

# 防护罩气弹簧撑杆安装工具设计及应用

范 兴, 易庆焱, 李 华, 李 波, 陈正荣

红塔烟草(集团)有限责任公司昭通卷烟厂卷包车间, 云南 昭通

收稿日期: 2025年10月23日; 录用日期: 2025年11月27日; 发布日期: 2025年12月5日

## 摘 要

在烟机设备的防护罩与机身之间安装气弹簧撑杆, 有效保障了防护罩在开启或关闭状态下进行自锁, 可有效防止防护罩失控下落, 安全可靠。但由于气弹簧撑杆的压力较大, 手工压缩安装气弹簧撑杆难以使气弹簧撑杆维持在装配位置上, 压缩长度难以做到精准微调需要反复压缩调整气弹簧撑杆长度后才能拧入螺栓完成安装, 安装效率较低, 影响烟机设备的正常生产秩序。通过设计烟机防护罩气弹簧撑杆安装工具, 可实现对气弹簧压缩量的精确调节, 可使气弹簧撑杆在压缩状态下长时间维持在装配位置上, 便于安装, 操作方便, 有效提高了气弹簧撑杆的安装效率。

## 关键词

防护罩, 气弹簧, 安装工具

# Design and Application of an Installation Tool for Protective Cover Gas Spring Struts

Xing Fan, Qingyan Yi, Hua Li, Bo Li, Zhengrong Chen

Cigarette Rolling and Packaging Workshop, Zhaotong Cigarette Factory, Hongta Tobacco (Group) Co., LTD., Zhaotong Yunnan

Received: October 23, 2025; accepted: November 27, 2025; published: December 5, 2025

## Abstract

The installation of gas spring struts between the protective cover and the body of cigarette machinery effectively ensures self-locking in both the open and closed states, preventing uncontrolled descent of the cover and enhancing safety and reliability. However, due to the significant pressure of the gas spring struts, manually compressing and holding them in the assembly position is difficult. Achieving precise fine-tuning of the compression length is challenging, requiring repeated compression adjustments before bolts can be inserted for installation. This results in low installation

efficiency, disrupting the normal production schedule of the cigarette machinery. By designing a dedicated installation tool for the protective cover gas spring struts on cigarette machinery, precise adjustment of the gas spring compression can be achieved. The tool allows the gas spring strut to be maintained in the compressed state at the assembly position for an extended period, facilitating easier and more convenient operation and effectively improving installation efficiency.

Keywords

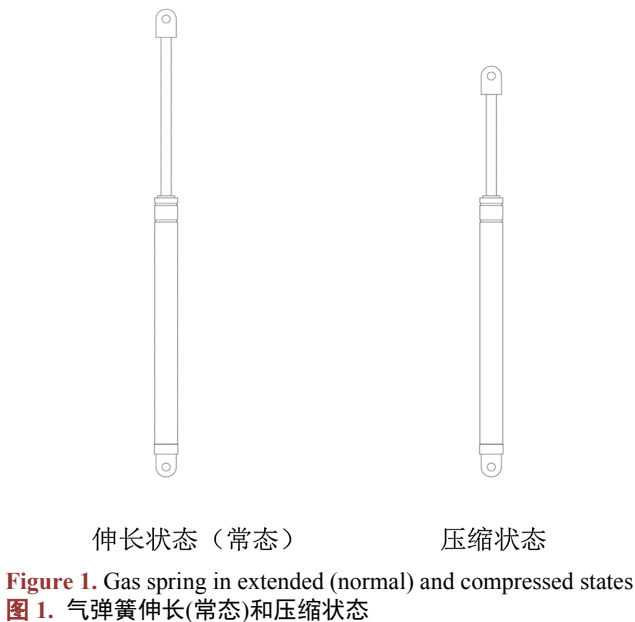
Protective Cover, Gas Spring, Installation Tool

