

包装机内衬纸送纸能力分析及改造

李南希, 姚 蕾

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11月11日; 录用日期: 2025年12月16日; 发布日期: 2025年12月30日

摘 要

在生产直径 $\Phi 7.8$ 烟支规格的GDX2包装机上实现 $\Phi 8.6$ 烟支规格的包装, 单张内衬纸长度增加。通过对内衬纸加速装置送纸能力的理论分析计算, 发现原设备上的加速装置不能满足新规格烟支包装的内衬纸输送要求。经过对内衬纸加速装置传动系统的改造, 改变加速辊内齿轮传动比, 提高加速辊的转动速度, 保证了在GDX2包装设备上生产 $\Phi 8.6$ 烟支规格时, 内衬纸输送稳定。

关键词

GDX2, 内衬纸, 加速装置, 送纸能力

Analysis and Transformation of Inner Paper Feeding Capacity in Packaging Machines

Nanxi Li, Lei Yao

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

Received: November 11, 2025; accepted: December 16, 2025; published: December 30, 2025

Abstract

Packaging of $\Phi 8.6$ cigarettes on a GDX2 packaging machine that produces cigarettes with a diameter of $\Phi 7.8$ requires an increased length of individual inner liner paper sheets. Theoretical analysis and calculation of the paper feeding capacity of the inner liner paper acceleration device revealed that the original device could not meet the feeding requirements of the new cigarette packaging. By modifying the transmission system of the inner liner paper acceleration device, changing the gear transmission ratio of the acceleration roller, and increasing the rotational speed of the acceleration roller, stable inner liner paper feeding was ensured when producing $\Phi 8.6$ cigarettes on the GDX2 packaging machine.

Keywords

GDX2, Inner Liner Paper, Acceleration Device, Paper Delivery Capacity

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/>



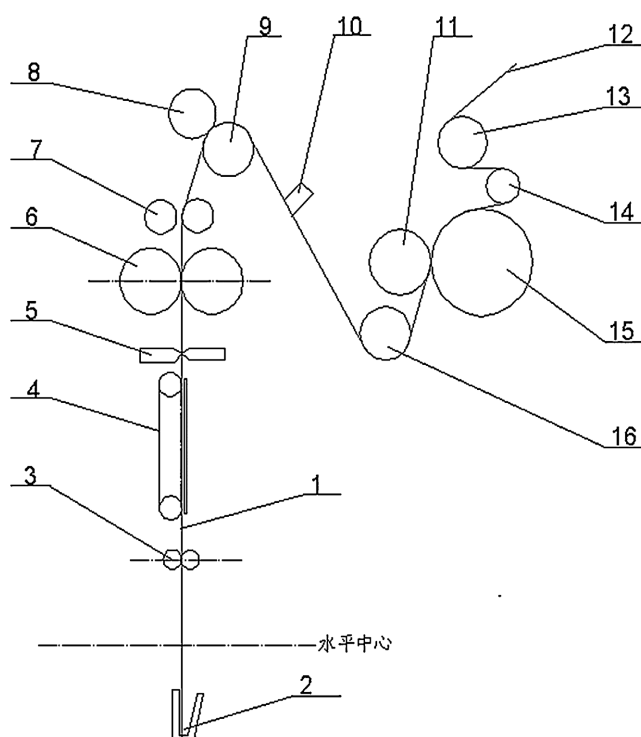
Open Access

1. 引言

集团技术中心开发生产一款新产品, 该产品烟支规格为 $\Phi 8.6 \text{ mm} \times 84 \text{ mm}$, 硬盒包装。根据我厂设备配置情况, 决定采用生产烟支规格为 $\Phi 7.8 \text{ mm} \times 84 \text{ mm}$ GDX2 包装机组通过改造来生产该规格的产品。在烟支规格为 $\Phi 7.8 \text{ mm}$ 的 GDX2 包装机上对 $\Phi 8.6 \text{ mm}$ 烟支进行包装, 必须加长单张内衬纸的长度, 同时对现有设备上的内衬纸加速装置组件的送纸能力进行分析, 确定该装置是否能满足新长度内衬纸的快速稳定输送的要求, 如果不能则要重新设计加速装置, 保证内衬纸能正常输送。

