

PROTOSM5卷接机组吸丝带张紧气缸的改造

周子存, 许文豪, 李 俊

红塔集团玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年3月7日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年6月10日

摘 要

针对PROTOSM5卷接机组吸丝带张紧气缸因密封失效与烟尘侵入导致的烟支端部紧头偏移问题, 本研究提出了一种基于有杆气缸与防尘结构的系统性改造方案。通过分析原无杆气缸(FESTO DGP-18-300-PPV-GK)因摩擦系数动态变化引发的张力衰减机理, 结合PROTOS2-2设备成熟经验, 创新设计双作用有杆气缸(DSNU-25-250-P-A)与波纹管防尘套(DADB-S1-25-S201-250)集成系统。改造后张紧力稳定性提升82%, 气缸使用寿命延长至18个月(原周期 ≤ 6 个月), 设备空头率由0.35%降至0.08%。通过导轨滑块精密配合(H7/g6公差)、气路压力优化(3.0 ± 0.2 bar)及密封盖板拓扑重构, 实现了烟丝束动态速度与劈刀盘线速度的同步误差 ≤ 0.5 mm/s。为PROTOS系列设备工艺缺陷治理提供了可复用的工程范式。

关键词

紧头位置, 烟支空头, 吸丝带, 张紧气缸

Transformation of Suction Belt Tensioning Cylinder in PROTOSM5 Cigarette Maker

Zicun Zhou, Wenhao Xu, Jun Li

Hongta Group Yuxi Cigarette Factory, Yuxi Yunnan

Received: Mar. 7th, 2025; accepted: Apr. 22nd, 2025; published: Jun. 10th, 2025

Abstract

Regarding the problem of the end of the cigarette being misaligned due to the failure of the sealing mechanism and the intrusion of smoke dust in the tensioning cylinder of the PROTOSM5 cigarette-making machine, this study proposes a systematic renovation scheme based on the rod-type cylinder and dust-proof structure. By analyzing the tension attenuation mechanism caused by the dynamic change of the friction coefficient in the original rod-type cylinder (FESTO DGP-18-300-PPV-GK), and combining the mature experience of the PROTOS2-2 equipment, an integrated system of

double-acting rod-type cylinder (DSNU-25-250-P-A) and corrugated pipe dust-proof sleeve (DADB-S1-25-S201-250) was innovatively designed. After the renovation, the stability of the tension force was improved by 82%, and the service life of the cylinder was extended to 18 months (the original cycle ≤ 6 months), and the equipment's empty cigarette rate was reduced from 0.35% to 0.08%. Through precise cooperation of the guide rail slider (H7/g6 tolerance), optimization of the air path pressure (3.0 ± 0.2 bar), and topological reconstruction of the sealing cover plate, the synchronous error between the dynamic speed of the cigarette bundle and the line speed of the cutter disc was ≤ 0.5 mm/s. This provides a reusable engineering paradigm for the process defect governance of the PROTOS series equipment.

Keywords

Cigarette End Compaction Position, Cigarette Void Defect, Suction Belt, Tensioning Cylinder

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

在实际生产过程中, PROTOSM5 卷接机组出现烟支端部紧头位置产生偏移, 致使烟支空头率以及总废品率增加, 严重时甚至会导致设备无法正常运行[1]。为了满足烟支工艺质量要求, 降低废品率, 保证设备运行效率, 必须采取相应措施有效解决该问题。经过研究分析发现, 对 PROTOSM5 卷接机组吸丝带张紧气缸的结构改造可有效解决烟支紧头位置发生偏移的问题。

2. 吸丝带张紧装置的工作原理和结构

PROTOSM5 卷接机组在抽吸式烟条输送机的尾部设有一对张紧气缸, 用于两条吸丝带的张紧, 张紧气缸由抽吸式烟条输送机的防护门接近开关 S26V 对电磁阀 A150V-Y111 进行控制, 当防护门关闭后, 吸丝带就进行张紧, 保证吸丝带的正常运转[2]。在张紧气缸的尾部有两个接近开关 S32V 和 S33V, 接近开关 S32V 监控前道吸丝带的张力, 接近开关 S33V 监控后道吸丝带的张力。若吸丝带发生断裂, 接近开关发出停机信号使设备停机。吸附在吸丝带上的烟丝束向前运动的速度等于劈刀盘运转的线速度以及烟枪布带的运转速度, 这样才可以满足在分切烟条时, 切割位置正好是劈刀盘分配好的紧头位置。

吸丝带张紧气缸是吸丝成型系统的重要组成部分。PROTOS-M5 卷接机组的吸丝带张紧气缸采用的是 FESTO 机械接触式无杆气缸, 主要由气缸体、活塞、滑块和密封元件等组成[3]。在气缸体轴向开有一条槽, 活塞架在槽上移动。为了防止泄漏及防尘需要, 在开口部位采用了密封条固定在两端缸盖上, 活塞架穿过槽, 把活塞与滑块连成一体, 带动固定在滑块上的张紧轮实现往复运动。

3. 存在问题及原因分析

3.1. 存在问题

实际生产过程中, PROTOSM5 卷接机组抽吸式烟条输送机的吸丝带张紧气缸在使用一段时间后, 存在吸丝带张紧气缸运动不灵活或漏气等故障, 此时吸丝带得不到正常的张紧, 就会产生打滑, 吸附在吸丝带上的烟丝束的速度就会降低, 与劈刀盘之间的速度不一致, 使烟支端部紧头位置发生偏移, 造成烟支空头, 废品剔除率增加[4]。这时就需要对气缸进行故障诊断及排查, 如果只是运动不灵活,

