步试验, 确定主气缸推压深度  $x_1$ 、拆卸气缸推压位置  $x_2$

(如图 9 所示)、拆卸气缸推力  $x_3$ 、拆卸气缸推头速度  $x_4$ 、拆卸气缸和滤袋弹性圆环之间的初始距离  $x_5$  等因素对拆卸效果可能有影响, 选取这五个因素为试验因素, 各因素水平如表 2 所示, 开展单因素试验。



**Figure 9.** Filter bag elastic ring disassembly mechanism push pressure position diagram

**图 9.** 滤袋弹性圆环拆卸机构推压位置示意图

**Table 2.** Single factor test factor level coding table

**表 2.** 单因素试验因素水平编码表

序号	试验因素				
	主气缸推压深度 $x_1$ /(mm)	拆卸气缸推压位置 $x_2$	拆卸气缸推力 $x_3$ /(N)	拆卸气缸速度 $x_4$ /(mm/s)	初始距离 $x_5$ /(mm)
1	30	a	20	50	10
2	60	b	40	100	30
3	90	c	60	150	50
4	120		80	200	70
5	150		100	250	90

### 3.4. 滤袋弹性圆环拆卸机构性能参数试验结果与分析

#### 3.4.1. 主气缸推压深度 $x_1$ 对可拆卸指数的影响

拆卸气缸推压位置为 b、拆卸气缸推力为 60 N、拆卸气缸速度为 150 mm/s、拆卸气缸和滤袋弹性圆环之间的初始距离为 50 mm 时, 主气缸推压深度对可拆卸指数的方差分析 F 的统计量为 3.565, 显著性水平为 0.023, 说明主气缸推压深度对拆卸效果有影响; 主气缸推压深度在 90 mm 时, 拆卸效果最佳。

#### 3.4.2. 拆卸气缸推压位置 $x_2$ 对可拆卸指数的影响

主气缸推压深度为 90 mm、拆卸气缸推力为 60 N、拆卸气缸速度为 150 mm/s、拆卸气缸和滤袋弹性圆环之间的初始距离为 50 mm 时, 拆卸气缸推压位置对可拆卸指数方差分析 F 的统计量为 15.043, 显著性水平约为 0, 拆卸气缸推压位置对拆卸效果有影响。当拆卸气缸推压位置在 a 时, 拆卸效果最差; 拆卸气缸推压位置在 b 时, 拆卸效果最佳。

#### 3.4.3. 拆卸气缸推力对可拆卸指数的影响

主气缸推压深度为 90 mm、拆卸气缸推压位置为 b、拆卸气缸速度为 150 mm/s、拆卸气缸和滤袋弹性圆环之间的初始距离为 50 mm 时, 拆卸气缸推力对可拆卸指数的方差分析 F 的统计量为 214.212, 显著性水平约为 0, 拆卸气缸推力对拆卸效果有影响。拆卸气缸推力为 80N 时拆卸效果最佳。



卸气缸速度和初始距离对可拆卸指数的方差分析结果, F 的统计量分别为 0.312 和 1.694, 显著性水平分别为 0.869 和 0.168。说明这两个因素对拆卸效果影响不显著。

#### 4. 结论

1) 开展了除尘滤袋弹性圆环约束状态下受径向压力及变形试验, 滤袋弹性圆环约束状态下径向弹力最大值约为 200 N, 产生最大径向弹力时的径向压缩量为 20 mm。

2) 设计了一种滤袋弹性圆环压力检测与弹性圆环拆卸一体化装置, 对组成该装置的弹性圆环压力检测机构、弹性圆环拆卸机构、拆卸气缸平面导轨机构、花板夹紧机构进行了结构设计, 并设计了电控系统、气动系统等。

3) 确定了对滤袋弹性圆环拆卸机构的影响因素, 开展了滤袋弹性圆环拆卸试验, 结果表明: 主气缸推压深度、拆卸气缸推压位置、拆卸气缸推力对拆卸效果有显著影响, 其值分别为 90 mm、b、80 N 时拆卸效果最佳; 拆卸气缸推头速度、拆卸气缸和滤袋弹性圆环之间的初始距离对拆卸效果没有显著影响。

#### 基金项目

辽宁省教育厅高校基本科研项目(202210148037)。2023 年大学生创新创业训练计划立项项目(202310148005)。

#### 参考文献

- [1] 刘冬, 邹龙庆, 李治淼, 等. 空心圆管的径向承载力及吸能特性研究[J]. 机床与液压, 2019, 47(22): 29-32.
- [2] 焦光伟, 班贵振, 瞿德刚, 等. 径向载荷作用下的管道塑性失效力学模型与实验分析[J]. 重庆大学学报, 2013, 36(11): 38-43.
- [3] 祝效华, 雷清龙, 刁飞, 等. 径向夹持载荷作用下海洋柔性管骨架层的静力特性研究[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(5): 76-82.
- [4] 汤明刚, 王野, 阎军, 等. 海洋柔性管道骨架层压溃的有限元分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2013, 34(9): 1135-1140.
- [5] 王彩山, 汤明刚, 阎军, 等. 海洋柔性管道骨架层径向压缩行为的数值模拟[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2015, 36(8): 1057-1061.
- [6] 杨玉亮. 薄壁圆环正向冲击理想弹性体的动态行为[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- [7] Virgin, L.N., Giliberto, J.V. and Plaut, R.H. (2018) Deformation and Vibration of Compressed, Nested, Elastic Rings on Rigid Base. *Thin-Walled Structures*, **132**, 167-175. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.08.015>
- [8] Gupta, N.K. (2011) Large Deformation in Thin-Walled Structures under Impact or Blast Loading. *Steel Construction*, **4**, 215-223. <https://doi.org/10.1002/stco.201110029>
- [9] Han, G.Z., Cai, L., Bao, C., et al. (2021) Novel Ring Compression Test Method to Determine the Stress-Strain Relations and Mechanical Properties of Metallic Materials. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, **34**, Article No. 109.
- [10] 张康. 滤袋用弹性薄壁圆环径向静压试验与分析[D]: [硕士学位论文]. 抚顺: 辽宁石油化工大学, 2020.
- [11] 王双全. 干式除尘器用滤袋表条拆卸与压力测试装置设计[D]: [硕士学位论文]. 抚顺: 辽宁石油化工大学, 2021.