

# 研究生课程考试成绩单

## （试卷封面）

院 系	计算机科学与工程学院	专业	电子信息		
学生姓名	邹刘文	学号	212099		
课程名称	实验设计				
授课时间	2021 年 11 月 至 2021 年 12 月	周学时	10	学 分	2
简 要 评 语					
考核论题					
总评成绩（含 平时成绩）					
备注					

任课教师签名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_

- 注：1. 以论文或大作业为考核方式的课程必须填此表，综合考试可不填。“简要评语”栏缺填无效。
2. 任课教师填写后与试卷一起送院系研究生秘书处。
3. 学位课总评成绩以百分制计分

---

## 目录

1 实验问题.....	3
1.1 问题描述.....	3
1.2 实验目的.....	3
1.3 实验工具.....	3
2 实验数据.....	3
3 实验设计及实验结果.....	4
3.1 获取实验设计的正交表.....	4
3.2 进行因子筛选（Screening）.....	5
3.3 方差分析(ANOVA).....	6
3.5 因子图.....	10

---

## 1 实验问题

### 1.1 问题描述

某家建材产品制造商的材料工程师正在开发一种全新的绝缘产品。绝缘产品有三个与质量相关的属性，分别是绝缘值、绝缘强度、绝缘密度，也即当前实验中的响应变量。绝缘产品在生产过程中有一些影响因素，目前已知的包括材料、注塑压力、注塑温度、冷却温度、冷却时长、使用的机器，也即当前实验中的因子或者说可控变量。除此之外测量温度也会有影响，在本实验中我们将其作为协变量。

### 1.2 实验目的

研究不同因子对三类因变量的影响以及不同因子之间的交互作用。

### 1.3 实验工具

使用 Minitab 20.3。Minitab 是一款经典的数据分析、统计以及过程改进工具。

## 2 实验数据

实验数据来自 minitab 官方，广泛用于 DOE(Design Of Experiment)。其中材料、注塑压力、注塑温度、冷却温度均为 2 水平因子，取值范围分别为（公式 1，公式 2）、(75,150)、(85,100)、(25,45)；机器为 4 水平因子，取值范围为(1,2,3,4)；冷却时长为 3 水平因子，取值范围为 (30,35,40)；测量温度、绝缘值、密度还有强度都是数值型变量。现将数据展示如下：

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	材料	注塑压力	注塑温度	冷却温度	机器	冷却时长	绝缘	密度	强度	
2	公式1	75	85	25	1	30	13.29051796	1.033593583	22.34312918	
3	公式2	75	85	25	1	40	19.43886905	0.73304712	32.85143503	
4	公式1	150	85	25	2	35	17.04513531	1.603144041	30.08415744	
5	公式2	150	85	25	2	35	22.63083161	1.098320273	36.12541688	
6	公式1	75	100	25	3	40	14.09517333	0.940790308	25.95300768	
7	公式2	75	100	25	3	35	19.75340036	0.684250675	34.80779885	
8	公式1	150	100	25	4	40	16.72952245	1.387755309	32.39469029	
9	公式2	150	100	25	4	30	23.69605275	1.08966765	38.18213907	
10	公式1	75	85	45	1	30	15.34027766	1.153383302	19.21893629	
11	公式2	75	85	45	1	35	20.34779491	0.435101766	24.96658535	
12	公式1	150	85	45	2	40	19.07231957	1.518542808	23.96038347	
13	公式2	150	85	45	2	40	23.12555972	0.986949138	30.34586467	
14	公式1	75	100	45	3	40	19.78429515	0.803792123	26.36138187	
15	公式2	75	100	45	3	40	24.53119693	0.528028494	29.33909579	
16	公式1	150	100	45	4	40	24.34599424	1.463228265	29.83437664	
17	公式2	150	100	45	4	40	27.71563051	1.076109	37.36873089	
18										

