

田口 管理

365

everyday for
TAJUCHI MANAGEMENT

李胜强 李华 / 主编

海天出版社

全国Mini-MBA职业经理双证班



精品课程 权威双证 全国招生 请速充电

教委批准成立正规管理类教育机构，近 20 年实战教育经验，值得信赖！（教证：0000154160 号）

全国迷你 MBA 职业经理双证书班[®]，全国招生，毕业颁发双证书，近期开课。咨询电话：13684609885

招生专业及其颁发证书

认证项目	颁发双证	学费
全国《职业经理》MBA 高等教育双证书班	高级职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《人力资源总监》MBA 双证书班	高级人力资源总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《生产经理》MBA 高等教育双证班	高级生产管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《品质经理》MBA 高等教育双证班	高级品质管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销经理》MBA 高等教育双证班	高级营销经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《物流经理》MBA 高等教育双证班	高级物流管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《项目经理》MBA 高等教育双证班	高级项目管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《市场总监》MBA 高等教育双证书班	高级市场总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《酒店经理》MBA 高等教育双证班	高级酒店管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《企业培训师》MBA 高等教育双证班	企业培训师高级资格认证毕业证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《财务总监》MBA 高等教育双证班	高级财务总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销策划师》MBA 双证书班	高级营销策划师高级资格认证证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《企业总经理》MBA 高等教育双证班	全国企业总经理高级资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《行政总监》MBA 高等教育双证班	高级行政总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《采购经理》MBA 高等教育双证班	高级采购管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《医院管理》MBA 高等教育双证班	高级医院管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《IE 工业工程管理》MBA 双证班	高级 IE 工业工程师职业资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《企业管理咨询师》MBA 双证班	高级企业管理咨询师资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《工厂管理》MBA 高等教育双证班	高级工厂管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元



【授课方式】 全国招生、函授学习、权威双证

我校采用国际通用3结合的先进教育方式授课：远程函授+视频光盘+网络学院在线辅导（集中面授）



【颁发证书】 学员毕业后可以获取权威双证书与全套学员学籍档案

- 1、毕业后可以获取相应专业钢印《高级职业经理资格证书》；
- 2、毕业后可以获取2年制的《MBA研究生课程高等教育研修结业证书》；



【证书说明】

- 1、证书加盖中国经济管理大学钢印和公章（学校官方网站电子注册查询、随证书带整套学籍档案）；
- 2、毕业获取的证书与面授学员完全一致，无“函授”字样，与面授学员享有同等待遇，



【学习期限】 3个月（允许有工作经验学员提前毕业，毕业获取证书后学校仍持续辅导2年）



【收费标准】 全部费用1280元（含教材光盘、认证辅导、注册证书、学籍注册等全部费用）

函授学习为你节省了大量的宝贵的学习时间以及昂贵的MBA导师的面授费用，是经理人首选的学习方式。



【招生对象】

- 1、对管理知识感兴趣，具有简单电脑操作能力（有2年以上相应工作经验者可以申请提前毕业）。
- 2、年龄在20—55岁之间的各界管理知识需求者均可报名学习。



【教程特点】

- 1、完全实战教材，注重企业实战管理方法与中国管理背景完美融合，关注学员实际执行能力的培养；
- 2、对学员采用1对1顾问式教学指导，确保学员顺利完成学业、胸有成竹的走向领导岗位；
- 3、互动学习：专家、顾问24小时接受在线教学辅导+每年度集中面授辅导



【考试说明】

1. 卷面考核：毕业试卷是一套完整的情景模拟试卷（与工作相关联的基础问卷）
2. 论文考核：毕业需要提交2000字的论文（学员不需要参加毕业论文答辩但论文中必修体现出5点独特的企业管理心得）
3. 综合心理测评等问卷。



【颁证单位】

中国经济管理大学经中华人民共和国香港特别行政区批准注册成立。目前中国经济管理大学课程涉及国际学位教育、国际职业教育等。学院教学方式灵活多样，注重人才的实际技能的培养，向学员传授先进的管理思想和实际工作技能，学院会永远遵循“科技兴国、严谨办学”的原则不断的向社会提供优秀的管理人才。