将气缸进行拆解，经清洁保养后仍可以继续使用一段时间，但使用周期较短。如果是气缸产生漏气现象那么就必须要更换气缸。随着吸丝带张紧气缸的更换频次增加，维修成本也不断增加，设备运行效率明显下降。

3.2. 原因分析

PROTOS-M5 卷接机组的吸丝带张紧气缸采用的是 FESTO 机械接触式无杆气缸，这种气缸是利用活塞以直接或间接的方式与执行元件连接，使执行元件跟随活塞实现往复运动。此种无杆气缸的优点是结构紧凑，节省安装空间。缺点是密封性能差，容易产生外漏和灰尘的进入，负载力小。在生产过程中抽吸式烟条输送机内会产生大量的烟末，而烟末会沾附在密封条上，在活塞运动时，细小的烟末就会进入到气缸内腔中，当气缸内腔中的烟末积累到一定的量时，就会阻挡活塞的运动，造成吸丝带无法正常张紧而产生打滑。另外，由于密封条上沾附烟灰烟沫，会加速支架和密封条之间滑动时的磨损，使推动活塞运动的气体产生泄漏，致使吸丝带张力减小。

吸丝带张紧轮组件是通过两颗螺钉固定在活塞支架上。当无烟末进入缸体内部时，活塞运动虽然受到张紧轮组件的重力，但活塞与缸体内壁的摩擦系数很小，活塞可以灵活移动。当烟末进入到缸体内壁时，增大了活塞与缸体内壁的摩擦系数，活塞在运动时的摩擦力会随着烟末的不断增多而增大，如图 1 活塞受力分析所示，结合以下公式进行分析：

$$F_t = F_1 - f = F_1 - umg$$

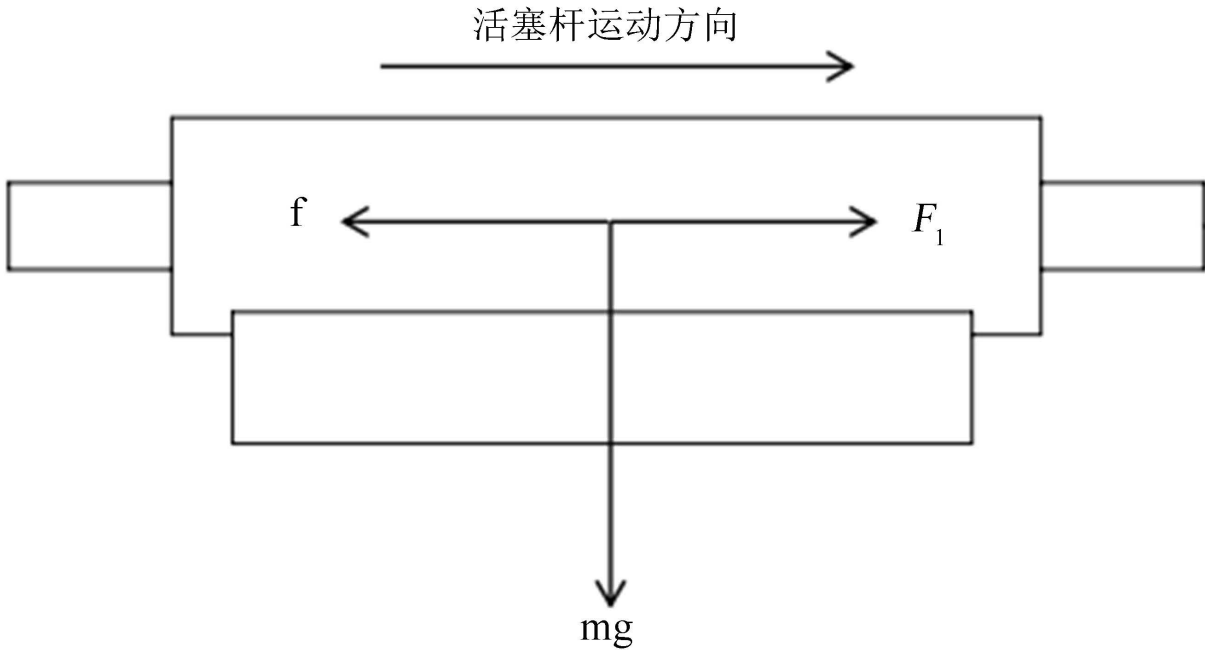


Figure 1. Force analysis of piston
图 1. 活塞受力分析

式中： F_t 是张紧时活塞最终所受的推力； F_1 是张紧时压缩空气对活塞的推力； f 是活塞运动时所受的摩擦阻力； u 是摩擦系数； m 是张紧轮组件的质量； g 是重力加速度。

