

DOE知识介绍

一、什么是 DOE

DOE(Design of Experiment) 试验设计，一种安排实验和分析实验数据的数理统计方法；试验设计主要对试验进行合理安排，以较小的试验规模(试验次数)、较短的试验周期和较低的试验成本，得理想的试验结果以及得出科学的结论。

实验设计源于 1920 年代研究育种的科学家 Dr. Fisher 的研究, Dr. Fisher 是大家一致公认的此方法策略的创始者，但后续努力集其大成，而使 DOE在工业界得以普及且发扬光大者，则非 Dr. Taguchi (田口玄一博士) 莫属。

二、为什么需要 DOE

要为原料选择最合理的配方时（原料及其含量）；

要对生产过程选择最合理的工艺参数时；

要解决那些久经未决的“顽固”品质问题时；

要缩短新产品之开发周期时；

要提高现有产品的产量和质量时；

要为新或现有生产设备或检测设备选择最合理的参数时等。

另一方面，过程通过数据表现出来的变异，实际上来源于二部分：一部分来源于过程本身的变异，一部分来源于测量过程中产生的变差，如何知道过程表现出来的变异有多接近过程本身真实的变异呢？这就需要进行 MSA测量系统分析。

三、DOE实验的基本策略：

策略一：筛选主要因子（X型问题化成 A型问题）

实验成功的标志：

在 ANOVA 析中出现了 1~4 个显着因子；

这些显着因子的累积贡献率在 70% 以上。

策略二：找出最佳之生产条件（A 型问题化成 T 型问题）

实验成功的标志：

在第二阶段的实验中主要的误差都是随机因素造成的。

因为各因子皆不显着，因此，每一因子之各项水准均可使用，在此情况下岂不是达到了

成本低廉且又容易控制之目的。

策略三：证实最佳生产条件有再现性。

试验设计方法及其在国内的应

用

[返回 DOE 目录](#)

随着改革开放的深入，以市场经济为代表的西方先进文明及其方法论越来越多被国内企业界所接纳。在质量管理、产品（医药，化工产品，食品，高科技产品，国防等）研发、流程改进等领域，统计方法越来越多成为企业运营的标准配置。

试验设计作为质量管理领域相对复杂、高级的统计方法应用，也开始在国内被逐渐接受，推广。其实试验设计对于我国学术界来说并不陌生。比如均匀设计，均匀设计是中国统计学家方开泰教授（下图左）和中科院院士王元首创，是处理多因素多水平试验设计的卓有成效的试验技术，可用较少的试验次数，完成复杂的科研课题开发和研究。

国内一些大学的数学系和统计系近年来已经逐渐开始开设专门的试验设计课程，比如清华大学，电子科技大学、复旦大学等高校。国内一些行业领先的企业，比如中石化，华为科技，中石油，宝钢等企业，

也开始在质量管理和产品研发、工艺改进等领域采用 DOE方法。

尽管 DOE越来越多的被国内产、学、研领域所接受，但是我们还是看到，国内对于 DOE的研究和推广仍旧停留在比较浅的此次。以上述企业为例，中石化下属的石化科学研究所和上海石化研究所应该是我国石油化工研究领域的王牌单位了，不过不管是北京的石科院，还是上海石化研究所，在油品研发、工艺改进、质量管理等领域，对于 DOE的使用还仅仅停留在部分因子和正交设计层面。笔者在网络上查询到电子科技大学的 DOE课程目录如下：

教材目录：

第一章 正交试验基本方法

第二章 正交试验结果的统计分析——方差分析法

第三章 多指标问题及正交表在试验设计中的灵活运用

第四章 $L_{tu}(tq)$ 型正交表的构造

第五章 $2k$ 和 $3k$ 因子设计

第六章 优选法基础

第七章 回归分析法

第八章 正交多项式回归设计

第九章 均匀设计法

第十章 单纯形优化法

第十一章 鲍威尔优化法及应用

第十二章 三次设计

第十三章 稳定性设计

目前业界常用的高端试验设计方法比如定制设计，筛选设计，空间填充设计等高级试验设计方法（Advanced DOE），无论在国内的统计教学、科研还是在产业界的应用，都还比较少见，但已有逐步扩大趋势。

