

PROTOS 2C卷烟机牙嵌分段式涂胶辊轴的设计应用

许文豪, 周子存, 付寿华, 史云庆, 李新林

云南省玉溪市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5月23日; 发布日期: 2025年6月5日

摘要

针对PROTOS 2C卷烟机接装纸上胶组件频繁出现的涂胶辊传动连接销断裂及轴端螺纹段断裂问题, 本研究通过结构优化与工艺改进提出系统性解决方案。首先, 将传统销钉传动方式改进为6齿矩形牙嵌式连接, 通过优化牙型参数(外径61 mm、内径46 mm、齿高6 mm)与均匀对称布局, 在保留原螺母调整功能的同时显著提升传动强度与可靠性, 经挤压压应力校核(计算值1.21 MPa < 许用值20 MPa)满足使用需求。其次, 创新设计可分离式涂胶辊轴端螺纹段结构, 采用细牙螺纹配合紧定螺钉防松, 实现局部易损件快速更换, 避免整轴报废。同时, 结合陶瓷热喷涂工艺对配合轴段进行表面强化(显微硬度90 HRC), 在提升耐磨性的同时减少淬火脆性影响。实施后, 10台设备年故障维修时间减少1620分钟, 新增产量折合经济效益176.37万元, 节约维修成本1.0万元, 故障率降为零。项目创新性体现于牙嵌传动的偶数齿适配性设计、轴端模块化结构及表面喷涂工艺优化, 对同类卷接设备(如ZJ17、PROTOS M8等)具有显著推广价值, 为高速精密机械的可靠性提升与维护成本控制提供了有效范例。

关键词

PROTOS 2C卷烟机胶辊轴, 轴端螺纹段断裂, 牙嵌式连接, 结构优化

Design and Application of Tooth-Embedded Segmented Glue Roller Shaft for PROTOS 2C Cigarette Maker

Wenhao Xu, Zicun Zhou, Shouhua Fu, Yunqing Shi, Xinlin Li

文章引用: 许文豪, 周子存, 付寿华, 史云庆, 李新林. PROTOS 2C 卷烟机牙嵌分段式涂胶辊轴的设计应用[J]. 仪器与设备, 2025, 13(2): 136-145. DOI: 10.12677/iae.2025.132020

Hongta Group Yuxi Cigarette Factory, Yuxi Yunnan

Received: Mar. 7th, 2025; accepted: May 23rd, 2025; published: Jun. 5th, 2025

Abstract

To address frequent failures of the glue roller transmission pin fracture and threaded shaft-end fracture in the tipping paper gluing unit of PROTOS 2C cigarette makers, this study proposes systematic solutions through structural optimization and process improvements. First, the traditional pin transmission is redesigned into a 6-tooth rectangular tooth-embedded connection. By optimizing tooth parameters (outer diameter 61 mm, inner diameter 46 mm, tooth height 6 mm) and symmetrical layout, the transmission strength and reliability are significantly enhanced while retaining the original nut adjustment function. Compressive stress verification confirms compliance with requirements (calculated value: 1.21 MPa < allowable value: 20 MPa). Second, an innovative separable threaded shaft-end structure is developed, utilizing fine-pitch threads and locking screws to enable rapid replacement of localized wear-prone components, avoiding full shaft scrapping. Additionally, ceramic thermal spraying is applied to strengthen the shaft's surface (microhardness: 90 HRC), improving wear resistance while reducing brittleness caused by quenching. Post-implementation, annual fault repair time for 10 machines is reduced by 1620 minutes, generating additional output equivalent to ¥1.7637 million in economic benefits and saving ¥10,000 in maintenance costs, with failure rates dropping to zero. Innovations include even-tooth adaptation for tooth-embedded transmission, modular shaft-end design, and surface coating optimization. This approach holds significant value for similar cigarette makers (e.g. ZJ17, PROTOS M8) and provides an effective model for enhancing reliability and controlling maintenance costs in high-speed precision machinery.