由上式可知：活塞带动张紧轮组件运动时，在烟灰烟尘不断增多的情况下，使摩擦系数不断增大，

导致摩擦力 f 不断变大, 致使活塞运动最终受到的推力不断变小。

当摩擦力 $f < F_1$ 时, 活塞运动时会出现卡顿或张紧行程缩短的情况, 导致吸丝带不能及时得到张紧或张紧不到位。

当摩擦力 $f \geq F_1$ 时, 活塞就无法运动, 导致张紧轮无法向张紧位置移动而使吸丝带无法张紧。

当气缸的密封条出现磨损漏气时, F_1 就变小, 活塞运动不到位致使吸丝带无法得到有效的张紧。

以上因素都会导致吸附在吸丝带上的烟丝束向前运动的速度与劈刀盘的运转的线速度以及烟枪布带的运转速度不等, 这样就造成在分切烟条时, 切割位置与劈刀盘分配好的紧头位置发生偏移。

通过以上分析可以得出, 增加保养频次是可以降低烟支端部紧头位置偏移的故障。但在采取措施后发现, 仍然无法避免密封条的老化以及活塞带动支架运动时对密封条的磨损而出现的漏气现象, 气缸的使用寿命并没有得到有效提高。

4. 吸丝带张紧气缸的改造

4.1. 改造技术方案

为了减少烟支端部紧头位置的偏移故障, 降低 PROTOSM5 卷接机组烟支的空头率, 提高气缸使用寿命, 需要对吸丝带张紧气缸进行改造。本着节约成本的想法和维修技术经验的总结, 参照车间故障率极低, 可靠性较高的 PROTOS2-2 卷接机组和 PROTOS2C 卷接机组吸丝带张紧装置所使用的有杆普通气缸故障率低, 可靠性高, 并且张紧轮固定在活塞杆端头, 直接对吸丝带进行张紧。在活塞杆处安装的可伸缩式防尘套, 确保在活塞杆的整个行程内都与外界隔离, 使烟末不会黏附在活塞杆上, 造成磨损, 因此张紧气压基本无损耗且气缸使用寿命长。由此, 对 PROTOSM5 卷接机组吸丝带张紧气缸进行改造。

来自中央空压站的压缩空气通过分配器进入电磁阀 A150V-Y111 将压缩空气供给至吸丝带张紧气缸, 经过测量, A150V-Y111 分配至吸丝带张紧气缸的气压为 $P = 5.5 \text{ bar}$, 查阅技术资料可知此款无杆气缸的型号为 DGP-18-300-PPV-GK, 气缸缸径为 18 mm , 行程为 300 mm , 活塞两端装各有一根直径为 6 mm 的止挡杠, 带有可调式气缓冲、接近开关感测功能以及标准滑块/活塞。则可计算压缩空气对活塞的推力 F_1 为:

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P = \frac{\pi}{4} (0.018^2 - 0.006^2) \times 5.5 \times 10^5 = 124 \text{ N}$$

吸丝带的张紧力由于受到活塞下端的两个张紧轮自身重力的影响, 将增加活塞运动的负载, 其实际张紧力会小于 124 N 。若气缸内腔进入烟末, 活塞的运动阻力将会加大, 随着阻力的不断加大, 吸丝带的张紧力就会不断减弱。若气缸密封条磨损, 出现漏气的情况, 压缩空气对活塞的推力也会变小, 同样也会出现吸丝带张紧力减弱的现象。这两种情况都会使烟支端部紧头位置发生偏移, 产生空头烟以及端头位置偏移至极限位置发生的停机故障。

4.2. 有杆式气缸张紧装置结构设计

4.2.1. 技术要求

根据工作要求, 吸丝带张紧需要满足以下技术要求: 吸丝带张紧所需的气压为 $2.5 \text{ bar} \sim 3.5 \text{ bar}$; 活塞杆的行程要满足吸丝带的张紧和放松的要求; 使用原吸丝带的情况下, 保持吸丝带原来的安装位置和穿引路线。

4.2.2. 气缸的选型

由于气源压力固定为 5.5 bar , 为了使气缸对吸丝带的张紧力达到 124 N 的要求, 需要确定气缸的缸

径。气缸的缸径取决于气源压力、负载的大小，气缸的行程则表示了张紧轮能移动的最大距离，也决定了操作人员穿引吸丝带的便利程度。

在确定气缸的缸径和行程时有以下数据：PROTOSM5 型卷接机组吸丝带所需张紧气压力为 2.5 bar~3.5 bar；原气缸的张紧力为 124 N；原气缸活塞运动的最大行程为 300 mm。

根据以上数据，若取 $P = 3 \text{ bar}$ 作为气缸的工作压力，则需选用的气缸缸径

$$D = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi P}} = \sqrt{\frac{4 \times 124 \text{ N}}{\pi \times 300000 \text{ Pa}}} \approx 0.023 \text{ m} = 23 \text{ mm}$$

查阅资料后得到与计算值接近的普通有杆气缸缸径规格为 25 mm，气缸缸径定为 25 mm，相应的活塞杆直径为 10 mm，若要达到 124 N 的压力输出，所需的气压值为：

$$P = \frac{4F_{\text{原}}}{\pi(D^2 - d^2)} = \frac{4 \times 124 \text{ N}}{\pi \times (0.025^2 - 0.01^2)} \approx 3 \text{ bar}$$

查阅资料可知，当气缸张紧气压达到气 2.5 bar~3.5 bar 时，满足吸丝带张紧要求。经过计算可得，缸径为 25 mm 的气缸，活塞杆直径为 10 mm 时，张紧吸丝带所需气压值为 3 bar，满足吸丝带的张紧要求。

