

用价值工程理论优化混合浆液配比的探讨

喻清漪 邹绍敏

(天津纺织工学院)

【摘要】 本文对 T65/C35 经纱使用 PVA/DS-HP 混合浆液上浆的等距离散试验测试数据,应用数学模型,使其规范化,并用三次样条函数捕捉更多的信息。最后,对可行方案引入价值工程进行优化。其结果表明:PVA:DS-HP 在 100:40 至 100:160 间以 100:121 最为理想。本方案具有浆纱质量好、环境污染小、成本低、企业经济效益高等优点。

一、引言

近几年,在涤棉纱的上浆中,不少厂家逐步使用变性淀粉和 PVA 混合浆,但变性淀粉使用比例仍偏少,大多为 PVA 的 40% 左右。昂贵的 PVA 比例偏大,这不仅增加了经纱上浆的成本,而且还产生环境污染大、分纱困难,影响浆膜完整等弊病。为此,笔者在对试验数据进行优化分析的基础上,通过计算机数据处理,找出合理配比,以便进一步提高浆纱质量,降低上浆成本。

二、试验

变性淀粉的种类很多,石家庄研制的 DS-HP 浆料是玉米淀粉在碱性条件下与氧化丙烯反应,得到羟丙基淀粉后,再给予轻度的羟乙基化,即制成 DS-HP 变性淀粉,其醚化度小于 20。与 PVA 混合使用,具有许多优点。根据涤纶、棉、DS-HP、PVA 四种高聚物的特性,则 PVA 和 DS-HP 之间必然存在着一个最佳比例。

本试验以 PVA 为 100, DS-HP 分别为 40、60、80、100、120、140、160 调成 7 种混合浆,以 7 种方案在小样浆纱机上,对 T65/C35 13tex 纱进行上浆,测定浆纱强力、伸长、耐磨、毛羽;并做浆液的粘着力、粘度、表面张力、浆膜的强力、浆膜的伸长、浆膜的耐磨

等项目的测试。测试结果见表 1。

三、功能评价的建立

对各项指标进行方差分析,均有显著差异。由表 1 中看出,某一配比,并非各项指标相对于其他配比都绝对好。这就需要建立一种最佳度量各种方案(配比数)的功能指标。

1. 评价各项指标的功能

对表 1 中测试的七个方案的各自十项指标功能,由于不存在某一绝对好或坏的临界值,不能采用数学中的 0 或 1 值,而采用浓缩映射法,使指标中相对的最差值对应为 1,最优值对应为 2,则各功能的映射值 A_{ij} 计算如下。

试验值越大越好时:

$$A_{ij} = (a_{ij} - x_i) / (d_i - x_i) + 1$$

$$(i = 1, 2 \dots 10; j = 1, 2 \dots 7)$$

式中: A_{ij} —第 i 项指标,第 j 个方案的功能映射值; a_{ij} —第 i 项指标,第 j 个方案的试验值; d_i —第 i 项指标,各方案中最大值; x_i —第 i 项指标,各方案中的最小值。

同理,当试验值越小越好时:

$$A_{ij} = (d_i - a_{ij}) / (d_i - x_i) + 1$$

使用上面两公式,可将每项指标中各方案数据由差到好,按比例地映射到区间 [1, 2] 上如表 2。

2. 功能评价的建立

表 1 PVA/DS-HP 混合浆液不同混比上浆性能

项 目		原纱 T/C13/tex	100:40	100:60	100:80	100:100	100:120	100:140	100:160
浆液	粘度(mPa·s)		20	28	40	44	50	46	49
	粘着力(N)		80.458	93.884	169.05	178.36	183.456	191.884	201.096
	表面张力(mN/m)		72.04	60.58	61.57	61.64	61.55	58.44	63.06
浆膜	断裂强力(N)		8.65	6.93	11.20	15.14	10.43	13.57	13.60
	断裂伸长(%)		36.29	67.05	11.05	6.13	7.60	3.75	3.83
	耐磨(失重克数)		5.30	5.90	7.16	7.78	7.80	8.36	9.80
浆纱	断裂强力(N)	2.11	2.48	2.49	2.53	2.48	2.57	2.40	2.50
	增强率(%)		17.900	18.231	19.724	17.691	21.993	13.827	18.620
	断裂伸长(%)	9.96	6.44	6.46	6.62	7.36	7.76	7.44	7.16
	减伸率(%)		35.34	35.14	33.53	26.10	22.09	25.31	28.12
	耐磨(次)	44.1	61.4	69.6	81.8	70.0	84.6	76.6	56.7
	增磨率(%)		39.23	57.82	85.49	58.73	91.84	73.70	28.57
	2~3mm毛羽(根/米)		4.75	3.20	4.40	6.70	3.30	5.40	6.40

注：(1) 粘度试验采用旋转式粘度计；(2) 粘着力试验按棉织手册记载的方法；(3) 浆膜的强力、伸长在(津岛)万能强力机上测试。(4) 纱线毛羽用 YG171 型毛羽仪测试；(5) 浆纱的强力、伸长用 Y301 型单纱强力机测试；(6) 浆膜耐磨用 Y522 型圆磨仪；(7) 浆液的表面张力用 JZHY-180 型表面张力仪测试；(8) 纱线耐磨用 LFY-2 型纱线耐磨仪，预加张力 0.098N，速度 195 次/分。

表 2 不同混比混合浆各项指标功能映射值

项 目		100:40	100:60	100:80	100:100	100:120	100:140	100:160
浆液	A 粘度(mPa·s)	1	1.267	1.067	1.8	2	1.867	1.967
	B 粘着力(N)	1	1.111	1.734	1.812	1.854	1.924	2
	C 表面张力(mN/m)	1	1.84	1.770	1.76	1.77	2	1.66
浆膜	D 断裂强度(N)	1.21	1	1.52	2	1.43	1.81	1.81
	E 断裂伸长(%)	1.51	2	1.12	1.04	1.06	1	1.00
	F 耐磨(失重克数)	2	1.87	1.59	1.45	1.44	1.32	1
浆纱	G 增强率(%)	1.499	1.539	1.722	1.473	2	1	1.587
	H 减伸率(%)	1	1.02	1.14	1.70	2	1.76	1.545
	I 增磨率(%)	1.17	1.46	1.90	1.48	2	1.71	1
	J 毛羽(根/米)	1.56	2	1.66	1	1.97	1.37	1.09
功能评价		26.93	190.79	476.92	224.37	1799.32	318.89	70.58

为了易于比较分析各方案中功能综合指标值间的差异，现采用优于连加的方法来求功能评价。

$$S_j = \prod_{i=1}^{10} A_{ij}$$

$$(i=1,2,\dots,10; j=1,2,\dots,7)$$

得出七种配比的功能评价(见表 2)。K_i 为第 i 项指标的权重。对各项指标评价采用一对一强制确定法，重要的得 0.2 分，相对不重要的得 0.1 分。统计各项指标权重见表 3。

由于不可能做出 PVA/DS-HP 的所有配比方案试验的各项指标数据，就有可能使最佳 PVA/DS-HP 配比的数据丢失。这就需要建

表3 各项指标权重

指标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K _i
A	×	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1
B	0.2	×	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	1.5
C	0.1	0.1	×	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1
D	0.1	0.1	0.1	×	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	1.1
E	0.2	0.1	0.1	0.1	×	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	1.1
F	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	×	0.2	0.2	0.1	0.1	1.6
G	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	×	0.1	0.1	0.1	1.2
H	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	×	0.1	0.1	1.3
I	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	×	0.2	1.8
J	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	×	1.7

立合理的数学模型，依据试验所测得的数据进行插值处理。因此，我们采用三次样条插值的方法来捕捉未做试验的各配比方案的功能综合指标值。设淀粉为插值号： $x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n$ ，其对应函数值为 $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ ，在 $[x_0, x_n]$ 上， $y = f(x)$ 的三次样条函数 $W(x)$ 满足下列条件：

