

环境工程实验教程

仇春华 孙红杰 安晓雯 张凤杰 编著



东北大学出版社
Northeastern University Press

环境工程实验教程

仇春华 孙红杰 安晓雯 张凤杰 编著

东北大学出版社

·沈阳·

©仇春华 孙红杰 安晓雯 张凤杰 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程实验教程 / 仇春华, 孙红杰, 安晓雯, 张凤杰编著. — 沈阳 : 东北大学出版社, 2008.8

ISBN 978-7-81102-613-9

I. 环… II. ①仇…②孙…③安…④张… III. 环境工程—实验—高等学校—教材 IV. X5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 156001 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com Web: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm×228mm

印 张: 7.25

字 数: 135 千字

出版时间: 2008 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 10 月第 1 次印刷

责任编辑: 王兆元

责任校对: 张力平

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-613-9

定 价: 16.50 元

前 言

实验教学是大学本科教学的重要环节之一。环境工程实验作为环境工程专业的主干课程，其实践教学环节在该课程的教学活动中占有重要的位置。环境工程实验包括水污染控制工程和大气污染控制工程等。本书内容包括实验设计、误差与实验数据处理、水污染控制工程实验和大气污染控制工程实验。水污染控制工程实验包括物理法、化学法、物理化学法以及生物化学法的相关实验原理、实验方法和步骤以及实验结果整理；大气污染控制工程实验包括粉尘物理性质测定、除尘器性能测定、气态污染物净化及机动车尾气测定。本实验教程主要供高等学校环境工程专业本科学生使用，对于从事环境类专业的科研人员也具有一定参考价值。

参加本书编写的人员有：第一章，绪论，仇春华；第二章，实验设计，安晓雯、仇春华；第三章，误差与实验数据处理，安晓雯、张凤杰；第四章，水污染控制工程实验，仇春华；第五章，大气污染控制工程实验，孙红杰；第六章，水污

染控制工程实验常用分析方法，安晓雯。全书由仇春华副教授统稿和审阅定稿，由安晓雯总校。

本书在编写过程中，得到了大连民族学院环境工程系其他教师的支持和帮助，谨致谢忱。本书的出版得到了东北大学出版社的大力支持和帮助，在此深表谢意。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请读者提出批评和建议，以便修正。

编著者

2008年7月

目 录

第一章 绪 论	1
一 实验教学的目的	1
二 实验教学的要求	1
第二章 实验设计	3
一 实验设计简介	3
二 单因素实验设计	5
三 双因素实验设计	7
四 正交实验设计	7
第三章 误差与实验数据处理	15
一 误差的概念及分类	16
二 实验误差分析	17
三 实验数据整理	19
四 实验数据处理	20
第四章 水污染控制工程实验	23
实验一 混凝实验	23
实验二 过滤与反冲洗实验	26
实验三 自由沉淀	30
实验四 双向流斜板沉淀实验	33
实验五 活性炭吸附实验	34
实验六 加压溶气气浮实验	38
实验七 曝气设备充氧能力测定实验	40
实验八 完全混合式活性污泥法处理系统的观测和控制运行 以及污泥沉降性能的测定	44

实验九 曝气池中环境因素的监测和菌胶团中 生物相的观察	49
实验十 污泥吸附性能的测定	51
实验十一 活性污泥动力学参数的测定实验	53
实验十二 厌氧消化实验	57
第五章 大气污染控制工程实验	59
实验一 离心沉降法测定粉尘粒径分布	59
实验二 旋风除尘器性能测定实验	63
实验三 湿式文丘里除尘器性能测定	67
实验四 填料塔吸收实验	72
实验五 旋流板式喷淋塔净化实验	75
实验六 机动车尾气中 CO, HC, NO _x 和颗粒物测定	77
第六章 水污染控制工程实验常用分析方法	81
一 水浊度的测定	81
二 水质 pH 值的测定——玻璃电极法	82
三 溶解氧(DO)的测定——碘量法	84
四 化学需氧量(COD _{Cr})的测定	86
五 五日生化需氧量(BOD ₅)的测定	89
六 悬浮固体的测定	94
七 油类的测定	95
八 水处理环境中的生物相观察	98
九 大气中氮氧化物的测定——盐酸萘乙二胺分光光度法	104
十 大气中总悬浮颗粒物的测定——质量法	106
参考文献	110