Keywords

PROTOS 2C Cigarette Machine Glue Roller Shaft, Fracture of the Threaded Section at the Shaft End, Hook-Type Connection, Structure Optimization

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

PROTOS 系列设备作为柯尔柏公司经典机型,在国内各卷烟生产厂有着广泛的运用。其中的 PROTOS 2C 卷烟机生产速度 12,000 支/分,技术先进、性能可靠、结构紧凑、运行稳定,有效保障生产顺利进行[1]。接装纸上胶是卷烟生产中一个重要的工艺环节,其工作原理是利用圆柱面带有凹槽的控胶辊和涂胶辊相互挤压,将控胶辊凹槽内的胶水涂抹到涂胶辊上。由接装纸供纸辊供给的接装纸贴在涂胶辊表面运行,在接装纸上形成稳定均匀的胶水层,最终涂抹过胶水的接装纸进入后续切割环节。在此过程中,控胶辊和涂胶辊相向运动,控胶辊、涂胶辊的表面线速度和接装纸供给速度三者相等。

2. 存在问题

PROTOS 2C 卷烟机在运行一段时间后各机台陆续出现涂胶辊传动连接销断裂,导致涂胶辊传动失

效,引起接装纸上胶不均匀或不连续,继而出现烟支漏气、接装纸飞边等质量问题[2]。且断裂的销残留在涂胶辊轴上的螺母销孔内,只能重新更换螺母,同时必须对涂胶辊轴的圆跳动做重新校核。维修过程耗费大量时间,严重影响设备效率。

此外,部分机台在长时间运行后还出现涂胶辊轴端处的锁紧螺纹段断裂的情况,使涂胶辊轴向锁紧失效。在设备高速运行中涂胶辊出现轴向位移,导致接装纸上胶位置轴向移动,出现烟支漏气、接装纸飞边等质量问题[3]。发生故障时,只能拆下整个接装纸上胶组件更换涂胶辊轴,也同样必须重新校核涂胶辊轴的圆跳动。整个维修过程耗费大量时间,并且涂胶辊轴成本较高。

以上两个问题已经成为该机型的共性问题,严重影响设备运行连续性和烟支质量,为此针对问题进行立项。

3. 改进方法

针对接装纸上胶组件出现的两个问题,分别进行结构分析和研究并提出改进方案。

3.1. 涂胶辊传动连接销的改进

涂胶辊传动连接销断裂原因分析:

首先,涂胶辊在设备启动、停止和接装纸拼接降速等过程中转速剧烈变化,再加上控胶辊和涂胶辊相互挤压转动,在转速剧烈变化时,传动连接销将承受交变载荷和冲击载荷,单一传动销难以满足长时间使用要求;

其次,销钉磨损后不容易发现。工作中承受交变载荷和冲击载荷的连接销钉不断磨损,生产运行中难以及时发现。当销钉不断磨损导致其横截面积不断减小,最终因剪切应力而断裂。

对涂胶辊传动方式进行改进,采用更可靠寿命更长的传动方式。

涂胶辊传动连接销安装在螺母上,该螺母具有调整涂胶辊轴在机架上圆跳动的作用,保证涂胶辊轴轴端圆跳动 $< 0.03 \text{ mm}$ 。调整时先徒手拧紧螺母并在螺母上相对于涂胶辊轴做一个标记,逆时针回转螺母一小段,使螺母上标记和轴上标记错开 5 mm ,交叉拧紧螺母上 6 颗螺钉,通过 6 颗螺钉不同的拧紧程度来调整涂胶辊轴轴端圆跳动 $< 0.03 \text{ mm}$ 。

因此,为保证调整能有效进行,螺母上 6 个螺孔的位置和尺寸、螺母内外径尺寸和螺母整体厚度等与配合安装调整有关联的尺寸都不改变。

在查阅机械设计手册后,考虑涂胶辊易拆装,且传动定位可靠,将螺母与涂胶辊的连接方式改为牙嵌式,重新设计传动螺母和涂胶辊。改为牙嵌式连接后,不论是连接强度,还是连接精度,都有较大提高。

3.1.1. 牙嵌式连接的基本参数选择

(1) 牙型选取

机械设计手册关于牙嵌式连接的设计和选型,选择矩形牙型[4]。理由如下:

涂胶辊要容易安装拆卸;涂胶辊传动精度要求高;涂胶辊只在停机静止的情况进行拆装;涂胶辊在生产时转速较高;尽可能减少加工成本,降低加工难度。

(2) 牙数选取

牙型选择确定后,对牙数进行选取。机械设计手册上推荐 5、7、9、11 这类奇数,并且无论牙数多少,都必须在圆周上均匀布置,在前文叙述中提到,螺母除了传动涂胶辊以外还有调整涂胶辊轴圆跳动的作用,其上 6 个螺孔的位置不能改动,所以机械设计手册上推荐的奇数牙数无法使用,只能选取牙数为 6,且均匀布置在圆周上,与螺孔交错布置。

