

研究生教学用书

教育部研究生工作办公室推荐

试验优化设计与分析

(第二版)

*Optimum design and
analysis of experiments
(Second Edition)*

任露泉 编著

高等教育出版社

研究生教学用书

教育部研究生工作办公室推荐

试验优化设计与分析

(第二版)

Optimum design and
analysis of experiments

(Second Edition)

任露泉 编著

高等教育出版社

内容提要

本书从技术观点和应用观点出发,重点阐述了试验设计、回归设计和数据处理的最优化方法和最新分析技术,以进一步提高试验优化的效率和水平,提高优化质量和成效。

全书共分三篇二十一章,除了介绍试验优化的基本原理、常用方法外,还介绍了试验设计的最新方法、回归设计的最新应用技术,以及试验优化分析的最新研究成果及其应用实例。此外,还介绍了试验优化的常用统计软件。

本书可作为理、工、农、经济和管理等专业本科生、研究生的教学用书,也可供科研人员、工程技术人员、实验人员、营销人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

试验优化设计与分析/任露泉编著. —北京:高等教育出版社, 2003.8

ISBN 7-04-012736-9

I. 试... II. 任... III. ①试验设计(数学) —最佳化②试验分析(数学) IV. 0212.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 025451 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所	版 次	2001 年 5 月第 1 版
排 版	高等教育出版社照排中心		2003 年 8 月第 2 版
印 刷	中国农业出版社印刷厂	印 次	2003 年 8 月第 1 次印刷
开 本	787×960 1/16	定 价	51.00 元
印 张	37.25		
字 数	630 000		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

试验优化作为一种通用的现代优化技术,近年来应用范围日益广泛,应用成效日益显著,已成为 21 世纪最具活力的应用数学分支,成为当代科研人员、工程技术人员、管理人员必备的技术。

本书是对 1987 年由机械工业出版社出版的拙作《试验优化技术》的修改、补充和发展。作者根据对试验优化的教学和科研应用的多年实践与体会,为适应读者学习与使用的实际需要,调整修改了原书中的部分内容和一些方法的设计程式;补充了一些试验优化设计的新方法、新技术;增添了试验优化的一些最新应用实例;并增加了试验优化分析一篇。本书重点阐述试验设计、回归设计和数据处理的最优化方法和最新分析技术,以进一步提高试验优化的效率和水平,提高优化成果的质量和成效。

全书共分三篇二十一章。除了介绍试验优化的基本原理、常用方法外,还在第一篇试验设计中,介绍了稳健设计、均匀设计的最新方法;在第二篇回归设计中,介绍了 D -最优设计、混料回归设计的最新应用技术;在第三篇试验优化分析中,介绍了试验数据处理过程中经常遇到的难题及其解决办法,数据分析的最新研究成果及其应用实例,例如有偏估计、PPR 分析、探索性数据分析等。此外还介绍了试验优化的常用统计软件。

本书从技术观点、应用观点力求对每种方法的原理和程式给予通俗的说明,并通过简单实例阐述各种方法的应用,但一般都略去理论的证明和公式的推导。读者只要理解公式的实际意义,便能顺利阅读本书。读者也可在学习和掌握试验优化基本原理和技术的基础上,根据实际需要选择性地阅读有关章节。对于希望进一步了解数学原理的读者,可以阅读有关专业文献。

本书可作为理、工、农、经济、管理等专业本科生、研究生的教学用书,也可供科研人员、工程技术人员、实验人员、营销人员和管理人员参考。

在本书撰写过程中,参考了国内外的有关文献与资料,引用了其中的一些内容和实例,在此向所有原作者和译者表示感谢。

本书曾由国家“211 工程”重点学科建设项目资助出版;2002 年被遴选为全国研究生教学用书,由高等教育出版社出版。在此,作者向关心与

支持本书出版的有关部门,有关学者、专家和同事,表示衷心谢意。
限于水平,书中错误和不妥之处在所难免,诚望读者指正。

作者
2003年3月

目 录

导论	1
§ 0-1 最优化	1
§ 0-2 试验优化	2
§ 0-3 试验优化常用的优良性	3
§ 0-4 试验优化常用方法	4
§ 0-5 试验优化分析	7
§ 0-6 试验优化的应用	8

