

回归设计 及其优化

任露泉 编著



科学出版社

www.sciencep.com

回归设计及其优化

任露泉 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从技术与应用观点出发,重点阐述了回归设计及其数据处理的最优化方法和各种分析技术,以进一步提升回归设计的水平及其优化成效。

全书共分12章,除了介绍回归设计的基本原理、常用方法外,还介绍了回归设计的最新方法、最新研究成果及其应用实例。此外,还介绍了回归设计的常用统计软件。

本书可作为理、工、农、医、经济、管理等专业研究生的教学用书,也可供科研人员、工程技术人员、设计人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

回归设计及其优化/任露泉编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025434-4

I. 回… II. 任… III. 回归分析 IV. O212.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第153151号

责任编辑:范庆奎 房 阳/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

装 订 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009年9月第一次印刷 印张:17 3/4

印数:1—4 000 字数:347 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

回归设计作为试验优化常用的现代通用优化技术,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之一,亦成为当代科研人员、设计人员、工程技术人员和管理人员的必备技术。

回归设计是在试验设计的基础上,设计试验方案,实施广义试验,建立最优回归方程,并利用其进行连续优化、全局寻优,寻求试验空间的最优点。而最优化思想则始终贯穿于其方案设计、试验实施和数据处理的全过程。

20 世纪 80 年代初,我们为多个专业的研究生开设了“回归设计”课程,随之编写了相应的校内教材。1986 年,回归设计被选为多个专业研究生的学位考试课程,并在科研工作中得以实际应用,取得了明显成效。根据教学与科研的实际需要,1987 年出版了《试验优化技术》一书,该书将研究生用书《回归设计》和本科生用书《试验设计》合为一书,含两篇,共 16 章内容。随着试验优化理论与技术研究的不断深入和应用成果的不断涌现,试验优化的新技术、新方法也不断展现,特别是回归设计与试验设计的全程优化,使其设计水平和优化成效不断提升。为此,2001 年,国家“211 工程”重点学科建设项目资助出版了《试验优化设计与分析》一书,除试验设计、回归设计两篇外,新增了试验优化分析一篇,全书共 21 章,不仅介绍了试验优化的新方法、新技术,而且突出强调了试验设计与回归设计的全程优化理念与方法。2002 年,该书被遴选为全国研究生教学用书,迄今一直作为多所高校多个专业本科生和研究生的教学用书。

鉴于研究生与本科生教学上多方面的差异,根据学生的要求、授课教师和督学的建议,并考虑到应将全程优化的理念与方法贯穿于试验设计与回归设计内容的始终,故将《试验优化设计与分析》改编为《试验设计及其优化》和《回归设计及其优化》,分别单独成书,相应地作为本科生和研究生的教学用书,同时,亦方便于其他读者使用。为了从现代优化理论和试验优化的整体上去认识和把握试验设计和回归设计的基本原理、主要方法、应用技术和重要意义,特将原书的导论部分稍作改动,分别作为《试验设计及其优化》和《回归设计及其优化》的导论,供读者参阅。

本书共 12 章,第 1~4 章是回归设计的基本原理与方法;第 5~8 章是回归设计的进一步完善、拓展和现代发展;第 9,10 章是方案设计和数据处理的最优化技术;第 11 章是不同于传统回归统计原理的回归分析新方法。此外,第 12 章还介绍了回归设计的常用软件。读者可在掌握上述回归设计基本原理与方法的基础上,

根据专业和实际需要有选择地阅读有关章节。

在本书撰写过程中,我们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。同时,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的感谢。

限于水平,书中疏漏和不妥之处在所难免,诚望读者指正。

作 者

2009 年 2 月

目 录

前言

导论	1
0.1 最优化	1
0.2 试验优化	1
0.3 回归设计	3
0.4 回归设计常用优良性	4
0.5 回归设计优化分析	5
0.6 试验优化的应用	7
第1章 单元线性回归设计	9
1.1 单元线性回归正交设计	9
1.2 显著性检验	12
1.3 单元线性回归的整体正交设计	16
第2章 多元线性回归设计	20
2.1 多元线性回归模型	20
2.2 多元线性回归设计常用工具	21
2.3 多元线性回归正交设计	24
2.4 多元线性回归的统计检验	29
2.5 单纯形回归设计	32
第3章 二次回归组合设计	39
3.1 二次回归模型	39
3.2 组合设计	40
3.3 二次回归正交组合设计	43
3.4 二次回归连贯设计	50
3.5 二次旋转组合设计	54
3.6 二次正交旋转组合设计	58
3.7 二次通用旋转组合设计	58
3.8 二次旋转设计分析	59
第4章 正交多项式回归设计	70
4.1 概述	70
4.2 正交多项式	71

