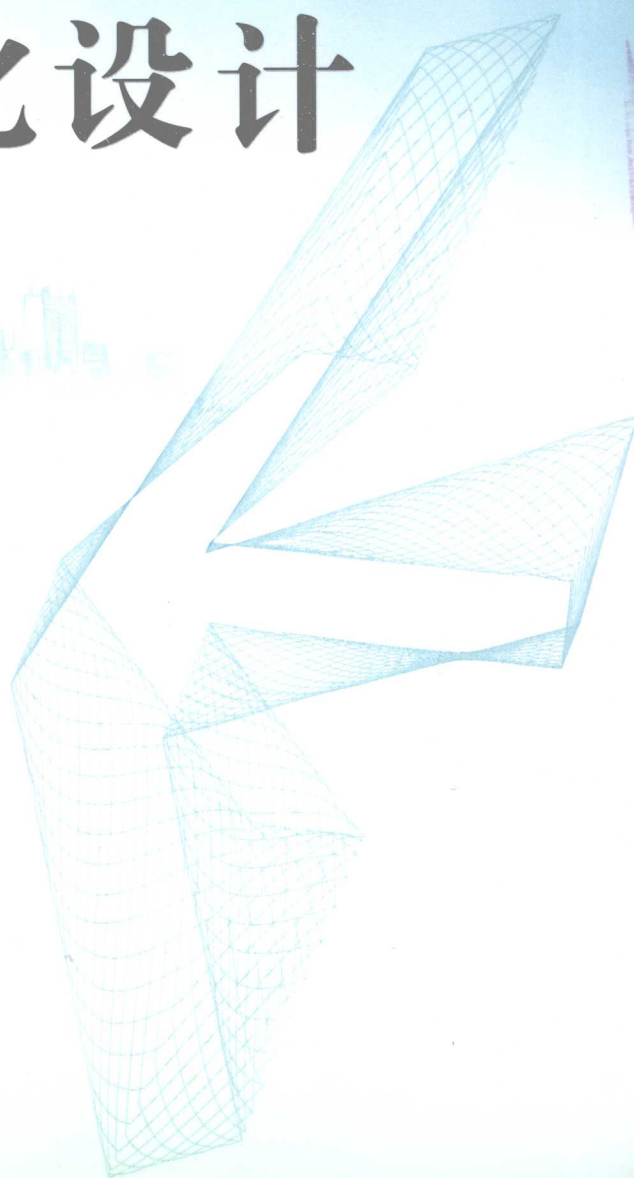


GONGCHENG SHIYAN YOUHUA SHEJI

●
唐明
陈宁
著

工程试验 GONGCHENG SHIYAN YOUHUA SHEJI

优化设计



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

工程试验优化设计

唐 明 陈 宁 著



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程试验优化设计/唐明, 陈宁著. —北京: 中国计量出版社, 2009. 3

ISBN 978-7-5026-3219-9

I. 工… II. ①唐… ②陈… III. 工程材料—材料试验—设计 IV. ①TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 205534 号

内 容 提 要

本书从理论和实践两个方面系统地介绍了工程试验设计的基本思想方法和应用, 对工程中正确地掌握和使用这些方法具有指导作用。主要内容包括工程试验设计基础、试验设计统计基础、简单试验设计、正交试验设计、回归分析、回归正交设计、回归旋转设计、D—最优设计、混料设计和均匀设计。对比较复杂的试验设计方法从工程实践的角度做了深入浅出的论述。

本书可作为高等院校有关专业本科生和研究生教材, 亦可供相关工程技术人员、科研人员阅读参考。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号 (邮编 100013)
电 话 (010) 64275360
网 址 <http://www.zgjl.com.cn>
发 行 新华书店北京发行所
印 刷 北京市密东印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 20.75
字 数 501 千字
版 次 2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷
印 数 1—3 000
定 价 49.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换

版权所有 侵权必究

前言

• FOREWORD •

美国国家工程院在编著《20 世纪最伟大的工程技术成就》一书中的第一句话是“20 世纪的进步，工程的贡献大于其他任何因素”（Perhaps more than any other factor, engineering has been the impetus for change in the 20th century）。工程在 20 世纪为改进人类生活质量起到了巨大的推动作用。

