

## 案例 16

### 采用实验设计的方法优化天津市某通信公司熔锥型波分复用器的隔离度

来源	源自企业，与企业横向合作	类别	<input checked="" type="checkbox"/> 案例 <input type="checkbox"/> 方法
作者	何桢 韩亚娟 赵爽	关键词	实验设计；因子实验；响应曲面设计；中心复合设计
理论知识	响应曲面设计；中心复合设计	适用层次	<input checked="" type="checkbox"/> 本科生 <input checked="" type="checkbox"/> 研究生 <input type="checkbox"/> MBA

#### 1. 案例背景

天津市某通信有限公司主要从事光纤通讯器件的开发与生产，该公司在 2001 年引进了美国 BAYSPEC 公司的全套熔融拉锥设备和 AGLIENT 公司的检测设备，开始生产熔锥型波分复用器。在光 WDM 传输系统中，由于是在单根光纤中传输两个或两个以上的多重光信号，因此在各个信道间存在串扰是十分明显的事。串扰造成信道传输质量劣化，从而使接收机的接收灵敏度下降。信道之间的串扰用隔离度来测量。熔锥型波分复用器要求隔离度越大越好，一方面可以减少串扰，提高产品质量；另一方面，隔离度高的产品所产生的经济效益高，利润大。为了取得企业的双赢，提高产品的隔离度是公司急需解决的问题。提高隔离度的主要途径是要寻求影响隔离度的各因素的最佳水平组合。开始，该公司在进行实验时，采用的是“一次一个因素的实验方法”<sup>[1]</sup>，这种优化方法虽然有时也能取得一些比较好的效果，但一般来说不可能找到最优的配方。因为在众多的因素中，往往存在因素之间的交互作用，而这种“一次一个因素的实验方法”假设因素之间没有交互作用，它无法使实验人员了解各因素是如何同时影响产品质量特性值的，而且所用的实验周期比较长，实验成本也比较高。所以该公司的这个问题一直没能得到很好的解决。本案例通过运用经典实验设计方法来解决这一问题。

#### 2. 案例描述

通过因果图及相应的分析我们确定了影响熔锥型波分复用器隔离度的影响因素，即火焰高度、氢气流量、拉锥速度、分光比、湿度和温度。

首先，进行部分因子实验筛选显著性影响因素。该实验中因素的位级如表 1 所示：

表 1 实验中因素的位级

影响因素	类型	位级	是否有中心点
A（火焰高度）	计量型	207-213	有
B（氢气流量）	计量型	52.0-69.0	有
C（拉锥速度）	计量型	1.00-1.30	有
D（分光比）	计量型	74.5-78.0	有
E（湿度）	计量型	0.4-0.6	有
F（温度）	计量型	19-25	有

对于 6 个因素，2 个水平的因子试验，我们选择分辨力为 IV 的  $2^{6-2}$  实验进行筛选，同时增加 3 个中心点。实验安排如表 2 所示，实际做实验时需要按随机化后的顺序，即表中的第

# 全国Mini-MBA职业经理双证班



精品课程 权威双证 全国招生 请速充电

你可能准备跳槽或者求职, 却为缺少行业经验和专业证书而被用人单位百般挑惕!

你可能目前衣食无忧, 但随着年龄的增长和社会竞争压力的增大, 因为得不到专业的全新培训而失去竞争的机会和面临被淘汰的危机。

美华教育携手中国经济管理大学面向全国举办迷你 MBA 职业经理双证书班, 毕业颁发双证书。

## 招生专业及其颁发证书

认证项目	颁发双证	学费
全国《职业经理》MBA 高等教育双证书班	高级职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《人力资源总监》MBA 双证书班	高级人力资源总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《市场总监》MBA 高等教育双证书班	高级市场总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《酒店经理》MBA 高等教育双证班	高级酒店管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销经理》MBA 高等教育双证班	高级营销经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《企业培训师》MBA 高等教育双证班	企业培训师高级资格认证毕业证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《财务总监》MBA 高等教育双证班	高级财务总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《品质经理》MBA 高等教育双证班	高级品质管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《生产经理》MBA 高等教育双证班	高级生产管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销策划师》MBA 双证书班	高级营销策划师高级资格认证证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《物流经理》MBA 高等教育双证班	高级物流管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《项目经理》MBA 高等教育双证班	高级项目管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《企业总经理》MBA 高等教育双证班	全国企业总经理高级资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元