(3) 其余参数确认

在确认其余参数时, 须保证螺母内外径尺寸和螺母的整体厚度等与配合安装调整有关联的尺寸都不改变。在螺母端面上加工出 6 个牙齿需采用去除材料的方式, 且螺母总厚度不能改变, 所以牙齿的顶面即为原螺母的端面。

根据机械设计手册有关牙嵌式连接的相关参数计算和选取获得以下参数:

牙齿外径即螺母外径 $D = 61 \text{ mm}$;

牙齿内径 $D_1 = 0.75 \times D = 45.75 \text{ mm}$, 圆整后 $D_1 = 46 \text{ mm}$;

牙齿宽度 $b = (D - D_1)/2 = 7.5 \text{ mm}$;

牙齿高度 h , 前文中提到牙齿的顶面即为原螺母的端面, 所以在保证强度的前提下尽可能选取小的牙齿高度可节约加工成本。从机械设计手册中结合牙齿外径 D 和牙齿内径 D_1 的尺寸, 从 7 齿中直接选取 $h = 6 \text{ mm}$ 。

牙齿中心角 φ 和相邻两齿夹角 φ_1 。考虑螺孔的位置, 相邻两齿中心线夹角只能为 60° 。再结合该部件的配合关系, 即螺母通过牙嵌式连接涂胶辊传动, 如果减少螺母的加工难度, 减少螺母侧的材料去除, 那将增大涂胶辊侧的加工难度和增加材料去除。从加工工艺的角度出发, 选择螺母和涂胶辊两侧的牙嵌连接采取均分的策略, 同时也能增加互换性。最终选取 $\varphi = 20^\circ$, $\varphi_1 = 40^\circ$ 。

材料的选择。涂胶辊因其工作性质, 与控胶辊挤压相向转动, 表面磨损是其主要磨损。通过查阅备件供货商信息涂胶辊以及涂胶辊轴一直采用不锈钢材料 9Cr18, 所以选择螺母的加工材料也为 9Cr18, 避免出现某一方过度频繁磨损的情况。

至此, 传动螺母从销传动改为牙嵌式传动的牙齿相关选型完成, 涂胶辊与螺母连接一侧也做相应的设计改进, 并同时加工保证配合精度, 提高互换性[5]。

3.1.2. 牙嵌式连接的强度校核

根据机械设计手册牙嵌式连接强度校核的内容, 只有当淬硬刚齿数 $z > 7$ 时才需要进行弯曲强度校核, 螺母上牙嵌连接齿数 $z = 6$ 仅需要进行工作面的挤压应力校核。

$$\sigma_p = \frac{2T_e}{D_p z' A} \leq \sigma_{pp}$$

T_e ——计算转矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$, $T_e = KT$;

T ——理论转矩, T 为电动机的公称转矩, 查阅接嘴机电机铭牌 $T = 20000 \text{ N} \cdot \text{mm}$;

K ——工况系数, 空载下结合取 $K = 1.35$;

D_p ——牙齿平均直径, $D_p = \frac{D + D_1}{2} = \frac{61 + 46}{2} = 53.5 \text{ mm}$;

z' ——计算牙数, $z' = \frac{1}{2} z = 3$;

A ——牙的承压工作面积, mm^2 , $A = hb = 6 \times 7.5 = 45 \text{ mm}^2$;

