

## 高速喷气织机引纬数字化技术的研究

### 摘 要

近二十多年来,随着喷气织机入纬率、车速的不断提高,喷嘴数的增加,适应性的增强等,现代喷气织机以其高速度、高质量、高效率、高自动化监控水平的特点,成为无梭织机中发展最快的机型,也成为了纺织企业扩大生产规模的首选机型。然而,国内的喷气织机生产厂家有很大一部分是仿造国外的,对喷气织机的一些设置也未能进行深入研究,尤其是“人机对话”这一关键的数字化引纬技术,基本上是进口国外产品。

围绕“数字化引纬”这一关键技术,论文设计并完成三部分工作:

(1) 根据流体力学理论,分别推导了喷气织机主、辅喷嘴的速度及衰减速度关系式,箱幅中心轴上的合成气流的速度关系式;

(2) 发明了新型喷气引纬系统压力动态测试方法,并用此方法对 TT-800 型喷气织机引纬系统的喷射压力进行测试,分析了喷射气流的扩散情况,得出了喷气织机中喷射气流流场的一些规律;

(3) 自行试制了新的纬纱张力传感器,并用此张力传感器对喷气织机的纬纱动态张力进行测试,分析了纬纱张力与喷射压力之间的关系,得出了不同压力、不同纱线的纬纱张力变化规律。

经过理论分析与实验研究,论文得出以下结论:

(1) 无论主、辅喷嘴,从喷嘴出口到距喷嘴 10mm 处,气流的扩散速度最快。随着喷射距离的增大,气流的扩散速度渐渐减慢,并趋于平缓;不同气压下,气流的扩散情形类似,但还是可以发现喷射气压大的气流扩散快;随着供气压力的增加,活动主喷嘴的出口压力变化程度比固定主喷嘴的大。

(2) 在实验条件相同,辅助喷嘴单独喷射时,各个喷嘴的气流压力曲线几乎重叠,说明每个喷嘴的气压扩散规律一致。在辅助喷嘴间距大于 80mm 条件下,相邻两个辅助喷嘴所喷射的气流流场叠加效果较差,这不利于高速与稳定引纬。

(3) 主喷嘴对第 1 个辅助喷嘴从其出口到距其 10mm 处的气流影响比较小,此后影响比较明显;主喷嘴对辅助喷嘴的气流的影响从第 3 个开始减少,对这以后的辅助喷嘴的气流几乎没有影响;

(4) 主喷嘴的喷射射流对纬纱张力影响显著,主喷射流压力越大,纬纱所受张力也

就越大，同时纬纱的飞行速度也就越高；

(5) 不同品种材料的纱线，表面光洁度好的纱线所受的纬纱张力小，相同材料不同线密度的纱线，线密度越小的纱线所受的张力也就越小，建议工厂在选择纬纱时一定要注意纬纱张力与供气压力相适应。

本文所得出的结论及新发明，对我国喷气织机引纬数字化技术的研究有一定的参考价值。

**关键词：**喷气织机引纬系统；引纬速度；喷射气压；纬纱张力

## Research for digital technology of air-jet loom in high speed

### Abstract

In the last 20years, following the incessant advancing of weft insertion rate and operating speed in the air-jet loom, increasing of jet nozzle, swelling of adaptability, modern air-jet loom become the first developing model for their high speed, high quality, high efficiency and high automation monitoring level, and also become the first model for textile factory to choose. But there are most air-jet loom manufacturers in domestic imitating the model of overseas, and they don't do any deep researches on some parameters. Especially the key digital technology about weft insertion "man-machine conversation", which is imported from outside on the whole.

Enclose the key digital technology about weft insertion, the paper design and complete three parts of work:

(1) According to the theory of hydromechanics, the paper calculate the relation formula of main nozzle's speed and relay nozzle's, and also the relation formula of their synthetic speed in central axis of reed space.

(2) Invent new method to test the pressure of weft insertion, and use this method test the spraying pressure of weft insertion system in TT-800 air jet-loom, and analyze the diffuse condition of spraying air flow, At the end get the disciplinarian of spraying air flow.

(3) Trial-produce new sensor for weft tension, and use it test the weft tension, and analyze the relation between weft tension and spraying pressure. And get the disciplinarian of weft tension about different weft yarns under different air pressure.

After analyze in theory and experiment research, the paper get some conclusions as following:

(1) No mater main nozzle or relay nozzle, from the exit of nozzle to the place that 10mm away far it, the diffuse speed of air pressure is the most rapid. As the distance that far away the exit of nozzle, the diffuse speed of air pressure slower bit by bit, and go to smoothness; Under different air pressure, the condition of diffuse is similar, but it could be found that the diffuse speed of air pressure is rapid when the spray pressure is big. Following the increasing of air pressure, the variety of pressure in activity main nozzle is bigger than fixation main nozzle.

(2) Under the same condition. when relay nozzle sprays singly, the air pressure curve of

every nozzle was almost superposition, it's meaning that every nozzle's condition of diffuse is consistently. When the space between every two relay nozzle is more than 80mm, the effect of superposition between every two relay nozzle is difference. This is going against weft insertion stably in high speed.

(3) Main nozzle influence the spraying air flow of first relay nozzle from it's exit to the place that 10mm far away from it slightly, but evidence after this. And then reducing from the third relay nozzle, and hardly has any influences to those since the third.

(4) The spraying air flow of main nozzle influence the weft tension evidently, the bigger the air pressure is, the bigger tension the yarn gets, and the large speed it gets.

(5) For different variety yarns, the one that has finer surface finish suffer a smaller weft tension. For same variety but different linear density yarns, the one that has smaller linear density suffer a smaller weft tension. So when choose the weft yarn, the manufactory must pay attention to make the weft tension be on speaking terms with the air pressure.

The conclusions and new invention in this paper have regular value to air jet-loom in digital technology of weft insertion.

**Key word:** weft insertion system in air jet-loom; weft insertion rate; spraying pressure;  
weft tension

## 浙江理工大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：林祝  
日期：2008年1月24日

## 浙江理工大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权浙江理工大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

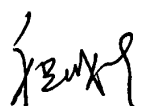
保密口 ， 在 \_\_\_\_\_ 年解密后使用本版权书。

本学位论文属于

不保密口

学位论文作者签名：林祝

日期：2008年1月24日

指导教师签名：

日期：      年      月      日

## 第一章 绪论

### 1.1 喷气织机的发展和研究现状

#### 1.1.1 喷气织机的发展概况

早在 1914 年 J. Brook 就申请了喷气引纬原理的专利,但是喷气引纬技术的重大突破,如:荷兰的 TeStrake 辅助喷嘴,美国的 Ballow 异型钢箔和捷克的组合管道片等,却是在这一专利逐步进入实用阶段以后才出现的。喷气引纬的研究工作从上世纪 30 年代就已经开始了,但是直到 1949 年捷克斯洛伐克才生产出了第一台 P45 型喷气织机,1952 年瑞典生产出 Maxbo 型喷气织机,1956 年采用组合式管道片抑制气流扩散,使喷气引纬的发展进入一个新的阶段。接着,西德 Ruti Strake 喷气织机上把钢箔做成异型钢箔,中间开有  $4\text{mm} \times 4\text{mm} \sim 8\text{mm} \times 8\text{mm}$  槽孔,起着集流的作用,再在纱道内每隔 70mm 距离设置一辅助喷嘴,补充气流,使纬纱在很长的梭道内处处受到气流的控制,得以伸直高速飞行。进入上世纪 80 年代以后,喷气织机的发展更是突飞猛进,到现在已经形成几个主要的生产厂家。亚洲主要是日本的 Tsudakoma (津田驹) 公司,Toyota (丰田) 公司;欧洲的比较,有:德国 Dornier (多尼尔) 公司,意大利的 Promatech (舒美特) 公司,比利时的 Picanol (啐加诺) 公司,瑞士的 Sulzer Ltd (苏尔寿) 公司等<sup>[1,2]</sup>。

喷气织机发展到现在已经经历了近 100 年,特别是从上世纪 80 年代中期到现在积累了丰富的织造工艺与技术,并结合数字化和信息化处理技术,实现了全机的数字化自动控制,各织机之间的信息化通讯。喷气织机织物品种适应性不断拓展,箱幅、转速、入纬率、运行效率和自动化、智能化程度不断提高,纬纱最多可达 8 喷。喷气织机的发展情况为<sup>[21-26]</sup>:

#### (1) 织机的适应性不断提高

在上世纪 80 年代中期到 90 年代初期,喷气织机以轻薄、中密织物的织造为长。到现在喷气织机的织物适应范围扩大到高密、厚重、长丝和大提花织物等,适应织物基本能覆盖所有无梭织机的产品领域。

#### (2) 喷气织机入纬率不断提高

在无梭织机中,喷气织机的引纬是在辅助主喷嘴、活动主喷嘴、辅助喷嘴、异型钢箔的共同作用下,利用压缩空气产生的高速气流,将纬纱牵引穿越织口完成引纬的。由于气

体的质量远远小于片梭和剑杆头，喷气织机的实际运转速度，从 80 年代末的 450 转/分提高到今天的超过 1000 转/分，提高了 2 倍多。

### (3) 箱幅不断加宽

箱幅从 150cm、170cm、190cm、210cm、230cm、250cm、280cm、340cm、360cm、390cm、420cm 到 440cm 应有尽有。

### (4) 喷嘴不断增多

主喷嘴从原来的单喷、2 喷、4 喷，发展到现在的 6 喷、8 喷，纬纱的颜色也随之增加到 6 色、8 色。

### (5) 运行效率和自动化智能程度不断提高

喷气织机电气系统大量采用智能化、信息化的自动化控制，极大减轻了挡车工的劳动强度，提高了看台率和织机运行效率。

## 1.1.2 国内喷气织机的发展概况

国内无梭织机的开发制造是近 20 年左右的事情，研发的手段极大多数是以仿造为主，尽管在外观上与国外织机相近，但在性能上却有较大的差异。其中一个重要的原因就是缺少对织造工艺及其数字化控制模型的研究，对织机各运动的控制不能很好地满足高速织造要求。

国内喷气织机的制造厂家仅有几家，年产约 1500 台。近几年虽然在喷气织机的研发方面已取得了很大的进步，但与国外先进设备相比，在速度、工艺的稳定性、产品的适应性、运行效率和自动化、智能化程度等方面仍有较大的差距，尤其是针对高速喷气织机的引纬、工艺、数字化模型和信息化控制系统等方面，缺少深入的研究，限制了高速喷气织机的进一步发展，已成为必须解决的关键技术问题。

## 1.1.3 目前国内外对喷气织机的研究

目前国内外喷气织机的研究工作主要集中在三个方面：气流对纱线的作用、主喷嘴射流的形成及流场分布、辅助喷嘴及合成气流的研究<sup>[21]</sup>。

### 1.1.3.1 气流对纱线的作用

气流对纱线的作用主要是如何用最少量的空气将最大量的纬纱运送到梭口的另一端，这跟以下几个方面有关：



(1) 供气压力。压力的大小直接影响气流的速度：当气流速度接近音速的时候，气流速度随供气压力的增加变化缓慢；当气流速度达到音速以后，供气压力的增加引起气流速度的增加，主喷嘴的牵引力又进一步增加<sup>[21]</sup>；

(2) 主喷嘴的内径、喷嘴长度和喷嘴内壁光滑程度。内径小，长度长，内壁光滑，则气流速度加速快，作用的距离也相应增加；

(3) 组合辅喷嘴。其角度的变化，间隔的距离，压力的大小等均可改变纬纱的运动方向和距离，它是现代喷气织机的一个重要的组成部分。

(4) 纬纱的结构、材料。不同材料的纱线具有不同的结构，其加捻程度也不同，所受到的空气摩擦力也就有差异，其运动规律是相当复杂的。

### 1.1.3.2 主喷嘴射流的形成及流场分布的研究

主喷嘴内气流的流动性质是根据当前异型箱式喷气织机上喷嘴所承担的引纬任务，即将纱线加速到某一速度而提出来的。因此，主喷嘴的设计应能满足气流流动过程中，使紊流“层流化”（即进行整流）和逐渐加速达到音速的目的。

主喷嘴气流特性的研究<sup>[3]</sup>。

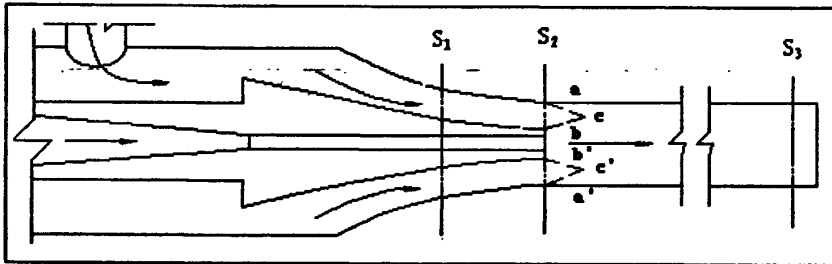


图 1.1 临界截面位置

如图 1.1 所示，主喷嘴喉部截面  $S_1$ ，或加速流出口截面  $S_2$ ，或导纱管加速区  $S_3$  等处都可能成为临界截面出现音速流动的地方，其条件是：图 abc 及  $a'b'c'$  为气流流经截面  $S_2$  时所形成的核心区， $bb'$  为气流的引射区。气流流经喉部时产生的流速  $V_{S_1}$  为：

$$V_{S_1} = \sqrt{2g \frac{K}{K-1} P_0 V_0 \left(1 - \frac{P_{S_2}}{P_0}\right)^{\frac{K-1}{K}}}$$

式中：  $K$ ——空气的绝热指数， $K = 1.4$ ；

$g$ ——重力加速度， $m/s^2$ ；

$P_0$ ——主气包供气压力，Pa；

$V_0$ ——进气口处流速, m/s ;

$P_{s2}$ ——引射截面上 ( $S_2$ 截面处) 的静压, Pa。

当  $S_1$  截面上出现音速流动时, 则  $S_1$  便成为一临界截面。无量纲的临界压力比  $r_c$  为:

$$r_c = \left( \frac{2}{K+1} \right)^{\frac{K}{K-1}}, \quad K = 1.4 \text{ 带入得: } r_c = 0.528$$

这表明引射区的静压即  $P_{s2} \leq 0.528P_0$  时, 喉部截面  $S_1$  处成为第一临界截面, 其上流速达到当地音速  $V_{s1}$ , 即:  $V_{s1} = \sqrt{2g \frac{K}{K+1} P_0 V_0}$

由于产生闭塞现象, 即使  $P_0$  再增加,  $V_{s1}$  仍保持在当地音速而不再增加。在异型箱式的喷气织机上, 则把能在导纱管出口截面  $S_3$  处出现音速流动作为主喷嘴设计的目标。而实际上, 由于引纱芯子以及纬纱的存在, 只能使气流速度接近于音速<sup>[3]</sup>。

根据现有的研究成果来看<sup>[15, 47, 55]</sup>, 主喷嘴的导纱管长度、引纱芯子的形状及大小、喷嘴的压力对喷嘴的速度都有一定的影响。导纱管长、引纱芯子内径大、喷嘴压力大, 则喷嘴的喷射速度就大。但是这都是有一定范围内的, 导纱管的长度一般不超过 25cm; 引纱芯子的形状及大小则要根据所用纱线的种类来选择; 喷嘴的压力同样也要考虑纱线的种类、线密度等方面的因素, 选择合适的织造压力。

### 1.1.3.3 辅助喷嘴及合成气流的研究

在异型箱式的喷气织机上, 纬纱飞过梭口是依靠主喷嘴的正确输送到异型箱槽, 再由数十个按一定距离排列的辅助喷嘴以接力传递形式送过梭口。由此可见辅助喷嘴的意义。

辅助喷嘴的作用主要有以下三个方面:

- (1) 将纬纱接力输送到梭口的另一端;
- (2) 利用拉伸喷嘴 (尾喷嘴) 来伸直纬纱, 减少纬缩, 提高引纬质量;
- (3) 与主喷嘴一起共同优化引纬参数, 达到完善引纬质量和节气省能的目的。

目前对辅助喷嘴的研究主要集中在它的安装间距和喷射角度两个方面。但是由于现在还没有完整的理论模型, 对它的研究也只是实验性质的探讨。

由于辅助喷嘴的内腔形状复杂, 使得气流射出时不像从直形喷管中气流射出时那样沿管子中心线而流动, 故它与主喷射气流相碰撞时的情况是非常复杂的, 几乎没有规律可循。通过实验可以看出: 适当地增加辅助喷嘴的喷射角, 减少两辅助喷嘴的间距, 可以增大合成气流的速度。

## 1.2 本课题的研究意义

我国现在的喷气织机数字化引纬系统大部分是引用或仿造国外的进口设备，真正拥有我国自主产权的引纬系统只有非常小的一部分。而国内喷气织机的市场巨大，发展前景良好，开发具有自主知识产权的喷气织机以取代进口产品，有利于我国纺织行业的技术进步和提高企业在国际市场的竞争能力。因此，对喷气织机的开发应引起国内织机制造厂的充分重视和关注<sup>[21-24]</sup>。

本课题主要对高速喷气织机引纬系统进行综合研究，通过对喷气织机主、辅喷嘴的喷射速度、合成速度的关系式进行推导；对主、辅喷嘴的喷射气压进行测试、分析，得到其变化规律；对纬纱张力等进行测试、分析，得到主、辅喷嘴的气压与纬纱张力之间的关系，得到了喷气织机的一系列工艺参数，为我国的喷气织机引纬工艺提供依据。

## 第二章 喷气引纬系统

### 2.1 喷气引纬系统组成

喷气引纬是利用喷射气流对纬纱表面的摩擦力牵引纬纱通过梭口的。其特点是：喷气引纬载体——引纬介质是经过压缩的空气，载纬体质量小且易于扩散，载纬体对纬纱没有直接的握持作用，引纬机构对载体也没有直接的握持控制作用。

喷气织机的引纬系统一般由筒子架、纬纱筒子、前和后张力器、储纬器、主喷嘴、辅助喷嘴、电磁阀、储气罐、异形箱、探纬器、边剪以及拉伸喷嘴等组成。

典型的喷气引纬工艺过程如下图所示<sup>[34]</sup>：

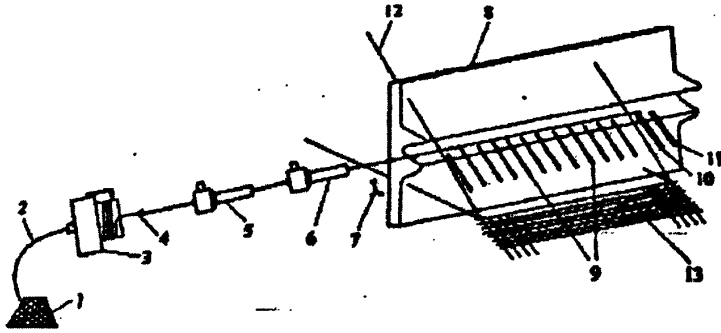


图 2.1 喷气引纬工艺过程如图

- 1—筒子 2—纬纱 3—定长储纬器 4—导纱器 5—固定主喷嘴  
6—摆动主喷嘴 7—剪刀 8—异形箱 9—辅助喷嘴 10—第一探纬器  
11—第二探纬器 12—经纱 13—织物

(1) 纬纱 2 从筒子 1 上退绕下来后，经过定长储纬器 3，测量并储存一定长度的纬纱，并经导纱装置 4 引入喷嘴 5, 6 中，准备引纬。

(2) 夹纱器打开释放纬纱，主喷嘴、辅助喷嘴依次喷气，纬纱在气流作用下，在异形箱 8 的箱槽中飞行；为了防止气流因扩散造成的引纬气流速度的降低，由辅助喷嘴 9 向箱槽内补充气流，使纬纱穿越梭口，完成引纬。

(3) 夹纱器夹住纬纱，主喷嘴、辅助喷嘴亦停止喷气，剪刀 7 剪断纬纱。测长储纬装置再度工作，准备下一次引纬。

现就引纬工作的主要部件做简要介绍：

### 2.1.1 筒子架

筒子架是用来放置纬纱工作筒子和预备筒子的，其形式因机型而异。但是对于筒子架的要求却基本是一致的：

- (1) 结构坚固，坐地稳定，占地面积小；
- (2) 插放筒子的锭芯，其方向可以调整，以使轴心对准导纱瓷眼；
- (3) 包括筒子气圈离罩在内，整个筒子架的各个构件表面都应该光洁，防止棉屑粉尘聚积。