第一篇 试验设计

第一章 正交试验设计	10
§ 1-1 基本概念	10
§ 1-2 正交表	13
§ 1-3 正交试验设计的基本方法	19
§ 1-4 有交互作用的正交试验设计	26
§ 1-5 混合正交表试验设计	32
§ 1-6 正交试验设计常用方法概述	34
§ 1-7 改造正交表试验设计	36
§ 1-8 调整因素及其水平试验设计	43
§ 1-9 拟因素试验设计	47
§ 1-10 多指标试验设计	51
§ 1-11 正交试验设计的效应分析	55
第二章 干扰控制试验设计	59
§ 2-1 试验干扰	59
§ 2-2 试验设计的基本原则	61
§ 2-3 单向干扰控制区组设计	64
§ 2-4 两向干扰控制区组设计	69
§ 2-5 尧登方区组设计	76
第三章 正交试验设计的方差分析	79
§ 3-1 极差分析与方差分析	79
§ 3-2 正交试验设计方差分析	81

§ 3-3	重复试验的方差分析	86
§ 3-4	不等水平试验设计方差分析	91
§ 3-5	非饱和正交设计方差分析	99
§ 3-6	区组设计方差分析	102
§ 3-7	误差分析与试验水平	106
第四章	稳健试验设计	110
§ 4-1	引言	110
§ 4-2	基本概念	110
§ 4-3	SN 比试验设计	116
§ 4-4	稳健设计	122
§ 4-5	内外表因素相关联参数设计	125
§ 4-6	内外表因素无关联参数设计	133
§ 4-7	综合误差因素参数设计	136
§ 4-8	质量特性灵敏度分析	139
§ 4-9	容差设计	142
§ 4-10	动态特性设计	147
§ 4-11	稳健性技术开发设计	154
第五章	广义试验设计	162
§ 5-1	广义试验	162
§ 5-2	故障判析设计	164
§ 5-3	寿命试验设计	164
§ 5-4	市场分析试验设计	166
§ 5-5	数学试验设计	170
§ 5-6	生产计划试验设计	175
第六章	调优运算 (EVOP)	179
§ 6-1	调优运算的特点	179
§ 6-2	二因素调优运算	180
§ 6-3	三因素调优运算	186
§ 6-4	多因素调优运算	191
第七章	均匀设计	193
§ 7-1	均匀性	193
§ 7-2	均匀设计表	195
§ 7-3	均匀试验设计	198
§ 7-4	均匀设计结果分析	201
§ 7-5	不等水平均匀设计	204

§ 7-6 混合因素均匀设计	207
第二篇 回归设计	
第八章 单元线性回归正交设计	212
§ 8-1 单元线性回归正交设计	212
§ 8-2 显著性检验	215
§ 8-3 单元线性回归的整体正交设计	219
第九章 多元线性回归设计	224
§ 9-1 多元线性回归模型	224
§ 9-2 多元线性回归设计常用工具	225
§ 9-3 多元线性回归正交设计	230
§ 9-4 多元线性回归的统计检验	235
§ 9-5 单纯形回归设计	238
第十章 二次回归组合设计	246
§ 10-1 二次回归模型	246
§ 10-2 组合设计	247
§ 10-3 二次回归正交组合设计	250
§ 10-4 二次回归连贯设计	258
§ 10-5 二次旋转组合设计	262
§ 10-6 二次正交旋转组合设计	265
§ 10-7 二次通用旋转组合设计	267
§ 10-8 二次旋转设计分析	267
第十一章 正交多项式回归设计	279
§ 11-1 概述	279
§ 11-2 正交多项式	280
§ 11-3 单元正交多项式回归设计	282
§ 11-4 多元正交多项式回归设计	285
§ 11-5 部分正交多项式回归设计	291
第十二章 多次变换设计	301
§ 12-1 多次变换	301
§ 12-2 单元二次变换设计	302
§ 12-3 单元多次变换设计	303
§ 12-4 多元变换设计	310
第十三章 交互作用的搜索设计	315
§ 13-1 问题的提出	315