4.3	单元正交多项式回归设计	73
4.4	多元正交多项式回归设计	76
4.5	部分正交多项式回归设计	80
第5章	多次变换设计	90
5.1	多次变换	90
5.2	单元二次变换设计	90
5.3	单元多次变换设计	95
5.4	多元变换设计	98
第6章	交互作用的搜索设计	102
6.1	问题的提出	102
6.2	套表搜索设计的基本程序	104
6.3	线性套表搜索设计	105
6.4	非线性套表搜索设计	108
6.5	序贯搜索设计	110
第7章	D 最优回归设计	115
7.1	概述	115
7.2	广义回归模型	115
7.3	D 优良性和 G 优良性	118
7.4	构造 D 最优设计的数值方法	125
7.5	饱和 D 最优设计	126
7.6	近似 D 最优设计	131
7.7	D 最优设计的对称构造法	138
第8章	混料回归设计	143
8.1	混料试验	143
8.2	单形格子混料设计	145
8.3	单形重心混料设计	149
8.4	有下界约束的混料设计	153
8.5	极端顶点混料设计	157
8.6	D 最优极端顶点混料设计	161
8.7	混料的比率设计	163
8.8	混料均匀设计	166
8.9	乘积混料设计	168
8.10	控制点检验	172
第9章	回归设计优化分析	174
9.1	最优回归设计	174

9.2	回归设计优良性分析	175
9.3	回归设计 D 效率分析	178
9.4	最优回归方程	184
9.5	预测和控制	187
9.6	一次回归正交设计的梯度法寻优	192
9.7	极值分析	196
9.8	二次曲面法式分析	198
9.9	二次曲面等值线分析	203
9.10	二次曲面主轴梯度分析	206
第 10 章	数据处理优化分析	210
10.1	试验数据处理的最优化	210
10.2	无偏回归适用分析	211
10.3	有偏回归优化分析	214
10.4	线性回归的耐抗线	219
第 11 章	投影寻踪回归分析	223
11.1	投影寻踪	223
11.2	PP 的特点及应用	225
11.3	PP 分析	227
11.4	投影寻踪回归	230
11.5	正交试验 PPR 分析	233
11.6	混料试验 PPR 分析	238
11.7	特殊试验数据 PPR 分析	240
第 12 章	回归设计常用统计软件	244
12.1	统计软件的选用原则	244
12.2	SAS 软件系统	247
12.3	Excel 软件	248
12.4	Origin 软件	248
12.5	PPR 软件	249
12.6	回归设计专用软件	250
参考文献		251
附录		253
附录 1	常用正交表	253

附录 2	随机数字表(部分)	262
附录 3	t 分布的双侧分位数(t_{α})表	263
附录 4	$F(f_1, f_2)$ 表	264
附录 5	正交多项式表($N=2 \sim 11$)	267
附录 6	均匀设计表(部分)	268

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、决策以及其他方面实际问题的一项重要原则。所谓最优化,简单地讲,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、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、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,多数还是依赖于求局部最优。尽管可以通过多次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,试验才真正走上了科学的轨道,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,构造各种线性与非线性数学模型,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。我们现在正处于知识经济时代,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。

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。试验优化在其方案的设计、实施及其结果分析中,主要表现为离散优化。常用的离散优化法主要有正交试验设计、均匀设计等。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。

在实现优化目标的整个过程中,所谓序贯优化即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、渐近分式法和连续设计法等。

试验优化常用的方法主要有试验设计和回归设计。本书主要介绍回归设计。

0.3 回归设计

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,回归设计的内容越来越丰富,设计方法也越来越多^[7~20]。例如,仅混料回归设计就有几十种方法^[8,21]。

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。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试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,而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,有望用回归设计方法构造需要的数据模型,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,试验方案的编制、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。设计表格化是指试验方案的设计、回归系数的计算与检验都配列于同一表,即计算格式表。公式规范化是指对于不同的回归设计方法,回归系数的计算、各因素的线性项、非线性项及其交互项的偏差平方和的计算以及统计检验,大多有同样形式的公式。一般回归设计的优化过程是根据试验要求与专业知识,选择合适的回归设计方法,先编码、设计方案、配列计算格式表,再计算分析,最后进行统计检验,已经完全程式化。回归设计的上述特点,对于计算编程以及在科研和工农业生产中的实际应用都非常方便。