西方企业对于 DOE的应用早已大规模开始，比如美国航天、航空设计的顶尖单位，乔治亚宇航设计

中心，在开发导弹、战斗机等美国绝密武器系统的时候，无一例外的使用了定制设计（Customer Design）。在民用领域，比如 INTEL，惠普，苹果等公司在产品研发和质量提升阶段，都使用了高级试验设计方法。

按照试验设计 (DOE) 方法发展的历程和应用的先后，我们简单介绍一下什么是高级试验设计方法，以及和其相对应的传统试验设计方法。如下图所示，传统 DOE包括部分因子设计、完全因子设计、响应面设计、扩充设计，混料设计和田口设计。与此对应，高级 DOE则主要包括空间填充，非线性和定制设计等。

目前能够实现 DOE(试验设计)的专业软件工具不多，其中最权威的当属来自全球最大的统计软件供应商 SAS集团旗下的桌面统计分析软件 JMP。首先，JMP的 DOE内容最为完整，除了包括部分因子、完全因子、响应面设计、扩充设计，混料设计和田口设计等传统 DOE外，还包括空间填充，非线性和定制设计等高级 DOE。其次，JMP的 DOE功能最为强大，除了整合传统的统计建模，图形展示等分析方法外，还融入了模拟，I 最佳与 D最佳比较，简单数据挖掘等独特方法强化分析效果。再次，JMP的 DOE实现最为方便，因子的数量，水平的数量，试验的次数等等都可以自定义，用户能够根据实际问题的要求构建试验，而无需任何修饰。更进一步，JMP的试验设计中还整合了模拟器(Simulator) 功能，用户可以直接对试验所得的新方案进行仿真模拟，以最大限度地减少失败风险。

介绍传统 DOE的资料比较多，在此不再赘述，笔者还是将笔墨集中在更高效的高级 DOE上。

首先介绍一下空间填充设计(Space Filling Design)，它适合于不存在随机误差，但强调控制系统偏差的试验场合。众所周知，随机化(Randomization)、区组化(Blocking)和仿行(Replication)这三大理念是在我们做常规试验设计时反复强调的基本原则，但是当对随机误差的关注远远小于对模型本身的关注时，强调以上三条原则将不能最充分地利用可用资源。这时我们应当关注系统偏差，即近似模型与真实数学函数之差异。空间填充设计的目标就是限制系统偏差。系统偏差的大小与试验点的代表性密切相关，通过球填充设计、均匀设计和最低潜能等方法，空间填充设计的试验方案能获得最佳的覆盖面，从而为获得信息量最丰富的试验结果数据以提供决策支持奠定基础。

其次，再来说一说非线性设计，它适用于需要高精度地构建参数为非线性的模型。在某些工程技术和社会科学的试验设计领域中，常常会遇到非线性模型的研究问题，由于非线性分析的复杂性和特殊性，很

多人会采用多项式模型近似描述，简化问题。但是当我们对模型应用的要求较高时，上述的处理方法就显得力不从心了。其实，关于非线性设计与建模的理论已经逐渐成熟，通过牛顿迭代等技术允许用户生成非线性最优设计和最优扩充数据，从而拟合参数为非线性的模型。与标准的多项式模型相比，用此类模型描述相应流程时，能够产生更为精确的流程行为预测，也即模型与实际问题的符合性更好。