σ_{pp} ——牙齿的许用挤压应力, N/mm^2 , $\sigma_{pp} = 88 \text{ N}/\text{mm}^2$ 。

带入计算后 $\sigma_p \approx 7.48 \text{ N}/\text{mm}^2$ 小于 σ_{pp} , 符合强度要求。

3.1.3. 绘制零件图并加工零件

根据以上分析和选型, 绘制螺母和涂胶辊改进后零件图, 如图 1、图 2 所示。

涂胶辊除与螺母连接的端部改为牙嵌式外, 其余与接装纸上胶工作有关尺寸未做改动, 保证上胶工作的有效性, 利于改进的实施。如图 3 所示为涂胶辊和螺母装配图。

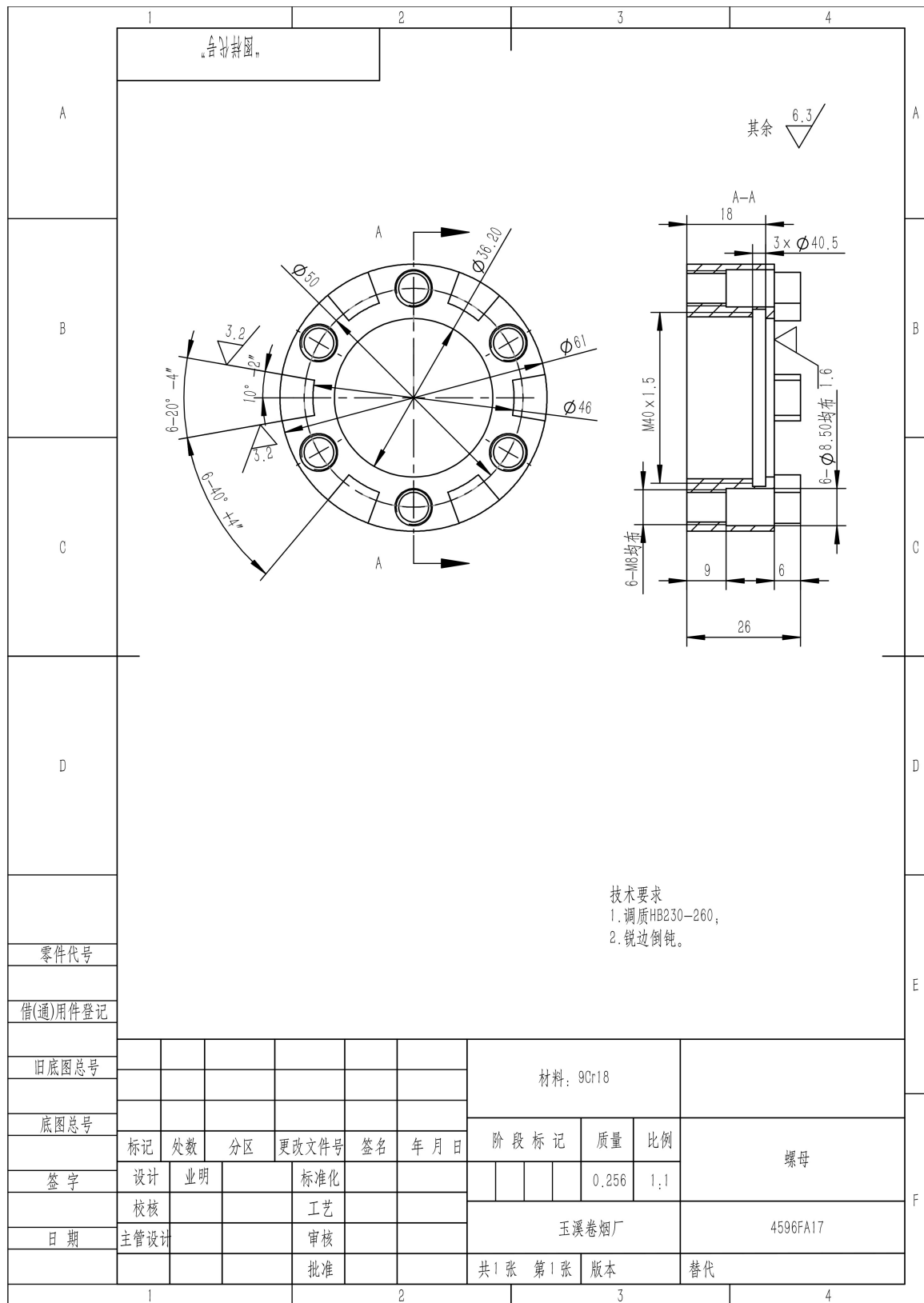


Figure 1. Part drawing of the nut
图 1. 螺母零件图

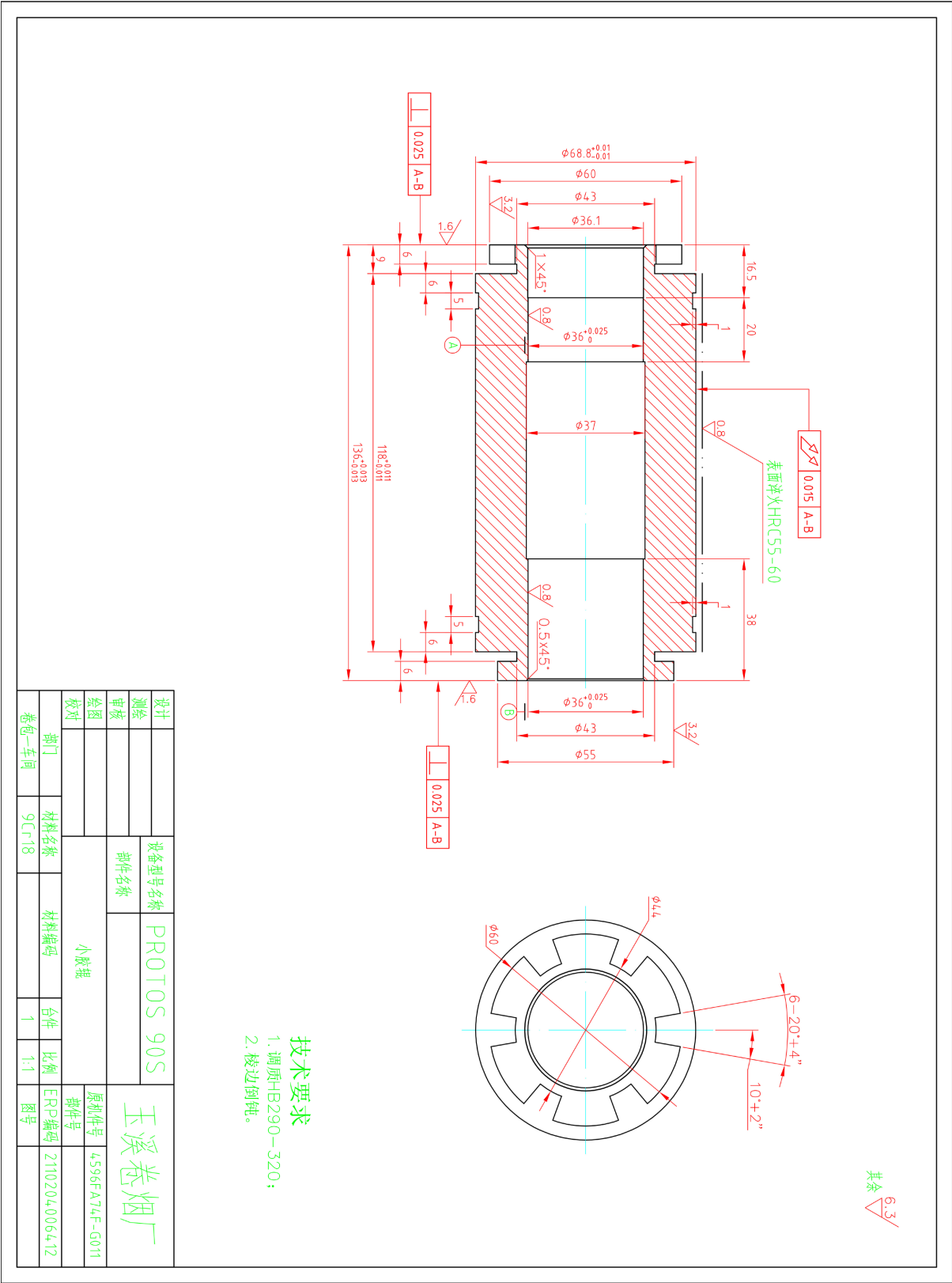


