

华章 - SBTI六西格玛丛书

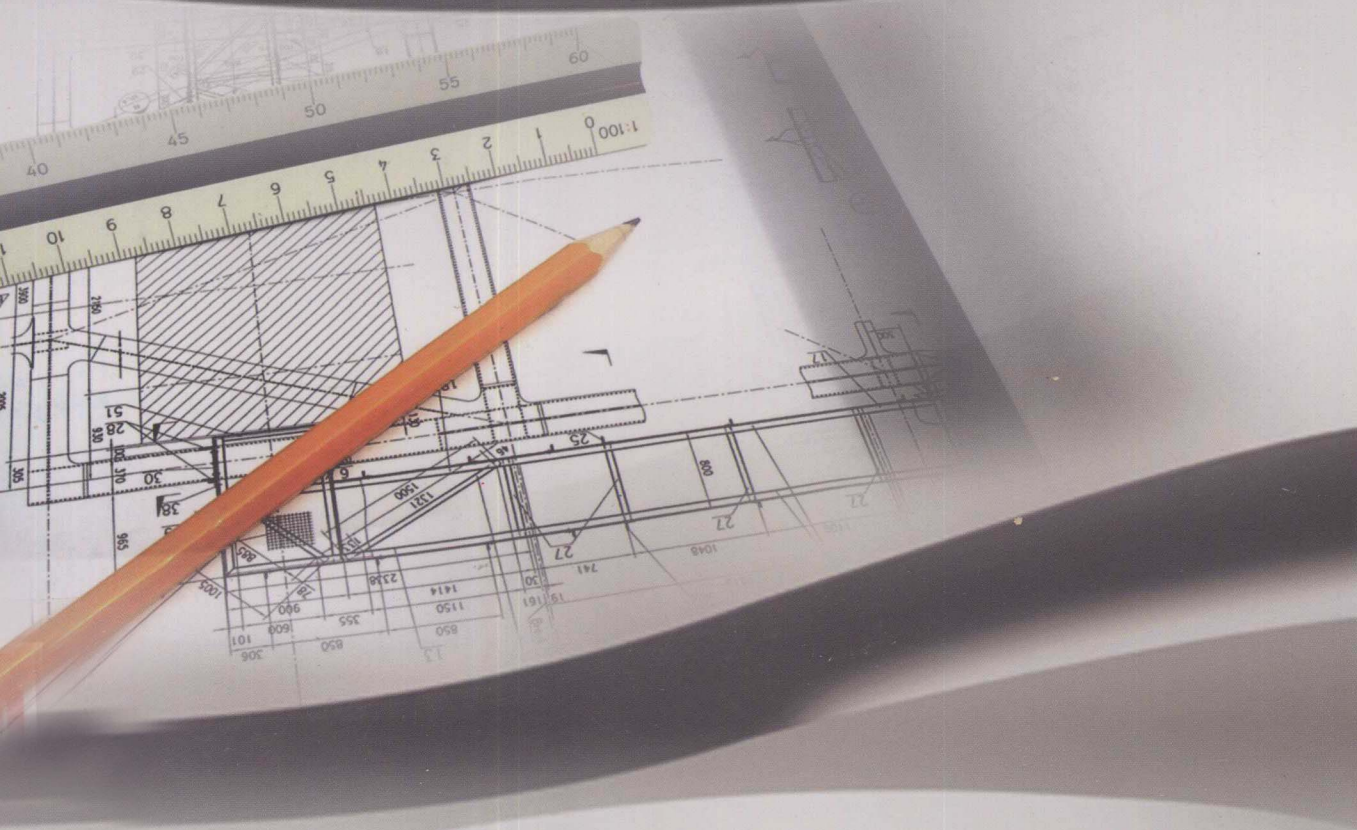


师昌绪院士专文推荐 六西格玛管理实战指南

Application Guide of Design of Experiments (DOE)

实验设计 (DOE) | 应 | 用 | 指 | 南 |

闵亚能 © 著



机械工业出版社
China Machine Press

华章 - SBTI六西格玛丛书

Application Guide of Design of Experiments (DOE)

