

塑料配方及其组分 设计宝典

张玉龙 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



塑料配方及其组分设计宝典

主 编 张玉龙

副主编 齐贵亮 王喜梅 王化银

张永亮 王文生



机械工业出版社

CHINA MACHINE PRESS

本书重点介绍了通用塑料、通用工程塑料、热固性塑料、热塑性弹性体和可降解塑料制品的选材、组分设计、配方与性能。特别是对每一个配方中的各组分的功能作用、用量选定、影响因素,作了较为详尽的论述。且附以大量成功的配方实例,技术含量高、实用性强,可作为塑料行业从业人员必读之书。

本书可供从事塑料材料研究、制品设计、成型加工的技术人员以及有关专业的教学人员阅读,亦可作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

塑料配方及其组分设计宝典/张玉龙主编. —北京:
机械工业出版社, 2005.9
ISBN 7-111-17482-8

I. 塑... II. 张... III. ①塑料助剂②塑料制品 -
组分 IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 112222 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张秀恩(E-mail:xiuen@sina.com)

封面设计:马精明 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2005 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

890mm × 1240mm A5·34.375 印张·1020 千字

0 001—4 000 册

定价:75.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

塑料配方及其组分设计宝典编委会

主 编 张玉龙

副主编 齐贵亮 王喜梅 王化银 张永亮 王文生

编 委 (按姓氏笔画)

方养田	王卫平	王文生	王化银	王永连	王世彬	王四清
王树魁	王喜梅	王晓鹏	邓 丽	艾克聪	冯 锐	付绍云
帅 琦	石 磊	左喜林	卢瑞乾	刘长年	刘志成	刘 晋
刘锦春	齐贵亮	齐晓声	任洪涛	吴光宁	陈万社	陈 元
陈令森	陈晓东	陈 瑞	陈瑞华	陈耀波	何崇阳	李长德
李生伟	李 军	李传清	李迎春	李建生	李桂变	李 域
李 萍	李 强	李惠元	李照勇	杨艺竹	杨 旭	杨 胜
杨 耘	杨振强	宋志广	张广玉	张玉龙	张永亮	张跃民
张喜生	张渝惠	金川川	庞丽丽	庞丽萍	官周国	官 洁
胡国胜	胡 晖	高 伟	高亚平	侯京陵	姜 宏	姜晓菊
姬荣斌	赵中魁	郭秀娟	郭振安	郭 斌	郭 震	夏 敏
贾兴华	徐亚洲	徐 苓	袁堂洪	扈乃祥	黄晓杰	曹根顺
曾泉雁	程映昭	韩志强	韩 辉	雷丙旺	蔡志勇	潘 辉

前 言

塑料配方设计是塑料制品成型加工中在加工设备和工艺参数确定之后所必须进行的重要环节,设计水平的高低直接关系到塑料制品的最终使用性能的优劣,也是应用现代技术对塑料进行改性的过程,其技术含量极高。其中包含了科技人员的经验与智慧。一个成功配方的产生是多年实践经验与应用高新技术的结晶。

为了进一步推广塑料配方设计技术,满足塑料行业科研人员和加工人员的需求,在收集国内外大量资料的基础上,根据我们的工作和研究经验,组织编写了《塑料配方及其组分设计宝典》一书。书中重点介绍了通用塑料、通用工程塑料、热固性塑料、热塑性弹性体和可降解塑料的选材、组分设计、配方与性能。值得提及的是书中的每一个配方都简明扼要地介绍了各组分的作用、最佳用量的选定,并从技术和使用角度,力争使读者能够了解并掌握各组分设计的要素。且附以大量的成功实例,供读者直接查阅。

本书由浅入深,语言通俗易懂,以实例为主,直观易学,可操作性较强,且表文并茂。主要适用对象为具有中等文化程度或初级专业水平的读者,特别是材料研究与成型加工的技术人员,以及有关专业的教学人员等。相信此书的出版发行将会进一步提高我国塑料制品档次,在开发新型制品、增强产品市场竞争力等方面起到积极作用。为此作者将感到万分的欣慰。