2. 内衬纸供给系统工作原理

如图 1 所示, 内衬纸带穿过滚筒 13、过渡滚筒 14, 经钢对胶压印辊输送, 压辊 15 在气缸作用下紧紧靠向钢辊 11; 内衬纸带随压印辊的转动向下输送内衬纸, 内衬纸带穿过可调滚筒 16, 经过羊毛毡 10



1. 单张内衬纸; 2. 定位支架; 3. 加速辊对; 4. 吸风皮带; 5. 切刀; 6. 半圆刀送纸辊; 7. 辊筒; 8. 聚氨酯橡胶辊; 9. 输送辊; 10. 羊毛毡; 11. 钢辊; 12. 内衬纸带; 13. 滚筒; 14. 过渡滚筒; 15. 压辊; 16. 可调滚筒

Figure 1. Schematic diagram of inner lining paper supply and conveying

图 1. 内衬纸供给输送示意图

涂抹石蜡油后, 内衬纸在聚氨脂橡胶辊 8 与输送辊 9 作用下, 经辊筒 7 输送到半圆刀送纸辊对 6; 内衬纸带经辊对压痕、半圆刀直向虚线切割后输送至切刀 5 处, 两把切刀随刀轴的转动把内衬纸带切成单张内衬纸 1; 单张内衬纸 1 被负压吸风皮带 4 输送至加速辊对 3, 加速辊对 3 迅速将内衬纸快速拉下送到定位支架 2 上, 等待与从一号轮输送过来的烟支组汇合并输送到二号轮模盒中, 从而实现烟支的内衬纸包装 [1]。

3. 单张内衬纸切割长度的实现

3.1. 内衬纸包装 $\phi 7.8$ mm 烟支直径时, 内衬纸侧边搭口重合长度的计算

GDX2 包装机包装直径为 $\phi 7.8$ mm 烟支时, 内衬纸标准切割长度为 154 mm。假设内衬纸包装后为如图 2 所示理想形状。

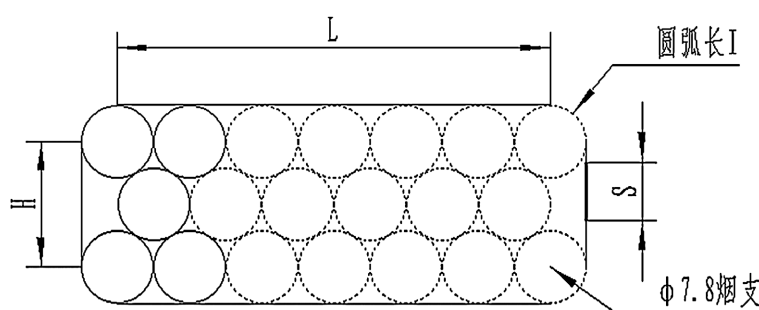


Figure 2. Schematic diagram of a cigarette pack with an inner lining paper packaging diameter of $\phi 7.8$ mm

图 2. 内衬纸包装直径 $\phi 7.8$ mm 烟组示意图

单张内衬纸的长度: $154 = 2H + 2L + 4I + S$,

其中 $L = 6 \times 7.8 = 46.8$, $I = \frac{1}{4} \times \pi D = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 7.8 = 6.13$,

重合长度: $S = 154 - 2H - 2L - 4I = 154 - 2H - 2 \times 46.8 - 4 \times 6.13 = 35.9 - 2H$

$$S = 35.9 - 2H \quad (1)$$

在图 2 示意图中左边实心圆部分, 通过连接相邻三个圆的圆心, 构成一个连长为 7.8 mm 的等腰三角形 $\triangle ABC$, 如图 3 中的 a 图。