实验设计 (DOE) | 应 | 用 | 指 | 南 |

闵亚能 © 著



机械工业出版社
China Machine Press

本书是从流程、技术、经济的视角对流程改善和质量管理的理论与方法进行的创新研究。通过该理论，我们能以最迅速、最经济的实验方法，获得最佳的结果，可广泛应用于优化业务流程、技术开发、产品开发中，发挥立即有效的成果。它是全球追求卓越的企业实施六西格玛战略的核心技术，也是中国赶超世界先进水平、实现崛起的强有力武器。

本书内容力求全面，广泛吸收了最新的实验设计方面的研究成果，并且结合大量的实际案例，提炼归纳出实战技术和设计技巧与读者分享。全书采用循序渐进、由浅入深的系统化方法，秉持全面、简单、实用的原则，并通过对大量真实案例的剖析，推荐几乎程序化的实验计划与分析步骤，使初学者和有经验人士皆能建立完整的理论体系，快速掌握实验设计的实战技术与灵活运用的技巧，从而轻而易举地应用到实际工作中。

封底无防伪标均为盗版

版权所有，侵权必究

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目 (CIP) 数据

实验设计 (DOE) 应用指南 / 闵亚能著. —北京: 机械工业出版社, 2011.1
(华章-SBTI六西格玛丛书)

ISBN 978-7-111-32967-1

I. 实… II. 闵… III. 产品-技术开发-企业管理-指南 IV. F273.2-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第262938号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 刘 斌 版式设计: 刘永青

三河市明辉印装有限公司印刷

2011年2月第1版第1次印刷

185mm × 260mm · 35印张

标准书号: ISBN 978-7-111-32967-1

定价: 78.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88379210; 88361066

购书热线: (010) 68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010) 88379007

读者信箱: hzjg@hzbook.com

推荐序

F
o
r
e
w
o
r
d

实验设计 (design of experiments, DOE) 是一种安排实验和分析实验数据的数理统计方法。通过对实验的合理安排,能以较小的实验规模和较少的实验次数,较短的实验周期和较低的实验成本,得到理想的实验结果和得出科学的结论。

把实验设计 (DOE) 的概念和方法应用于产业界的产品设计研发、生产过程的控制、质量优化工程等方面,就能大大提高产品设计研发的效率,缩短周期,节约资源和成本,控制和提高产品质量,给企业带来优质的品牌和持续的经济效益,从而使企业在竞争中立于不败之地。因此实验设计自20世纪初创立以来在发达国家的产业界得到了普遍的推广应用,并因此成就了一批优秀大企业和著名国际品牌,也为它们创造了巨大的财富。中国正在腾飞崛起,走向世界,参与国际竞争,如果我们企业的广大工程技术人员也能普遍掌握和运用实验设计,一定也能在创新发展中做到多、快、好、省,成就辉煌。

闵亚能先生是位多年从事实验设计研究和应用的高级工程师,在实践中积累了丰富的经验和大量的第一线实践资料,他所编写的《实验设计 (DOE) 应用指南》具有很高的实用价值。它的特点是:第一,从实际案例出发,由浅入深、概念清晰、分析透彻、文字简练、易学易懂;第二,利用计算机软件工具,实现程序化的设计与分析步骤,避免了繁杂的数理统计计算,简单而有效,实用性和可操作性很强,特别

适合广大工程技术人员快速掌握运用；第三，本书最后四章针对实际工作中经常遇到的协方差分析、缺失数据的实验设计考虑、较难改变因子的实验设计及二进制响应实验设计等，给出了许多成功的案例分析和知识拓展，可供科研、教学人员和研究生阅读参考。