**【授课方式】** 全国招生、函授学习、权威双证

我校采用国际通用3结合的先进教育方式授课（远程函授+教学电子光盘自修+网络学院持续视频学习）



**【颁发证书】** 学员毕业后可以获取权威双证书与全套学员学籍档案

- 1、毕业后可以获取相应专业钢印《高级职业经理资格证书》;
- 2、毕业后可以获取2年制的《MBA研究生课程高等教育研修结业证书》;



### 【证书说明】

1. 证书加盖中国经济管理大学钢印和公章（学校官方网站电子注册查询、随证书带整套学籍档案）；
2. 毕业获取的证书与面授学员完全一致，无“函授”字样，与面授学员享有同等待遇，证书是学员求职、提干、晋级的有效证明；。



### 【学习期限】 3个月（允许有工作经验学员提前毕业，毕业获取证书后学校仍持续辅导2年）



### 【收费标准】 全部费用1280元（含教材光盘、认证辅导、注册证书、学籍注册等全部费用）

函授学习为你节省了大量的宝贵的学习时间以及昂贵的MBA导师的面授费用，是职业经理人首选的学习方式。



### 【招生对象】

- 1、对管理知识感兴趣，具有简单电脑操作能力（有2年以上相应工作经验者可以申请提前毕业）。
- 2、年龄在20—55岁之间的各界管理知识需求者均可报名学习。



### 【教程特点】

- 1、完全实战教材，注重企业实战管理方法与中国管理背景完美融合，关注学员实际执行能力的培养；
- 2、对学员采用1对1顾问式教学指导，确保学员顺利完成学业、胸有成竹的走向领导岗位；
- 3、互动学习（专家、顾问24小时接受在线咨询，第一时间回答学员的提问和咨询）



### 【考试说明】

1. 卷面考核：毕业试卷是一套完整的情景模拟试卷（与工作相关联的基础问卷）
2. 论文考核：毕业需要提交2000字的论文（学员不需要参加毕业论文答辩但论文中必修体现出5点独特的企业管理心得）
3. 综合心理测评等问卷。



### 【颁证单位】

中国经济管理大学经中华人民共和国香港特别行政区批准注册成立。目前中国经济管理大学课程涉及国际学位教育、国际职业教育等。学院教学方式灵活多样，注重人才的实际技能的培养，向学员传授先进的管理思想和实际工作技能，学院会永远遵循“科技兴国、严谨办学”的原则不断的向社会提供优秀的管理人才。



### 【承办单位】

美华管理人才学校是中国最早由教委批准成立的“工商管理MBA实战教育机构”之一，由资深MBA教育专家、教育协会常务理事徐传有教授担任学校理事长。迄今为止，已为社会培养各类“能力型”管理人才近10万余人，并为多家企业提供了整合策划和企业内训，连续13年被教委评选为《优秀成人教育学校》《甲级先进办学单位》。办学多年来，美华人独特的教学方法，先进的教学理念赢得了社会各界的高度赞誉和认可。



### 【咨询电话】 13684609885 0451--88342620

### 【咨询教师】 王海涛 郑毅



### 【报名须知】

- 1、报名登记表格下载后详细填写并发邮件至 [xchy007@163.com](mailto:xchy007@163.com)（入学时不需要提交相片，毕业提交试卷同时邮寄4张2寸相片和一张身份证复印件即可）
- 2、交费后请及时电话通知招生办确认，以便于收费当日学校为你办理教材邮寄等入学手续。



### 【报名地址】 哈尔滨市道外区南马路 120 号职工大学 109 室美华教育（ 邮政编码：150020）



## 【证书样本】(全国招生 函授学习 权威双证 请速充电)

(高级职业经理资格证书样本)

(两年制研究生课程高等教育结业证书样本)



## 【学费缴纳方式】

方式一	邮局邮寄	邮寄地址：哈尔滨市道外区南马路 120 号职工大学 109 室 邮政编码：150020
方式二	学校帐号	学校帐号：184080723702015 开户银行：哈尔滨银行龙江支行 支付系统行号：313261018018 企业户名：哈尔滨市道外区美华管理人才学校
方式三	交通银行 (太平洋卡)	帐号：40551220360141505 户名：王海涛 开户行：交通银行哈尔滨分行信用卡中心
方式四	邮政储蓄 (存折)	帐号：602610301201201234 户名：王海涛 开户行：哈尔滨道外储蓄中心
方式五	中国工商银行 (存折)	帐号：3500016701101298023 户名：王海涛 开户行：哈尔滨市道外区靖宇支行

