

75-79

13

TQ342.62

第14卷 第1期

北京服装学院学报

Vol. 14 No. 1

1994年4月

Journal of Beijing Institute of Clothing Technology

Apr. 1994

用质量工程学方法优化丙纶纺丝 工艺参数设计^①

臧 昆

(机械与自动化系)

A

摘要: 用质量工程学中的正交优化法,以信噪比为分析依据,对丙纶长丝的纺丝工艺参数进行优化设计,提高了纤维的断裂强度。

关键词: 聚丙烯纤维;长丝;质量控制;正交优化法;信噪比。

中图分类号: TQ 340.64

1 问题的提出

某厂的一套从国外引进的丙纶纺丝机,由于设备老化,精度降低,严重影响丝的质量。特别是由于产品平均断裂强度只有 3.3 cN/dtex,直接影响销售。为此,我们应用日本统计学和质量专家田口玄一博士创立的质量工程学方法,对丙纶纺丝工艺参数进行正交优化设计,以期在不降低其他质量指标的前提下,改善纤维的断裂强度,提高工厂的经济效益。

质量工程学是田口玄一博士于 50 年代创立,60 年代开始发展,80 年代推广的一种新的质量控制理论,曾被誉为日本经济高速增长的“秘密武器”。其中的正交优化法是在试验设计中使用正交表的一种多因素优化方法,以信噪比(S-N 比)作为分析依据,以正交多项式和方差分析作为分析手段,具有使用简便、稳定可靠、效果明显的特点,可广泛应用于设计、生产、科研和管理领域,是降低成本、提高生产效率、改善质量的一种先进方法。

2 考核的指标与因素

我们的目的是在不降低其他质量指标的前提下,尽可能提高丙纶长丝的断裂强度,因此,作为主要考核指标的断裂强度应越大越好,属于望大特性。

在纺丝过程中,影响长丝强度的可控因素很多,例如纺丝温度和压力、纺丝速度、冷吹风

表 1 可控因素水平表

因 素	水 平		
	1	2	3
纺丝温度 A	A ₁	A ₂	A ₃
牵伸辊温度 B	B ₁	B ₂	B ₃
牵伸倍率 C	C ₁	C ₂	C ₃

① 收稿日期:1993-09-24. 作者通讯处: 100029 北京服装学院机械与自动化系。

温度、牵伸倍率、牵伸辊温度以及卷绕张力等。根据实际的情况和条件,我们确定考察纺丝温度(因素A)、牵伸辊温度(因素B)及总牵伸倍率(因素C)对纤维强度的影响。这三个因素都取三水平,三个水平由小到大呈等间隔变化,因素水平表见表1。因素A的水平间隔 h_A 为5℃;因素B的水平间隔 h_B 为10℃;因素C的水平间隔 h_C 为0.27。

3 试验设计及数据分析处理

3.1 试验设计

选用 $L_9(3^4)$ 正交表安排可控因素,得到表2所示的试验方案,其中第3列e为误差列。实际试验时,次序随机确定。对于每一号试验,在调好参数后稳定1.5h,从产品中取出2个样品测试,得到纤维强度(y_1 和 y_2)记入表2中。

3.2 数据分析处理

在质量工程学中,不管所考察的质量特性值具有何种性质,最终都要换算成信噪比作为统计分析的特性指标。它近似服从正态分布规律,并且物理意义明确,是质量特性值的有效部分(信号)与无效部分(噪声)之比,因此具有统一性,即不管原来的质量特性值有何种属性,作为信噪比来说,总是越大越好。

纤维强度属于望大特性,信噪比公式为^[1]

$$\eta_i = -10 \lg \frac{1}{2} \left(\frac{1}{y_{1i}^2} + \frac{1}{y_{2i}^2} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, 9)$$

由此式计算出各号试验的信噪比数据,一并记入表2最后一列中。

表2 试验设计及结果处理

(K=A,B,C)