《实验设计（DOE）应用指南》是一本很好的实用参考书，祝贺本书的出版，并借此希望“实验设计”这一科学的方法能在我国科技界、产业界得到更广泛的推广和应用。

中国科学院院士

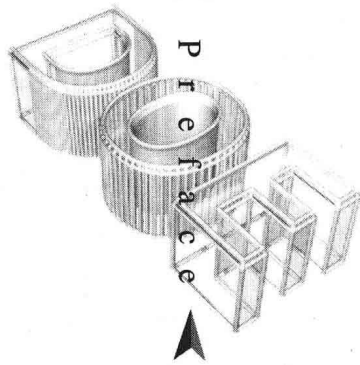
中国工程院院士

师昌绪

2010年1月20

前言

P
r
e
f
a
c
e



作为一项非常实用的技术开发、工艺改进工具，实验设计能够协助企业快速找出工艺环境中最适合的生产条件，追求质量完善与资源利用最大化，并能有效缩短产品设计开发时间，因而受到金融企业、研究单位、工程制造部门的普遍欢迎与肯定。近几年风靡全球企业的六西格玛科学管理方法，其中很重要的一部分就是实验设计，即通过实验设计找到科学的、突破性解决问题的方法，六西格玛方法与实验设计在各个领域的广泛应用已收到了明显的效果。尤其是实验设计在研发领域更是受到高度评价，被当做是将研发周期显著缩短的法宝。

当今世界的质量运动经历了质量控制、质量保障、质量管理向质量改善方向的发展，银行、证券、保险等服务业、制造业及其他领域的竞争国际化与需求多样化加剧，其产品更新与服务周期日益缩短。因此如何优化流程，用极短的研发周期源源不断地推出新产品、新服务成为企业成败的关键和市场竞争力强弱的标志。如何运用当今世界工业在质量运动中的积累与最新成果来不断改进工作，成为我们首先要思考的问题。纵观世界发展趋势：一些高科技手段日趋成熟，并广泛被人们所掌握，使得许多企业在同行业的竞争中处于领先地位。而这些高科技的手段就是以实验设计（DOE）为重要代表的统计理论为基础，而发展起来的一系列持续改进工艺、优化核心流程的方法，并且辅以成熟的软件工具加以应用。事实上只有不断改进“研发方法”才能解决根本问题。

本书采用循序渐进的系统化方式，以举例的方式，层层分析，力求深入浅出，从中悟出深奥道理。倚借作者近20年研究实验设计的丰富的实际体验，从科学的视角阐述了实验

设计知识体系的精髓，讲解了此套质量工程技术，让初学者和有经验人士皆能建立完整的理念体系，轻而易举地应用于实际工作。书中包含了实验设计知识的重要内容，揭示了实际操作中所遇到的各种疑难问题和相应的解决方案。作者一直致力去芜存菁、化繁为简，避开深奥难懂的统计学，使大专程度的工程技术人员都能接受、了解实验设计，并加以应用，唯有如此才有可能让实验设计普及于一般工厂。写一本易懂、实战、系统的实验设计参考书，并与广大读者一起分享作者的学习心得与经验积累，这是作者撰写本书的动机。

本书在编写过程中，秉持全面、简单、实用的原则，突出以下四个重点。

1. 从实例出发，推导出正确的理论结果。一开始我们就强调以举例的方式，导出实验设计深奥的理论，并用众多实例来解析实验设计的理论结果，为企业高效实施实验设计奠定基础。教材实例丰富，其中来自金融企业、设计或生产一线的实际案例超过百例，希望能起到举一反三、触类旁通之效。这些实例在整个学习过程中是必要的，唯有面对实际问题，才能充分理解实验设计的精髓所在。作为工程领域方面的高级工程师，作者亲临一线现场指导与解决了大量实验设计的具体问题，曾经遇到的大量疑难杂症，经过努力总能一一化解。这些实例绝大多数是对实际工作中解决问题的总结，其结果已经过实践的验证，其中有些已产生了较大的经济效益。本书配有电子版实例原始数据，供读者学习使用。

2. 以理论为依据，以应用为重点。本书从实验设计理论中的重点（实验设计的思想、实验的计划、实施、数据分析、验证及推荐方案）出发，全面展开，多方位阐述了实验设计的深奥理论。通过向读者推荐几乎程序化的实验流程与分析步骤模式，使读者能够容易入手，进而快速掌握实验设计的实战技术与灵活运用的实践技巧。本书集实验设计思想、MINITAB软件应用、统计方法及专业知识于一体，案例丰富翔实，是目前质量改善阶段技术要求较高且最有效的工具之一，对于研究实验设计的有心人士来说，容易学会且易于掌握。