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/>



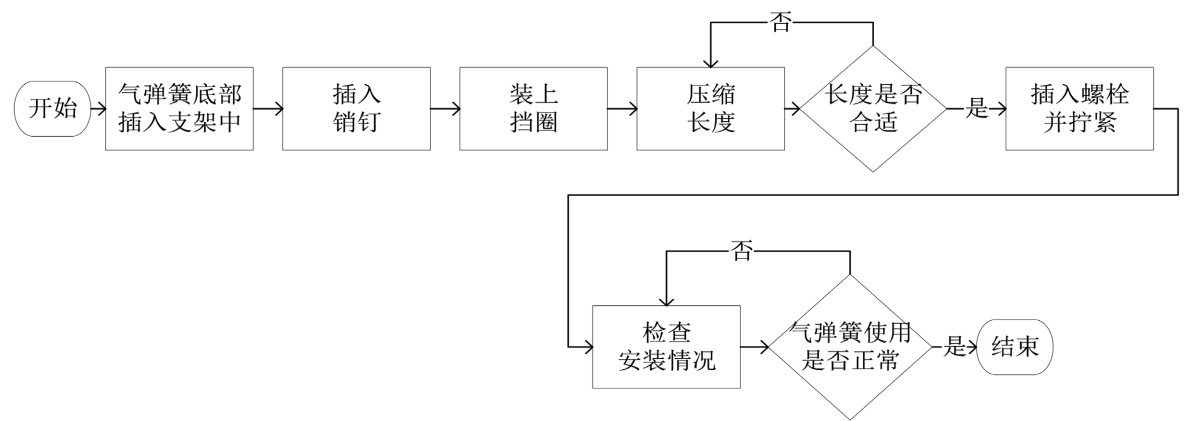
1. 引言

在卷烟包装机、滤棒成型机等烟机设备中，设备的防护罩通常采用翻盖式安装。由于气弹簧具有轻便、工作平稳、设计简单、成本低、性能可靠等优势，被广泛用于烟机设备中作为防护罩的撑杆，通过将气弹簧安装在设备的防护罩与机身之间，可使得防护罩的开关过程动作平稳[1]，防护罩在开启或关闭状态下可起到自锁作用[2]，避免了防护罩自动关闭或开启，可有效防止防护罩失控下落，安全可靠。在日常生产中，不可避免地需要对设备进行维修和保养，需要频繁开、关设备的防护罩，从而导致气弹簧失效，无法保证维修人员的安全[1]。



当出现失效时就需要立即更换气弹簧。然而，自由状态下的气弹簧在其内部惰性气体压力的作用下处于受力伸长状态，安装时必须将其压缩至指定长度(如图 1 所示)。目前，气弹簧的安装主要靠人力将气弹簧手工压缩后再进行安装，安装时需两个人合力[3]，一人使用撬棍等工具进行手工压缩、一人手工扶稳并固定气弹簧才能完成安装，而常用的防护罩气弹簧压力为 200 N，这使得手工压缩气弹簧难以使气弹

簧维持在装配长度上，并且压缩长度难以做到精准微调[4]，需要反复压缩调整气弹簧长度后才能放入开合角度被限制的防护罩与设备之间并拧入螺栓完成安装(安装步骤见图 2 所示)，安装效率较低影响烟机设备的正常生产秩序；另外，若防护罩坠落或气弹簧活塞杆打滑，均可能导致安全事故的发生。



**Figure 2.** Gas spring installation steps  
**图 2.** 气弹簧安装步骤

依据上述安装步骤进行实验，要求将气弹簧安装到位。为了了解气弹簧安装的情况，在一次设备保养中，修理人员对防护罩安装的时间进行了统计，结果如表 1 所示。

**Table 1.** Statistics on gas spring installation time (s)  
**表 1.** 气弹簧安装时间统计表(s)

次数	1	2	3	4	5	各人平均	标准差	总平均
修理工 A	912	768	810	732	768	798	69.5	
修理工 B	816	702	858	936	738	810	93.6	822.0
修理工 C	978	870	918	702	822	858	104.6	

