

全国高等医药院校药学类规划教材

均匀设计及其应用

(供药学类、中药学类专业用)

主 编 曾昭钧 (沈阳药科大学)

副主编 (按姓氏笔画排列)

刘鹰翔 (广东药学院)

张为革 (沈阳药科大学)

编 委 (按姓氏笔画排列)

王松青 (天津大学药学院)

金 杰 (沈阳药科大学)

中国医药科技出版社

内 容 提 要

本书简要介绍了实验设计的发展历程及其在科技发展中的积极作用,着重介绍了均匀设计的构思、均匀设计表及其使用表的构成方法。通过实例介绍了应用均匀设计表优化制药工艺条件的具体步骤及其在使用中需要注意的一些事项。同时收集了多个在药学领域应用均匀设计优化试验条件的实例,供大家参考。还对应用均匀设计优化工艺的软件进行了简单的介绍,同时介绍了调优运算——在现场进行优化工艺条件的方法。书后的附录还收录了必要的数学工具供读者使用。

图书在版编目(CIP)数据

均匀设计及其应用 张昭钧主编 —北京:中国医药科技出版社, 2006.10

全国高等医药院校药学类规划教材

陈昇苑 张昭钧 张淑娟 张淑娟 张淑娟

I 均匀设计 II 张昭钧 III 均匀性 原试验设计(数学) 原医学院校 原教材 IV 统计学

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第157000号

美术编辑 陈君杞

责任校对 张学军

版式设计 郭小平

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲10号

邮编 100082

电话 010-63083141

网址 <http://www.cnmp.com.cn>

规格 787mm×1092mm 1/16

印张 32

字数 150千字

印数 1—5000

版次 2006年10月第1版

印次 2006年10月第1次印刷

印刷

经销 全国各地新华书店

书号 陈昇苑 张昭钧 张淑娟 张淑娟 张淑娟

定价 18.00元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

目录

第一章 试验设计的发展简介.....	(员)
第一节 试验设计及其应用.....	(员)
第二节 正交设计及其简介.....	(员)
第三节 均匀设计及其简介.....	(猿)
第四节 现场中的试验设计法——调优运算简介.....	(缘)
第二章 均匀设计.....	(苑)
第一节 均匀设计简介.....	(苑)
第二节 均匀设计的思想及均匀设计表.....	(怨)
第三节 均匀设计表的构造.....	(员缘)
第四节 均匀表的使用表的产生.....	(员怨)
第五节 如何选择均匀设计表及安排试验方案.....	(圆缘)
第六节 如何处理试验结果数据.....	(圆缘)
第七节 应用均匀设计表安排试验方案时要注意的几个问题.....	(圆苑)
第三章 回归分析.....	(猿猿)
第一节 问题的提出.....	(猿猿)
第二节 回归分析.....	(猿猿)
第三节 回归方程的显著性检验.....	(猿怨)
第四节 逐步回归分析.....	(源圆)
第四章 《均匀设计》应用软件及其使用方法.....	(源猿)
第一节 《均匀设计》应用软件及功能简介.....	(源猿)
第二节 《均匀设计》应用软件的使用方法.....	(源源)
第五章 应用均匀设计的实例集锦.....	(源怨)
第一节 均匀设计在化学合成方面的应用实例.....	(源怨)
第二节 均匀设计在生物制药方面的应用.....	(缘圆)
第三节 均匀设计在药剂学方面的应用.....	(缘愿)
第四节 均匀设计在药物分析领域的应用.....	(苑怨)
第五节 均匀设计在中药领域的应用.....	(愿愿)
第六节 均匀设计在其他领域的应用.....	(怨愿)
第六章 调优运算的试验设计.....	(员缘缘)
第一节 概述.....	(员缘缘)

目 录

第二节	调优运算试验设计的一般步骤.....	(页码)
第三节	二因素调优运算试验设计.....	(页码)
第四节	三因素调优运算试验设计.....	(页码)
附录一	常用均匀设计表.....	(页码)
附录二	云检验临界值表.....	(页码)
附录三	正态分布的双侧分位数(裁)表.....	(页码)

试验设计的发展简介

第一节 试验设计及其应用

试验设计（音译：实验设计）是统计数学的一个重要分支。自上世纪二十年代问世迄今，试验设计技术的发展大致经历了三个阶段，即早期的单因素和多因素方差分析法、传统的正交试验设计法和近年来刚刚兴起的均匀设计法。