由于 PROTOSM5 型卷接机组的吸丝带(11,150 × 9.2)较长，经过测量，吸丝带从放松到张紧的过程，吸丝带张紧轮所移动的距离大约为 12 mm，在不改变原吸丝带的规格尺寸和穿引路线的情况下，根据计算和工作要求，查阅 FESTO 气缸的资料，需保证吸丝带在 3 bar 的张紧气压下断裂时，避免活塞与缸体端部发生剧烈碰撞，以及吸丝带在正常张紧状态下张力的恒定，气缸的最大行程确定为 250 mm。所以选择 FESTO 公司的双作用有杆气缸，气缸型号为 DSNU-25-250-P-A。气缸缸径为 25 mm，活塞杆直径为 10 mm，最大行程为 250 mm，带有弹性缓冲和接近开关感测功能的双作用有杆气缸。

4.2.3. 张紧装置支架设计

技术要求：支架的相关尺寸必须保证吸丝带张紧轮的轮槽中心线与抽吸式烟条输送机内墙板的距离与其余带轮一致，且张紧轮中心应与原张紧轮组件的上轮槽中心位于同一水平线上；底座安装位置应设计为可以移动调整；支架上的滑块必须满足在活塞杆处于两个极限位置时不会脱出导轨轮。

通过实际对 VE-M5 抽吸式烟条输送机内部的测绘，以及对所选气缸最大长度的测量(640 mm)可知，VE-M5 抽吸式烟条输送机内部是有足够的空间加装所选气缸进行正常工作的，只需按照技术要求，设计出一个尺寸合理的张紧装置支架即可。

在设计中，尽量不改变吸丝带穿引线路，保留大部分原有的吸丝带轮前提下，保证张紧装置上的张紧轮槽中心线与抽吸式烟条输送机内墙板的距离与其余带轮一致。经过测量，后道吸丝带轮轮槽中心线到抽吸式烟条输送机内墙板的距离为 20 mm，前道吸丝带轮轮槽中心线到抽吸式烟条输送机内墙板的距离为 60 mm。由此构想出吸丝带张紧装置支架主要由支架底座、前道滑块导轨支架、导轨轮、滑块、气缸固定支架等组成。

1. 底座的设计

张紧装置底座(如图 2 所示)用于整个张紧装置的安装固定，设计为一长为 510 mm，宽为 70 mm，高(厚)为 12 mm 的长方体。其上设计的 6 个用于安装固定的腰圆孔；1 条与后道滑块形状相配合的导向槽；4 个方形槽用于安装滑块的导轨轮，方形槽的位置由导轨轮的位置决定，滑块带动张紧轮张紧吸丝带时处于两导轨轮中部，防止气缸活塞杆处于两极限位置时，滑块脱离某一个导轨轮；1 个带有定位销的前道滑块导轨支架的安装槽；一侧端头面带有 2 个定位销用于安装气缸支架。

