

ZJ119型卷接机组振荡辊原理分析 及其校准工装设计

高运祥, 徐 磊, 文怡澜, 李思瑶

红塔烟草(集团)有限责任公司玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年10月21日; 录用日期: 2025年11月24日; 发布日期: 2025年12月15日

摘 要

针对振荡辊校准存在的问题,在对振荡辊原理分析的基础上,分析确定了当切割到接装纸的中间位置时,振荡辊需要校准到的相位角 65° 。以该相位角为理论基础,基于Solidworks软件来设计振荡辊校准工装。使用新研制的校准工装校准振荡辊,满足工作要求,校准精度高,工作效率高。

关键词

振荡辊, 接装纸路径, 相位角, 同步分析, 校准工装

Analysis of the Principle of Vibrating Roller in ZJ119 Cigarette Making and Feeding Unit and Design of Its Calibration Fixture

Yunxiang Gao, Lei Xu, Yilan Wen, Siyao Li

Yuxi Cigarette Factory, Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: October 21, 2025; accepted: November 24, 2025; published: December 15, 2025

Abstract

Addressing the problems in vibrating roll calibration, this paper analyzes the principle of the vibrating roll and determines that the phase angle required for calibration is 65° when the paper is cut to the middle position of the feeding paper. Based on this phase angle, a calibration fixture for the vibrating roll is designed using Solidworks software. The newly developed calibration fixture meets the operational requirements, achieving high calibration accuracy and high work efficiency.

Keywords

Vibrating Roll, Feeding Paper Path, Phase Angle, Synchronous Analysis, Calibration Fixture

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

烟用接装纸的作用是将滤嘴和烟支牢固地接装在一起, 烟用接装纸的卷接适应性, 即烟用接装纸在卷接时适应高速卷接机的能力和卷接后保证卷烟外观和内在质量的能力, 是考察接装纸性能的一个重要指标, 其主要是受烟用接装纸表面性能的影响[1][2]。ZJ119 型卷接机组与 ZJ116 型卷烟机采用相同的剪切式接装纸切割装置[3]。在保证接装纸性能符合标准的前提下, 接装纸振荡辊相位角校准不当, 是导致搓接成形的滤嘴烟支接装纸错牙, 切纸刀容易粘胶结垢等产品质量缺陷或设备故障的主要原因。传统的校准方法依赖目测和经验, 准确度低且效率低下, 校准过程中会产生大量有质量缺陷的烟支, 增加原辅材料消耗, 降低设备效率。因此, 改进传统的校准方法, 探索一种准确和高效的校准方法并设计相应校准工装具有重要意义。

在机械同步控制、精密校准技术、CAD/CAE 仿真应用等领域, 已有大量研究关注于提高设备校准的精度和效率。例如, 有限元分析被广泛应用于评估机械结构的应力和变形, 而刚柔耦合动力学仿真则用于分析复杂机械系统的动态行为。本研究在借鉴这些先进技术的基础上, 结合 ZJ119 型卷接机组的具体特点, 提出了基于仿真分析和专用工装的振荡辊校准方法。