### 2.1.2 张力器

喷气织机上常见纬纱筒子与储纬器之间安装有后张力器，储纬器与主喷嘴之间安装有前张力器，其作用为：

(1) 后张力器的主要作用是在于调节因筒子退绕半径大小不同而引起的张力理论差异，用来保证输入储纬器绕在储纬滚筒上的纬纱张力均匀一致。所以，后张力器所施于纬纱的张力大小，以能进行自动调节为最好；

(2) 前张力器的主要作用在于防止纬纱从储纬滚筒表面高速退下时纱圈的脱落，以及纬纱输入主喷嘴时因张力大小不适合所引起的引纬故障和织边不良疵点。一些机型的前张力器兼有纬纱张力制动的新功能。所以，前张力器所施于纬纱的张力大小以能进行自动地和程序地调节为最佳。

### 2.1.3 定长储纬器

储纬器的作用一是定长供纬，使每次引入的纬纱长度等于要求的引纬长度，并随上机箱幅的变化能够调整引纬的长度，适应织物品种的变化；二是均匀纬纱的张力，以避免筒子退绕半径不同造成纬纱张力的波动；三是减少纬纱退解张力。图 2.2 是定长储纬器实物图。

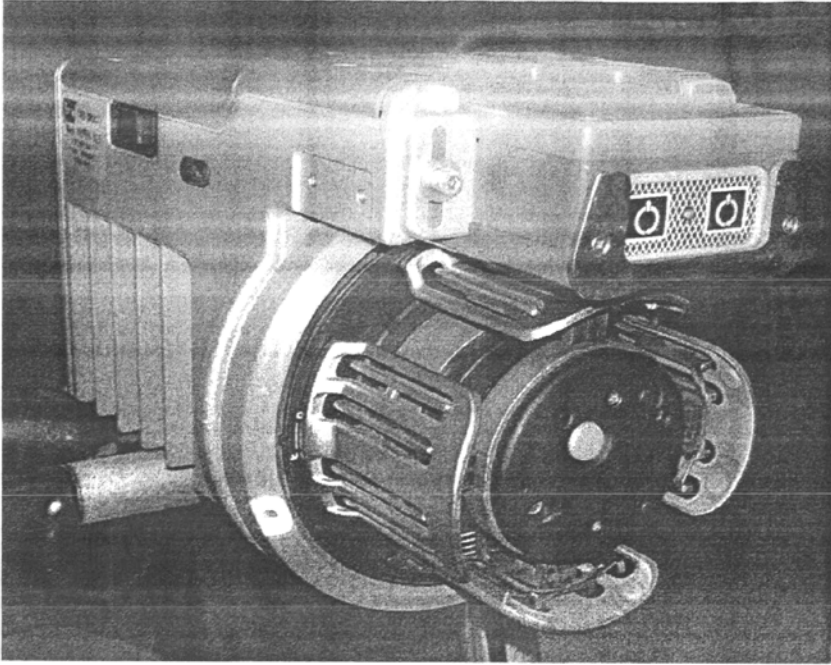


图 2.2 定长储纬器

#### 2.1.4 主喷嘴

主喷嘴的作用主要有两点<sup>[15]</sup>：

(1) 将进入主喷嘴的压缩空气，按工艺要求进行调制、加速并充分地作用于纬纱表面，使纬纱从静止加速到引纬所需的飞行速度；

(2) 将纬纱输送到异形箱槽内并确定纬纱正确进入异形箱槽内的角度和位置。图 2.3 是异形箱式喷气织机的主喷嘴结构示意图。

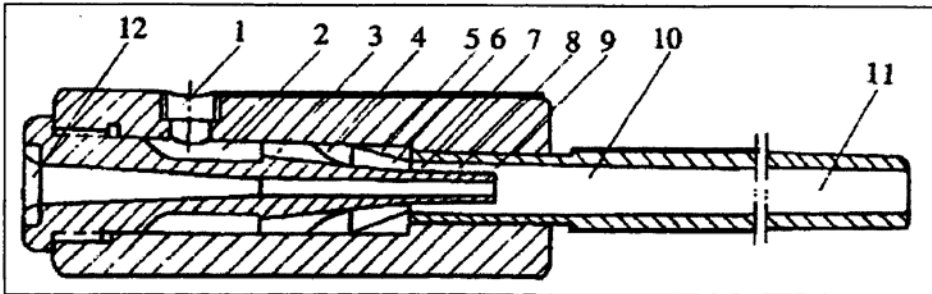


图 2.3 异形箱式喷气织机主喷嘴结构示意图

图中，1为进气孔，2为气室，3为整流器，4为尾流区，5为锥形套管，6为亚音速加速区，7为喉部，8为跨音速区，9为气流出口，10为纬纱引射区，11为纬纱加速区，12为纬

纱引入孔。这种性能良好的主喷嘴由引纱芯子A、喷嘴壳体B及导纱(加速)管C三大件组成。引纱芯子与喷嘴壳体藉螺钉连接并可调节引纱芯子的进出位置,引纱芯子的前端固装有整流器3和锥形套管5,它们的表面与壳体的内表面共同形成了不同腔体形状的气流通道,以完成对气流流动的调制和加速的工艺要求。

### 2.1.5 辅助喷嘴

如果说主喷嘴是用来加速纬纱并把纬纱输送到异型箱槽内的话,则辅助喷嘴的唯一作用就是不断地、接力式地向异形箱槽内补充气流,以形成引纬所需的、稳定的速度场流,保证纬纱顺利地飞过梭口<sup>[12]</sup>。

(1) 辅助喷嘴的结构。辅助喷嘴为上扁下圆的薄壁不锈钢冲压件,其喷孔的数目和形状因生产厂家不同、用途不同而不同,目前常用的有单孔、双孔、多孔、圆孔、和方孔等,如图2.4所示。

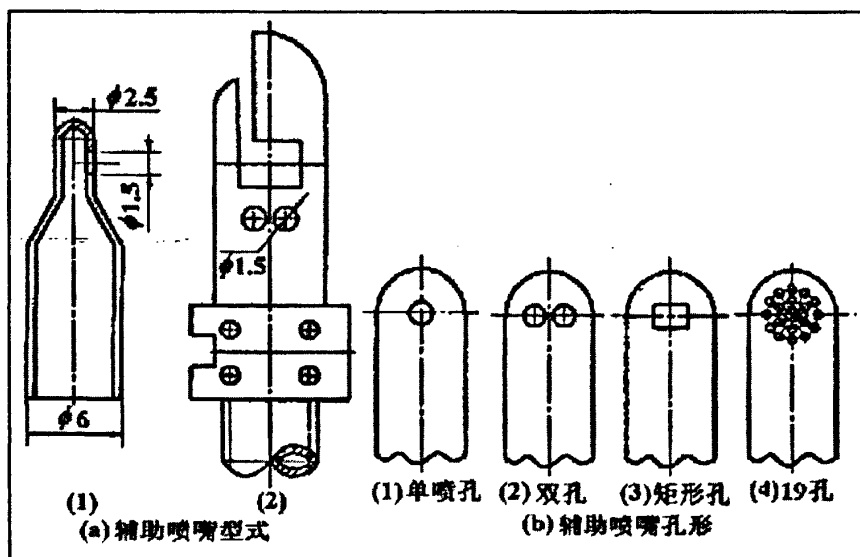


图2.4 辅助喷嘴结构图

(2) 辅助喷嘴的入射角。辅助喷嘴所喷射出的气流以一定的角度射入异形钢箔箱槽中心与主气流汇交,这两股气流之间的夹角称之为入射角或喷射角。入射角大,射流平均速度增大,则辅助气流对纬纱的上浮力增大,有利于增加气流对纬纱的摩擦牵引力,但补充的气流与箱槽内气流碰撞加剧,流场速度分布的流散系数大,水平方向的牵引力下降,不利于控制纬纱头端的摆动和卷曲,故入射角不宜太大,一般在 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 左右。

(3) 辅助喷嘴的间距。辅助喷嘴的安装间距取决于主射流和辅助射流的消耗情况，其通常为5~8cm。在纬纱出梭口侧，由于纬纱的重量越来越重，纬纱头端飘动的可能性大，为提高出梭口侧的气流速度，防止纬纱产生“前拥后挤”现象，保证纬纱处于高速飞行并伸直的状态，可加大供气压力，并将其间距减小(可小到25mm)。

### 2.1.6 电磁阀

喷气织机的转速越高，主喷嘴特别是辅助喷嘴每次喷射的作用时间越短(约在16~40ms之间)，因此，高速的喷气织机已经全部改用电磁阀来控制主、辅喷嘴的喷射时间。其结构图见图2.5。

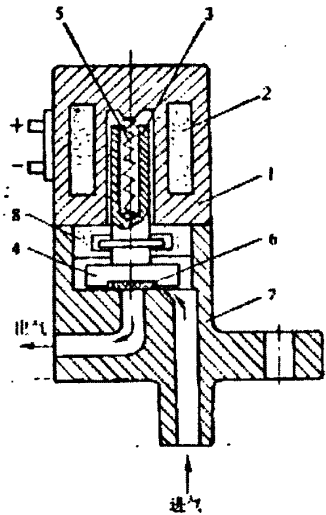


图 2.5 电磁阀结构图

1-阀体 2-励磁线圈 3-衔铁 4-阀门 5-弹簧

6-垫片 7-外壳 8-密封圈

此外，材料优良、性能稳定、工作频率高、使用寿命长的电磁阀，对提高引纬质量和节省气耗量是至关重要的。从节气的角度讲，一个电磁阀所控制的辅助喷嘴数已由5个减少到2个。

### 2.1.7 储气筒

喷气织机所用的气体全部由储气筒提供，储气筒在供气的同时还有稳定压力的作用。



目前有的机型采用压力不同的两个储气罐，分别用来供主喷嘴以及进口侧多数的辅助喷嘴和出口侧少数需要较高压力的辅助喷嘴以及拉伸喷嘴用气，以达到节约气耗量的目的。

### 2.1.8 异型箱

异型箱的每页箱片前沿有突起的凹槽，由许多箱片按一定的间隙轧制成型后，前面形成一条引导气流和纬纱的凹槽，称箱槽。打纬时，打纬点在箱槽的底部。

当射流与边壁碰撞后产生回流，射流受回流影响减弱了对周围静止空气的卷吸，因此，使用边界限制能抑制射流的扩散增加射流的流程，减缓射流速度的衰减，充分利用射流的能量。因此使用异型箱可以限制射流的扩散。

### 2.1.9 探纬器

光电式探纬器是用来探测纬纱的有无和判断引纬是否正常的。目前多数喷气织机都采用了安装两个探纬头的方案，如图2.6所示。

两个探纬器可以安装在织机出纬侧靠近布边处，此时第一探纬器探测纬纱的有无或短纬，当纬纱因开口不清等原因未能通过梭口或者短纬时，由它发出织机停车信号；第二探纬器安装在正常引纬长度的外边，用来探测纬纱是否断头或者长纬，在正常引纬时它并不能探测到纬纱，只有当纬纱断头时，断了的纬纱被气流吹出梭口，或者是纬纱过长，第二探纬器才能探测到纬纱并通过它发出织机停车信号<sup>[1]</sup>。

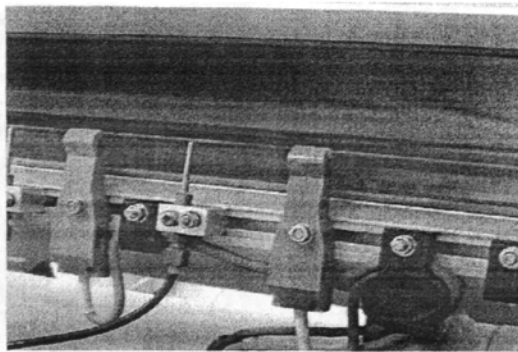


图2.6 探纬器

### 2.1.10 边剪

喷气织机属于单侧引纬，因此必须在每次引纬之前先将前一根纬纱按时剪断，这样就可以避免再次引纬时产生短纬及疵点。边剪的作用就是能准时地将每次引入的纬纱于进口

侧布边处剪断。为此，边剪的工作要万无一失，经久耐用便成为评价边剪性能优劣的主要指标。

### 2.1.11 拉伸喷嘴

拉伸喷嘴的作用就是将从织口飞出来的纱线头端吸直，防止其产生纬缩现象，尤其是对于强捻纬纱或弹力纬纱，加装拉伸喷嘴对防止由于纬缩而产生的疵点十分有效。

## 2.2 喷气织机的引纬方式

喷气织机引纬方式的发展大体分成三个阶段：单喷嘴与管道片相结合的引纬方式；主辅喷嘴与管道片相结合的引纬方式；主辅喷嘴与异形筘相结合的引纬方式<sup>[5]</sup>。

由于目前喷气引纬所利用的喷射气流具有很大的雷诺数  $Re$  值，再加上纬纱又是柔软的弹性物体，所以单向自由端引纬（即消极引纬）的结果，必然会造成引纬过程中纬纱头端的波动，致使纬纱尾端往往产生弯曲而难以伸直，所以现在一般辅之以尾喷或吸纬装置（拉伸喷嘴）来改善纱尾端的伸直程度<sup>[5]</sup>。

在单喷嘴引纬中虽采用了管道片来阻止气流的衰减速率，但是因为不能满足织机箱幅加宽、织造高经密织物的要求而遭遇冷遇。而在接力引纬中，虽然也因为气流的扩散而使流速下降，然而因为它能适时地得到新的气流（辅喷气流）补充，故而可以使气流速度的下降（衰减）被控制在规定的范围内，促使纬纱速度和气流速度的差值小到更加理想的程度。所以在接力引纬中，纬纱飞行的平均速度较高、较稳，纬纱头端振幅较小，也较伸直。这些都对拓宽箱幅、提高车速、织造高经密织物及改善引纬质量十分有利<sup>[5]</sup>。

主、辅喷嘴与异型筘相结合的引纬方式，其主要优点是<sup>[5]</sup>：

- (1) 提高了纬纱在梭口中运行的稳定性，从而扩大了品种适应性，改进了产品质量；
- (2) 幅宽大幅度增加，最大幅宽可达 540cm；
- (3) 降低了能源消耗。由于辅助喷嘴定时、顺序间歇开启，以及异形筘的半封闭性能可减少气流的扩散，其动力消耗要比空气管道引纬方式小；

(4) 主、辅喷嘴的喷射参数可以根据纬纱特性及引纬长度进行调整，因而对纱线与织物的适应性可大为提高，甚至可以用几种性能差异很大的纬纱生产一种织物。需要指出的是，主、辅喷嘴与异形筘相结合的引纬方式，对异形筘的筘槽平滑度、装配的精确度、主、辅喷嘴的结构、电磁阀的精度以及控制方式等提出了很高的要求。

### 2.3 喷气织机的自动控制系统

由于喷气织机采用了微型计算机技术以及其他电子监测技术,对全机的运动进行控制,尤其对产品的质量自动监控,使喷气织机的生产效率大大提高,产品质量得到了保障<sup>[5]</sup>。织机上还安装了许多监控传感器,使织机本身具有自动运行以及程序控制的功能,并有许多联动联结的微电子自动控制系统,机上装有主控制板,计算机进行程序控制以及质量控制,通过电子计算机形成喷气织机自动控制以及通讯网络系统,其主要功能如下:

- (1) 电子送经和电子卷取;
- (2) 电子自动落布的程序控制;
- (3) 电子控制经纱张力和纬纱张力;
- (4) 经纬纱断头自动控制系统;
- (5) 经纬纱密度以及织机速度的自动控制,并在运行中按照有关信息进行在机调整;
- (6) 自动纬纱修复以及自动卷绕系统,可以消除无故停车,保障织机正常运行;
- (7) 电子选纬选色(4~12色),按照计算机软件要求,选择不同的品种或颜色的纬纱进行引纬;
- (8) 机器的全部信息由自动荧屏显示并记忆储存各种生产数据,数字传递功能可与中央数据库连接,实现网络信息储存;
- (9) 电子自动维修系统,自动修复后可自动开车;
- (10) 自动工艺变更系统;
- (11) 电子程控快速改变品种系统;
- (12) 自动检验织物疵点功能;
- (13) 人机对话;
- (14) 电子多臂和电子提花系统的设立,使喷气织机花色品种的适应性有很大提高。

### 第三章 气流引纬原理分析

由于单喷嘴喷射引纬受到箱幅的限制和易造成纬向织疵等，因此当今的异形箱配合多喷嘴接力引纬已成为喷气引纬的主流；但是，对纬纱的控制差及对纬纱要求高仍是喷气织造的缺点；因此，对喷嘴及其气流特性的研究有着极其重要的意义<sup>[7-82]</sup>。

#### 3.1 主喷嘴的气流速度

##### 3.1.1 圆射流

喷气织机依靠高速气流与纬纱之间的摩擦力进行引纬，通过主喷嘴和辅助喷嘴喷射出来的高速气流决定了喷气织机的引纬能力。而喷射气流属于圆射流，其发散速度很快，而且是向其出口前的四周呈倒圆锥型发散的，要想准确地测试喷射气流气压的变化情况就有了一定的难度。

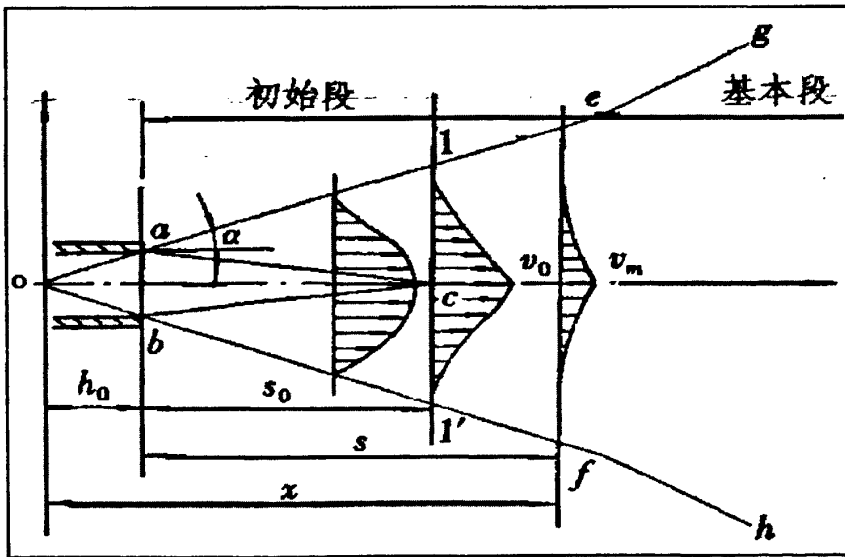


图 3.1 圆射流结构图

图3.1中： $o$ 为极点； $ab$ 为喷嘴孔径( $2r_0$ )； $\alpha$ 为扩散角； $abc$ 为核心区； $c$ 为其顶点； $h_0$ 为极点至喷口的距离； $s_0$ 为核心区长度； $x$ 为极点至 $ef$ 截面的距离；截面 $l-l'$ 为过渡截面，其左侧为射流的初始段、其右侧为射流的基本段； $ag$ 和 $bh$ 为射流的边界；核心区之外和边

界之内为混合区等。射流核心区内各点上的流速 $v_0$ 皆相等，而混合区内各点上的流速 $v$ 则都不相等。

圆射流的几个主要性质<sup>[30, 37, 38]</sup>：

由于射流束与其周围的静止空气之间有着一定的速度梯度，所以射流边界上的气流脉动微团便与其相邻的静止空气发生掺合，其结果是：

(1) 射流将其部分动量传递给其相邻周界处的静止空气。这部分原来静止的空气便因获得能量而被射流携带随之向前流动，此即为射流的卷吸（引射）作用；与此同时，还使这部分原来静止的空气获得较小的垂直于射流轴向的速度而作缓慢的垂直运动，此即为射流的扩散作用。