0.4 回归设计常用优良性

回归设计时,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。常用的优良性有以下几个方面。

1. 正交性

在 p 维因素空间内,如果试验方案 $\varepsilon(N)$ 使所有 j 个因素的不同水平 x_{ij} 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 $L_n(b^c)$ 与 $L_n(b_1^{c_1} \times b_2^{c_2})$ 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. 均匀性

如果试验方案 $\varepsilon(N)$ 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 $U_n(b^c)$ 或 $U_n(b_1^{c_1} \times b_2^{c_2})$ 中,具体应用于均匀回归设计。均匀性比正交性更能大量地减少试验次数,并且仍能得到反映试验

体系主要特征的试验结果。

3. 饱和性

若试验方案 $\varepsilon(N)$ 的无重复试验次数 N 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。

4. 旋转性与通用性

在 p 维因素空间中,如果试验方案 $\varepsilon(N)$ 能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 $\varepsilon(N)$ 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 $\varepsilon(N)$ 同时使得回归值预测方差 $D(\hat{y})$ 近似为一常数,则称 $\varepsilon(N)$ 具有通用性,亦称为均匀精度性。方案 $\varepsilon(N)$ 亦被称为通用旋转设计或均匀精度旋转设计。这样, $\varepsilon(N)$ 就使得旋转的中心组合设计具有均匀精度性。

5. D 优良性与 G 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 $\varepsilon(N)$ 信息矩阵的行列式值最大,则称方案 $\varepsilon(N)$ 具有 D 优良性,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, D 优良性与 G 优良性等价。所谓 G 优良性,就是使由方案 $\varepsilon(N)$ 求得的回归系数的预测方差 $D(b)$ 最小。显然,方案 $\varepsilon(N)$ 即为 G 最优设计,其回归值 $\hat{y}$ 的预测方差 $D(\hat{y})$ 也最小。

在回归设计的实际应用中,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。

0.5 回归设计优化分析

回归设计的基本程式为一设计、二分析。设计就是设计试验方案,主要体现于

回归试验设计的全过程,而分析主要是试验结果处理或试验数据分析,也包括对方案设计的最优化分析,它们既体现于回归设计全过程多目标的整体优化分析中,如统计检验分析、最优回归方程分析,也体现于数据分析的专门研究与应用中。

回归设计优化分析主要包括以下三个方面。

1. 设计的最优化分析

这是回归试验方案的最优化设计问题,主要有

(1) 增强设计适用性。回归设计应用日益广泛,对于特殊的应用场合,需要有特殊、适用的回归设计。例如,单纯形回归设计、二次回归连贯设计、 D 最优极端顶点混料设计等。

(2) 强化设计优良性。使设计同时具有多个优良性,是回归设计追求的重要目标,也是旨在增强设计优良性,如饱和正交设计、通用旋转设计等。这方面的最新研究成果有均匀正交设计、 D 最优正交设计等^[7,22,23]。

(3) 减小设计容量。试验点少是回归设计的主要特点,这是人们在回归设计中一直在不懈追求的目标。例如,饱和 D 最优设计、混料均匀设计等,可以大大减少外表的试验点。

2. 发现和解决常规数据处理中的难题

为了提高试验精度和优化成果的可靠性,人们一直在对常规的数据分析方法进行比较选优,改进完善^[24~30]。例如,对梯度干扰控制进行秩协方差分析,对各种缺失数据弥补方法进行比较择优使用,都对试验数据的优化分析大有裨益。

回归设计常用的回归分析都是最小二乘法回归,即无偏回归。而在实际使用中,试验数据常常偏离无偏回归的使用前提,即线性、独立、正态和方差齐性。这种“偏离”往往会给数据处理结果带来不利影响。为了保证无偏回归,保证数据分析结果的可靠性,人们一直在努力及时发现“偏离”,并力求妥善解决。较有效的方法有残差图法、回归诊断法、数据变换法等。