最值得一提的还是定制设计，它灵活便捷的设计风格和通用一致的分析模式使众多对传统 DOE 领域屡战屡败的人眼前一亮，信心大增。对一般的非统计专业人士来说，单单听到响应面、混料、拉丁超立方等一大堆专业名词就已经如坠云雾了，后面的分析报表就更如天书一般，这样的情形不由得让人对试验设计望而却步，试验设计用最通俗易懂的语言还原试验设计的本质，只要定义了你所研究产品或过程的输入因素和输出响应、目前的试验预算有多少，分析的重点和目的在哪里，定制设计生成器就会设计出最符合你要求的试验计划。再加上实际的试验数据，具体的分析结果，如模型公式、最佳水平组合等，就生动形象地展现在你的面前了。它突破了传统 DOE“规则呆板，专业性强”的限制，被许多欧美企业的工程师亲切地称为“能够量体裁衣的 DOE”。

我们举一个简单的例子来体会一下定制设计的独特魅力。例如，在一次市场研究的试验设计中，您想了解目标客户的心理偏好。其中的功能因子水平包括最差(1)、中等(2)和最佳(3)，而价格因子水平包括高(1)、中(2)和低(3)。根据排列组合的方法共可能有 9 次水平组合，但实际上在这个例子中公司可能并不愿意在市场上以最低的价格出售最佳性能的产品，因此您需要在制订试验计划时，就排除功能中的最佳(3)和价格中的低(3)这一组合。这时，传统的 DOE(无论是全因子设计，还是部分因子设计等)都无法实现自定义的因子水平约束，由此生成的试验计划缺少现实意义，由此产成的分析结果缺少可信度，而定制设计可以提供拒绝特定因子水平组合的灵活性，巧妙地解决了这类长期困扰 DOE 用户的难题。

以上方法都可以通过专业软件 JMP 实现，从而进一步提高使用 DOE 的工作效率，有兴趣的读者不妨一试。

试验设计(DOE)就在你身边

DOE 即试验设计(Design Of Experiment) ，是研究和处理多因子与响应变量关系的一种科学方法。它通过合理地挑选发展，DOE已经历了 80 多年的发展历程，在学术界和企业界均获得了崇高的声誉。

然而，由于专业统计分析的复杂性和各个行业的差异性，DOE在很多人眼中逐渐演变为可望而不可及的空中楼阁。其的神秘面纱，了解 DOE的执行过程，自由地建立属于自我的 DOE空间。

场景 :相信大家都吃过爆米花，但是大家是否都了解爆米花的制作过程？在品尝爆米花的时候，不知道您是否注意到有行容易就能确定重要因子的合理范围：加工爆玉米花的时间（介于3 至 5 分钟之间）微波炉使用的火力（介于5 至 10 档

第 1 步：定义响应和因子

第 2 步：定义因子约束

根据经验，你知道：不能在试验中长时间高火力加工爆玉米花，因为这样会烧焦某些玉米粒。不能在试验中短时间低

第 3 步：添加交互作用项

我们可以推测：与爆开玉米比例相关的任意因子效应可能取决于某些其它因子的值。例如，品牌 A时间变化的效应

第 4 步：确定试验次数

根据在模型中添加的效应，执行试验需要一定的试验次数。我们可以使用最小值、建议值，也可以指定试验次数，只

第 5 步：指定输出表格

生成的数据表保留了随机化的特性，显示了我们应该运行试验的顺序，首先在 7 级火力下将第一包 B牌的玉米加工 3

第 6 步：收集和输入数据根据

设计方案加工爆玉米花。然后，计算每包中爆开的玉米粒的数量。最后，保存结果至数据表。

第 7 步：分析结果

可以构建数据模型了，一般使用最常见的分析方法——最小二乘法，但是如果响应数据明显不呈正态分布时，选择广

简要地查看输出报告中的“参数估计”表，发现所有的 p 值都小于 0.05 ，表明所有的模型效应，包括一次主因子作用、二次交互作用等。我们已确认时间、火力以及品牌与爆开玉米粒个数之间存在着紧密关系，要进行进一步研究，可以打开“预测刻画器”，分析当“时间”值从 3 转移至 5 时，“爆开个数”也在发生相应得变化。同时，随着时间的增加和减少，时间和火力预测轨迹的斜率也在发生变化。最后，还可以通过“预测刻画器”寻找出最优设置，即最合意的设置。我们根据试验分析结果而推荐的方法是：使用 A 品牌，