图 2-1 原始实验数据展示

### 3 实验设计及实验结果

#### 3.1 获取实验设计的正交表

使用 MiniTab 设计实验正交表。仿行数 and 中心点都可以保证完全可重复性，我们这里设置仿行数为 3。



图 3-1 “”实验设计正交表获取操作步骤

C1	C2	C3	C4	C5-T	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
标准顺序	运行顺序	中心点	区组	材料	注塑压力	注塑温度	冷却温度	测量温度	绝缘	密度	强度	机器	冷却时长
1	7	1	1	公式1	75	85	25	21.0	13.2905	1.03359	22.3431	1	30
2	6	1	1	公式2	75	85	25	20.4	19.4389	0.73305	32.8514	1	40
3	9	1	1	公式1	150	85	25	22.9	17.0451	1.60314	30.0842	2	35
4	14	1	1	公式2	150	85	25	21.0	22.6308	1.09832	36.1254	2	35
5	15	1	1	公式1	75	100	25	23.1	14.0952	0.94079	25.9530	3	40
6	2	1	1	公式2	75	100	25	19.9	19.7534	0.68425	34.8078	3	35
7	11	1	1	公式1	150	100	25	21.9	16.7295	1.38776	32.3947	4	40
8	5	1	1	公式2	150	100	25	20.2	23.6961	1.08967	38.1821	4	30
9	13	1	1	公式1	75	85	45	21.2	15.3403	1.15338	19.2189	1	30
10	10	1	1	公式2	75	85	45	21.3	20.3478	0.43510	24.9666	1	35
11	12	1	1	公式1	150	85	45	22.1	19.0723	1.51854	23.9604	2	40
12	16	1	1	公式2	150	85	45	21.8	23.1256	0.98695	30.3459	2	40
13	8	1	1	公式1	75	100	45	21.7	19.7843	0.80379	26.3614	3	40
14	3	1	1	公式2	75	100	45	22.2	24.5312	0.52803	29.3391	3	40
15	1	1	1	公式1	150	100	45	22.6	24.3460	1.46323	29.8344	4	40
16	4	1	1	公式2	150	100	45	20.5	27.7156	1.07611	37.3687	4	40

图 3-2 实验设计正交表

## 3.2 进行因子筛选（Screening）

因子筛选的目的是从众多的因子当中筛掉那些与因变量显著无关的因子，简化问题的研究过程。在 Minitab 中的操作步骤为：统计 --> DOE --> 筛选 --> 创建筛选设计 --> 设置相关筛选设计参数。