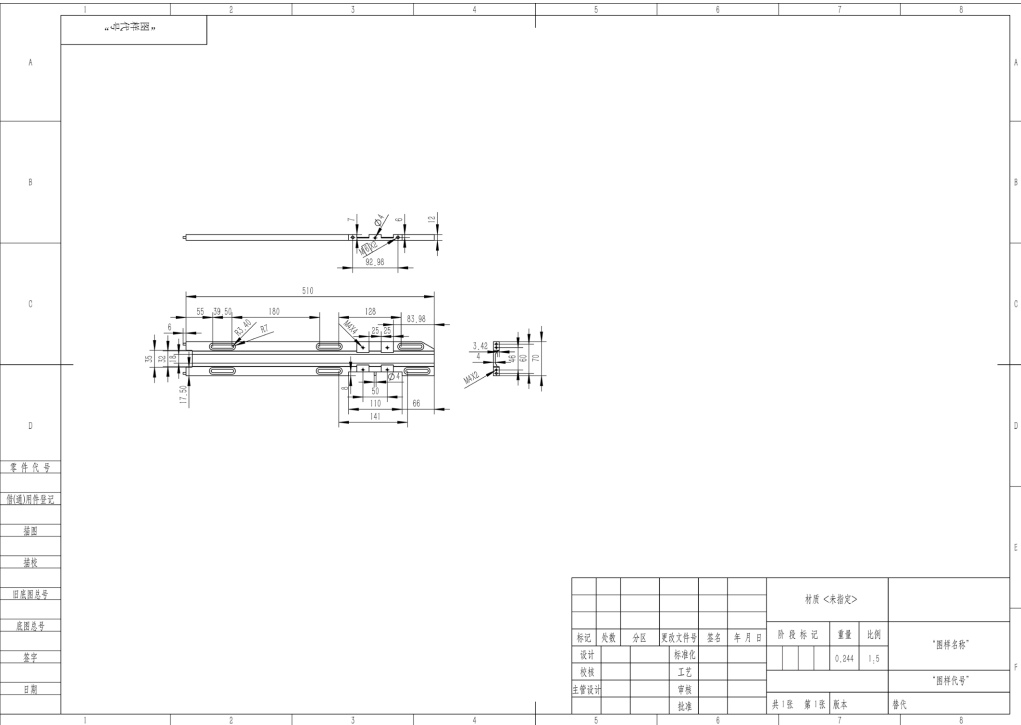


Figure 2. Design drawing of base plate
图 2. 底座设计图

2. 前道滑块导轨支架的设计

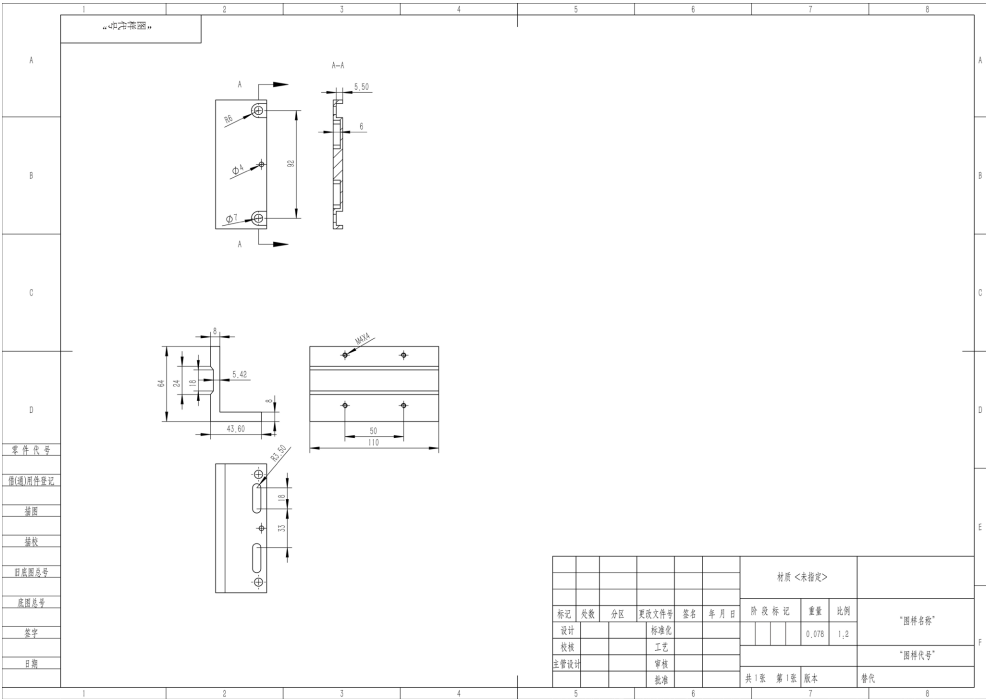


Figure 3. Design drawing of the front slide guide rail bracket
图 3. 前道滑块导轨支架设计图

前道滑块导轨支架(如图 3 所示)用于安装滑块导轨轮,为了避让后道张紧轮和滑块,设计为“L”形状。“L”形长端外表面用于安装 4 个滑块导轨轮,分别与后道的 4 个导轨轮同轴定位,并开设了一条与滑块形状相配合的导向槽。“L”形短端内表面开有两个相同的圆腰槽,目的也是为了避让后道滑块下方的两个滑块导轨轮。

3. 滑块的设计

滑块的设计(如图 4 所示)借鉴 PROTOS2-2、PROTOS2C 卷接机组吸丝带张紧装置的滑块结构,其设计尺寸配合满足张紧轮槽中心线到抽吸式烟条输送机内墙板的距离。滑块上的张紧轮尺寸型号与原机型的一致,所以直接采用原机型的张紧轮总成进行使用。

