

# 双帘夹持式交叉铺网机的铺网及运动分析

黄 凯

浙江优全护理用品科技股份有限公司, 浙江 长兴 313100

**摘 要:** 双帘夹持式交叉铺网机能在保持高成网速度的同时, 显著减少输出纤网边缘的堆积和面密度的波动。通过构建铺网角度数学模型, 揭示纤网输入/输出宽度、铺叠后纤网层数与铺网角度之间的量化关系。针对双帘夹持式交叉铺网机生产非织造布过程中的关键技术问题, 系统分析其结构特点与运动控制原理, 结合小车运动分析, 阐述双帘协同夹持对改善纤网均匀性的作用机制, 以期双帘夹持式交叉铺网机的工艺优化提供理论支持。

**关键词:** 双帘夹持式交叉铺网机; 铺网角度; 传动原理; 铺网小车; 送网小车; S 曲线加减速控制技术; Profiling 控制系统

中图分类号: TS173.3

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2025)07-0023-07

## Web laying and motion analysis of the double-curtain clamping type cross-laying machine

Huang Kai

Zhejiang Youquan Care Products Technology Co., Ltd., Changxing 313100, Zhejiang, China

**Abstract:** The double-curtain clamping type cross-laying machine can significantly reduce the accumulation at the edge of the output web and the fluctuation in surface density while maintaining a high web forming speed. By constructing a mathematical model of the web laying angle, the quantitative relationship among the input/output width of the web, the number of web layers after stacking, and the web laying angle was revealed. Aiming at the key technical problems in the production of nonwovens by double-curtain clamping type cross-laying machine, the structural characteristics and motion control principles were systematically analyzed, and the mechanism of double-curtain collaborative clamping for improving the uniformity of webs was expounded in combination with the vehicle motion analysis, in order to provide theoretical support for process optimization of the double-curtain clamping type cross-laying machine.

**Keywords:** double-curtain clamping type cross-laying machine; web laying angle; transmission principle; web laying vehicle; web transporting vehicle; S-curve acceleration and deceleration control technology; Profiling control system

收稿日期: 2024-10-21

作者简介: 黄凯, 男, 1997 年生, 工艺工程师, 主要从事水刺工艺研究及优化工作, 15736762518@163.com

水刺非织造布生产中,半交叉水刺生产线凭借高效、稳定的特性成为了主流的生产模式。该类生产线通常由梳理机、交叉铺网机及牵伸机等设备构成。它们协同运作,共同完成水刺非织造布的生产。

其中,铺网机作为关键设备,其性能直接决定整条生产线的生产效率与产品品质。铺网机输网帘输出速度决定了生产线的卷绕速度。输网帘输出速度越高,生产线的产量越大。但输网帘输出速度过高,成网会出现翻边、白条等问题,产品品质受影响。因此,深入分析铺网机的运行规律和铺网过程,优化其各项工艺参数,可实现在不降低成网品质的前提下,提高铺网机生产效率,改善成网均匀性,提升产品品质,进而为企业创造更大的经济效益。

当前,诸多知名企业都在不断创新铺网机技术。例如,Autefa公司的Topliner系列交叉铺网机,通过搭配WebMax匀整和闭环系统,消除或减少纤维层间重复堆积,形成厚度均匀、结构稳定的截面形态,避免“笑脸”效应。该系统能在铺网机喂入端调整纤网定量并优化分配,这不仅改善了铺网的截面形态,还降低了原材料损耗。Trüetzschler公司的TWF-CLH新型交叉铺网机,通过增设压网帘,既保护了纤维又能排除纤网内的空气,有效减少了飘网等异常情况。同时,该机型还配置了CROSS MASTER控制系统,通过多点精确控制牵伸,确保纤网分布均匀。ANDRITZ公司的Profile交叉铺网机,通过Profile曲线调整铺网小车速度,对纤网进行牵伸或压缩,改善纤网横向面密度的均匀性。此外,该设备还可选配ProWid或ProDyn控制系统。其中,ProWid控制系统能在纤网进入交叉铺网机前调节纤网定量,并在铺网机输出纤网的两侧铺设较小面密度的纤网,改善成网均匀性;ProDyn控制系统能结合梳理机与交叉铺网机的动态速度矫正动作,实时调控成网面密度,令得到的成网边缘较薄、中间较厚,纤网纵横向平整度提高。这些设计不仅减少了原料浪费,还无需对纤网进行牵伸、梳理等操作,纤网尺寸稳定性提高。