由于水平有限,书中错误难免,敬请批评指正。

作者

目 录

前言	1
第 1 章 概述	1
1.1 塑料配方设计	1
1.1.1 简介	1
1.1.2 基本概念与内涵	1
1.1.3 基本原则	2
1.1.4 塑料配方设计方法	3
1.2 添加组分(助剂或添加剂)的作用	13
1.2.1 特性添加组分(助剂)	14
1.2.2 加工添加剂	22
1.2.3 稳定剂	25
1.2.4 反应控制剂	32
1.3 配方设计的基本程序	34
1.3.1 各组分的调整与组合	34
1.3.2 配方中各组分配比的形式	36
1.3.3 成熟配方的确定过程	36
1.3.4 用于生产的配方单的基本格式	37
第 2 章 通用塑料	40
2.1 聚氯乙烯(PVC)	40
2.1.1 简介	40
2.1.2 PVC 管材料	41
2.1.3 PVC 型材料	91
2.1.4 PVC 板、片材料	132
2.1.5 PVC 薄膜	153
2.1.6 PVC 人造革料	170
2.1.7 PVC 地板砖料	193
2.1.8 PVC 电缆料	200
2.1.9 PVC 密封条料	224

2.1.10	PVC 透明料	232
2.1.11	PVC 鞋用料	241
2.2	聚乙烯(PE)	248
2.2.1	聚乙烯料的配方设计要点	248
2.2.2	聚乙烯薄膜料	249
2.2.3	聚乙烯管材用料	269
2.2.4	聚乙烯电缆料	284
2.2.5	聚乙烯发泡料	315
2.2.6	功能聚乙烯料	339
2.2.7	聚乙烯母料	346
2.2.8	其他 PE 制品用料	360
2.3	聚丙烯(PP)	373
2.3.1	汽车专用料	373
2.3.2	家电专用料	407
2.3.3	聚丙烯管材专用料	423
2.3.4	透明 PP 专用料	433
2.3.5	PP 发泡专用料	444
2.3.6	阻燃 PP	452
2.3.7	其他 PP 料	466
2.4	聚苯乙烯(PS)	472
2.4.1	改性 PS	472
2.4.2	阻燃 PS	481
2.4.3	聚苯乙烯泡沫料	498
2.4.4	PS 专用料	506
2.5	ABS	511
2.5.1	ABS 改性剂	511
2.5.2	ABS 阻燃料	528
2.5.3	ABS 填充与增强料	549
2.6	其他通用塑料	558
2.6.1	EVA(乙烯/醋酸乙烯酯)	558
2.6.2	聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)	564
2.6.3	聚乙烯醇(PVA)吹膜料	565
2.6.4	橡塑共混发泡料	566

第 3 章 通用工程塑料	582
3.1 尼龙(PA)	582
3.1.1 PA 共混合金属材料	582
3.1.2 增韧尼龙(PA)	589
3.1.3 阻燃 PA 材料	597
3.1.4 抗静电 PA6 材料	605
3.1.5 耐磨 PA 材料(增强耐磨改性尼龙 6)	612
3.1.6 改性 MC 尼龙	614
3.2 聚碳酸酯(PC)	623
3.2.1 PC/ABS 共混合金属材料	623
3.2.2 PC/PE 共混合金属材料	637
3.3 热塑性聚酯	642
3.3.1 增强增韧热塑性聚酯	642
3.3.2 阻燃型热塑性聚酯	650
3.4 聚甲醛(POM)	662
3.4.1 耐磨聚甲醛	662
3.4.2 填充增强聚甲醛	667
3.4.3 阻燃聚甲醛	674
第 4 章 热固性塑料	679
4.1 酚醛塑料	679
4.1.1 酚醛泡沫塑料	679
4.1.2 酚醛注射料	687
4.1.3 增强酚醛塑料	696
4.1.4 其他酚醛塑料	705
4.2 环氧塑料	712
4.2.1 环氧树脂灌封料	712
4.2.2 阻燃环氧树脂	728
4.2.3 环氧树脂基复合材料	737
4.2.4 增韧环氧树脂	747
4.2.5 其他环氧树脂材料	752
4.3 不饱和聚酯	763
4.3.1 模塑料	763
4.3.2 不饱和聚酯浇注料	772