前宇航员美国国家工程院院士阿姆斯特朗（Neil A. Armstrong）说，小写希腊字母 η 时常出现在工程技术文献中，工程师花费了大量的精力提高 η ，因为 η 是效率的代表符号，即以较少的气力、较小的能量、较少的的时间和较少的成本做完同一件工作或把工作做得更好。工程中我们在探求知识、查明事实或寻找解决方案时，可供选择的方法不止一二。这些方法根据其产生的效果，可以按照从最确切到最不确切的顺序进行排列，最顶端或第一层次是计量方法。但即使是最佳的计量方法也难免有细微的误差；第二层次是因果方法，是一种严格遵循自然规律的推论。比如遵循质量、能量和动量守恒定律，牛顿的力学原理，欧姆定律，查理定律以及它们之间的各种关系等。虽然这些方法并非永远正确，但确实可以引出可靠并经得起重复检验的结果；第三层次是相关分析方法。这些统计方法可以帮助我们得出大致的、合理的结论，但并非很精确。例如，你可能听到这样的结论：在每周吃 20 个或更多果仁冰激凌的人群中，有 62% 的人会发胖；第四层次是抽样调查法。这样得出的结论可能是有用的，但通常有出入，且不能重复使用；从第五到第八层次包括各种各样的方法，从专题研究到直觉知识、梦的解析，直至纯粹的猜想。随着工程技术的不断发展，

现代工业的先进技术更多地用于产品的设计、生产和工程应用中，以适应现代工程的要求。工程离不开试验、离不开测试和评价。工程中如何安排试验最合理，如何分析评价数据最科学、最有价值，通过试验建立的模型如何寻找最优解，如何实现生产线的最优工艺组合条件，工程中如何从最经济、最优的试验中得到最多、最可靠的信息。现代科学技术在试验优化设计和数据分析方面为我们提供了方便，同时也提出了更高的要求。

1925 年伦敦郊外的罗萨姆斯泰特农场试验所统计主任费歇尔 (R. A. Fisher) 为改良小麦品种，用统计的思想评价产量的差异，进行了栽培试验设计，可称之为试验设计的起源。1935 年他出版了世界第一部试验设计的专著 “The Design of Experiments”。从此，试验设计方法逐渐成为数理统计学的一个重要分支。近年来，试验设计应用和发展很快，各种各样的新方法被开发出来，目前，试验设计不仅单纯应用在工程质量管理领域，而且在自然科学和社会科学各领域中广泛应用，甚至在医疗卫生和市场调查领域中都得到了灵活应用。

日本玉川大学的佐佐木教授曾经用实例说明了在产业竞争中试验优化设计的意义。具有同样固有技术的 A 公司和 B 公司，同时进行一种新材料的开发，新材料的配比方法有 3 种，原料的预先处理有 3 种，第一阶段加工方法有 2 种，第二阶段加工方法有 3 种，最终阶段处理方法有 3 种，怎样组合才能得到性能最好的材料？这一问题本来是追求信息的方法问题，但它的好坏直接关系到公司在竞争中的胜负与存亡。如果进行全面试验的话，试验次数为 $3 \times 3 \times 2 \times 3 \times 3$ 次，共 162 次，若一次试验周期为一天的话，要半年左右时间才能完成。若采用试验优化设计安排试验，最多只要 27 次试验就可以定量、科学地得出最优的结果。也就是说用 $1/6$ 的试验次数就可以完成，无论从试验经费还是时间方面都很有意义。从试验周期来看是半年与一个月的关系。然而，企业竞争中的胜负与时间这一特定因素直接相关。

一般水平下的工作与最佳水平下工作的差异也是竞争中不可忽视的。例如，A 公司是在经验的直观水平下工作，而 B 公司是在统计的基础上，从多方位探索后的合理的最佳水平下工作，其结果，A 公司的效益是 5.0，B 公司的效益是 5.1，乍一看差异不大，但在大量的工作中经长年累月的积累后最终评价，两公司效益之间的差别却是惊人的。

马克思曾经说过：“一种科学只有在成功地运用数学时，才算达到了真正完善的地步”。数学是一切科学技术发展的得力助手和重要工具，现代工程技术都离不开数学，随着计算机技术高速发展和广泛应用，科学的试验优化设计和数据分析评价，不断被赋予新的内容。