提高铺网工艺速度、控制纤网结构均匀性,是提升水刺非织造布生产效率的关键。本文基于换向控制和同步输出技术、S曲线加减速控制技术

Profiling控制系统,简要分析双帘夹持式交叉铺网机的铺网角度、运行机制,以及铺网小车与辅助机构的协同运动机制,以期为双帘夹持式交叉铺网机的工艺优化提供理论支持。

## 1 铺网角度分析

铺网机的主要作用是将梳理机输出的纤网以交叉的方式均匀铺叠在一起,形成宽度一定且厚度均匀的纤网并输出。此加工可改善铺网机输出纤网的纵横向强力比,以便后续设备做进一步的加工。铺网过程中,铺叠层数和输网帘输出速度的变化会引发铺网角度的改变。

双帘夹持式交叉铺网机的纤网输入速度在整个运行期间应保持恒定,即纤网应以恒定的速度不断地输送到输网帘上。铺网机的铺网速度受多重因素影响,如纤网厚度、纤网面密度、环境湿度、铺叠层数、铺网幅宽等。假设铺网机加工过程中,纤网输入宽度为 $w$ ,纤网输入速度为 $v_0$ ,纤网输出宽度为 $l$ ,输网帘输出速度为 $v_1$ (图1),则铺叠后纤网层数 $m$ :

$$m = \frac{w \times v_0}{l \times v_1} \quad (1)$$

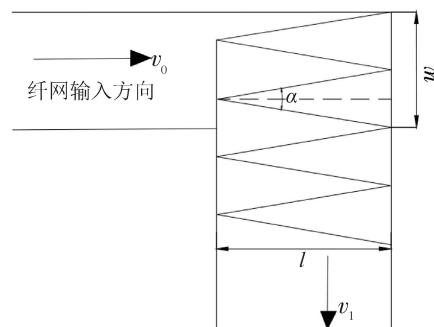


图1 纤网铺叠示意

Fig. 1 Schematic diagram of web laying

由式(1)可以看出,在不计纤网牵伸影响的情况下,铺叠后纤网层数与纤网输入宽度、纤网输入速度成正比,与纤网输出宽度、输网帘输出速度成反比。生产中,常采用纤网铺叠次数表征纤网层数,如1次铺叠即得到2层的纤网结构,图1中纤网往复铺叠了2次即得到了4层的纤网结构。对于干湿巾等卫生用非织造材料,交叉铺网机一般选择铺叠2~4次。根据式(1)可得输网帘输出速度:

$$v_1 = \frac{w \times v_0}{m \times l} \quad (2)$$

如图 1 所示,铺网角度  $\alpha$  与铺网相关速度的关系:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{v_1}{v_0} \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可得:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{w}{m \times l} \quad (4)$$

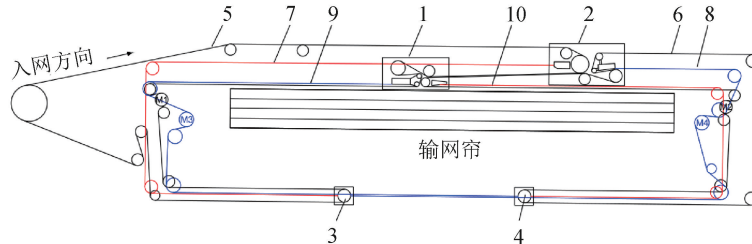
故铺网角度:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{w}{m \times l} \quad (5)$$

由式(5)可知,铺网机加工过程中,纤网输入宽度、铺叠后纤网层数及纤网输出宽度都会对铺网角度造成直接影响。

## 2 双帘夹持式交叉铺网机基本结构

双帘夹持式交叉铺网机的基本结构如图 2 所示,其运动主要涉及铺网小车(1)、送网小车(2)、辅助小车 A(3)、辅助小车 B(4)的平动,以及前碳帘(5)、后碳帘(6)的传动。其中,铺网小车与辅助小车 B 通过圆弧齿同步带(9)连接,作为一组移动单元由铺网小车驱动电机(M3)驱动,并由张力钢丝绳(10)连接铺网小车与辅助小车 B,以控制后碳帘张力;送网小车与辅助小车 A 通过圆弧齿同步带(8)固定,作为一组移动单元由送网小车驱动电机(M4)驱动,并由张力钢丝绳(7)连接送网小车与辅助小车 A,以控制前碳帘张力;前碳帘驱动电机(M1)控制前碳帘传动,后碳帘驱动电机(M2)控制后碳帘传动。