(2) 射流一边卷吸周界邻近的静止空气又一边向其周围扩散流动，这一现象将沿其轴向一直进行下去，结果是：其一：射流的能量损失导致流速下降，射流锥随着喷射距离的增长而变大；其二：近喷嘴距离内以卷吸作用为主，而远喷嘴距离内以扩散为主，其卷吸和扩散的大小程度直接与流动速度的大小有关。

### 3.1.2 主喷嘴气流出口速度

(1) 气流速度参数<sup>[37, 38]</sup>

① 气体常数  $R$

系统的状态由某些热力参数确定，这些参数之间的关系式称为状态方程，其他的一些热力学参数可由状态方程中已知参数来确定。有三个基本状态参数，即压力  $P$ 、密度  $\rho$  和温度  $T$  构成的状态方程可表示为

$$F(P, \rho, T) = 0 \quad 3- (1)$$

理想气体的状态方程就是其中一例，其表达式为

$$P = \rho RT \quad 3- (2)$$

式中  $R$  是气体常数，它由空气性质决定。对任何理想气体

$$R = \frac{\bar{R}}{\bar{M}} \quad 3- (3)$$

式中： $\bar{R}$  为通常气体常数， $\bar{R} = 8314.3 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{mol} \cdot \text{K})$ ； $\bar{M}$  为气体分子量，以空气为例，

$\bar{M} = 28.966 \text{ kg} / (\text{kg} \cdot \text{mol})$ 。因此

$$R = 8314.3 / 28.966 = 287.04 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$$

## ②气体的比热

定压比热与定容比热的比值称为比热比  $K$ , 即  $K = C_p/C_v$ 。从气体分子的运动理论可知,  $K$  与分子自由度有关,  $K = (n+2)/n$ ; 式中  $n$  为分子自由度。在很大温度范围内, 空气气体的  $K$  值为 1.40,  $n = 5$ 。

## ③音速和马赫数

对于可压缩流体来说, 压力扰动是以波传播的形式在流体内传递, 微弱扰动波可在压缩介质内传播的速度称为音速。声音的传播是一个等熵过程, 下面用等熵过程来推导音速公式<sup>[27]</sup>。

设小扰动波阵面在压强为  $P_1$ , 密度为  $\rho_1$  的静止流体中以速度  $a$  自左向右传播, 小扰动波阵面后, 流体有速度  $u_2=du$ , 压强  $P_2=P_1+dp$ ,

$\rho_2 = \rho_1 + d\rho$ , 式中  $du$ ,  $d_p$ ,  $d\rho$  均为小量。

运用质量守恒和动量守恒定理得到

$$\rho_1 a = (\rho_1 + d\rho)(a + du) \quad 3- (4)$$

$$-\rho_1 a_2 + (\rho_1 + d\rho)(a + du)^2 = p_1 - (P_1 + d_p) \quad 3- (5)$$

合并以上两式, 略去二阶以上小量后有

$$a^2 d_p = d_p$$

由于流体运动通常是正压过程,  $p = p(\rho)$ , 于是从上式得到

$$a^2 = d_p / d_p$$

前面已指出, 小扰动传播是等熵过程, 从而就导出声速公式

$$a = \sqrt{(d_p / d_p)} \quad (s \text{ 代表等熵过程}) \quad 3- (6)$$

从音速的定义可以看出, 音速是标志着流体压缩性的一个重要参数, 音速小, 表示密度改变  $d_p$  所需的压强  $d_p$  大, 表示了流体较难压缩。对于不可压缩流体, 音速  $a$  趋近无穷大, 意味着小扰动在不可压缩流体中的传播几乎是瞬间完成的, 而在压缩流体中, 小扰动的传播需要一定的时间。

对于完全气体, 熵是

$$S = c_v \ln \frac{P}{\rho^\kappa} \quad 3- (7)$$

在等熵过程中,  $s$  是常数, 于是

$$\left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right) = \frac{KP}{\rho}$$

因此，完全气体的音速公式是

$$a = \sqrt{KP/\rho} = \sqrt{KRT} \quad 3- (8)$$

由能量方程  $C_p T + V^2/2 = C_p T_0$  可以推出

$$\begin{aligned} T/T_0 &= 1 - V^2/(2C_p T_0) \\ &= 1 - \frac{V^2}{2(V^2/2 + C_p T)} \\ &= 1 - \frac{V^2}{2(V^2/2 + KRT/(K-1))} \\ &= \frac{2a^2/(K-1)}{V^2 + 2a^2/(K-1)} \\ &\vdots \\ &= \frac{1}{1 + (1-K)Ma^2/2} \end{aligned} \quad 3- (9)$$

又因为  $\frac{P}{P_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{1}{K-1}}$

所以  $\frac{P}{P_0} = \left(1 + \frac{K-1}{2} Ma^2\right)^{\frac{-K}{K-1}} \quad 3- (10)$

由上式可以推出

$$M_a = \sqrt{\frac{2}{K-1} \left[ \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]} \quad 3- (11)$$

$$V = CM_a = C \sqrt{\frac{2}{K-1} \left[ \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]} \quad 3- (12)$$

### 3.1.3 主喷气流沿中心轴的衰减速度

圆射流气流从喷口喷出，由于外界的摩擦及空气阻力，使气流速度逐步减小。沿着主轴的方向，喷气流速度的逐步减少即中心轴速度的衰减。不同供气压力条件的气流衰减速度不同<sup>[30]</sup>。

由动力特性得到任意截面上的动量表示为：

$$\rho Q_0 V_0 = \pi \rho r_0 2V_0^2 = \int_0^R 2\pi \rho V^2 y dy \quad 3- (13)$$

其中  $Q_0$  为截面流量,  $y$  为任意点到轴心的距离

上公式两边同时除以  $\pi \rho R^2 V_m^2$  得

$$\left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{V_0}{V_m}\right)^2 = 2 \int_0^1 \left(\frac{V}{V_m}\right)^2 \frac{y}{R} d\left(\frac{y}{R}\right) \quad 3- (14)$$

$$\text{因为 } \frac{V}{V_m} = (1-\eta^{1.5})^2 = \left[1 - \left(\frac{y}{R}\right)^{1.5}\right]^2$$

用  $y$  表示  $y/R$ , 则

$$\int_0^1 [(1-\eta^{1.5})^2]^2 \eta d\eta = B_2$$

$$\text{令积分 } B_n = \int_0^1 \left(\frac{V}{V_m}\right)^n \eta d\eta \quad C_n = \int_0^1 \left(\frac{V}{V_m}\right)^n d\eta$$

按  $\frac{y}{R}$  及  $\frac{V}{V_m}$  的变化范围, 从无因次速度分布线上分段进行  $B_n$  的数值积分, 可得出具体

数值见表 3.1:

表 3.1 n 取不同值时所得到的  $B_n$  与  $C_n$  的值

n	$B_n$	$C_n$
1.5	0.0985	0.3845
2.0	0.064	0.3065
2.5	0.0359	0.2256

$$\text{于是 } \left(\frac{r_0}{R}\right)^2 \left(\frac{V_0}{V_m}\right)^2 = 2B_2 = 2 \times 0.464$$

$$\frac{V_m}{V_0} = 3.28 \times \frac{r_0}{R} \quad 3- (15)$$

又由射流的几何特征—射流外边界扩张的变化规律

$$\tan \alpha = K = \lambda a \quad (\text{圆断面的 } \lambda \text{ 为 } 3.4, \text{ 圆柱形管的紊流系数 } a \text{ 为 } 0.076)$$

$$\text{对射程为 } s \text{ 处的截面有 } \tan \alpha = \frac{R}{X_0 + s} = \frac{R/r_0}{X_0/r_0 + s/r_0}$$



$$\frac{R}{r_0} = \tan \alpha \times \frac{X_0}{r_0} + \tan \alpha \times \frac{s}{r_0}$$

由  $\tan \alpha = \frac{r_0}{X_0}$  得

$$\frac{R}{r_0} = 1 + \tan \alpha \times \frac{s}{r_0} = 1 + 3.4a \frac{s}{r_0} = 3.4 \left( \frac{as}{r_0} + 0.294 \right)$$

于是将射流半径  $R$  沿程变化规律式  $\frac{R}{r_0} = 3.4 \left( \frac{as}{r_0} + 0.294 \right)$  代入得

$$V_m = \begin{cases} V & s \leq 8.96r_0 \\ \frac{0.966V}{as/r_0 + 0.294} & s > 8.96r_0 \end{cases} \quad 3- (16)$$

其中： $r_0$  为主喷嘴出口断面上的射流半径 (mm)；

$a$  喷嘴紊流因数 (圆射流中  $a=0.075$ )；

$s$  为距喷嘴的距离 (mm)；

$V$  为喷嘴出口处的速度 (m/s)；

$V_m$  为断面轴心处距喷嘴的距离为  $s$  时的速度 (m/s)。

## 3.2 辅助喷嘴的气流速度

### 3.2.1 辅助喷嘴特性

由于主喷嘴的喷射效果受到限制，现代织机广泛采用了接力喷嘴引纬系统；主喷嘴的作用仅是接力引纬中的一个传力者，负责把储纬器的纬纱以一定的速度不断的喂入梭口，并交付给辅助喷嘴喷出的辅助气流即可。因此，辅喷嘴的压力一般比主喷嘴的要求高，它担负着输送纬纱不断向前通过梭口的任务，其耗气量占整机耗气量的80%左右；所以辅喷嘴的气流特性与工艺配置直接影响引纬质量、织造效果、能耗大小<sup>[12]</sup>。辅助喷嘴、辅助喷嘴横截面以及喷孔截面的结构特点图如下。

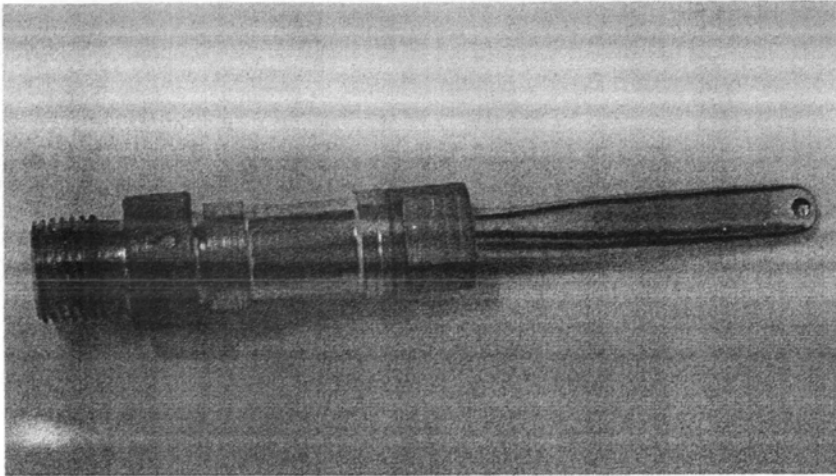


图 3.2 辅助喷嘴

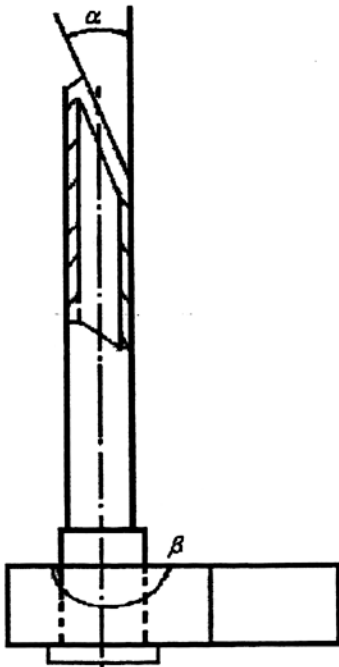


图 3.3 辅助喷嘴横截面的结构特点

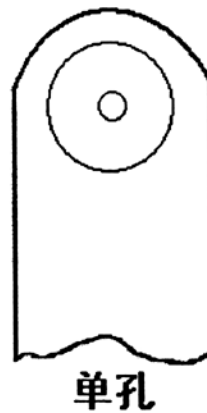


图 3.4 辅助喷嘴喷孔截面的结构特点

### 3.2.2 辅喷嘴的气流速度推导及计算[30]

根据流体力学中能量的一般方程<sup>[37, 38]</sup>

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \left( \bar{u} + \frac{V^2}{2} \right) \rho d\Omega + \int_V \left( \bar{u} + \frac{V^2}{2} \right) \rho V_n dA = \int_V \rho f V d\Omega + \int_V K \frac{\partial T}{\partial n} dA + \int_V P_n V dA + \int_V q \rho d\Omega$$

定常流

动条件下，式中左端第一项为零，假定气流场中无热源，气流内部通过流动截面的热传导

可以忽略不计,并不计质量力所做的功,则式中右端第一项和第四项均略去,设单位时间通过管壁面传给控制体中流体的热量为  $Q$ ,控制面为管壁面,部分外力做的功,可以分两种情况来考虑:一种是气体的粘性可以忽略,这时气流沿管壁滑移,壁面不存在切向摩擦力。而壁面上法向的压力与气流速度垂直,因此,做功为零。另一种是需要考虑气体的粘性,这时紧贴管壁面的气体速度为零,因此,虽有切向力的作用,但做功依然为零。采用一元流动模型,上式成为

$$\rho VA \left[ \bar{u} + V^2/2 + d(\bar{u} + V^2/2) \right] - (\bar{u} + V^2/2) \rho VA = -(A + dA)(V + dV)(P + d_p) + PVA + \dot{Q}$$

3- (17)

整理上式并忽略高阶微量,得

$$\rho V A d(\bar{u} + V^2/2) = -d(APV) + \dot{Q} \quad 3- (18)$$

注意到质量流量  $m = A\rho V = C(\text{常数})$ ,  $d(APV) = d\left(A\rho V \frac{P}{\rho}\right) = A\rho V d\left(\frac{P}{\rho}\right)$ , 因此,上式

可表示为

$$d\left(\bar{u} + \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2}\right) = \frac{\dot{Q}}{m} = q_H \quad 3- (19)$$

式中  $\bar{u} + \frac{P}{\rho} = h$ , 表示单位质量流体的焓,  $q_H$  表示管壁传给单位质量流体的热量; 所

以可得出

$$d\left(h + \frac{V^2}{2}\right) = q_H \quad 3- (20)$$

在绝热流动的条件下,  $q_H = 0$ , 能量方程式为

$$d\left(h + V^2/2\right) = 0 \quad 3- (21)$$

对上式积分得

$$h + V^2/2 = C(\text{常数}) \quad 3- (22)$$

可逆过程流动意味着不存在微团之间的内摩擦以及气流与管壁之间摩擦,即流动是理想流体的流动,这时,一般形式的运动方程式成为

$$VdV + d_p/\rho = 0$$

对上式积分可得

$$\frac{V^2}{2} + \int \frac{d\rho}{\rho} = C(\text{常数}) \quad 3- (23)$$

由热力学可知等熵过程的方程为

$$\frac{P}{\rho^k} = C(\text{常数}) \quad 3- (24)$$

由热力学可知,  $h = C_p T, R = C_p - C_v$ , 完全气体的状态方程为

$$P = \rho RT \quad 3- (25)$$

式中,  $R$  为气体常数;

$T$  为气体的绝对温度;

$P$  为气体的绝对压强;

$\rho$  为气体的密度。

由此可以推出

$$h = C_p T = \frac{KR}{K-1} T = \frac{K}{K-1} \frac{P}{\rho} \quad 3- (26)$$

因此能量方程可以写成

$$\frac{K}{K-1} RT + \frac{V^2}{2} = C(\text{常数}), \text{ 或者 } \frac{K}{K-1} \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = C(\text{常数}) \quad 3- (27)$$

对于辅助喷嘴, 当完全气体从一个封闭的大容器通过一根细管绝热定常地流入大气, 设大气压为  $P_1$ , 容器里的压强为  $P_0$ 。由于容器很大, 可以认为细管内流动不影响它的状态, 容器内气体是静止的,  $V_0=0$ 。完全气体等熵地从大容器经细管流入大气, 根据能量方程式有

$$\frac{K}{K-1} \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{K}{K-1} \frac{P_0}{\rho_0} \quad 3- (28)$$

进而可以推出辅助喷嘴气流出口速度:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2K}{K-1} RT \left( 1 - \frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K}}} \quad 3- (29)$$

### 3.2.3 辅助喷嘴气流速度沿中心轴方向的衰减

辅助喷嘴的安装具有严格的角度的要求, 喷出的气流对主射入气流的喷向角  $\alpha$  一般为  $8^\circ$

$^{\circ} \sim 9^{\circ}$ ，指的是喷射流轴心与箔槽中心在 Z 方向的夹角。喷射角  $\beta$  是指喷射流轴心与箔槽中心在 Y 方向的夹角，一般为  $5^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 。辅助喷嘴气流也是圆射流，其衰减规律和主喷嘴气流一样，但是由于其射程短、流量小，不能像主喷嘴那样能保持一段与出口速度相等的时刻，其衰减速度为：

$$r_m = \frac{0.966V_1}{\frac{as}{r_1} + 0.294} \quad 3- (30)$$

其中： $r_1$  为断面上的射流半径(mm)；

a 喷嘴紊流因数（圆射流的 $a=0.075$ ）；

s 为距喷嘴的距离(mm)；

V 为出口处的速度(m/s)；

$V_s$  为断面轴心处距喷嘴口的距离为 s 时的速度(m/s)。

实践证明，纬纱在距喷口中心线400 mm 处，纱速已经衰减成出口流速的十分之一，若离开400 mm或更远，气流速度将低于纬纱飞行速。但由于引入了异形箔片，加之前后喷嘴气流角度、箔座的摆动，引纬的流场分布十分复杂；理想的喷口形状还有待于再实验和改进。

### 3.3 中心轴上的合成气流速度

#### 3.3.1 合成气流概述

合成气流是主喷嘴的气流和辅助喷嘴的气流在异型箔的箔槽内汇交成一束符合引纬工艺要求的气流。主、辅喷嘴和异型箔的质量性能怎样直接影响合成气流的质量、喷射方向的准确性、稳定性和波动性，最终影响引纬质量的好坏。主喷气流有确定合成气流流动方向的作用，因此，它的气流头端要始终领先于射入的喷射气流。这一点要由主喷时间早于辅喷时间或主喷气流速度大于辅喷气流速度来保证，又因为辅助喷嘴是沿箔幅方向安装的，所以每组辅喷气流的射入必在其上游的合成气流经历一段衰减距离之后，因此形成的合成气流呈现出波浪的状态。合成气流的数值和波动率的大小，便自然而然地成为人们十分关注的问题。

气流合成的最大速度取决于辅喷气流入射汇交于主喷气流时的数值，即前述的有效速度；气流合成的最小速度取决于合成气流在辅助喷嘴间距之间经衰减和损失后的速度，其

影响因素涉及辅助喷嘴的间距、供气压力、异型筘的质量、经纱密度以及车速等。

喷嘴的内腔结构和孔口形状不同，其性能也各异；喷嘴的喷射性能不同，则气流合成的速度曲线分布也不同，当孔口形状一定时，内部粗糙程度越小，在相同压力下其出口流速则越高。因此，喷嘴的内腔结构和孔口形状对气流合成有很大影响。

供气压力对气流合成有很大的影响，供气压力越大，合成气流速度越大，波动率则越小。但是供气压力增大，势必要增加压缩空气的消耗量，这样的结果，不利于喷气织机的节能。

喷向角即辅助喷嘴的安装角，它是喷气引纬中辅助喷嘴很重要的一个调节参数，若喷向角过大，气流从筘背泄漏掉的多，被利用的少，所以喷向角的大小直接影响着引纬质量、引纬效率和气流利用率。

在一定的筘幅内，喷嘴的安装间距小，个数就多，筘槽内的补充气流就多，气流合成的波动率则必然小，这样有利于引纬平稳，但流量增加，能耗增大的事实必应兼顾考虑。减小辅助喷嘴间距或增加辅喷嘴数目，可以十分明显地提高合成气流速度和减小合成气流的波动率。