2. 振荡辊工作原理分析

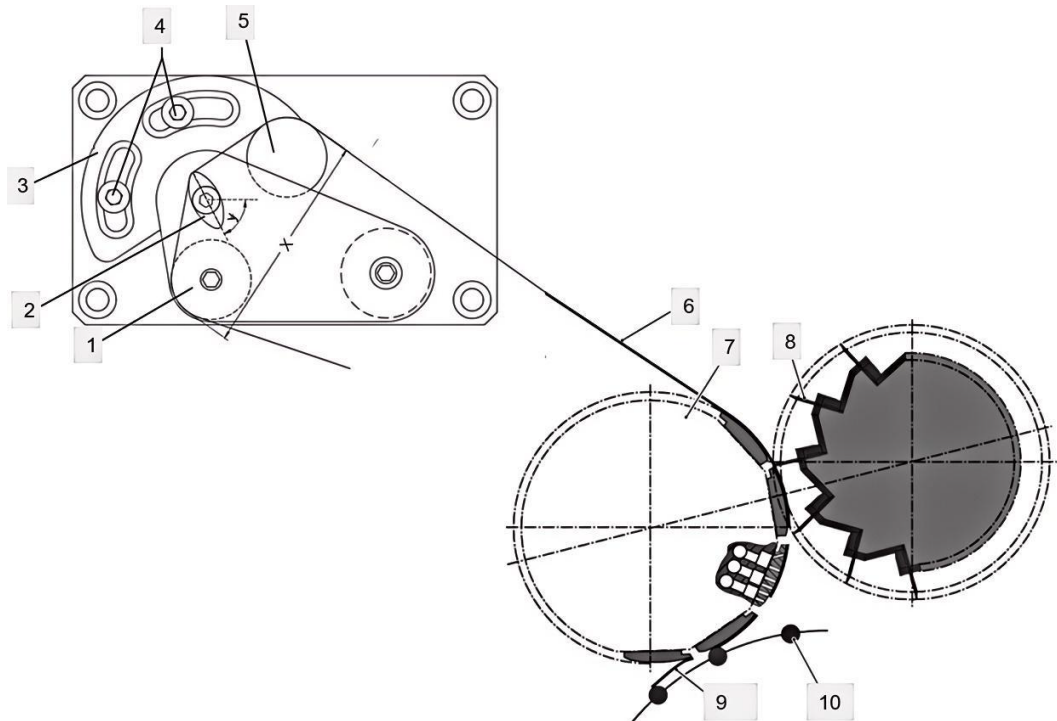
2.1. 振荡辊机构结构原理

如图 1 所示, 振荡辊机构主要由导纸辊(1、5)、振荡辊 2、调整座 3 等组成[4]。振荡辊 2 是由独立伺服电机驱动转动, 导纸辊 1 的轴安装固定在箱体上, 导纸辊 5 装在可转动调整的调整座 3 上, 通过调整导纸辊 5 的安装位置来调整导纸辊 5 与振荡辊 2 之间的位置关系, 用导纸辊 1 和 5 外圆的距离 X 来定位导纸轮 5 相对于振荡辊 2 的位置, 距离 X 与生产工艺要求的接装纸片长度(滤嘴烟支直径)有关, 接装纸片长度改变时, 需要调整距离 X 。振荡辊 2 是一个工作面近似椭圆形的零件, 利用椭圆形的周期转动, 产生一个间歇式的送纸动作, 振荡辊长轴与水平线之间的夹角 γ 即为振荡辊相位角。

切纸轮 7 外圆上的吸风吸附接装纸 6 在其转动过程中牵引接装纸向前输送, 在切纸刀 8 与切纸轮刀刃开始接装纸的切割直至接装纸切割刚好结束之前, 接装纸 6 由于振荡辊的补偿作用而与切纸轮同步运转, 一旦接装纸切割完成, 由于切纸轮的线速度比供纸辊的线速度稍快, 因此, 切割后的接装纸片 9 马上以切纸轮的线速度运动, 而振荡辊快速将接装纸 6 向后拉回, 与切割后的接装纸片 9 拉开了一段距离, 称为“滑差”。切割后的接装纸片 9 继续吸附在切纸轮上并随切纸轮向前运动, 在切纸轮与靠拢鼓轮的交接处, 接装纸片 9 的前端在两轮的挤压下粘在“组烟”10 上, 从而完成整个供纸任务。

2.2. 振荡辊补偿作用分析

设定卷接机组每分钟切割接装纸片数为 N , 切纸轮直径为 $D_{\text{切}}$, 切纸轮外圆有 12 把刀刃, 切纸轮旋转一圈切割 12 张接装纸片, 接装纸片长为 L 。



1、5. 导纸辊；2. 振荡辊；3. 调整座；4. 紧固螺钉；6. 接装纸；7. 切纸轮；8. 切纸刀；9. 接装纸片；10. 烟组

Figure 1. Schematic diagram of the vibrating roller mechanism and cutting device

图 1. 振荡辊机构及切割装置示意图

则卷接机组第二供纸辊的供纸线速度为：

$$V_{\text{供}} = \frac{LN}{60}$$

切纸轮的线速度为：

$$V_{\text{切}} = \frac{N}{12} \times \frac{1}{60} \times \pi D_{\text{切}} = \frac{\pi N D_{\text{切}}}{720}$$

切纸轮的线速度比供纸辊的线速度稍快，则切纸轮线速度与供纸辊线速度差为：

$$V_{\text{差}} = V_{\text{切}} - V_{\text{供}} = \frac{\pi N D_{\text{切}}}{720} - \frac{LN}{60} = \frac{\pi D_{\text{切}} - 12L}{720} N$$