4.3.3 其他不饱和聚酯塑料制品	784
4.4 聚氨酯	788
4.4.1 硬质聚氨酯泡沫塑料	788
4.4.2 半硬质聚氨酯泡沫塑料	846
4.4.3 软质聚氨酯泡沫塑料	859
4.4.4 聚氨酯合成革	887
4.4.5 聚氨酯鞋底	895
4.4.6 其他聚氨酯材料	907
第5章 热塑性弹性体	918
5.1 简介	918
5.2 聚氯乙烯(PVC)热塑性弹性体	918
5.2.1 PVC 热塑性弹性体的配方设计要点	918
5.2.2 PVC 弹性体专用料	919
5.2.3 聚氯乙烯共混型热塑性弹性体	939
5.3 聚氨酯类弹性体	966
5.3.1 简介	966
5.3.2 配方设计要点	967
5.4 SBS 型热塑性弹性体及其共混型热塑性弹性体	979
5.4.1 配方设计要点	979
5.4.2 SBS 型热塑性弹性体(TPE)	981
5.4.3 SBS 冰雪鞋	985
5.4.4 高发泡、高熔体流动速率 SBS 热塑性弹性体	985
5.4.5 PS/BR 改性 SBS 共混热塑性弹性体	989
5.4.6 无缝式桥梁伸缩缝专用弹塑性	995
5.4.7 防滑笔套料 SBS 共混弹性体	998
5.4.8 (PS/SBS)/(SBS/PE)共混改性吸水管弹性体	1002
5.5 EPDM 共混型热塑性弹性体	1005
5.5.1 配方设计要点	1005
5.5.2 EPDM/PP 共混型热塑性弹性体	1006
5.5.3 防水卷材用热塑性弹性体	1010
5.5.4 HDPE 增韧 PP-R(P-P-B)/弹性体/石墨 复合换热水管专用料	1016

第 6 章 可降解塑料	1021
6.1 降解塑料的种类	1021
6.2 光降解塑料	1028
6.2.1 光降解聚乙烯地膜	1028
6.2.2 含大量填料的 PE 光降解地膜	1030
6.2.3 以硬脂酸为填料的光降解聚乙烯	1031
6.3 生物降解塑料	1034
6.3.1 生物降解聚乙烯薄膜	1034
6.3.2 淀粉填充聚乙烯降解塑料	1036
6.3.3 淀粉基完全生物降解材料	1040
6.3.4 阳离子淀粉基全生物降解塑料片材	1044
6.3.5 交联淀粉基全生物降解塑料片材	1046
6.3.6 非淀粉生物降解塑料	1049
6.3.7 可完全生物降解的壳聚糖——纤维素复合材料	1052
6.3.8 可完全生物降解的壳聚糖——淀粉复合材料	1055
6.3.9 新型生物降解塑料——聚乳酸	1057
6.4 光/生物双降解塑料	1061
6.4.1 可控光、生物降解塑料薄膜	1061
6.4.2 含淀粉与光敏剂的可控光生物降解 LDPE 膜	1065
6.4.3 非淀粉型可控光、生物降解地膜	1068
6.4.4 光、生物双降解高抗冲聚苯乙烯片材	1071
参考文献	1074

第1章 概述

1.1 塑料配方设计

1.1.1 简介

众所周知,树脂的发展经历了三个阶段:即天然树脂的发现与应用阶段;合成树脂的开发涌现阶段;塑料工业形成了高速发展阶段以及树脂改性阶段。截止目前,已实现工业化规模生产的树脂多达几百种,而且随着合成和改性技术的不断进步,每年又有大量的新型树脂品种和改性树脂品种面世。大量树脂品种的存在给选材带来极大的方便,增大了产品设计的自由度。然而,在实际产品生产中,尽管树脂品种不少,但还没有一种树脂在不经改性或配制就能制备出满足使用性能要求的制品来。这是因为塑料材料与传统的金属、陶瓷等在性能上有所不同。传统材料已实现标准化,其选材、设计与加工可分开进行。而树脂材料与其相比迥然不同,其不确定因素较多,可调节性和可配制性较强,树脂的选材、产品设计和制造工艺与加工性能密不可分。尽管每一种树脂有其独到之处,但都具有一定的局限性,在性能方面尚存在一定的缺陷与不足。迄今尚未发现在不添加任何物质或不进行任何改性就能生产出满足应用要求且耐久性优良的产品。鉴于这种情况,对塑料制品进行配方设计显得尤为重要,是塑料制品制备过程中极为重要的工作环节。