试验设计是二十世纪初由英国生物统计学家费歇尔（音译：费舍尔）首创的。他将试验设计方法应用于农业、生物学和遗传学等方面，取得了丰硕成果，从实践和理论上丰富和发展了统计学。试验设计法首先在英国的罗隆姆斯台特农业试验站被应用于田间试验设计上。据报道，当时英国由于采用了试验设计方法，使农业大幅度增产。1925年，费歇尔在《研究工作中的统计方法》一书中，把这种方法称为“试验设计”（音译：实验设计）。后来，费歇尔在进一步试验研究的基础上，总结试验设计技术和方法，于1935年出版了他的专著《试验设计》。从此开创了一门新的应用技术学科。

二十世纪的三、四十年代，英国、美国和前苏联等国继续对试验设计进行了研究，并将试验设计法逐步推广到工业生产领域中去，在采矿、冶金、建筑、纺织、机械和医药等行业都有所应用。

第二次世界大战期间，英、美等国在工业试验中采用试验设计法取得了显著效果。二次大战结束后，英国皇家军需工厂管理局出版了一个备忘录，公布了一批应用实例。战后，日本把试验设计作为质量管理技术之一，从英美引进。

第二节 正交设计及其简介

1924年，以田口玄一博士为首的一批研究人员，在日本电讯研究所（音译：电研所）研究电话通讯设备的系统质量时，他们发现，在农业生产上应用的试验设计技术，不论全因素试验法，还是拉丁和希腊拉丁方等在工业生产中的应用都受到了限制。于是，田口玄一等人在实践中努力研究和改进英国人的试验设计技术，用阿拉伯数字代替拉丁字母创造了正交表，创造了用正交表安排、分析试验的正交设计法。

1927年，田口玄一在日本东海电报公司，运用 音译：正交表 正交表进行正交试验，并取得了成功。之后，正交试验设计法在日本的工业生产中得到迅速地推广。据统计，推广正

交试验设计法的头十年，试验项目超过 1000 万项，其中三分之一的项目，效果十分显著，获得极大的经济效益。现举日本电讯研究所研制“线形弹簧继电器”一例说明。他们运用正交试验设计技术，对数十个特性值 100 多个变量进行研究，经过七年的努力取得了成功，制造出比美国先进的产品。这一产品本身只值几美元，而设计研制费用花去了几百万美元，但研究成果给该所带来了几十亿美元的利益。几年之后，他们的竞争对手美国西方电器公司（西屋公司）不得不停产，转而从日本引进这种先进的继电器。在日本，正交试验设计技术已成为企业界人士、工程技术人员、研究人员和管理人员必备的技术，已成为工程师们共同语言的一部分。

国外实践表明，正交试验设计技术具有巨大的经济效益。日本在二次大战后工业生产飞速地发展的原因之一，就是在各工业领域里普遍推广、应用正交试验设计技术。日本质量管理权威石川馨教授曾在《质量管理》杂志上载文写道：“日本是世界上应用正交表很广泛的国家之一。这是由于以田口玄一先生为首的很多人努力的结果。正交表这个试验设计法对日本生产的发展做出了很大的贡献，这是众所周知的事实”。日本利用正交试验设计技术来优选的项目，经济效益十分显著。日本昭和石油公司所属的川崎炼油厂用中东石油生产高级润滑油，他们用正交试验设计技术进行 10 次试验后，就成功地降低了油的凝固点，提高了产量。该炼油厂的利润一年之内就增加了 1000 万日元以上。日本把试验设计技术誉为“国宝”是有一定道理的。

我国从上世纪五十年代开始，由中国科学院数学研究所的研究人员，开始研究试验设计这门学科，并逐步应用到工农业生产中去。六十年代末，中国科学院系统研究所统计学室的研究人员，在正交试验设计的观点、理论和方法上都有新的创见，编制了一套较为适用的正交表，简化了试验程序和试验结果的分析方法，创立了简单易懂、行之有效的正交试验设计法。自 1958 年以来，特别是推广全面质量管理以来，研究和推广正交试验法又有了很大的进展，在正交理论的研究上有了新的突破。许多研究、生产单位和大专院校，应用正交试验设计技术解决了不少科研和生产中的关键问题，取得了显著的效果。

仅就上海地区来说，据统计，机电、冶金、化工、仪表、轻工、纺织、医药和电业等行业从 1958 年至 1962 年 12 月，有 100 多个工厂企业应用了正交试验设计技术，其中 100 多个单位取得了显著成效。上海机电一局所属 100 多个工厂有 100 多项课题中，已完成 100 多项，取得 1000 多万元的经济效益，攻克技术关键 100 项。