可以选择任意一种方式缴纳学费，建议使用第五种方式（中国工商银行，比较方便快捷）收到学费的当天，学校就会用邮政特快的方式为你邮寄教材和考试问卷。

# 全国职业经理MBA双证班

## 精品课程 火热招生

函授学习 权威双证 全国招生 请速充电

**认证系列：**高级职业经理资格认证、人力资源总监、营销经理、财务总监、企业培训师、酒店经理、品质经理、生产经理、物流经理、项目经理、市场总监、营销策划师等学习认证系列。

**颁发双证：**通用高级经理资格证书 + MBA 高等教育研修结业证书（含 2 年全套学籍档案）

**证书说明：**证书全国通用、国际互认、电子注册，是提干、求职、晋级、移民的有效依据

1280

元

**学习期限：**3 个月（允许工作经验丰富学员提前毕业） **收费标准：**全部学费

**咨询电话：**13684609885 0451- 88342620 **报名邮箱：**[xchy007@163.com](mailto:xchy007@163.com)

**学校网站：**[www.mhjj.net](http://www.mhjj.net) **颁证单位：**中国经济管理大学 **承办单位：**美华管理人才学校

全国招生 函授教育 颁发双证 权威有效

二列顺序，进行实验。

表 2 2<sub>IV</sub><sup>6-2</sup> 设计的数据收集表（规范变量）

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y
1	10	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	21.4
2	3	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	19.4
3	14	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	22.2
4	2	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	22.3
5	6	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	24.5
6	7	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	20.1
7	9	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	19.5
8	4	1	1	1	1	1	-1	1	-1	20.8
9	16	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	20.6
10	17	1	1	1	-1	-1	1	1	1	18.9
11	13	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	23.4
12	18	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	23.6
13	8	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	22.6
14	5	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	18.7
15	15	1	1	-1	1	1	1	-1	1	23.5
16	12	1	1	1	1	1	1	1	1	23.7
17	19	0	1	0	0	0	0	0	0	26.5
18	11	0	1	0	0	0	0	0	0	24.8
19	1	0	1	0	0	0	0	0	0	27.2

实验分析（三阶及三阶以上的交互作用可以忽略）结果如下：

表 3 效应及模型系数表（规范变量）

Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		22.3000	0.7717	28.90	0.000
A	-1.2750	-0.6375	0.8409	-0.76	0.483
B	1.6000	0.8000	0.8409	0.95	0.385
C	0.2000	0.1000	0.8409	0.12	0.910
D	0.6000	0.3000	0.8409	0.36	0.736
E	0.7250	0.3625	0.8409	0.43	0.684
F	0.8000	0.4000	0.8409	0.48	0.654
A*B	1.7250	0.8625	0.8409	1.03	0.352
A*C	-0.4250	-0.2125	0.8409	-0.25	0.811
A*D	-0.0250	-0.0125	0.8409	-0.01	0.989
A*E	-1.2000	-0.6000	0.8409	-0.71	0.507
A*F	-0.1750	-0.0875	0.8409	-0.10	0.921
B*D	1.7500	0.8750	0.8409	1.04	0.346
B*F	0.3000	0.1500	0.8409	0.18	0.865
S = 3.36378    R-Sq = 48.89%    R-Sq(adj) = 0.00%					



表 4 方差分析表（规范变量）

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	23.005	23.0050	3.8342	0.34	0.890
2-Way Interactions	7	31.120	31.1200	4.4457	0.39	0.872
Residual Error	5	56.575	56.5750	11.3150		
Curvature	1	53.263	53.2633	53.2633	64.33	0.001
Lack of Fit	2	0.265	0.2650	0.1325	0.09	0.920
Pure Error	2	3.047	3.0467	1.5233		
Total	18	110.700				

通过上述分析，我们没有筛选出显著性影响因素，同时注意到模型的曲性非常显著，故在模型中加入中心点重新分析以筛选出显著性影响因素。分析如下：

表 5 效应及模型系数表（规范变量）

Estimated Effects and Coefficients for Y (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		21.5750	0.2275	94.85	0.000
A	-1.2750	-0.6375	0.2275	-2.80	0.049
B	1.6000	0.8000	0.2275	3.52	0.025
C	0.2000	0.1000	0.2275	0.44	0.683
D	0.6000	0.3000	0.2275	1.32	0.258
E	0.7250	0.3625	0.2275	1.59	0.186
F	0.8000	0.4000	0.2275	1.76	0.153
A*B	1.7250	0.8625	0.2275	3.79	0.019
A*C	-0.4250	-0.2125	0.2275	-0.93	0.403
A*D	-0.0250	-0.0125	0.2275	-0.05	0.959
A*E	-1.2000	-0.6000	0.2275	-2.64	0.058
A*F	-0.1750	-0.0875	0.2275	-0.38	0.720
B*D	1.7500	0.8750	0.2275	3.85	0.018
B*F	0.3000	0.1500	0.2275	0.66	0.546
Ct Pt		4.5917	0.5725	8.02	0.001
S = 0.909899    R-Sq = 97.01%    R-Sq(adj) = 86.54%					