- (1) 在 $[x_j, x_{j+1}]$ 上 W 是三次多项式， $j = 0, 1, \dots, n-1$
- (2) $W(x_j) = f(x_j) = y_j$ ($j = 0, 1, \dots, n-1$)， $W(x)$ 是在 $[x_0, x_n]$ 上的光滑连续的曲线 (有二阶连续导数)。

在 $[x_j, x_{j+1}]$ 上， $j = 0, 1, 2, \dots, n-1$ 时有三次样条函数为：

$$\begin{aligned}
 f(x) \approx W(x) = & [(3/h_j^3)(x_{j+1} - x)^2 \\
 & - (2/h_j^3)(x_{j+1} - x)^3]y_j \\
 & + h_j[(3/h_j^3)(x - x_j)^2 \\
 & - (2/h_j^3)(x - x_j)^3]y_{j+1} \\
 & + h_j[1/h_j^3(x_{j+1} - x)^2 \\
 & - (1/h_j^3)(x_{j+1} - x)^3]m_j \\
 & - h_j[1/h_j^3(x - x_j)^2 \\
 & - (1/h_j^3)(x - x_j)^3]m_{j+1}
 \end{aligned}$$

式中： $h_j = x_{j+1} - x_j$ ， $m_j = W'(x_j)$ ；且在起终点，令二阶导数为零。由此就可将表2中七种配比的功能评价价值数据代入三次样条函数用微机进行插值处理，得出 PVA/DS-HP 配比由 100:40~100:160 间隔为任意小的各种配比值

的功能评价价值及其曲线(见图1中曲线I)并可看出其最优功能评价价值为1799.57，所对应的 PVA/DS-HP 的配比为 100:121。

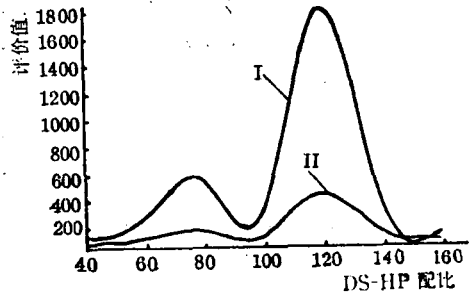


图1 DS-HP 配比评价价值曲线图

四、价值工程分析

长期以来，浆料费用在纺织工业中一直占据很大的比例，采用 PVA 造成的污染也相当大。因此，对于新浆料的研究和开发除了要保证新产品的功能外，还要考虑其经济性，使两者指标的综合值处于最优状态。这就需要运用价值工程理论。

价值工程简称 VE，它主要是围绕产品或某项工程研究的三个要素：综合评价价值、功能评价价值和成本三者之间的关系。其方程为：

$$\text{综合评价价值}(V) = \frac{\text{功能评价价值}(W)}{\text{成本}(C)}$$

由此公式可引伸出提高产品价值或工程价值的五种途径。因此，对于浆料的新工艺除了研究出上述功能评价价值各可行方案及最佳方案外，再引入成本，求出新工艺中各种可行方案的综合评价价值(V)，并比较出最优综合评价价值的新工艺投入生产。

1. 成本的建立

根据当前市场价格的调研，每公斤 PVA 和 DS-HP 的价格分别为 8 元和 2.2 元。显然，其混合物 PVA/DS-HP 每公斤的成本(略去工时、机器折旧等费用)为：

$$\text{成本}(C_j) = \frac{8 \times 100 + 2.2 \times \text{DS-HP 的配比数}}{100 + \text{DS-HP 的配比数}}$$

