

中国首部企业转型升级必备工具

3

贝思德国际管理·企业转型升级战略系列丛书

新产品开发管理体系 DOE工具应用指南

NEW PRODUCT
DEVELOPMENT SYSTEM
FOR DOE TOOLS

文放怀 编著



深圳出版发行集团
海天出版社

中国首部企业转型升级必备工具

3

贝恩德国际管理企业转型升级战略系列丛书

新产品开发管理体系 DOE工具应用指南

NEW PRODUCT
DEVELOPMENT SYSTEM
FOR DOE TOOLS

文放怀 编著



深圳出版发行集团
海天出版社

图书在版编目 (CIP) 数据


新产品开发管理体系DOE工具应用指南 / 文放怀编著.
—深圳: 海天出版社, 2011.6
(贝思德国际管理企业转型升级战略系列丛书)
ISBN 978-7-5507-0019-2

I. ①新… II. ①文… III. ①产品—技术开发—企业管理—指南 IV. ①F273.2-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第218331号

新产品开发管理体系DOE工具应用指南

XINCHANPIN KAIFA GUANLI TIXI DOE GONGJU YINGYONG ZHINAN

出品人 尹昌龙
出版策划 毛世屏
责任编辑 王筱鲁 廖 译
责任技编 梁立新
装帧设计  斯迈德设计
0755-83144228

出版发行 海天出版社
地 址 深圳市彩田南路海天大厦 (518033)
网 址 www.htph.com.cn
订购电话 0755-83460917 (批发) 0755-83460397 (邮购)
印 刷 深圳市希望印务有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 8.75
字 数 120千
版 次 2011年6月第1版
印 次 2011年6月第1次
印 数 5000册
定 价 35.00元

海天版图书版权所有, 侵权必究。

海天版图书凡有印装质量问题, 请随时向承印厂调换。

前 言

QIANYAN

实验设计（DOE）是新产品开发管理体系的核心工具之一，它是利用科学的方法找出影响过程的关键变量，从而对过程进行优化的方法。

在进行试验设计时，首先要做好试验策划。要进行什么试验，要达到什么目的，要进行多少次试验，要收集多少样本，需要多少资源（人力、财力、物力）。要做好协调工作，需要哪些部门人员的配合和支持，如何进行试验，由谁测量和记录数据，都要心中有数，统筹规划好。其次要做好试验设计方案，要确定好因子数和水平数，选择好哪一种试验设计方案：是全因子试验还是筛选试验；是分部试验还是响应曲面试验；是田口试验还是均匀设计试验；是调优试验还是谢宁试验。这些都要正确分析，合理选择。确定最佳的试验设计方案，制定试验设计方法和试验步骤，科学进行试验，以使试验误差最少，使试验结果最真实。

在进行试验时，要严格按照试验计划和试验方案进行。要做好数据的记录工作，既要在测量仪器合格的情况下进行数据测量，又要记

录好试验条件（环境温度、湿度和其他影响因素）和试验结果。严格按照试验方案进行试验，不要随意地调动试验参数、试验次序和试验时间，以确保试验的顺利进行。

在试验方案完成后，要对试验结果进行分析，再确定是否要进一步试验，如重复试验和验证试验，最后得出科学试验结论。在进行试验分析时，应注意对数据的分析方法要与相对应设计方案相适应。分析中应包括选定的模型、残差诊断、评估模型的适应性。要作出预测值的合理推断，从而确定重要因子的最佳设置水平和响应变量的最优结果，必要时加以验证，根据试验分析结果，提交试验报告。

本书DOE案例在网上资源www.6sigmambb.com.cn上，也可以访问DOE2046@sina.com，密码是shane123，下载网上资源进行分析研究。本书在编写过程中参考了试验设计的一些最新成果。在此特向付出辛勤劳动的科学工作者致以崇高的敬意。由于时间仓促，书中不足的地方，敬请读者批评指正。

文放怀

fhwen9888@163.com

<http://www.6sigmambb.com.cn>

2010年8月26日于深圳

目 录

MU LU

第一章 试验设计基础	1
1.1 试验设计基本术语	3
1.2 策划和安排试验	6
1.3 设计原则	9
1.4 常见试验设计的类型	12
1.5 试验结果分析	16
第二章 单因素试验设计和分析	39
2.1 单因素方差分析	41
2.2 多因素方差分析	45
2.3 协方差分析	47
2.4 单因素试验设计和分析	49