1—铺网小车(下小车);2—送网小车(上小车);3—辅助小车 A(前帘补偿小车);4—辅助小车 B(后帘补偿小车);5—前碳帘;  
6—后碳帘;7,10—张力钢丝绳;8,9—圆弧齿同步带;M1—前碳帘驱动电机;M2—后碳帘驱动电机;M3—铺网小车(同步带)驱动电机;  
M4—送网小车(同步带)驱动电机。

图 2 双帘夹持式交叉铺网机基本结构

Fig. 2 Basic structure of double-curtain clamping type cross-laying machine

### 2.1 碳帘

非织造材料生产过程中,铺网机的关键部件碳帘具有轻薄、耐磨、防静电等特性。目前,国际主流高端铺网设备普遍采用瑞士 Habasit 公司生产的 ENB-6EE 或 ENT-6EE 碳帘,这些产品的性能优势已通过全球多家非织造材料设备制造商的长期验证,并逐步成为高端铺网设备的标配。

这种碳帘的输送面层为交联氨基甲酸乙酯(PUR)材料,具备优异的热稳定性、抗化学性和耐磨性。在碳帘中添加导电碳粉可实现卓越的抗静电性能,有效解决传统材料在高速运行中易产生静电吸附的问题。碳帘的核心结构由聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)+PUR 复合摩擦层及横向稳定的 PET 抗拉层组成,质轻且抗拉强度高,能在高频往返过程中保持形态稳定。特殊的齿接式接口使

得碳帘表面平整度达到了微米级,能有效消除纤网输送过程中的相对位移。此外,这种碳帘还基于材料科学与工程设计的协同优化,突破了碳帘在轻薄化、耐磨性与离型性等方面的技术瓶颈,尤其能满足高速非织造布生产线对精度与效率的严苛要求。

### 2.2 小车

双帘夹持式交叉铺网机中的小车(本文除特指外,小车泛指铺网小车、送网小车、辅助小车 A 和辅助小车 B)依靠多根导辊实现导向和运动。其中,导辊选用质量小、刚性高、耐磨性好的碳纤维材料,高速运转时不会产生静电。铺网小车和送网小车两侧墙板采用质量小、强度高的铝合金材质<sup>[1]</sup>。这些轻质高强材料的应用不仅使得小车往复运动更加灵活高效,还提升了铺网机整体运行效率。

### 3 双帘夹持式交叉铺网机传动原理与优化

#### 3.1 传动原理

如图 2 所示,双帘夹持式交叉铺网机的传动原理为:纤网自梳理机输出并运送到铺网机前碳帘处,到达送网小车后,进入前、后碳帘夹

口中;随后,纤网被前、后碳帘夹持并输送到铺网小车处,随铺网小车往复运动,铺叠到输网帘上。其中,送网小车前、后碳帘夹口处的 2 条碳帘呈倾斜状,能在夹紧纤网的同时,排除纤网内的空气。

