

# 数学建模-省赛

## 题目

### 人造革性能优化设计研究

人造革是由高分子材料（树脂）制成的，形成纤维状物质，再通过固化处理等工艺，使其具有类似皮革的质感和外观。同时，它还具有高强度、高耐磨和柔软的特点，因此在制作服装等产品时得到了广泛应用。研讨可控的工艺参数（实验室里人为可以控制的实验条件，以下均简称工艺参数）对人造革性能的影响，从而制作出优异的人造革产品，是人造革生产者孜孜不倦的追求。

为此，依据生产经验，生产者进行了针对性的实验。在实验中，将针刺非织造布（基布）进行定型、树脂含浸、碱减量等工序后制备人造革，对所制得的人造革进行多种性能测试。对于人造革而言，其产品的性能可以分为三类，分别为力学性能（断裂强力、断裂伸长率、撕裂强力）、热湿舒适性能（透气率、透湿率）以及柔软性能（柔软度、折皱回复角）。对于力学性能而言，我们需要产品尽可能的抗断裂、抗撕裂。对于柔软性能，则需要织物手感柔软，折皱回复角大。对热舒适性而言，好的人造革织物，其透气率和透湿率高，都可以让水蒸气快速排出，增加穿着舒适度。

“附件1-附件7”中给出了不同工艺参数(树脂含量、固化温度和碱减量程度)下制备的人造革产品的实验数据，每个工艺参数有四个水平，共有16组实验，每组实验重复三次。在每组实验下测出了人造革的性能指标数据。数据的相关说明见题后的附录。

请查阅相关文献，了解专业背景，研究实验数据，解决以下问题：

1. 根据工作经验，工艺参数与产品性能之间、不同产品性能之间可能存在着关联性。而且，相对于人造革的性能而言，工艺参数之间可能存在着交互作用。请分析这些关系。
2. 在问题1研究的基础上，请分别建立工艺参数与人造革7种性能之间的关系模型，阐明建模的理由。通过关系模型，找到最优断裂强力、最优断裂伸长率、最优撕裂强力、最优透气率、最优透湿率、最优柔软度、最优折皱回复角各自的最佳工艺参数。
3. 在实际工作中，人造革的多种性能很难同时达到最佳，需要根据不同的需求目的采用不同的工艺制作条件。（1）请建立数学模型，分别分析追求最优力学性能、最优的热湿舒适性、最优柔软性能需要的工艺参数；（2）建立数学模型，分析人造革7项指标综合性能最优所需要的工艺参数；（3）将（1）和（2）的结果进行比较。

4. 某沙漠科考队对人造革提出了独特的要求。他们需要的人造革要优先满足热湿舒适性，其次再考虑力学性能和柔软性能，而且还要求各种性能指标尽量接近问题2中的最佳水平。基于上述要求，请为科考队设计出最佳性能的人造革。

### 附录：数据的相关说明

1. 性能指标数据有7个Excel表，表格右边是16组正交实验条件，表格的左边是对应的16组实验重复3次的性能指标数据。
2. 断裂强力、断裂伸长率、撕裂强力、透气率、透湿率、柔软度、折皱回复角在本研究中都是越大越好。
3. 折皱回复角度代表的是回复性。测试是先在织物上加重力，然后撤去，看这个织物恢复到原来平整状态的角度，所以是越接近180度越好。
4. 透气率和透湿率，实验室测试的是人造革织物由内向外的透气透湿性能，因此越大越好。
5. 注意：由于数据并不是真实的实验数据，为避免学术问题，请不要将这些数据用于发表论文。

### 16组正交实验条件（三因素四水平）

试验号	因素1（树脂含量）	因素2（固化温度）	因素3（减量程度）
1	15wt%	100°C	0%
2	15wt%	110°C	10%
3	15wt%	120°C	20%
4	15wt%	130°C	30%
5	20wt%	100°C	10%
6	20wt%	110°C	0%
7	20wt%	120°C	30%
8	20wt%	130°C	20%
9	25wt%	100°C	20%
10	25wt%	110°C	30%
11	25wt%	120°C	0%
12	25wt%	130°C	10%
13	30wt%	100°C	30%