3. 化复杂为简单。实验设计深奥的理论，一直困扰着工程技术人员在实际生产中的应用。本书利用各种图表来说明和简化理论公式的推导、用各个行业的实例来阐明实验设计中的难点，使读者能够从简单到深入，由直观上升到理性，从而理解实验设计的真正意义，掌握实验设计的实战技术。

4. 运用计算机辅助程序，便于所有技术管理人员掌握应用。我们借助于操作方便、容易使用、计算精准的全球六西格玛行业流行的MINITAB统计软件来帮助我们进行实验设计，既抛弃了繁杂的统计计算，又提高了工作的质量和效率，并且便于在世界范围内进行交流。

全书共13章。第1~3章，主要讲述了实验设计的概念与术语、步骤与路径、策

略与计划及其发展与历史，其中重点讲解了实验设计的思路与方法，使读者对实验设计初步有个全面而清晰的了解；第4章，针对实验设计中要用到的统计知识与MINITAB统计软件工具进行了介绍，需要读者重点学习相关的统计知识与掌握操作技巧；第5章和第6章，重点讲解了析因实验设计的内容，案例极为丰富，涉及领域广泛；第7章，对数据收集与实验样本的考虑做了简要的介绍，了解实验功效，便于在工作中做到既达到实验要求又尽量节约资金；第8章，详细深入地研究了响应曲面方法（RSM），研究了确定“最陡的上升路径”及寻找最佳工艺窗口的方法，案例精彩，剖析详尽；第9章，简单介绍了优化操作（EVOP/PLEX）；第10~13章，针对工作中经常遇到的较为复杂的实际问题，分别介绍了协方差分析、缺失数据的实验设计考虑、很难改变因子的实验设计及二进制响应（指标）实验设计等，并都给出了完整的案例供大家学习参考，这一部分内容在国内外实验设计书籍中都很少涉及，而本书则对这些问题进行了案例剖析和软件使用指导。

特别感谢天津大学数学系教授，全国六西格玛推进委员会专家组成员、顾问，全国优秀六西格玛培训导师，我国著名统计专家马逢时教授提供的大量珍贵资料及给予的关心和支持，使得本书得以顺利出版；特别感谢SBTI大中国区总裁杨承路先生的指点与鼓励；特别感谢MINITAB软件公司及其在中国上海泰珂玛信息技术有限公司的支持。本书的编写过程中得到了六西格玛资深黑带、实验设计专家王晨刚先生的鼎力相助，得到了资深黑带周晔先生对本书第4章的宝贵意见，得到了材料与实验专家秦银华高级工程师的很大帮助，得到了半导体工艺与质量控制专家庞海舟总监的大力支持，得到了半导体工业与质量专家陈惠明总监的指导与帮助。在本书编写过程中，众多企业高层主管、研发、设计、制造、质量人员提供了许多企业实际经验，让本书的实例得以丰富，在此一并向他们致以最衷心的感谢及最诚挚的祝福。

为了更好地配合读者学习，本书所涉及的数据文件请到SBTI中国官方网站：http://www.sbtionline.com.cn/productus_DOE.aspx下载。MINITAB的中文版与英文版（试用版）软件包可到<http://www.minitab.com/en-CN/minitab/free-trial.aspx>下载。

由于时间仓促，未尽事宜或表达欠缺之处在所难免，请广大读者批评指正。

作者联系电子邮箱：minyaneng@126.com

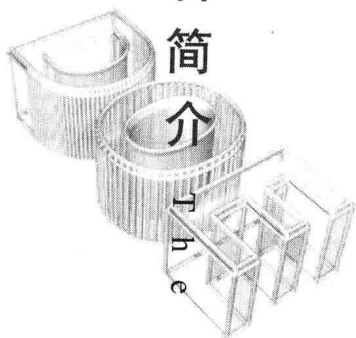
闵亚能 (Lake Min)