图 3 示意了双帘夹持式交叉铺网机中铺网小车和送网小车自零点位校正启动后,在最左侧点位和最右侧点位之间进行往复平动的过程。

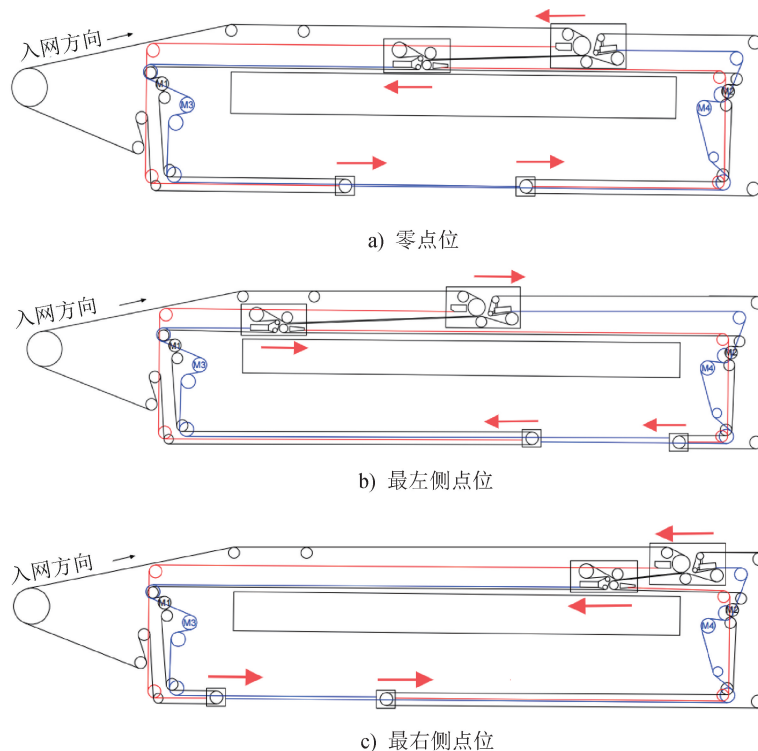


图 3 小车往复平动过程示意

Fig. 3 Schematic diagram of reciprocating translational motion of vehicles

#### 3.2 传动优化

交叉铺网机加工过程中,输出纤网边部面密度超标是制约产品质量提升的核心问题。该问题的根源是铺网小车换向产生的超喂效应,导致输出的纤网呈两侧厚、中间薄的二次曲线分布特征。具体而言,梳理机以恒定速度输出薄纤网时,横向运动的铺网小车换向需经历减速至 0、短暂停顿和重新加速的动态过程。在此期间,持续输出的薄纤网在铺网机输出纤网的两侧堆积,再叠加后续加固工序中纤网横向收缩的影响,造成输出纤网两侧面密度超标。且随着铺网速度的提升,超喂现象显著增长,这既造成了原材料的浪费,又限制了设备产能的提升。

针对这一问题,双帘夹持式交叉铺网机除采取

结构设计与优化外,还借助了计算机强大的运算能力,以及伺服驱动系统优良的动态响应性和精确的速度控制功能,实时对纤网截面轮廓进行修整。即通过程序控制铺网小车变速度运行,使铺设在输出纤网两侧区域的纤网因牵伸而面密度变小、铺设在输出纤网中间区域的纤网因压缩而面密度变大,最终使输出纤网面密度分布均匀<sup>[1]</sup>。

##### 3.2.1 换向控制与同步输出技术

传统铺网机运行过程中缺乏对纤网储放的有效控制。铺网机以恒定的速度输入纤网,而铺网小车和送网小车进行换向操作时,都需要同时减速至 0,随后再反向加速,这便导致铺网小车减速时纤网无处储放,进而出现纤网堆积的现象。这些堆积的纤

网相互挤压,最终导致输出纤网出现褶皱等问题,影响输出纤网和后续产品的品质。

双帘夹持式交叉铺网机通过控制 M3 和 M4 进行短时间的反转操作,有效解决了上述问题。其速度控制模式如图 4 所示。铺网小车和送网小车向左运动时速度为正,向右运动时速度为负;碳帘顺时针转动时速度为正,逆时针转动时速度为负。 $t$  表示铺网小车单个行程的运行时间, $S$  表示铺网小车单个行程输出的纤网长度。假设铺网机的纤网输入速度为  $v_0$ ,铺网小车最大速度为  $nv_0$  ( $n$  为系数),铺网小车加速和减速时间相同(均为  $t_1$ ),匀速时间为  $t_2$ ,则:

$$S = v_0 t \quad (6)$$

$$t = 2t_1 + t_2 \quad (7)$$

$$S = \frac{1}{2}t_1 \times nv_0 \times 2 + t_2 \times nv_0 = nv_0(t_1 + t_2) \quad (8)$$