类似这种爆玉米花的案例在我们的生活和工作中还有很多很多，有兴趣的读者完全可以将平时遇到的问题抽象成一个

初识试验设计(DOE)

其实，DOE对中国人来说，也不是一个完全崭新的内容。早在新中国成立初期，华罗庚教授就在我国农业、工业领域推广了 DOE。与此同时，“均匀设计”法也在全球研究 DOE理论的学术界得到了高度赞誉。但是，在将 DOE的先进理念和科技方法向各

通过“DOE系列之一”我们已经知道：DOE与人们的生活及工作密切相关，在专业六西格玛统计分析软件 JMP的帮助下，其中，试验规划又可以分为均分设计、因子设计、响应面设计等，分析方法又可以分为极差分析、方差分析、多元回归分析等。地向读者介绍 DOE的理论体系和应用过程。另外，感谢当代高速发展的计算机技术，我们可以借助六西格玛统计分析软件 JMP

一般的实际问题都是纷繁复杂、千变万化的，但是透过现象看本质，所有实际问题的共同点也可以通过统一的模型来描述。控制的输入变量，例如人员、设备、原材料、操作方法和环境等，通常被称为“可控因子”（Factor），它们可以是连续型数值。数学模型的具体表达式越精准，说明我们对这个过程的理解越深刻，DOE就是协助我们揭示或验证数学模型表达式的利器！

图一 过程模型

在某些要求不高的工作环境中，往往不需要用一个复杂的数学表达式来描述过程的全貌，但至少要了解哪个或哪几个因子的计算过程，主要以视觉效果阐述主要概念。主因子作用是指一个因子在不同水平下的变化导致响应的平均变化量。正如图 1 所示，左半部分的因子 A 受因子 B 的变化而变化，两组 A 与 Y 的回归直线完全平行，表明因子 A 与 B 之间没有任何交互作用；反之，右半部分的因子 A

图二 主因子作用示意图

图三交互作用示意图

秉承“理论联系实际”的原则，接下来我们用一个真实的案例来说明上述原理的实际意义。

场景：一位工程师希望通过减小厚度来改善涡轮叶片质量，首先他想定量地研究在相关的生产过程中，三个最有可能影响厚度的因素：铸造温度、浇铸时间和放置时间。他设计了一个试验方案，试验方案和最终结果如表一所示，试通过主因子作用和交互作用进行分析。

表一 涡轮叶片厚度试验记录

铸造温度(C)	浇铸时间(S)	放置时间(M)	厚度(mm)
300	1	1	
350	1	1	
300	3	1	
350	3	1	
300	1	2	
350	1	2	
300	3	2	
350	3	2	

相关的统计计算可以借助专业六西格玛统计分析软件MP轻松实现，在此不一一详述，重点用形象直观的图形说明分析结果。

图四 各因子的主因子作用

图五 各因子间的交互作用

由图四可知，铸造温度和浇铸时间对涡轮叶片的厚度有比较显著的影响，而放置时间则几乎没有任何影响。由图五可知，铸造温度和浇铸时间的正确设置对最终产品质量的重要性。

当然以上只是有关 DOE 的一个最基础的应用，笔者会在下期文章中进一步与大家交流更深层次的内容。

多因子试验设计(DOE)的魅力

通过前面的介绍，我们已经初步认识到了 DOE 的强大分析功能。但是有的读者可能会不以为然：在此之前的两个案例中，我们得出了一个结论：DOE 只适合于少数因子的问题分析，至于处理多因子问题，则显得无能为力了。

这个结论显然有失偏颇，其实 DOE 的一大特点就是可以处理包含多达 50 个（并不限于 50 个）因子的复杂问题，本期的案例就是如此。从理论上讲，上一期的 DOE 案例实质上采用的是完全因子设计（Full Factorial Design），这类方法在因子数量较少的情况下，试验次数较少，费用低，意味着实施 DOE 的可行性越来越小。

表一 完全因子 DOE 的局限

因子数量	试验次数
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256

	512
10	1024
...	...