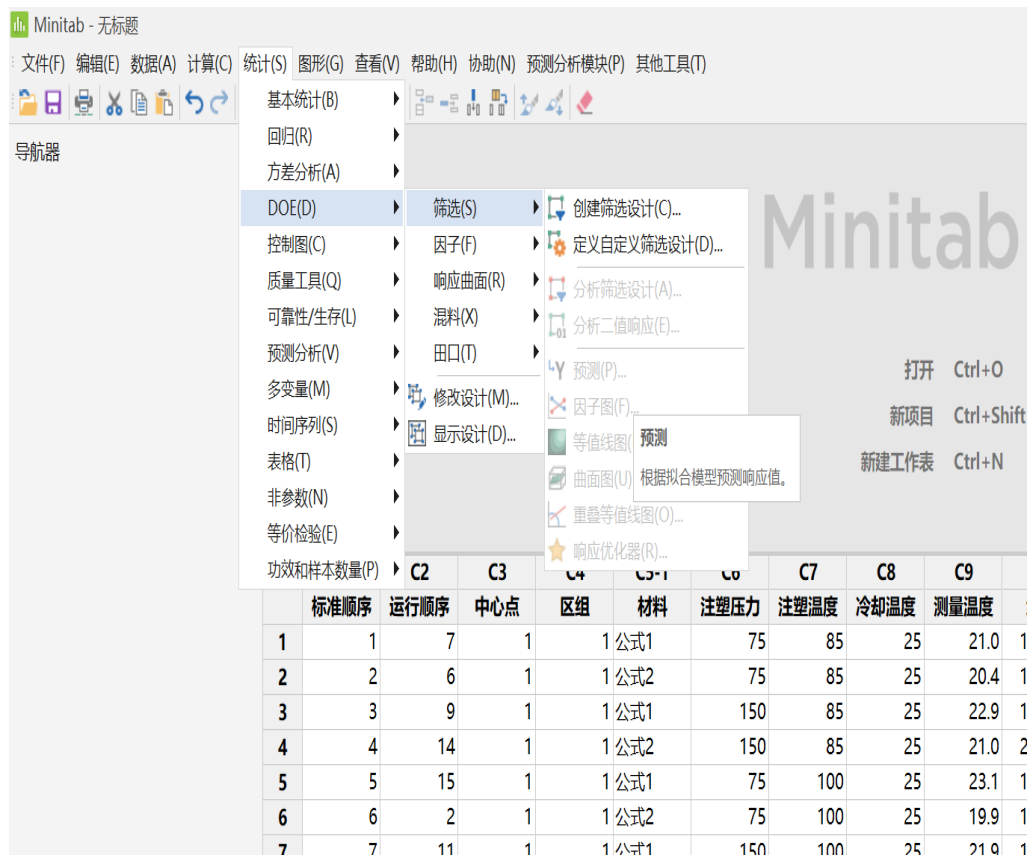




图 3-3 “因子筛选”操作步骤

可以看到原本的 6 个因子被筛掉了“机器”和“冷却时长”，有效因子数为 4，总实验数为  $(2^4 - 3) * 3 = 39$  次。

### 3.3 方差分析(ANOVA)

方差分析的目的是通过数据分析找出对该事物有显著影响的因素，各因素之间的交互作用，以及显著影响因素的最佳水平等。这里我们分析不同因子对绝缘值、绝缘密度、绝缘强度这三个响应变量的影响。操作步骤为：统计->方差分析->一般线性模型->拟合一般线性模型->选择响应、因子以及协变量。