由式(6)(7)(8)可以得出  $t_1 = t - \frac{t}{n}, t_2 = \frac{2t}{n} - t_0$ 。

已知  $t_1 > 0, t_2 \geq 0$ , 可得  $1 < n \leq 2$ 。当  $n = 2$  时,  $t_2 = 0$ 。

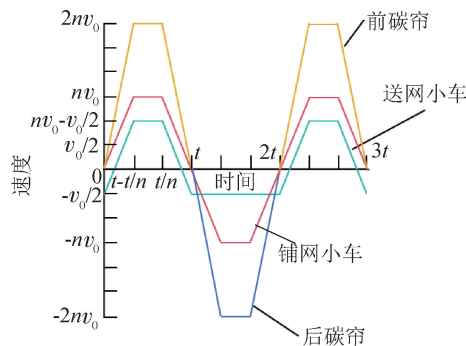


图 4 小车与碳帘运动速度曲线

Fig. 4 Movement velocity curves of vehicles and carbon curtains

实际运行中,当铺网小车处于最左侧换向状态时,铺网小车的速度变化滞后于送网小车;而当铺网小车处于最右侧换向状态时,送网小车的速度变化滞后于铺网小车。这种巧妙的速度差设计使得换向时多余的纤网能被存储到双帘夹持部分,如此便有效减轻了铺网过程中的超喂现象。此外,当铺网小车在输网帘两侧换向时,动态调节双帘夹持式交叉铺网机输网帘输出速度,可实现输网帘的间歇式运动,使输网帘能够根据铺网小车的实时速度进行同

步加速或减速,从而维持铺网小车与输网帘的速度比恒定。这将进一步减少输出纤网两侧纤维的堆积,提升输出纤网的均匀度与整体品质。

### 3.2.2 S 曲线加减速控制技术

双帘夹持式交叉铺网机的运动部件质量较大,且运行速度快,这将导致其惯性较大。往复铺网期间,驱动电机需频繁启停。为减少换向时纤网出现的超喂现象,需尽可能缩短加减速时间。但加减速时间过短又会导致动态冲击力过大,运行稳定性下降,这对提高铺网速度造成了不利影响。减轻铺网小车和送网小车惯性冲击力的方法有 2 种:一是减轻铺网小车和送网小车的质量,如使用碳纤维材料等;二是从运动控制的角度优化铺网小车和送网小车的加减速。

当前,双帘夹持式交叉铺网机多采用 S 曲线加减速控制的方式,其主要包括加加速、减加速、匀速、加减速和减减速 5 个阶段,如图 5 所示。其中, $s$  为移动距离, $v$  为移动速度, $a$  为加速度, $f$  为加速度变化率, $t$  为铺网小车单个行程的运行时间<sup>[2]</sup>。在此控制方式下,加速度呈线性增长与线性减少的趋势,可实现匀加加速度运动和匀减加速度运动。如此,速度过渡平缓,运动冲击得到有效抑制,运动控制精度提高,换向时惯性力削弱,铺叠后纤网两侧厚、中间薄的问题得到有效改善。

### 3.2.3 Profiling 控制系统

双帘夹持式交叉铺网机采用 Profiling 控制系统优化铺网小车速度。其在铺网机输出纤网幅宽范围内对铺网小车设置了 11 个速度点,每个速度点的速度为梳理机纤网输出速度的 80%~120%。铺网小车运动分析如图 6 所示, $v_a$  表示铺网小车速度, $v_b$  为纤网铺叠速度。灵活调整铺网小车速度可对铺放的纤网实施牵伸或压缩(即负牵伸)作用。当纤网受到牵伸时,纤网面密度会减小;当纤网被压缩时,纤网面密度会增大。利用这一特点,在铺设输出纤网两侧区域时牵伸纤网,在铺设输出纤网中间区域时压缩纤网,从而有效确保了输出纤网横向面密度的均匀一致。