§ 13-2	套表搜索设计的基本程序	317
§ 13-3	线性套表搜索设计	318
§ 13-4	非线性套表搜索设计	321
§ 13-5	序贯搜索设计	325
第十四章	<i>D</i>-最优回归设计	330
§ 14-1	概述	330
§ 14-2	广义回归模型	331
§ 14-3	<i>D</i> -优良性和 <i>G</i> -优良性	333
§ 14-4	构造 <i>D</i> -最优设计的数值方法	340
§ 14-5	饱和 <i>D</i> -最优设计	342
§ 14-6	近似 <i>D</i> -最优设计	347
§ 14-7	<i>D</i> -最优设计的对称构造法	362
第十五章	混料回归设计	367
§ 15-1	混料试验	367
§ 15-2	单形格子混料设计	369
§ 15-3	单形重心混料设计	374
§ 15-4	有下界约束的混料设计	378
§ 15-5	极端顶点混料设计	382
§ 15-6	<i>D</i> -最优极端顶点混料设计	386
§ 15-7	混料的比率设计	389
§ 15-8	混料均匀设计	391
§ 15-9	乘积混料设计	394
§ 15-10	控制点检验	398
第三篇 试验优化分析		
第十六章	试验设计优化分析	400
§ 16-1	最优试验设计	400
§ 16-2	试验设计优良性分析	405
§ 16-3	试验设计 <i>D</i> -效率分析	410
§ 16-4	试验设计适用性分析	417
§ 16-5	超饱和试验设计	422
第十七章	回归设计优化分析	426
§ 17-1	最优回归方程	426
§ 17-2	预测和控制	429
§ 17-3	一次回归正交设计的梯度法寻优	434

§ 17-4	极值分析	440
§ 17-5	二次曲面法式分析	443
§ 17-6	二次曲面等值线分析	448
§ 17-7	二次曲面主轴梯度分析	451
第十八章	数据处理优化分析	455
§ 18-1	试验数据处理的最优化	455
§ 18-2	极差修正优化分析	456
§ 18-3	缺失数据弥补优化分析	461
§ 18-4	梯度干扰控制的秩协方差分析	465
§ 18-5	无偏回归适用分析	471
§ 18-6	有偏回归优化分析	474
第十九章	投影寻踪回归分析	481
§ 19-1	投影寻踪(PP)	481
§ 19-2	投影寻踪(PP)的特点与应用	483
§ 19-3	投影寻踪(PP)分析	485
§ 19-4	投影寻踪回归(PPR)	488
§ 19-5	正交试验 PPR 分析	492
§ 19-6	混料试验 PPR 分析	499
§ 19-7	特殊试验数据 PPR 分析	501
第二十章	探索性数据分析	506
§ 20-1	引言	506
§ 20-2	基本概念	507
§ 20-3	茎叶图	512
§ 20-4	字母值	514
§ 20-5	箱线图	517
§ 20-6	线性回归的耐抗线	521
第二十一章	试验优化常用统计软件	526
§ 21-1	统计软件的选用原则	526
§ 21-2	SAS 软件系统	529
§ 21-3	SPSS for Windows 软件	530
§ 21-4	Excel 软件	531
§ 21-5	Origin 软件	532
§ 21-6	PPR 软件	532
§ 21-7	试验优化专用软件	533
附录		536

附录一 常用正交表	536
附录二 随机数字表(部分)	552
附录三 t 分布的双侧分位数(t_α)表	553
附录四 $F(f_1, f_2)$ 表	555
附录五 正交多项式表 $N = (2 \sim 11)$	563
附录六 均匀设计表(部分)	567
主要参考文献	583

导 论

§ 0-1 最 优 化

在现代社会中,实现过程和目标的最优化已成为解决科学研究、工程设计、生产管理、市场营销、规划、决策以及其它方面实际问题的一项重要原则。所谓最优化,简单地说就是高效率地找出问题在一定条件下的最优解。最优化是一个十分广阔的领域,或者说,在许许多多的领域里都有最优化问题。在实际中最优化问题随处可见,几乎无所不在。例如,在科研、开发和生产中,为了达到提高质量、增加产量、降低成本、保护环境以及改善劳动条件等目标;在经济计划、工程建设、产品设计、技术革新和工艺改革等领域,经常遇到要求改进或实现最优化的项目。广泛和明确的客观需要促使最优化成为一门重要的、充满活力的应用数学学科。随着科学技术的迅猛发展,市场竞争的日益激烈,最优化学科将会愈发显示出其巨大的威力。

按数学模型是否可计算或者是否已知,最优化可分为两类:一是可计算最优化,即数学模型是已知的,可以计算;二是试验性最优化,即数学模型是未知的或其函数值是不可计算的,只能通过试验来进行。在大量的实际问题中,试验性最优化问题比可计算性最优化问题要多得多。

按最优化的结果,可把最优化方法分成局部最优和全局最优两类。对于实际的最优化问题,人们总是希望求全局最优,但在传统的最优化学科中,求全局最优的方法相对较少,多数还是依赖求局部最优。尽管可以通过多次地求局部最优来寻找全局最优,但这样做的结果会大大降低最优化方法的效率。