第一章 绪 论

环境工程实验是环境工程专业的主干课程之一，是建立在实验基础上的一门重要学科。环境工程实验的内容大都是在基本理论的指导下，用实验的方法发展和完善起来的。许多处理方法、处理设备的设计参数及运行方式的确定，都需要通过科学实验来完成。因此，在学习水污染控制工程和大气污染控制工程理论课程的同时，必须有意识地加强实验技术的学习，培养学生通过实验研究解决实际问题的能力。

一 实验教学的目的

实验教学是培养学生理论联系实际、观察问题、分析问题以及解决问题能力的一个重要手段。环境工程实验教学的目的是：通过实验操作、实验现象的观察和实验结果的分析，加深学生对基本概念和基本原理的理解，巩固理论教学中学到的知识；使学生了解如何进行实验方案设计，初步掌握环境工程实验的研究方法和基本测试技术；通过实验数据整理使学生初步掌握收集、分析和处理实验数据的方法，运用实验数据验证已有概念和理论等。

二 实验教学的要求

环境工程实验包括实验前的准备、实验过程、实验数据的整理和实验报告的书写等内容。

1. 实验准备

- (1) 认真阅读实验教材和专业书籍，掌握实验原理和方法。
- (2) 在教师指导下准备并熟悉实验所用的设备、装置、仪器、试剂的性能、使用方法及条件等。
- (3) 熟悉实验的操作步骤，了解每一步操作的内容、使用的仪器设备、需解决的问题、检测的项目、观察记录的内容、注意事项等，并在实验前准备好记录实验数据的表格。

(4) 环境工程实验一般需要多人配合进行, 因此, 实验前作好实验分工, 使参加实验的每个人各负其责、结果准确无误。

2. 实验过程

(1) 实验开始前, 指导教师应检查实验准备情况, 使学生进一步明确实验目的、内容及要求。

(2) 指导教师对特殊设备、仪器及操作方法做详细讲解和示范。

(3) 实验过程中按照事先的人员分工, 做好实验操作、取样分析、现象观察和结果记录。

(4) 实验结束后, 由指导教师审查实验记录, 并按照规定清洗实验设备、整理实验现场。

3. 数据整理和书写报告

(1) 实验数据的处理与分析是整个实验过程的总结。实验数据的分析主要包括误差分析、有效实验数据的取舍、实验数据的整理以及实验数据的完善。通过实验数据的处理与分析可以检验实验效果的好坏, 及时发现实验中存在的问题, 提出完善实验的方案。

(2) 实验报告是对整个实验的全面总结, 要求结构清晰、语言简洁、文字通顺、书写工整、图表完整、讨论认真、结果正确。

(3) 实验报告内容包括: 实验名称、实验目的、实验原理、操作过程、原始数据、数据处理、结果分析、问题讨论等。

(4) 问题讨论是实验报告中的重要一项, 主要是对实验中观察到的重要现象以及实验中出现的异常结果的原因进行分析讨论, 同时提出改进意见和新的希望、要求等。

第二章 实验设计

一 实验设计简介

实验设计是指为达到一定的实验目的,利用现有的实验条件,为实验制定出合理的流程或方案。也就是用最少的人力、物力和时间获得满足要求的实验结果。实验设计是数理统计学的一个重要的分支,多数数理统计方法主要用于分析已经得到的数据,而实验设计则是用于确定数据收集的方法,主要讨论如何合理地安排实验以及如何对实验所得的数据进行分析等。