振荡辊转一圈输送 2 张接装纸片，则振荡辊转 1° 需要的时间为：

$$t = \frac{1}{360} \div \frac{N}{2 \times 60} = \frac{1}{3N}$$

由以上可知，切纸轮的线速度比供纸辊的线速度稍快，为了使切割时接装纸线速度与切纸轮线速度相等，需要振荡辊对接装纸施加一个补偿作用，接装纸在切割过程中，振荡辊每转 1° 需要补偿接装纸长度为：

$$S = V_{\text{差}} t = \frac{\pi D_{\text{切}} - 12L}{720} N \times \frac{1}{3N} = \frac{\pi D_{\text{切}} - 12L}{2160}$$

ZJ119 型卷接机组切纸轮直径 $D_{\text{切}} = 148 \text{ mm}$ ，实际生产中接装纸片常用规格 $L = 26.5 \text{ mm}$ ，则可计算

出振荡辊每转 1° 需要补偿接装纸长度 $S = 0.06804 \text{ mm}$ 。

3. 振荡辊与切纸轮相位同步分析

由于振荡辊的外形为近似椭圆，不是标准圆形，所以振荡辊在转动过程中，必然会使卷绕振荡辊的接装纸路径发生变化。为了探究振荡辊的补偿作用，需要计算接装纸路径在振荡辊每转过一个角度时的长度并分析路径变化规律。

计算接装纸路径最直接方法就是用量具测量，但这种方法只适合测量少量的路径长度数据，而分析路径变化规律时需要获取振荡辊不同相位角度时的路径长度，数据量比较大，用手工测量的方法耗时耗力，且测量精度不高。为此，本课题采用 Solidworks 建模分析软件来完成振荡辊机构运动模型建立，并对接装纸路径长度进行计算分析。

3.1. 振荡辊机构运动模型建立

振荡辊机构结构比较简单，在建立其运动模型时，不用建立三维模型，只需使用 Solidworks 软件中的二维草图功能就可以完成振荡辊机构运动模型建立。

(1) 振荡辊机构零件测绘

首先对振荡辊机构的实体零件及相互位置关系进行测绘，并根据测绘数据画出振荡辊机构的草图。测绘完成的振荡辊机构草图如图 2 所示。

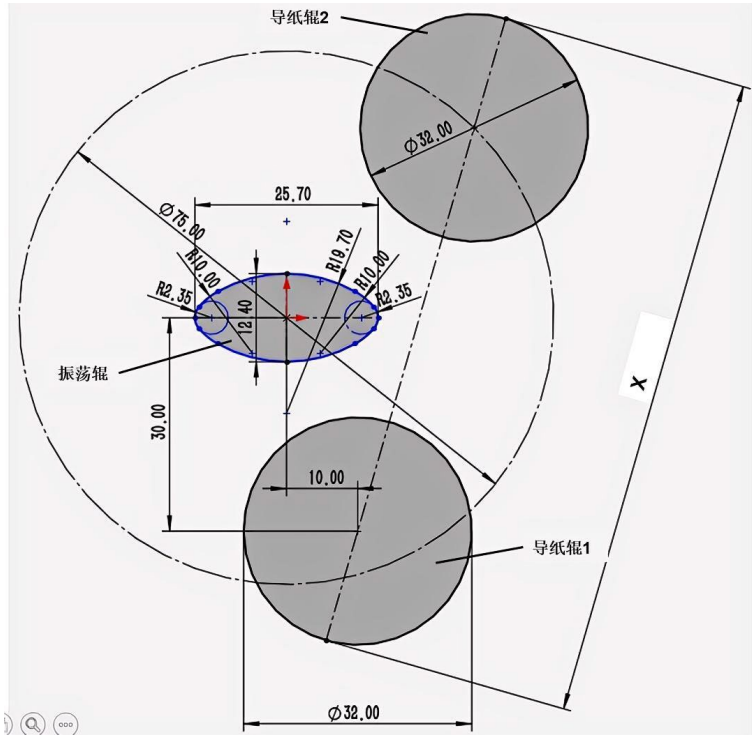


Figure 2. Schematic sketch of the oscillating roller mechanism parts
图 2. 振荡辊机构零件测绘草图

(2) 运用 Solidworks 软件中的二维草图功能建立振荡辊机构运动模型

首先在 Solidworks 软件二维草图环境下建立振荡辊几何模型，振荡辊在工作中是绕自身轴线旋转，因此在建模时需要正确设置约束，使振荡辊模型只能绕其中心点旋转而不能产生平移移动。

再根据两个导纸辊的尺寸及其与振荡辊的相互位置关系建立导纸辊模型, 导纸辊为标准圆形, 在工作中绕自身轴线旋转, 但其旋转运动不会改变接装纸路径, 因此在建模时两个导纸辊需要完全约束。