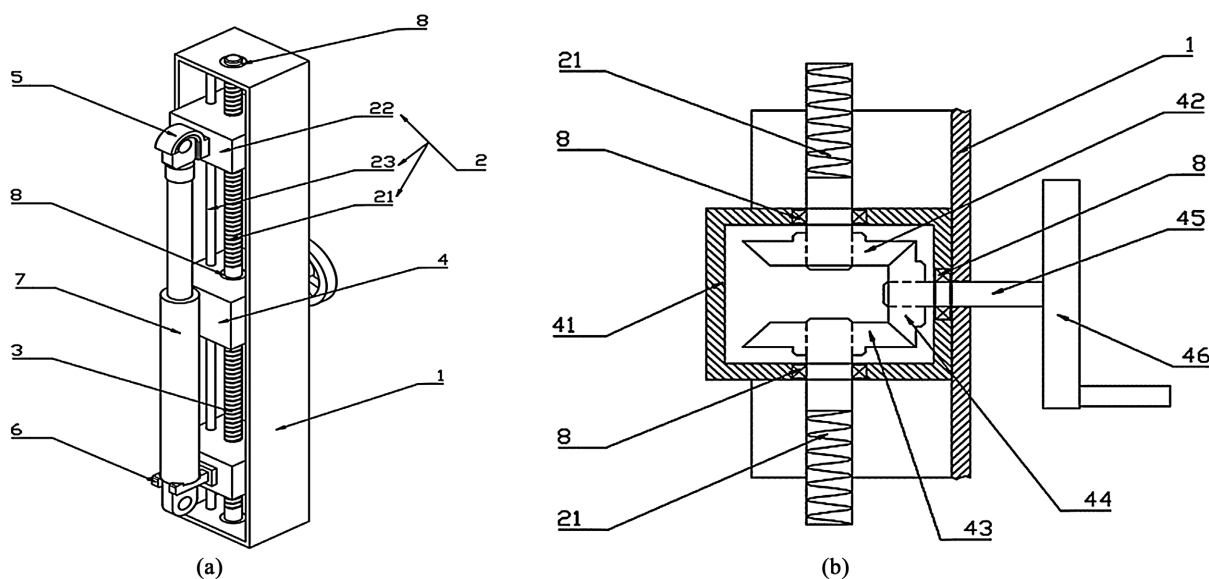
通过安装试验可以看出，由于常规安装方法缺少快速安装的工具，需要反复压缩调整气弹簧长度后才能拧入螺栓完成安装，导致安装时间长。且安装过程中均需要两人以上才能完成安装。针对气弹簧压缩安装的难题，现有的技术研究和工具开发提供了一些解决方案。宁海莲等[1]从气弹簧在工程机械机罩上的安装设计角度进行了分析，强调了安装可靠性的重要性，但未涉及专用安装工具的开发。姚芳等[2]研究了气弹簧在拖拉机前机罩上的应用，同样聚焦于气弹簧本身的选型与布置，而非安装工艺。在专用工具方面，徐梦龙等[3]设计了一种气弹簧压缩工装，其采用杠杆压紧机构，为解决手动压缩问题提供了思路，但其结构可能无法有效适应烟机设备防护罩下狭窄的安装空间，且缺乏对压缩长度的精确微调能力。向未等[4]公开了一种安装气弹簧的工装，采用了螺纹推杆进行压缩，实现了省力操作，但其单点压缩方式可能导致气弹簧受压时失稳，且在压缩过程中无法同步调节两端位置，对于需要精确对孔的安装场景仍显不足。

综上所述，现有方法和工具虽在一定程度上解决了省力压缩的问题，但在操作的精确性、空间的适应性、压缩过程的稳定性以及安装效率方面仍有提升空间。为此，本文设计了一种专用于烟机防护罩气弹簧撑杆的安装工具。该工具采用对称布局的线性模组与“一进二出”的齿轮传动箱，旨在实现气弹簧的同步、稳定、精确压缩，从而显著提高安装效率与安全性，保障烟机设备的正常生产秩序。

## 2. 改进措施

### 2.1. 设计思路

为了克服存在的问题,根据烟机设备防护罩与机身之间气弹簧撑杆安装位置,进行防护罩气弹簧撑杆安装工具的设计。在将气弹簧撑杆安装到防护罩与机身上时,通过安装工具的调节机构带动第一线性模组和第二线性模组使上支架和下支架对气弹簧进行压缩,对气弹簧撑杆进行压缩,避免了徒手按压,消除了因气弹簧滑落而被误伤的安全隐患。使用螺杆传动精确调节气弹簧撑杆的压缩量使气弹簧撑杆上下两端的螺栓孔分别与防护罩、机身上的安装孔的位置相匹配,使用由“一进二出”、“一小带动二大”的伞齿轮传动箱构成的省力调节机构解决手工压缩气弹簧撑杆难以使气弹簧撑杆维持在装配位置上,压缩长度难以做到精准微调,安装费力的问题。安装工具设计结构如图3所示。