第三章	多因素全析因试验设计和分析	59
3.1	筛选试验设计	61
3.2	2^k 全因子试验设计	65
3.3	3^k 全因子试验设计	100
3.4	一般全因子试验设计	107
第四章	分部析因试验设计	115
4.1	2^k 分部因子试验设计	117
4.2	分辨度III的试验设计	121
4.3	分辨度IV的试验设计	130
4.4	分辨度V的试验设计	139
第五章	田口试验设计和分析	149
5.1	田口试验设计概述	151
5.2	静态田口试验设计和分析	154
5.3	动态田口试验设计和分析	162
5.4	新产品稳健设计及优化	172
第六章	混料试验设计和分析	177
6.1	混料试验设计概述	179
6.2	混料试验设计类型	180
6.3	单纯形质心试验设计和分析	183
6.4	单纯形格点试验设计和分析	189
6.5	极端顶点试验设计和分析	194
6.6	单纯形质心加过程变量的试验设计	199
6.7	单纯形格点加过程变量的试验设计	206
6.8	极端顶点加过程变量的试验设计	213

第七章	响应曲面试验设计和分析 ·····	221
7.1	响应曲面试验设计概述·····	223
7.2	中心复合试验设计和分析·····	226
7.3	Box-Behnken试验设计和分析·····	235
第八章	调优运算 ·····	241
8.1	调优运算 (EVOP) 方法·····	243
8.2	调优运算 (EVOP) 应用·····	244
第九章	正交与均匀试验设计 ·····	247
9.1	正交试验设计·····	249
9.2	均匀试验设计·····	252
9.3	均匀设计在因子试验中的应用·····	257
9.4	均匀设计在新产品开发中的应用·····	260

试验设计基础

本章将介绍以下内容

- 试验设计基本术语
- 策划和安排试验
- 设计原则
- 常见试验设计的类型
- 试验结果分析

1.1 试验设计基本术语

1.1.1 独立和非独立变量

独立变量又叫自变量 (X 'S), 也叫试验变量。如果A、B、C三个变量是影响某化学反应成功率的主要变量, 那么A、B、C可称为三个独立变量。

非独立变量又叫因变量 (y), 也叫响应变量。如果某化学反应成功率 y (试验指标) 是与A、B、C三个变量有关的, 那么 y 可称为非独立变量。非独立变量也可理解为试验指标或试验结果。

1.1.2 因子和水平

影响试验结果的因子和水平可能是多方面的或多水平的。试验因子 (或因子) 是影响试验结果的量, 一般记为A、B、C等, 也可用 x_1 、 x_2 、 x_3 等自变量进行标记。

试验因子可分为定量和定性因子。例如: 温度、压力等可称为定量因子; 批号、班次、流程等可称为定性因子。

试验因子又可分为可控和不可控两类。有的试验因子是可以控制或调节的, 如温度、压力、速度等, 而有一些因子是不可控制的, 如环境因子、温度和湿度等, 则称为不可控因子或干扰因子。在试验设计中, 如无特别规定, 因子一般指可控因子。

影响试验结果的因子多少, 决定试验设计和复杂程度。只有一个

因子的试验，称为单因素试验。具有两个以上因子的试验，称为多因子试验。同时具有多因子和多水平的试验又叫多因子多水平试验。

因子的水平是试验因子所处的状态，即试验因子的变化范围。通过试验因子变化范围的 A_3 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 C_1 、 C_2 、 C_3 进行不同的试验组合，可获得较佳的组合试验结果。