## 4 双帘夹持式交叉铺网机运动分析

铺网小车与送网小车同向运动,且不论两者运动方向如何,它们之间夹持纤网的前、后碳帘线速度

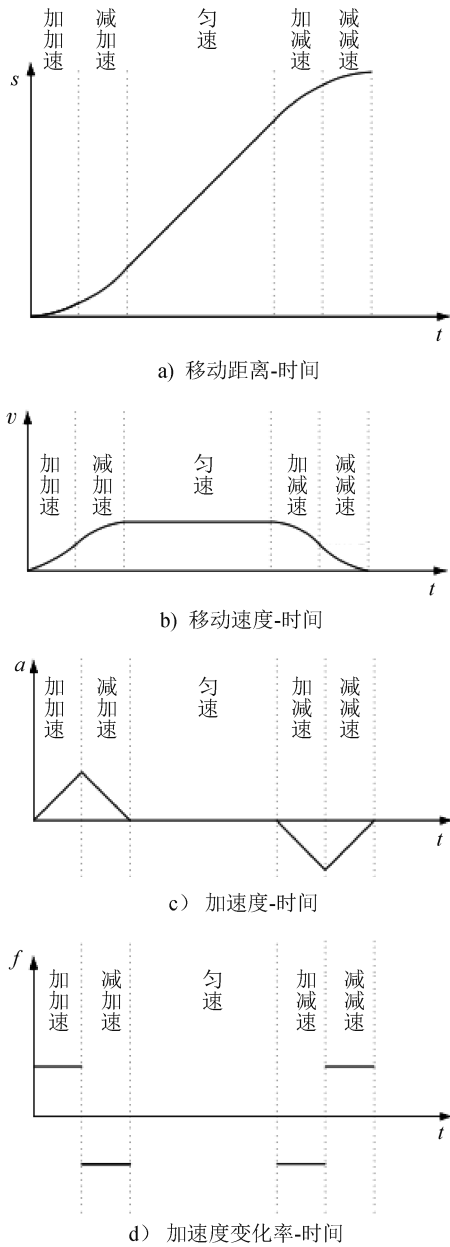


图5 S曲线加减速运动方式

Fig. 5 S-curve acceleration and deceleration motion pattern

须始终保持一致,可同速运行或同时静止,但不可出现速度差,否则会影响纤网品质和铺网效果。

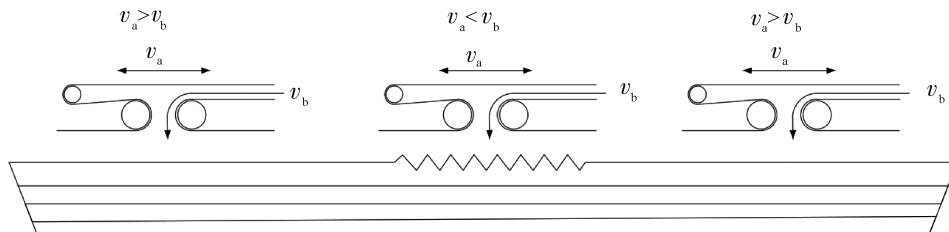


图6 Profiling 截面控制系统

Fig. 6 Profiling profile control system

双帘夹持式交叉铺网机运行过程中,碳帘以分段式运转,有时部分静止、部分运动,有时依靠小车拉动,有时依靠小车与驱动电机共同作用<sup>[3]</sup>。前碳帘的运转有2种形式:一种是在送网小车的作用下分阶段顺时针运转;另一种是在M1与送网小车共同作用下分阶段顺时针运转。后碳帘同样有2种运转形式:一种是在铺网小车作用下分阶段逆时针运转,另一种是在M2与铺网小车共同作用下分阶段逆时针运转。

#### 4.1 多小车向左协同运动

铺网系统由主运动机构与辅助补偿机构构成。假设铺网小车以速度  $v_a$  向左运动,则送网小车以  $v_a/2$  同步运动,此时辅助小车A以  $v_a/2$  的速度向右运动,辅助小车B则以  $v_a$  的速度向右运动。建立碳帘分段运动数学模型(图7)可以发现,单位时间  $t$  内前碳帘中  $l_1$  段减少量与  $l_2$  段增加量形成动态平衡 ( $-\Delta l_1 = \Delta l_2 = v_a t/2$ ),  $l_3$  段与  $l_4$  段的运动则通过位移补偿实现碳帘张紧;同理,单位时间  $t$  内后碳帘中  $l_2$  段、 $l_5$  段、 $l_6$  段增加量与  $l_7$  段减少量相同 ( $\Delta l_2 + \Delta l_5 + \Delta l_6 = -2\Delta l_7 = 2v_a t$ ),后碳帘收放相互抵消,并始终处于张紧状态。这种运动协同机制确保了碳帘高速运行时张力稳定、运转正常,避免了纤网因速度突变而断裂。

铺网小车和送网小车运行期间,并非所有部件都会对碳帘速度产生影响,只有对碳帘进行牵伸作用时,碳帘速度才会改变。具体而言,铺网小车运行过程中不会影响前碳帘速度,但会对后碳帘速度产生影响;送网小车运行期间不会影响后碳帘速度,但会对前碳帘速度产生影响。在铺网小车向左行进的过程中,前碳帘由M1驱动,而后碳帘对应的M2处于静止状态,对应铺网小车—M1—辅助小车A的前碳帘部分处于运动状态,对应铺网小车—M2—辅助小车B的后碳帘部分保持静止。当铺网小车的行