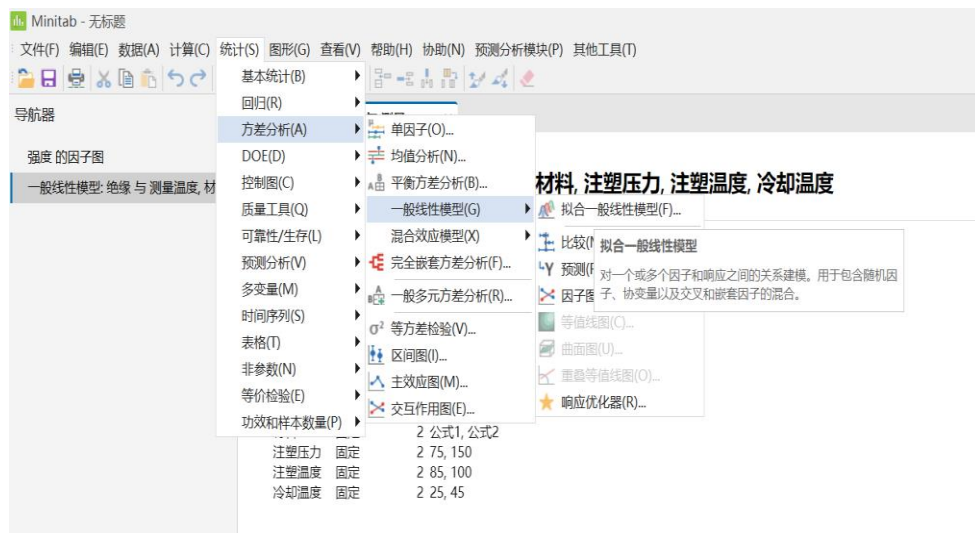


图 3-4 “方差分析”操作步骤

### (1) 关于绝缘值响应变量的方差分析

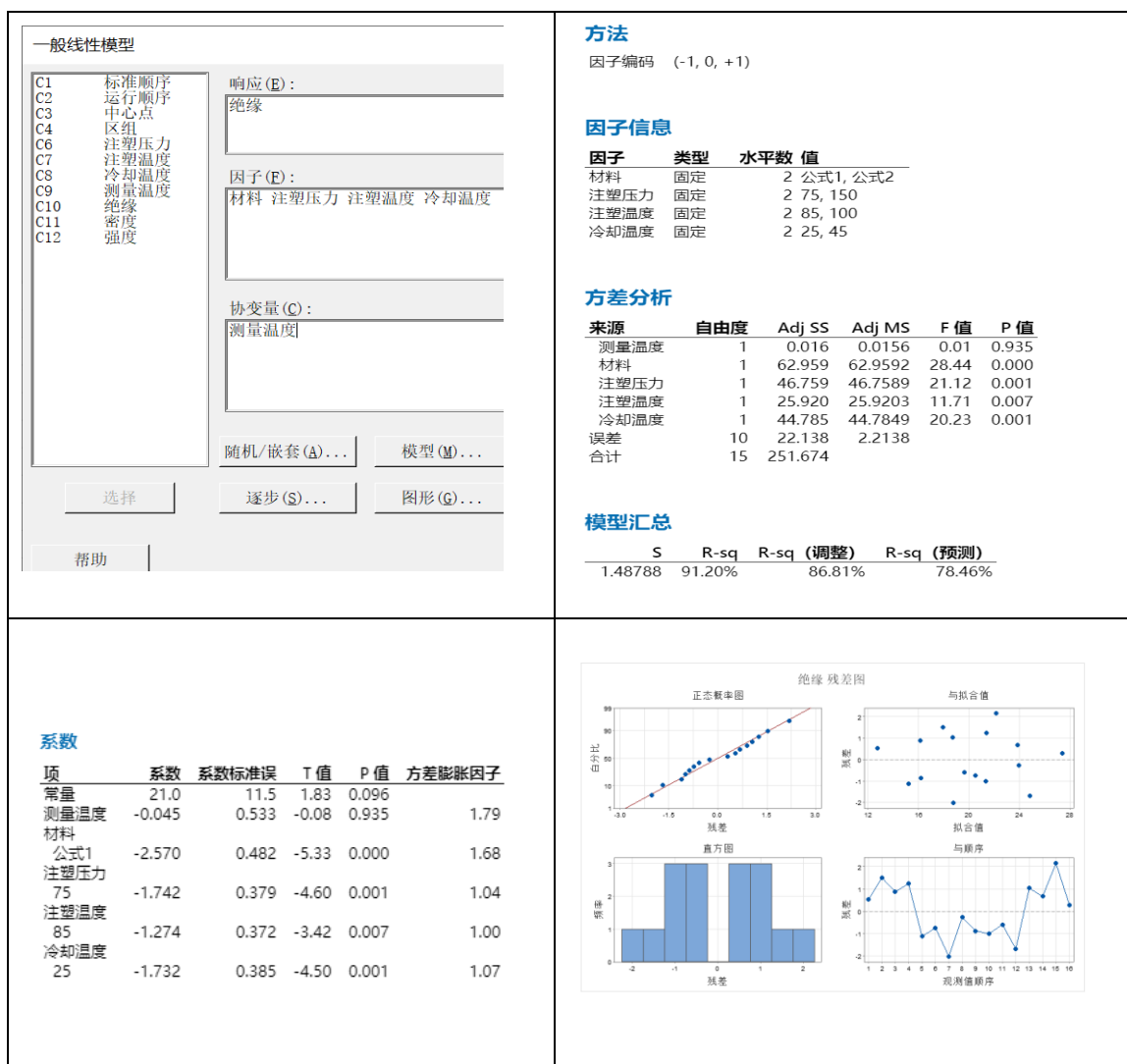


图 3-5 绝缘值方差分析结果

从方差分析部分来看，材料、注塑压力、注塑温度、冷却温度的 P 值分别为 0.000、0.001、0.007、0.001，均小于 0.05，说明这 4 个因子对绝缘值响应变量确实产生了显著的影响，而测量温度的 P 值为 0.935，远大于 0.05，说明这个协变量对于绝缘值的影响确实还达不到能作为控制变量的水平。从 F 值的角度来分析结论一直，因为 F 值是越大表示相关性越显著。

从模型汇总部分来看，S 表示数据值和拟合值之间距离的标准偏差，S 值越低，模型描述响应的程度越高，此处 S=1.487，属于中等大小的值；R-sq 来确定模型与数据的拟合优度，R-sq 值越高模型拟合数据的优度越高，此处 R-sq=91.20%，说明拟合程度非常好，数据点和拟合线非常接近。

从残差图部分来看，残差正态概率图可验证残差呈正态分布的假设，结果中该图大致为一条直线，没有出现异常分布，假设成立；残差与拟合值图可验证残差随机分布和具有常量方差的假设，图中出现随机分布状态且类似扇形，假设成立；残差的直方图可确定数据是偏斜还是包含异常值，图中没有单方向长尾或者远离其他条形的条形，假设成立；残差与顺序图可验证残差独立于其他残差的假设，图中围绕中心线随机分布，假设成立。