1.1.3 响应和处置

试验响应就是试验输出 η ， ε 为试验误差，如下图1-1所示：

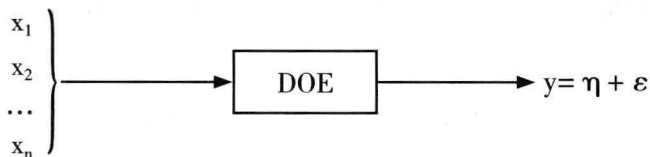


图 1-1

试验处置是试验输出的处理或采取的改善行动，其基本模型如图1-2所示：

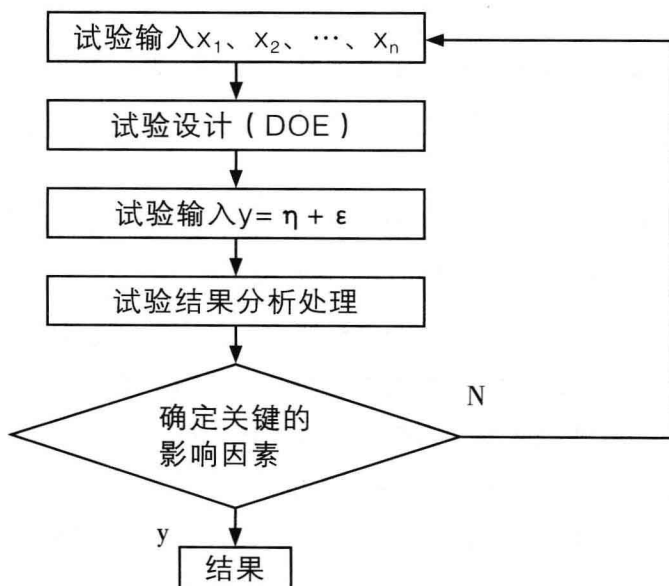


图 1-2

1.1.4 误差和重复

试验误差是试验结果的观察值与真值的差值，常用 ε 表示。

$$\varepsilon = y - \eta$$

影响试验误差是多方面的，如图1-3所示：

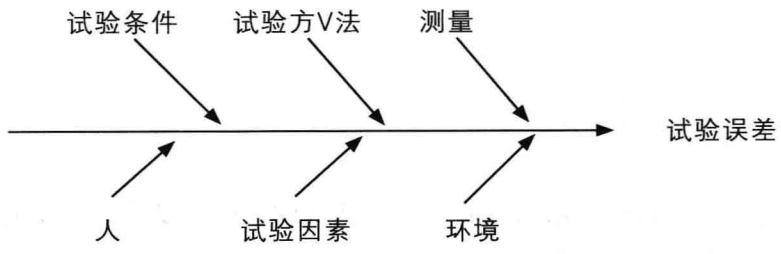


图 1-3

在给定的试验条件下，尽可能避免对试验结果影响的变异来源，即噪声因子。将试验误差降到最低限度。为避免噪声因子的影响，可进行重复试验。

重复试验是在同样的试验条件下进行试验，收集试验结果，以判断试验误差的大小。重复试验可减少不可控因子对试验结果的影响。

1.1.5 交互作用 (interaction)

交互作用指这样的情况：一种因子的影响依赖于另一种因子的水平。交互作用如下图所示：存在交互作用和不存在交互作用。如图1-4所示：

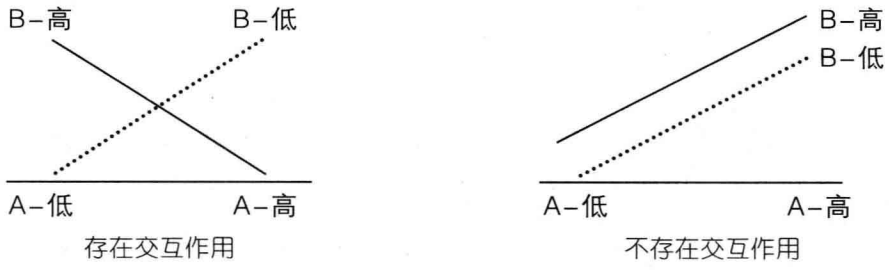


图1-4 交互作用图式

1.2 策划和安排试验

策划和安排试验是试验计划的过程，是试验能否成功的关键步骤。

1.2.1 确定实验目标

确定实验目标是通过试验设计要达到的目的。试验设计是要花费一定的人力、物力和资金的。明确的实验目标是达到实验目的的第一步。通过试验设计可以达到如下目标：

1. 确定、验证和优化制造过程的主要影响变量及影响程度。
2. 创造对物料和部品变化不敏感的制造过程。
3. 设计对使用环境不敏感（即受环境的影响小）的产品。
4. 降低总的设计周期。
5. 减少ECN（设计变更通知书）数量。
6. 改进与CTQ'S有关的产品品质、成本和性能指标。
7. 提高新设计产品的工艺性。
8. 为制造过程列出问题及解决方案。
9. 减少对产品的检查和测试。

1.2.2 选择实验因子和水平

选择试验设计因子和水平。根据试验设计的需要，确定试验设计的因子和水平，以便进行试验设计。

试验设计的目的在于捕捉各试验因子对输出变量的最大影响，因

此在选择试验因子的水平时，水平范围要足够宽，否则就可能缩小甚至抵消变量影响，还可能造成看不出因子间交互作用对输出的影响。当然因子水平设置也不可过宽，否则同样可能缩小此因子的影响，或将其他因子的影响掩盖掉。过宽还可能超出允许操作范围，造成意外损失。