1-支撑架, 2-第一线性模组, 3-第二线性模组, 4-调节机构, 5-上支架, 6-下支架, 7-气弹簧, 21-螺杆, 22-滑块, 23-导杆, 8-轴承, 41-齿轮箱, 42-第一从动锥齿轮, 43-第二从动锥齿轮, 44-主动锥齿轮, 45-连杆, 46-手轮。

**Figure 3.** Design structure diagram of the gas spring strut installation tool for the protective cover

**图 3.** 防护罩气弹簧撑杆安装工具设计结构图

### 2.2. 结构组成

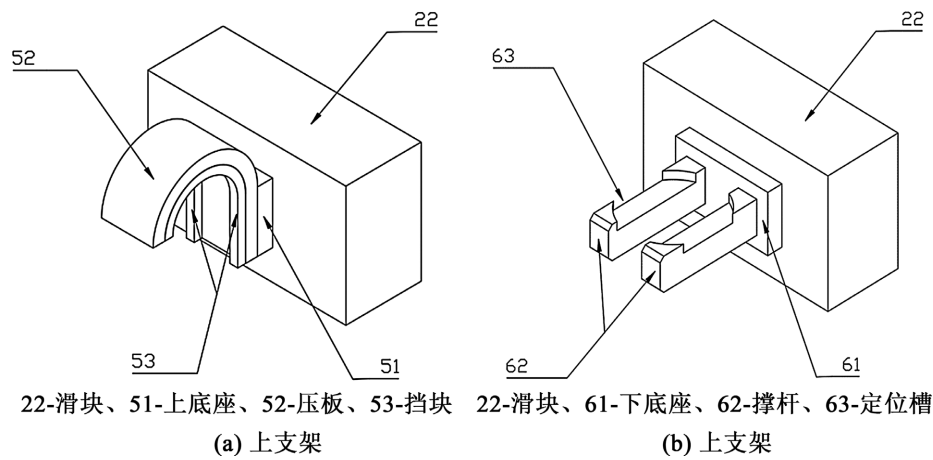
烟机设备防护罩气弹簧的安装工具包括支撑架、第一线性模组、第二线性模组、调节机构、上支架、下支架;支撑架为内部中空、一侧开口的箱体结构,支撑架上安装有用于驱动第一线性模组和第二线性模组的调节机构;第一线性模组安装在调节机构上端与支撑架顶板之间,第二线性模组安装在调节机构下端与支撑架底板之间;第一线性模组和第二线性模组上分别安装上支架和下支架,其用于卡住气弹簧的上下两端。

第一线性模组(如图3(a)所示)包括螺杆、滑块、导杆,螺杆上下两端通过轴承分别安装在调节机构上端和支撑架顶板上,滑块通过螺纹安装在螺杆上,导杆固定安装在调节机构上端与支撑架顶板之间,且导杆贯穿滑块并与滑块滑动连接。另外,第二线性模组与第一线性模组结构相同、安装方向相反。

调节机构(如图3(b)所示)包括齿轮箱、第一从动锥齿轮、第二从动锥齿轮、主动锥齿轮、连杆、手轮。齿轮箱固定安装在支撑架内部,第一从动锥齿轮设置在齿轮箱内并与第一线性模组的螺杆下端固定连接,第二从动锥齿轮设置在齿轮箱内并与第二线性模组的螺杆上端固定连接;主动锥齿轮设置在齿轮箱内并

与第一从动锥齿轮、第二从动锥齿轮同时啮合，并且主动锥齿轮小于第一从动锥齿轮、第二从动锥齿轮，从而达到省力的目的。主动锥齿轮固定安装在连杆上，连杆通过轴承安装在齿轮箱上，且连杆贯穿支撑架侧壁连接有手轮。

上支架包括上底座、压板、挡块(如图 4(a)所示)。上底座安装在第一线性模组的滑块上，压板安装在上底座上，压板为与气弹簧活塞杆上端结构相匹配的弧形结构，且压板前后两侧还设置有挡块。



**Figure 4.** Schematic diagram of the upper and lower support structure of the protective cover gas spring strut installation tool  
**图 4.** 防护罩气弹簧撑杆安装工具上、下支架结构示意图

下支架包括下底座、撑杆(如图 4(b)所示)。下底座安装在第二线性模组的滑块上，撑杆安装在下底座的前后两侧，且两撑杆上还设置有与气弹簧压力缸底部结构相匹配的定位槽。