表 6 方差分析表（规范变量）

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	23.005	23.0050	3.8342	4.63	0.080
2-Way Interactions	7	31.120	31.1200	4.4457	5.37	0.062
Curvature	1	53.263	53.2633	53.2633	64.33	0.001
Residual Error	4	3.312	3.3117	0.8279		
Lack of Fit	2	0.265	0.2650	0.1325	0.09	0.920
Pure Error	2	3.047	3.0467	1.5233		
Total	18	110.700				

从上表中可以看出 A、B、A\*B 和 B\*D 的效应显著，故筛选出的显著影响因素为：A、B 和 D。由于曲性显著，线性假设被推翻，应设计二阶模型。在二阶响应曲面设计中，中心复

合设计应用最广泛，因此我们取因子点，轴向点和中心点进行中心复合设计。实验安排如表 7 所示，实际做实验时需要按随机化后的顺序，即表中的第二列顺序，进行实验。

表 7 中心复合设计的数据收集表（规范变量）

StdOrder	RunOrder	Blocks	A	B	D	Y
1	8	1	-1	-1	-1	21.2
2	7	1	1	-1	-1	21.4
3	5	1	-1	1	-1	21.7
4	6	1	1	1	-1	22.3
5	15	1	-1	-1	1	22.4
6	19	1	1	-1	1	21.9
7	1	1	-1	1	1	22.1
8	12	1	1	1	1	20.6
9	3	1	-1.68179	0	0	21.7
10	17	1	1.68179	0	0	21.3
11	2	1	0	-1.68179	0	19.2
12	18	1	0	1.68179	0	21.4
13	4	1	0	0	-1.68179	20.4
14	11	1	0	0	1.68179	19.8
15	16	1	0	0	0	23.6
16	9	1	0	0	0	25.3
17	20	1	0	0	0	25.7
18	10	1	0	0	0	26.4
19	14	1	0	0	0	24.8
20	13	1	0	0	0	24.1

实验分析结果如下：

表 8 估计的回归系数表（规范变量）

Estimated Regression Coefficients for Y				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	24.9404	0.4641	53.734	0.000
A	-0.1371	0.3080	-0.445	0.666
B	0.2563	0.3080	0.832	0.425
D	-0.0446	0.3080	-0.145	0.888
A*A	-0.9508	0.2998	-3.172	0.010
B*B	-1.3750	0.2998	-4.587	0.001
D*D	-1.4457	0.2998	-4.823	0.001
A*B	-0.0750	0.4024	-0.186	0.856
A*D	-0.3500	0.4024	-0.870	0.405
B*D	-0.3750	0.4024	-0.932	0.373
S = 1.138      R-Sq = 82.9%      R-Sq(adj) = 67.4%				

表 9 方差分析表（规范变量）

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	62.634	62.634	6.9593	5.37	0.007
Linear	3	1.181	1.181	0.3936	0.30	0.822
Square	3	59.303	59.303	19.7677	15.26	0.000
Interaction	3	2.150	2.150	0.7167	0.55	0.657
Residual Error	10	12.951	12.951	1.2951		
Lack-of-Fit	5	7.603	7.603	1.5206	1.42	0.354
Pure Error	5	5.348	5.348	1.0697		
Total	19	75.585				

从表 8 中可以看出交互作用 A\*B、A\*D 和 B\*D 均不显著，去掉非显著交互效应，重新进行分析，结果如下：

表 10 估计的回归系数表（规范变量）

Estimated Regression Coefficients for Y				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	24.9404	0.4396	56.737	0.000
A	-0.1371	0.2916	-0.470	0.646
B	0.2563	0.2916	0.879	0.396
D	-0.0446	0.2916	-0.153	0.881
A*A	-0.9508	0.2839	-3.349	0.005
B*B	-1.3750	0.2839	-4.843	0.000
D*D	-1.4457	0.2839	-5.092	0.000
S = 1.078    R-Sq = 80.0%    R-Sq(adj) = 70.8%				

表 11 方差分析表（规范变量）

Analysis of Variance for Y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	60.4841	60.4841	10.0807	8.68	0.001
Linear	3	1.1809	1.1809	0.3936	0.34	0.798
Square	3	59.3032	59.3032	19.7677	17.02	0.000
Residual Error	13	15.1014	15.1014	1.1616		
Lack-of-Fit	8	9.7530	9.7530	1.2191	1.14	0.463
Pure Error	5	5.3483	5.3483	1.0697		
Total	19	75.5855				