按优化计算中是否求导数,可把最优化方法分成导数法(包括差分法)和直接法两类。直接法对函数性质的要求比导数法低得多,所以其应用范围比导数法广得多。原则上直接法适用于试验性最优化问题。

现代优化技术主要分为三个方面:优化控制、优化设计和优化试验。目前常用的优化技术主要有直觉优化、进化优化、试验优化、价值分析优化和数值计算优化。各种优化方法基本上都可以由上述分类方法予以归类。例如试验优化显然是试验性最优化问题,属于直接优化、全局优化。

§ 0-2 试验优化

试验优化就是在最优化思想的指导下,通过广义试验(包括实物试验与非实物试验)进行最优设计的一种优化方法,也是应用数学的一个新兴分支^[1-6]。它从不同的优良性出发,合理设计试验方案,有效控制试验干扰,科学处理试验数据,全面进行优化分析,直接实现优化目标,已成为现代优化技术的一个重要方面。

长期以来,在试验领域中,特别是对于多因素试验,传统的试验方法往往只能被动地处理试验数据,而对试验方案及试验过程的优化常常显得无能为力。这不仅会造成盲目地增加试验次数,而且往往不能提供充分可靠的信息,以致达不到预期的目的,造成人力、物力和时间的大量浪费。近代创立和发展起来的试验优化法,将最优化思想和要求贯穿于试验的全过程,从此试验才真正走上科学的轨道,使试验领域发生了深刻的变化,也有力地促进了现代优化技术的发展。

试验优化是一种直接优化法。具体地说,设计试验方案时,不仅使方案具有一定的优良性,也使试验点大大减少,但少量实施的试验点却能获取整个试验区域内丰富的试验信息,得出全面的结论;实施试验方案时,能有效地控制试验干扰,提高试验精度;处理试验结果时,通过简便的计算及分析,可以直接获得整个试验优化范围内较多的优化成果。显然,试验优化既是全过程优化、全局优化,又是多目标优化。对于多快好省地进行多因素试验,对于构造各种线性与非线性数学模型,对于科学研究中发现新规律、实际生产中探寻新工艺、产品开发中进行优质设计、管理科学中寻求最佳决策等,试验优化都是一种非常有效的数学工具。

一切设计、控制与决策都必须首先从信息载体中获取有用的信息。我们现在正处于控制论时代,当信息成为价值手段,知识、信息和技术成为重要的生产力时,试验优化能够满足时代的需要。因为试验优化实际上是一门关于信息的量的科学,运用试验优化技术,可以既快又省地获取既多又好的信息,并能科学地分析和利用已获取的信息。

通常,试验是指实物试验。但对于试验优化,常常进行的是广义试验。凡是能获取信息的有效科学手段和方法,都可作为广义试验的试验方法。因此试验优化不仅是提高获取信息效率的一种现代技术,也是适用面很广的一种通用技术。

§ 0-3 试验优化常用的优良性

试验优化时,人们往往根据实际需要,进行不同优良性的设计,并运用合适的优化方法,圆满地实现优化目标。常用的优良性有:

1. 正交性

在 p 维因素空间内,如果试验方案 $\epsilon(N)$ 使所有 j 个因素的不同水平 x_j 满足

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N x_{ij} = 0 & (j = 1, 2, \dots, p) \\ \sum_{i=1}^N x_{ih} x_{ij} = 0 & (h \neq j) \end{cases}$$

就称该方案具有正交性。正交性主要表现于正交表 $L_n(b^j)$ 与 $L_n(b_1^j \times b_2^j)$ 中,也表现于正交多项式组中,具体应用于各种正交设计。正交性能减少试验次数,消除各种效应间的相关性,使因素效应、交互作用效应以及回归系数的计算分析大大简化。正交性是试验优化中应用最广泛的一种优良性。

2. 稳健性

如果一个方案设计 $\epsilon(N)$,对各种噪声因素不敏感,或者对各种干扰具有较好的抗性,则称方案设计 $\epsilon(N)$ 具有稳健性,有些场合亦称之为鲁棒性。稳健性具体应用于稳健设计。稳健设计的目的是使产品或过程在使用运行时与目标值始终保持一致,并且对种种难以控制的因素不敏感。稳健设计及稳健性技术开发设计是正交试验设计的最新发展。