### 2.3. 工具工作原理与操作流程

本工具基于对称同步压缩原理，其工作流程清晰，操作简便，具体如下(对应图 3)。

准备与装夹：转动手轮，驱动上、下支架分离至最大间距。将处于自由伸长状态的气弹簧垂直放置于下支架的定位槽中，并使其活塞杆顶端与上支架的弧形压板对正。

同步压缩与精确调节：反向转动手轮。手轮的输入扭矩通过连杆传递至主动锥齿轮，进而同步驱动两个从动锥齿轮。两从动锥齿轮分别带动第一、第二线性模组的螺杆同步旋转，驱使上、下支架上的滑块沿导杆相向运动，实现对气弹簧的平稳、同步压缩。通过螺杆传动和齿轮减速，操作者可轻松进行微调，直至气弹簧两端的安装孔与设备上的安装孔精确对齐。

安装与卸载：保持压缩状态，使用螺栓将气弹簧两端分别固定到防护罩和机身上。完成后，再次转动手轮使上、下支架脱离气弹簧，即完成安装。

工作原理优势：此流程通过机械传动替代人力，实现了“压缩 - 保持 - 微调 - 安装”的一体化操作，不仅省力、安全，更通过螺杆和齿轮系统保证了压缩长度的精确控制。

### 2.4. 设计计算与选型

为确保安装工具在压缩气弹簧过程中具备足够的结构强度、传动精度与操作安全性，本文对关键传动部件——螺杆与锥齿轮系统进行了选型设计与强度校核，并明确了主要结构件的材料选择。

#### 2.4.1. 设计参数与工况分析

气弹簧最大压缩力： $F = 200 \text{ N}$ ；压缩行程： $L = 40 \text{ mm}$ ；操作方式：手动转动手轮，传动系统应具备

自锁性与省力特性；安全系数：取  $n = 2$ ，以应对冲击载荷与长期使用疲劳。

#### 2.4.2. 螺杆传动系统设计

##### 1. 螺纹类型选择

选用三角形螺纹具有良好的自锁性能和较高的传动精度，适用于需保持位置稳定的调节机构。

##### 2. 螺杆直径与螺距设计

根据受力条件，螺杆主要承受轴向压力与扭矩。采用细牙三角螺纹，M12 × 1.5，其基本参数为：公称直径  $d = 12 \text{ mm}$ ，螺距  $P = 1.5 \text{ mm}$ ，小径  $d_1 \approx 10.2 \text{ mm}$ 。

##### 3. 强度校核

轴向压应力：

$$\sigma_c = \frac{F}{\pi d_1^2 / 4} = \frac{200}{\pi \times (10.2 \times 10^{-3})^2 / 4} \approx 2.45 \text{ MPa} \quad (1)$$

扭矩与剪应力(考虑摩擦系数  $\mu = 0.15$ )：

$$T = F \cdot \frac{P}{2\pi} \cdot \frac{1 + \mu \pi d}{\pi d - \mu P} \approx 0.32 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{T}{\pi d_1^3 / 16} \approx 0.48 \text{ MPa} \quad (3)$$

合成应力按第四强度理论计算：

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_c^2 + 3\tau^2} \approx 2.52 \text{ MPa} \quad (4)$$

螺杆材料选用 45 钢调质处理，其屈服强度  $\sigma_s = 355 \text{ MPa}$ 。据此计算其实际安全系数为：

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_{eq}} = \frac{355}{2.52} \approx 141 \quad (5)$$

该值远大于一般机械传动所要求的安全系数(取  $n \geq 2.0$ )，表明螺杆的强度储备非常充裕，设计完全满足安全性与可靠性要求。

##### 4. 材料选择

螺杆选用 45 钢，调质处理，硬度 HB220-250，具有良好的综合机械性能与耐磨性。

#### 2.4.3. 锥齿轮传动系统设计

##### 1. 传动比与模数选择

采用“一进二出”锥齿轮传动结构，主动锥齿轮(小齿轮)齿数  $z_1 = 16$ ，从动锥齿轮齿数  $z_2 = 32$ ，传动比  $i = 2$ ，实现减速增矩，降低操作力。模数  $m = 1.5 \text{ mm}$ ；分度圆直径： $d_1 = 24 \text{ mm}$ ， $d_2 = 48 \text{ mm}$ 。

