

案例 1

采用双响应曲面方法改进天津市某橡胶公司轮胎的产品设计

来源	国家 863/CIMS 资助项目（项目编号：863-511-944-009）	类别	<input checked="" type="checkbox"/> 案例 <input type="checkbox"/> 方法
作者	何桢 张生虎 刘子先 齐二石	关键词	双响应曲面方法 田口方法 稳健性设计
理论知识	双响应曲面方法 田口方法	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

天津市某橡胶公司在生产轮胎时要求其胶料硬度在 58~62 MPa 之间。胶料硬度过低会造成产品机械强度不够，硬度太高又会导致产品容易脆裂，而且该公司希望胶料硬度保持基本稳定，变化幅度不超过 1 MPa，以便使产品具有稳定的性能。由多年的生产经验知道，影响胶料硬度的主要因素有硫化剂 1、硫化剂 2 和促进剂，该公司通过调整以上三种添加剂的用量使胶料硬度位于 58~62 MPa 之间。该厂在硫化过程中，虽然对硫化温度和时间加以控制，但是由于其热能是依靠动力车间的热蒸汽提供的，温度波动较大，这是造成胶料硬度波动的主要原因。由于难以准确控制硫化温度，所以该公司多年来对胶料硬度波动的问题一直没能解决。

2. 案例描述

产品设计对产品质量有决定性的影响。在产品设计过程中，一方面要考虑可控因素对产品质量的影响，另一方面，要使产品质量特征值的变异对噪声因素的变异不敏感，即达到稳健性。公司过去在产品设计时采用田口方法^[1]，但田口方法无法找到胶料硬度与添加剂数量之间的数量关系，难以进行优化；响应曲面分析（Response Surface Methodology, RSM）^[2,3]虽可以拟合出影响因素与质量特征之间的模型，但难以考虑噪声因素的影响。本文结合田口方法的内外表设计思想和田口方法的模型拟合方法^[4]，提出双响应曲面分析方法来解决这一问题。

在试验设计中将三种添加剂作为可控因素，将硫化温度以及与之关系密切的硫化时间作为不可控因素。各因素的取值和对应的水平如表 1 所示：

表 1 自然变量和规范变量对照表

自然变量	规范变量	自然变量	规范变量	自然变量	规范变量	自然变量	规范变量	自然变量	规范变量
促进剂	x_1	硫化剂 1	x_2	硫化剂 2	x_3	硫化温度	z_1	硫化时间	z_2
1.03 份	-1.68	0.36 份	-1.68	0.8 份	-1.68	138℃	-1	30 分钟	-1
1.1 份	-1	0.7 份	-1	1.0 份	-1	143℃	0	35 分钟	0
1.2 份	0	1.2 份	0	1.3 份	0	148℃	1	40 分钟	1
1.3 份	1	1.7 份	1	1.6 份	1				
1.37 份	1.68	2.04 份	1.68	1.8 份	1.68				

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（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

学校网站：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

试验设计时，在内表中，因子设计部分采用分辨力为 V 的部分因子试验，轴向点部分各因素水平为 ± 1.68 ，外表中采用部分因子试验，中心点部分，内外表中因素水平都取 0。试验设计方法及数据如表 2：

表 2 硬度试验设计方法及试验数据

				z_1	-1	+1	-1	+1		
				z_2	-1	-1	+1	+1		
x_1	x_2	x_3	试验顺序	y1	y2	y3	y4	y 平均	方差 s^2	
-1	-1	-1	11	57	56.5	57	56	56.63	0.2292	
1	-1	-1	8	58	57	59	57	57.75	0.9167	
-1	1	-1	14	60	61	62	60	60.75	0.9167	
1	1	-1	15	61	59	61	59	60	1.3333	
-1	-1	1	4	62	62	63	61	62	0.6667	
1	-1	1	7	60	58	61	58	59.25	2.25	
-1	1	1	16	64	63	63	62	63	0.6667	
1	1	1	5	64	63	64	63	63.5	0.3333	
-1.68	0	0	3	61	60	61	60	60.5	0.3333	
1.68	0	0	10	62	60	63	60	61.25	2.25	
0	-1.68	0	9	58	56	58	56	57	1.3333	
0	1.68	0	13	63	62	63	61	62.25	0.9167	
0	0	-1.68	17	58	57	59	58	58	0.6667	
0	0	1.68	1	63	62	64	62	62.75	0.9167	

				Z1	0	0	0	0		
				Z2	0	0	0	0		
x1	x2	x3	试验顺序	y1	y2	y3	y4	y 平均	方差 s^2	
0	0	0	2	63	64	64	64	63.75	0.25	
0	0	0	12	63	63	64	65	63.75	0.9167	
0	0	0	6	63	62	63	64	63	0.6667	

其中， $\bar{y} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 y_{ij}$ ， $s^2 = \frac{1}{4-1} \sum_{j=1}^4 (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$

运用自行设计的软件对以上数据进行分析，分别拟合出 \bar{y} 和 s^2 的二阶线性模型为：

$$\hat{\omega}_{\bar{y}} = b_0 + X'b + X'\hat{B}X = 63.482 - 0.045 x_1 + 1.4983 x_2 + 1.51 x_3 - 0.8699 x_1^2 - 1.3128 x_2^2 - 1.047$$

$$x_3^2 + 0.1719 x_1 x_2 - 0.3281 x_1 x_3 - 0.1406 x_2 x_3$$

$$\hat{\omega}_{s^2} = c_0 + X'c + X'CX = 0.6234 + 0.4085 x_1 - 0.1108 x_2 + 0.069 x_3 + 0.2 x_1^2 + 0.141 x_2^2 + 0.022$$

$$9 x_3^2 - 0.2734 x_1 x_2 + 0.0182 x_1 x_3 - 0.3776 x_2 x_3$$

它们的正则形式分别为：

$$\hat{\eta}_{y_s} = \hat{\omega}_{y_s} + \sum_{i=1}^k \lambda_i \xi_i^2 = 64.408957 - 0.7506 \xi_1^2 - 1.1436 \xi_2^2 - 1.3356 \xi_3^2。由于 \lambda_i 均小于 0，所以$$