接装纸是挠性材料, 其在绕过导纸辊和振荡辊并张紧时, 接装纸与导纸辊和振荡辊的圆弧表面是贴合和相切关系, 在 Solidworks 软件二维草图环境中, 可以用相互连接的直线和曲线来模拟接装纸穿绕路径, 并对相应的直线和曲线设置正确的约束。

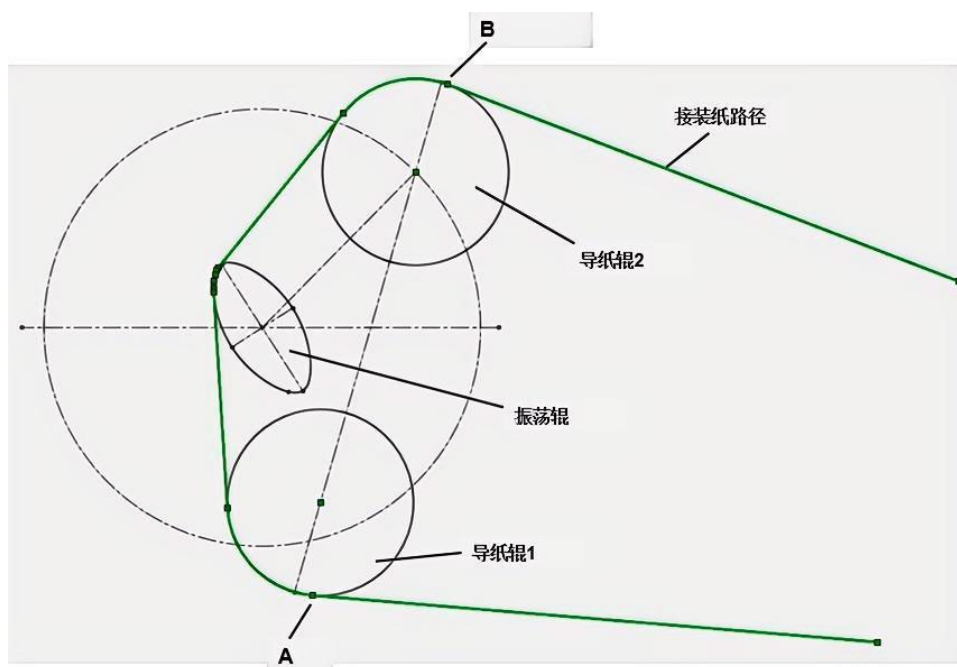


Figure 3. Kinematic model of the oscillating roller mechanism
图 3. 振荡辊机构运动模型

通过以上方法完成振荡辊机构运动模型建立, 如图 3 所示。接装纸刚进入导纸辊 1 时, 接装纸与导纸辊在 A 点相切, 接装纸穿绕经过振荡辊机构, 离开导纸辊 2 时, 在 B 点与导纸辊 2 相切。振荡辊机构的作用是改变 AB 之间接装纸路径, 使得接装纸切割时与切纸鼓线速度同步, 振荡辊机构不会改变 AB 之外接装纸路径。所以在分析时路径变化规律时, 只需测量 AB 之间的接装纸路径长度, 这个长度设定为 L_{AB} 。

3.2. 接装纸路径变化规律分析

振荡辊机构工作时, 振荡辊做周期旋转, 每转过一个相位角, 接装纸路径发生改变, 所以接装纸路径长度与振荡辊相位角变量相关, 接装纸路径长度随振荡辊相位角改变而产生变化[5]。根据设备技术要求, 振荡辊机构中两导纸辊之间的距离 X (如图 2 所示) 与实际生产中接装纸片长度规格有关, 接装纸片长度规格确定, 距离 X 也就确定, ZJ119 型卷接机组使用的接装纸片长度为 26.5 mm, 则距离 X 设定为 91 mm。

振荡辊机构运动模型建立之后, 使用 Solidworks 软件中的“设计算例”功能来计算分析振荡辊每转 1° , 接装纸路径 AB 之间的长度 L_{AB} 。

“设计算例”有三个设置项, 分别是变量、约束和目标。在本分析项目中, 变量设置为振荡辊相位角, 相位角起始角度为 1° , 振荡辊旋转一周后最大角度为 360° , 相位角的增量(步长)为 1° 。本分析项目

在设计算例中不用设定约束，设计算例的目标为需要计算分析的接装纸路径长度 L_{AB} ，通过添加测量传感器可以测量接装纸路径长度 L_{AB} ，再在设计算例中目标设置项添加这个传感器。