### 3.3.2 中心轴上的合成速度

在本实验中，所用的 TT-800 型喷气织机，其辅助喷嘴共分成 6 组，第 1、2、3 组每组 5 个喷嘴，第 4 组 4 个喷嘴，第 5、6 组每组 3 个。1-5 组（1-22）中每个喷嘴间的间距是 80mm，第 22、23、24 三个辅助喷嘴的间距是 50mm，第 24、25 个辅助喷嘴的间距为 100mm。第 1 组（1-5）辅助喷嘴的启闭时间为：80° 到 140°；第 2 组（6-10）辅助喷嘴的启闭时间为：100° 到 160°；第 3 组（11-15）辅助喷嘴的启闭时间为：120° 到 180°；第 4 组（16-19）辅助喷嘴的启闭时间为：140° 到 200°；第 5 组（20-22）辅助喷嘴的启闭时间为：160° 到 220°；第 6 组（23-25）辅助喷嘴的启闭时间为：180° 到 260°。各辅助喷嘴的喷射角为 10°。活动主喷嘴距第 1 个辅助喷嘴的距离为 30mm。主、辅喷嘴的出口半径分别为 2mm 和 0.5mm。

根据主、辅喷嘴的合成现象，现推导其在钢筘方向中心轴的合成速度，如下：

由式 3-（12）得知，主喷嘴的出口速度为： $V_0 = C \sqrt{\frac{2}{K-1} \left[ \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}$ ，由式 3-（29）

得知，辅助喷嘴的出口速度为： $V_1 = \sqrt{\frac{2K}{K-1} RT \left( 1 - \frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K}}}$ ，由式 3-（16）得知，喷嘴在

距喷嘴出口  $S_{mm}$  处的衰减速度为:

$$V_m = \frac{0.966V}{\frac{aS}{r_0} + 0.294}$$

当气流到达距第1个辅助喷嘴距离为  $S_0$  mm, 尚未到达第2个辅助喷嘴时, 距活动主喷嘴的距离则为  $S_0+30$  mm, 此时主、辅喷嘴的气流速度  $V_0'$ 、 $V_1'$  为:

$$V_0' = \frac{0.966V_0}{\frac{a(S_0+30)}{r_0} + 0.294} \quad 3- (31)$$

$$V_1' = \frac{0.966V_1}{\frac{aS_0}{r_1} + 0.294} \quad 3- (32)$$

其中,  $V_0$ : 主喷嘴出口速度 (m/s);

$V_1$ : 辅助喷嘴出口速度 (m/s);

$a$ : 喷嘴紊流因数 (圆射流中  $a=0.075$ );

$S_0$ : 距辅助喷嘴的距离 (mm);

$r_0$ : 为主喷嘴断面上的射流半径 (mm);

$r_1$ : 为辅助喷嘴断面上的射流半径 (mm)。

辅助喷嘴沿主喷嘴速度方向上的分速度为:

$$V_1'' = V_1' \cos \alpha = \frac{0.966V_1}{\frac{aS_0}{r_1} + 0.294} \cos \alpha, \quad \alpha \text{ 为辅助喷嘴的喷射角} \quad 3- (33)$$

由于在这个  $S_0$  处主、辅喷嘴气流的汇合主要是沿主喷气流的方向, 因此其汇合后的合成气流方向依然是沿主喷气流的方向, 即钢帘方向, 所以在这个  $S_0$  处的气流合成速度为:

$$V_{S_0} = (1-A) \frac{0.966V_0}{\frac{a(S_0+30)}{r_0} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1}{\frac{aS_0}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \quad 3- (34)$$

其中,  $A$ : 表示主喷气流在其喷射中心轴上某处的衰减率

$B$ : 表示辅喷气流在其喷射中心轴上某处的衰减率

当喷射气流到达距第2个辅助喷嘴  $S_1$  处且还没有到达第3个辅助喷嘴时, 此时, 主喷嘴与第1个辅助喷嘴的喷射气流已合成, 其速度为  $V_{S_0}'$ , 即  $V_0$ 。在此处的衰减速度, 所以这

一点的合成速度即为  $V_{s_0}'$  与第 2 个辅助喷嘴气流的合成速度，而

$$\begin{aligned} V_{s_0}' &= (1-A) \frac{0.966V_0}{\frac{a(S_0+30+S_1)}{r_0} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1}{\frac{a(S_0+S_1)}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \\ &= (1-A) \frac{0.966V_0}{\frac{a(110+S_1)}{r_0} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1}{\frac{a(80+S_1)}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \end{aligned}$$

3- (35)

由于所有的辅助喷嘴的供气压力均相同，安装角度也一致，所以此时第 2 个辅助喷嘴的喷射速度为

$$V_2' = \frac{0.966V_1}{\frac{aS_1}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \quad 3- (36)$$

此点的合成速度为：

$$\begin{aligned} V_{s_1} &= (1-A) \frac{0.966V_0}{\frac{a(110+S_1)}{r_0} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1}{\frac{a(80+S_1)}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \\ &\quad + (1-B) \frac{0.966V_1}{\frac{aS_1}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \end{aligned} \quad 3- (37)$$

由此类推，可以得到整个箱幅内的合成气流速度。实际上，喷嘴所喷射出来的气体速度是有一定范围的，在有效距离内，适合其速度关系式，超出这个范围就不适合了。实验证明，主喷嘴的气流速度在距主喷嘴出口 180~200mm 处就衰减到很少了，此时它对辅助喷嘴的气流速度影响很少，可以忽略不计；辅助喷嘴由于自身的设计因素，其喷射速度也是有一定的范围，实验证明：本织机所使用的辅助喷嘴的气流有效射程为 80mm~100mm 之间，超出这个范围就没有意义了，所以每个辅助喷嘴对相邻的下一个辅助喷嘴的影响也很小（相对于间距为 80mm 的辅助喷嘴而言）。因此从第 3 个辅助喷嘴开始，气流的合成速度仅与其相邻的辅助喷嘴有关系，与主喷嘴没有关系了，因为主喷嘴距第 3 个辅助喷嘴的距离为 190mm。

从第 4 个辅助喷嘴开始，距辅助喷嘴出口 S 距离处的气流的合成速度为：



$$V = (1 - B) \frac{0.966V_1}{\frac{a(80+S)}{r_1} + 0.294} \cos \alpha + (1 - B) \frac{0.966V_1}{\frac{aS}{r_1} + 0.294} \cos \alpha \quad 3- (38)$$

### 3.4 举例分析

(1) 储气筒压力保持0.69MPa不变, 绝热系数  $K = 1.4$ , 主喷嘴的供气压力为0.2MPa

时, 根据主喷气流出口速度  $V = C \sqrt{\frac{2}{K-1} \left[ \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}$ , 可得其出口速度为474.24785 m/s。

根据公式3- (16), 距离主喷嘴出口10mm起的衰减速度如表3.2所示:

表3.2 距离主喷嘴出口10mm起的衰减速度 (m/s)

距 10mm 处 速度	距 20mm 处 速度	距 30mm 处 速度	距 40mm 处 速度	距 50mm 处 速度	距 60mm 处 速度
474.24785	438.8155413	322.849489	255.364228	174.137269	148.46845

(2) 储气筒压力保持0.69MPa不变, 绝热系数  $K = 1.4$ , 辅助喷嘴的供气压力分别为0.2、(0.35、0.4、0.495MPa时, 根据主喷气流出口速度公式

$$V_1 = \sqrt{\frac{2K}{K-1} RT \left( 1 - \frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{K-1}{K}}}, \text{ 得出其出口速度, 见表3.3.}$$

表3.3 不同压力下辅助喷嘴的初始速度 (m/s)

进口压力 (MPa)	出口压力 (MPa)	初始速度 (m/s)
0.2	0.07	378.3789801
0.3	0.07	433.5249868
0.35	0.07	451.2765809
0.4	0.07	465.5192503
0.495	0.07	486.3548586

根据公式3- (16), 表3.3中各个压力下距辅助喷嘴出口10mm起的衰减速度见表3.4。

表3.4 距离辅助喷嘴出口10mm起衰减速度 (m/s)

距10mm处 速度	距20mm处 速度	距30mm处 速度	距40mm处 速度	距50mm处 速度	距60mm处 速度
203.742528	110.963599	76.2440748	58.073418	46.896856	39.327964
233.436531	127.135743	87.3560987	66.5372	53.731734	45.059731
242.995082	132.341584	90.9330783	69.261706	55.931893	46.904796
250.664212	136.518396	93.8030029	71.447664	57.697151	48.385151
261.883385	142.628656	98.0014171	74.645503	60.279548	50.550763

### 3.5 小结

由本章速度推导关系式可以看出：

- (1) 主、辅喷嘴的射流均为圆射流，其衰减规律也基本相同；
- (2) 主喷嘴只对第 1、2、3 个辅助喷嘴的速度有影响，而对第 3 个辅助喷嘴后面的辅助喷嘴的速度基本没有影响；
- (3) 由于各个辅助喷嘴的安装存在误差，使得各辅助喷嘴的引纬气流速度分布并不完全在同一方向上，因而在实际生产中要对辅助喷嘴的高度、气流喷射角度两个工艺参数进行严格的控制，从而提高各辅助喷嘴喷射气流间的有效汇合。

## 第四章 引纬压力与喷嘴气流速度

## 4.1 实验原理

物理学指出，空气是一种流体，对空气施加一定的压力，空气的体积缩小，压强及重度增加，并积蓄了内能。当释压时，空气的体积迅速膨胀，压强及重度减小，内能也随之降低。因此把经压缩的空气引入喷嘴并释放出来，便能形成高速气流束，牵引纬纱前进。

由于高速空气射流与周围的静止空气之间一定的速度的差异，所以靠近边界处的射流脉动微团与相邻的静止空气发生掺杂，结果是射流将自己的一部分动量传递给空气，使一部分原来静止的空气，被射流带着向前运动，这就是射流的卷吸作用；同时使一部分原来静止的空气，获得较低的速度并以垂直射流轴线缓慢运动，这就是射流的扩散作用。因此射流在引纬过程中，一边卷吸周围的空气，一边又作扩散运动，使射流的动量迅速消失，速度也迅速衰减，射流截面迅速增大<sup>[1]</sup>。

由于射流的卷吸作用和扩散作用，自由圆射流的截面沿射程方向逐渐增大，形成锥形射流场，如图 4.1 所示。

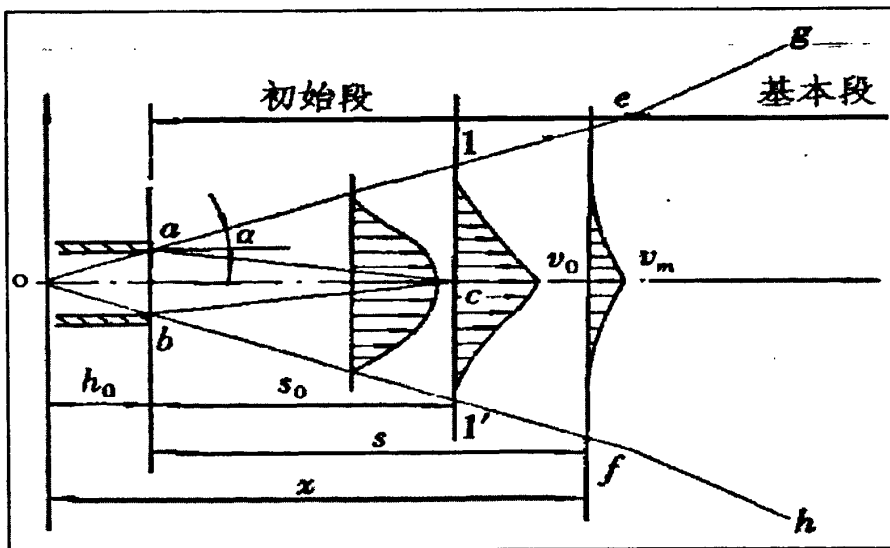


图 4.1 圆射流场截面示意图

射流的扩散作用与以下几个方面的因素有关：

(1) 射流的黏滞性：黏滞性是流体内部质点间或流层间相对运动产生的内摩擦力的表现，内摩擦力虽有抗拒流体相对运动的性质，但不能从根本上制止流动的发生。射流的

黏滯性越大，流动扩散性越小，反之，流动扩散性越大。

(2) 射流扩散角：当喷嘴出口处直径与喷射速度一定时，射流以一定的扩散角(一般是  $12^\circ$  到  $15^\circ$ ) 向前做扩散运动。减小扩散角有利于射流的集束，延长射流射程。

(3) 辅助喷嘴的喷孔数：从多个圆孔喷射的射流由于交汇时相互碰撞而形成涡旋区，射流的紊流脉动增大，较相同面积的单圆孔喷射的射流流场大；若多个圆孔喷射的射流有交叉角，射流交汇后能量更大。因此辅助喷嘴的喷孔数以及喷射角对射流的扩散作用有影响。

(4) 异形笱：当射流与边壁碰撞后产生回流，射流受回流影响减弱了对周围静止空气的卷吸，因此，使用边界限制能抑制射流的扩散增加射流的流程，减缓射流速度的衰减，充分利用射流的能量。因此使用异型笱可以限制射流的扩散。

## 4.2 喷气引纬压力动态测试方法

对喷气引纬技术的测试方法基本上都是准静态情况下的，即将压力传感器放置在喷嘴之前，固定好，每引入一纬，将所测得的压力信号传送到压力显示器后再传送到计算机系统。其缺点是不能随意调整压力传感器的位置，只能一次次测量。而我们使用的动态测试技术方法则改进了传统的测试方法，其原理图如图 4.2 所示：

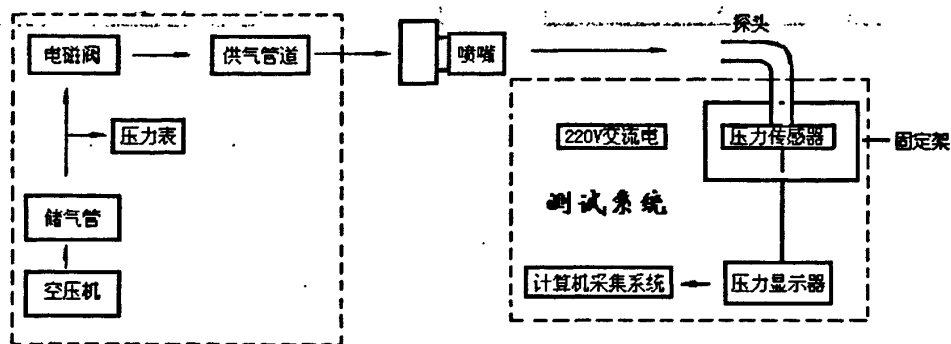


图 4.2 喷气引纬动态压力测试方法原理图

新型动态测试方法与以往测试方法的不同之处就在于：它所使用的固定架上的探头固定器可以活动，本身固定好以后，探头固定器可以通过在固定架上的轨道调节探头（压力传感器的前端）与喷嘴之间的位置，固定架可绕其内部的转轴做距地面不同高度上的升降和以喷嘴喷射中心线为中心的左右移动，这样就可以很好地测得距离喷嘴不同距离的位置

的压力情况。其测试系统图、固定架示意图及探头的喷射角度图如下：

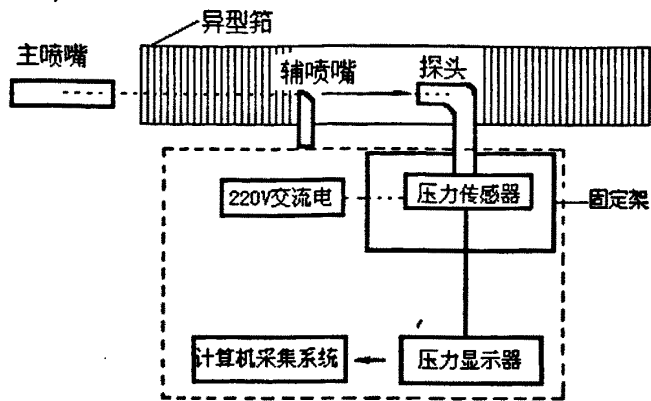


图 4.3 测试示意图

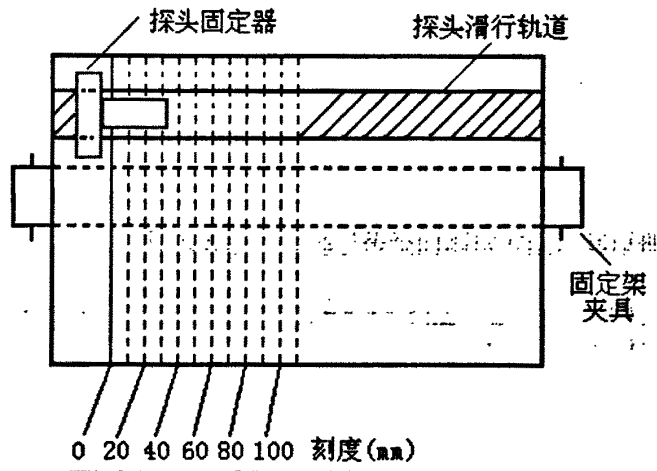


图 4.4 固定架示意图

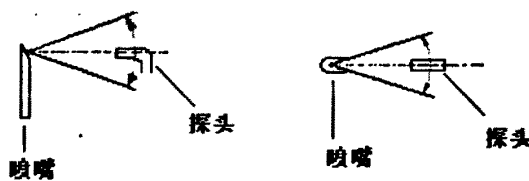


图 4.5 喷射角度图

此测试系统结构精巧，利用通用的计算机即可完成采集任务，采集方法比现有的静态

测试方法更合理，不仅消除了静态测试方法中完全由人控制带来的不稳定因素，而且可以很方便的对测得的数据进行保存并绘图分析。

### 4.3 实验仪器与实验数据设置

#### 4.3.1 实验设备

- (1) 压力传感器
- (2) 压力显示器
- (3) 螺杆空气压缩机
- (4) 压力表
- (5) 三角尺
- (6) 计算机系统
- (7) 固定架
- (8) TT-800 型喷气织机

#### 4.3.2 TT-800 型喷气织机设置

- (1) 公称箱幅：1900mm
- (2) 引纬系统，见图 4.6：

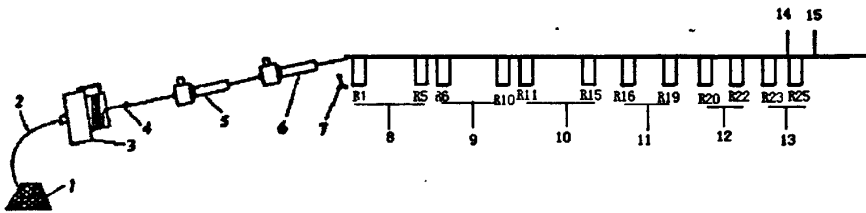


图 4.6 引纬系统示意图

纬纱 2 从供纱筒子 1 上下来，进入储纬器 3，经过夹纱器 4，到达固定主喷嘴 5，（固定主喷嘴长：145mm，进纱口直径：5mm，进气口直径：4.9mm，出气口直径：4mm）。纬纱在固定主喷嘴的射流带动下，进入到活动主喷嘴 6（活动主喷嘴长：208mm，进纱口直径：3mm，出气口直径：4mm）。

进气口直径：5mm，出气口直径：4mm)。纬纱从活动主喷嘴出来后，进入到异型笄槽，由一组一组的辅助喷嘴接力进行引纬。第一个电磁阀 8 (控制 1 到 5 个辅助喷嘴，启闭时间：80° 到 140°)。第二个电磁阀 9 (控制 6 到 10 个辅助喷嘴，启闭时间：100° 到 160°)。第三个电磁阀 10 (控制 11 到 15 个辅助喷嘴，启闭时间：120° 到 180°)。第四个电磁阀 11 (控制 16 到 19 个辅助喷嘴，启闭时间：140° 到 200°)。第五个电磁阀 12 (控制 20 到 22 个辅助喷嘴，启闭时间：160° 到 220°)。第六个电磁阀 13 (控制 23 到 25 个辅助喷嘴，启闭时间：180° 到 260°)。辅助喷嘴 R 都是圆形单孔，直径为 1mm，喷射角度：10° 到 12°，喷射偏向角：4°。第 1 个辅助喷嘴到第 22 个辅助喷嘴之间的间距都是 80mm。第 22 个喷嘴到第 24 个喷嘴之间的间距是 50mm，第 24 个喷嘴和 25 个喷嘴之间的距离是 100mm，而且中间安装一个传感器。纬纱到达引纬另一端后，剪纱器 7 把纬纱剪断。传感器 14 (位于第 24 和 25 辅助喷嘴之间，检测纬纱是否到达)。传感器 15 (检测是否有断纬)。