于上海天然居

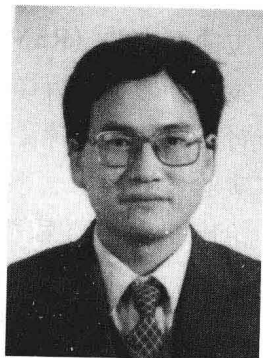
作者简介

The

Author



闵亚能 上海先进半导体制造股份有限公司 (ASMC) 六西格玛经理, 高级工程师; 北京大学质量与竞争力研究中心特聘研究员; ASMC六西格玛黑带/绿带的首席培训师; 获得摩托罗拉公司认证的全部核心黑带课程、实验设计 (DOE) 课程的授课资格。主持工艺改进、优化核心流程及负责公司年度六西格玛推进计划的制定, 根据公司的年度战略、外部客户及市场环境的要求做出规划, 进一步满足客户的要求。加之高级程序员的技术专长, 在近20年的企业一线实践中, 现场指导工程技术人员解决了无数的实际问题, 优化了大量的系统流程, 通过大量长期的实验设计现场指导, 系统软件的改进升级及教育培训工作积累了丰富的经验。编写了各种培训教材20余部, 在国内外学术刊物上发表学术论文40余篇。

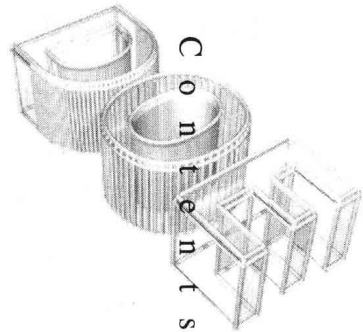


重要经历:

- ◎ 前后成功辅导过大量实验设计 (DOE) 项目, 成功辅导了多项设计专利; 在实验设计基础、响应曲面方法 (RSM)、田口设计 (Taguchi Design)、配方与混料设计 (Formulation & Mixture Design)、公差设计 (Tolerance Design)、可靠性分析与设计 (Reliability Analysis & Design) 及六西格玛设计 (DFSS) 等工程设计与方法领域均有较深的造诣, 经过多年大量的一线实践, 总结并形成了适合中国企业研发创新与设计改进的完整方法。
- ◎ 2006年8月赴荷兰飞利浦 (Philips) 总部进行技术交流, 一起探讨实验设计 (DOE)、变异源分析 (SOV)、比较分析 (CA)、六西格玛管理及数据挖掘等技术在企业中的应用, 受到国外专家的一致好评。

目 录

C
O
N
T
E
N
T
S



推荐序

前言

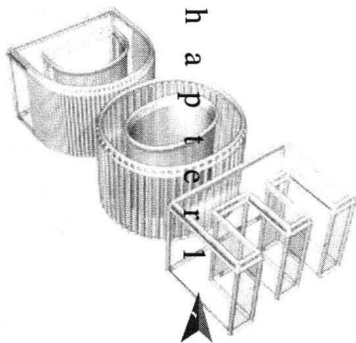
作者简介

第1章 实验设计概述	1
1.1 什么是实验设计	1
1.2 DOE的目的与用途	5
1.3 实验设计的策略与实验路径图	6
1.4 DOE的操作步骤	7
1.5 应用实例	10
1.6 传统的实验方法	13
1.7 实验设计的发展历程	16
练习题	17
第2章 实验策略与计划	18
2.1 实验策略与计划	18
2.2 如何选择实验类型	19
2.3 定义目标	22
2.4 选择指标的考虑	22
2.5 如何选择因子、水平与实验条件	26
2.6 实验设计的三个基本原则：重复、区组与随机化	31
练习题	33
第3章 主效应、交互效应与模型	34
3.1 主效应与交互效应	34
3.2 交互效应的进一步探讨	41

3.3 模型	42
练习题	43
第4章 MINITAB基本操作与基础统计	44
4.1 MINITAB简介	44
4.2 基础统计	47
练习题	69
第5章 完全析因（全因子）实验设计	70
5.1 二水平全因子实验概述	70
5.2 全因子设计的计划	76
5.3 全因子设计的分析	80
5.4 全因子设计实例	90
5.5 完全析因实验设计实例	116
5.6 实验设计中的区组考虑	148
练习题	155
第6章 部分析因（部分因子）实验设计	157
6.1 部分析因实验概论	157
6.2 部分析因实验的计划	165
6.3 部分析因实验的分析实例	174
6.4 部分析因实验的计划与分析实例	196
6.5 折叠设计实例分析	231
6.6 饱和设计及实例分析	262
6.7 Plackett-Burman设计实例分析	273
6.8 三水平部分析因实验的分析	288
6.9 保险领域的实验设计与案例分析	295
6.10 银行领域的实验设计	314
6.11 特大型连锁超市企业的实验设计	316
练习题	317