设计算例相关设置项设置完成后，开始运行计算，运算结果以 EXCEL 表格的文件输出，如表 1 所示，表格中截取了部分输出数据。

Table 1. Paper path length L_{AB} values at different phase angles θ

表 1. 不同相位角 θ 时装纸路径长度 L_{AB} 值

相位角 θ	路径长度 L_{AB}
1	118.1635
2	118.18986
3	118.21413
4	118.23627
5	118.25627
6	118.27412
7	118.28981
8	118.30334
9	118.31467
10	118.32383
11	118.33078
12	118.33555
13	118.33812
14	118.3385
15	118.33667
16	118.33266
17	118.32646
18	118.31808
19	118.30753
20	118.29481
21	118.27994

将计算输出的接装纸路径长度数据导入 Minitab 软件中，利用 Minitab 软件中图表绘制功能，将图表中 X 变量设定为相位角，Y 变量设定为接装纸路径长度，则可以绘制出接装纸路径长度随振荡辊相位角的变化曲线，如图 4 所示。从曲线图中可以看出，接装纸路径长度—振荡辊相位角曲线是一条周期性变化曲线，振荡辊旋转半圈为一个周期，振荡辊旋转一圈为两个周期，振荡辊相位角为 14° 和 194° 时，路径长度值最大为 118.339 mm，振荡辊相位角为 104° 和 284° 时，路径长度值最小为 113.964 mm。

从振荡辊工作原理分析可知，接装纸片长度规格为 26.5 mm 时，接装纸在切割过程中，振荡辊每转 1° 需要补偿接装纸长度为 0.06804 mm。因此还需要根据以上得到的接装纸路径长度数据计算出振荡辊转过 1° 时，前后路径长度的差值，即表 1 中上一行减下一行得到的差值，计算出的部分路径差值如表 2 所示。

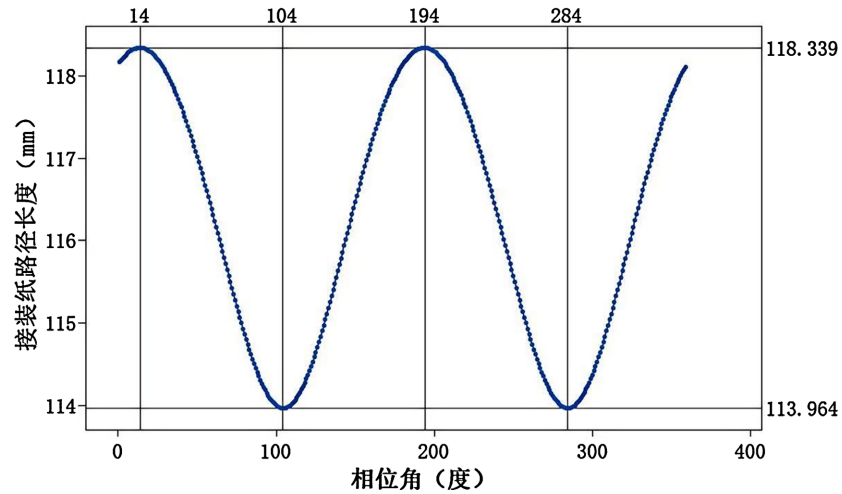


Figure 4. Paper feed path length-oscillating roller phase angle curve
图 4. 接装纸路径长度 - 振荡辊相位角曲线

Table 2. Paper path difference at different phase angles
表 2. 不同相位角时接装纸路径差值

相位角	路径长度 C1	下一路径长度 C2	C1-C2
1	118.1635	118.1899	-0.02636
2	118.1899	118.2141	-0.02427
3	118.2141	118.2363	-0.02214
4	118.2363	118.2563	-0.02
5	118.2563	118.2741	-0.01785
6	118.2741	118.2898	-0.01569
7	118.2898	118.3033	-0.01353
8	118.3033	118.3147	-0.01133
9	118.3147	118.3238	-0.00916
10	118.3238	118.3308	-0.00695
11	118.3308	118.3356	-0.00477
12	118.3356	118.3381	-0.00257
13	118.3381	118.3385	-0.00038
14	118.3385	118.3367	0.00183
15	118.3367	118.3327	0.00401
16	118.3327	118.3265	0.0062
17	118.3265	118.3181	0.00838
18	118.3181	118.3075	0.01055