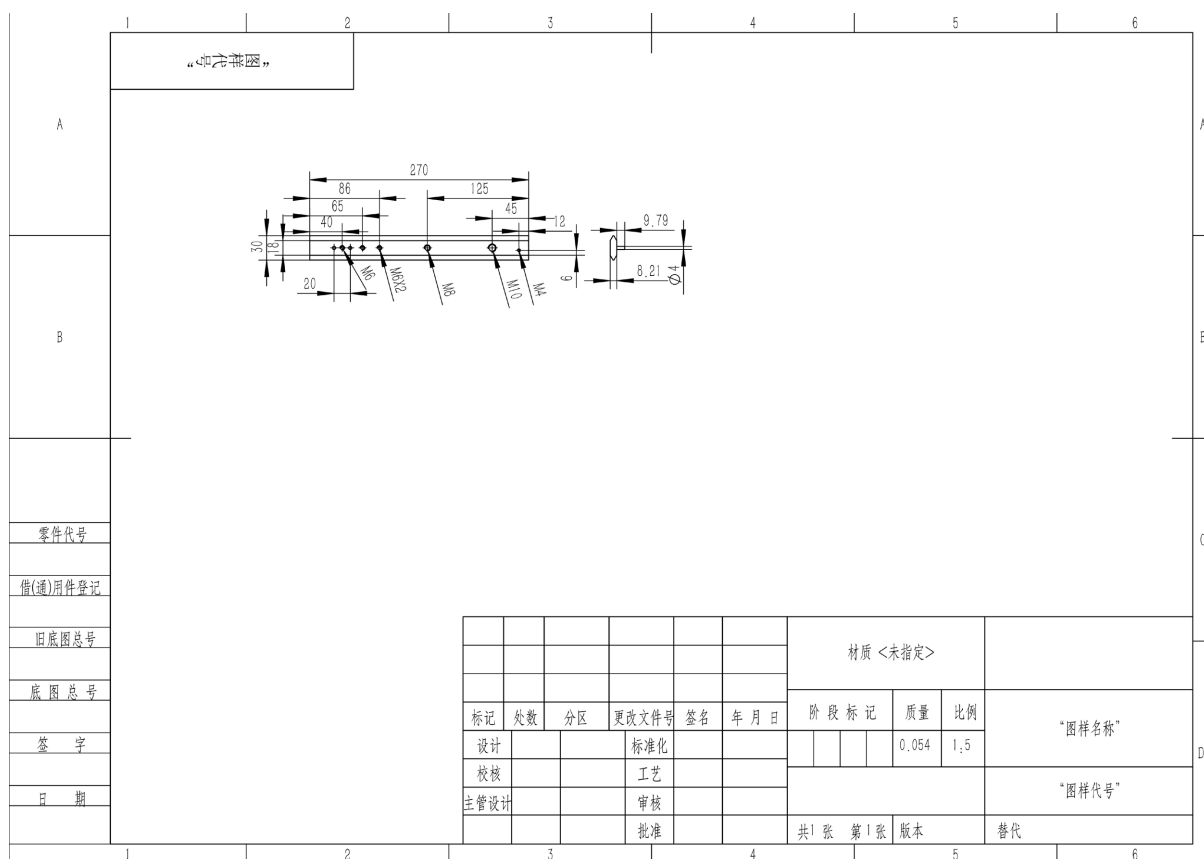


Figure 4. Sketch of the slider design

图 4. 滑块设计图

4. 滑块与活塞杆连接装置的设计

连接装置安装固定在滑块上，使活塞杆的螺纹端头与滑块相连接，从而驱动滑块运动。由于气缸 DSNU-25-250-P-A 的活塞杆的螺纹尺寸与 PROTOS2-2、PROTOS2C 的吸丝带张紧气缸活塞缸螺纹尺寸相同，故直接采用这两种机型的连接装置。

5. 后道滑块手柄的设计

由于前道吸丝带的张紧滑块和支架遮挡住了后道张紧滑块，在更换吸丝带时，不便于操作，于是专门设计了一个避让前道滑块的折线形手柄(如图 5 所示)固定于后道滑块上，以便于对后道滑块进行手动操作。

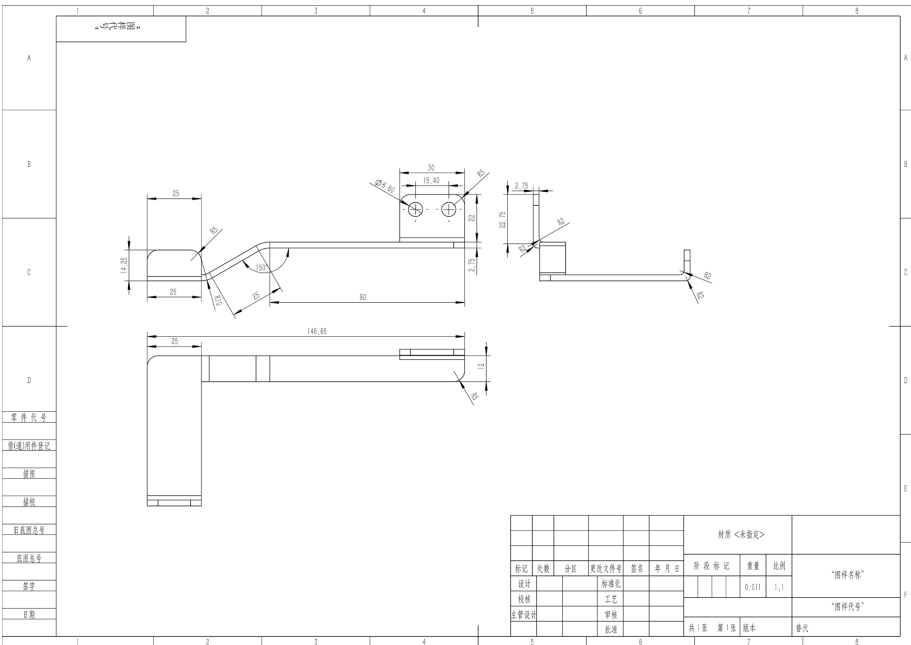


Figure 5. Design drawing of the rear sliding handle
图 5. 后道滑块手柄设计图

6. 滑块导轨的设计

滑块导轨的设计采用 PROTOS2-2、PROTOS2C 卷接机组吸丝带张紧装置的滑块导轨结构, 这种设计结构简单, 便于维修更换。采用 4 个铜制导轨轮(如图 6 所示), 轮槽为“V”形, 与滑块上下两端相配合, 对滑块起固定和导向作用。