实验设计的基本内容包括:①实验名称,说明这是一个什么内容的实验;②实验目的,要研究或验证的某一事实;③实验原理,进行实验的科学依据;④实验条件,完成实验所必需的仪器、设备、药品等;⑤实验方法与步骤,实验所采用的方法及操作程序;⑥实验测量与记录,对实验过程及结果应有的科学测量方法与准确的记录;⑦实验结果的预测及分析,预测可能出现的实验结果并分析原因;⑧实验结论,对实验结果进行准确的描述并给出一个科学的结论。

实验设计是实验研究过程中的一个重要环节,通过实验设计可以将实验安排在最有效的范围内,以保证通过较少的实验得到预期的实验结果。实验设计的基本思路如下:首先,要明确实验目的、实验原理及实验要求的基本条件;其次,要精心制定实验方案、严格设计实验过程、确定测量参数和精度要求,并引入科学的测量方法;最后,能有效预测实验结果、科学描述实验过程和结果,并得出科学的实验结论。

在进行实验设计时应注意以下几个问题:在掌握实验目的、原理的基础上确定实验方法;严格遵循实验设计的基本原则,准确设置测量参数;注意实验程序的科学性、合理性;对实验现象进行准确的观察、测量、记录;能预测可能出现的实验结果并分析原因,并能得出科学的实验结论。正确的实验设计不仅能够节省人力、物力和时间,而且是得到可信的实验结果的重要保证。

实验设计方法现今已被广泛地应用于各个领域。例如,在工厂,为了达到

提高产品的质量、高产以及低能耗的目的，一般通过实验来寻找原料配比和工艺条件。实验方法有很多，为能迅速找到最佳条件，需要通过实验设计，合理安排实验，才能快速找到最佳条件。例如混凝剂是水处理过程中常用的化学药剂，投加量因所处理水质不同而异，常需要通过多次实验确定最佳投加量，这时就可以通过实验设计减少实验工作量。

实验设计的方法很多，有单因素实验设计、双因素实验设计、正交实验设计、均匀实验设计、区组实验设计等。各实验设计的目的和出发点不同，在进行实验设计时，应根据研究对象的具体情况确定实验设计方法。

实验设计方法中常用到的专业术语如下。

1. 实验因素

实验因素是指实验研究过程的自变量，常常是造成实验指标依照某种规律发生变化的那些原因。实验因素分为可控因素和不可控因素。可控因素是指在实验中可以人为进行调节和控制的因素，不可控因素是由于实验条件的限制，暂时还不能人为调节和控制的因素。例如，混凝实验中的 pH 值和混凝剂投加量是可以调节和控制的，属于可控因素；在考察室外沉淀池的效率时，风速对沉淀效率的影响就属于不可控因素。在实验设计时所说的因素，在没有特殊说明的情况下，都指可控因素。只考察一个因素的实验称为单因素实验，考察两个因素的实验称为双因素实验，考察两个以上因素的实验称为多因素实验。

2. 实验指标

实验指标是指作为实验研究过程的因变量，常为实验结果特征的量（如产率、纯度等），即在实验设计中用来衡量实验效果所采用的指标。例如，在进行废水混凝实验时，为了确定最佳 pH 值和最佳投药量，选定处理水 COD_{Cr} 作为评定各次实验效果好坏的标准，处理水的 COD_{Cr} 即为混凝实验的指标。

3. 实验水平

实验水平是指实验中因素所处的具体状态或情况，又称为等级。某因素在实验中需要考察它的几种状态，就叫它几水平的因素。例如，在混凝实验中，需考察三个因素：pH 值、投药量和搅拌速度。pH 值选择为 5，8，10 这三种状态，这里的 5，8，10 就是 pH 值这个因素的三个水平。因素的水平有的可以用数值来表示，例如，温度、浓度等；有的不能用数值来表示，例如，用活性炭脱色实验，要研究哪种活性炭脱色效果好，在这里各种活性炭就是活性炭这个因素的各个水平，不能用数值表示。不能用数值来表示的水平因素称为定性因素。对于定性因素，只要对每个水平规定其具体含义，就可以与定量因素一样对待。