## (2) 关于绝缘密度的方差分析





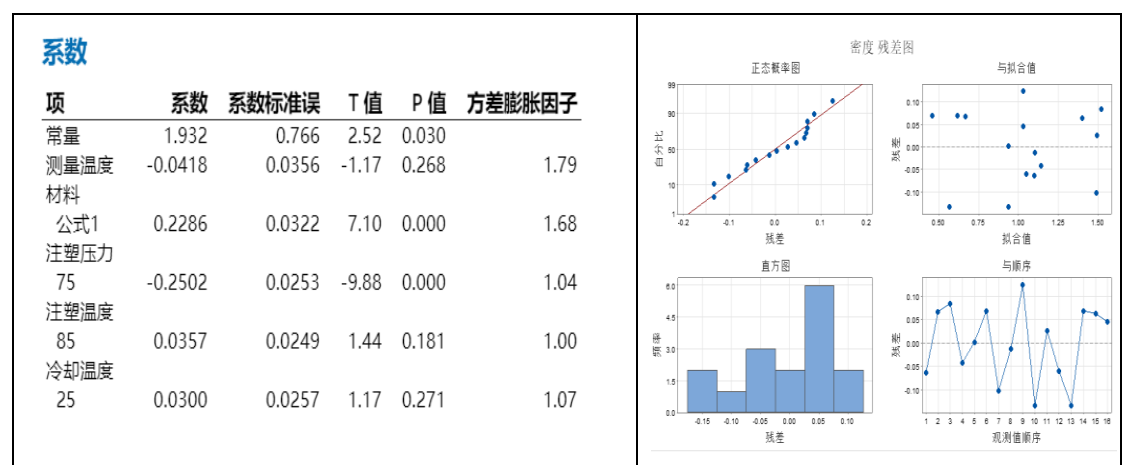


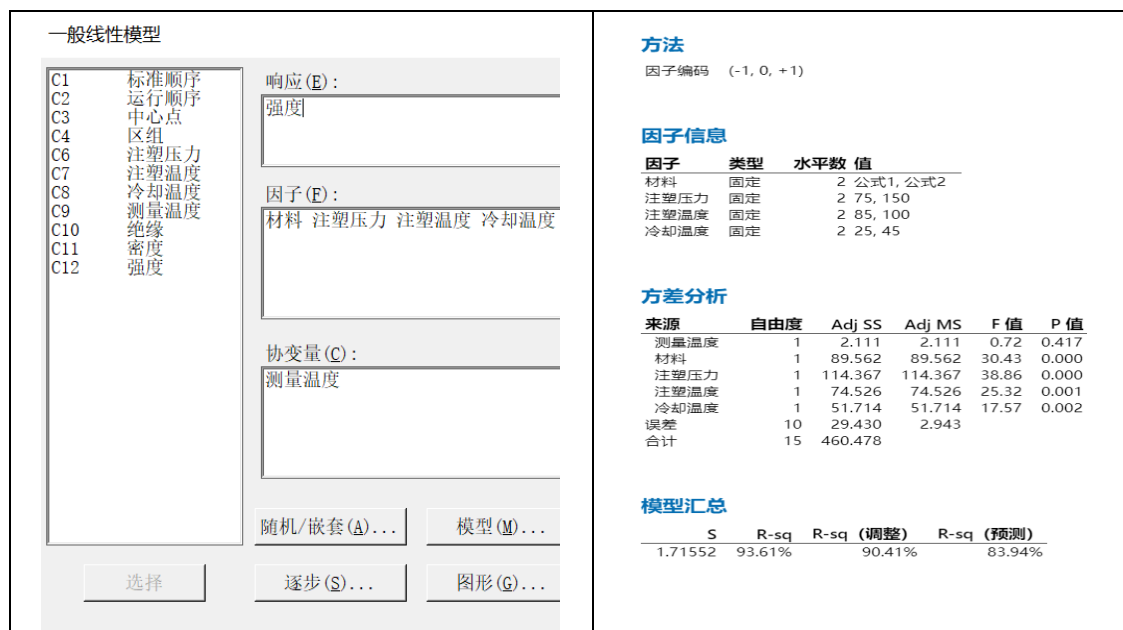
图 3-6 绝缘密度方差分析结果

从方差分析部分来看，材料、注塑压力的 P 值分别为 0.000、0.000，均小于 0.05，说明这 2 个因子对绝缘密度确实产生了显著的影响；注塑温度和冷却温度的 P 值分别为 0.181、0.271，说明这 2 个因子对于绝缘密度没有显著性影响。

从模型汇总部分来看，此处  $S=0.099$ ，非常小，说明模型描述绝缘密度的程度高；此处  $R\text{-}sq=94.45\%$ ，说明拟合程度非常好。