许多工厂企业采用正交试验设计法后取得十分显著的效果。上海高压油泵厂生产的 100 公斤的高压轴向柱塞泵，原来由于摩擦时的结构参数配合不当，经常发生“异常发热”的质量问题。通过正交试验设计找到了最佳参数组合，使成品校验合格率从原来的 10% 提高到 90% 以上；容积效率从原来的 80% 提高到 90%；止推板及斜盘的不平度从原来需要 100 微米放宽到 10 微米；使该工序平面磨削加工一次合格率从原来的 10% 提高到 90%。上海某汽车附件厂生产的化油器，经过应用正交试验技术优化设计参数后，比油耗从原来的 150 毫升/小时，下降到 100 毫升/小时。每辆汽车按年运行 10000 公里计算，可节约汽油 1000 升，若按 1000 元/升计算，该厂已按新的设计参数生产 100 万台化油器，将取得的社会经济效益达 1000 万元。上海地毯总厂生产手工全羊毛地毯。长期以来，洗毯这一关键工序质量不高，副次品在 10%，采用正交试验设计技术后，1962 年 12 月，一

级品率从 怨圆缘缘 (员圆缘年) 提高到 怨圆缘缘, 洗毯色差从原来的 圆猿级提高到 猿源级。上海吴淞化工厂应用正交试验设计技术找到了生产 员源原丁二醇的最佳工艺条件, 如按收率提高 员缘缘计算, 每年生产 员源吨, 售价 员源元, 则每年多收入 员源万元。上海大中华橡胶厂“橡胶纲丝粘合配方”采用正试验设计优化后, 粘合水平提高 员缘缘~ 员缘缘, 赶上日本 员缘水平, 机床寿命提高 员缘缘, 轮胎变形下降 员缘缘~ 员缘缘, 以每年生产 缘万条计算, 社会经济效益达 猿圆缘缘万元, 每条轮胎节约 圆缘元, 全年节约 员源万元。

第三节 均匀设计及其简介

上世纪七十年代, 为了研制我国自己的飞航式导弹 (即巡航导弹), 争取在最短的时间里赶上国际先进水平, 七机部提出了一个五因素的试验, 希望每个因素的水平数要多于 缘, 而试验总数又不能超过 缘次。这样的试验仅用传统的优选法和正交试验设计技术是不可能完成的。因为它们虽然与全面试验相比大大减少了试验次数, 但是, 它的试验次数是水平数平方的整数倍。在生产和科研中当因素的水平数大于 缘时, 往往因试验次数太多而不适用了。尤其对试验周期长、费用高的试验更是如此。人们迫切需要一种试验次数更少的试验设计法, 以满足多因素多水平试验的需要。我国著名数学家王元 (中国科学院院士, 中科院数学所所长) 和方开泰 (中科院应用数学所副所长) 经过 员圆多个日夜夜的潜心研究, 将数论和多元统计相结合, 创造了一种新的试验设计方法——均匀设计 (哉圆)。他们分析了正交试验设计法的特点指出: “正交试验是将试验点在试验范围内安排得‘均匀分散、整齐可比’。‘均匀分散’性使试验点均衡地分布在试验范围内, 让每个试验点有充分的代表性; ‘整齐可比’性使试验结果分析十分方便, 易于估计各因素的主效应和部分交互效应, 从而可以分析各因素对指标的影响大小和变化规律。可是为了照顾‘整齐可比’性, 它的试验点并没有能够做到充分地‘均匀分散’; 为了达到‘整齐可比’性, 试验点就必须比较多。这启示我们不考虑‘整齐可比’性, 而让试验点在试验范围内充分地‘均匀分散’, 就可以大大地减少试验点的数量。这种单纯从均匀性出发的设计我们称之为均匀设计”。在因素数和水平数相同的情况下, 均匀试验设计法较正交试验设计法按排的试验次数大大地减少了, 是水平数的一次方; 试验数据利用电子计算机进行多元统计处理, 方便、准确, 可以定量地分析各因素对试验结果的影响, 定量地预报优化条件及优化结果的区间估计。他们应用均匀设计表 哉圆 (猿圆) 安排了 猿次试验, 就成功地解决了巡航导弹控制系统的参数设计难题, 使得“海鹰一号”巡航导弹的首发命中率达到 员缘缘。均匀设计在我国飞航式导弹的设计中得到有效的应用, 使设计周期大大缩短, 并节省大量费用; 为我国巡航导弹的飞速发展作出了重要贡献。