### (3) 实验气压设置：

维持气压(C1, C2)：0.05MPa，剪切气压 (J1, J2)：0.07MPa

固定主喷嘴气压：0.15MPa, 0.2MPa, 0.25MPa, 0.3MPa, 0.35MPa

活动主喷嘴气压：0.2MPa, 0.25MPa, 0.3MPa, 0.35MPa, 0.4MPa

辅助喷嘴气压：0.2MPa, 0.25MPa, 0.3MPa

## 4.3.3 螺杆压缩机

(1) 型号：GX11FF-10 型

(2) 供气压力：0.69MPa

(3) 气体温度：2℃

## 4.4 实验步骤

### 4.4.1 固定主喷嘴压力的测量

固定主喷嘴的测试实验分五大组进行，每一个大组分别测量相同的喷射气压，不同的扩散距离下的气体压力。根据目前生产实际，我们所进行测量的五个气压值分别是 0.15、0.2、0.25、0.3、0.35MPa。测量距离分别是距固定主喷嘴出口：10、20、30、40、50mm。每组测试 5 次，每次都测试 240 秒左右，然后对数据进行分析、绘图。

#### 4.4.2 活动主喷嘴压力的测量

活动主喷嘴的实验也分五大组进行，每一个大组分别测量相同的喷射气压，不同的扩散距离下的气体压力。根据目前生产实际，我们所进行测量的五个气压分别是 0.2、0.25、0.3、0.35、0.4MPa。测量距离分别是离活动主喷嘴 10、20、30、40、50、60mm。每组测试 3 次，每次都测试 240 秒左右，然后对数据进行分析、绘图。

#### 4.4.3 辅助喷嘴压力的测量

辅助喷嘴根据电磁阀的控制可以分成六组。根据实际情况，我们测量了第 1、2、4、5、6 这五组辅助喷嘴的喷射气压，这些测试都是在辅助喷嘴喷射气压为 0.2MPa 下进行的。同时也对辅助喷嘴喷射气压为 0.3MPa 时进行了测试。对辅助喷嘴的测量主要是为了验证以下两个方面的内容：

- (1) 距单个辅助喷嘴不同距离的气压和一组辅助喷嘴不同距离的气压是否相同，即要验证一组辅助喷嘴间的气压是否叠加汇合；
- (2) 一组辅助喷嘴与另一组辅助喷嘴之间引纬气压是否相同。

#### 4.4.4 整个引纬系统的测量

对整个引纬系统的测量，主要是为了验证以下几个方面的内容：

- (1) 固定主喷嘴喷射气压的有效距离；
- (2) 活动主喷嘴喷射气压的有效距离；
- (3) 主喷嘴对辅助喷嘴气压的影响以及主、辅喷嘴的气流合成规律。

#### 4.4.5 测试步骤

- (1) 调节好喷气织机，确保需要比较的各组喷嘴的喷射条件一致；
- (2) 把压力传感器固定到固定架上，调节其与喷嘴之间的位置，固定好；
- (3) 开启喷气织机，测量该位置的气压，同时记录、保存数据；
- (4) 关闭喷气织机，把压力传感器固定到另一位置，再进行测量，如此多次进行测量，记录；
- (5) 分析实验数据，绘图，总结。



## 4.5 实验结果

### 4.5.1 固定主喷嘴

对测得的距固定主喷嘴出口不同距离的喷射气压值进行分析，并做出图表，测试结果见图 4.7：

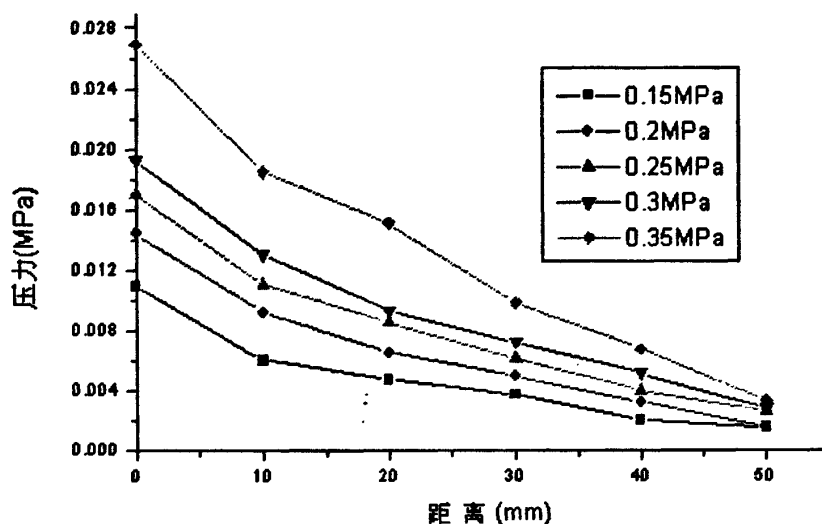


图 4.7 不同压力下，距固定主喷嘴出口不同距离处的气压变化规律

从图中可以清晰的看出：

(1) 从固定主喷嘴出口到距固定主喷嘴 10mm 处气压的扩散速度最快。固定主喷嘴的气压下降了 31.2~45.0%。随着距喷嘴距离的增大，气压扩散速度渐渐减慢，扩散趋于平缓；

(2) 出口处的气体压力随着喷射气压的增大而增大；在不同气压下，气体的扩散率类似，但还是可以发现喷射气压大的气体扩散速度较快；

(3) 随着供气压力的增加，固定主喷嘴的出口压力变化程度没有太大程度的增长。

### 4.5.2 活动主喷嘴

对测得的距活动主喷嘴出口不同位置的喷射气压值进行分析，并做出图表，测试结果见图 4.8：

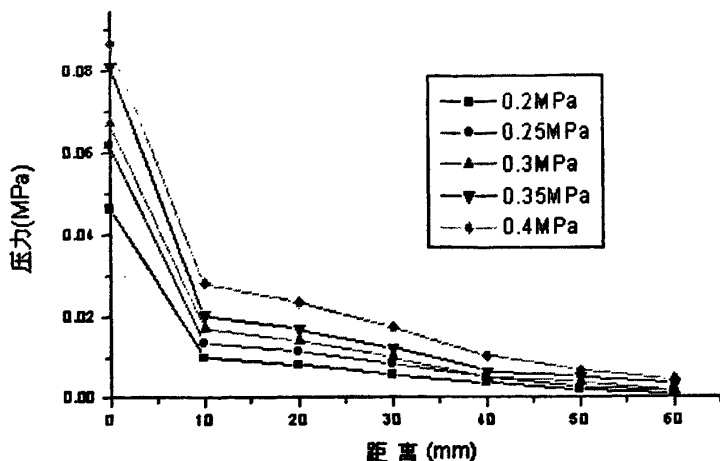


图 4.8 不同压力下, 距活动主喷嘴出口不同距离处的气压变化规律

与图 4.7 相比较, 从图中可以清晰的看出:

(1) 从活动主喷嘴出口到距其 10mm 处气压的扩散速度最快; 活动主喷嘴的气压下降了 67.7~78.8%; 随着距喷嘴距离的增大, 气压扩散逐渐减慢, 并趋于平缓;

(2) 出口处的气体压力随着喷射气压的增大而增大; 在不同气压下, 气体的扩散率类似, 但还是可以发现喷射气压大的气体扩散速度较快;

(3) 随着供气压力的增加, 活动主喷嘴的出口压力变化程度比固定主喷嘴出口压力变化程度大。

#### 4.5.3 辅助喷嘴

在储气筒的总压力保持在 0.69MPa 不变的条件下, 关闭主喷嘴供气, 分别对距各辅助喷嘴出口处不同的距离测量其喷射气流气压, 测试结果见图 4.9 到 4.13, 其中  $R_i$  表示第  $i$  个辅助喷嘴的气压变化情况。

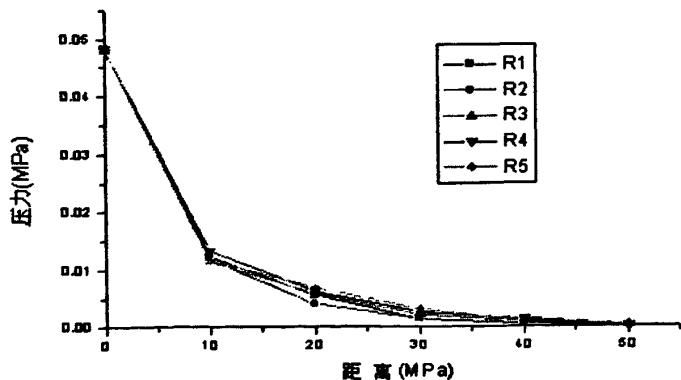


图 4.9 第一组辅助喷嘴中各喷嘴的压力随距离的变化规律

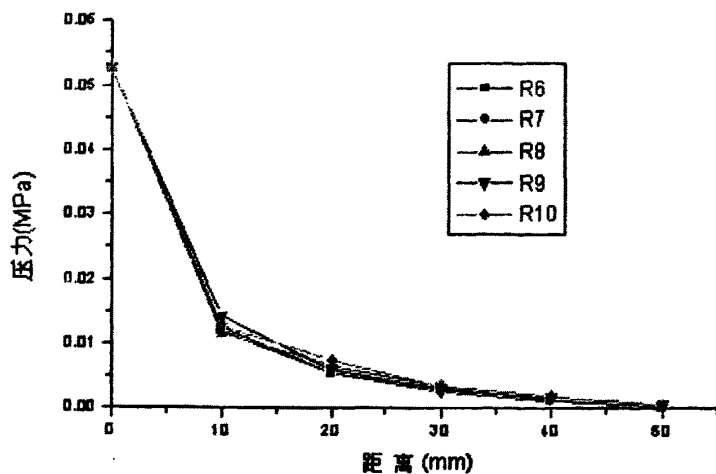


图 4.10 第二组辅助喷嘴中各喷嘴的压力随距离变化规律

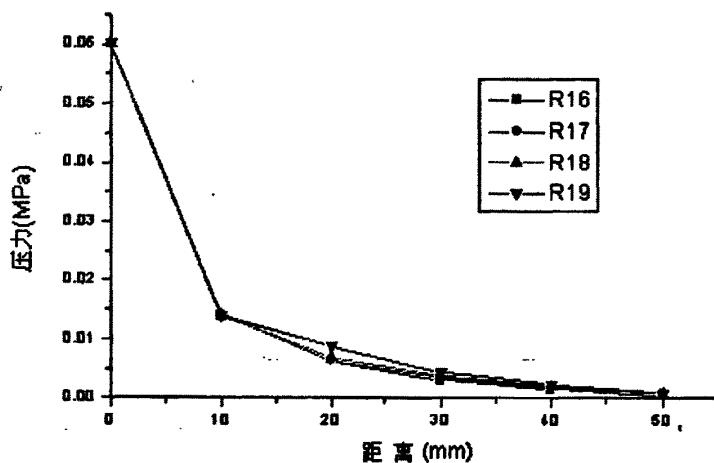


图 4.11 第四组辅助喷嘴中各喷嘴的压力随距离变化规律

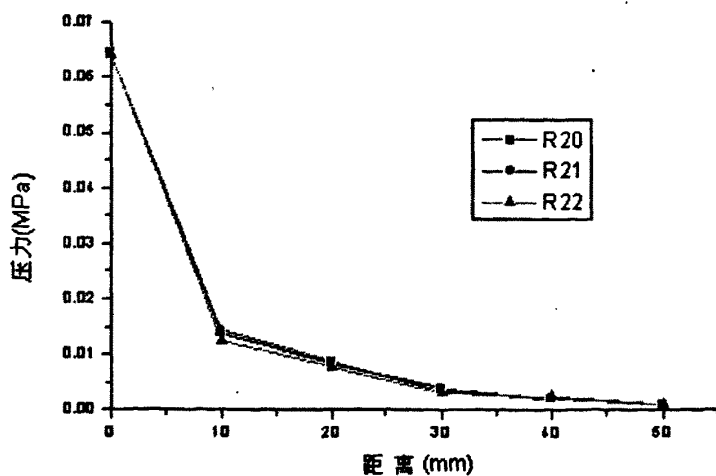


图 4.12 第五组辅助喷嘴中各喷嘴的压力随距离变化规律

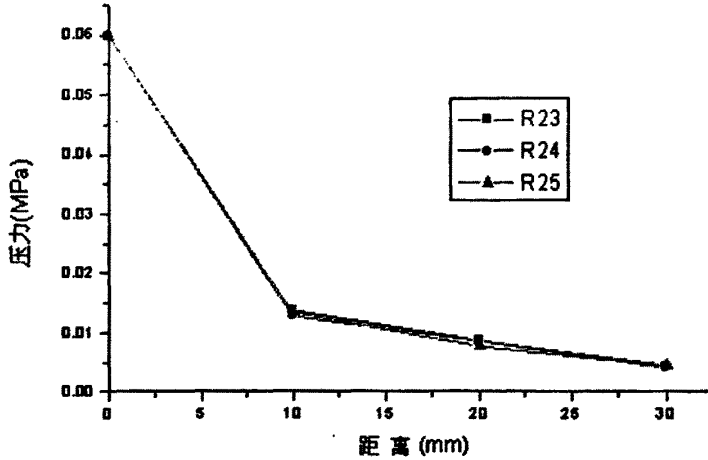


图 4.13 第六组辅助喷嘴中各喷嘴的压力随距离变化规律

从以上五组图中可以清晰看出：

(1) 各个喷嘴的气流压力曲线几乎重叠，说明每个喷嘴的气压扩散规律一致。在各辅助喷嘴间距为 80mm 的织机上，一组辅助喷嘴（3~5 个）内各辅助喷嘴的喷射气流之间不存在气流的叠加；

(2) 从喷嘴出口到距喷嘴 10mm 处气压的扩散速度最快，各个喷嘴的喷射气压下降了 74.6% 左右。接下来随着距喷嘴距离的增大，气压扩散逐渐减慢，并趋于平缓；

(3) 该织机的辅助喷嘴引纬系统稳定性较好。

#### 4.5.4 主、辅喷嘴加异型筘

对于主、辅喷嘴加异型筘的喷气引纬形式，由于固定主喷嘴距离辅助喷嘴较远，而且其气流在到达辅助喷嘴前就已经发散结束，因此固定主喷嘴对辅助喷嘴处的气压合成几乎没有影响。故只需考虑活动主喷嘴与辅助喷嘴的气流合成情况，测试结果见表 4.1 和 4.2 以及图 4.14 到 4.18，表 4.2 见附录 I。

从表 4.1 可以清晰看出：

固定主喷嘴对辅助喷嘴处的气压合成几乎没有影响。因为固定主喷嘴离辅助喷嘴比较远，而且它的压缩气流是完全发散的，没有任何阻碍物。因此主喷嘴的喷射气压只要可以完成把纬纱从储纬器上拉下来并把纬纱送入活动主喷嘴即可，不需要太大的调节。

表 4.1 主、辅喷嘴压力不同时距第一个辅助喷嘴出口

10mm 处的压力值 (MPa) (由大到小排列)

0.2-0.2-0.2 R1 10 毫米			0.3-0.2-0.2 R1 10 毫米		
采集序号	采集数值	数据时刻	采集序号	采集数值	数据时刻
244	0.0161	117.5	81	0.0158	39.15
314	0.016	151.6	116	0.0155	56.25
208	0.0159	100.1	151	0.0152	73.5
112	0.0153	53.75	258	0.0152	124.35
358	0.015	173.25	11	0.0151	4.95
288	0.0149	138.85	19	0.0144	8.8
202	0.0148	121.45	391	0.0144	187.6
5	0.0146	2.05	284	0.0143	136.7
350	0.0146	169.35	214	0.0142	103.45
138	0.0145	66.3	108	0.014	52.4
41	0.0143	19.35	249	0.014	120.1
103	0.0143	49.45	320	0.014	153.85
173	0.0143	83.1	143	0.0138	69.55
279	0.0139	134.55	266	0.0137	128.15
49	0.0137	23.25	73	0.0136	35.3
120	0.0137	57.55	337	0.0136	161.95
155	0.0136	74.45	373	0.0136	179.05
367	0.0136	177.7	2	0.0135	0.65
385	0.0132	186.25	160	0.0135	77.75
296	0.0131	142.75	195	0.0135	94.4
14	0.013	6.3	55	0.0132	26.45
32	0.013	15	125	0.0131	60.65
235	0.0129	113.2	222	0.0125	107.25
191	0.0125	91.75	90	0.0124	43.55
306	0.0122	147.7	46	0.0122	22.05
225	0.0121	108.35	28	0.0121	13.2
261	0.0118	125.75	187	0.0121	90.6
200	0.0117	96.15	355	0.0119	170.5
85	0.0113	40.8	37	0.0118	17.6
323	0.0112	156.05	178	0.0118	86.3
332	0.011	160.45	231	0.0115	111.55
217	0.0109	104.45	302	0.0114	145.25
377	0.0107	182.45	63	0.0108	30.4
341	0.0106	164.9	364	0.0107	174.75
394	0.0104	190.5	293	0.0104	141
Average(35)	0.0132		Average(35)	0.0132	