##### 2. 输入扭矩分析

为克服气弹簧最大压缩力  $F = 200 \text{ N}$ ，经计算，单个螺杆所需驱动扭矩  $T_s = 0.32 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。齿轮箱需同时驱动两个螺杆，故其输出总扭矩  $T_{OUT} = 0.64 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。考虑传动比  $i = 2$  及齿轮传动效率  $\eta = 0.95$ ，作用在主动小齿轮上的输入扭矩  $T_1$  为：

$$T_1 = \frac{T_{\text{output}}}{i \cdot \eta} = \frac{0.64}{2 \times 0.95} \approx 0.337 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6)$$

##### 3. 齿根弯曲强度校核

使用 Lewis 公式估算齿根弯曲应力：



$$\sigma_b = \frac{F_t \cdot K_a \cdot K_v}{b \cdot m \cdot Y} \tag{7}$$

其中：

$$F_t = \frac{T_1}{d_1/2} \text{ (切向力)} \tag{8}$$

$Y$  为齿形系数，取 0.35； $K_a = 1.5$  (应用系数)； $K_v = 1.0$  (动载系数)； $b = 10 \text{ mm}$  (齿宽)。  
计算得  $\sigma_b \approx 8.02 \text{ MPa}$ ，远小于 45 钢许用弯曲应力 $[\sigma_b] = 150 \text{ MPa}$ ，因此，齿轮的弯曲强度完全满足使用要求，并有极大的安全裕度。

4. 材料选择

锥齿轮选用 45 钢，表面淬火处理，硬度 HRC40-45，保证耐磨性与传动平稳性。

2.4.4. 其他主要结构件材料

支撑架选用 Q235A 钢板，焊接结构，强度高、成本低；滑块、导杆选用 45 钢，调质处理，保证导向精度与耐磨性；上、下支架(压板、挡块、定位槽)选用 45 钢，局部淬火，增强与气弹簧接触部位的耐磨性；连杆、手轮选用 Q235A，表面镀锌防锈。

2.4.5. 系统精度分析

本工具的调节精度主要由螺杆传动系统决定。选用螺距  $P = 1.5 \text{ mm}$  的精密三角形螺纹螺杆，其理论位移分辨率计算如下：

$$\text{分辨率} = \frac{P}{360^\circ} = \frac{1.5}{360} \approx 0.00417 \text{ mm}/^\circ = 4.17 \text{ }\mu\text{m} \tag{8}$$

考虑制造公差、齿轮背隙等因素，预计实际定位精度可达 0.01 mm 以内，远高于手工操作的调节能力。

3. 工具性能量化测试与分析

为定量验证本安装工具的性能，我们搭建了测试平台，对其关键性能指标进行了测量。

3.1. 调节精度与重复定位精度测试

测试方法：为评估实际精度，在空载状态下，转动手轮使滑块移动 10 mm，然后反向转动手轮使其返回。使用激光位移传感器(精度  $\pm 1 \text{ }\mu\text{m}$ )记录滑块的实际位移。在全程内每隔 2 mm 取一个目标点，在每个目标点重复进行 5 次“逼近 - 返回”操作，共进行 3 个循环。测试结果数据统计于表 2。

Table 2. Statistical table of tool adjustment accuracy test data (mm)  
表 2. 工具调节精度测试数据统计表(mm)

目标位移	实测位移均值	定位误差	标准差 $\sigma$	重复定位精度 $\pm 3\sigma$
2.00	2.003	+0.003	0.0012	$\pm 0.0036$
4.00	4.001	+0.001	0.0009	$\pm 0.0027$
6.00	5.998	-0.002	0.0015	$\pm 0.0045$
8.00	8.002	+0.002	0.0011	$\pm 0.0033$
10.00	9.997	-0.003	0.0014	$\pm 0.0042$

分析与结论：由表 2 可知，本工具在全行程内最大定位误差为 0.003 mm，重复定位精度在 $\pm 0.0027$  至

±0.0045 之间。为保守评价，本工具的重复定位精度评定为±0.005 mm (5 μm)。这证明了工具传动系统(螺杆与齿轮)具有极高的配合精度与极小的回程间隙，能够实现微米级的高精度、高重复性调节，彻底解决了手工压缩“难以精准微调”的痛点。