方开泰教授 员圆缘年 缘月完成了题为“均匀设计——数论方法在试验设计的应用”的研究论文, 员圆缘年首次发表在《应用数学学报》上, 并于 员圆缘年暑期在青岛举办的“多元统计”学习班上做了初步推广。上世纪 员圆年代, 在几项航天工程的设计中采用均匀设计法和其他高新技术, 获得了空前好的成果, 先后荣获国家科技进步二等奖、三等奖和特等奖。北京的一家公司采用均匀设计法, 对花费 圆圆万美元引进的“可溶塑料”生产技术中的专利配方进行了成功的改进。现在该公司年生产“可溶塑料”产品 员圆吨, 全部出

内为研究生、本科生开设了《均匀设计及其应用》选修课，受到广大师生的欢迎。1980年与张晓菁同志合作，在学院内部印刷了《均匀设计及其在制药化学中的应用》一书，作为选修课的教材。目前，均匀设计在沈阳药科大学（即前沈阳药学院）已经全面取代了正交试验设计法，有力地推动了学校的科研工作进程。1980年暑期，沈阳药学院受中国制药工业总公司的委托，在沈阳举办了“均匀设计学习研讨班”，共有 100 人参加学习讨论。通过沈阳药学院历届毕业生及参加学习班的人员，均匀设计法正在医药工业企业和研究单位中逐步推广应用。1981年在老一代科学家钱学森、朱光亚、周光召等的关怀和支持下成立了中国数学会均匀设计学会，方开泰任理事长。沈阳药学院为理事单位，曾昭钧为理事，后又增补为常务理事（连任三届）。

辽宁省朝阳制药厂和沈阳药学院合作，利用均匀设计法优化庆大霉素发酵配方，仅用两个多月就取得了降低原材料成本、提高发酵单位效价、预计年增效益达 100 万多元的可喜成果。东北制药总厂在脑复康生产中应用均匀设计优化工艺条件，取得年增效益 100 万多元的效果。华北制药厂研究所应用均匀设计法优化青霉素筛选培养基配方、选育菌种的工作中，使新选育的菌种在新培养基中的发酵单位效价较原菌种在原培养基中的发酵单位效价提高了 100%。河南省平原制药厂新乡分厂与沈阳药学院合作，应用均匀设计法，仅用两个多月的时间就完成了利用当地丰富廉价的棉籽饼粉代替黄豆饼粉作四环素生产中的氮源课题的小试阶段任务。同时，还优化了新的培养基配方，小试结果发酵单位效价比原配方提高 100%，原材料单耗比原来下降 100%。沈阳药学院制药系研究生李伯勇，在研究二肽甜味剂——天冬甜精（ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{N}_2\text{O}_{10}$ ）的化学合成工艺时，应用均匀设计法对关键中间体 α -原甲酰门冬酰苯丙氨酸甲酯（ $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_6$ ）的合成工艺条件进行了优化处理，考察了四个因素（每因素分七个水平），仅进行了八次实验（包括验证优化结果）就得到了令人满意的收率。

第四节 现场中的试验设计法——调优运算简介

以上介绍的正交设计和均匀设计法都是用于实验室里的试验设计方法，下面再介绍一个适用于生产现场中的试验设计法——调优运算。

调优运算（ Taguchi 法，简称 Taguchi ）是美国威斯康星（ Wisconsin ）大学教授博克斯（ George E. Box ）在 1959 年首先提出的，接着博克斯原亨特（ John F. Hunter ）于 1960 年给出了计算机根据，并使之表格化、程序化。它是按照一个仔细规划好的、对生产条件作细微变化的循环来操作装置、设备，再用简单数理统计方法来处理获得的信息，从而可以确定好的效果的生产条件变化方向。人们把这种在生产现场中现有设备上一面维持生产、一面寻找最佳生产条件的方法叫做调优运算试验设计，简称调优运算、调优设计或调优法。

由于这种试验设计方法有许多优点，因此，它一出现就引起人们普遍地注意。上世纪六十年代，调优运算法在国外化工、石油、纺织、造纸、机械、制药、食品加工等工业部门有广泛应用，并收到显著效果。日本三菱化学公司的崎令司博士在七十年开发了 酰原 $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_6$ （ $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_6$ ），他使用一些数理统计方法（多元线性回归），利用数据得到操作条件和优化目标间的数学关联式，然后在等值线图上寻找优化操作条件。此外，美国的沃