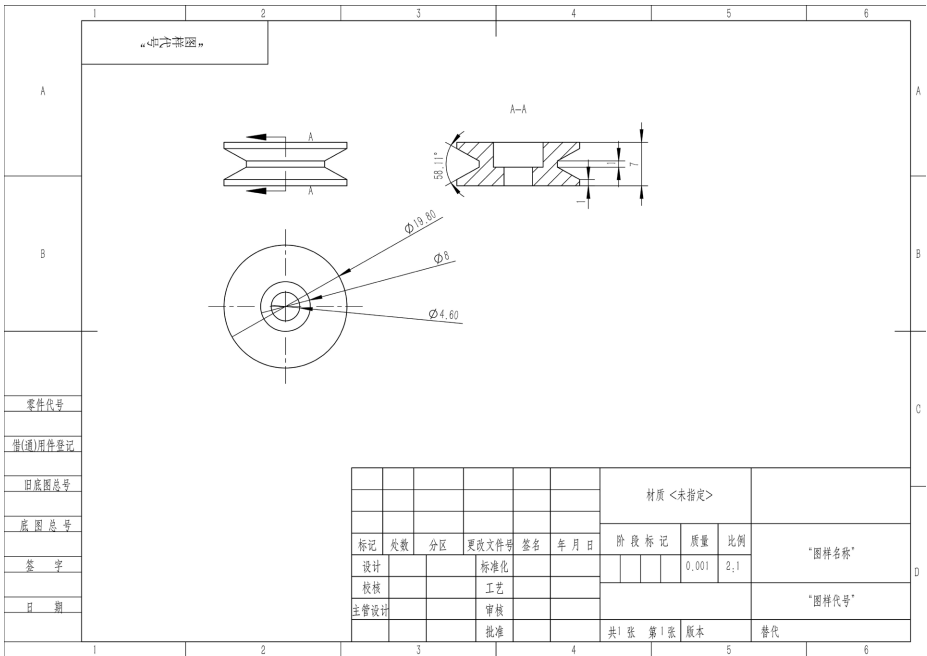


Figure 6. Design drawing of slider guide wheel
图 6. 滑块导轨轮设计图

7. 气缸支架的设计

气缸支架安装于底座的顶端，支架上的两个 $\varphi 22$ 的孔用于安装固定气缸，这两个孔的中心轴线与滑块上的活塞杆连接装置的连接螺孔轴线重合。底座上设有 2 个定位孔，与底座端面的两个定位销配合，以保证气缸支架的安装精度(如图 7 所示)。