拟合的二阶模型为：

$$\hat{y} = 24.9404 - 0.1371x_1 + 0.2563x_2 - 0.0446x_3 - 0.9508x_1^2 - 1.3750x_2^2 - 1.4457x_3^2$$

注意：该模型中的  $x$  用的是编码数据，不是原始数据。该模型的总体拟合良好： $R^2=80.0\%$ ， $R^2(\text{adj})=70.8\%$ 。接着我们进行模型诊断：①残差正态性检验；②异方差检验；③响应独立性检验。



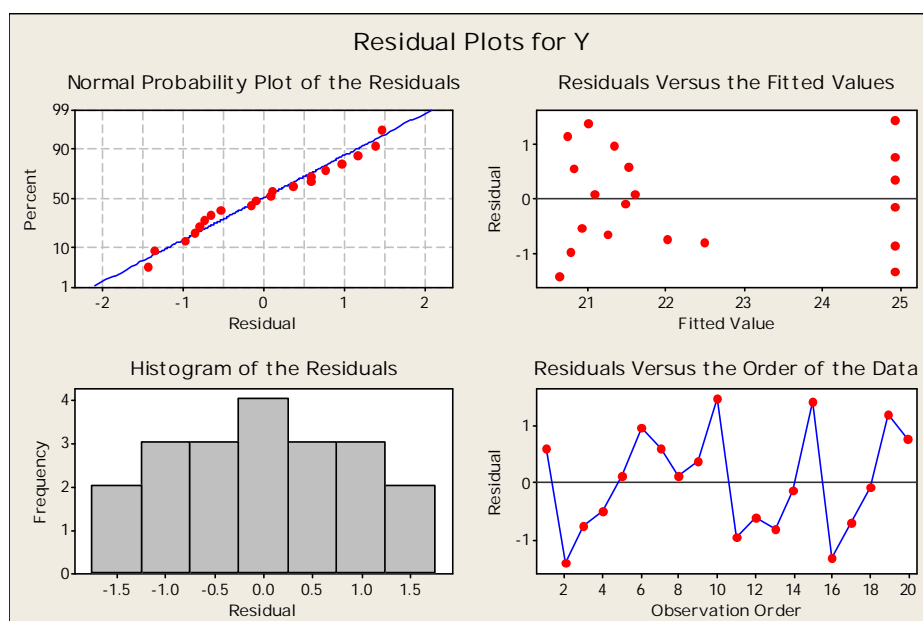


图2 模型诊断（正态性、异方差和独立性）图

通过上述检验,我们没有理由去怀疑该模型的正态性假定、方差齐性假定和独立性假定,即该模型可以近似表示响应变量和输入变量之间的真实关系。该二阶模型在中心点  $x=(0, 0, 0)$  处取得最大值  $y=24.9404$  (公司先前的隔离度为 20), 其 95%置信区间为(23.9907, 25.8900), 运行实验, 实验结果均落在置信区间内, 即确定的最优条件是正确的, 最优工艺参数为: 火焰高度  $A=211$ , 氢气流量  $B=67$ ; 分光比  $D=77.25$ 。

### 3. 结论与展望

本文运用实验设计方法对熔锥型波分复用器设计进行了优化, 找到了最优的工艺参数, 明显地提高了熔锥型波分复用器的隔离度。同时, 需要强调的是, 实验设计是一种序贯实验, 不要期望设计一个复杂的实验来解决所有的问题。

### 4. 参考文献

- [1] G E P Box, W G Hunter, J S hunter. Statistics for Experiments. New York: John Wiley & Sons, 1978.
- [2] G E P Box, K B Wilson. On the Experiment Attainment of Optimal Conditions. Journal of the Royal Statistical Society, 1951, 13: 1-45.
- [3] D C Montgomery. Design and Analysis of Experiments.5<sup>th</sup> edition. New York; John Wiley&Sons, 2001.
- [4] 田口玄一. 质量工程学导论. 北京: 中国对外翻译出版公司, 1985.
- [5] G Taguchi. Experimental Design for Product Design. Included in Statistical Design and Analysis of Industrial Experiments. Edited by Subir Ghosh. New York: Marcel Dekker, Inc., 1990.1-33.
- [6] William Y Fowlkes, Clyde M Creveling. Engineering Method for Robust Product Design Using Taguchi Methods in Technology and Product Development. Addison-Wesley, 1995.