伦(宰期廉)提出的操作模拟分析法(韵澳期廉七至在期廉社火挂管音 韵粤)在一些著名的化学公司得到广泛应用,也获得较好的效益。据估计,到 员苑年为止,美国使用调优运算试验设计技术每年节约两千万美元左右。其它国家如英国、印度、墨西哥等也都应用了这种试验设计方法。

在国内,随着试验设计技术的推广应用,调优运算技术在一些化工企业里进行过一些试验研究,也取了较好的效益。例如,上海天原化工厂在氯碱生产中,在电解槽上试验调优操作,结果每吨烧碱的总成本降低 远元左右,若以年产量 员万万吨计,则每年取得 远万元的经济效益。再如,南京烷基苯厂脱氢装置上的调优运算的试验设计,在不干扰正常生产的情况下,得到最优的生产条件。结果使产量提高 圆豫,油耗下降 员圆豫,电耗下降 员圆豫,日增加利润近二万元,年增加利率近六百万元之多。

国内外的实践经验证明,调优运算试验设计方法能给企业带来极大的经济效益,应该积极研究、大力推广,使之为我国社会主义现代化建设事业的飞速发展贡献力量。

均匀设计

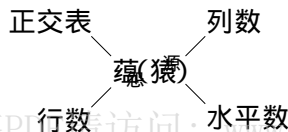
第一节 均匀设计简介

在工农业生产、科学研究和经营管理中，经常需要为进行各种试验寻找最佳设计参数、优化生产条件及合理的配方等。正交设计（Orthogonal Design）是广泛应用于多因素、多水平试验的有效设计方法。

正交设计是利用数理统计学的观点，应用正交性原理，从全面试验（Complete Factorial Design）的点中挑选具有代表性的点进行试验设计。被挑选的点在其试验范围内，具有“均匀分散，整齐可比”的特点。“均匀分散”使被挑选的点具有代表性；“整齐可比”是为了使分析结果方便。为了保证这两个特点，用正交设计安排的试验次数必须是水平数平方的整数倍。对于多因素试验来讲，如果水平数是猿，试验次数是猿越怨；水平数若是缘，试验次数是缘越圆缘……。正交设计是利用正交表（Orthogonal Table）来安排试验、分析试验结果的。下面举一个常用的正交表 猿(猿) 来看看，见表 猿原猿。

表 猿原猿 猿(猿)

列 行	猿	圆	猿	源
猿	猿	猿	猿	猿
圆	猿	圆	圆	圆
猿	猿	猿	猿	猿
源	圆	猿	圆	猿
缘	圆	圆	猿	猿
远	圆	猿	猿	圆
苑	猿	猿	猿	圆
愿	猿	圆	圆	猿
怨	猿	猿	猿	猿



利用正交设计安排的试验次数虽然比全面试验次数大大地减少了，但对于多因素、多水平的试验来讲，其安排的试验次数仍嫌过多。实际上，当要考察的多因素的水平数大于缘时，人们就望而生畏了。对于周期长、费用高的试验项目就更加不适用了。因此，人们迫切希望能有一种试验次数更少的适合多因素、多水平试验的新设计方法。

我国数学家方开泰和王元将数论与多元统计相结合，在正交设计的基础上，创造出一种新的适用于多因素、多水平试验的设计方法。他们指出，正交设计具有“均匀分散，整齐可比”的特点。但是，正交设计为了照顾“整齐可比”性，对任意两因素，它必须是全面试验，每个因素的水平必须有重复，这样试验点在其试验范围内，并不能做到充分地“均匀分散”；为了达到“整齐可比”性，试验点就必须比较多。若舍弃“整齐可比”性，让试验点在其范围内，充分地“均匀分散”，这样，每个试验点就可以有更好的代表性；试验点的数目也可能较正交设计大幅度的减少。这种单纯地从“均匀分散”性出发的试验设计法，方开泰和王元称之为均匀设计（~~哉缘~~ 阅缘）。

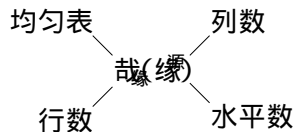
均匀设计和正交设计相似，也有现成的均匀表（~~哉缘~~ 缘缘）可以方便地利用。不同之处在于，均匀表必须同与之配套的使用表结合起来，才能正确地应用。如表 缘缘和表 缘缘是配套组成的。

表 缘缘 哉缘 (缘)