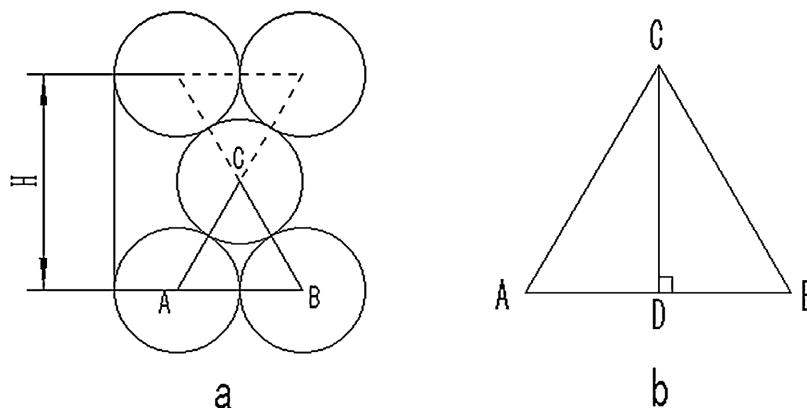


Figure 3. Isosceles triangle diagram

图 3. 等腰三角形图

将 $\triangle ABC$ 移出后, 过 C 点作三角形的高 CD , 如图 3 中的 b 图。

在垂直 $\triangle BCD$ 中, 通过勾股定理,

存在 $CD^2 + BD^2 = BC^2$

$$CD = \sqrt{BC^2 - BD^2} = \sqrt{7.8^2 - \left(\frac{7.8}{2}\right)^2} \approx 6.75 \text{ mm}$$

则 $H = 2CD = 2 \times 6.75 = 13.5$,

将 H 代入公式 1,

内衬纸重合长度: $S = 35.9 - 2H = 35.9 - 2 \times 13.5 = 8.9 \text{ mm}$ 。

3.2. 内衬纸包装 $\phi 8.6 \text{ mm}$ 直径烟支时, 所需内衬纸长度的计算

假设包装 $\phi 8.6 \text{ mm}$ 直径烟支后形状如图 4 所示。

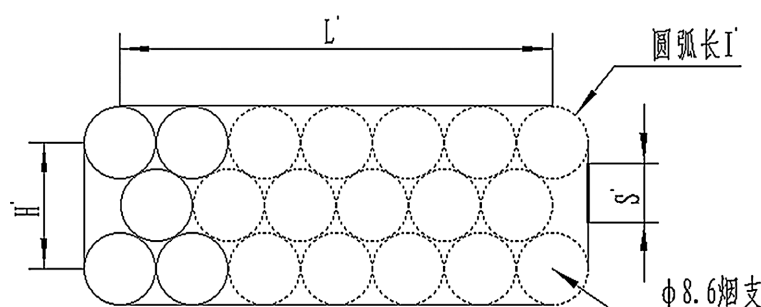


Figure 4. Schematic diagram of a cigarette pack with an inner lining paper packaging diameter of $\phi 8.6 \text{ mm}$

图 4. 内衬纸包装直径 $\phi 8.6 \text{ mm}$ 烟组示意图

根据包装 $\phi 7.8 \text{ mm}$ 直径烟支时, 内衬纸搭口的工艺要求, 即搭口重合长度 S 保持不变。

则单张铝箔纸长度 $= 2H' + 2L' + 4I' + S'$,

其中 $L' = 6 \times 8.6 = 51.6$, $I' = \frac{1}{4} \times \pi D = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 8.6 \approx 6.75$, $S' = S = 8.9$

$$\text{单张铝箔纸长度} = 2H' + 2 \times 51.6 + 4 \times 6.75 + 8.9 = 2H' + 139.1 \quad (2)$$

在图 4 示意图中左边实心圆部分, 通过连接相邻三个圆的圆心, 构成一个连长为 8.6 mm 的等腰三角形 $\triangle A'B'C'$, 如图 5 中的 a 图。