从残差图部分来看，没有异常情况出现。

### (3) 关于绝缘强度的方差分析



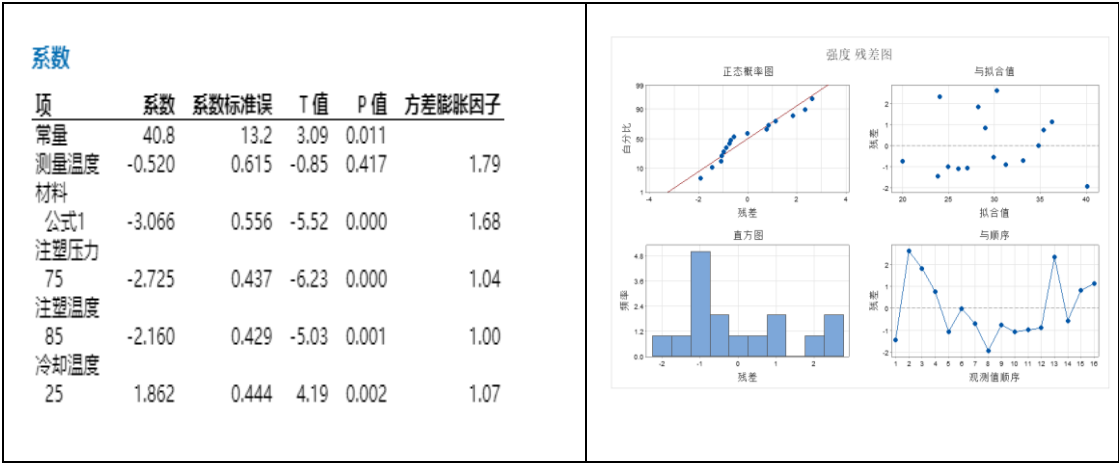


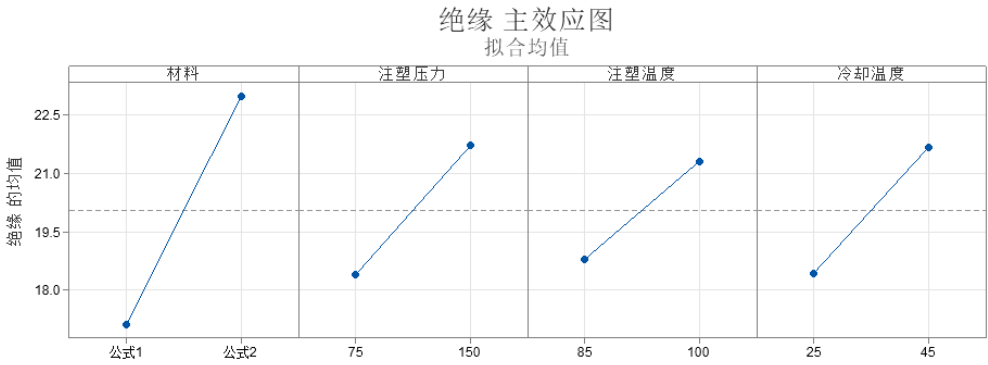
图 3-7 绝缘值强度分析结果

从方差分析部分来看，材料、注塑压力、注塑温度、冷却温度的 P 值分别为 0.000、0.000、0.001、0.002，均小于 0.05，说明这 2 个因子对绝缘密度确实产生了显著的影响。

从模型汇总部分来看，此处  $S=1.715$ ，不算小，说明模型描述绝缘密度的程度较好；此处  $R\text{-}sq=94.61\%$ ，说明拟合程度非常好。