1.1.2 基本概念与内涵

塑料配方设计是以改善或提高树脂的性能特性,使之满足欲加工制品或特定应用的使用性能和耐久性要求为目的,在吸收前人经验与教训的基础上,运用先进而有效的技术或方法,确定在所选用树脂中要添加其他物质或组分量的过程。

塑料配方设计的基本内容是:首先应在充分了解树脂性能特点,尤其是已选定树脂的优缺点,并根据应用或制品对材料的使用性能要求,找出树脂的不足或缺陷,并将要解决的问题按照主次加以排序。然

后,再选择改性技术或方法。目前常用的改性技术被称为 ABCDFN 技术,这是按英文单词第一个字母缩写而成的: A(Alloy)—合金化, B(Blend)—掺混化, C(Composite)复合化, D(DOP)—掺杂, F(Fill)—填充, N(Nano)—纳米改性。采用 AB 技术可对材料进行增韧改性,提高材料的冲击性能和成型加工性能,常用于结晶树脂,热固性树脂和难加工的特种工程树脂等;C 为增强改性技术,主要提高材料的强度与刚性,适用各种树脂;D 技术来源于半导体材料的改性,主要用于赋予或提高材料的功能特性,适用于功能树脂的改性;F 技术为用途最广泛的技术,适用于各种塑料助剂的添加,也适应于各种树脂性能改性;N 技术为近年来的新兴改性技术,树脂改性用的各种助剂特别是填料以纳米级形态,利用特殊的添加方式添加,制备得改性效果十分显著。最后是选定添加组分(又称为添加剂或助剂)并确定其用量。目前常用的添加组分(助剂)较多,既有无机物质,又有有机物质,既可是大分子材料,也可以是小分子物质,具体有增强剂、填充剂、增韧剂、增塑剂、稳定剂、固化剂、着色剂、阻燃剂、抗氧剂、发泡剂等。针对树脂存在的缺陷选用添加组分并确定其用量,是配方设计的核心工作。通常要借鉴前人的配方设计和制品加工经验教训,选定添加组分并确定其用量,必要时还要进行试制,以求配方设计合理,在确保最终制品使用性能的前提下,尽量降低成本。可以说,塑料配方设计工作就是对添加组分的选用和用量确定工作。以最少的组分,最合理的用量,设计出最佳配方,制备出性能优异的制品是配方设计的最终目标。

1.1.3 基本原则

塑料配方设计是充分运用添加组分(添加剂或助剂)的性能改善和提高树脂缺陷或不足的过程,是一项艰苦细微的工作过程,必须进行精心的分析研究,反复试验才能设计出满足使用性能要求的配方,为此在配方设计时应坚持如下原则:

(1) 满足最终产品使用性能与耐久性的原则

塑料制品制备过程中的选材、配方设计、产品设计、配制和成型加工及制品的后处理等工序,最终目的就是制备出质量优良,满足应用要求的制品。配方设计时的主要任务是弄清使用环境条件、使用性能要求,才能选择合适的树脂。

(2) 抓主要矛盾的原则

选定树脂后,通过对树脂性能的了解和分析,用于制备所需制品的树脂可能存在许多缺陷或不足,这时就应根据制品性能要求,找出主次矛盾加以解决,一般情况下,解决了主要矛盾其他矛盾也迎刃而解。

(3) 充分发挥添加组分(添加剂或助剂)功能的原则

这是配方设计的中心任务,对添加组分选择力求要准,用量适当。要做到这一点,除具有丰富的实践经验外,还要吸取前人的经验教训,弄清各添加组分功能,结合应用性能要求与树脂本身特性,制订几套用量确定方案,再进行试验加以确定,用一个添加组分能解决的决不用两个组分。