将计算得到的接装纸路径长度差值导入 Minitab 软件中,可以绘制出路径差值一相位角曲线,如图 5 所示。从图中可以看出,接装纸路径差值随相位角呈周期性变化,路径差值最大值为 0.07493 mm,最小值为-0.0769 mm,振荡辊旋转一圈,当相位角在 52°~76°和 232°~256°之间时,路径差值大于需要补偿水

松纸长度 $S = 0.06804 \text{ mm}$ ，说明这个角度范围内接装纸线速度和切纸轮线速度相等，满足切割接装纸时同步要求。

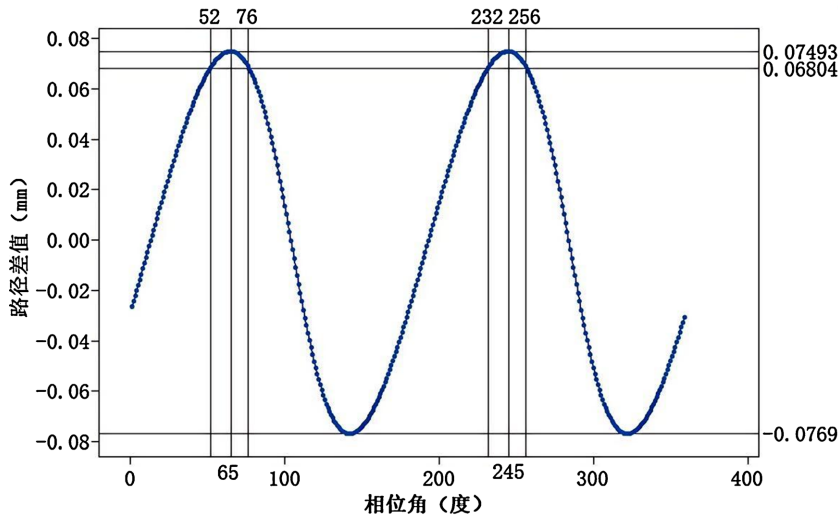


Figure 5. Paper path difference-phase angle curve
图 5. 接装纸路径差值 - 相位角曲线

4. 振荡辊校准工装设计

由以上接装纸路径变化规律分析可知，振荡辊旋转一圈，相位角在 $52^\circ \sim 53^\circ$ 和 $232^\circ \sim 256^\circ$ 范围之间时，接装纸线速度和切纸轮线速度相等，满足切割接装纸时同步要求，所以要求切纸轮在切割接装纸时，振荡辊的相位角在 $52^\circ \sim 76^\circ$ 和 $232^\circ \sim 256^\circ$ 范围之间，由于振荡辊外形轮廓是对称的，相位角 $52^\circ \sim 76^\circ$ 和 $232^\circ \sim 256^\circ$ 可看做同一位置。

在停机状态下校准振荡辊相对于切纸轮的同步位置时，为了使切纸轮在切割接装纸的整个过程中，振荡辊的相位角都在 $52^\circ \sim 76^\circ$ 范围之间，最好的方法就是当切割到接装纸的中间位置时，振荡辊相位角也刚好位于 $52^\circ \sim 76^\circ$ 角度范围的中间，即相位角 65° 。

通过以上分析定量的解决了当切纸轮切割到接装纸中间位置时，振荡辊相位角校准到什么位置的问题。接着需要解决的问题就是，设计一个振荡辊位置校准工装，该工装可以直接将振荡辊的位置定位到相位角 65° ，同时该工装还可以确定两导纸轮之间的距离 X ，使得一个工装可以同时校准两个设备参数。

本文通过以上的分析研究，已应用 Solidworks 软件建立了振荡辊机构几何模型，并确定了振荡辊需要校准到的相位角 65° ，可以以此为基础应用 Solidworks 软件来设计振荡辊校准工装。

振荡辊机构几何模型中振荡辊和两个导纸辊的位置都已确定，所以校准工装的定位工作面也就可以确定。如图 6 所示，可以通过振荡辊和两个导纸辊固定轮廓来确定校准工装定位工作面的位置，为了将两导纸辊的外圆距离校准到 91 mm ，振荡辊相位角校准到 65° ，校准工装定位工作面 A 和 B 要求与导纸辊 1 外圆相切，定位工作面 C 与振荡辊外轮廓相切，定位工作面 D 和 E 与导纸辊 2 外圆相切，并且校准工装工作面 A 与 B 垂直，B 与 C 平行，C 与 D 平行，D 与 E 垂直。通过这些约束，校准工装定位工作面位置和外形就可以确定，其他非定位工作面可以根据不同设备的位置和外形尺寸确定具体参数，如图 7 所示。