列 行	员	圆	猿	源
员	员	圆	猿	源
圆	圆	源	员	猿
猿	猿	员	源	圆
源	源	猿	圆	员
缘	缘	缘	缘	缘

表 缘缘 哉缘 (缘) 的使用表

因素数	列 号
圆	员 , 圆
猿	员 , 圆 , 源



与正交设计相比较，均匀设计有如下优点：

(员) 试验次数少，每个因素的每个水平只做一次试验，试验次数与水平数相等。而正交设计安排的试验次数是水平数平方的整数倍。

(圆) 因素的水平可以适当调整，避免高档次水平或低档次水平相遇，以防止试验中发生意外或反应速度太慢。尤其适合在反应剧烈的情况下考察工艺条件。

(猿) 利用电子计算机处理试验数据，方便、准确、快速地求得定量的回归方程式。便

于分析各因素对试验结果的影响；可以定量地预报优化条件及优化结果的区间估计。

第二节 均匀设计的思想及均匀设计表

先看一个例子。

例 员援无粮上浆是纺织工业的一项重要改革，用化学原料来代替淀粉，可以节省大批粮食。羧甲基纤维素钠(悦悦悦原羧)就是一种代替淀粉的化学原料。为了寻找悦悦悦原羧的最佳生产条件，考察有关的三个因素：碱化时间 粤(皂)，烧碱浓度 月(月)和醚化时间 悦(皂)。它们的变化范围选择为：

碱化时间 粤(皂) 猿~ 猿
 烧碱浓度 月(月) 缘~ 缘
 醚化时间 悦(皂) 怨~ 怨

由于时间变化范围较大，取五个水平来考察。将上述三个因素的考察范围平均分成五个水平，列入表 圆原原内。

表 圆原原 因素水平表

水平 因素	员	圆	猿	源	缘
粤(皂)	猿	猿	猿	猿	猿
月(月)	缘	缘	缘	缘	缘
悦(皂)	怨	怨	怨	怨	怨

这样一项实验如何来设计呢？有如下几种常见的方法：

全面试验：每一个因素的每一个水平彼此都有组合在一起试验的机会。如用组合 粤月悦(蚤躁噪越员, 圆, 猿, 源, 缘)表示当因素 粤取 粤水平、月取 月水平、悦取 悦水平时所做的试验，这样共需做 缘越元缘次试验。

全面试验的优点是全面、仔细、结论精确；其缺点是试验次数太多。如果有 皂个因素，各有 员, 员, …… , 员个水平时，则试验次数为 员·员·…·员。若 员越员越…·员时，则为 员。显然对于多因素、多水平的试验是不可取的，在实践中甚至不可能做到。

正交试验：一种直观而自然的想法是在全面试验中挑选出最具代表性的试验点做试验，既可减少试验次数，又可达到既定目的。关键是要解决如选择最有代表性的试验点的问题。

有一类正交表，它可以帮助我们挑选试验点。如表 圆原缘是一个正交表，代号为“蕴是韵原缘”的缩写符号(也有人认为是蕴原缘的缩写)，表示正交表；下标的“缘”表示共有缘行(相当于试验次数)；括号内的“缘”表示该表由员~缘自然数组成(相当于每个因素都有缘个水平)；“远”表示有远列(最多可安排远个因素)。每个正交表都用类似的符号表示。常用的正交表还有蕴(圆), 蕴(圆), 蕴(猿), 蕴(圆), 蕴(源), 蕴(猿), 蕴(圆), 蕴(缘)……等等。

表 圆猿缘 正交表 缘 (缘)

列 行	员	圆	猿	源	缘	远
员	员	员	员	员	员	员
圆	员	圆	圆	圆	圆	圆
猿	员	猿	猿	猿	猿	猿
源	员	源	源	源	源	源
缘	员	缘	缘	缘	缘	缘
远	圆	员	圆	猿	源	缘
苑	圆	圆	猿	源	缘	员
愿	圆	猿	源	缘	员	圆
怨	圆	源	缘	员	圆	猿
员	圆	缘	员	圆	猿	源
员	猿	员	猿	缘	圆	源
员	猿	圆	源	员	猿	缘
员	猿	猿	缘	圆	源	员
员	猿	源	员	猿	缘	圆
员	猿	缘	圆	源	员	猿
员	源	员	源	圆	缘	猿
员	源	圆	缘	猿	员	源
员	源	猿	员	源	圆	缘
员	源	源	圆	缘	猿	员
员	源	缘	猿	员	源	圆
员	缘	员	缘	圆	猿	源
员	缘	圆	员	缘	源	猿
员	缘	猿	圆	员	缘	源
员	缘	源	猿	圆	员	缘
员	缘	缘	源	猿	圆	员