从残差图部分来看，正太概率图出现了短尾分布模式，说明残差不服从正太分布；残差直方图出现了单方向的长尾，说明残差具有比较大的偏度。

### 3.5 因子图



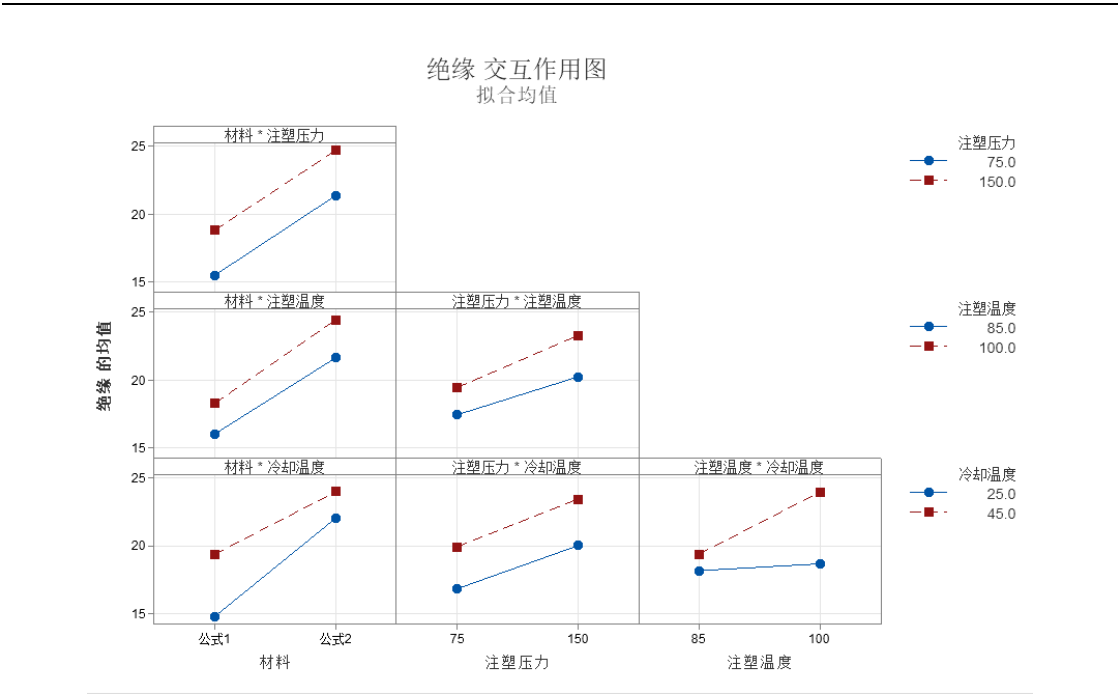


图 3-8 绝缘值的主效应图和交互作用图

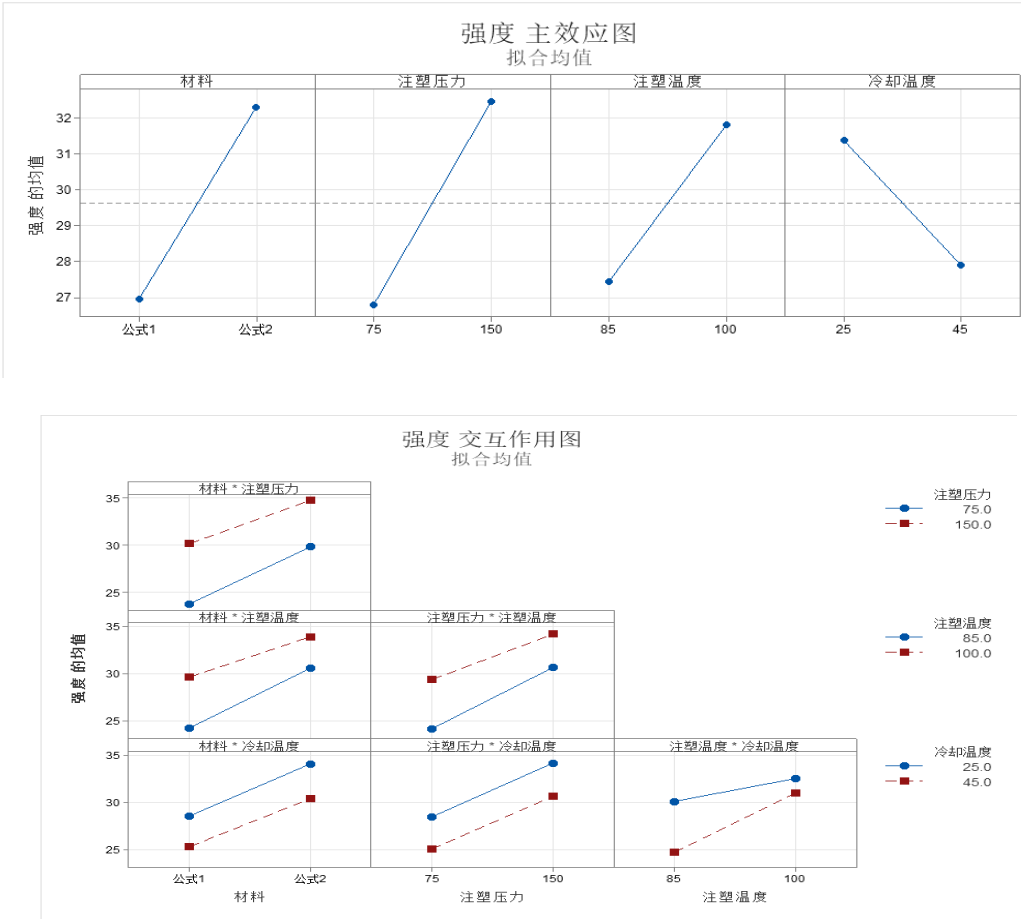