为了解决这个矛盾，我们可以用一种更具魅力的方法——部分因子设计（Fractional Factorial Design）来替代一般的取？举一个简单的例子来说明。

表二显示的是一个完全因子设计的计划表，A、B和C表示三个主因子，+1和-1表示因子的两个不同水平，AB、AC和BC

表二 3 因子的完全因子设计计划表

Run	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1

以上这个试验计划适用于3个或以下因子，可支持8次试验运行的DOE。如果增加了第四个因子D，但依然只能支持8次。此列仍然能与前面各列保持正交性。数学上可以证明，“找出一个与前7列不同的列而与前3列保持正交”是不可能的。换句话果后，分不清两种效应各是多少。权衡之下，我们认为取D=ABC是最好的安排，因为通常主因子作用与三阶交互作用混杂的可能

根据上述决定，将D列取值设定与ABC列相同，并将其前移至第4列，可以得到表三所列的计划表

表三 4 因子的部分因子设计计划表

	A	B	C	D	AB	AC	BC	ABC(=D)
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
3	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
4	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

聪明的读者一定会猜到还可以使用图二的计划表继续构建出第5、第6乃至第7个因子，但试验的规模依然保留在8次。本与分析精度这对矛盾的平衡，也是“部分因子设计”产生的基本原理。值得一提的是，在制定部分因子设计的具体方案时，不

下面我们想通过一个发生在国外的DOE案例来体会部分因子设计的实际意义。

场景：ACB公司是一家网络公司，主要为个人用户提供服务。近阶段以来公司网站的点击数总体偏低，排名在同行... 数、关键词的类型、URI标题、每周的更新频率、关键词在标题中的位置和免费礼物是最具可能性的关键因子。但是如果按

显然，这个案例用部分因子设计的DOE来实现是再合适不过了。针对已知的6个关键因子，各取两个最具代表性的水平值... 击数量，结果如表四所示。

表四 DOE实施记录

URI标题	关键词的个数	关键词的类型	每周的更新频率	关键词在标题中的位置	免费礼物	点击数
短	5	旧	4	第70个字符	有	5083
长	5	旧	1	第40个字符	有	2272
短	10	旧	1	第70个字符	无	2012
长	10	旧	4	第40个字符	无	4328
短	5	新	4	第40个字符	无	6359

	5	新	1	第 70 个字符	无	3676
短	10	新	1	第 40 个字符	有	4779
长	10	新	4	第 70 个字符	有	6549

接着，专业六西格玛统计分析软件 JMP可以帮助我们做出具体的定性和定量的分析，不仅如此，它还等借助丰富生动的图

图一 主因子作用的 Pareto 图

图二 主因子作用的正态性图

无论是从图一的 Pareto 图，还是从图二的正态性图，我们都能清晰地发现每周的更新频率和关键词的类型是影响点击数响，多因子 DOE的魅力正吸引着更多的工作人员将 DOE的分析方法应用到更多的应用领域中。

用 DOE方法最优化质量因子配置

经过筛选试验的精简和全因子试验的描述，很多人会满足已经取得的成绩，但也有一些精益求精的人会提出这样的问题：是否会相互影响，却没有刻意去从整体中寻觅最佳的因子设置。为了解决这个问题，需要引入 DOE中另一种新方法——（Resp提及，JMP6是迄今业界唯一的中英文双语版六西格玛软件，来自全球顶尖的统计学软件集团 SAS