表 圆猿远 正交试验方案

条 件 因素 试验号	(员猿)	(圆源)	(猿缘)
员	员(员猿)	员(圆源)	员(猿缘)
圆	员(员猿)	圆(圆源)	圆(猿缘)
猿	员(员猿)	猿(圆源)	猿(猿缘)
源	员(员猿)	源(圆源)	源(猿缘)
缘	员(员猿)	缘(圆源)	缘(猿缘)
远	圆(员猿)	员(圆源)	圆(猿缘)
苑	圆(员猿)	圆(圆源)	猿(猿缘)
愿	圆(员猿)	猿(圆源)	源(猿缘)
怨	圆(员猿)	源(圆源)	缘(猿缘)

续表

条 件 试 验 号	因 素	(皂勤 员(粤)	(圆月 圆(月)	(皂勤 猿(悦)
员圆		圆(员猿)	缘(圆)	员(猿)
员猿		猿(员圆)	员(圆)	猿(员)
员圆		猿(员圆)	圆(员)	源(员)
员猿		猿(员圆)	猿(圆)	缘(员)
员源		猿(员圆)	源(圆)	员(猿)
员缘		猿(员圆)	缘(圆)	圆(猿)
员远		源(员)	员(圆)	源(员)
员苑		源(员)	圆(圆)	缘(员)
员愿		源(员)	猿(圆)	员(猿)
员怨		源(员)	源(圆)	圆(猿)
圆圆		源(员)	缘(圆)	猿(员)
圆猿		缘(员)	员(圆)	缘(员)
圆源		缘(员)	圆(圆)	员(猿)
圆缘		缘(员)	猿(圆)	圆(猿)
圆源		缘(员)	源(圆)	猿(员)
圆缘		缘(员)	缘(圆)	源(员)

对于例 员, 用正交表设计试验的大体步骤如下:

员爱选择合适的正交表。此例是三因素、五水平试验, 用 缘(缘) 较合适。

圆爱将 粤 月 悦三因素放到 缘(缘) 的任意三列的表头上, 例如放在前三列上。

猿爱把 粤 月 悦对应的三列中放入具体的水平, 如表 员源所示, 则 缘次试验的条件就清楚了, 试验方案也就安排好了。

正交表 缘(缘) 从全面试验的 员缘个试验点中挑选了 缘个试验点, 这些试验点的特征是:

(员) 对任意两个因素而言, 这 缘次试验都是全面试验。这样就可以保持全面试验的一些优点, 并使试验有可比性。

(圆) 任一因素各水平试验的重复数都是相等的 (此例每水平都重复 缘次)。

(猿) 对绝大部分正交表而言, 各列是完全等价的。即此例用的是前三列, 若用 员 圆 源三列或用 源 缘 远三列 (六列中任取三列), 其试验效果是一样的。

这三条特点概括起来, 就是说, 对每个因素每个水平都是一视同仁, 挑选的试验点在其试验范围内有“均匀分散, 整齐可比”的特性, 可以用较少的试验点来考察众多的因素。

由正交表的这三个特点, 容易看出, 试验次数是水平数平方的整数倍。因此, 正交设计只适用于水平不太多 (一般 $\leq 缘$ 的多因素试验。当水平较多时, 试验次数也是很可观的, 如 员个水平的多因素试验, 至少要做到 员越员次试验。而多因素、多水平的试验

是经常遇到的。特别是周期长、费用高的多因素、多水平试验，应用正交设计法就更加不适用了。人们迫切需要一种试验次数更少的新的试验设计方法，来满足客观实际上的要求。均匀设计法就是为了解决这一类问题而产生的。

上面说过，正交试验有“均匀分散，整齐可比”的特点。“均匀分散”性使试验点均衡地分布在试验范围内，让每个试验点有充分的代表性。因此，即使在正交表中各列都排满的情况下，也能得到满意的结果。“整齐可比”性使试验结果的分析十分方便，可以估计各因素对指标的影响，找出事物变化的主要矛盾。但是，为了照顾到“整齐可比”性，对任意两个因素它必须是全面试验，每个因素的各水平必须有重复，这样做的结果是，试验点在其试验范围内并不能做到充分“均匀分散”；为了达到“整齐可比”性，试验点的数目就必须比较多。若舍弃“整齐可比”性，让试验点在其试验范围内充分地“均匀分散”，这样每个试验点就可以有更好的代表性。试验点的数目也可以较正交设计大幅度地减少。这种单纯地从“均匀分散”性出发的试验设计方法称为均匀设计。