实验设计有很多种方法,下面主要介绍在环境工程实验中常用到的单因素实验设计、双因素实验设计和正交实验设计的一部分基本方法,其他方法可根据需要查阅有关文献及书籍。

二 单因素实验设计

单因素实验设计有黄金分割法(0.618法)、对分法、分数法、分批实验法等等。黄金分割法、对分法和分数法能通过较少的实验次数快速找到最佳点,适用于一次只能出一个结果的实验。其中对分法效果最好,每做一个实验就能去掉实验范围的一半;分数法应用范围较广,可以用于实验点数只能取整数或某特定数,以及限制实验次数和精确度的情况。分批实验法适用于一次能同时得出多个结果的实验。下面分别介绍对分法、分数法和分批实验法。

1. 对分法

采用对分法时,首先要根据经验确定实验范围。假设实验范围在 $a-b$ 之间,第一个实验点确定为 (a, b) 的中间点 $x_1(x_1 = (a + b)/2)$ 。如果实验结果表明 x_1 值取大了,则去掉大于 x_1 的一半,第二个实验点确定为 (a, x_1) 的中间点 $x_2(x_2 = (a + x_1)/2)$ 。如果第一个实验结果表明 x_1 值取小了,则去掉小于 x_1 的一半,第二个实验点确定为 (x_1, b) 的中间点。这种方法的优点是每进行一次实验就可以去掉实验范围的一半,并且取点方便,适用于事先已经了解所考察因素对实验指标的影响规律,能从一个实验结果直接判断出该因素的值是大了还是小了的情况。例如,混凝实验的药剂投加量的确定,就可以采用对分法。

2. 分数法

分数法又叫菲波那契数列法,它是利用菲波那契数列进行单因素优化实验设计的一种方法。当实验点只能取整数或限制实验次数时,采用分数法进行实验设计较好。例如,只能进行一次实验时,实验点取在 $1/2$ 处,其精确度为 $1/2$,即实验点与实际最佳点的最大可能距离为 $1/2$ 。如果只能进行两次实验时,第一个实验点取在 $2/3$ 处,第二个实验点取在 $1/3$ 处,其精确度为 $1/3$ 。如果只能进行三次实验时,第一个实验点取在 $3/5$ 处,第二个实验点取在 $2/5$ 处,第三个实验点取在 $1/5$ 或 $4/5$ 处,其精确度为 $1/5$ ……做第 n 次实验就在实验范围内 F_n/F_{n+1} 处取点,其精确度为 $1/F_{n+1}$ 。表2-1为分数法实验点位置与精确度。

表2-1中的 F_n, F_{n+1} 称为“菲波那契数”,递推式如下:

表 2-1

分数法实验点位置与精确度

实验次数	2	3	4	5	6	7	...	n	...
实验的份数	3	5	8	13	21	34	...	F_{n+1}	...
起始点的位置	2/3	3/5	5/8	8/13	13/21	21/34	...	F_n/F_{n+1}	...
精确度	1/3	1/5	1/8	1/13	1/21	1/34	...	$1/F_{n+1}$	...

