

# 细纱机工艺优化设计

胡丽娟 汪立

(北京工业学院分院) (清河毛纺厂)

**【提要】** 本文通过对B582细纱机生产公制60支纯毛纱的上机工艺优化设计,介绍多因素、多指标质量问题的试验方法、模型建立与求解,应用于生产及取得的效果。

高支纯毛女式呢是生产量较大的传统外销产品之一,由于纱支较细,单纱强力低,断头多,是生产中的薄弱环节。如果粗纱质量正常,细纱机的前罗拉转速在合理范围之内,这时正确选择细纱上机工艺,对提高成纱条干均匀度和降低断头率就具有了关键作用。根据不同品种、原料和纱支来选择上机工艺,使在现有条件下,获得最好的质量指标值,这是一个多因素、多目标的优化问题。现将生产该产品所用60公支纱的某批原料品质列举于表1。其纺纱条件如下:前纺采用7道(包括混条),并合数为 $12 \times 4 \times 3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$ ,牵伸倍数为 $6.9 \times 7.77 \times 7.2 \times 7.14 \times 7.0 \times 4.8 \times 4.0$ ;粗纱回潮率15.17%,含油率0.887%,比电阻 $2.07 \times 10^{10}$ 欧姆,重量不匀率1.31%;细纱车间温度 $22 \sim 24^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度63~65%;细纱机前罗拉速度113转/分。

在粗纱下机储存期间,通过批头单纺,设计如下方案:

选定参变因素为牵伸倍数( $x_1$ ),牵伸罗拉加压( $x_2$ )与捻系数( $x_3$ ),其余有关参数均严格固定在不变的水平。采用中心组合旋转设计的实验方法。以中间生产水平为0,高于此生产水平为1,低于此生产水平为-1。第一步先做 $2^3$ 全因素试验。确定细纱条干不匀率,单纱强力,断头率,重量不匀率,重量差异率,毛粒等六项为目标函数值。用多元线性回归分析,并进行显著性检验。结果表明,六个质量指标值与因素之间不存在线性关系。为此第二步作 $5^3$ 试验,用二阶多项式逼近,二阶多项式模型最易于用解析法求解,一般说其精度已能满足要求,其通式为:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1^2 + b_8x_2^2 + b_9x_3^2$$

结果见表2、3。

## 一、实验设计与数学模型的建立

由于电子计算机的高速运算和准确性,使工艺优化试验可以在大批生产之前完成。

通过对二阶多项式的回归系数计算,对整个回归方程式进行F检验。此时分子自由度 $n=9$ ,分母自由度为 $m-n-1=10$ ,查F值在显著性水平时为:

表1 原料品质情况

品质	配比	细 度			长 度					其 他		
		平均细度(微米)	标准差	离散系数	加权平均长(毫米)	主体长(毫米)	主体基数(%)	标准差	离散系数	短毛率(%)	毛粒(个/克)	含油率(%)
70 <sup>o</sup>	35	20.3	4.23	20.8	79.5	70	43.54	2.99	37.61	3.1	2.0	0.416
64 <sup>o</sup>	65	22.2	4.98	22.43	77.6	80	50.23	2.69	34.66	3.5	0.6	0.782

表 2 5<sup>3</sup> 试验结果

因素水平	牵伸倍数 $x_1$	罗拉加压 $x_2$ (公斤/双锭)	捻系数 $x_3$	条干不匀率 (CV%)	单纱强力 (克)	断头率 (根/千锭时)	重量不匀率 (%)	重量差异率 (%)	毛 粒 (个/千锭)
+2	17.29	38.4	94.78						
+1	16.46	37	90.37						
0	15.24	35	83.91						
-1	14.02	33	77.46						
-2	13.19	31.6	73.05						
变异间距	1.22	2	6.46						
试验号									
1	+	+	+	22.33	84.0	240	1.81	1.46	153
2	+	+	-	22.78	70.3	454	2.63	0.61	195
3	+	-	+	22.60	80.8	220	1.35	0.49	170
4	+	-	-	22.75	75.9	260	1.73	0	179
5	-	+	+	22.73	86.4	200	1.90	0.24	175
6	-	+	-	22.73	74.2	146	2.20	0.12	150
7	-	-	+	22.35	83.6	122	2.16	0.85	148
8	-	-	-	22.40	83.6	360	2.76	1.10	158
9	-1.682	0	0	22.10	80.2	241	1.70	1.00	160
10	+1.682	0	0	23.90	79.7	380	3.20	-1.20	174
11	0	-1.682	0	22.76	81.4	262	2.00	-0.97	180
12	0	+1.682	0	22.20	81.2	190	1.15	0.65	177
13	0	0	-1.682	22.90	60.7	490	1.29	0.13	185
14	0	0	+1.682	22.20	86.7	135	1.31	0.51	160
15	0	0	0	22.50	82.2	410	2.40	0.85	155
16	0	0	0	22.90	80.1	133	1.93	1.94	173
17	0	0	0	22.75	81.2	135	1.28	0.63	166
18	0	0	0	22.83	83.3	210	1.17	0.71	183
19	0	0	0	22.76	80.5	175	2.94	-0.12	170
20	0	0	0	22.90	82.1	165	2.34	0.24	179

表 3 5<sup>3</sup> 的回归系数值

指 标	回 归 系 数 值										F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	
条干不匀率	22.752	0.241	-0.041	-0.128	-0.119	-0.069	-0.031	0.046	-0.084	-0.066	1.806
单纱强力	81.698	-1.113	-0.588	5.175	0.525	0.8	2.625	-0.339	-0.001	-1.9	11.488
断头率	202.273	39	-4.125	-71.75	43.75	-8.75	14.75	25.26	4.136	25.761	1.869
重量不匀率	2.053	0.094	-0.073	-0.129	0.273	-0.037	-0.018	0.131	0.088	0.156	0.639
重量差异率	0.784	-0.259	0.202	0.123	0.396	0.184	0.091	-0.164	-0.179	-0.059	1.017
毛 粒	163.864	5.875	0.75	-5.375	-2.5	-8.25	0.25	1.568	1.307	-0.193	1.40