在实际工作中，常常需要研究响应变量究竟如何依赖于自变量 X的，进而能找到自变量的设置使得响应变量得到最佳值

通常来说，DOE的核心技术可分为试验计划和数据分析两大类，响应曲面方法也不例外。在数据分析方面，它和以前

图一 三因子中心复合设计布点示意图

1. 立方体点 (Cube Point)，用蓝色点表示。各点坐标皆为 1 或-1，这是全因子试验相同的部分。
2. 中心点 (Center Point) ，用绿色点表示。各点的三维坐标皆为 0。
3. 轴点(Axial Point) ，用黄色点表示。除了一维自变量坐标为 $\pm a$ （旋转性指数）外，其余维度的自变量坐标皆

试验计划的另一种形式就是 **Box-Behnken** 设计。这种设计的特点是将因子各试验点取在立方体每条边的中点上。

图二 三因子布点示意图

图二同样以三维空间立方体的形式展示了一个三个因子的 **Box-Behnken** 设计的试验计划示意图。整个试验由下面两部

1. 边中心点 (**Side Center Point**)，用白色点表示。除了一维自变量坐标为 0 外，其余维度的自变量坐标皆为 ±1。 在三个
2. 中心点 (**Center Point**) ，用黑色点表示。各点的三维坐标皆为 0。

由以上两个示意图可以清晰地发现，响应曲面方法有规律、有目的地在试验计划中增添了有限次数的各因子的中心试验点和

关于响应曲面方法在数据分析方面的特点，由于其和一般的因子设计 **DOE** 非常类似，此处就不做赘述。主要还是通过一个工业

场景：如何通过催化剂 (**Catalyst**) 和稳定剂 (**Stabilizer**) 配置比例的具体设定，才能获得某化学试剂的最低不纯度

因子	低水平 (-1)	高水平 (+1)
催化剂% (Catalyst)		
稳定剂% (Stabilizer)		

显然，此时的工程师已经不满足于从仅有的四次全因子组合中选择最优的选项，而是希望在一个更广阔的可行性空间

这时候，将传统的因子设计方法搁置一旁，适时地调用响应曲面方法，往往会起到最佳的效果。为了提高我们应用 **DOE**

首先，我们根据实际情况，以中心复合设计为原则，迅速地确定了 13 次运行次数的试验规模以及每次试验时的因子具

图三 中心复合设计的试验结果汇总表

然后，运用“模型拟合”的操作平台，就可以得到具体详尽的定量分析。遵循我们“强调通俗易懂，淡化统计原理（Plot）。从两个图中都可以清楚地看到，在原试验范围内确实存在一个最小值。

图四 等高线图

图五 曲面图

那么这个最小值究竟是多少？它又是在什么条件下产生的呢？进一步借助JMP自带的模型预测刻画器（Prediction Pr实在难能可贵。

至此，我们匆匆走过了应用DOE优化流程的探索之路。其实在DOE的优化过程中，还有很多其他实用的知识和技巧，

图六 模型的预测刻画器

顾此不失彼的 DOE

本系列前四篇中已经介绍了几种不同背景、不同要求的情况下，应用DOE的原理和技巧。但细心的读者会发现之前的质量水平越高越好，但同时希望成本越低越好等等。这类问题与古人所说的有些相像：“鱼与熊掌，能否兼得”？确实，如件JMP是目前业界最先进的六西格玛工具，其在DOE方面的表现最为优秀，本期案例我们仍以中英文双语版JMP软件作为DO

其实，解决这个问题的关键是能否创建一个新指标，用它来代表所有的旧指标，然后通过优化这个新指标，就可以实

0 至 1 之间的单个意愿达到最大的问题。意愿的函数形式可分为三大类，同时根据实际情况，分别确
小”型（Minimize）时，可以用图二来描述此时意愿的规律；当试验的指标是越接近某值越好，即“望目”型（Target）时，