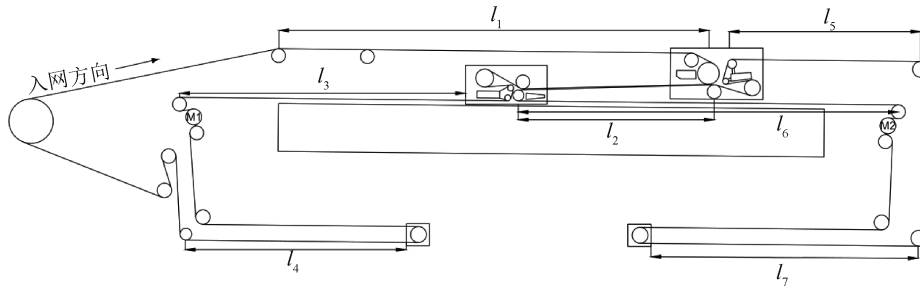


图 7 碳帘分段运动数学模型

Fig. 7 Mathematical model of segmented movement of carbon curtains

进速度为  $v_a$  时,夹持纤网部分的后碳帘速度达到  $2v_a$ 。基于系统的内在关联性,夹持纤网部分的前碳帘速度同样为  $2v_a$ 。因此,此时前碳帘的驱动速度为  $2v_a$ 。

#### 4.2 多小车向右协同运动分析

假设铺网小车以速度  $v_a$  向右运动,则送网小车以  $v_a/2$  同步运动,此时辅助小车 A 需以  $v_a/2$  的速度向左运动,辅助小车 B 则以  $v_a$  的速度向左运动。与 4.1 节的铺网小车向左运动相反,单位时间  $t$  内  $l_1$  段前碳帘增加量和  $l_2$  段减少量形成动态平衡 ( $\Delta l_1 = -\Delta l_2 = v_a t/2$ ),  $l_3$  段前碳帘与  $l_4$  段的运动则通过位移补偿实现碳帘张紧;同理,单位时间  $t$  内后碳帘中  $l_2$  段、 $l_5$  段、 $l_6$  段减少量与  $l_7$  段增加量相同 ( $-\Delta l_2 - \Delta l_5 - \Delta l_6 = 2\Delta l_7 = 2v_a t$ ),后碳帘收放相互抵消,并始终处于张紧状态,保证了碳帘正常运转。

在铺网小车向右铺网的过程中,前碳帘驱动 M1 静止,后碳帘驱动 M2 运动,对应铺网小车—M1—辅助小车 A 的前碳帘部分静止,对应铺网小车—M2—辅助小车 B 的后碳帘部分运动。当铺网小车速度为  $v_a$  时,后碳帘驱动速度为  $2v_a$ 。

## 5 结束语

近年,非织造行业发展迅速,行业内竞争愈发激烈,市场对产品质量的要求持续上升。铺网机作为非

织造领域广泛应用的设备,其性能直接决定着整条生产线的生产效率和成品品质。而双帘夹持式交叉铺网机凭借其卓越的性能,以及在产量与铺网效果方面的优异表现,契合市场需求,成为行业生产设备的首选。

未来,随着科技的持续进步,双帘夹持式交叉铺网机将朝着智能化、高效化的方向迈进,并为行业带来更多的创新与突破,推动非织造行业向高效、节能方向稳健发展。



期刊采编平台



中国知网下载

#### 参考文献

- [1] 李雅婷. 铺网小车性能改进[J]. 产业用纺织品, 2016, 34(7): 14-16.
- [2] 卢怡, 霍铖宇, 徐健, 等. 非织造布交叉铺网控制技术的发展[J]. 纺织导报, 2013(9): 50-52.
- [3] 周军, 陈少克, 王周晶, 等. 双帘夹持式铺网机运动分析与建模仿真[J]. 计算机仿真, 2015, 32(10): 243-249.
- [4] 许涛. 高速交叉铺网机传动工艺浅析[J]. 纺织机械, 2018(6): 97-102.

《产业用纺织品》广告投放热线 021-62378228