3. 均匀性

如果试验方案 $\epsilon(N)$ 使得 N 个试验点按一定的规律充分均匀地分布在试验范围内,每个试验点都有一定的代表性,就称该方案具有均匀性。均匀性是新开发的一种优良性,它主要表现于均匀设计表 $U_n(b^j)$ 或 $U_n(b_1^j \times b_2^j)$ 中,具体应用于均匀试验设计。均匀性比正交性更能大量地减少试验次数,但仍能得到反映试验体系主要特征的试验结果。

4. 饱和性

若试验方案 $\epsilon(N)$ 的无重复试验次数 N 比试验因素及其交互作用的自由度之和多 1,或者与欲求的回归方程的待估计参数个数相等,则称该方案具有饱和性。饱和性主要应用于各种饱和设计,它能最有效地发挥各个试验点的作用,使每个试验点获取最多的有用信息,大大减少试验次数,缩短设计周期。

5. 旋转性

在 p 维因素空间中,如果试验方案 $\epsilon(N)$ 使得试验指标回归值 \hat{y} 的预测方差 $D(\hat{y})$ 仅与试验点到试验中心的距离 ρ 有关,则称方案 $\epsilon(N)$ 具有旋转性。旋转性应用于各种回归旋转设计。旋转性能保证 p 维因素空间中同一 p 维球面上各点的预测方差 $D(\hat{y})$ 相等,这样就消除了 $D(\hat{y})$ 的方向性,为进一步调优创造了条件。

若在 $0 < \rho < 1$ 范围内,旋转设计 $\epsilon(N)$ 同时使得回归值预测方差 $D(\hat{y})$ 近似为一常数,则称 $\epsilon(N)$ 具有通用性,亦称为均匀精度性。方案 $\epsilon(N)$ 亦称之为通用旋转设计或均匀精度旋转设计。这样, $\epsilon(N)$ 就使得旋转的中心组合设计具有均匀精度性。

6. D -优良性

在 p 维因素空间确定的区域内,对于给定的回归模型,若在一切实可能的方案中,方案 $\epsilon(N)$ 信息矩阵的行列式值最大,就称该方案为 D -最优设计。 D -最优设计使回归系数 $b(b_1, b_2, \dots, b_m)$ 的 m 维密集椭球体体积最小。实际上,它与 G -最优设计等价,是使回归系数的预测方差 $D(b)$ 最小的设计。显然,回归值 \hat{y} 的预测方差 $D(\hat{y})$ 也最小。

在试验优化的实际应用中,人们还常常希望某些优良性共集于同一设计,如饱和正交设计、正交旋转设计、饱和 D -最优设计等。有时,为了达到优化目标,既可以连续多次运用某种优良性,也可以根据实际需要,在不同的优化阶段灵活选用不同的优良性。例如在因素变化的全域进行因素选优时,可以选用正交性或饱和性,而在因素选优基础上再进行方程优选时,则可以选用旋转性或 D -优良性。

§ 0-4 试验优化常用方法

目前,在科研与生产的实际应用中,试验优化主要是进行离散优化,有时也进行序贯优化,有时则必须综合应用离散优化和序贯优化。

所谓离散优化,就是在试验区域内有目的、有规律地散布一定量的试验点,多方向同时寻找优化目标。如果优化目标是最优点,则离散优化只是一种试验点优选法,优选过程不是遵循一定的寻优路径,而只是对给定条件下一切可能的试验点进行选优。因此离散优化不能真正实现全局优化,所谓的最优只是近似的,最优点也只是较优点。但实际应用表明,离散优化完全能够满足一般科研和生产的实际需要。这种离散优化法有正交设计、SN 比设计、均匀设计等。如果优化目标是最优回归方程,则这

种离散优化法就是回归设计。

在实现优化目标的整个过程中,所谓序贯优化是遵循一定优化路径逐渐寻找最优点的方法,它是单向寻优,后一阶段优化是在前一阶段优化的基础上进行的。通常情况下,序贯优化可以进行全域精确寻优。常用的序贯优化法有 0.618 法、Fibonacci 法、单纯形法、梯度法、渐近分式法和连贯设计法等。

随着科学研究的深入、工农业生产的发展和计算机技术的广泛应用,试验优化的内容越来越丰富,设计方法也越来越多^[7-15]。例如仅正交试验设计与混料回归设计就分别有几十种方法^[8,28]。试验优化最常用的是试验设计与回归设计。

1. 试验设计

试验设计是离散优化的基本方法,它是从正交性、均匀性出发,利用拉丁方、正交表、均匀表等作为工具来设计试验方案、实施广义试验,直接寻找最优点。试验设计时,方案的编制与数据的处理常常表格化,这样应用分析非常方便。