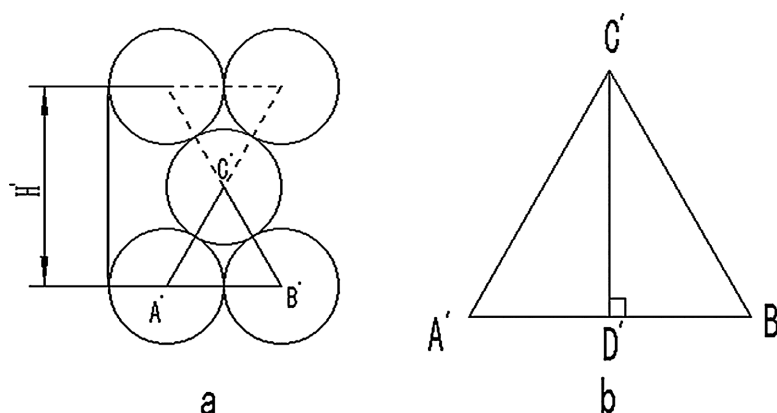


Figure 5. Isosceles triangle

图 5. 等腰三角形

将 $\Delta A'B'C'$ 移出后，过 C' 点作三角形的高 $C'D'$ ，如图 4 中的 b 图。
在垂直 $\Delta B'C'D'$ 中，通过勾股定理，
存在 $C'D'^2 + B'D'^2 = B'C'^2$

$$C'D' = \sqrt{B'C'^2 - B'D'^2} = \sqrt{8.6^2 - \left(\frac{8.6}{2}\right)^2} \approx 7.45 \text{ mm}$$

则 $H' = 2C'D' = 14.9 \text{ mm}$ ，
将 H' 代入公式 2，
单张铝箔纸长度 $= 2H' + 139.1 = 2 \times 14.9 + 139.1 = 168.9 \text{ mm}$ ，取整数为 169 mm。
即包装 $\Phi 8.6 \text{ mm}$ 直径烟支时，单张内衬纸长度为 169 mm。

4. 内衬纸加速装置输送能力分析

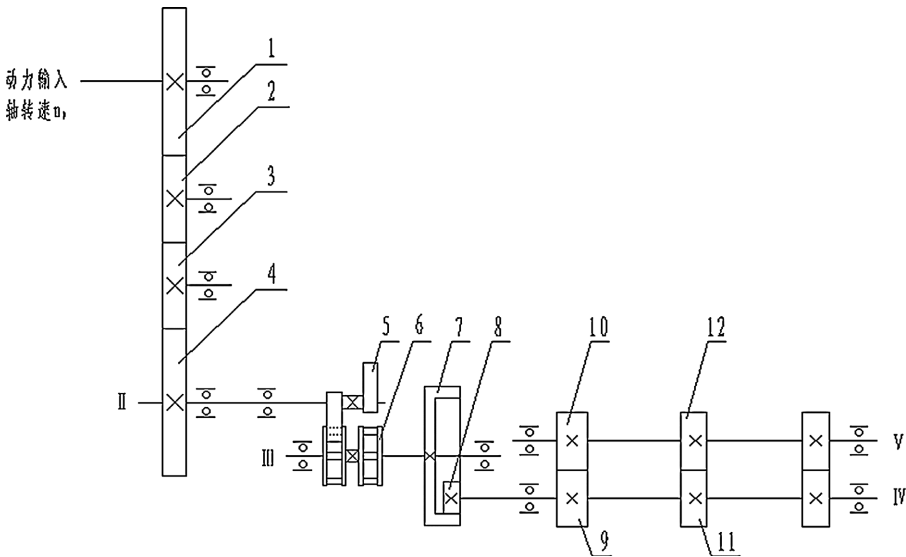
4.1. 内衬纸加速装置输送的要求

内衬纸加速装置的功能是将内衬纸快速拉下送到包装位置。如果加速装置与内衬纸长度不匹配，与 GDX2 小盒包装机的整体运行相位、内衬纸供给系统其它装置运行相位不协调，将造成内衬纸输送的故障及包装质量，影响设备的效率。因此，根据 GDX2 小盒包装机的包装原理分析[2][3]，内衬纸加速装置输送能力是否满足要求主要有两条：