2. 综合评价价值(V)的建立

$$V_j = W_j / C_j \quad (j = 40, 41, \dots, 160)$$

式中： W_j 为用三次样条插值后的功能评价价值。由此式计算出PVA为100时，DS-HP为40~160中间，间隔为1的各配比所有综合评价价值(见图1中曲线II)。而最优综合评价价值 $V_j = 372.208$ ，PVA/DS-HP的配比为100:121。最劣综合评价价值 $V_j = 4.245469$ ，其PVA/DS-HP的配比为100:40。这一结果显示了由价值工程分析出的最优配比恰好与最优功能评价价值的配比相同。这一理想配比的获得是因混合浆液的成本函数 $C_j(C_j = (8 \times 100 + 2.2x_j) / (100 + x_j))$ ， x_j 为DS-HP的配比数)的一次导数 $C'_j(C'_j = -580 / (100 + x_j)^2)$ ，即成本的下降速度与 $(100 + x_j)$ 的平方成反比。使综合评价价值的最优配比一定出现在功能评价曲线最优配比处或其右侧(见曲线II)。

3. 最优配比的各项指标

由三次样条插值函数反求PVA/DS-HP配比为100:121时的十项指标如表4所示。从表中可见，各项指标基本上都较表1中各配比下的每一组指标为好或近似相等。

表4 最优配比各项指标

项 目		100:121
浆液	粘度(mPa·s)	50.232
	粘着力(N)	185.146
	表面张力(mN/m)	61.73
浆膜	断裂强力(N)	10.36
	断裂伸长(%)	7.34
	耐磨(失重克数)	7.77
浆纱	增强率(%)	21.848
	减伸率(%)	22.199
	增磨率(%)	92.84
	2~3mm毛羽(根/米)	3.19

五、生产效果

生产13×13 378×283.5 119cm T65/C35细布，我们采用1799PVA和NS-85变性淀粉(厂里正在使用这种变性淀粉，无DS-HP)混合浆，其混合比为PVA:NS-85=100:120浆

出的纱供1515-142cm织机织造，其效果见表5。

表5 浆纱性能与织造效果

项 目	100:120	100:50
上浆率(%)	9.43	9.84
耐磨性(次)	276.8	227.26
断裂强度(N)	2.58	2.44
断裂伸长(%)	6.81	6.52
3mm毛羽数(根/米)	2.3	3.7
布机经断(根/台·时)	0.61	0.69

总之，采用适当比例混合浆，可增加变性淀粉的耐磨性，又降低PVA内聚强度，改善分纱性能，使浆纱圆整、清爽，织造开口清晰，具有良好可织性能。

六、小结

1. 本文在试验的基础上，并对其数据运用科学的数学模型及价值工程理论来分析研究，具有以下优点：

(1) 映射可把不同量纲、不同优劣趋势的试验数据统一规格化，充分显示出试验数据中的绝对差异及同一方案中不同指标的优劣性。

(2) 过去对试验数据一般采用连加的方法，但是对指标差异性极小的各组数据往往显示不出来，连乘的结果就能扩大其相互的差异性，以便分析对比。

(3) 三次样条函数可以捕捉到更多的信息来代替部分未做试验的数据，且当试验数据准确及足够多时，捕捉的信息也是足够准确的。

(4) 运用价值工程理论得出的优化结果更具有经济性、实用性和市场竞争性。

2. PVA与DS-HP混合浆液，从技术上看，用于T65/C35上浆是可行的。其优化结果显示的最优比例为100:121。而通常采用的比例100:40是最劣配比，当然浆出的纱效果最差。这说明PVA作为浆料虽其性能优于变性淀粉，但使用混合浆时，不能认为使用DS-HP越少其浆纱效果越好。试验和理论分析证明，它们存在着一个合理的配比。生产实践也

证明了采用优化后的最佳比例的混合浆浆出的纱，强力高、减伸率适中、毛羽少、耐磨性能好，为织造时开口清晰提供了有利条件。

3. 对于 T65/C35 经纱使用 PVA 上浆，成本过高，环境污染严重。现以变性淀粉与部分 PVA 经科学合理的优化组配既能减少环境污染，又能降低成本，增加企业的经济效益。

参考资料

- [1] 李岳生等著：《样条函数方法》，科学出版社，1979年。
- [2] 相国良等译：《价值分析与价值工程技术》，北京技术经济和管理现代化研究会出版，1984年。