Figure 2. Part drawing of the glue application roller
图 2. 涂胶辊零件图

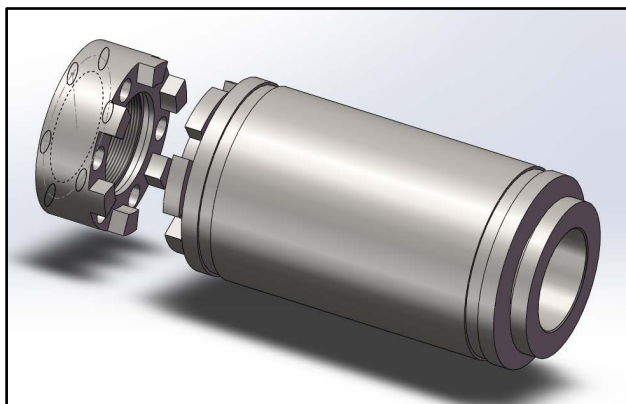


Figure 3. Assembly drawing of glue roller and nut
图 3. 涂胶辊和螺母装配图

3.2. 涂胶辊轴的改进

涂胶辊轴出现的问题是轴端锁紧螺纹段断裂，断裂的原因分析：

首先，涂胶辊转动方向为逆时针转动，为防止涂胶辊在工作过程中轴向定位失效，轴端的锁紧螺纹采用右旋螺纹，同时轴端锁紧螺母上有锁紧结构设计，利用一颗 M6 的螺钉使螺母抱紧螺杆，既起到防松的作用，也可防止螺母随着涂胶辊的转动变得越来越紧。但在实际生产中发现，夜班生产结束后需要取下涂胶辊进行清洁时，即使已经拧松螺母上的 M6 螺钉，徒手拧松轴端锁紧螺母依然很困难，往往需要使用敲击工具让螺母回松。该现象在多机台频繁出现，频繁的敲击势必会对涂胶辊轴端螺纹段造成损伤，影响其使用寿命。