- A、内衬纸输送相位要求：加速装置的运转必须与机器同步，也就是机器运转一周(360°)，加速装置也要完成一个工作循环，而且与机器及内衬纸其它部件的相位保持协调。
- B、内衬纸输送长度要求：加速装置在一个输送周期内输送的内衬纸长度应大于单张内衬纸的长度。

4.2. 内衬纸加速装置传动原理

传动系统图如图 6 所示。图中是动力输入轴，与机器运转速度同步，即机器运转 360°，该轴也转过



1. 主传动齿轮 Z_1 ; 2. 齿轮 Z_2 ; 3. 齿轮 Z_3 ; 4. 齿轮 Z_4 ; 5. 共轭分度凸轮 B_5 ; 6. 从动转盘 C_6 ; 7. 内齿轮 Z_7 ; 8. 外齿轮 Z_8 ; 9. 齿轮 Z_9 ; 10. 齿轮 Z_{10} ; 11. 加速主动辊 D_1 ; 12. 加速从动辊 D_2

Figure 6. Transmission system diagram of the inner lining paper acceleration device
图 6. 内衬纸加速装置传动系统图

一周[4]。轴 I 的转动, 通过齿轮 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 的传递, 带动轴 II 旋转, 固定在轴 II 上共轭分度凸轮 B_5 也随之作连续旋转运动, 进而带动从动转盘 C_6 作间歇转动。内齿轮 Z_7 与从动转盘 C_6 固联在一起, 内齿轮 Z_7 也作间歇旋转运动。外齿轮 Z_8 、 Z_9 都固定在同一根轴上, 外齿轮 Z_8 与内齿轮 Z_7 啮合传动, 可以通过齿轮 Z_9 、 Z_{10} 的传动, 带动加速主动辊及加速从动辊做间歇旋转运动。

内衬纸加速装置的传动路线表达式如图 7 所示。

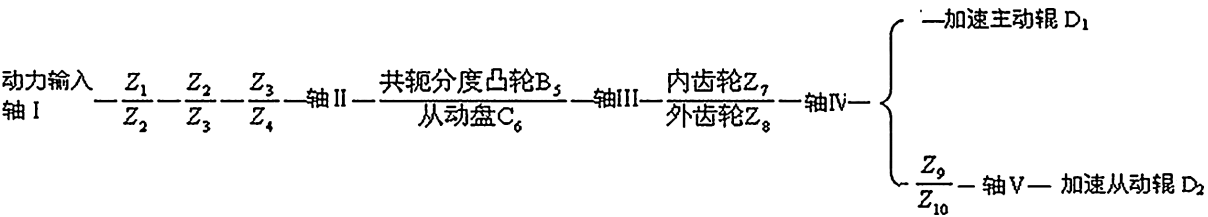


Figure 7. Expression of the transmission path of the inner liner paper acceleration roller
图 7. 内衬纸加速辊传动路线表达式

4.3. 内衬纸加速装置的传动关系

根据内衬纸的传动路线可以得到加速主动辊、从动辊的转速、传动比及输送长度计算公式:

(1) 加速主动辊转速 n_1 、输送长度 S_1

$$\begin{aligned} n_1 &= n_0 (Z_1 \times Z_2 \times Z_3 \times B_5 \times Z_7) / (Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times C_6 \times Z_8) \\ &= n_0 (Z_1 \times B_5 \times Z_7) / (Z_4 \times C_6 \times Z_8) \end{aligned} \tag{3}$$

机器旋转一周(360°), 加速主动辊输送长度为

$$S_1 = \pi D_1 n_1 / n_0 = \pi D_1 (Z_1 \times B_5 \times Z_7) / (Z_4 \times C_6 \times Z_8) \tag{4}$$