美国国家工程院院长沃尔夫 (Bill Wulf) 先生曾经说过：科学是关于“是什么”的学问，工程学是关于“怎么做”的学问 (Science is about what is, and engineering is about what can be)。工程是做出来的，其实践特征极强。本书与其他试验设计方法的专著不同，突出工程的实践性，也是著者近 30 年的工程现场试验经验以及工厂和大学教育中的经验总结而成，为满足工程实践的需要，具体的技法尽量深入浅出、通俗易懂，并注意写成工程实践中起作用的实务工具书。

本书具有以下特点：

- (1) 充分讲清基本的试验设计方法；
- (2) 尽量选择工程实践中有效的试验设计方法；
- (3) 不作为统计学的专著，本书只是尽量做到容易理解和灵活应用；
- (4) 不刻意追求公式的理论推导的严密，而更多地关心面向工程实践的使用方法，对工程实际品质的改善和提高有利；
- (5) 在有限的页数中尽量多一些实例，尤其是 Excel 软件应用实例；
- (6) 将以往的工程实际数据作为基础，变成例题；
- (7) 本书即使仅有中专或高中毕业学历的技术人员，也能够很容易地自学，并解决相关的问题；
- (8) 不仅面向工程技术人员，作为工科院校的本科生、研究生的教材同样是适用的。

本书在编写过程中特别感谢已故的著名统计学家陈希孺院士的理论指导和长期指导。我们的导师——原辽宁省科学技术协会副主席、东北大学博士生导师朱伟勇教授，多年来，从原理到新方法的计算机证明与构造，以及工程中灵活应用方面给予的具体指导，并提供了大量的有益资料。本书回归试验设计的最早的应用成果也是在朱伟勇教授指导下完成的，作者陈宁教授 1987 年在“热管换热器回归正交优化设计”研究中，在国内首次进行了 8 因子 5 个考核指标 147 组试验的回归正交设计，并以鞍钢第三号高炉的余热回收设计条件为例，进行了间接优化设计与直接优化设计的对比，与运行测得的数据相吻合，效果非常显著。在此向朱伟勇教授表示

深切的谢意。

作为著书，从实践试验优化设计主题出发，本书结合了20年来作者百余项试验设计研究应用成果和几十篇论文，并在作者1991年《建材试验优化设计与数据分析》的本科生讲义，《建材试验设计》研究生讲义，以及1993年与著名统计学家朱伟勇教授合著的《最优设计在工业中的应用》基础上，为与工程实践更紧密地结合，本书查阅和部分引用了国内外工程中成功应用新的试验设计方法的优秀成果。随着现代工业的进一步发展，科学研究和工程技术开发的不断深入，试验优化设计方法将得到足够的重视。在这一过程中，希望本书能起到抛砖引玉的作用，为中国工程的发展做一些有益的贡献。

同时感谢中国混凝土协会原秘书长、《混凝土》杂志主编刘良季教授对本书的出版给予了热情的帮助，尤其是在用Excel分析数据方面对本书的启发和帮助很大。

限于水平，错误与不当之处在所难免，最后，敬请专家、读者给予批评指正，我们不胜感激。

唐 明

2009年5月于沈阳建筑大学

目 录

• CONTENTS •

第一章 工程试验设计基础	(1)
1.1 试验设计方法与试验准备	(1)
1.2 因素和水平的选取方法	(3)
1.2.1 几个基本概念	(3)
1.2.2 因素的选定	(3)
1.2.3 水平的选取	(4)
1.3 费歇尔三原则——重复、随机化、局部管理	(4)
1.3.1 试验的重复	(5)
1.3.2 试验的随机化	(5)
1.3.3 局部管理	(5)
1.4 试验中的误差分析与评价	(6)
1.4.1 几个基本概念	(6)
1.4.2 误差的来源和种类	(7)
1.4.3 异常数据的剔除	(8)
1.5 试验数据的表示方法	(11)
1.5.1 列表法	(11)
1.5.2 作图法	(12)
1.5.3 经验公式表示法	(14)
第二章 试验设计的统计方法基础	(16)
2.1 术语与统计特征值	(16)
2.1.1 总体、个体和样本	(16)
2.1.2 统计特征数	(17)
2.2 频数直方图与正态分布	(18)
2.2.1 频数直方图	(18)
2.2.2 正态分布	(19)
2.3 统计检验	(20)
2.3.1 平均值的检验	(20)
2.3.2 方差的检验	(23)