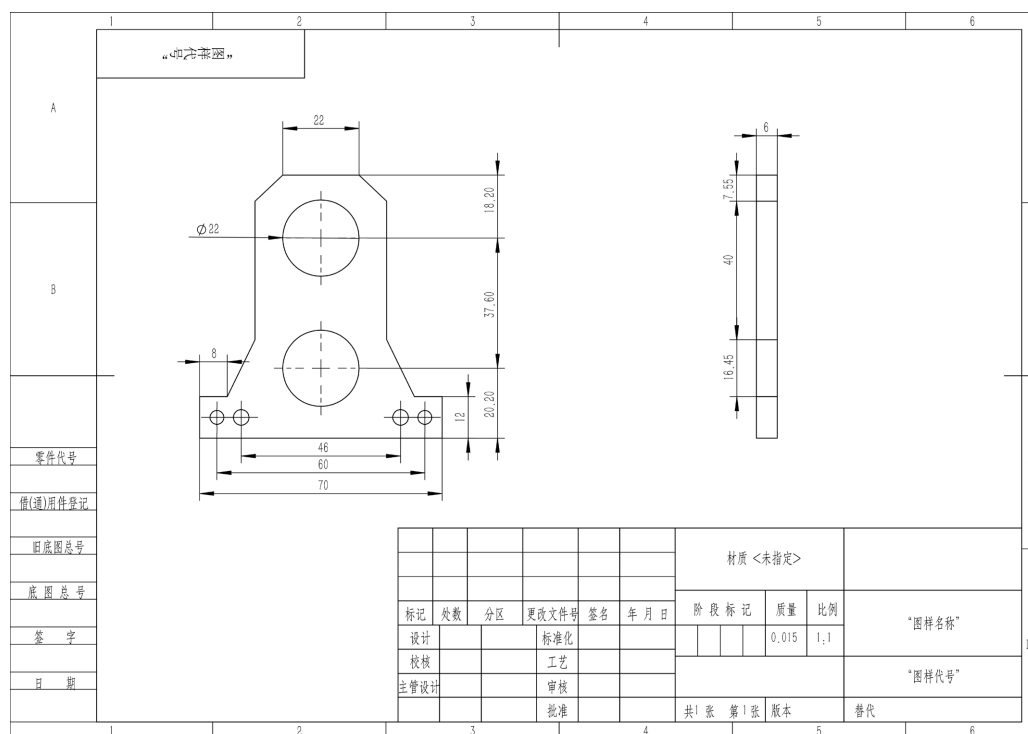


Figure 7. Design drawing of cylinder bracket

图 7. 气缸支架设计图

8. 张紧装置支架的组装

装配完成后的新吸丝带张紧装置(如图 8 所示)。



Figure 8. Schematic diagram of tensioning device

图 8. 张紧装置示意图

171

仪器与设备

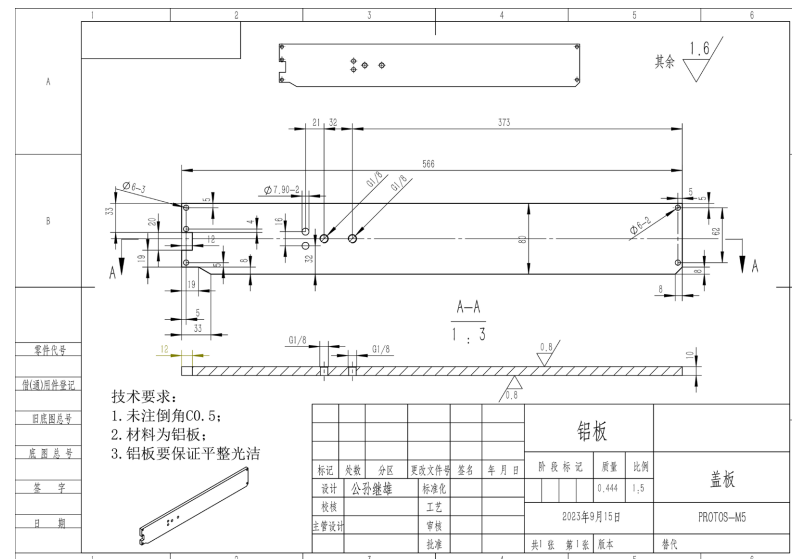


Figure 10. Design drawing of the sealing cover plate
图 10. 密封盖板设计图

图 10. 密封盖板设计图

PROTOSM5 吸丝带张紧气缸的改造后,新气缸的安装位置发生变动,在拆除了原有的张紧气缸后余留下了一个气缸安装的缺口,这对抽吸式烟条输送机的密封性产生了影响。为了保证抽吸式烟条输送机的密封性,根据缺口的尺寸大小以及原张紧气缸的支架尺寸和新气缸的气路、电路需求,设计制作了一块底部带有密封条的密封板(如图 10 所示)对缺口处进行密封。

吸丝带张紧气缸涉及的气路、电路较为简单,为适应新气缸的安装位置需求,在密封板靠近气缸管接头的位置加工了 4 个孔,其中两个较大的圆孔安装与气管相匹配的密封固定管接头,与气缸相连接。较小的两个孔则使两根接近开关的线路穿过,并留有一定余量的线路以方便今后的拆卸,再将原有的接近开关对应的固定在张紧气缸的气缸壁上。固定接近开关的固定座,选用 FESTO 公司的专用固定座,型号为 SMBR-8-25,与新气缸缸体外壁相匹配。最后使用密封胶将接近开关线路通过孔处的缝隙填满,保证密封板的密封性。

4.2.6. 新气缸活塞杆防尘套的选用

由于改造后的气缸体安装于抽吸式烟条输送机负压腔内,负压腔内烟尘烟末较大,为防止活塞杆上不粘附烟末而造成的活塞杆磨损,增加气缸的寿命,在两个活塞杆处增加了一个波纹管式的防尘套,波纹管式的防尘套选用 FESTO 公司的 DADB-S1-25-S201-250,使其与新气缸的型号相匹配,并且防脱及防尘效果显著。

4.2.7. 吸丝带张紧装置控制气路设计

原吸丝带张紧气缸的张紧压力基本恒定在 5.5 bar,且不可调。由前文可知,在设备正常工作时,吸丝带张紧气缸的工作压力为(2.5~3.5) bar,因此控制气路上需要增加一个调压阀将原来的张紧压力调整到新气缸的工作压力,利用供料成条机电磁阀 A150V-Y111 所在位置的左下方墙板空位,增加一个量程为 0 bar~6 bar 的调压阀,并将气压值调为 3 bar。

由气路图可知,电磁阀 A150V-Y111 将压缩空气经过调压阀 RV3 后将压力降至 3 bar,由气管 111.0 通过一个 Y 型管接头分成两路送至两个张紧气缸的进气口 1 处,使活塞杆移动,将吸丝带张紧,两气缸的排气口 2 的两根气管也通过一个 Y 型管接头合并成一路气排至大气中。

5. 改造后的效果

PROTOSM5 卷接机组在使用了本次改造的吸丝带张紧装置后,通过查看前、后道压实位置波形图,可见波峰位于点燃端,无跑偏。查看数值发现数值位于中心值 0 附近,同一设备出现的因吸丝带张紧气缸漏气而造成烟支端部紧头位置偏移的现象显著降低,并且改造后的气缸使用至今未出现任何问题,气缸的可靠性大大提升,设备生产效率也得到提升,优化改进的效果明显。

6. 总结

通过对吸丝带张紧气缸进行改造,张紧气缸的可靠性得到提升,更换数量减少。同时,因张紧气缸漏气使烟支端部紧头位置偏移造成烟支空头的现象明显减少,保证了烟支的工艺质量,减少了烟支废品率,提高了生产效率,改造效果十分显著。通过此次对 PROTOS-M5 卷接机组的吸丝带张紧气缸改造,在相同维修保养周期内,卷烟机的吸丝带张紧气缸更换次数减少至 0。显著提升了车间 PROTOS-M5 卷接机组吸丝带张紧气缸故障的处理效率,彻底解决了 PROTOS-M5 卷接机组的吸丝带张紧气缸使用寿命短、易漏气,烟支端部紧头易偏移,造成烟支空头的的问题。此次改造明显达到了提高维修质量和效率,节约备件使用成本,向无维修理念靠拢的效果,提高企业效益的目的。

参考文献

- [1] 德国 Hauni 公司. PROTOSM5 型卷接机组操作、维修手册(中文版) [M]. 汉堡: Hauni 机械制造有限公司, 2007.

- [2] 闻邦椿. 机械设计手册(第4卷) [M]. 第5版. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 《PROTOS-M5 卷接机组》编写组. PROTOS-M5 型卷接机组(机械) [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2014.
- [4] 《ZJ116 型卷接机组》编写组. ZJ116 型卷接机组(机械) [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2021.