第7章 数据收集与实际考虑	318
7.1 功效和样本数量概述	318
7.2 功效和样本数量案例	320
7.3 样本与数据收集的实际考虑	326
7.4 样本与数据收集的案例分析	328
7.5 总结	333
练习题	335
第8章 响应曲面方法与设计	336
8.1 响应曲面设计概论	336
8.2 响应曲面设计的计划	351
8.3 响应曲面设计的设计及实例	352
8.4 响应曲面设计的分析及实例	357
8.5 最陡的上升路径	379
8.6 序贯实验设计方法	408
8.7 Box-Behnken实验设计方法	432
练习题	437
第9章 优化操作 (EVOP/PLEX)	441
9.1 调优操作 (EVOP)	441
9.2 PLEX	443
9.3 小结	443
练习题	443
第10章 协方差分析	444
10.1 协方差分析概述	444
10.2 协方差应用实际案例	445
10.3 协方差分析小结	458
练习题	458
第11章 缺失数据的实验设计考虑	459
11.1 缺失数据的实验设计概述	459

11.2 缺失数据的实验设计应用实际案例	460
11.3 缺失数据的实验设计小结	471
练习题	472
第12章 很难改变因子的实验设计	473
12.1 很难改变因子的实验设计概述	473
12.2 很难改变因子的实验设计实际案例	473
12.3 很难改变因子的实验设计小结	483
12.4 很难改变因子的实验设计知识拓展	483
练习题	483
第13章 二进制响应(指标)实验设计	484
13.1 二进制响应(指标)实验设计概述	484
13.2 二进制指标实验设计应用实际案例	485
13.3 二进制指标实验设计小结	492
练习题	492
后记	493
附录	494
参考文献	544



实验设计概述

1.1 什么是实验设计

1.1.1 实验设计的由来

请问你知道香槟酒是怎样发明的吗？

法国修道士为了谋生，在葡萄园中种植葡萄，自行酿制葡萄酒，以贴补一些开销。其中有位修道士却在思考这样的问题：葡萄汁通过一次发酵后就成为葡萄酒，如果发酵两次会是什么结果呢？于是，他进行了尝试，把葡萄汁发酵两次。结果，他发明了在各种喜庆宴会上大家喜欢喝的香槟酒。

假设你是一家奶茶店的老板，希望争取更多的顾客来扩大营业额，你的奶茶味道非常好，现在唯一不足的是：常有顾客抱怨你的奶茶不够清凉。你决定通过实验来改善冰凉度，经一夜冥思苦想后，你决定直接测量奶茶的实际温度作为品质特性，决定研究冰块类型、搅动方式、杯子种类对温度的影响。冰块类型：你可选择碎冰或整块冰两种方式；搅动方式：你可选择不搅动和搅动；杯子类型：可选择纸杯和玻璃杯。共对以上8种组合的每一种组合都做一次实验，记录实验结果，然后根据实验结果确定最佳组合方式。

某工程师研究某产品的产量与化学反应的温度、时间、催化剂的用量间的关系，实验目的是寻找最佳生产条件。实验可按如下方法进行。选用两种温度：60°C、80°C；选用两种反应时间：40分钟、90分钟；选用两种催化剂的用量：200克、500克；共对以上8种组合的每一种都做一次实验。记录实验结果，然后根据实验结果寻找产量与化学反应的温度、时间、催化剂的用量间的规

律，根据找到的规律，应用统计方法确定最佳的生产条件，并可预测产量的变化范围。

我们通过特意地干预系统，希望增加有关的知识。设想一下，如果当时没有这位修道士的想法，也许到现在还没有香槟酒呢！所以，我们要鼓励工程技术人员去思考、去尝试、去实验，看看目前是否是最佳状态，特意改变某个设置行不行，有意地改变一些设置是否会得到更好的效果。