试验号	A	B	e	C	纤维强度/(cN · dtex ⁻¹)		η_i /dB
	1	2	3	4	y_1	y_2	
1	1	1	1	1	3.32	3.40	10.52
2	1	2	2	2	3.78	3.82	11.60
3	1	3	3	3	3.59	3.53	11.03
4	2	1	2	3	4.56	4.52	13.14
5	2	2	3	1	3.98	4.01	12.03
6	2	3	1	2	4.42	4.38	12.87
7	3	1	3	2	4.41	4.46	12.94
8	3	2	1	3	3.81	3.78	11.58
9	3	3	2	1	3.86	3.84	11.71
T_{1K}	33.15	36.60	34.97	34.26			
T_{2K}	38.04	35.21	36.45	37.41			
T_{3K}	36.23	35.61	36.00	35.75			

对所得到的9个信噪比数值作统计分析,总和

$$T = \sum_{i=1}^9 \eta_i = 107.42,$$

平均值

$$\bar{T} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \eta_i = 11.9356,$$

修正值

$$CT = \frac{1}{9} \left(\sum_{i=1}^9 \eta_i \right)^2 = 1282.1174,$$

总波动平方和

$$S_T = \sum_{i=1}^9 \eta_i^2 - CT = 6.455.$$

为了分析每个因素对信噪比波动的一次项影响和二次项影响程度,可计算正交多项式回归的一阶波动平方和 S_{1K} 和二阶波动平方和 S_{2K} [2,3]

$$S_{1K} = \frac{1}{6} (-T_{1K} + T_{3K})^2$$

$$S_{2K} = \frac{1}{18} (T_{1K} - 2T_{2K} + T_{3K})^2$$

最后得到的方差分析结果见表 3.

表 3 方差分析表

方差来源	波动平方和 S	自由度 f	方差 V	方差比 F	显著性
A_1	1.581	1	1.581	7.22	显著 *
A_2	2.494	1	2.494	11.39	显著 *
B_1	0.163 Δ	1 Δ			
B_2	0.178 Δ	1 Δ			
C_1	0.370 Δ	1 Δ			
C_2	1.285 Δ	1	1.285	5.87	
e	0.384 Δ	2 Δ			
(\bar{e})	(1.095)	(5)	(0.219)		
T	6.455	8		$F_{5'}(0.05) = 6.61$	

在方差分析中,考虑到带“ Δ ”的项较小,故合并作为误差平方和 S_e ,相应的误差自由度也进行合并.由数理统计中的 F 检验可判定,因素 A 的一次项和二次项均为显著.

4 确定最佳纺丝工艺参数及试验验证

根据显著因素选择最优水平,次要因素水平恰当选取的原则,可确定最佳参数组合为 $A_2B_1C_2$.

在最佳参数组合条件下,信噪比的工程平均估计计算为

$$\begin{aligned}\hat{\eta} &= \bar{T} + (\bar{A}_2 - \bar{T}) + (\bar{C}_2 - \bar{T}) = \bar{A}_2 + \bar{C}_2 - \bar{T} \\ &= \frac{1}{3}(38.04 + 37.41) - 11.9356 = 13.21\end{aligned}$$

由于考虑到因素 C 的二次项方差比较大,所以在计算工程平均估计时也包括在其中. 区间估计的计算公式为^[2]

$$\delta = \sqrt{F_{f_s'}(\alpha) \cdot \frac{V_s}{n_e}}$$

式中, n_e 为有效重复数^[2]

$$\begin{aligned}n_e &= \frac{\text{总实验次数}}{1 + \hat{\eta} \text{ 中用到的显著效应自由度之和}} \\ &= \frac{9}{1 + 2 + 1} = 2.25.\end{aligned}$$

由 F 分布表^[4]查得 $F_{f_s'}(\alpha) = F_{5'}(0.05) = 6.61$, 由表 3 查得 $V_s = 0.219$, 因此

$$\delta = \sqrt{6.61 \times \frac{0.219}{2.25}} = 0.80.$$

在最佳参数组合条件下,信噪比的工程平均的 95% 置信区间为

$$(13.21 - 0.80, 13.21 + 0.80) = (12.41, 14.01).$$

经实际的试验验证,在最佳纺丝工艺参数条件下,产品断裂强度平均为 4.66 cN/dtex, 信噪比值为 13.37, 置信区间覆盖了试验验证数值. 结果表明,在不降低其他质量指标的前提下,断裂强度提高了约 40%.

