

· 分析探讨 ·

# 喷气纺喷孔位置的优化

邢明杰 郁崇文 唐佃花

( 东华大学纺织学院, 上海, 200051 ) ( 德州学院纺织系 )

摘要: 喷气纺纱机的两喷嘴喷射孔位置是影响纱线强力的主要结构参数。利用通用旋转组合设计的方法研究了喷气纺纱机上两个喷嘴喷射孔的位置与喷气纱强力的关系, 建立了优化数学模型, 并给出了优化后的参数。

关键词: 喷气纺纱 喷射孔 位置 优化

中图分类号: TS 103. 272 文献标识码: A 文章编号: 0253-9721(2004)06-0025-03

喷气纺纱是借助压缩空气在 2 喷嘴中形成的 2 股相反的高速气流对丝束进行假捻包缠的一种新颖独特的纺纱方法。

与传统的纺纱技术相比, 喷气纺纱具有产量高、流程短、自动化程度高、适纺范围广等众多优点, 备受人们关注, 近年来发展非常迅速。但是, 喷气纺纱受其成纱机理的限制, 形成的是外包纤维包扎芯纤维的双层纱结构, 纱线并未获得真正的捻度, 所以强力比环锭纺纱强力低<sup>[1]</sup>。

本文利用通用旋转组合设计<sup>[2,3]</sup>研究了 2 个喷嘴喷射孔位置和喷气纱强力之间的关系, 并给出了最优的参数。

## 1 实验部分

### 1.1 材料

精梳涤/棉(30/70)粗纱, 定量为 4.4 g/10 m。

### 1.2 方案设计

由于第一喷嘴入口至其喷孔距离和第二喷嘴入口至其喷孔距离(即两喷嘴喷射孔的位置)对喷气纱强力均有影响, 并且它们之间的交互作用也会影响喷气纱强力的高低, 故选择二者为试验因子, 采用二因子二次通用旋转组合设计来安排试验方案。

其它参数: 第一喷嘴内径 2.2 mm, 喷孔直径 0.4 mm, 孔数 4 个, 喷孔角度 45°; 第二喷嘴内径入口 2 mm, 出口 4 mm, 喷孔直径 0.3 mm, 孔数 8 个, 喷孔角度 90°; 第一喷嘴气压 295 kPa, 第二喷嘴气压 442 kPa; 纺纱速度 180 m/min; 所纺纱为 18 tex 涤/棉(30/70)纱。

考察指标: 强力、强力不匀、伸长、伸长不匀。

因子水平编码表见表 1, 根据二因子二次通用旋转组合设计的要求, 排出二因子二次通用旋转组合设计的结构矩阵(见表 2), 并按各实验方案所规定的工艺进行实验, 获取原始数据。

表 1 优化因子水平编码表

$X_{ij}$	第一喷嘴入口至喷孔 距离( mm)	第二喷嘴入口至喷孔 距离( mm)
+ 1( +1 .414)	15	5
+ 1	14.12	4.41
0	12	3
- 1	9.88	1.59
- 1( -1 .414)	9	1

表 2 二因子二次通用旋转结构矩阵与实验数据表

方案	$x_1$	$x_2$	强力 ( cN)	强力不匀 ( %)	伸长 ( %)	伸长不匀 ( %)
1#	1	1	225.5	8.23	9.1	9.03
2#	1	- 1	241.3	7.14	9.6	7.96
3#	- 1	1	224.8	8.31	9.1	9.01
4#	- 1	- 1	246.2	6.92	9.7	7.94
5#	1.414	0	228.0	8.04	9.2	8.93
6#	- 1.414	0	230.2	7.83	9.2	8.95
7#	0	1.414	209.0	9.24	9.0	9.65
8#	0	- 1.414	254.6	6.72	9.8	7.82
9#	0	0	233.3	7.55	9.3	8.73
10#	0	0	236.6	7.44	9.4	8.65
11#	0	0	231.9	7.75	9.3	8.68
12#	0	0	238.0	7.22	9.5	8.37
13#	0	0	238.4	7.17	9.5	8.35