下面，为了加深对实验设计的理解，我们将实验设计与其他质量改善工具做些比较。

首先，我们与回归分析来做个比较。

回归分析 尽管回归分析与实验设计计算结果相同，但是，回归分析属于被动观察，就是静观过程变化，这些数据，可能是每两小时抽几个点，按照合理的抽样计划，被动地收集或整理数据，而不施加任何带有目的的改变。回归分析通常是收集历史数据 (passive data)，来发现 X 与 Y 之间的关系。

如发现有问题，往往收集以下几个月的数据，但是，对于是否能解答你的问题，是否改变了原材料，什么时间会用到这些数据，一些重要信息可能没有收集到，如谁设置的、改变了多少，这些重要的信息往往都被忽视掉了。

实验设计 实验设计 (DOE) 是研究正确的设计实验计划和分析实验数据的理论和方法，通过改变过程的输入因素，观察其相应的输出响应的变化，从而获取关于这个过程的知识，确定各个输入因素的重要性以及各输入因素如何影响输出响应，并如何达到最优化过程的目的。

实验设计是指主动控制自变量，并观察自变量 X 对应变量 Y (响应值) 的影响。精心设计的实验有助于人们对事物的认识。

其次，我们与应用广泛的质量控制工具，著名的统计过程控制 (SPC) 来做个简单的比较。统计过程控制始于20世纪20年代，是从休哈特 (Shewhart) 的控制图开发出来的，利用控制图监控一个过程的输入或输出。当发现异常输入或输出时，把过程停下来，对异常输入或输出的原因进行调查并予以消除；如果过程处于统计控制状态且在正常范围内波动，则可以杜绝或减少返工，达到稳定生产，输出一致的高可靠性产品 (见图1-1)。



图1-1 生产过程中的实验设计

从上面可以看出，作为一种主动型工具，实验设计强调的是线外质量预防，改善过程贯穿设计到制造的全过程。设计阶段就设计出合理的工程参数，追求质量及资源的极致，从根本上消除或减少变异，最大限度地满足客户的需求。从质量发展的过程来看，我们的

认识也有了根本性的提高，从原来的“质量是检验出来的”→“质量是制造出来的”→“质量是设计出来的”，就是强调实验设计在产品的研发阶段占有重要的地位，也决定着产品的生命周期与质量水平。

英国统计学家乔治·博克斯 (George Box) 在实验设计上有着特殊的贡献，也是将统计数据运用于实验的首批推行者之一，第二次世界大战期间发展了响应曲面方法 (RSM)，首先在化学工程中得到应用，后来在全世界普遍应用，使得实验设计的理论与方法达到了一个新的高度，从此，实验设计的应用步入了一个黄金时代。他在 *Technometrics* 杂志上说：“要了解你所干预的系统在发生什么，你必须介入进去，而不是仅仅被动地观察。”



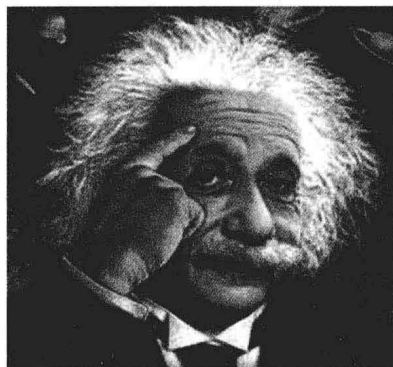
威斯康星大学统计系1985年圣诞节晚上乔治·博克斯 (中) 与我国著名统计学家茆诗松 (左)、马逢时 (右) 的合影

我们常说“不入虎穴，焉得虎子”也正是说明了这个道理。在说到实验的重要性方面，更是呼吁要非常重视实验设计，而且要提高到国家振兴、增强企业核心竞争力的高度，他说：“如果我们能使我们的工程师开始学习运行一个简单的实验，将会极大地刺激他们的胃口。在这个国家有成千上万的工程师，哪怕他们只会使用 2^3 实验设计方法，哪怕这是他们唯一掌握的数据驱动的分析方法，也将会极大提升实验的效率、创新的速率以及整个国家的竞争力！”