主、辅喷嘴的压力均为 0.3MPa 时，辅助喷嘴在有主喷嘴喷射以及无主喷嘴喷射条件下的压力与距离的变化规律见图 4.14 到 4.18。

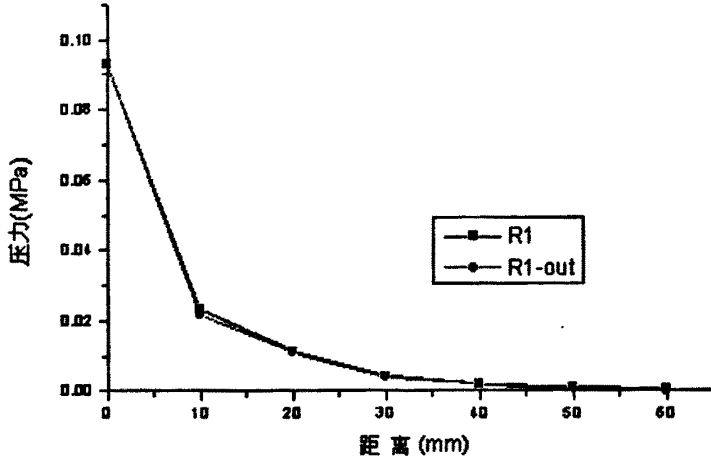


图 4.14 第一个辅助喷嘴的压力随距离的变化图

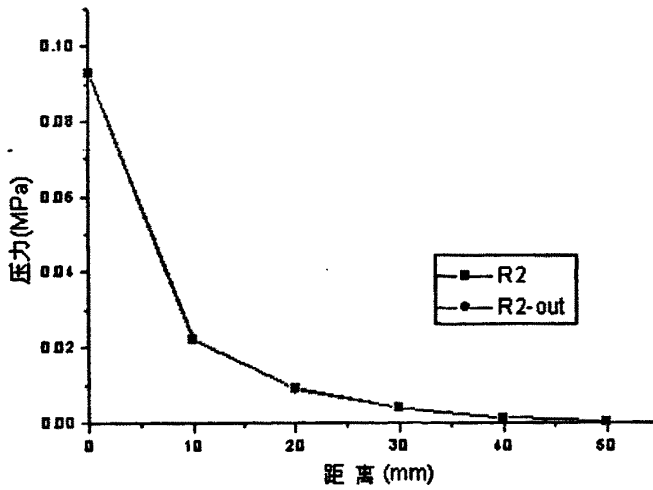


图 4.15 第二个辅助喷嘴的压力随距离的变化图

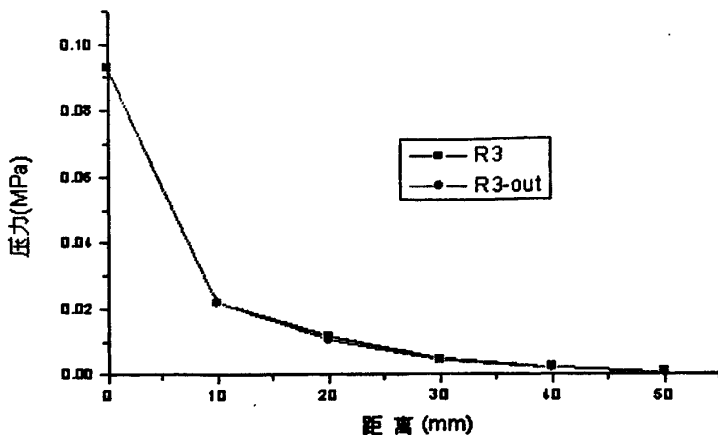


图 4.16 第三个辅助喷嘴的压力随距离的变化图

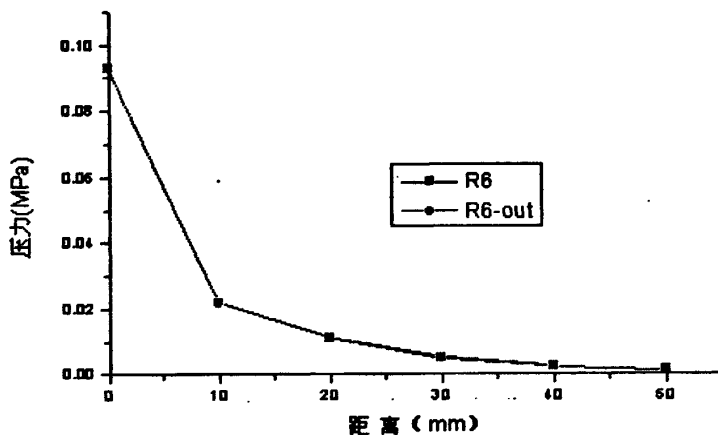


图 4.17 第六个辅助喷嘴的压力随距离的变化图

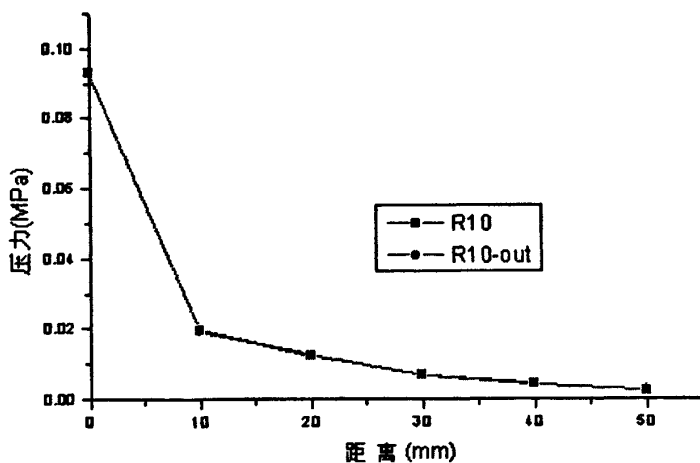


图 4.18 第十个辅助喷嘴的压力随距离的变化图

对比表 4.1 和 4.2 以及图 4.14 到 4.18 可以看出：

- (1) 主喷嘴对第 1 个辅助喷嘴从其出口到距离 10mm 时的气流影响比较小，此后影响

大, 从图 4.14 中可明显看出在这个区间,  $R_1$  要比  $R_1$ -out 的值大;

(2) 主喷嘴对从第 3 个辅助喷嘴开始的喷嘴的气流影响减少, 对其以后的辅助喷嘴的气流几乎没有影响;

(3) 越靠近织机纬纱出梭口侧, 主、辅喷嘴同时喷射与只有辅助喷嘴喷射时测试所得的气压与距离之间的关系曲线  $R_i$  和  $R_i$ -out 重叠越明显。

## 4.6 各喷嘴的喷射速度

### 4.6.1 主喷嘴的喷射速度

根据所测得的数据, 由第 3 章的式 3- (12), 3- (16):

$$V = CM_a = C \sqrt{\frac{2}{K-1} \left[ \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}$$

$$V_m = \begin{cases} V_m & s \leq 8.96r_0 \\ \frac{0.966V}{as/r_0 + 0.294} & s > 8.96r_0 \end{cases}$$

可以计算出主喷嘴的出口喷射速度, 由于固定主喷嘴的作用只是将纬纱从储纬器上退绕下来并传送到活动主喷嘴, 对其速度要求不高, 故只计算活动主喷嘴的喷射速度以及其衰减速度。其结果见图 4.19。

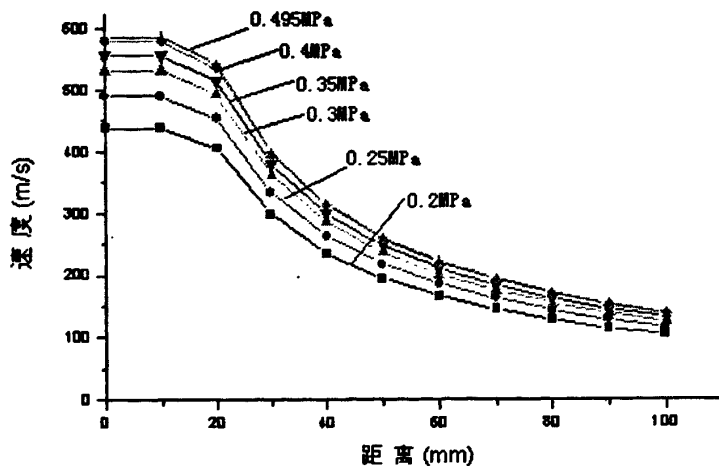


图 4.19 不同压力下主喷嘴的速度衰减规律

由图中可以看出:



(1) 在距主喷嘴出口 10mm 的距离内, 射流的速度没有发生变化, 这段区域是射流的核心区, 其速度与其出口速度是一致的, 此后为基本段, 基本段气流速度呈急剧衰减状;

(2) 随着供气压力的增加, 主喷嘴出口的喷射速度也相应增加, 但当压力增加到一定值 0.495MPa 时, 喷射速度增加很小。

#### 4.6.2 辅助喷嘴的喷射速度

根据所测得的数据, 由第 3 章的式 3- (29), 3- (30):

$$V_1 = \sqrt{\frac{2K}{K-1} RT \left(1 - \frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{K-1}{K}}}$$

$$V_m = \frac{0.966V_1}{\frac{as}{r_1} + 0.294}$$

可以计算出辅助喷嘴单独喷射时的出口喷射速度, 其结果见图 4.20。

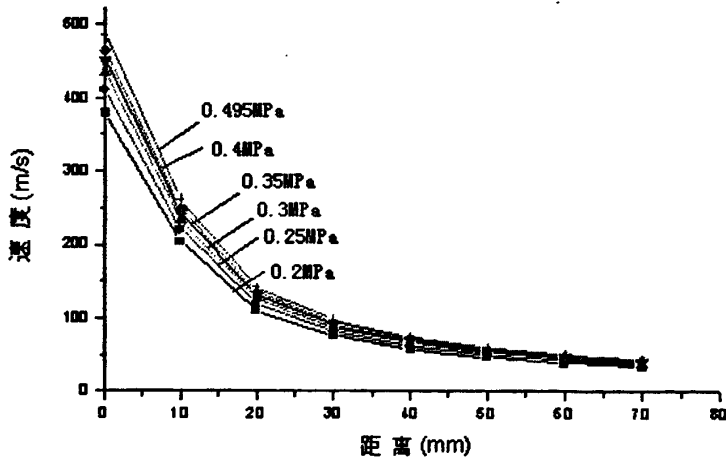


图 4.20 不同压力下辅助喷嘴速度的变化规律

对比图 4.19 可以看出:

(1) 辅助喷嘴的核心区很小, 几乎没有, 辅喷气流几乎是从一开始就衰减, 而且比主喷嘴的衰减速度更快;

(2) 随着供气压力的增加, 辅助喷嘴出口的速度变化比主喷嘴的要小的多。

## 4.7 整幅中心轴上的气流合成

根据所测得的数据，由第3章的式3- (34)、3- (37) 及3- (38)：

$$V_{s_0} = (1-A) \frac{0.966V_0}{\frac{a(S_0+30)}{r_0} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1 \cos \alpha}{\frac{aS_0}{r_1} + 0.294}$$

$$V_{s_1} = (1-A) \frac{0.966V_0}{\frac{a(110+S_1)}{r_0} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1 \cos \alpha}{\frac{a(80+S_1)}{r_1} + 0.294}$$

$$+ (1-B) \frac{0.966V_1 \cos \alpha}{\frac{aS_1}{r_1} + 0.294}$$

$$V = (1-B) \frac{0.966V_1 \cos \alpha}{\frac{a(80+S)}{r_1} + 0.294} + (1-B) \frac{0.966V_1 \cos \alpha}{\frac{aS}{r_1} + 0.294}$$

当主、辅喷嘴的供气压力均为0.2MPa时，辅助喷嘴的喷射角为 $10^\circ$ 时，可以计算出整个箱幅内中心轴上的气流速度，见图4.21。

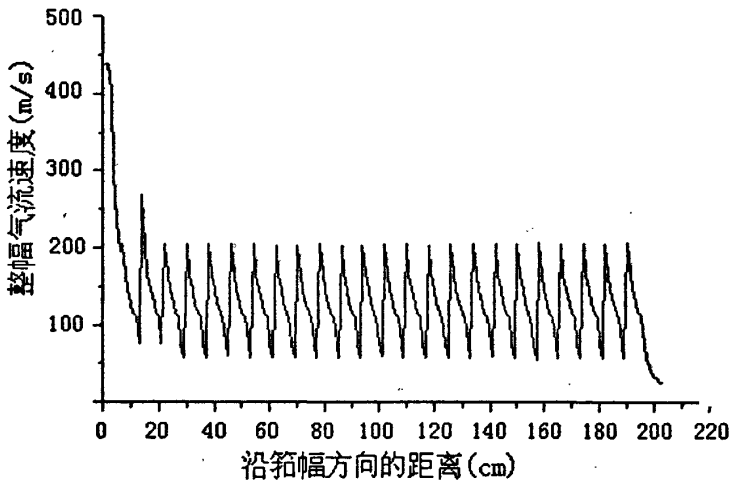


图4.21 整个箱幅中心轴上的速度变化规律

由图4.21可以看出：

(1) 主喷嘴对第1、2个辅助喷嘴的影响非常大，对第3个及以后的辅助喷嘴的影响则逐渐减少，再往后几乎就没有影响；

(2) 各个辅助喷嘴之间的合成气流规律基本一致，均呈波浪形，说明织机的辅助喷嘴

的稳定性很好；

(3) 在引纬结束后，喷嘴停止喷射，整幅气流的速度迅速降低。

#### 4.8 小结

通过对喷气织机主、辅喷嘴的气压以及合成气流的压力进行测试与分析，可得到以下结论：

(1) 从主、辅喷嘴出口到距其 10mm 处气流的扩散速度最快。固定主喷嘴、活动主喷嘴及辅助喷嘴的气压分别下降了 31.2%~45.0%，67.7%~78.8%和 74.6%。随着距喷嘴距离的增大，气流扩散速度逐渐减慢，扩散趋于平缓；

(2) 喷嘴出口处的气流压力随着喷射气压的增大而增大；在不同气压下，气流的扩散情况类似，但还是可以发现喷射气压大的气流扩散速度快，随着供气压力的增加，活动主喷嘴的出口压力变化程度比固定主喷嘴出口压力变化程度大；

(3) 辅助喷嘴单独喷射时，各个喷嘴的气流压力曲线几乎重叠，说明每个喷嘴的气压扩散规律一致；在各辅助喷嘴间距为 80mm 的织机上，相邻各辅助喷嘴的喷射气流之间不存在气流的叠加；该织机的辅助喷嘴引纬系统稳定性较好；

(4) 主喷嘴对第 1 个辅助喷嘴从其出口处到距离其 10mm 处的气流影响比较小，此后影响比较明显；主喷嘴对辅助喷嘴的气流的影响从第 3 个开始减弱，对第 4 个及以后的辅助喷嘴的气流几乎没有影响；

(5) 越靠近织机纬纱出梭口侧，主、辅喷嘴同时喷射与只有辅助喷嘴喷射时测试所得的气压与距离之间的关系曲线  $R_i$  和  $R_{i-out}$  曲线重叠越明显。

## 第五章 纬纱动态张力测试与分析

喷气织机的高入纬率决定了它对纬纱的张力有非常严格的要求，引纬时保持均匀、较小的纬纱张力以及不大的张力峰值，对减少织机停台、保证织物质量是十分重要的。

## 5.1 实验原理

实验原理图如图 5.1 所示，将张力传感器 14 放置在储纬器 3 和主喷嘴 5 之间，这样就可以测量引纬过程中纬纱的动态张力。每引入一根纬纱，纬纱在张力作用下挤压张力传感器的弹簧片，会产生一个信号，这个信号经放大器放大后由张力显示器记录下来，最终传到计算机采集系统，计算机系统将这些信号与数据整理后生成一个图表，这样可以清楚的看到纬纱的张力情况<sup>[34]</sup>。

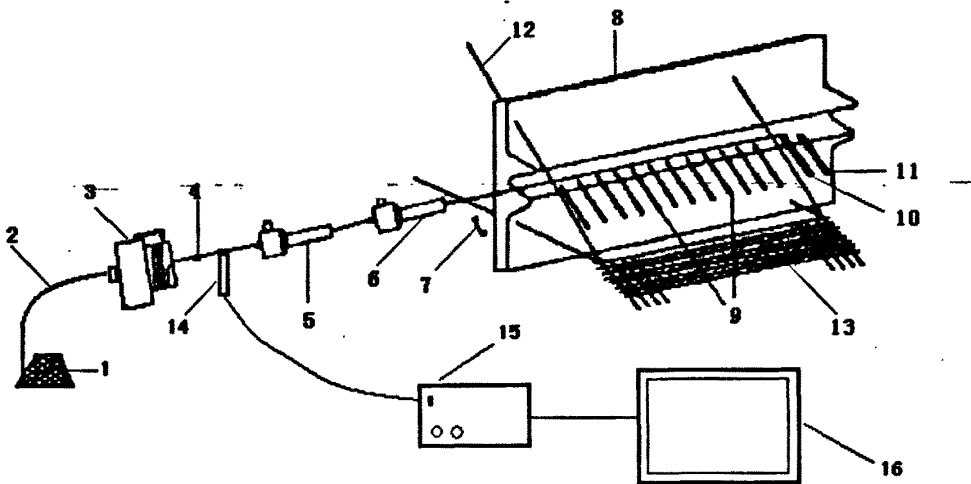


图 5.1 纬纱张力测试原理示意图

- 1—筒子 2—纬纱 3—定长储纬器 4—导纱器 5—固定主喷嘴  
 6—摆动主喷嘴 7—剪刀 8—异型箱 9—辅助喷嘴 10—第一探纬器  
 11—第二探纬器 12—经纱 13—织物 14—张力传感器  
 15—张力显示器 16—计算机系统

## 5.2 纬纱张力的变化规律

织机主轴回转一周的过程中，纬纱张力的变化可以分为四个阶段。图 5.2 为 TT-800 型喷气织机上测得的纬纱动态张力，纬纱线密度为 32S，织机转速为 400r/min，幅宽为 190cm。

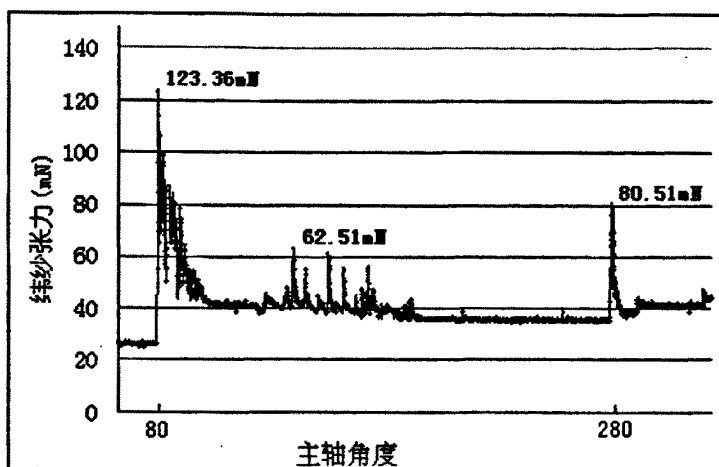


图 5.2 TT-800 型喷气织机的纬纱动态张力曲线

### 5.2.1 维持张力

在开始引纬之前，主喷嘴会保持一个维持气压，大约 0.05MPa，使纬纱产生一个小的张力 24.34mN，这样就可以使纬纱伸直，防止产生扭结现象。实际上就是使纬纱预伸直，以便能够更好地引纬。

### 5.2.2 引纬张力

引纬开始后，主喷嘴开始喷射气流，纬纱从储纬器上退绕下来进入梭口高速飞行，纬纱张力也随之上升到 123.36mN，到达钢筘以后辅助喷嘴也相继喷射气流，但此时的纬纱压力会降低，62.51mN，达不到刚开始引纬时的纬纱张力；然后在引纬后期，纬纱张力会出现一个高峰值 80.51mN，这主要是因为此时储纬器已开始制动，纬纱不能从储纬器顺利退绕，纬纱速度迅速降低，到停止时纬纱张力达到最大值，这个张力称为纬纱的冲击张力<sup>[6,34]</sup>。

### 5.2.3 打纬张力

引纬结束后，纬纱受到出梭口侧几个辅助喷嘴气流的牵引，直至被经纱夹持，然后钢筘将新引入的纬纱打入织口。在此阶段，纬纱所受的最大张力是 47.32mN。

#### 5.2.4 剪纬张力

打纬结束以后，在钢筘回退过程中，剪刀将主喷嘴出口与布边间的纬纱剪断，纬纱在此阶段所承受的张力也是很小。

#### 5.2.5 小结

对以上张力变化进行分析后可得出<sup>[5,34]</sup>：

(1) 一次引纬全过程中纬纱张力波动不显著，这是纬纱从筒子引出后，再经储纬器重新卷绕输出的效果；

(2) 决定引纬张力的主要因素是引纬气流速度，即喷射气流的气压大小以及主辅喷嘴的结构、布置和异形箱槽的导引等；

(3) 引纬张力的高峰出现在主喷嘴喷射以及挡纱磁针对纬纱进行挡纱制动的瞬间，这是产生引纬断头的重要因素。通常峰值比纬纱断裂强度要低得多，只要纬纱强度 CV 值低，“弱环”纱段少，断纬机会是不多的。当挡纱磁针落下后，辅喷气流仍应持续作用一段时间，使纬纱头端继续接受气流的牵引，以便减少或者避免纬纱头端的卷缩、弯曲和抖动；

(4) 主、辅喷嘴喷射定时的正确选择，对减少纬纱的张力波动，避免吹断纬纱也有一定关系。挡纱磁针下落时，主喷停止喷射对减少纬纱张力峰值有利。

### 5.3 一次喷纬时纬纱动态纱张力测试与分析

#### 5.3.1 纬纱动态张力的测试

为实现喷气引纬喷射气流动态张力的测试，通过实验比对了大量的材料，最终自行试制了一个专用的纬纱张力测试传感器，其示意图如下图所示：

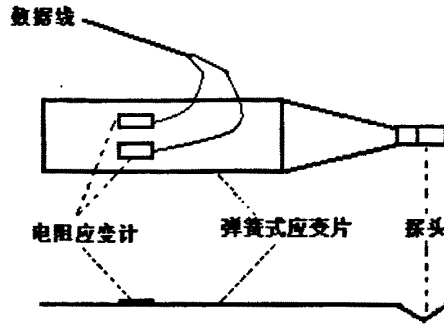


图 5.4 纬纱张力传感器示意图

按照实验原理图，连接好各仪器后，储气筒的供气压力保持 0.69MPa 不变，以 32s 人造棉纱为例，TT-800 型喷气织机上，织机幅宽为 190cm，主、辅喷嘴的喷射压力均为 0.3MPa 时，对纬纱的动态张力进行测试、分析，整个实验过程中，所有的实验参数均保持不变，其结果见图 5.5 到 5.8。