$$F_0 = F_1 = 1 \quad F_k = F_{k-1} + F_{k-2} \quad (k = 2, 3, 4, \dots)$$

所以, $F_2 = F_1 + F_0 = 2$, $F_3 = F_2 + F_1 = 3$, $F_4 = F_3 + F_2 = 5$, $\dots$,

$$F_{n+1} = F_n + F_{n-1}, \dots$$

表 2-1 第三行中的各分数, 从 2/3 开始以后的每一分数, 分子都是前一分数的分母, 分母是前一分数分子与分母的和, 按照此方法就可以确定第一个实验点的位置。分数法各实验点的位置可由下列公式求出:

$$\text{第一个实验点} = (\text{大数} - \text{小数}) \times F_n / F_{n+1} + \text{小数} \quad (2-1)$$

$$\text{新实验点} = (\text{大数} - \text{中数}) + \text{小数} \quad (2-2)$$

式中: 中数——已经进行了的实验点。

下面以具体实例说明分数法的应用。

某污水厂准备投加 FeCl_3 来改善污泥的脱水性能, 根据初步调查, 投药量在 160mg/L 以下, 要求通过 4 次实验确定出最佳投药量。

根据公式(2-1), 可以得到第一个实验点的位置:

$$(160 - 0) \times 5/8 + 0 = 100 \text{ mg/L};$$

根据公式(2-2), 可以得到第二个实验点的位置:

$$(160 - 100) + 0 = 60 \text{ mg/L};$$

假定第一点比第二点好, 在 60~160 之间找第三点, 去掉 0~60 的一段, 即

$$(160 - 100) + 60 = 120 \text{ mg/L};$$

第三点与第一点结果一样, 可用对分法进行第四次实验, 即在 $(100 + 120)/2 = 110\text{mg/L}$ 处进行实验, 得到的效果最好。

3. 分批实验法

当完成实验需要较长的时间, 或者测试分析需要较高的费用, 而每次同时测试几个样品和测试一个样品所花的时间、人力和费用相近时, 宜采用分批实验法。分批实验法又分为均匀分批实验法和比例分割实验法。这里仅介绍均匀分批实验法。这种方法是每批实验均安排在实验范围内。例如, 每批要做 4 个实验, 可以先将实验范围 (a, b) 均分为 5 份, 在其 4 个分点 $x_1, x_2, x_3,$

x_4 处做 4 个实验。将 4 个实验样品同时进行测试分析, 如果 x_3 好, 则去掉小于 x_2 和大于 x_4 的部分, 留下 (x_2, x_4) 范围。然后将留下部分再分成 6 份, 在未做过实验的 4 个分点进行实验, 这样一直做下去, 就能找到最佳点。用这种方法, 第一批实验后范围缩小 $2/5$, 以后每批实验后都能缩小为前次余下的 $1/3$ 。例如, 测定某种毒物进入生化处理构筑物的最大允许浓度, 可用此方法。

三 双因素实验设计

对于双因素实验, 往往是先将第一个因素固定, 做第二个因素的实验, 然后将第二个因素固定, 再做第一个因素的实验。

1. 从好点出发法

这种方法是先将因素 X 固定在实验范围的某一点 x_1 上, 然后用单因素法对另一因素 Y 进行实验, 得到最佳实验点 $A_1(x_1, y_1)$; 再将因素定在好点 y_1 上, 用单因素法对因素 X 进行实验, 得到最佳点 $A_2(x_2, y_1)$ 。如果 $x_2 < x_1$, 因为 A_2 比 A_1 好, 可以去掉大于 x_1 的部分; 如果 $x_2 > x_1$, 则去掉小于 x_1 的部分。然后在剩下的范围内, 再从好点 A_2 出发, 将因素 X 固定在 x_2 处, 对因素 Y 进行实验, 得到最佳实验点 $A_3(x_2, y_2)$, 于是沿直线 $y = y_1$ 将不包含 A_3 的部分范围去掉, 这样继续做下去, 就能找到最佳点。