振荡辊校准工装二维轮廓基本确定，再根据设计标准要求进行倒角、倒圆等细节设计，在 Solidworks 软件中通过二维草图拉伸即可得到校准工装的三维模型，如图 8 所示。

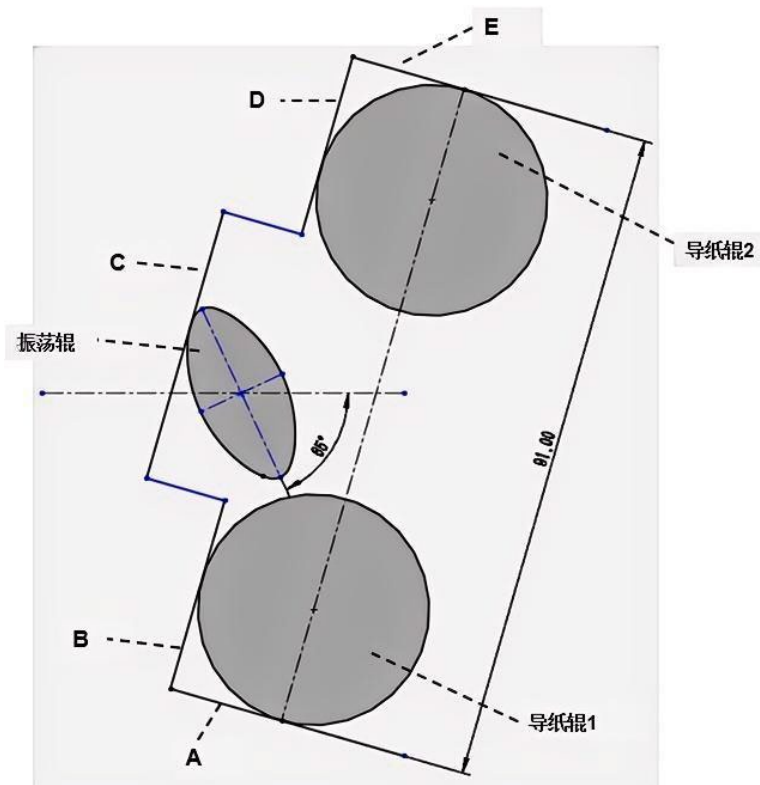


Figure 6. Determination of the positioning working surface of the calibration fixture
图 6. 校准工装定位工作面确定

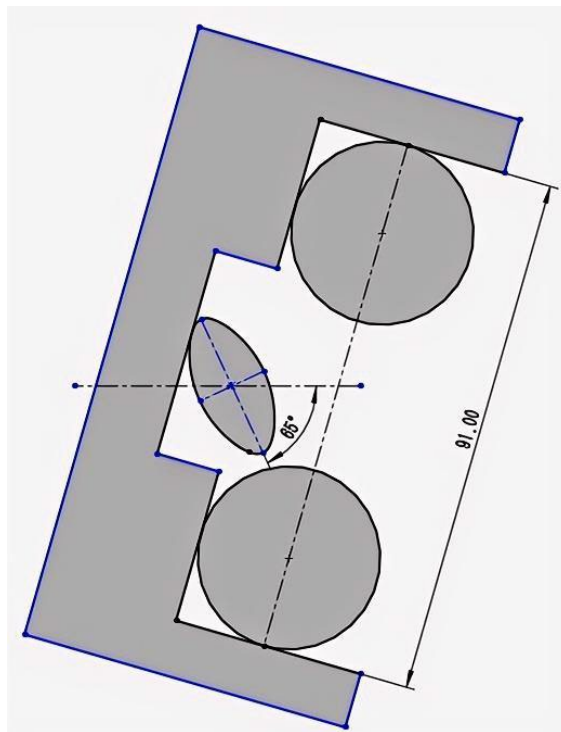


Figure 7. Determination of the two-dimensional profile of the calibration fixture
图 7. 校准工装二维轮廓确定

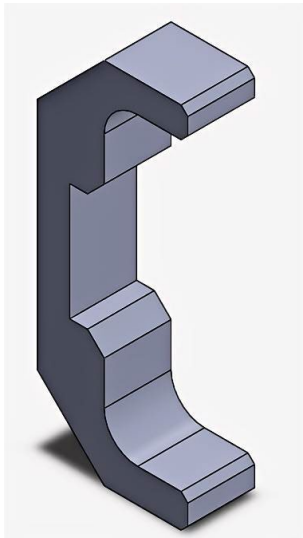


Figure 8. 3D model of calibration fixture
图 8. 校准工装三维模型

振荡辊校准工装二维图如图 9 所示，振荡辊校准工装属于工量具，要求使用过程中不会导致精度降低，工装材料需要具备较好的耐磨性能和强度，为了便于制作工装，要求材料具备良好的机械加工性能，因此选择耐磨性好、加工性能好的 4Cr13 不锈钢，并采用调质热处理，使工装的硬度达到 220~250 HBW。