## 2 结果与分析

### 2.1 实验结果

对得到的实验原始数据剔除异常值, 进行正态性检验及方差一致性检验。结果表明剔除异常值后, 各方案内的原始数据均在一定程度上满足正态性, 各方案间满足方差一致性。分别求取各方案内原始数据的平均值, 列于表 2。

二因子二次回归方程模型一般通式如下:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2$$

各回归方程的显著性检验结果见表 3, 各指标的回归方程系数见表 4, 回归方程系数的显著性检验结果见表 5。

表3 各回归方程的显著性检验表

目标	强力	强力不匀	伸长	伸长不匀
$F_1$	4.9756	1.9788	0.4208	2.7801
$F_2$	11.8593	12.4625	18.0412	9.9040
$F$ 比	$F_1 < F_{0.01}(5,5) = 16.6944, F_2 > F_{0.1}(9,10) = 2.8833$			
说明	方程显著,拟合良好			

表4 各指标的回归系数表

指标	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{12}$	$b_{11}$	$b_{22}$
强力	235.6400	-0.9140	-12.7117	1.4000	-2.2700	-0.9200
强力不匀	7.4260	0.0546	0.7555	-0.0750	0.1776	0.2001
伸长	9.4000	-0.0125	-0.2789	0.0250	-0.0813	0.0187
伸长不匀	8.5560	0.0015	0.5910	0	0.1039	0.0014

表5 回归方程系数的显著性检验

指标	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_{12}$	$t_{11}$	$t_{22}$
强力	181.8760	0.8923	12.4096	0.9665	2.0662	0.8374
强度	69.4717	0.6464	8.9398	0.6276	1.9596	2.2079
强力不匀	181.7800	0.8746	12.4048	0.9661	2.0519	0.8180
伸长	210.1904	0.3536	7.8891	0.5000	2.1425	0.4944
伸长不匀	105.5091	0.0229	9.2186	0	1.5106	0.0200

注:进行  $t$  检验时,  $t_{0.1}(10) = 1.5332$ , 当  $t > t_{0.1}(10)$  时, 表示系数显著, 本过程及方程显著性检验均由计算机程序来完成。

### 2.2 实验结果分析

用所求出的各目标有效回归方程来分析各因子对目标的影响。根据有效回归方程, 利用 MATLAB 软件, 分别编程和绘制各目标函数的三维立体图, 如图1所示。分析其中的变化规律, 可以得出: (1) 随着第一喷嘴入口至其喷孔的距离的逐渐增大, 即打孔位置的不不断后移, 单纱强力、单强不匀、伸长均呈先增大后减少的趋势, 而伸长不匀变化不明显; (2) 随着第二喷嘴入口至其喷孔的距离的逐渐增大, 即打孔位置的不不断后移, 单纱强力、伸长均呈不断减少的趋势, 单强不匀先减少后增大变化, 伸长不匀是逐渐增大的。