2.4 方差分析	(24)
第三章 简单试验设计	(27)
3.1 单因素试验	(27)
3.1.1 单因素试验的解析	(27)
3.1.2 单因素试验的优化	(29)
3.2 两因素试验	(33)
3.2.1 两因素试验的解析	(34)
3.2.2 交互作用	(36)
3.2.3 两因素试验的优化	(39)
3.3 全面试验法	(44)
3.4 完全随机化试验	(46)
3.5 简单对比法	(48)
3.6 随机区组试验法	(49)
3.7 拉丁方试验设计	(51)
3.8 用 Excel 计算的实例	(53)
3.8.1 用 Excel 计算单因素试验的方差分析	(53)
3.8.2 用 Excel 计算双因素试验的方差分析	(54)
第四章 正交试验设计	(56)
4.1 正交表的构造	(56)
4.1.1 以素数 (3, 5, 7, 11 等) 为水平数的正交表	(56)
4.1.2 二水平正交表	(57)
4.1.3 拟水平正交表	(59)
4.1.4 拟因子正交表	(59)
4.2 正交设计的基本原理及特点	(61)
4.3 正交设计的分析	(63)
4.3.1 正交试验方案的设计	(63)
4.3.2 直观分析	(64)
4.3.3 方差分析	(66)
4.3.4 区间估计	(67)
4.3.5 最优生产条件的确定	(67)
4.4 正交设计的典型实例	(68)
4.4.1 有重复试验的正交设计	(68)
4.4.2 无空列、无重复试验的方差分析	(72)
4.4.3 多指标的正交设计	(78)
4.4.4 有交互作用的正交设计	(88)

4.4.5 水平不同的正交设计	(94)
4.4.6 可计算性项目的三次设计	(101)
4.5 正交设计的回归分析	(107)
4.5.1 多元一次回归的直接计算	(107)
4.5.2 转换成二次回归正交设计	(109)
4.5.3 用逐步回归计算正交设计	(113)
4.6 用 Excel 计算正交设计的实例	(116)
第五章 回归分析	(119)
5.1 回归分析简介	(119)
5.2 一元线性回归分析	(119)
5.2.1 一元线性回归模型	(119)
5.2.2 回归系数的确定方法	(120)
5.2.3 相关系数、剩余标准差及方差分析	(121)
5.2.4 加权回归	(122)
5.2.5 化非线性为线性回归及常用的回归曲线	(124)
5.3 二元线性回归分析	(125)
5.3.1 二元线性回归的数学模型	(125)
5.3.2 回归方程的显著性检验	(126)
5.4 多元回归分析	(128)
5.4.1 多元线性回归的数学模型	(128)
5.4.2 多元回归的系数确定方法	(129)
5.4.3 回归方程及回归系数的显著性检验	(130)
5.5 多元逐步回归分析	(132)
5.5.1 逐步回归的计算过程	(132)
5.5.2 逐步回归应用示例	(133)
5.6 多元回归分析应用成果	(138)
5.6.1 水泥水化热的多元回归分析	(138)
5.6.2 硅灰石粉体细度与活性的数学模型	(140)
5.7 用 Excel 计算多元回归分析	(145)
5.7.1 一元回归分析	(145)
5.7.2 多元回归分析	(148)
第六章 回归正交设计	(149)
6.1 一次回归正交设计	(149)
6.1.1 正交表的选用	(149)
6.1.2 因素水平编码	(150)