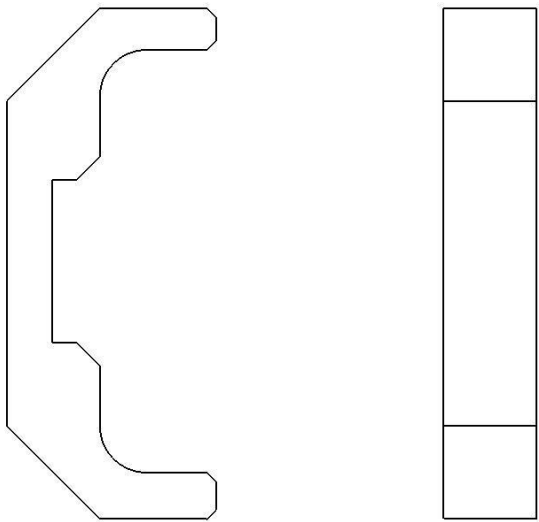


Figure 9. Two-dimensional diagram of the calibration fixture
图 9. 校准工装的二维图

5. 实验验证与数据分析

5.1. 实验设计

为了验证新研制的振荡辊校准工装的有效性，设计了对比实验。实验分为两组：一组使用传统校准方法，另一组使用新研制的校准工装。抽选 10 名熟练度不一的维修人员，分别用两种校准方法对同一台设备进行振荡辊调校工作，并记录两组实验中的校准时间、成功校准所需次数等数据。

5.2. 数据收集与分析

实验数据统计如下表 3。

Table 3. Comparative experimental data collection
表 3. 对比实验数据收集

人员编号	传统调校用时/min	工装调校用时/min	传统调校次数/次	工装调校次数/次
1	25.3	11.5	2	1
2	31.7	13.2	3	1
3	22.1	10.8	1	1
4	36.8	14.7	3	1
5	28.5	12.1	3	1
6	33.9	14.0	2	1
7	20.4	13.9	1	1
8	37.2	11.0	3	1
9	26.0	14.3	2	1
10	35.6	12.6	2	1
平均数值	29.75	12.81	2.2	1

实验数据显示,使用新研制的校准工装后,校准时间显著缩短,从原来的平均 29.75 分钟减少至 12.81 分钟。成功校准的所需次数显著减少,由原来的平均 2.2 次减少为 1 次。这些量化数据充分证明了新校准工装的有效性和优越性。

6. 结论

针对当前振荡辊校准存在的问题,本文在对振荡辊原理深入分析的基础上,确定了当切割到接装纸的中间位置时,振荡辊需要校准到的相位角 65°。以该相位角为理论基础,基于 Solidworks 软件设计了振荡辊校准工装。通过补充完整的实验过程,收集并分析了使用新工装前后在校准时间、产品合格率、设备故障率等方面的量化数据。实验结果表明,新研制的校准工装满足工作要求,校准精度高,工作效率显著提升。

本研究所设计的工装仅需根据实机尺寸调整工作面与外形轮廓尺寸便可适用于不同机型的振荡辊调整,同时本文提出的“仿真分析 + 专用工装”的解决范式不仅适用于 ZJ119 型卷接机组振荡辊的校准问题,还可以推广应用于其他设备的类似问题,如送箔机构、包装机的物料同步等。这种解决范式通过结合先进的仿真技术和专用工装设计,提高了设备校准的精度和效率,具有广泛的通用价值和启发意义。

参考文献

[1] 王雷,孙锐. 烟用接装纸上机适应性研究与分析[J]. 中国包装, 2025, 45(4): 24-27.
[2] 黄丹阳. 水松纸卷接适应性分析[J]. 印刷技术, 2024(6): 36-39.
[3] 鲁方霞. ZJ116 型卷接机组(机械) [M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2018.
[4] 常德烟草机械有限责任公司. ZJ119 型卷接机组操作说明书[Z]. 2019.
[5] 常德烟草机械有限责任公司. ZJ119 型卷接机组维修说明书[Z]. 2019.