图1-5显示了因子水平选择不当的两种情形。

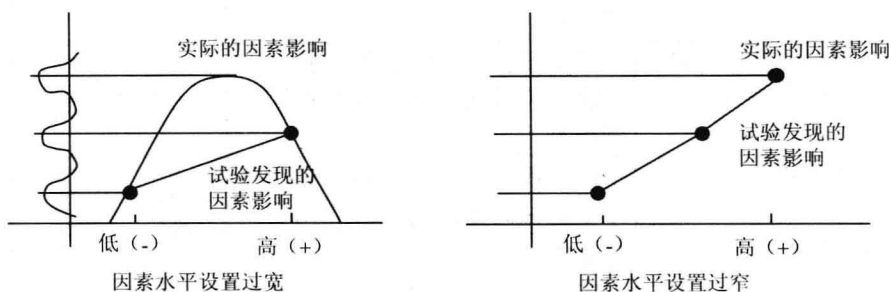


图1-5 因子水平设置

1.2.3 响应和测量方法

响应即试验的输出。对试验结果的评估有定量和定性两种方法，如表1-1所示：

响应定量评估	响应定性评估
①测量系统、测量方法	②定性指标定量化 ③公平评分法

表 1-1

定量评估需确定特定的测量系统和测量方法，首先要求测量系统是合格的并减少变差。定性指标定量化是指对定性指标进行量化，以便进行试验结果分析。公平评分法是指根据试验性质，以一定的标准公式进行评估的方法。

1.2.4 选择合适的试验设计方案

根据不同的目标和因子水平，选择试验设计方案，如表1-2所示。

试验方案	目的	典型可控因子数
1.全析因试验（所有因素和水平的组合）	1.寻找最有利于输出的因素水平 2.建立可评估所有交互影响的数学模型	3-5因子以内
2.分部析因试验（所有组合的一个子集）	1.寻找最有利于输出的因素水平 2.建立可评估分部交互影响的数学模型	5因子以上
3.筛选试验	从大量因素中发现少数关键因素（不评估因素间的交互作用）	5因子以上
4.中心复合设计	1.优化 2.建立非线性影响存在时的数学模型	3-5因子以内
5.Box-behnken设计	1.优化 2.在存在噪声因素变化的场合发现输出最小变异时对应的因素水平	3-5因子以内
6.田口设计	1.稳健性设计 2.优化产品或制造过程的函数 3.使输出对噪声因素敏感性最小，对输入因素敏感性最大	3-5因子以内

表 1-2

试验方案的选择流程如图1-6所示：

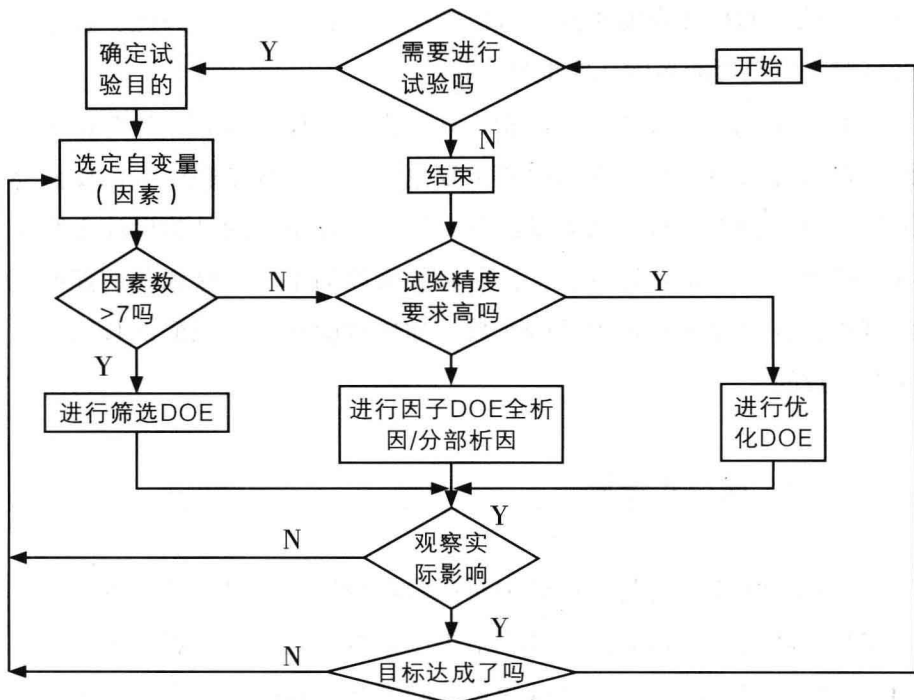


图 1-6

1.3 设计原则

在试验设计中应遵循三个基本原则：重复性原则、随机化原则和局部控制原则。

1.3.1 重复性原则

我们把每个试验条件只做1次试验，称为不重复试验；把每个试验条件进行1次以上的试验称为重复试验。重复试验的目的是为了降低随机误差的影响，避免可控的系统性因子影响。在试验设计中，试验误差是客观存在和不可避免的。若每个试验条件下取得1次试验，就很难估计出试验误差，只有设置几次重复，才能利用同样试验条件下取得