1.1.2 实验设计是个学习的工具

我们必须学习新能力。爱因斯坦说：“我们有学习新的策略、新的规划过程以及近代解决问题的过程和一大堆其他技术的需求，并非旧的技术总是不好，只是竞争环境改变了。”“今日我们所创造出的过程，就是来自我们头脑思考的结果，所以一旦此过程产生问题，远远不能利用我们创造它的思路去解决它们。”

回顾一下人类的学习过程，我们通过向大自然学习、向宇宙学习，获得知识，从而更好地面对自然、改造自然，向自然索取财富，当然这个过程是循序渐进的。一般是先根据已有的知识提出某种设想，设计一个实验去验证或否定它，从实验中获得的数据帮助人们验证或修正初始的设想，然后提出一个更新、更深入的设想，再设计新的实验……这个反复的过程会一直持续下去，直到形成较为完整的理论结果为止。我们进行实验也是一个学习过程，学习过程不可能一蹴而就。我们不要企图“毕其功于一役”，进行一次实验就结束战斗。一般来说，实验要进行好



阿尔伯特·爱因斯坦

几批，我们通常序贯地进行实验，作为一般法则，在第一次实验中，投入的可用资源不要超过总预算的25%，因为实验往往不是一次就成功，要确保有足够的资源去做后面的实验，以及验证实验，并最终达到实验的目标（见图1-2、图1-3）。

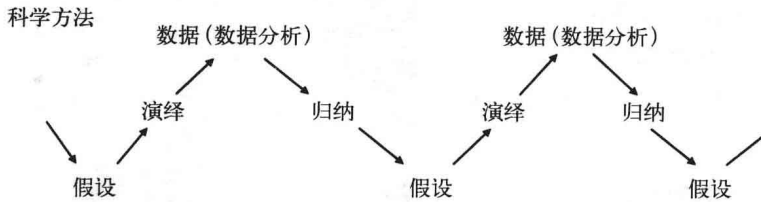


图1-2 迭代式认知过程

科学方法应用到设计过的实验上

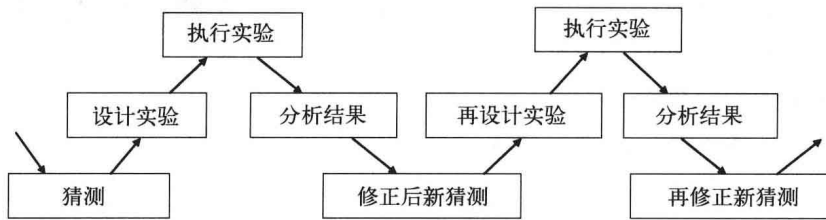


图1-3 实验设计过程

要想学到东西，必须要满足下列两个条件：关键事件（critical event）出现，另外就是有慧眼的观察者（perceptive observer），两者必须同时发生，缺一不可。

我们还必须学习深度知识，深度学习的结果产生戴明所说的深度知识，深度知识是了解控制过程的基本原理。某人具有深度知识就能回答诸如“何种化学或物理原理控制此过程”之类的问题。例如：滚动铝板的限制是摩擦力和热传导，哪一些限制此过程不能百分之百回收？如果人们理解了能量守恒定律，就不会在研究永动机上耗费大量的时间与精力。所以实验设计是一种寻找探索过程边界以及获得深度知识的方法。

解决问题是最佳化的一个集合，过程最佳化是在改善一个健康的过程，解决问题是在修补一个破碎的过程，两者只有程度上的差异，因为两者使用的工具相似，两者都针对一个过程而改善。正如博克斯所说：所有的工业过程都需改善。

1.1.3 实验设计的实质

实验实际上是研究者在各个研究领域都会进行的，通常是要发现关于一个特定过程或系统的某些事情。从字义上说，实验的定义就是为了可以对输出变化的原因进行观察，在工程或系统的输入变量上增加计划好的变化的一连串实验。而实验设计是一种安排实验和分析实验数据的数理统计方法，实验设计主要对实验进行合理安排，以较小的实验规模（实验次数）、较短的实验周期，以及较低的实验成本获得理想的实验结果和正确的结论。

所研究的过程或系统可以用图1-4所示的模型来表示。