试验设计作为相对独立的一门学科,既是应用数学的一个新分支,也是试验优化的一个重要组成部分。20 世纪 20 年代,英国学者 R. A. Fisher 运用均衡排列的拉丁方,解决了长期未能解决的试验条件的不均匀问题,提出了方差分析法,创立了“试验设计”(Design of Experiments)^[2-4]。在试验设计的发展道路上,Fisher 创立的传统试验设计是第一个里程碑。正交表的构造和开发是第二个里程碑,日本田口式正交表试验设计法是突出的代表^[16],而我国研创的正交试验法同日本田口式正交表设计法相比,程序更简单、指导理论正确合理、优化效率更高、教育推广和普及更便利^[5-7]。从而使多因素优化从欧美式的艰深方法中跳出,演化成简单易行、行之有效的工作。日本学者田口玄一开发的稳健试验设计是第三个里程碑^[17]。它是试验设计的现代发展,为试验设计开拓了更加广阔的应用领域,为优质产品的设计和开发提供了非常有效的工具。20 世纪 90 年代初,田口教授创造并推行了稳健性技术开发设计,这是一种带有重大创新思想的试验优化方法。这种方法能以较短的开发周期开发出相类似的一组或系列的稳健的、高质量的、在使用中具有优良可靠性的产品。20 世纪 90 年代中期,田口教授在将 Mahalanobis 距离成功地用于医疗诊断、地震预报等方面的基础上,建立了马哈诺皮斯-田口方法(MTS),主要用于产品检测、医疗诊断、灾害预防预测、声音识别等多个领域。田口教授认为,MTS 将是 21 世纪试验优化领域里的最大技术,提醒人们对 MTS 重点进行研究和应用^[18,19]。

2. 回归设计

如果仅以最优回归方程为优化目标,多数回归设计方法都是离散优化,但在 D -最优回归设计与混料回归设计应用测度设计寻求最优方案时,则表现为序贯优化。如果最优化目标是最优组合条件,则回归设计一般表现为离散优化与序贯优化的综合。回归设计主要是从正交性、旋转性和 D -优良性出发,利用正交表、 H 阵、单纯形、中心组合法和正交多项式组以及计算机技术编制试验方案,直接求取各种线性和非线性回归方程^[1,8]。实际上,回归设计是现代建模的一种最优化方法。常用的回归设计法有多元线性正交设计、二次组合设计、正交多项式设计、 D -最优设计以及混料设计等。

回归设计实际上产生于 20 世纪 50 年代,它是综合回归分析与试验设计的现代发展而建立起来的试验优化领域的一个新分支,也是数理统计学科的一个新发展。它将方案设计、数据处理与回归方程的精度统一起来进行优化,已成为现代通用的一种试验优化技术。我们知道,试验设计很难用于系统连续优化,因为它不能给出连续模型。由于某些因素水平变化的非定量性和非连续性,即使利用试验数据线性结构模型或伪变量回归分析建立起预测方程,也只能近似选优。相反,回归设计则提供了便于系统连续优化和进一步精确选优的条件。由此,回归设计不但使工程技术、自然科学和社会科学乃至思维科学中具有相关关系的多因素问题都有可能实现定量分析,而且有可能用最小的代价达到寻优的目的,且不论要研究的问题是白色系统、灰色系统还是黑色系统。可以预料过去那些只能进行定性研究和处理的科研和生产问题,可以期望用回归设计方法构造需要的数学模型,将其提高到定量分析的水平上来,加以更好地研究。

各种回归设计方法都必须对因素进行编码。所谓因素编码就是将自然因素通过编码公式变成编码因素的过程。自然因素是未经编码的试验因素,通常记为 z_1, z_2, \dots, z_p 。自然因素有些有量纲,有些无量纲,但都有具体的物理意义。由自然因素构成的空间称为自然空间,是实际试验方案的存在空间。编码因素是经过编码得到的因素,通常记为 x_1, x_2, \dots, x_p 。任何编码因素都是无量纲的。由编码因素构成的空间称为编码空间。回归设计时,方案的编制、回归系数的计算及回归方程的统计检验,即整个优化过程都是在编码空间进行的。因此,因素编码是回归设计的关键环节。不同的回归设计有不同的编码公式,而表示编码因素具体取值的编码,也因不同的编码公式而有所不同。

设计表格化、公式规范化、分析程式化是回归设计的显著特点。设计