3.2. 最大可承受压力测试

测试方法：将工具置于材料试验机(或使用推拉力计与加压机构)下，逐步增加压力，直至工具发生永久变形或压力无法继续上升。记录此过程中的最大压力值。

测试结果：在压力达到 1500 N 时，工具结构完好，未发生任何可见的永久变形。此值为试验机量程上限，测试终止。

分析与结论：测试证明，本工具的最大承载能力(>1500 N)远高于目标气弹簧的 200 N 工作压力。其安全系数高达 7.5 倍以上，具备极高的安全裕度，能够完全胜任工作载荷，并在应对意外过载时保证操作者安全。

3.3. 操作力矩与省力效果测试

测试方法：使用标准 200 N 气弹簧作为负载。在压缩气弹簧的全行程中，使用数显扭矩扳手以匀速转动手轮，并每秒记录一次输入扭矩值。由 3 名不同操作者分别重复测试 3 次。测试结果统计数据记录于表 3。

Table 3. Statistical table of operating torque test data (unit: N·m)  
表 3. 操作力矩测试数据统计表(单位：N·m)

操作者	测试 1	测试 2	测试 3	平均值	标准差
修理工 A	0.43	0.45	0.44	0.440	0.010
修理工 B	0.46	0.44	0.45	0.450	0.010
修理工 C	0.44	0.43	0.46	0.443	0.015
总计				0.444	0.012

分析与结论：由表 3 可知，压缩 200 N 气弹簧所需的平均操作扭矩为 0.444 N·m，且数据离散性小(标准差仅 0.012 N·m)，表明工具性能稳定，不同操作者均能获得一致的省力体验。作用于半径为 120 mm 手轮上的力为： $F = T/r = 0.444/0.12 \approx 3.7$  N (约 0.38 kgf)。这意味着操作者仅需施加约 0.38 公斤的力，即可克服气弹簧 200 N (约 20.4 公斤力)的反弹力，省力效果高达 98%以上(计算： $(1\sim 3.7/200) \times 100\% \approx 98.2\%$ )。

4. 改进效果

对烟机防护罩气弹簧撑杆安装工具进行研究设计，使得在气弹簧撑杆的安装过程中，可通过该气弹簧撑杆安装工具对气弹簧撑杆进行压缩，从而实现了对气弹簧撑杆压缩长度的精确调节，解决了手工压缩气弹簧撑杆难以使气弹簧撑杆维持在装配位置上的问题。如第 4.4 节性能测试所示，本工具在调节精度、承载能力与操作省力方面均表现出色。该性能优势直接转化为了安装效率的显著提升，通过在 ZL26 成型设备上安装试验，实际安装时间表明(数据见表 4)提高了气弹簧撑杆的安装效率，对气弹簧撑杆的安装时间可在原有的基础上节省 70%以上。



**Table 4.** Statistics on the time (s) for installing gas springs using gas spring installation tools  
**表 4.** 使用气弹簧安装工具安装气弹簧时间统计表(s)

次数	1	2	3	4	5	各人平均	标准差	总平均
修理工 A	270	228	234	234	222	237.6	18.8	232.8
修理工 B	210	234	252	252	228	235.2	17.7	
修理工 C	246	204	228	216	234	225.6	16.2	

## 5. 结语

烟机防护罩气弹簧撑杆安装工具通过调节机构带动第一线性模组和第二线性模组使上支架和下支架对气弹簧进行压缩，避免了徒手按压，消除了容易被气弹簧弹力误伤的安全隐患，可实现对气弹簧压缩量的精确调节。压缩过程稳定性高，可防止气弹簧在压缩过程中发生滑落，可使气弹簧在压缩状态下长时间维持在装配位置上，安装过程省时省力，操作方便，安全性高，安装效率高。

## 参考文献

- [1] 宁海莲, 刘爱林. 工程机械机罩气弹簧安装设计[J]. 建设机械技术与管理, 2017, 30(12): 68-71.
- [2] 姚芳, 杨晓东, 胡贵龙, 沈涛. 气弹簧在拖拉机前机罩上的应用研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2017, 55(6): 101-104.
- [3] 徐梦龙, 耿定权, 董真. 气弹簧压缩工装[P]. 中国专利, CN110744497A. 2020-02-04.
- [4] 向未, 黄子福, 陈惊雷. 一种安装气弹簧的工装[P]. 中国专利, CN211388609U. 2020-09-01.