其次，当轴端锁紧螺母拧紧后，螺母和涂胶辊外端面紧紧贴合，此时螺纹段根部应力集中。涂胶辊在设备启动、停止和接装纸拼接降速等过程中转速剧烈变化，再加上涂胶辊和涂胶辊相互挤压转动，在转速剧烈变化时螺纹段上会产生交变应力，会对涂胶辊轴端螺纹段根部造成损伤，影响其使用寿命，也对螺纹段的韧性和抗冲击性有更高的要求。

再次，涂胶辊轴的主要磨损部位是与涂胶辊的安装配合面，磨损后导致轴端圆跳动加大，无法满足使用要求，从而不得不进行更换。通过查阅设备供应商信息得知，为满足涂胶辊轴使用要求，在整根涂胶辊轴调质处理后，还要对与涂胶辊配合的轴段表面进行淬火处理，增加表面硬度和耐磨性，以延长涂胶辊轴的使用寿命。螺纹段与涂胶辊轴为一整体，在淬火过程中螺纹段同时经过淬火，使螺纹段强度和硬度提高，延展性、韧性降低，在采用敲击拧松螺母的方法时，螺纹段受到冲击，以及转速剧烈变化时产生的交变应力，都易导致涂胶辊轴螺纹段发生脆性断裂。螺纹段发生断裂，就需要进行涂胶辊轴更换，维修耗时长，降低设备效率，增加维修费用。将涂胶辊轴与轴端螺纹段设计为可分离结构，同时改变热处理方式在满足涂胶辊轴表面硬度和耐磨性的同时，保持轴端螺纹段的延展性、韧性，延长螺纹段寿命。即使螺纹段发生断裂，可只快速更换螺纹段，不需更换整根轴，从而降低维修成本，缩短维修时间。

改变涂胶辊轴端螺纹段为可分离结构、重新设计与涂胶辊配合段的热处理方式。

3.2.1. 可分离涂胶辊轴轴端螺纹的设计

将涂胶辊轴和螺纹段做成分体式，在轴端加工螺纹孔，将螺纹段拧入，并用紧定螺钉紧固。如再出现螺纹段损伤或断裂，可直接更换螺纹段，不需要再更换整根轴，也不需要再对轴端圆跳动进行校核。

经测量轴端螺纹为 M14 × 1.5，为方便加工，拧入轴端的一头也选用 M14 × 1.5 的螺纹，采用细牙螺纹，主要考虑其防松性能良好。同时为了方便螺纹段拧紧，在其端面加工内六角扳手孔，采用 5 mm 的内

六角扳手。为了拧紧后的定位，在螺纹段上加工一个台阶，对应的也在轴端螺纹孔内加工一个台阶孔，用于螺纹段的拧紧定位。为防止螺纹段在使用中松脱，在轴端圆柱面上加工对称布置的两个平面，在平面上加工对称布置的两个 M6 的螺孔，加入尼龙隔垫，用紧定螺钉进一步锁紧螺纹段，防止回松。

另外根据螺纹配合等强度原则，涂胶辊轴采用 9Cr18 不锈钢调质处理，相应的螺纹段也采用 9Cr18 不锈钢调质处理。

3.2.2. 涂胶辊轴与涂胶辊配合段的热处理工艺的改进

在查阅相关热处理手册，咨询了解当地配件加工方工艺条件后，选择了陶瓷热喷涂的处理方式，即在配合段先加工去除一定厚度的材料，再在表面喷涂耐磨、防锈陶瓷材料，随后再次对轴段进行加工，使其达到相应的工作要求和尺寸精度。

为进一步降低成本和热处理难度，仅对与涂胶辊内孔配合部分轴段进行热喷涂，如图 2 所示，实际工作配合段仅为其内孔两端，所以在轴上也只对相应轴段进行热喷涂。该轴热喷涂的工艺为：