6.1.3	回归系数的计算	(152)
6.1.4	回归方程及回归系数的检验	(154)
6.1.5	交互作用及部分实施	(157)
6.2	二次回归正交设计	(157)
6.2.1	三水平全因子试验	(158)
6.2.2	组合设计法	(161)
6.3	二次回归正交设计的统计分析	(166)
6.3.1	因素水平编码	(166)
6.3.2	回归系数的计算	(166)
6.3.3	回归方程与回归系数的显著性检验	(168)
6.4	回归正交设计的应用	(169)
6.4.1	热力管道保温厚度优化设计	(169)
6.4.2	热管换热器的回归正交优化设计	(172)
6.4.3	新拌混凝土水灰比快速测试的研究	(180)
6.4.4	新型高强水泥基复合材料的研究	(183)
6.4.5	粉煤灰混凝土配合比优化设计	(185)
6.5	用 Excel 计算回归正交设计统计分析	(190)
第七章	回归旋转设计	(192)
7.1	回归旋转设计的基本思想	(192)
7.2	多项式回归的试验设计的旋转性条件	(193)
7.2.1	多项式回归的设计的信息矩阵元素的一般形式	(193)
7.2.2	旋转性条件	(194)
7.3	回归旋转设计	(195)
7.3.1	一次回归旋转设计	(195)
7.3.2	二次回归旋转设计的条件	(195)
7.3.3	二次回归旋转设计的方案	(197)
7.3.4	二次回归的旋转中心组合设计	(198)
7.4	回归旋转设计的应用	(203)
7.4.1	旋转设计在复合增粘材料研究中的应用	(203)
7.4.2	二次回归通用旋转组合设计酶解法制备大豆肽的研究	(206)
7.4.3	酒精发酵优化的数学模拟	(208)
7.4.4	非均相固体碱催化剂制备生物柴油的工艺优化	(211)
7.4.5	超临界 CO ₂ 流体萃取槟榔中的槟榔碱	(213)
7.5	用 Excel 计算正交旋转组合设计	(215)
第八章	D 最优设计	(217)
8.1	D 最优设计的基本思想	(217)

8.2	D 最优设计的数值算法	(220)
8.3	饱和 D 最优设计	(222)
8.3.1	一次饱和 D 最优设计	(222)
8.3.2	二次饱和 D 最优设计	(223)
8.3.3	D 最优设计和近似 D 最优设计表	(226)
8.4	D 最优设计的应用	(230)
8.4.1	D 最优设计在砂浆胶结料研制中的应用	(230)
8.4.2	D _n 最优设计在重矿渣混凝土中的应用	(233)
8.5	用 Excel 计算 D 最优设计的回归系数	(237)
第九章	混料试验设计	(239)
9.1	混料试验设计的基本特点	(239)
9.2	常用的混料试验设计	(241)
9.2.1	单纯形格子设计	(241)
9.2.2	单纯形重心设计	(245)
9.2.3	有确界约束的混料设计	(246)
9.3	其他混料设计	(251)
9.3.1	具有倒数项的混料设计	(251)
9.3.2	三分量对数项混料设计	(253)
9.4	混料设计的应用	(254)
9.4.1	洮南砂质粘土免烧砖的混料优化设计	(254)
9.4.2	流态混凝土粗集料最佳级配的研究	(257)
9.4.3	土壤固化剂三元混料系统的优化设计	(261)
9.4.4	利用粉煤灰级配提高混凝土力学性能	(263)
9.4.5	复合胶凝材料组成与混凝土抗压强度定量关系研究	(264)
9.5	用 Excel 计算单元形重心设计的回归方程	(267)
第十章	均匀设计	(269)
10.1	均匀设计简介	(269)
10.2	均匀设计的构造与均匀设计表	(270)
10.2.1	均匀设计的构造	(270)
10.2.2	均匀设计表	(271)
10.2.3	一般均匀设计表的构造原理	(273)
10.2.4	均匀设计使用表	(275)
10.3	均匀设计的试验方案	(277)
10.3.1	均匀设计表的选择	(277)
10.3.2	均匀设计优化实验的过程	(278)

10.4 均匀设计的应用	(280)
10.4.1 耐火材料镁碳砖的工艺优化	(280)
10.4.2 水泥基超细粉煤灰灌浆材料的研究	(282)
10.4.3 超细粉煤灰高功能 PRC 材料的研究	(285)
10.4.4 道路沥青改性的研究	(289)
10.4.5 基于均匀设计的方钢管混凝土偏压柱的试验研究	(291)
10.4.6 超细粉煤灰配制高强泵送混凝土的试验研究	(293)
附表	(297)
参考文献	(314)