$\alpha=0.01$  时  $F_{0.01}(9, 10)=4.94$

从表 3 可见:  $F_2=11.488 \gg F_{0.01}$ , 说明因素对指标有十分显著影响。

而  $\alpha=0.05$  时  $F_{0.05}(9, 10)=3.02$

由表 3 可见:  $F_1, F_3, F_4, F_5, F_6 < F_{0.05}$ , 说明其余因素对结果无显著影响。

由此可建立对细纱强力的回归方程式:

$$\hat{Y} = 81.698 - 1.113x_1 - 0.588x_2 + 5.175x_3 + 0.525x_1x_2 + 0.8x_1x_3 + 2.625x_2x_3 - 0.339x_1^2 - 0.001x_2^2 - 1.9x_3^2$$

## 二、解方程求最佳值的因素水平

对以上的回归方程式求导:

$$\partial Y / \partial x_1 = -0.678x_1 + 0.525x_2 + 0.8x_3 - 1.113 = 0$$

$$\partial Y / \partial x_2 = 0.525x_1 + 0.002x_2 + 2.625x_3 - 0.588 = 0$$

$$\partial Y / \partial x_3 = 0.8x_1 + 2.625x_2 - 3.8x_3 + 5.175 = 0$$

解以上联立方程式得:

$$x_1 = -1.565; x_2 = -0.718; x_3 = 0.536$$

用赫森矩阵A的性质来判断此驻点是否为极值点:

$$\partial^2 Y / \partial x_1^2 = -0.678; \partial^2 Y / \partial x_1 \partial x_2 = 0.525;$$

$$\partial^2 Y / \partial x_1 \partial x_3 = 0.8$$

$$\partial^2 Y / \partial x_1 \partial x_2 = 0.525; \partial^2 Y / \partial x_2^2 = 0.002;$$

$$\partial^2 Y / \partial x_2 \partial x_3 = 2.625$$

$$\partial^2 Y / \partial x_1 \partial x_3 = 0.8; \partial^2 Y / \partial x_2 \partial x_3 = 2.625;$$

$$\partial^2 Y / \partial x_3^2 = -3.8$$

故赫森矩阵A为:

$$A = \begin{bmatrix} \partial^2 Y / \partial x_1^2 & \partial^2 Y / \partial x_1 \partial x_2 & \partial^2 Y / \partial x_1 \partial x_3 \\ \partial^2 Y / \partial x_2 \partial x_1 & \partial^2 Y / \partial x_2^2 & \partial^2 Y / \partial x_2 \partial x_3 \\ \partial^2 Y / \partial x_3 \partial x_1 & \partial^2 Y / \partial x_3 \partial x_2 & \partial^2 Y / \partial x_3^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.678 & 0.525 & 0.8 \\ 0.525 & 0.002 & 2.625 \\ 0.8 & 2.625 & -3.8 \end{bmatrix}$$

$$\text{令 } a_{11} = -0.678 < 0$$

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = -0.277 < 0$$

赫森矩阵A为负定, 故驻点(-1.565, -0.718, 0.536)为极大值。

对应极大值的函数极大值为:

$$Y = 81.698 + 1.742 + 0.42 + 2.774 + 0.59 - 0.671 - 1.01 - 0.83$$

$$- 0.001 - 0.546 = 84.168$$

即细纱强力最佳值为84.168克, 此时因素水平值: 牵伸倍数13.33倍, 牵伸罗拉加压33.56公斤/双锭, 捻系数87.37。

## 三、数据分析与生产应用效果

1. 本次试验建立了细纱单纱强力与牵伸倍数、罗拉加压和捻系数之间的回归方程式, 并计算出达到最佳强力时的工艺参数值。在其它条件相同情况下, 单纱强力提高对降低断头作用显著。

2. 本次试验主要探索牵伸倍数、罗拉加压与捻系数对断头率等六个指标的影响, 而把过去已肯定的显著因素作为固定因素, 即粗纱回潮率为15%, 粗纱不匀率为1.4%, 前罗拉转速为113转/分。如果几个质量评价指标同时有相应的优化值时, 则最简单的方法是根据实际经验, 用加权平均方法处理之。

3. 断头率的单项回归系数值显著性检验表明, 捻系数与断头率存在线性关系,  $\therefore F_{(3)} = 9.1$ , 查表  $F_{0.05}(1, 10) = 4.96$ ,  $F_{(3)} > F_{0.05}$ , 说明捻系数增加, 断头减少; 同时牵伸倍数增加, 断头率增加。所以在产品设计允许情况下, 捻系数选择适当大些, 牵伸倍数略小些, 对降低断头有利。

4. 根据试验结果的最佳值, 结合生产可行情况, 对60公支纯毛纱取牵伸倍数14倍, 罗拉加压33公斤/双锭, 捻系数90.37, 共生产细纱6000公斤, 测得的各项指标见表4。可见, 优化工艺的效果十分显著。

表4 优化前后的成纱(60公支)质量对比

指 标	优化后	优化前	结果对比(%)
单纱强力(克)	82.5	79.8	+3.46
断头率(根/千锭时)	118	209	-43.06
条干不匀率(CV%)	22.01	23	-4.3
重量不匀率(%)	2.12	2.81	-24.56
重量差异率(%)	0.95	-1.01	-5.94

注: 优化前牵伸倍数16.46倍, 罗拉加压35公斤/双锭, 捻系数83.91。