- (1) 用高温胶带把整根轴上不需要热处理的部分完全包裹；
- (2) 将需要热处理的部分车下 0.3 mm；
- (3) 活化处理，在弱侵蚀溶液中 20~25 分钟侵蚀，通过轻微的腐蚀作用使轴的待热处理表面活化，露出金属结晶组织，以提高基体结合强度，使喷涂材料和轴黏着更紧密；
- (4) 陶瓷喷涂，喷涂材料需要满足显微硬度 90HRC，HV900-1000；
- (5) 金刚石砂轮打磨，将热喷涂后的轴段打磨加工至要求的尺寸和精度。

3.2.3. 绘制零件图并加工零件

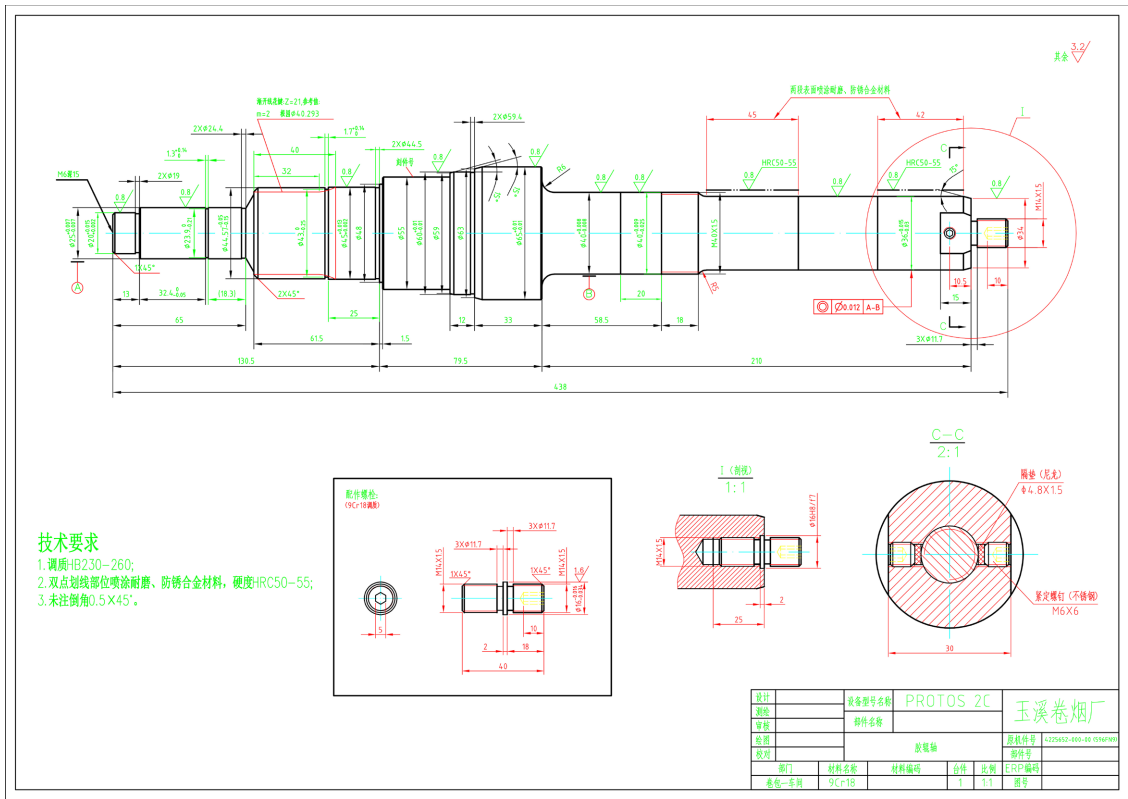


Figure 4. Part drawing of the glue application roller shaft
图 4. 涂胶辊轴零件图

在绘制零件图之前须先对涂胶辊轴其余未改动部分进行修理测绘，其中关于渐开线花键部分的测绘如下：

(1) 可知渐开线花键齿数 21，为平齿根，查阅机械设计手册可知平齿根的渐开线花键压力角只有 30° 一种；

(2) 测量外花键大径 $D_{ee} = 44.67 \text{ mm}$ ，根据公式 $D_{ee} = m(z+1)$ 可推算渐开线花键模数为 2 (z 为齿数 21)，测量外花键小径 $D_{ie} = 40.32 \text{ mm}$ 。

根据涂胶辊轴的改进设计方案和修理测绘数据绘制其改进后的零件图，并将零件图提供给配件加工方对数据进一步检验，最终形成图 4 涂胶辊轴零件图。图 5 为装配好的涂胶辊轴。