此外，一个过程可能有很多响应变量，而且这些响应变量的重要程度对我们来说也可能不尽相同。权重（Weight）就
在单个意愿及其对应的权重的基础上，就能够合成一个综合指标：复合意愿。它的一般定义公式为：，如果这些单个意愿的权

图一 “望大型”意愿示意图

图二 “望小型”意愿示意图

图三 “望目型”意愿示意图

在掌握了多变量响应优化的原理之后，再加上专业 DOE 软件 JMP 的具体实施，相应的问题就迎刃而解了。遵循理论联系

场景：在半导体行业中，蚀刻率（Etch）和不均匀性（Ununiformity）都是非常重要的质量指标，它们的表现与生
之间的设置差距较大，怎样才能兼顾两种不同效应的表现，找到最合适的输入控制因素的设定呢？

图四 某半导体生产流程的输入输出表

显然，此时的半导体技术人员已处于流程的优化阶段，但同时正面临着一个“鱼与熊掌，孰轻孰重”的两难境地，寄
首先，根据已掌握的信息，按照中心复合设计的原则，制定 12 次运行次数的试验规模以及每次试验时的 Gap 和 Power 的具体

图五 中心复合设计的试验结果汇总表

然后，与以往一样，运用 JMP 软件中的“模型拟合”的操作平台，就可以得到生产过程的量化分析。我们从大量的分

图六为等高线图，平面地二维坐标表示输入变量 Gap 和 Power，而红蓝两色的等高线分别表示输出变量 Etch 和 Ununiformity。Power 的合理设置范围，也可以将它看作能使输出结果最稳健的取值区域。

图六 等高线图

图七为预测刻画器，它是一个二维坐标系矩阵。我们可以从中观察到输入变量与输出变量之间的变化规律，各个输出

果是：Etch=，Ununiformity=。与实际要求相比较，这样的结果无疑是令人满意的，既能“顾此”，亦能“不失彼”。

图七 预测刻画图

试验设计(DOE)五部曲

无论是在工程技术、质量管理、产品研发等方面，还是在近来热门的六西格玛领域，试验设计 DOE 都是我们解决问题的好帮手。我们的产品本身及其制造工艺千差万别，小到英特尔公司生产的 CPU 芯片，大到乔治亚宇航中心研制的火箭系统。如果说这些产品之

设计的步骤也是类似的，基本上可以概括为五大步骤，即试验设计的五部曲。

第一步 确定问题

无论在什么企业中，都可能存在一些质量问题，它可以具体地量化为某个 KPI 指标不能够达到我们事先规定的要求。针对

对于运用试验设计解决的问题，首先要定义好试验的目的，也就是解决一个什么样的问题，问题的危害（即严重性）如何

的。特别是对于生产型企业，试验设计的进行必然会打乱原有的生产稳定秩序，所以确定试验目的和试验的可行性是首要的任务。

第二步 流程解析

很多人（包括某些领导）常常会有一个误区：那就是只将关注点放在结果上，而忽略了产生结果的那个流程。其实任何一流程当中。有很多的方式来解析流程，但有一点必须做到，那就是尽可能详尽地列出可能的因素。其实对于流程的剖析和认识，

第三步 筛选试验

流程解析的输出是使我们能够了解问题的可能因素在哪里，虽然不能确定哪个是重要的，但至少可以确定一个总的方向。

这时，对可能的因素进行筛选就显得十分必要。虽然不需要确认交互作用、高阶效应等专业问题，但需要确认哪个因素最地达到最小。而且，对于这一步任务的完成，可以应用一些历史数据，或者完全可靠的经验理论分析，来减少试验因子。筛选因过、不求甚解的态度得出的。

第四步 析因试验

在筛选试验时不强调因素间的交互作用等影响，但给出了主要的影响因素，这时主要因素的数量不会太多，可以进一步度

析因试验主要选择各因素构造的几何体的顶点来完成（如上图所示）。这样的试验构造，可以帮助我们确定对于指标的影是否显著，同时对以往的筛选试验也是一个验证。

第五步 优化试验

在析因试验中，确定了所有因素与指标间的主要影响项。快速接近的方法，使我们确定了主要因素的大致取值水平。但是就是利用已有的析因试验的试验数据来最终优化指标，或者说增加一些试验点来完成这个任务。