(4) 降低成本的原则

配方设计时,除考虑性能外,还必须认真考虑到原材料的来源与成本。在同等性能条件下,要选择原材料来源广,产地近,价格低廉的品种。

(5) 依据添加组分性能的设计原则

配方设计时,要充分考虑到添加组分(添加剂或助剂)与树脂的相容性。只有添加组分物质与树脂具有良好的相容性,才会均匀地分散于树脂体系中,才能与树脂形成一良好的整体结构,从而发挥其应有的功能与作用。其次,要考虑到添加组分的耐加工性,这是因为添加组分(添加剂或助剂)多为小分子物质,其热分解温度不高,特别是小分子的有机物质,更易分解。应确保小分子溶液添加组分物质在加工中不蒸发,固体物质不分解(发泡剂除外),液体物质不逸出。再就是应考虑到添加组分的毒性,添加组分物一般都有毒性或低毒性,选择时应在不影响制品性能的情况下,尽量选择低毒物质,以免影响工作环境,特别是与食品和药物接触的塑料制品,更要选择无毒或低毒添加物质。另外,对某些特殊功能的塑料制品,如透明制品,所选用添加组分不能影响其透明性,要选用折光指数与树脂相近的物质,对制品透明性的影响越小越好。

1.1.4 塑料配方设计方法

1.1.4.1 去除法—单组分调整配方设计法

在配方设计时,树脂中只需添加单一组分(助剂)就可完成配方的设计,这种配方设计一般常用去除法来确定添加组分及其用量。去除

法的基本原理是:假定 $f(x)$ 是塑料制品的物理性能指标,它是调整区间中单峰函数。即 $f(x)$ 在调整的区间 (a, b) 中只有一个极值点,这个点就是所寻求的物理性能最佳点。通常用 x 表示因素取值, $f(x)$ 表示目标函数。根据具体问题要求,在该因素的最优点上,目标函数取最大值、最小值或某种规定的要求,这些都取决于该塑料制品的具体情况。

在寻找最优试验点时,常利用函数在某一局部区域的性质或一些已知的数值来确定下一个试验点。这样一步步搜索、逼近,不断去除部分搜索区间,逐步缩小最优点的存在范围,最后达到最优点。

在搜索区间内任取两点,比较它们的函数值,舍去一个。这样搜索区间缩小再进行下一步,使区间缩小到允许误差之内。常用的搜索方法有:

1. 爬高法(逐步提高法)

适合于工厂小幅度调整配方,生产损失小。其方法是:先找一个起点 A。这个起点一般为原来的生产配方,也可以是一个估计的配方。在 A 点向该原材料增加的方向 B 点做试验,同时向该原材料减少的方向 C 点做试验。如果 B 点好,原材料就增加;如果 C 点好,原材料就减少。这样一步步改变,如爬到 W 点,再增加或减少效果反而不好,则 W 点就是要寻找的该原材料的最佳值。

选择起点的位置很重要。起点选得好时,则试验次数可减少;选择步长大小也很重要,一般先是步长大一些,待快接近最佳点时,再改为小的步长。该爬高法比较稳妥,对生产影响较小。

2. 黄金分割法(0.618 法)

该方法是根据数学上黄金分割定律演变来的。其具体做法是:先在配方试验范围(A,B)的 0.618 点作第一次试验,再在其对称点(试验范围的 0.382 处)作第二次试验,比较两点试验的结果(指制品的物理力学性能),去掉“坏点”以外的部分。在剩下的部分继续取已试点的对称点进行试验,再比较,再取舍,逐步缩小试验范围,达到最终目的。

该法的每一步试验都要根据上次配方试验结果而决定取舍,所以每次试验的原材料及工艺条件都要严格控制,不得有差异,否则无法决定取舍方向。该法试验次数少,较为方便,适于推广。

3. 均分法

采用均分法的前提条件是：在试验范围内，目标函数是单调的，即该塑料制品应有一定的物理性能指标，以此标准作为对比条件。同时，还应预先知道该组分对制品的物理性能影响的规律，这样才能知道其试验结果表明该原材料的添加量是或多或少。

该法与黄金分割法相似，只是在试验范围内，每个试验点都取在范围的中点上，根据试验结果，去掉试验范围的某一半，然后再在保留范围的中点做第二次试验，再根据第二次试验结果，又将范围缩小一半，这样逼近最佳点范围的速度很快，而且取点也极为方便。