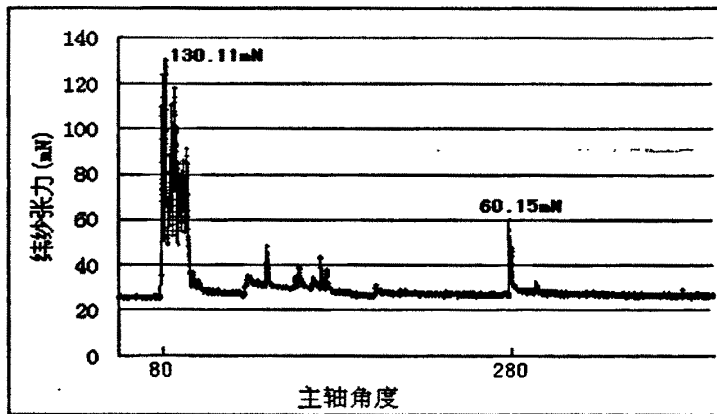


图 5.5 纬纱动态张力变化规律

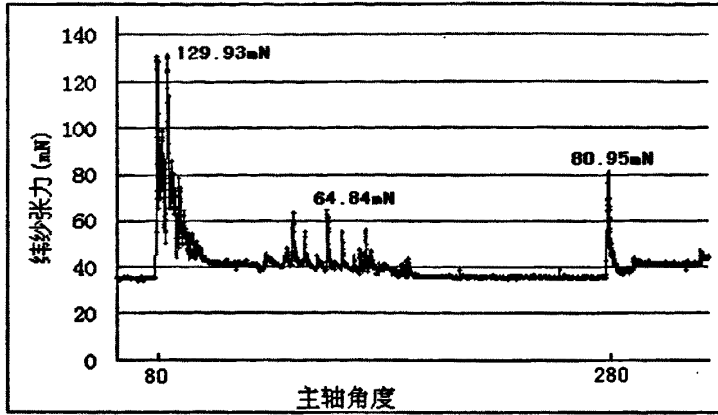


图 5.6 纬纱动态张力变化规律

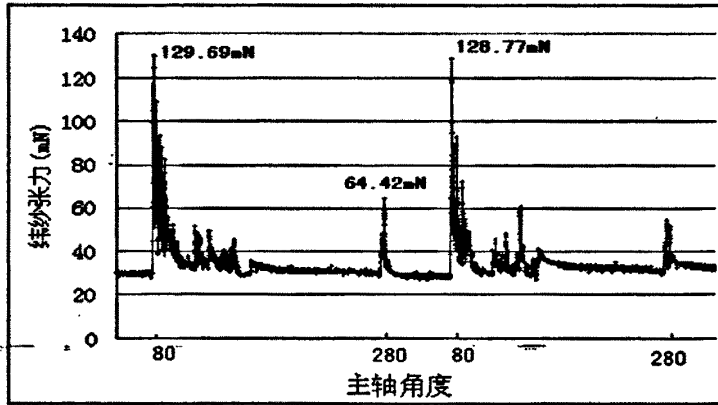


图 5.7 纬纱动态张力变化规律

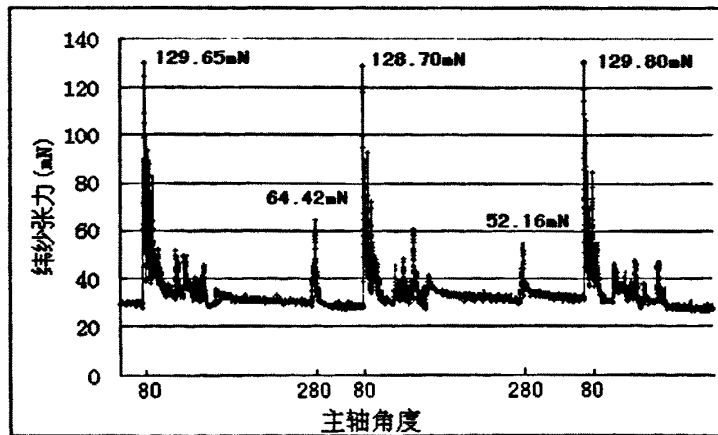


图 5.8 纬纱动态张力变化规律



织机运转时，主喷嘴的启闭时间为  $80^{\circ} \sim 100^{\circ}$ ，主喷嘴喷射时，纬纱受到一个瞬间的牵引，所受的张力也随着瞬间增大，我们称这个张力为主喷张力；辅助喷嘴的启闭时间为  $80^{\circ} \sim 260^{\circ}$ ，由于其数量多，而且是连续喷射气体，所以纬纱所受的张力图形为一连续的波浪形状，我们称这个张力为辅喷张力；引纬后期，储纬器制动，纬纱不能从储纬器顺利退绕，速度迅速降低，到停止时，纬纱张力达到最大值，这个张力称为纬纱的冲击张力。

由上面几组图对比可以看出：

(1) 织机主轴从  $80^{\circ}$  运转到  $100^{\circ}$  时，主喷嘴喷射牵引纬纱进入梭口，此时纬纱突然受到瞬间的牵引，所受的主喷张力瞬时增大，大约在 129mN 左右；

(2) 辅助喷嘴在主喷嘴喷射完毕以后相继喷射气体，纱线受到的力的图形呈波浪形向织口出口侧进行，此时纬纱张力降低，维持在 50mN 左右；

(3) 引纬后期，储纬器制动，纱线速度迅速降低，纬纱所受的最大冲击张力为 80.95mN。

### 5.3.2 同种纱线不同压力下的动态张力测试

同样在 TT-800 型喷气织机上，储气筒的压力保持 0.69MPa 不变，分别改变主、辅喷嘴的压力，对 20S 吸湿排汗纤维/细绒棉 (40/60) 在不同压力下进行测试、分析，其结果见图 5.9 到图 5.11。

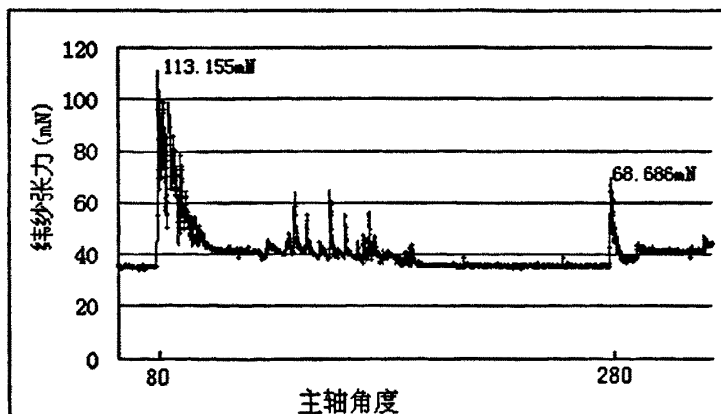


图 5.9 主、辅喷嘴压力分别为 0.1、0.2MPa 时纬纱动态张力变化

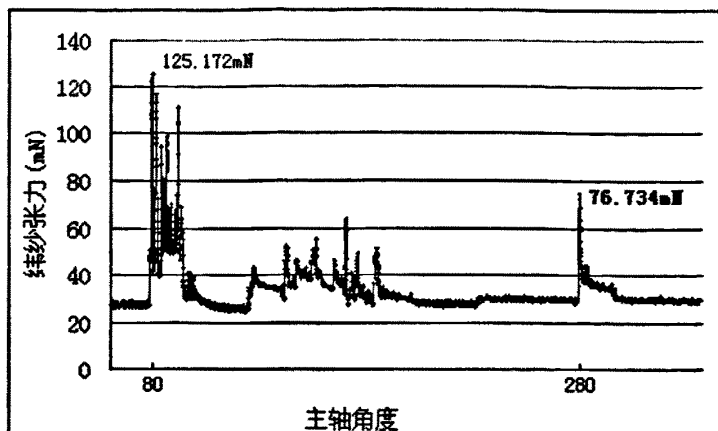


图 5.10 主、辅喷嘴压力均为 0.2MPa 时纬纱动态张力变化

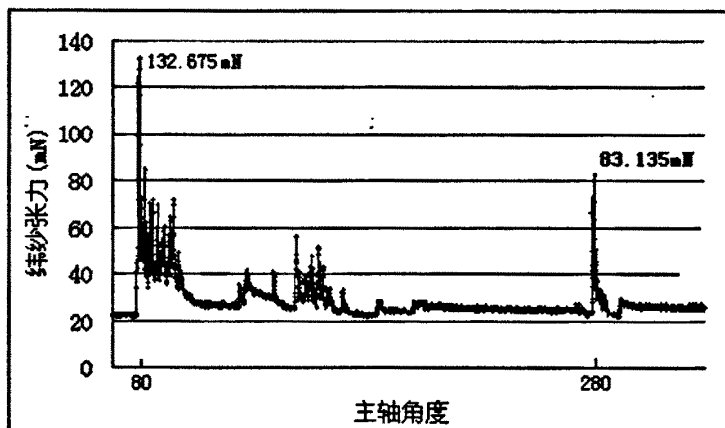


图 5.11 主、辅喷嘴压力分别为 0.2、0.25MPa 时纬纱动态张力变化

对比图 5.5 等可以看出：

- (1) 主喷嘴喷射时，纬纱所受的主喷张力随主喷压力的增大而增大；
- (2) 纬纱所受的辅喷张力并不太大，一般在 45~70mN 之间，纬纱呈波浪形向前推进；
- (3) 引纬后期，纬纱受到一个较大冲击张力，但是没有达到图 5.2 那样的大张力，这主要是因为储纬器上安装了新型的程控张力控制器（PFT），它可以减小因储纬器电磁针落下而造成的纬纱最大张力；

(4) 由图中可以发现，纬纱的主喷张力与辅喷张力之间有一小段的张力丢失，经检测后认为这是辅助喷嘴的安装角度发生了变化，改变了它的气流喷射方向，故没有显示辅喷张力。

### 5.3.3 相同线密度不同品种纱线的动态张力测试

储气筒的压力保持 0.69MPa 不变, 改变主、辅喷嘴的压力分别对 32S 棉纱、32S 麻纱、32S 人造棉纱以及 32S 吸湿排汗纤维/细绒棉 (40/60) 的纬纱张力进行测试并分析, 结果见表 5.1 到 5.3:

表 5.1 不同压力下, 相同线密度不同品种纱线的主喷张力峰值

主、辅喷嘴 压力 (MPa)	棉纱 (32S) 张力 (mN)	麻纱 (32S) 张力 (mN)	人造棉纱 (32S) 张力 (mN)	吸湿排汗纤维/细绒棉 (40/60) (32S) 张力 (mN)
0.1、0.2	119.65	121.431	112.358	113.21
0.2、0.2	131.153	137.523	120.516	126.153
0.2、0.3	145.78	148.863	128.217	131.327

表 5.2 不同压力下, 相同线密度不同品种纱线的辅喷张力峰值

主、辅喷嘴 压力 (MPa)	棉纱 (32S) 张力 (mN)	麻纱 (32S) 张力 (mN)	人造棉纱 (32S) 张力 (mN)	吸湿排汗纤维/细绒棉 (40/60) (32S) 张力 (mN)
0.1、0.2	69.716	72.361	54.994	56.337
0.2、0.2	72.434	76.437	58.354	59.653
0.2、0.3	80.329	83.75	62.83	63.461

表 5.3 不同压力下, 相同线密度不同品种纱线的冲击张力峰值

主、辅喷嘴 压力 (MPa)	棉纱 (32S) 张力 (mN)	麻纱 (32S) 张力 (mN)	人造棉纱 (32S) 张力 (mN)	吸湿排汗纤维/细绒棉 (40/60) (32S) 张力 (mN)
0.1、0.2	77.583	85.26	62.217	65.761
0.2、0.2	81.557	88.656	65.943	67.351
0.2、0.3	98.332	98.736	70.652	71.658

由表 5.1 到 5.3 可以看出:

(1) 纬纱在不同时期所受的主喷张力、辅喷张力以及冲击张力均随供气压力的增大而增大;

(2) 在所测试的几种纱线中, 无论主喷张力、辅喷张力还是冲击张力, 麻纱所受的都是最大的, 这是因为几种纱线中麻纱表面光洁度最差、刚度最大, 与喷射气流的摩擦最大, 所受的牵引力也就越大, 因而产生的张力也是几种纱线中最大的;

(3) 人造棉纱由于其光洁度最好, 所受的张力也最小。

### 5.3.4 相同品种不同线密度纱线的动态张力比较

储气筒的压力保持 0.69MPa 不变, 改变主、辅喷嘴的压力, 分别对 32S、50S、60S 的棉纱进行纱线张力测试、分析, 测得的结果如下表所示:

表 5.4 不同压力下, 相同品种不同线密度棉纱的主喷张力峰值

主、辅喷嘴 压力 (MPa)	棉纱 (32S) 张力 (mN)	棉纱 (50S) 张力 (mN)	棉纱 (60S) 张力 (mN)
0.1、0.2	119.65	116.547	113.411
0.2、0.2	131.153	131.553	128.648
0.2、0.3	145.78	137.494	136.945

表 5.5 不同压力下, 相同品种不同线密度棉纱的辅喷张力峰值

主、辅喷嘴 压力 (MPa)	棉纱 (32S) 张力 (mN)	棉纱 (50S) 张力 (mN)	棉纱 (60S) 张力 (mN)
0.1、0.2	69.716	62.754	59.115
0.2、0.2	72.434	66.547	62.357
0.2、0.3	80.329	71.923	65.086

表 5.6 不同压力下, 相同品种不同线密度棉纱的冲击张力峰值

主、辅喷嘴 压力 (MPa)	棉纱 (32S) 张力 (mN)	棉纱 (50S) 张力 (mN)	棉纱 (60S) 张力 (mN)
0.1、0.2	77.583	71.665	68.796
0.2、0.2	81.557	74.452	70.566
0.2、0.3	98.332	78.354	72.581

由表 5.4 到 5.6 中可以看出:

- (1) 不同压力下, 不同线密度的棉纱的三种张力随供气压力的增大而增大;
- (2) 对于三种不同线密度的棉纱, 纱线越粗, 所受的纬纱张力越大, 说明线密度大的纱线所受的牵引力也越大。

### 5.4 喷嘴射流对纬纱的牵引力

喷气织机是以高速气流为介质将纬纱引入梭口的。这个牵引纬纱的作用力是由于空气的粘性在纱线表面产生摩擦力, 从而带动纬纱运动的<sup>[22]</sup>。

由图 5.11 可以看出, 纱线在射流中呈波形飘动, 这是气流的紊流特性、纱线柔软性及形状特征造成的。根据气体的弹性理论来分析, 单元纱线位置不对称于气流速度时, 会产生横向作用力。由于高速射流存在扩散、涡流和脉动, 就使刚度必然很小, 条干不匀、毛羽不匀、捻度不匀的纱线产生变形, 变形的一点又要传递到另一点, 最后便形成有一定波动的飘移, 且头端的飘移要大于纱身, 纱线最挺直的地方则在距喷嘴口最近处。也就是说, 离喷口越远, 纱线的飘舞和弯曲越多<sup>[5,6]</sup>。

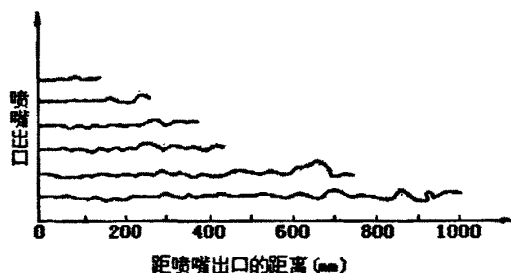


图 5.11 纱线在紊流射流中的状态

纬纱在射流中的前进和飘移时气流对纬纱牵引的结果, 牵引力的分析时很复杂多变的。牵引力  $F$  大体上可以由式 5- (1) 表示<sup>[5,34]</sup>:

$$F = C_f \rho \pi L r_0 (V - U)^2 \quad 5- (1)$$

式中:  $C_f$  ——气流与纬纱的摩擦阻力系数;

$\rho$  ——空气密度 ( $\text{g}/\text{m}^3$ );

$L$  ——气流中的纱线长度 (m);

$r_0$  ——纬纱半径 (m);

$V$  ——气流速度 (m/s);

$U$  ——纬纱速度 (m/s)。

由式 5- (1) 可见, 纬纱所受的牵引力与  $C_f$ 、 $\rho$ 、 $L$ 、 $r_0$ 、 $(V-U)^2$  成正比, 与  $U$  成反比, 在开始引纬时, 纬纱处于静止状态, 主喷嘴对纬纱的牵引力大, 随着纬纱速度  $U$  的增加, 主喷嘴对纬纱的牵引力越来越小。所以新型织机采用多喷嘴技术, 增加对纬纱的牵引力。

摩擦系数  $C_f$  受纬纱纤维种类、纱线结构、表面毛羽、气流速度等因素的影响。相同原料的短纤纱的  $C_f$  值比长丝纱的大；表面毛羽多的纱线  $C_f$  值比毛羽少的纱线的大；气流速度大时摩擦系数小。

空气密度  $\rho$  与温度、湿度等有关。一般来说，温度高、湿度大，空气密度大，摩擦系数也大。

气流速度对纬纱牵引力的影响：见图 5.12，主喷嘴对 25tex 纯棉纱、12.5tex 涤纶纱的牵引力，可见，随着气流速度的增加，主喷嘴的牵引力也增加<sup>[94]</sup>。

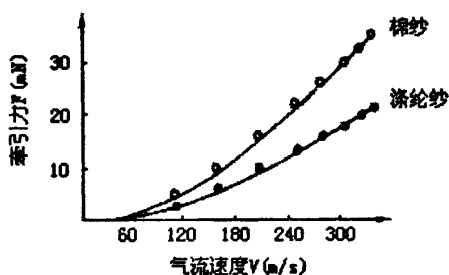


图 5.12 气流速度对喷嘴牵引力的影响

## 5.5 纬纱飞行速度

研究纬纱的运动规律，对于认清气流引纬的本质以及合理地制定引纬工艺参数、减少引纬故障和织机停台、减少耗气量都具有重要的意义<sup>[95]</sup>。

纬纱的飞行状态取决于原纱条件、退绕张力、主喷嘴和辅助喷嘴的供气压力、辅助喷嘴的安装间距、安装高度及喷射角、喷口形式、织机速度及钢筘状况等。图 5.13 为引纬气流牵引纬纱飞行时纬纱飞行速度的变化情况。图中主喷嘴的速度在 300m/s 以上，辅助喷嘴速度在 100m/s 以上，纬纱飞行速度则达 60~70m/s。

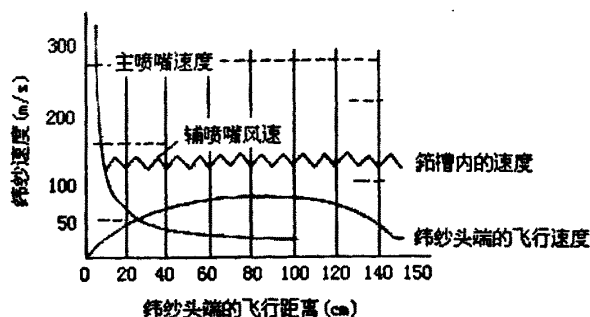


图 5.13 气流速度与纬纱速度的关系

由图中可以看出：纬纱的飞行速度要低于气流速度，速度差是气流对纬纱产生摩擦和牵引力，使纬纱产生与气流方向大致相同的运动惯性力，并具有一定张力。由于气流速度的波动特性，必然会使纬纱在各个位置上受到不均匀的作用力，也就产生了纬纱波动飞行的复杂多变状态。纬纱飞行状态大致为三个阶段：加速阶段、近似匀速阶段和降速阶段。

在引纬开始的加速阶段，纬纱主要受主喷嘴气流的牵引，速度增加很快，说明主喷嘴的气流是纬纱克服阻力达到飞行速度的主要动力。随着纬纱进入匀速阶段，纬纱受辅助喷嘴气流作用的长度逐渐增大，但纬纱的速度并无明显增加，说明辅助喷嘴气流对纬纱的加速作用不明显，主要是起维持纬纱飞行的作用。最后快出梭口时，由于纬纱的长度增加很多，其重量增大，阻力增大，辅助喷嘴不足以维持纬纱匀速前进，纬纱的速度降低<sup>[5,34]</sup>。