14	30wt%	110°C	20%
15	30wt%	120°C	10%
16	30wt%	130°C	0%

## 思路

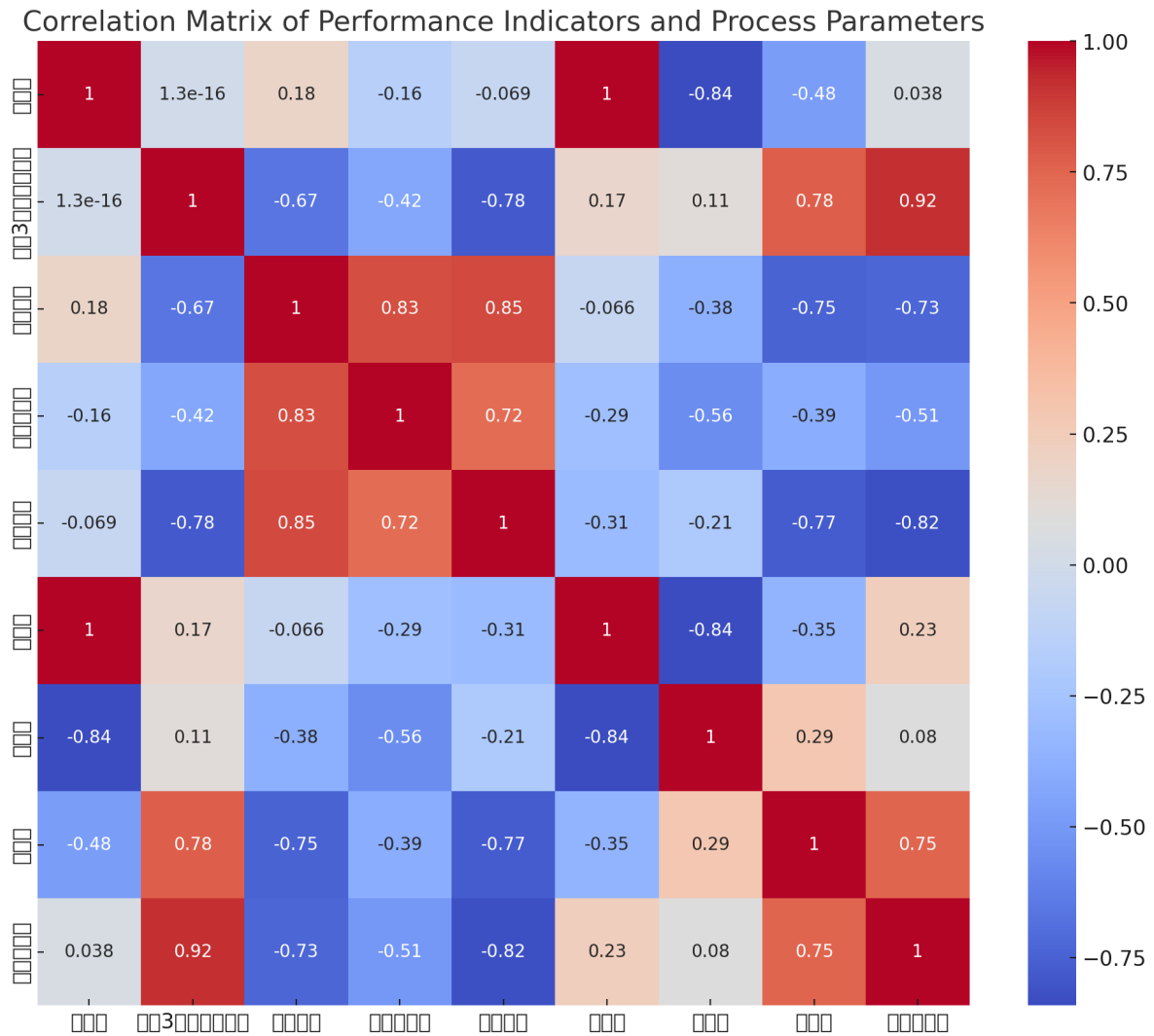
### 问题1: 分析工艺参数与产品性能及其相互关系

#### 1. 数据预处理：

- 从“附件1-附件7”中提取数据，进行必要的清洗和整理。
- 计算每组实验的性能指标平均值。

#### 2. 相关性分析：

- 使用Pearson相关系数或Spearman相关系数分析工艺参数（树脂含量、固化温度、碱减量程度）与各性能指标（断裂强力、断裂伸长率、撕裂强力、透气率、透湿率、柔软度、折皱回复角）之间的关系。



- 生成相关矩阵和散点图矩阵，直观显示参数与性能之间的相关性。

### 3. 交互作用分析：

- 使用方差分析（ANOVA）或多元线性回归模型，评估工艺参数之间的交互作用对性能的影响。
- 构建交互作用图，显示不同工艺参数水平组合对性能的影响。

### 4. 多元线性回归模型：

- 建立多元线性回归模型，预测工艺参数对各性能指标的影响。模型形式为：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_2 + \beta_5 X_1 X_3 + \beta_6 X_2 X_3 + \epsilon$$

- 其中，Y 为性能指标，X1,X2,X3 分别为树脂含量、固化温度和碱减量程度。

## 问题2: 建立工艺参数与性能指标的关系模型，找到最佳工艺参数

### 1. 单目标优化模型：

- 对每个性能指标分别建立回归模型，使用上面多元线性回归模型的结果。

断裂强力模型结果

- 通过优化方法（如梯度下降、遗传算法等），找到使各性能指标达到最佳的工艺参数组合。
- 确定每个性能指标的最佳工艺参数组合。

### 2. 建模理由：

- 解释模型选择的原因，如多元线性回归的适用性、交互作用分析的必要性等。

## 问题3: 多目标优化模型

### 1. 分目标优化：

- 建立单目标优化模型，分别分析追求最优力学性能、最优热湿舒适性、最优柔软性能的工艺参数。
- 使用Pareto优化方法，获得不同目标的最佳工艺参数组合。

### 2. 综合性能优化模型：

- 使用多目标优化方法（如多目标遗传算法、层次分析法），综合考虑各性能指标，建立多目标优化模型。
- 目标函数形式为：

$$\min \left( w_1 \left( \frac{1}{Y_1} \right) + w_2 \left( \frac{1}{Y_2} \right) + \cdots + w_7 \left( \frac{1}{Y_7} \right) \right)$$

- 其中，Y1,Y2,...,Y7 为7项性能指标，w1,w2,...,w7 为各指标的权重。

### 3. 结果比较：

- 将单目标优化结果与多目标优化结果进行比较，分析各自优缺点和适用场景。

## 问题4: 设计满足特殊需求的人造革

### 1. 优先满足热湿舒适性：

- 依据问题2中透气率和透湿率的最佳工艺参数，确定其优先权。
- 在此基础上，通过加权多目标优化方法，兼顾力学性能和柔软性能。

## 2. 性能接近最佳水平：

- 设定各性能指标的目标值为问题2中的最佳水平。
- 使用约束优化方法，找到满足这些要求的最佳工艺参数组合。

## 分工

任务内容	负责人
数据的处理和程序的运行、图表绘制，论文的审核与提交	白俊华
论文的撰写	侯睿康
论文内容格式校对	郭潇雨

## 计划

中午（11：30）、晚间（20：00）进行交流