图 3-9 绝缘强度的主效应图和交互作用图

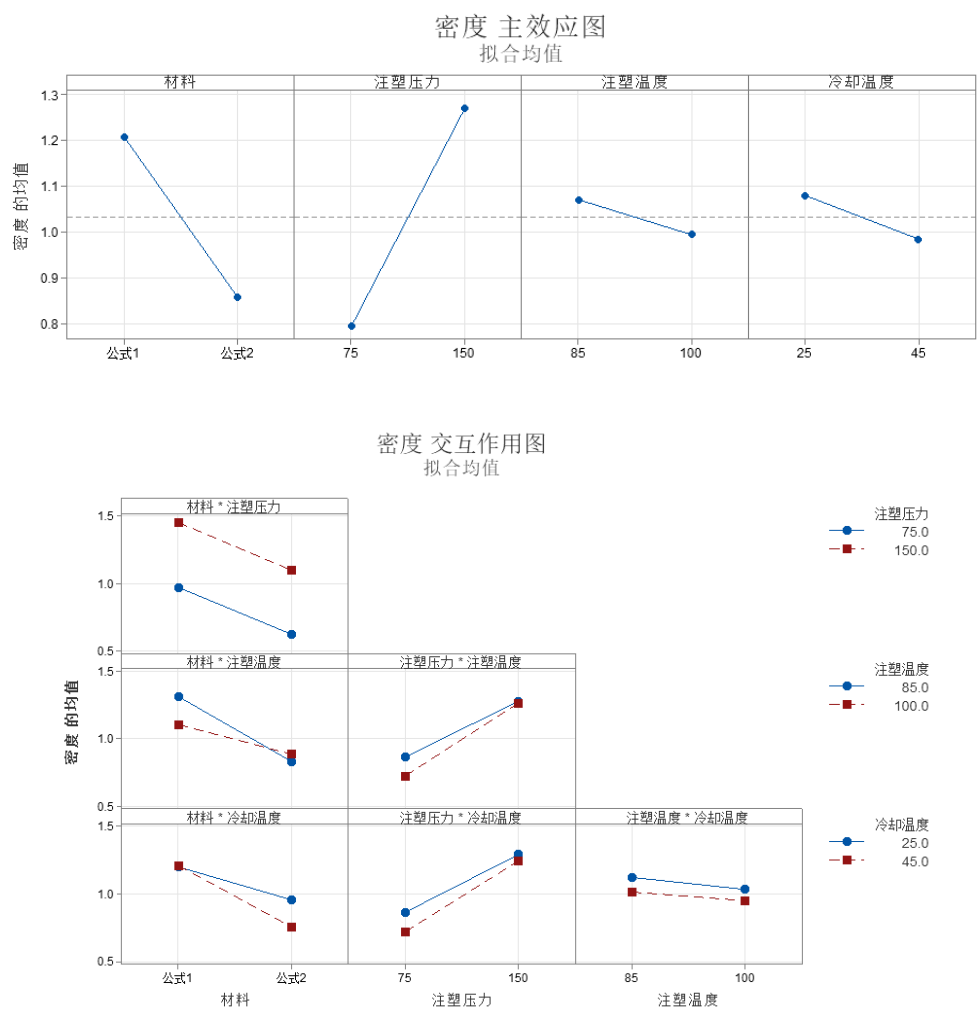


图 3-10 绝缘密度的主效应图和交互作用图

关于三个因变量的两类图，主效应图可以很方便地看出材料、注塑压力、注塑温度、冷却温度这 4 种因子与因变量最大值和最小值的对应关系，交互作用图可以很方便地看出来四种因子两两之间的大小关系对因变量结果的影响程度。