2. 平行线法

如果双因素实验中的一个因素不易改变时, 宜采用平行线法。

假设因素 Y 不易改变, 将因素 Y 固定在其实验范围的 0.5 (或 0.618) 处, 用单因素法找出另一因素 X 的最佳点 A_1 。再将因素 Y 固定在 0.25 处, 用单因素法找出因素 X 的最佳点 A_2 。比较 A_1 和 A_2 , 如果 A_1 比 A_2 好, 则将小于 0.25 的部分去掉, 然后在剩下的范围内用对分法找出因素 Y 的第三个实验点 0.625。第三次实验将因素 Y 固定在 0.625 处, 用单因素法找出因素 X 的最佳点 A_3 。如果 A_1 比 A_3 好, 则将大于 0.625 的部分去掉。这样一直做下去, 就能够得到令人满意的结果。

四 正交实验设计

正交实验设计 (Orthogonal Experimental Design) 是利用 “正交表” 科学地安排与分析多因素多水平实验的方法。其特点为: ① 完成实验要求所需的实验次数少; ② 数据点的分布很均匀; ③ 可用相应的极差分析方法、方差分析方

法、回归分析方法等对实验结果进行分析,得出许多有价值的结论。

正交实验是根据正交性从全面实验中挑选出部分有代表性的点进行实验,这些有代表性的点具备了“均匀分散,齐整可比”的特点,是一种高效率、快速、经济的实验设计方法。例如一个 3 因素 3 水平的混凝实验,其因素和水平如表 2-2 所示。

表 2-2 混凝实验因素水平表

水 平	因 素		
	pH 值	搅拌时间 T/min	加药量 m/mg
1	p_1 (4)	T_1 (10)	m_1 (10)
2	p_2 (6)	T_2 (15)	m_2 (12)
3	p_3 (8)	T_3 (30)	m_3 (15)

对此实验该如何进行实验方案的设计呢?很容易想到的是全面搭配法方案,如图 2-1 所示。

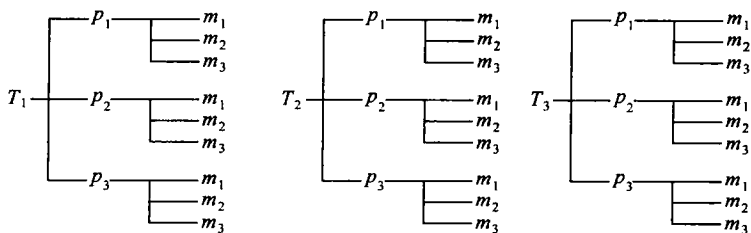


图 2-1 全面搭配法方案

此方案数据点分布的均匀性极好,因素和水平的搭配十分全面,唯一的缺点是实验次数多达 $3^3=27$ 次(指数 3 代表 3 个因素,底数 3 代表每因素有 3 个水平)。因素、水平数愈多,则实验次数就愈多。例如,做一个 6 因素 3 水平的实验,就需 $3^6=729$ 次实验,显然难以做到。若按 $L_9(3^4)$ 正交表安排实验,只需做 9 次;按 $L_{18}(3^7)$ 正交表,需进行 18 次实验,显然大大减少了工作量。

正交实验设计方法是用正交表来安排实验的。对于上述混凝实验,适用的正交表是 $L_9(3^4)$,其实验安排见表 2-3。

所有的正交表与 $L_9(3^4)$ 正交表一样,都具有以下两个特点:

(1) 在每一列中,各个不同的数字出现的次数相同。在表 $L_9(3^4)$ 中,每一列有 3 个水平,水平 1, 2, 3 都各出现 3 次;

(2) 表中任意两列并列在一起形成若干个数字对,不同数字对出现的次数也都相同。在表 $L_9(3^4)$ 中,任意两列并列在一起形成的数字对共有 9 个:

(1, 1), (1, 2), (1, 3), (2, 1), (2, 2), (2, 3), (3, 1), (3, 2), (3, 3), 每一个数字对各出现一次。

这两个特点称为正交性。正是由于正交表具有上述特点, 就保证了用正交表安排的实验方案中因素、水平是均衡搭配的, 数据点的分布是均匀的。因素、水平数愈多, 运用正交实验设计方法, 愈发能显示出它的优越性。如上述提到的 6 因素 3 水平实验, 用全面搭配方案需 729 次, 若用正交表 $L_{27}(3^{13})$ 来安排, 则只需做 27 次实验。