试验点一般根据回归试验的旋转性来选取，而且它的水平应该根据功效、因子数、中心点数等方面来合理设置，确保回归模型结果（如下图所示），便于我们用优化的手段来确定最终的因子水平设定。

汽车轮胎行驶的路面，不可能保证都是优质的、相同的，那么对于一些相对较差的路面，怎样来保证轮胎的高性能质量呢？这体现了越来越高的稳健设计、田口设计和容差设计的意图和途径。通常会在设计和研发阶段就提出这类问题，目的就是把这些非可控因素

实践是检验真理的唯一标准。在实际的操作层面，除了遵循上述的五步曲准则之外，试验设计的成功要素还包括：

1. 没有一种“放之四海而皆准”的问题解决方案，试验设计同样不能提供解决所有问题的途径，要全面考虑解决问题的方式，选择最合适的方案。
2. 即使决定采用试验设计，也不能生搬硬套地使用“试验设计五步曲”。跟据实际情况和要求，有时可以省去其中的某几步，有的步骤可以合并。
3. 除了试验设计涉及的因素外，要尽量确保所有的环境因素是稳定和符合现实的。如果条件所限，如果做不到这一点，不妨可以做一些补偿措施。
4. 保证试验的仿真性，避免一些理想的试验环境，比如试验室。
5. 不要一味地排斥试验设计执行之前的历史数据。相反，适当地利用企业信息化的成果，从ERP、MES中的海量数据中进行“数据挖掘”。

6. 为了保险起见，在得到最终的最佳参数水平组合后，还要进行一些验证试验来检验结果，实在没有条件实施验证试验的，也要

7. 工欲善其事，必先利其器。为了提高试验设计的效率和解决问题的成功率，选择合适的专业工具必不可少。源于全球最大统计模拟仿真等相关方法也有机的融合在试验设计中，为我们提供了完整的试验设计解决方案，本文中的所有图形就完全是以JMP软

希望你也可以早日跳出优美的舞步，在试验设计DOE的舞林大会上一展身手！

稳健参数设计的新方法

本文案例基于高端六西格玛软件 JMP实现，JMP最大的特点是分析能力强，六西格玛工具完整，使用简单，便于推广，在企业的新产品、新流程开发，或是在六西格玛设计项目中，稳健参数设计（Robust Parameter Design）（也称健壮设计、

在具体的实践方法中，田口设计（Taguchi Design）和等高线图（Contour Plot）是大多数企业现阶段运用最为普遍的区域段）不错，但细调（在较小范围的量程中精确定位最佳点）不行；等高线图也只善于确定可控因子的允许变化范围，即

到一定水平后就遭遇到技术提升的瓶颈。由于产品质量长期裹足不前，企业不得不陷入到价格战的沼泽之中。

既然存在这样的问题隐患，在统计分析的层面上有什么更好的对策可以应对呢？从专业统计分析软件 JMP的近期研究计新方法。

背景介绍：假设您在一个生产橡胶轮胎的公司研发部门工作，为了将一种新近研制的橡胶轮胎的硬度达到预设的理想目

试验数据，试问结合产品质量的稳定性来考虑，最佳的设计方案应该是怎样的？

按照常规思路，我们可以用 JMP软件内置的响应面（Response Surface）分析法和意愿函数（Desirability Function）试验分析的结果似乎十分理想。

然而，类似上述效果的设计方案并不是唯一的，图二显示的就是同样运用 JMP软件分析得到的另一种设计方案，虽

使得 JMP软件在最大化意愿（Maximize Desirability）的求解过程中发现了大量的局部解（Local Solution）。那么究竟应

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/417150045141006144>