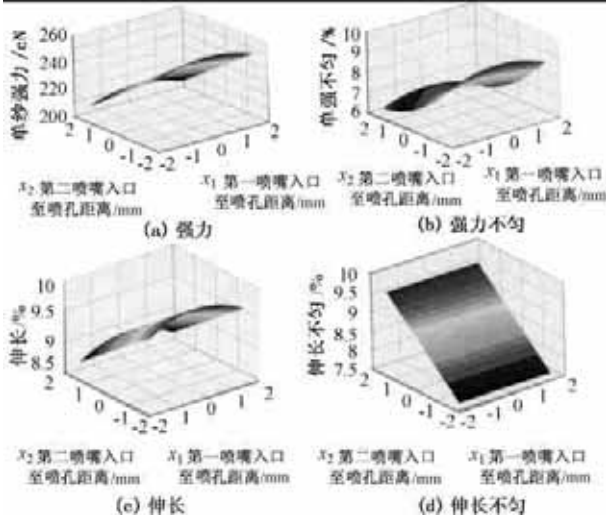


图1 第一喷嘴入口至其喷孔距离和第二喷嘴入口至其喷孔距离对成纱质量的影响

## 3 最优化及结果验证

### 3.1 参数优化

由于各目标对因子的取值有不同的要求, 因此要综合考虑各目标, 找出合理的参数。对喷嘴参数的设计, 旨在在提高单纱强力的前提下, 减小单强不匀, 同时保证伸长和伸长不匀的合理。因此, 将单纱强力、单强不匀、伸长和伸长不匀进行多目标统一, 约束条件主要源于对因子的约束。

利用最优试验设计求得的各变量因子与考察指标之间的高精度有效的回归方程, 用目标规划法建立如下优化数学模型:

目标函数如下:

$$F_1(x) = 235.64 - 12.7117x_2 - 2.27x_1^2$$

$$F_2(x) = 7.426 + 0.7555x_2 + 0.1776x_1^2 + 0.2001x_2^2$$

$$F_3(x) = 9.4 - 0.2789x_2 - 0.0813x_1^2$$

$$F_4(x) = 8.556 + 0.591x_2$$

建立如下优化数学模型:

$$\text{求: } X = [x_1, x_2]^T \in R^2, \text{ 使 } \min F(x) =$$

$$\min \left\{ \sum_{j=1}^q [F_j(x) / f_j^{(0)} - 1]^2 \right\}$$

受约束于:

$$g_1(x) = 1.414 + x_1 \geq 0$$

$$g_2(x) = 1.414 - x_1 \geq 0$$

$$g_3(x) = 1.414 + x_2 \geq 0$$

$$g_4(x) = 1.414 - x_2 \geq 0$$

其中,  $f_j^{(0)}$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) 为各考察指标实验结果中的最优值, 在此, 分别选取  $f_1^{(0)} = 254.6$ ,  $f_2^{(0)} = 6.72$ ,  $f_3^{(0)} = 9.8$ ,  $f_4^{(0)} = 7.82$ 。

采用随机方向搜索方法求解上述数学模型, 求得结果如下:

$$X = [x_1, x_2]^T = [0.0002, -1.414]^T$$

经解码得到最佳参数为:

$$Z = [z_1, z_2]^T = [12.0004, 1]^T$$

即, 第一喷嘴入口至喷孔距离为 12.0004 mm, 第二喷嘴入口至喷孔距离为 1 mm。

### 3.2 最优结果的实验验证

除第一喷嘴入口至其喷孔距离和第二喷嘴入口至其喷孔距离分别采用优化结果外, 其它实验条件同上。实验验证结果如下: 单纱强力为 253.8 cN; 单强不匀为 6.76%; 伸长为 9.8%; 伸长不匀为 7.72%。

将此数据与表2中的实验结果进行对比可以看出, 采用优化结果, 在其它实验条件相同的条件下,

实验结果均接近于原始方案。因此,可以认为在本实验研究条件下获得的优化结论可靠,即优化结果在一定的实验误差内是可信的。

## 4 结 论

通过优化实验可以得出,第一喷嘴入口至其喷孔距离和第二喷嘴入口至其喷孔距离(即两喷嘴喷射孔的位置)对喷气纱强力有很大影响,且当第一喷

嘴入口至其喷孔距离为 12.0004 mm,第二喷嘴入口至其喷孔距离为 1 mm 时的成纱强力最高。

## 参 考 文 献

- 1 金佩新等.喷气纺纱.北京:纺织工业出版社,1991.
- 2 陈立周.机械优化设计.武汉:武汉地质学院出版社,1986:65 ~ 116.
- 3 郁崇文.工程参数的最优化设计.上海:东华大学出版社,2003: 108 ~ 128.