式中 D_1 表示加速主动辊送纸部分的直径。

(2) 加速从动辊转速 n_2 、输送长度 S_2

$$n_2 = n_1 \times Z_9 / Z_{10} \tag{5}$$

机器旋转一周(360°), 加速从动辊输送长度为

$$S_2 = \pi D_2 n_2 / n_0 \tag{6}$$

式中 D_2 表示加速从动辊送纸部分的直径。

4.4. 原机设备内衬纸加速装置的传动参数计算

对于原机设备(产品规格为 $\Phi 7.8$ mm 烟支)来说, 内衬纸长度为 154 mm, 各个齿轮的齿数如表 1。

Table 1. Gear parameters of the transmission system for the inner liner paper accelerator
表 1. 内衬纸加速装置传动系统齿轮参数表

齿轮及输送辊	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	B_5	C_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	D_1 (mm)	D_2 (mm)
齿数或直径	50	25	25	50	2	4	81	18	19	17	23.75	21.25

根据公式 3、4、5、6 可以得到

(1) 加速主动辊

$$n_1 = n_0 (Z_1 \times B_5 \times Z_7) / (Z_4 \times C_6 \times Z_8) = n_0 (50 \times 2 \times 81) / (50 \times 4 \times 18) = 2.25 n_0$$

$$S_1 = \pi D_1 n_1 / n_0 = 2.25 \pi D_1 = 2.25 \times 3.14 \times 23.75 = 167.79 \text{ mm}$$

(2) 加速从动辊

$$n_2 = n_1 \times Z_9 / Z_{10} = 2.25 n_0 \times 19 / 17 = 2.51 n_0$$

$$S_2 = \pi D_2 n_2 / n_0 = 2.51 \pi D_2 = 2.51 \times 3.14 \times 21.25 = 167.79 \text{ mm}$$

4.5. 内衬纸加速装置输送能力分析

从以上计算结果可以看出, S_1 与 S_2 相等为 167.79 mm, 并且大于 $\Phi 7.8$ mm 烟支规格单张内衬纸的长度 154 mm, 比单张内衬纸多送了 13.79 mm, 这样就保证了内衬纸加速输送的稳定和可靠。

而对于 $\Phi 8.6$ mm 烟支规格包装来说, 单张内衬纸长度为 169 mm, 比原内衬纸长度增加了 15 mm, 比 S_1 与 S_2 还长 1.21 mm, 所以目前的加速装置不能满足要求, 必须重新进行设计改造。

5. 改造思路及总体方案

提高加速装置输送能力的思路及方案

通过对内衬纸加速装置传动系统及结构的进行分析, 如图 6 所示, 在从动转盘 C_6 之前的传动, 主要是保证从动转盘的运动与机器同步, 即机器运转一周(360°), 从动转盘 C_6 转过一个工位, 内衬纸加速辊就转动一个周期, 为了保证加速辊的运行相位不发生改变, 只能在从动转盘 C_6 之后来寻找提高内衬纸输送长度的方法[5]。如图 8 所示, 主要有两种方法:

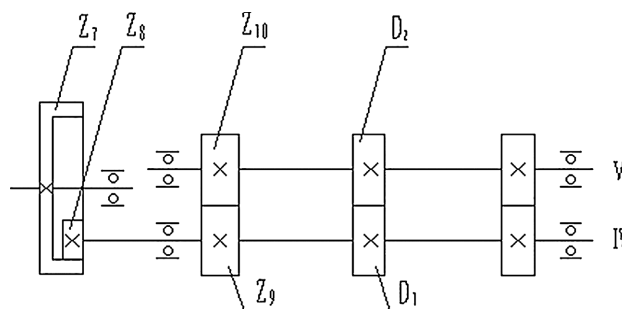


Figure 8. Schematic diagram of the inner liner paper accelerating roller pair structure
图 8. 内衬纸加速辊对结构示意图

方法一: 保持加速辊对 D_1 、 D_2 及齿轮 Z_9 、 Z_{10} 不变, 通过改变内齿轮 Z_7 与外齿轮 Z_8 之间的传动比, 来提高外齿轮 Z_8 及加速辊对的转速, 进而提高内衬纸输送长度。