第一章 工程试验设计基础

1.1 试验设计与试验准备

试验设计方法(design of experimental)是数理统计的应用方法之一。大多数数理统计方法主要用于分析和处理已经得到的试验数据,而试验设计却是主动地、科学地安排试验,避免盲目增加试验次数。用少量的有效试验,得到更多的可靠信息,简化数据分析处理过程,节省大量的人力、物力和时间。同时,可以迅速寻求最优参数,选择最佳工艺方案。

试验设计方法已经广泛应用于各个领域,如在建材工业中,为提高产品的产量、改善产品的质量、优化工艺参数等,经常要在调整原料配比和生产工艺条件方面进行各种试验。这些试验的共同特征是要探索诸因素对试验结果(特征值)的影响规律。仅以混凝土制品生产为例,其特征值的种类和因素如图 1—1 所示。

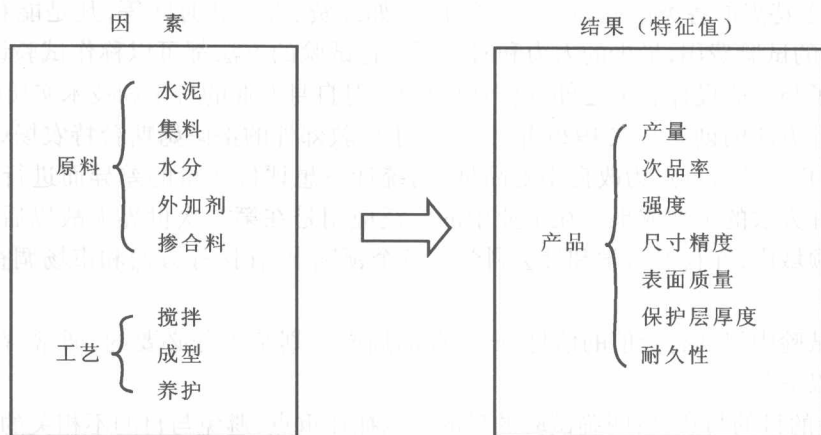


图 1—1 特征值与因素

混凝土强度的影响因素可以列出几十个,甚至上百个,如图 1—2 所示列出了强度这一特征值的主要影响因素关系。

在材料科学研究和工程技术中,我们经常进行的试验,按其目的不同,大致可以分为以下 3 类:

(1)在固定条件下,对材料的某些特性量进行测试或重复测试,其目的是要通过测试了解材料的某些特性值。工程中即使在相同条件下,反复测试其特征值,其结果并不完全相同,允许有一定波动。

(2)从诸因素中有意识地选用几个主要因素作为处理条件,将试验条件有计划地改变,在不同的条件下对试验条件的某些特性量进行一次或多次重复测定,其目的就是要了解条件变化对材料特性的影响。