4. 分批试验法

分批试验法可分为均分分批试验法和比例分割分批试验法两种。

均分分批试验法是把每批试验配方均匀地同时安排在试验范围内，将其试验结果比较，留下好结果的范围。在这留下的部分，再均匀分成数份，再做一批试验，这样不断做下去，就能找到最佳的配方质量范围。在这个窄小的范围内，等分点结果较好，又相当接近，即可中止试验。这种方法的优点是试验总时间短、速度快，但总的试验次数较多。

比例分割分批试验法与该法相似，只是试验点不是均匀划分，而是按一定比例划分。该法由于试验效果、试验误差等原因，不易鉴别，所以一般工厂常用均分分批试验法，但当原材料添加量变化较小，而制品的物理性能却有显著变化时，用该法较好。

5. 其他方法

分数法（即斐波那契搜索法）是先给出试验点数，再用试验来缩短给定的试验区间，其区间长度缩短率为变值，其值大小由斐波那契数列决定。

抛物线法是在用其他方法试验，将配方试验范围缩小之后，还希望再继续精确时，可采用该法。它是利用做过三点试验后的三个数据，作此三点的抛物线，以抛物线顶点横坐标作下次试验依据，如此连续试验而成。

1.1.4.2 多组分调整配方设计方法

1. 正交设计法

正交设计法是应用数理统计原理进行科学地安排与分析多组分调

整的一种设计方法。

正交设计法的最大优点在于可大幅度减少实验次数,尤其是实验中变量调整越多,减少程度越明显,它可以在众多实验次数中,优选出具有代表性的配方,通过尽可能少的实验,找出最佳配方或工艺条件。有时最佳配方可能并不在优选的实验中,但可以通过实验结果处理,推算出最佳配方。

常规的实验方法为单组分调整轮换法,即先改变其中一个变量,把其他变量固定,以求得此变量的最佳值;然后改变另一个变量,固定其他变量,如此逐步轮换,从而找出最佳配方或工艺条件。用这种方法对一个三个变量的配方,每个变量三个实验数值(水平)的实验,实验次数为 $3 \times 3 \times 3 = 27$ 次,而用正交设计法,只需 6 次即可。

2. 正交表的组成

正交设计的核心是一个正交设计表,简称正交表。一个典型的正交表可由下式表达:

$$LM(b^K)$$

式中 L——正交表的符号;

K——实验中组分变量的数目,K值的确定由不同实验而变;

b——每个变量所取的几个实验值数目,一般称为水平,水平值由经验确定,也可在确定前先做一些探索性小型试验,一般要求各水平值之间要有合理的差距;

M——实验次数,一般由经验确定其大致规律如下:

对于二水平实验 $M = K + 1$

对于三水平以上实验 $M = b(K - 1)$

上述规律并不全部适用,有时也有例外,如 $L_{27}(3^{13})$ 。具体可参照标准正交表。

正交表的最后一项为实验目的,即指标,它为衡量实验结果好坏的参数,如产品合格率、硬度、耐热温度、冲击强度、氧指数及体积电阻率等。

现用实例说明正交表的组成。如改善 PVC 加工流动性的一个实验,加工流动性好坏可用表观粘度表示。表观粘度即为指标;影响加工

流动性的参数有三个,即温度(T)、剪切速率($\dot{\gamma}$)和增塑剂加入量(RPH),此三个参数即为因素,每个因素取三个不同实验值,即为三水平,如 T 取 150°C 、 160°C 、 170°C , $\dot{\gamma}$ 取 $5 \times 10^2 \text{s}^{-1}$ 、 $1 \times 10^3 \text{s}^{-1}$ 、 $5 \times 10^3 \text{s}^{-1}$,RPH取20份、30份、40份。

常用的典型正交表如下:

二水平: $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{12}(2^{11})$ 等;

三水平: $L_6(3^3)$ 、 $L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(3^7)$ 等;

四水平: $L_{16}(4^5)$ 等。

具体正交表排布参见表1-1~表1-5。

表 1-1 二水平 $L_4(2^3)$ 正交表

试验号	列 号			试验号	列 号		
	1	2	3		1	2	3
1	1	1	1	3	2	1	2
2	1	2	2	4	2	2	1

表 1-2 二水平 $L_8(2^7)$ 正交表

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

表 1-3 二水平 $L_{12}(2^{11})$ 正交表

试验号	列 号											试验号	列 号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1