因此，改变主喷嘴的喷射压力可以调整纬纱的飞行速度，但辅助喷嘴的供气压力也要相应调整，以使辅助喷嘴的引纬速度大于纬纱的飞行速度，维持纬纱的飞行状态。

## 5.6 小结

通过对纬纱张力的测试与分析，得出以下结论：

(1) 主喷嘴喷射射流对纬纱张力有很大影响，主喷射流压力越大纬纱所受主喷张力也就越大；

(2) 不同品种的纱线所受的纬纱张力不同，纱线的光洁度越好，所受的纬纱张力就越小；

(3) 同种材料不同线密度的纱线所受的纬纱张力不同，纱线越细，所受的纬纱张力也就越小；

(4) 新型喷气织机的程控纬纱张力控制器 (PFT) 对减小引纬结束时的纬纱张力峰值有很大的作用, 使得以更高速度织造强力较低、更为精细或弹性纱成为可能;

(5) 喷气织机主喷嘴的喷射压力是纬纱飞行速度的主要动力, 即主喷嘴的射流对纬纱的牵引力是使纬纱获得飞行速度的主要动力;

(6) 辅助喷嘴的喷射压力只是维持纬纱的飞行状态, 对纬纱的加速不明显。



## 第六章 结论

### 6.1 结论

本文在分析喷气织机引纬系统的基础上,通过对 TT-800 喷气织机的引纬系统中各引纬机构进行大量的测试与分析,尤其是对织机主喷嘴、辅助喷嘴速度公式及合成气流速度公式的推导;织机主、辅喷嘴喷射压力的测试与分析;纬纱动态张力的测试与分析,得到如下主要结论:

(1) 主、辅喷嘴的喷射气流,从喷嘴出口到距离其 10mm 处气流的扩散速度最快。固定主喷嘴、活动主喷嘴及辅助喷嘴的气压分别下降了 31.2%~45.0%、67.7%~78.8%和 74.6%。随着喷射距离的增加,气流的扩散速度渐渐减慢,并趋于平缓;出口处的气体压力随着喷射气压的增大而增大;在不同气压下,气流的扩散情况类似,但还是可以发现喷射气压大的气流扩散的快,随着供气压力的增加,活动主喷嘴的出口压力变化程度比固定主喷嘴的出口压力变化程度大;

(2) 辅助喷嘴单独喷射时,各个喷嘴的气流压力曲线几乎重叠,说明每个喷嘴的气压扩散规律一致。在各辅助喷嘴间距大于 80mm 的织机上,相邻各辅助喷嘴喷射气流之间的叠加效果较差;

(3) 主喷嘴对第 1 个辅助喷嘴从其出口到距离其 10mm 处的气流影响比较小,此后影响比较明显;主喷嘴对辅助喷嘴气流的影响从第 3 个开始减弱,对第 4 个及以后的辅助喷嘴的气流几乎没有影响;

(4) 越靠近织机纬纱出梭口侧,主、辅喷嘴同时喷射与只有辅助喷嘴喷射时测试所得的气压与距离之间的关系曲线  $R_i$  和  $R_{i-out}$  曲线重叠越明显,说明主喷嘴对后面的辅助喷嘴的气流影响很小;

(5) 主喷嘴喷射射流对纬纱张力有很大影响,主喷射流压力越大纬纱所受张力也就越大,同时纬纱的飞行速度也就越大;

(6) 不同品种的纱线所受的纬纱张力不同,纱线的光洁度越好,所受的纬纱张力就越小;同种材料不同线密度的纱线所受的纬纱张力也不同,纱线越细,所受的纬纱张力也就越小。

## 6.2 本论文的创新之处

(1) 喷气引纬系统压力测试方法：基于传统喷气引纬系统静态压力测试方法的不足，结合实验过程中的研究，自行设计了一套新的压力测试模具，减少了劳动强度，提高了引纬压力测试的准确性，具有很强的实用性；

(2) 纬纱张力传感器：通过实验中的研究，对比多种材料，自行设计了一种新型的张力传感器，使对纬纱张力的测试更加灵敏，测试结果也更加稳定。

## 6.3 展望

本文通过实验研究，基本上得出喷气织机箱幅中心轴上合成气流的关系式以及喷气引纬压力、纬纱张力的变化规律，但还是有不少工作需要进一步地深入研究，主要涉及以下内容：

- (1) 主喷嘴的长度、芯子形状与大小对喷射气流的影响；
- (2) 辅助喷嘴的安装角度、喷射角度以及安装间距对合成气流的影响；
- (3) 织机耗气量的研究，尤其是占织机耗气量 80%的辅助喷嘴的耗气量研究。

## 致谢

将近两年半的研究生生涯中，在与老师、同学之间的相互学习、相互切磋、相互帮助下，培养了自己独立开展科研工作的能力。在进行本课题时，克服了各种困难，从中体会到了工作取得进展以后的无比喜悦。在论文即将结束之际，向每一个关心和帮助我的老师、同学、亲人和朋友表示诚挚的感谢！

首先要感谢我的导师祝成炎教授。两年半来，祝老师在学习和工作上给予我热心的关怀和照顾，他渊博的知识、严谨的治学态度、开阔的思路、敏锐的思维和精益求精的工作作风，使我受益匪浅，在此向祝老师表示最诚挚的感谢！

其次我要感谢纺织工程系的老师们。郑智毓等老师在做实验的过程中热心地帮助我解决遇到的难题。他们的支持和鼓励对我论文的圆满完成起了很大的作用。同时，他们丰富的学识和认真求实的工作作风给我留下难忘的印象，激励我不断地攀登。在此向他们表示最真诚的感谢！

在实验进行过程和论文的完善过程中，师姐田伟，师弟陈雪善和詹忻以及师妹于立莹等人给了我很多帮助和建议，向他们表示感谢！也向本实验室内所有帮助过我的老师和同学表示谢意！

最后，衷心感谢我的父母，您是我完成学业的精神动力和支柱！

## 参考文献

- [1] 曹海燕. SGA211异型箱多喷嘴引纬系统的工作原理[J]. 河北纺织, 2006(2):40-41.
- [2] 王荣根. 国外无梭织机的发展现状[J]. 纺织导报, 2004(4):23-25.
- [3] 张平国. 喷气织机引纬原理与工艺[M]. 北京:中国纺织出版社, 2005, 12.
- [4] 祝成炎, 张友梅. 现代织造原理与应用[M]. 杭州:浙江科学技术出版社, 2002.
- [5] 严鹤群, 戴继光. 喷气织机原理与使用[M]. 北京:中国纺织出版社, 2006. 9.
- [6] 毛新华. 新型织造设备与工艺[M]. 北京:中国纺织出版社, 2002. 1.
- [7] 梁海顺. 喷气织机气流控制系统[J]. 机床与液压. 2002(2):166-67.
- [8] 章伟, 王素玲, 牛建设. JAT710喷气织机引纬系统性能分析与利用[J]. 中原工学院学报, 2006. 6, 17(3):25-30.
- [9] 王贯超, 胡巧娥, 梁海顺, 等. 辅助喷嘴的技术现状与开发途径[J]. 纺织器材, 2006(2):69-71.
- [10] 渊春龙, 武友勤. 喷气织机喷嘴及喷射气流特性研究[J]. 纺织器材, 2001(6):22-24
- [11] 继松艾, 平肖军. 津田驹ZAX 喷气织机引纬工艺参数探讨[J]. 北京纺织, 2004(1):32-36.
- [12] 徐浩贻. 喷气织机辅助喷嘴气流特性[J]. 纺织机械, 2001(2).
- [13] 徐浩贻. 降低喷气织机气耗研讨[J]. 纺织学报, 2000(3):30-33.
- [14] 张平国. 喷气织造技术研讨第三讲 喷气引纬原理(二)[J]. 棉纺织技术, 1999(3):55-58.
- [15] 王贯超, 张平国, 梁海顺, 陈登. 喷气织机主喷嘴气流性能的测试与分析[J]. 纺织机械, 2005(2):22-25.
- [16] 沈丹峰, 叶国铭. 气流引纬的动力学分析与测试[J]. 丝绸, 2006(5):29-33.
- [17] 李晶. OMNIplus 型喷气织机传动系统新技术[J]. 棉纺织技术, 2002(10):48-49.
- [18] 李小兰. ZAX-N 型喷气织机简介[J]. 棉纺织技术, 2005, 9, 33(9):62-64.
- [19] 林红译, 杨明煜校. 多尼尔 A 型喷气织机[J]. 国外丝绸, 2000(6):44.
- [20] 郭兴峰. 喷气织机引纬气流速度的分布规律[J]. 天津纺织工学院学报, 1996, 15(4):27-30.
- [21] 陈亚威, 沈毅. 喷气射流引纬技术的国内外研究现状[J]. 现代纺织技术, 2007(4):

43-45.

- [22] 汪黎明, 裘品闲, 唐衍硕, 等. 引纬气流对纬纱作用的研究[J]. 山东纺织工学院学报, 1992, 7(3):17-23.
- [23] 罗兆恒. 开发喷气织机应适应国内技改的需要[J]. 纺织机械, 2005(1):17-19.
- [24] 张志奋译, 李毓陵校. 毕佳诺:OMNIjet新型喷气织机[J]. 国际纺织导报, 2006(9):50-52.
- [25] 章彦, 王晓敏, 张晓伟. 从4种喷气织机的性能特点看现代喷气织机的发展趋势[J]. 纺织机械, 2006(4):27-31.
- [26] 梁海顺, 胡巧娥, 杜彦炜, 陈登. 喷气织机的现状与开发[J]. 纺织机械, 2005(5):1-6.
- [27] 张俊康. 喷气织机使用疑难问题[M]. 2001. 北京:中国纺织出版社, 2001.
- [28] 秦贞俊. 再谈提高喷气织机效率[J]. 现代纺织技术, 2005(6):41-43.
- [29] 秦贞俊. 提高喷气织机效率的讨论[J]. 纺织导报, 1997(1):32-34.
- [30] 景思睿, 张鸣远. 流体力学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2001:239-251.
- [31] 郑锡荣. 第九届中国国际纺织机械展览会织机观后感[J]. 纺织机械, 2004(6):10-13.
- [32] 秦贞俊, 梁峰. 喷气织机的技术进步[J]. 棉纺织技术, 2002(3):35-37.
- [33] 张平国. 喷气织造技术研讨[J]. 棉纺织技术, 1999(1):59-61.
- [34] 郭兴峰. 现代织造技术[M]. 北京, 中国纺织出版社, 2004. 11.
- [35] 郭兴峰. 喷气织机主喷嘴气流特性及能耗的研究[J]. 天津纺织工学院学报, 1996(2):28-32.
- [36] 何安民. 国产节能型辅助喷嘴的节能机理和使用效果[J]. 棉纺织技术, 2004(5):12-15.
- [37] 周光炯, 严宗毅. 流体力学[M]. 高等教育出版社, 1992.
- [38] 罗曼芦. 汽体动力学[M]. 上海交大出版社, 1963.
- [39] 张平国. 喷气织机节能机理与措施[J]. 陕西纺织, 2004(4):21-24.
- [40] 王贯超, 梁海顺, 张平国. 喷气织机三种功能型辅助喷嘴的设计与应用[J]. 纺织机械, 2005(4):29-33.
- [41] 秦贞俊, 梁峰. 喷气织机织前准备技术的讨论[J]. 棉纺织技术. 2002(8):29-32.
- [42] 崔鸿钧, 李丽君. 提高喷气织机织造效率的探讨[J]. 上海纺织科技. 2005(5)19-21.
- [43] 陈明. 新型织机[M]. 上海:中国纺织大学出版社, 1999.
- [44] 李先敏, 李学耕. 提高喷气织造纬纱纤维抱合力的措施. 四川纺织科技. 2004

- (1):55-56.
- [45] 王贯超. 功能型提速辅助喷嘴的研制与探讨[J]. 纺织器材, 2004(5):19-20.
- [46] 梁海顺. 喷气织机的现状与开发策略[J]. 纺织器材, 2004(5):51-55.
- [47] 梁海顺, 王贯超, 胡巧娥, 陈登, 马志燕, 杨昆. 国内外喷气织机主喷嘴喷射特性的测试与分析[J]. 纺织器材, 2005, 32(6):21-24.
- [48] István Patkó Dr. Material Transport with Air Jet[J]. Acta Polytechnica Hungarica , 2005 Vol. 2:53-64.
- [49] 王绍斌. 喷气织机的梭口形状尺寸对经纱张力变化的影响[J]. 四川纺织科技, 2002(4):10-23.
- [50] Karel, P.: The dynamics of weft movement in final phase of the weft insertion on air let loom. Dissertation thesis[J]. Technical university Liberec, Faculty of machinery, 2006 vol.3:41-45.
- [51] 祝成炎. 织造新技术—M8300型多相喷气织机[J]. 丝绸, 1999(8):35-36.
- [52] 狄熊冰. JAT600A型喷气织机串联喷嘴的加装及应用效果[J]. 棉纺织技术, 2004. 9, 32(9):57-58.
- [53] 吕东风. 喷气织机引纬流场的测试与分析[J]. 棉纺织技术, 1993, 21(10):24-6.
- [54] 吴雄英, 张平国, 于新安. “假象汇交”现象对喷气织机气流合成的影响分析[J]. 纺织器材, 1997. 11, 24(6):10-12.
- [55] 祝章琛. 主喷射气流的引纬特性. 棉纺织技术[J]. 1994, 22(8):4-9.
- [56] 祝章琛. 纬纱飞行和主喷射工艺参数[J]. 1998, 24(5):84-87.

## 附录 I

表 4.2 主、辅喷嘴压力相同情况下距第一个辅喷嘴 10、20、30mm 处的压力值 (MPa)

ALL-R1 (0.2MPa) 10 毫米		ALL-R1 (0.2MPa) 20 毫米		ALL-R1 (0.2MPa) 30 毫米	
采集序号	采集数值	采集 序号	采集数值	采集 序号	采集数值
5	0.0146	2	0.0009	8	0.0043
14	0.013	3	0.0079	16	0.0012
15	0.0003	9	0.0013	17	0.0037
23	0.0055	10	0.0081	18	0.0008
32	0.013	16	0.0011	25	0.001
41	0.0143	17	0.0019	26	0.0005
49	0.0137	18	0.0062	27	0.0038
50	0.0005	24	0.0011	34	0.001
58	0.0066	25	0.0064	35	0.0042
59	0.0082	33	0.0076	43	0.0014
76	0.0099	41	0.0011	44	0.0032
85	0.0113	42	0.0039	52	0.0015
86	0.0003	43	0.0042	53	0.0003
93	0.0039	50	0.0004	60	0.0013
94	0.0061	51	0.0004	61	0.0006
103	0.0143	52	0.0081	62	0.0039
112	0.0153	59	0.001	70	0.0012
120	0.0137	60	0.0077	78	0.0013
121	0.0007	68	0.0008	79	0.0036
129	0.0061	69	0.0071	87	0.0011
130	0.0072	70	0.0001	88	0.0031
138	0.0145	77	0.0011	89	0.0005
155	0.0136	78	0.0024	95	0.0012
156	0.0013	85	0.0006	96	0.0002
164	0.0035	86	0.0004	97	0.003
165	0.0097	87	0.0075	105	0.0013
173	0.0143	95	0.0012	106	0.004
182	0.0102	96	0.0078	114	0.0017
191	0.0125	103	0.0013	115	0.0044
199	0.0028	104	0.0076	122	0.0015
200	0.0117	105	0.0001	123	0.004
208	0.0159	112	0.0011	124	0.0006
217	0.0109	113	0.0053	131	0.0012
225	0.0121	114	0.0031	132	0.001
226	0.0011	122	0.0002	133	0.0035

234	0.0016	130	0.0009	140	0.0009
235	0.0129	131	0.0059	141	0.0047
244	0.0161	139	0.001	149	0.0014
252	0.0148	140	0.0063	150	0.0032
261	0.0118	147	0.0011	158	0.0015
262	0.0017	148	0.004	159	0.0033
269	0.0004	149	0.0018	160	0.0002
279	0.0139	156	0.0008	166	0.0013
288	0.0149	157	0.0003	167	0.0007
296	0.0131	158	0.0078	168	0.0033
297	0.0024	166	0.0012	175	0.0002
305	0.0025	167	0.0086	176	0.0011
306	0.0122	174	0.001	177	0.0045
314	0.016	175	0.0078	184	0.0016
323	0.0112	176	0.0001	185	0.0044
332	0.011	183	0.0009	193	0.001
333	0.0012	184	0.0054	194	0.0041
340	0.0013	185	0.0025	195	0.0003
341	0.0106	191	0.0006	202	0.0011
350	0.0146	192	0.0001	203	0.0003
358	0.015	193	0.0071	204	0.0027
367	0.0136	201	0.0011	206	0.0002
368	0.0017	202	0.0061	210	0.0001
376	0.0006	210	0.0013	211	0.0007
377	0.0107	211	0.0074	212	0.0038
385	0.0132	218	0.0012	229	0.0041
394	0.0104	219	0.0051	230	0.0001
		220	0.0026	237	0.0013
		227	0.0009	238	0.0013
		228	0.0004	239	0.0031
		229	0.0077	246	0.0003
		237	0.0087	247	0.0008
		245	0.0009	248	0.0045
		246	0.0073	255	0.0013
		254	0.0009	256	0.0042
		255	0.0046	264	0.001
		256	0.0016	265	0.0039
		262	0.0008	266	0.0001
		263	0.0001	273	0.0013
		264	0.0064	274	0.0019
		272	0.0011	281	0.0004
		273	0.0068	282	0.0009
		281	0.0014	283	0.0038
		289	0.0012	291	0.0015
		290	0.0066	292	0.0041



---

291	0.002	299	0.0015
298	0.0008	300	0.0041
299	0.0009	301	0.0001
300	0.0074	308	0.0014
307	0.0008	309	0.0019
308	0.0087	310	0.0025
316	0.0011	317	0.0002
317	0.0065	318	0.0044
325	0.0012	326	0.0012
326	0.0058	327	0.0029
327	0.0009	330	0.0002
333	0.001	335	0.0013
334	0.0005	336	0.0033
335	0.007	343	0.0014
343	0.001	344	0.0013
344	0.0082	345	0.002
351	0.0013	352	0.0006
352	0.0081	353	0.0008
360	0.0009	354	0.0042
361	0.0073	362	0.0015
362	0.0014	370	0.001
369	0.0008	371	0.0041
370	0.0001	372	0.0001
371	0.0066	374	0.0011
378	0.0007	375	0.0018
379	0.0072	376	0.0017
387	0.0011	382	0.0005
388	0.0059	383	0.0003
395	0.0012	384	0.0036
396	0.0067	392	0.0014
397	0.0006	393	0.003
404	0.0011	409	0.0014
405	0.0011	410	0.0024
406	0.0072	411	0.002
414	0.0009	418	0.0007
415	0.009	419	0.0005
422	0.0012	420	0.0044
423	0.0082	427	0.0012
431	0.0009	428	0.0042
432	0.0075	436	0.001
433	0.0011	437	0.0038
440	0.0003	445	0.0014
441	0.0059	446	0.0017
449	0.001	453	0.0008
450	0.0071	454	0.0006

---

458	0.0013	455	0.0039
459	0.0075	463	0.0014
466	0.0013	464	0.0042
467	0.0069	470	0.0014
468	0.0013	471	0.0042

---

## 附录 II

主、辅喷嘴气流在其喷射中心轴上某处的衰减率 A、B 的值

距离喷嘴出口的距离 (mm)	A 值	B 值
10	0	0.46153846
20	0.074712644	0.70673953
30	0.3192389	0.79849812
40	0.46153846	0.8465205
50	0.55463347	0.8760585
60	0.620283	0.896062
70	0.6690647	0.9105058
80	0.7067395	0.921425
90	0.736713	0.92997
100	0.761128	0.936838
110	0.781399	0.942479

### 附录III：攻读硕士期间发表的论文及发明专利

- [1] 林祝, 祝成炎, 郑智毓. 喷气织机引纬系统喷射距离与气压关系测试. 丝绸. 2008(6).
- [2] 祝成炎, 郑智毓, 林祝. 一种喷气织机引纬系统压力测试方法(专利).