方法二: 保持内齿轮 Z_7 、 Z_8 不变, 通过加大加速辊 D_1 、 D_2 的直径, 提高加速辊对的线速度, 进而提高内衬纸输送长度。 D_1 、 D_2 直径的变化, 会导致两个齿轮中心距的变化, 由于齿轮 Z_8 与齿轮 Z_9 同轴, 为了保证齿轮 Z_8 与 Z_7 的良好啮合, 齿轮 Z_8 也要作相应的改变。

方法一涉及两个基础件 0P20401、0P20402 的改动, 但只需改动两个零件就可以满足要求。方法二不但涉及基础件, 也涉及专用件, 而且还要对加速辊轮对的支座进行改造, 工作量较大, 比较繁琐。对比两种方法, 我们决定采用方法一。

6. 改造的实施

6.1. 加速辊轮对传动系统设计

由公式 1 可以看出, 要提高加速辊轮对的转速, 必须提高内齿轮 Z_7 与外齿轮 Z_8 之间的传动比, 方法

有三: 一是增加齿轮 Z_7 的齿数, 保持齿轮 Z_8 齿数不变; 二是减少齿轮 Z_8 的齿数, 保持齿轮 Z_7 齿数不变; 三是同时减少齿轮 Z_7 、 Z_8 的齿数。

前两种方法都涉及到齿轮中心距的改变及调整, 第三种方法如果保持两个齿轮减少的齿数相同, 两个齿轮中心距可以保持不变, 因此选择第三种方法。

根据公式 1、2、3、4, 可得到:

$$\begin{aligned} n_1' &= n_0 (Z_1 \times Z_5 \times Z_7) / (Z_4 \times Z_6 \times Z_8) \\ &= n_0 (50 \times 2 \times Z_7) / (50 \times 4 \times Z_8) \\ &= n_0 Z_7 / (2 \times Z_8) \end{aligned} \quad (7)$$

$$n_2' = n_1 \times Z_9 / Z_{10} = n_0 Z_7 \times 19 / (2 \times Z_8 \times 17) \quad (8)$$

$$S_1' = S_2' = \pi D_1 n_1 / n_0 = \pi D_1 \times Z_7 / (2 \times Z_8) \quad (9)$$

我们将齿轮 Z_7 、 Z_8 依次减少 1、2、3 齿, 根据公式 7、8、9 得到表 2:

Table 2. Gear parameter comparison table

表 2. 齿轮参数对照表

参数	原机	少 1 齿	少 2 齿	少 3 齿
齿轮 Z_7 的齿数	81	80	79	78
齿轮 Z_8 的齿数	18	17	16	15
主动辊转速 n_1'	$2.25n_0$	$2.35n_0$	$2.47n_0$	$2.6n_0$
从动辊转速 n_2'	$2.51n_0$	$2.63n_0$	$2.76n_0$	$2.91n_0$
输送长度 S_1' 、 S_2' (mm)	167.79	175.25	184.20	193.90

对照表 2, 由于新的内衬纸长度为 169 mm, 三种方法的输送长度都比新的内衬纸长度长。

1. 若采用少 1 齿的方法, 输送长度比要求的长度 169 mm 长 6.25 mm;
2. 若采用少 2 齿的方法, 输送长度比要求的长度 169 mm 长 15.20 mm, 与包装 $\Phi 7.8$ mm 烟支规格时输送能力相近(加速轮能够多送 13.79 mm);
3. 若采用少 3 齿的方法, 输送长度过长, 内衬纸输送速度过快, 容易引起内衬纸歪斜及触皱, 而且内衬纸消耗增大。相比较采用少 2 齿的方法比较合适。