5 结束语

应用质量工程学对纺丝工艺参数进行优化设计,以较少的试验次数,取得明显效果,表明质量工程学中的正交优化法是一种投入少、收益大的最优化方法.

应用质量工程学方法,可以在诸多的影响因素中,确定主要的因素及其影响的程度. 利用正交多项式的波动分析和方差分析,给问题的分析与解决提供了一个好的工具.

由工序平均估计与试验验证所得到的结果是相近的,表明质量工程学方法是可靠的.

参 考 文 献

- 1 田口玄一. 开发、设计阶段的质量工程学. 中国兵器工业质量管理协会译. 北京,兵器工业出版社,1990. 92
- 2 中国兵器工业质量管理协会. 质量工程学. 北京:北京理工大学出版社,1991. 292,313
- 3 田口玄一. 实验设计法概论. 中国兵器工业质量管理协会译. 北京,兵器工业出版社,1990. 96
- 4 严圣武. 质量控制. 北京:北京工业学院出版社,1986. 228

Optimal Design of PP Spinning Technological Parameters by Using the Method of Quality Engineering

Zang Kun

Abstract: By using the orthogonal optimal method in the quality engineering and in accordance with the signal-noise ratio, an optimal design of the spinning technological parameters of PP filament is suggested, which promote the breaking tenacity of the filament remarkably.

Key words: polypropylene fibres; filament yarn; quality management; orthogonal optimal method; signal-noise ratio



“熔喷法沥青碳纤维制造”项目通过技术鉴定

碳纤维作为一种增强纤维,由它制成的复合材料具有高强、高模、比重轻、热膨胀系数小、耐化学腐蚀和耐热性好、尺寸稳定等优异性能,是航空航天军工等领域不可缺少的材料。碳纤维在工程建筑和高级体育用品方面的应用也越来越显示出强大的生命力。因此发达国家把碳纤维作为最有发展前途的高科技纤维材料,进行研究和开发。

碳纤维制造属于高科技,国内外对此技术极为保密。我院“熔喷法沥青碳纤维制造”科研组在全面研究沥青性能的基础上,自力更生地开发出熔喷法制造通用级沥青纤维的生产技术。该技术具有生产工艺流程短、原料价格便宜、生产能力大、成本低及产品应用领域广等优点,具有很强的竞争力。在 1994 年 1 月 18 日由中国石化总公司发展部主持的鉴定会上,该项科研成果得到专家们的一致肯定,并给予较高评价与会专家认为,沥青熔喷纺丝技术难度很大,该研究以国产通用级石油调制沥青为原料,采用熔喷法纺丝方法,制成合格的沥青碳纤维,质量已接近美国阿什兰公司产品指标。科研组对沥青流变性、热性能、可纺性、熔喷纺丝工艺、分子量测定方法、碳纤维结构与性能以及熔喷纺丝设备等方面进行了全面研究,所得到的有些结论在国内外均未见到相同报导,其理论研究结果对扩大试验具有重要的指导意义。科研组还成功地设计出符合熔喷纺丝要求的、直径 25 mm 的排气和非排气两用单螺杆挤出机,这对发展我国通用级沥青碳纤维有着重要意义。

与会代表一致认为,鉴于沥青碳纤维市场前景广阔,建议在本科研究成果的基础上进一步继续扩大试验。科研组的研制人员殷切希望继续得到中国石化总公司发展部和国内外大企业集团的支持,将科研成果尽快推向市场,促进我国沥青碳纤维的发展和应用,填补国内空白。

(李宗新)