以稳定点为最大值点。

$$\hat{\eta}_{s^2} = \hat{\omega}_{s^2} + \sum_{i=1}^k \lambda_i \theta_i^2 = 0.4445 + 0.366 \theta_1^2 + 0.1317 \theta_2^2 - 0.1339 \theta_3^2。由于 \lambda_3 < 0，所以稳定点$$

为鞍点，应通过等值线图寻找系统最优运行条件。

对上述模型进行模型适合性检验，都证明模型拟合良好，所以以上模型可以近似表示响应均值和方差的真实响应函数。

其可行域图如图 1 所示：

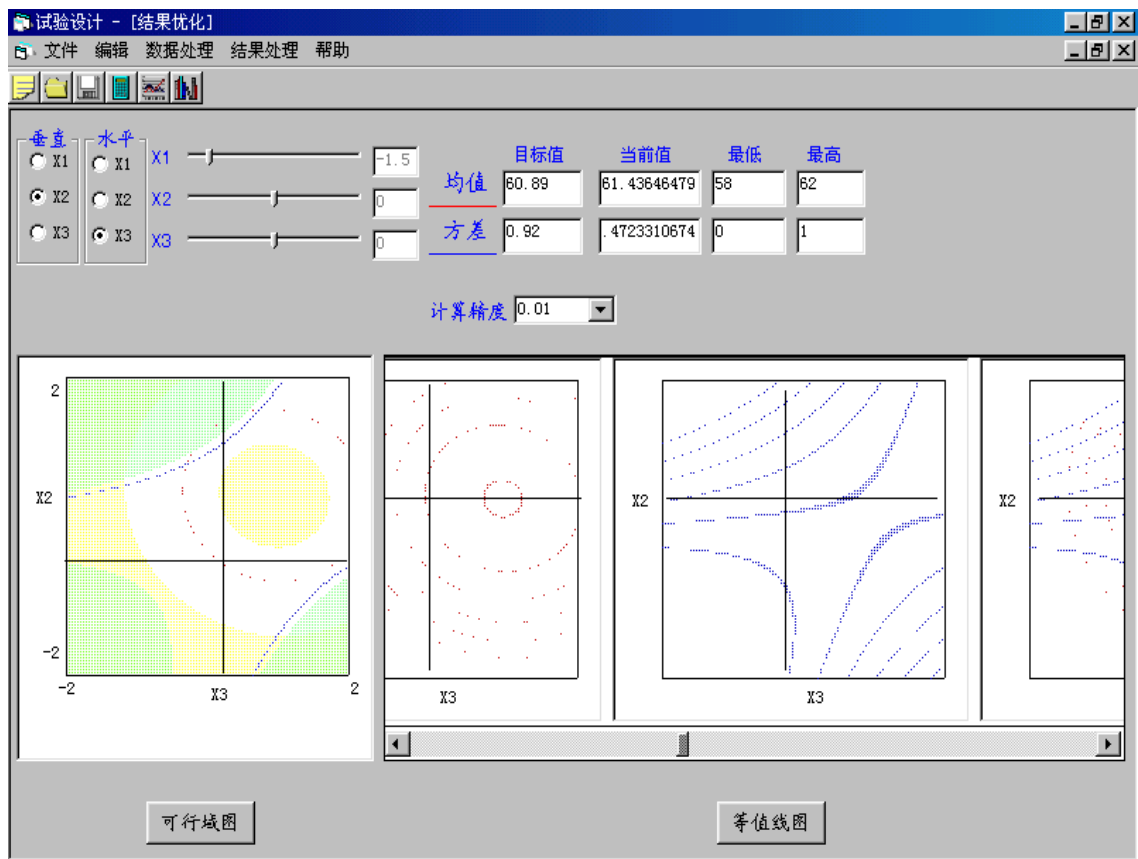


图 1 胶料硬度生产条件可行域及等值线图

从可行域图，并结合考虑降低生产成本可以确定出最佳系统运行条件为：

$x_1 = -1.5, x_2 = -1.4, x_3 = 1$ ，即促进剂取 1.05 份，硫化剂 1 取 0.5 份，硫化剂 2 取 1.6 份可以使硬度的均值达到 58.4346 MPa，方差不大于 0.911，该配比满足质量要求，对不可控因素的变异不敏感，具有较好的稳健性，同时还可以节约较贵重的促进剂的使用量。

3. 结论与展望

本文采用双响应曲面方法找到了最优的设计配比,新的添加剂配比方案减少了促进剂的使用量,在提高质量的同时降低了成本。双响应曲面方法提供了一种可以同时改进响应均值和响应方差,提高产品设计稳健性的有效工具。

4. 参考文献

- [1] W.Y Fowlkes, C.M Creveling. Engineering Methods for Robust Product Design[M]. Reading Massachusetts: Addison-Wesley, 1995.
- [2] R.H Myers, D.C Montgomery. Response Surface Methodology[M]. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [3] J.M Lucas. How to Achieve a Robust Process Using Response Surface Methodology[J]. Journal of Quality Technology, 1994. 26(4): 248-259.
- [4] D. C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments[M]. 4th edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [5] 何 桢, 张生虎等. 结合 RSM 和田口方法改进产品/过程质量[J]. 管理工程学报. 2001. 15(1): G.E.P Box, etc. Statistics for Experimenters[M]. New York: John Wiley & Sons, 1990.