表 2-3 混凝实验安排表($L_9(3^4)$)

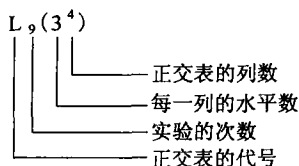
实验	因素 (列号)			
	A pH 值	B 搅拌时间 T/min	C 加药量 m/mg	—
1	1 (p_1)	1 (T_1)	1 (m_1)	1
2	1 (p_1)	2 (T_2)	2 (m_2)	2
3	1 (p_1)	3 (T_3)	3 (m_3)	3
4	2 (p_2)	1 (T_1)	2 (m_2)	3
5	2 (p_2)	2 (T_2)	3 (m_3)	1
6	2 (p_2)	3 (T_3)	1 (m_1)	2
7	3 (p_3)	1 (T_1)	3 (m_3)	2
8	3 (p_3)	2 (T_2)	1 (m_1)	3
9	3 (p_3)	3 (T_3)	2 (m_2)	1

1. 正交表

正交表是一整套规则的设计表格, 用 $L_N(q^S)$ 表示。L 为正交表的代号, N 为实验的次数, q 为水平数, S 为列数, 也就是可能安排最多的因素个数。正交表分为单一水平正交表和混合型正交表。

(1) 各列水平数均相同的正交表。

各列水平数均相同的正交表, 也称单一水平正交表。例如 $L_9(3^4)$ (表 2-3), 它表示需做 9 次实验, 最多可观察 4 个因素, 每个因素均为 3 水平。这类正交表名称的写法举例如下:



各列水平数均为 2 的常用正交表有: $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$, $L_{16}(2^{15})$, $L_{20}(2^{19})$, $L_{32}(2^{31})$;

各列水平数均为 3 的常用正交表有： $L_9(3^4)$ ， $L_{27}(3^{13})$ ；

各列水平数均为 4 的常用正交表有： $L_{16}(4^5)$ ；

各列水平数均为 5 的常用正交表有： $L_{25}(5^6)$ 。

(2) 混合水平正交表。

各列水平数不相同的正交表，叫混合水平正交表。如 $L_8(4 \times 2^4)$ (表 2-4)。此表的 5 列中，有 1 列为 4 水平，4 列为 2 水平，即用 $L_8(4 \times 2^4)$ 安排实验，最多能够考察 5 个因素，其中 1 个因素为 4 水平，另 4 个因素为 2 水平，共需要做 8 次实验。

下面就是一个混合水平正交表名称的写法：

$L_8(4^1 \times 2^4)$ ，常简写为 $L_8(4 \times 2^4)$ 。此混合水平正交表含有 1 个 4 水平列，4 个 2 水平列，共有 $1 + 4 = 5$ 列。

表 2-4

$L_8(4 \times 2^4)$ 正交表

实验号	列 号				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	2	1	1	2	2
4	2	2	2	1	1
5	3	1	2	1	2
6	3	2	1	2	1
7	4	1	2	2	1
8	4	2	1	1	2

2. 正交实验设计的基本步骤

(1) 明确实验目的，确定实验指标。

(2) 选择因素，确定因素水平，列出因素水平表。

由于不可控因素通常难以人为控制，所以不作为考察因素。将对实验指标影响较大、但又没有把握的可控因素作为考察因素，同时要特别注意不能将重要的可控因素固定在某一状态下进行考察。

(3) 选用正交表。

在确定因素的水平数时，主要因素宜多安排几个水平，次要因素可少安排几个水平。

选择正交表的基本原则：①先看水平数。若各因素全是 2 水平，就选用 $L(2^*)$ 表；若各因素全是 3 水平，就选 $L(3^*)$ 表。若各因素的水平数不相同，