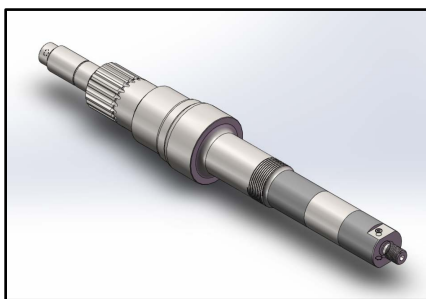


Figure 5. The assembled glue-coating roller shaft
图 5. 装配好的涂胶辊轴

涂胶辊轴和螺纹段改为分体式，以及与涂胶辊配合段热处理方式改为热喷涂外，其余尺寸未做改动，仅依据修理测绘原则完成相关测绘。

4. 效果验证

4.1. 上机运行

利用设备二级保养的时间，拆下接装纸上胶组件，更换传动螺母和涂胶辊轴，并重新调整轴端圆跳动 $<0.03 \text{ mm}$ 。再将重新装配好的接装纸上胶组件安装到设备，并更换新设计的涂胶辊，完成改进。如图 6 所示为接装纸上胶组件实物图。



Figure 6. Physical diagram of adhesive component of adhesive tape assembly
图 6. 接装纸上胶组件实物图

4.2. 创新性和推广性

牙嵌式连接设计改进是在参考其他工厂或早期设计改进方案的基础上优化选择 6 齿矩形牙, 既保证了传动螺母原有工作要求, 又提升了传动使用寿命, 增加了可靠性。矩形牙的选择主要为了接合脱开容易, 利于涂胶辊拆装, 矩形牙的强度大, 接合时牙间间隙较小。6 齿的选择在涂胶辊运行时受力均匀, 对称布置利于加工, 在分度头上一次夹持即可完成加工。设计时特意选取了与涂胶辊传动采用间隙配合, 更利于拆装, 同时涂胶辊表面磨损后更换适配性更好。

可分离涂胶辊轴轴端螺纹段的设计是对涂胶辊轴结构上的创新性改进, 针对实际生产中轴的易损部位采用可分离式改进, 在不改变其功能的基础上重新设计便于更换的连接方式, 避免了因易损部位维修更换整根轴的情况, 降低维修费用, 减少维修时间。

陶瓷热喷涂技术运用在涂胶辊轴上既满足胶辊轴上与涂胶辊配合段表面硬度高和耐磨的要求, 又避免因淬火带来的脆性增加, 韧性降低。另外热喷涂只是处理工件表面, 工件受热程度较小且可以控制范围, 对工件的组织性能几乎没有影响, 工件变形也小。可以有效保证涂胶辊轴的精度, 使后续的轴端圆跳动调整得以保证。热喷涂操作的程序较少, 施工时间较短, 效率高, 在后续设备改进或维修中如有涉及材料工艺的, 如工件要求较高表面硬度, 但又要防止性能下降以及热变形的, 或者是工件仅是表面磨损而其余性能完好的, 又或者是工件工作环境恶劣对防腐要求较高的, 都可以考虑采用热喷涂工艺来增强表面硬度、耐磨性、耐腐蚀性或用于修复工件表面。

5. 结论

牙嵌分段式涂胶辊轴的设计应用, 关键改进点在于涂胶辊传动方式改为牙嵌式, 涂胶辊轴改为分段式, 以及轴与涂胶辊配合段的热处理方式改为陶瓷热喷涂, 三个改进点的同时实施有效解决接装纸上胶组件故障频发的问题。项目是基于现场实际问题出发, 通过积累的经验结合理论知识, 集思广益通力协作, 最终有效解决了问题, 也节约了维修成本, 提高了生产效率。该项目的成功实施也对同类型的 PROTOS 设备, 如 ZJ17、ZJ112、ZJ118、PROTOS 1-8 具有参考和推广价值。

参考文献

- [1] 荣子超, 彭辉, 聂超. 双烟条卷烟机接烟轮调校工装的研制[J]. 中国高新区, 2019(16): 14-15.
- [2] 李少杰, 张振宇, 杨宏, 等. PROTOS 2C 卷烟机组 SE 胶水桶表层防凝结的设计及应用[J]. 仪器与设备, 2024, 12(3): 382-387. <https://doi.org/10.12677/iae.2024.123050>
- [3] 杨可桢, 等, 主编. 机械设计基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [4] 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.
- [5] 《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.