与正交设计相似，均匀设计也有一系列与正交表类似的均匀表可以方便地利用。不同之处是每张均匀表后面还附有一张使用表，二者结合起来，才能正确地应用。如表 2.10 是均匀表 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）。它由五行、四列数字组成。其中“哉”是仿照正交表的“蕴”，由 $U_{5(4)}^{(3)}$ 来缩写而来的，表示均匀表；哉下标的“缘”是行数（相当于试验次数）；括号内的“缘”表示该表由 缘-缘自然数组成（相当于因素的水平数）；指数“源”表示列数（相当于最多供挑选的列）。表 2.11 是 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）的使用表，用均匀表设计例 2.1 只需要做 缘次试验。具体做法，大致如下：

(员) 选择合适的均匀表。本例是三因素、五水平试验，可以选用 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）表。

(圆) 根据 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）的使用表要求，选取 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）表的 员 圆 源 三列组成 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）表。

(猿) 把 粤 月 悦 三因素分别放在 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）表中的三列上面，将各因素的对应水平（具体的试验条件）填入 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）表内，如表 2.11 所示。则 缘次试验的条件就清楚了，试验方案也就安排好了。

表 2.11 $U_{5(4)}^{(3)}$ （缘）均匀设计试验方案

条 件 试 验 号	因 素	(员) 粤 员(粤)	(圆) 月 圆(月)	(源) 悦 源(悦)
员		员(粤)	圆(月)	源(悦)
圆		圆(粤)	源(悦)	猿(粤)
猿		猿(粤)	员(粤)	圆(悦)
源		源(粤)	猿(粤)	员(悦)
缘		缘(粤)	缘(粤)	缘(粤)

对于同一个例 2.1 而言，应用三种不同的试验设计法安排试验，得到三种不同的方案。比较一下三者的结果，就可以一目了然地看出均匀设计法的优点了。见表 2.11 所示。

表 圆原愿 三种试验设计法比较

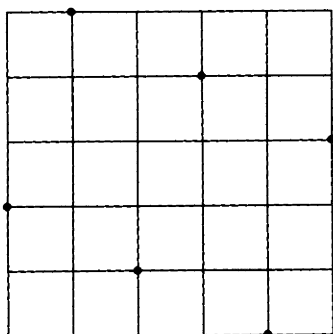
试验次数 试验设计方案	因素、水平数	猿因素 缘水平	杂因素 择水平
全面试验		缘越猿缘	择
正交设计		缘越猿缘	灶·择
均匀设计		缘越缘	择

*注：灶为正整数

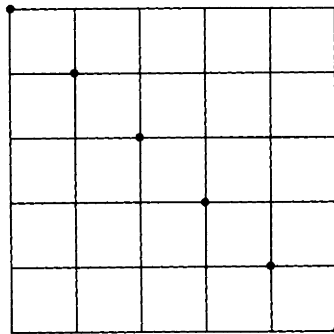
均匀设计表的特点是：

(员) 每个因素每个水平只做一试验。见表 圆原圆 表 圆原忽和表 圆原员, 其他的均匀表 (见附录二) 也有这个性质。

(圆) 任意两个因素的试验点画在平面的格子点上, 每行每列恰好只有一个试验点。见图 圆原员(葬, 就是将表 圆原忽的第一列和第三列点图的结果。



(a)



(b)

图 圆原员

(猿) 均匀表的任意两列之间不一定是平等的。例如用 哉_缘(选) 表的 员 猿列和 员 远列分别点图得图 圆原员(葬 和图 圆原员(遭, 可以直观看出来 (葬) 的点分布均匀, (遭) 的点分布不均匀。又如将 哉_缘(愿) (见表 圆原员) 的 员 猿列, 员 圆列和 员 远列分别点图得图 圆原员(葬、(遭)、(糟), 可直观地看出来 (葬) 最均匀, (遭) 次之, (糟) 最不均匀。

表 圆原怨 均匀表 哉_缘(选)

列 行	员	圆	猿	源	缘	远
员	员	圆	猿	源	缘	远
圆	圆	源	远	员	猿	缘
猿	猿	远	圆	缘	员	源
源	源	员	缘	圆	远	猿
缘	缘	猿	员	远	源	圆
远	远	缘	源	猿	圆	员