当无偏回归解决不了上述“偏离”时,人们也提出了一些有偏回归的方法,如主元回归、部分最小二乘回归、岭回归等。对于解决“偏离”问题起到了较有效的作用。

3. 全新的数据处理方法分析

处理与传统数据完全不同的全新的数学思维,事先不用对实际数据作任何人为假定、分割或变换处理,不论数据分布是正态还是偏态,也不论其是白色量、灰色量、模糊量还是黑色系统,都可以进行有效的处理与分析。这是近二十多年来发展起来的全新数据处理方法,如 PPR 分析等^[31~33]。

显然,回归设计优化分析是回归设计不可缺少的重要组成部分。再好的设计,如果没有好的优化分析方法,也很难达到回归设计的目标。因此,在回归设计中,对其全过程进行优化分析是必须的,应给予足够的重视。

0.6 试验优化的应用

试验优化具有设计灵活、计算简便、试验次数少、优化成果多、可靠性高、适用面广等特点,因而发展迅速,应用广泛,已成为现代设计方法中一个先进的设计方法,成为多快好省地获取试验信息的现代通用技术,成为质量管理的一个科学工具,是现代优化和应用数学领域中最活跃、应用成果最显著的分支之一。

试验优化技术的推广应用是一项在经济效益上十分领先的工作。据报道,日本推广应用试验设计的前10年,即整个60年代,应用正交表已超过100万次,对于创造利润和提高生产率都起了巨大的作用。今天,试验设计技术已成为日本企业界人士、工程技术人员、研究人员和管理人员的必备技术,已被认为是工程师共同语言的一部分。据说在日本,一个工程师如果没有试验设计这方面的知识,就只能算半个工程师。目前,这门技术还在农业、医学、生物学和物理学等方面得到普及和应用。在试验设计推广应用的同时,回归设计也得到了迅速的发展和广泛的应用,尤其是近30年来,不仅在理论研究方面异常活跃,而且在机械制造、材料工程、自动控制和系统工程等许多领域都有应用。

现在日本每年有数百家公司应用田口方法,尤其是稳健设计,完成数万个实际项目。丰田汽车公司、日产汽车公司、松下电器公司、新日铁公司、富士胶卷公司、日本软件技术公司等几乎所有大公司都在积极推广应用田口方法。丰田汽车公司对田口方法的评价是:在为公司产品质量改进作出贡献的各种方法中,田口方法的贡献占50%。

田口方法于20世纪80年代初被引入美国,首先在福特汽车公司获得成功应用,并在全美引起轰动。到1986年,福特公司经济效益已超过世界最大的通用汽车公司,其飞跃的秘密武器就是田口方法。该公司每年都有上百个典型的田口方法应用实例。新车开发时间已由48个月降到36个月,并且开发成本也大大降低。目前,在美国,田口方法已应用推广到美国三大汽车公司、国际电报电话公司、施乐、柯达、杜邦、IBM、NASA、波音、美国国防部等上千家大公司和政府有关部门。某些学派认为这是日本50年来生产率快速增长的主要决定性因素,已成为世界强国间较量的重要因素。

我国一些学者自20世纪50年代就开始研究试验优化,在理论研究、设计方法与应用技巧方面都有新的创见,构造了许多新的正交表,提出了“小表多排因素,分批走着瞧,在有苗头处着重加密,在过稀处适当加密”的正交优化的基本原理和

方法,提出了“直接看可靠又冒尖,算一算有效待检验”等行之有效的正交优化数据分析方法,提出了直接性和稳健性择优相结合的方法,提出了参数设计中多种减少外表设计试验点的新方法,还构造了系列的均匀设计表,创建了均匀设计法,这就形成了一套有中国特色的试验设计法。我国对试验优化的发展和推广应用也作出了显著的贡献。尤其是自 20 世纪 70 年代以来,试验优化的实际应用越来越广^[1,5,8,21,24~27,34~39],取得了非常可喜的成果。国内正交法的应用已有超过一万个自变量的例子。据粗略估计,仅正交试验设计的应用成果目前已超过 10 万项,经济效益在 50 亿元以上。但是与开展这一工作最发达的国家相比,与我国应该达到的应用规模相比还有较大的差距。试验设计的现代发展——稳健设计以及各种回归设计方法的实际应用于 20 世纪 70 年代末、80 年代初在我国才刚刚开始。因此,大力推广应用试验优化技术,对于促进我国科研、生产和管理等各项事业迅速而健康地发展,不仅具有普遍的实际意义,也具有一定的迫切性。