虽然小齿轮 Z_8 齿数小于 17, 加工时会有根切, 对齿轮的强度产生一定的影响, 但由于内衬纸加速辊的负载较小, 通过选择强度较高的材料也可以保证使用要求。

6.2. 改进后中心距的验证

内齿轮传动的中心距为

$$L = m(Z_7 - Z_8) / 2 \quad (10)$$

齿轮 Z_7 、 Z_8 的模数 $m = 1$, 齿顶高系数 $ha^* = 1$, 由公式 10 得到改造前后的齿轮 Z_7 、 Z_8 之间的中心距为:

$$L_1 = 1 \times (81 - 18) / 2 = 31.5 \text{ mm}$$

$$L_2 = 1 \times (79 - 16) / 2 = 31.5 \text{ mm}$$

可见两者的中心距保持不变。图 9 是改造前后两齿轮的工作示意图。

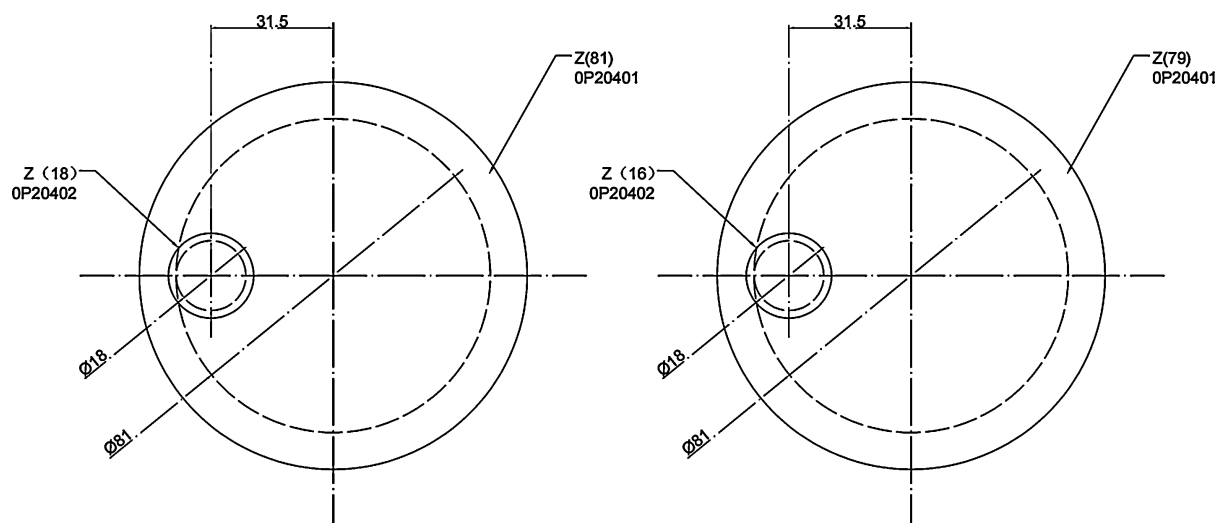


Figure 9. Schematic diagram of gear operation

图 9. 齿轮工作示意图

7. 结束语

设备改造完成后, 内衬纸加速装置经运行检查, 内衬纸供给输送稳定, 包装质量稳定, 而且内衬纸装置的齿轮传动平稳, 有效保证了设备有效作业率和设备性能。

此次内衬纸加速装置改造中, 采用同时减少两个齿轮的齿数的方法来提高齿轮的传动比及从动齿轮的转速, 其最大优点是保持了内外齿轮中心距不变, 从而避免对内衬纸加速辊支架等相关零部件的改造, 大大减少了改造工作量。

参考文献

- [1] 夏希陶, 普通, 魏明, 等. GDX500 包装机内衬加速轮改造[J]. 仪器与设备, 2023, 11(2): 120-126.
- [2] 李家贵, 杨天, 孔臣, 等. YB45A 硬盒包装机内衬纸输送装置的改进[J]. 烟草科技, 2020, 53(12): 89-95.
- [3] 李慧, 刘方, 张林岗, 等. 基于 HMM 的烟草包装机内衬纸输送位置纠偏方法[J]. 机械与电子, 2022, 40(6): 31-35.
- [4] 罗峰, 廖海阔. YB45 内衬纸吸风输送辊的改进及应用[J]. 模型世界, 2022(33): 55-57.
- [5] 王林鹏, 高辉, 冯明, 等. ZB45 型包装机内衬纸跑位问题改进设计[J]. 现代工程科技, 2022, 1(1): 65-67.