(3)在一定条件下,对两个或多个不同的特征量同时进行多次测定,目的是要了解材料特征量之间的相互关系。

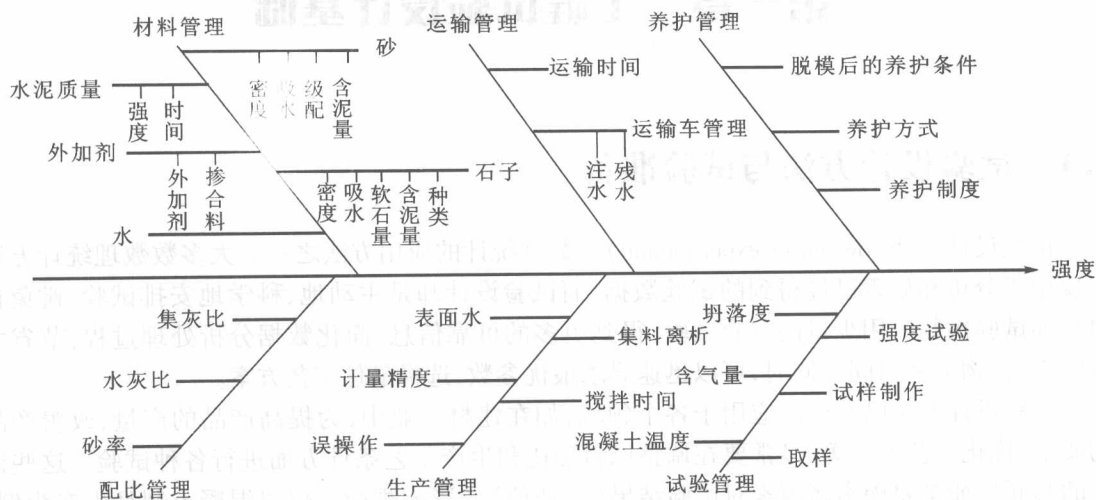


图 1—2 强度的主要因素关系图

具备以上特点的各类试验,在一定条件下,如经费、人力和时间等,凡是能获得一定信息量,而用最低的试验费用,最少的人力和时间所进行试验的方法都可以称作试验设计方法。而信息质量除了与试验设计有关之外,更多地依赖于对自身专业的科学和技术实质的掌握。

试验设计方法的创立是在 1925 年左右,位于伦敦郊外的洛萨姆斯台特农场试验所的统计主任费歇尔(R. A. Fisher),为改良小麦品种,用统计思想评价产量的差异而进行的试验安排,这是试验设计方法的早期成果。在工业中的广泛应用是在第二次世界大战以后。目前,不仅在质量管理领域内,在自然科学和社会科学的各个领域,在医疗方面和市场调查方面都得到了广泛应用。

为了从试验中得到有价值的信息,试验前的周密计划是十分必要的,通常,在制定试验计划时应考虑以下几点:

(1)试验的目的与意义;明确试验的目的可以抓住重点,避免与目的不相关的盲目试验,安排探索原目的最有效的试验。

(2)要达到试验目的需要哪些数据,应对哪些特征量进行测定;在完成这一工作时,除了要具备扎实的专业知识外,在正式进入试验研究之前,查阅大量文献资料是十分必要的。

(3)用什么样的测试方法测试特性量,需要什么样的仪器设备;这就需要熟悉国内外现行的标准和规范。

(4)如何确定试验的条件,哪些因素需要变化,如何变化;通常的试验都是在一定的约束条件下进行的,因而,要确定试验的条件,尤其是有意识地通过改变试验条件探索各因素与特性量之间的关系以及各因素之间的关系。

(5)试验数据如何整理与分析,通过分析能够得出什么样的结果。

在科学技术高度发达和计算机广泛应用的今天,仅有以上 5 个方面是不够的,还应该在第 4 条后面加上“如何应用各种最优设计理论和方法科学地安排试验”。在第 5 条后面应加上“能否用最优方法找到最佳结果和结论”。

1.2 因素和水平的选取方法

1.2.1 几个基本概念

(1) 因素(factor 或称因子) 一般认为有可能影响试验指标的条件称作因素,也可以定义为试验过程中能够变化的那些条件。例如,影响水泥强度的熟料矿物组成、矿渣的掺量、游离氧化钙的含量、水泥的细度等,这些条件统称为因素,尤其是在许多试验中,时间被看做是一个特殊的因素,如龄期等。

(2) 水平(level) 能够影响试验指标的因素通常被人为地给予控制和分组,在统计学上,统称其为因素的水平。例如,外加剂的掺量、瓷砖的烧成温度、粉煤灰的超量系数等。

(3) 指标(index) 在试验设计中,人们把判断试验好坏所采用的标准称为试验指标,简称指标。如材料的强度、弹性模量、软化系数等主要参量,统称为试验指标。

(4) 单因素试验(single factor design) 若在整个试验过程中仅考虑一个因素的变化,则这样的试验称之为单因素试验。如混凝土的强度与灰水比的关系试验中,仅考虑灰水比一个因素的变化,因而,属于单因素试验。

(5) 多因素试验(factorial design) 若在整个试验过程中同时考虑几个因素的变化,则称这样的试验为多因素试验。如掺粉煤灰混凝土的强度与灰水比、水泥取代率、粉煤灰超量系数等因素的关系试验就是一个多因素试验。工程中解决多因素的问题比单因素问题复杂得多,困难得多。目前,正交试验设计和回归正交试验设计在解决多因素多指标的优化问题上是非常有效的。

1.2.2 因素的选定

因素的确定必须从尽可能多的信息和知识中去粗取精,选出影响大的因素,工程中若把考虑到的因素全部试验,需要相当大的费用和时间,不可能实施。因此,合理选择因子本身就带有创造性研究的特点,通常可采用以下几种方法来选取因素:

(1) 会议法 为了很好地选取因子,以往试验数据的有效利用是必要的,但是,在许多有经验的工程技术人员和专家们的头脑中,有着丰富的经验和专业理论知识,召集直接和间接的专家和技术人员,通过论证充分提出意见,对试验方案分析评价和因素的选取判断是十分有效的。

(2) 现场观察法 没有以往的试验数据时,通过现场调查发现影响较大的因素也是一种有效的方法。卓越的技术人员采用视察的方法可以有意识地集中各种现象的记录,加以分析,也可以从技术角度通过思考加以确定。

选取因子时,通常选取对性能有固有的正影响的因子比较好,如灰水比作为混凝土强度有主要影响的因子。在实际工程中,环境条件有时也必须考虑,如考察弹性模量与强度的关系时,许多多孔的建筑材料受环境湿度影响,材料含水愈高,其弹性模量愈高,而强度愈低,含水量愈少,其强度愈高而弹性模量愈低。关于环境条件,选择适宜的条件尽管有时实际意义不大,但作为试验起步阶段,研究其影响常常很有价值。因此,确定因素时,除具有较高的专业技术水平之外,客观地选取较大范围的因素是必要的。否则,容易经验地陷入盲目性,通常材料

研究过程中的因子可以列举以下几类:

(1) 控制因子 控制因子往往反映了试验的主题,该因子通常设定许多水平,通过试验达到选取最佳水平的目的。例如,我们试验中经常选取的反应温度、处理时间、材料的种类、掺量、加工处理方法等。在试验中所选取的大部分因子是控制因子。

(2) 标示因子 与控制因子一样,具有水平的再现性,可以设定其水平,但选择最佳水平无多大意义,标示因子常常是研究与其他控制因子交互作用为目的而确定的因子。例如,材料的使用条件、试验的条件、地区的差异、人和设备的差异等,常常被确定为标示因子。

(3) 区段因子 在工程中为更好地提高试验精度,要考虑试验现场的区别,从而使用区段因子,该因子无水平再现性,因此,与控制因子的交互作用无意义。日期、操作者、地区、组群、批量等属于该类因子。

(4) 误差因子 为得到试验误差、测试误差等效果所选取的因子为误差因子。有时,由试验的概率水平分别表示为一次误差、二次误差……几个阶段。

1.2.3 水平的选取

试验的因素确定以后,选取水平是非常重要的。例如,要优选多因素的最佳组合,其中某一重要因素的水平选定在较优区间之外的范围,无论多少组试验,也很难达到最佳组合。

工程中有些因素的水平常常是早就固定下来的。例如,某一建筑材料的生产是从3个公司购入原料,该因素的水平数只能取3;如果比较6种添加剂的作用效果,就把水平数定为6;如果评价3条生产线的差异,该因素的水平数也只能取3。而工程中存在许多量化的因素,它们水平数的确定就灵活得多。如温度、外加剂掺量、反应时间等。

在水平选取方面通常有以下几种情况:

(1) 试验中想尽可能多选取一些因素时,为了不使试验规模过大,应尽量减少因素的水平数。

(2) 尽可能在原有状态下得出结论时,水平数少一些比较好,如正交试验时选2~3个水平比较好。

(3) 因子在某种程度上不能严格控制时,水平之间的幅度应大一些。

(4) 进行了初步研究,因子在哪个范围内有最佳点已有一定了解时,选取2~3个水平比较合适。

(5) 量化因子进行多水平试验时,水平间等间隔进行比较好,这样便于后面的分析评价。当然,有些回归试验设计对间隔有具体要求,应按其要求选取水平。

(6) 明确知道试验结果如何的水平,的情况下,该水平的选取没必要,应从试验范围除去。例如,选取某一水平时,明知道几个因素与该因素的这一水平组合后将生产出次品,这时没必要选取这一水平。

1.3 费歇尔三原则——重复、随机化、局部管理

试验设计方法的创始人费歇尔(R. A. Fisher)提出,应遵照以下三原则管理“试验现场”。

(1) 重复(replication): 目的在于控制试验误差;

(2) 随机化(randomization): 其作用是将系统误差转变为偶然误差;