【主办单位】

美华管理人才学校是中国最早由教委批准成立的“工商管理MBA实战教育机构”之一，由资深MBA教育培训专家、教育协会常务理事徐传有老师担任学校理事长。迄今为止，已为社会培养各类“能力型”管理人才近10万余人，并为多家企业提供了整合策划和企业内训，连续13年被教委评选为《优秀成人教育学校》《甲级先进办学单位》。办学多年来，美华人独特的教学方法，先进的教学理念赢得了社会各界的高度赞誉和认可。



【咨询电话】13684609885 0451--88342620

【咨询教师】王海涛 郑毅

【学校网站】<http://www.mhgy.net>

【咨询邮箱】xchy007@163.com



【报名须知】

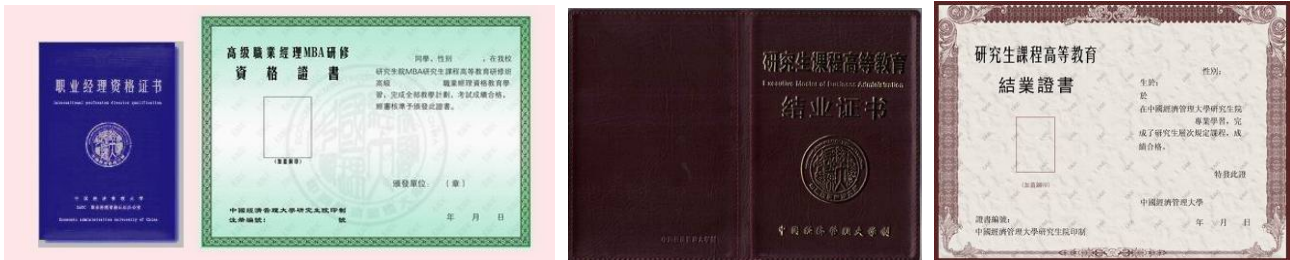
- 1、报名登记表格下载后详细填写并发邮件至 xchy007@163.com (入学时不需要提交相片，毕业提交试卷同时邮寄4张2寸相片和一张身份证复印件即可)
- 2、交费后请及时电话通知招生办确认，以便于收费当日学校为你办理教材邮寄等入学手续。



【证书样本】(全国招生 函授学习 权威双证 请速充电)

(高级职业经理资格证书样本)

(两年制研究生课程高等教育结业证书样本)



【学费缴纳方式】(请携带本人身份证到银行办理交费手续，部分银行需要查验办理者身份证)

方式一	学校地址	<p>邮寄地址：哈尔滨市道外区南马路 120 号职工大学 109 室</p> <p>邮政编码：150020 收件人：王海涛</p>
方式二	学校帐号 (企业账户)	<p>学校帐号：184080723702015 账号户名：哈尔滨市道外区美华管理人才学校</p> <p>开户银行：哈尔滨银行中大支行 支付系统行号：313261018034</p>
方式三	交通银行 (太平洋卡)	<p>帐号：40551220360141505 户名：王海涛</p> <p>开户行：交通银行哈尔滨分行信用卡中心</p>
方式四	邮政储蓄 (存折)	<p>帐号：602610301201201234 户名：王海涛</p> <p>开户行：哈尔滨道外储蓄中心</p>
方式五	中国工商银行 (存折)	<p>帐号：3500016701101298023 户名：王海涛</p> <p>开户行：哈尔滨市道外区靖宇支行</p>
方式六	建设银行帐户 (存折)	<p>中国人民建设银行帐户（存折）： 1141449980130106399</p> <p>用户名：王海涛</p>
方式七	农业银行帐户 (卡号)	<p>农业银行帐户（卡号）： 6228480170232416918 用户名：王海涛</p> <p>农行卡开户银行：中国农业银行黑龙江分行营业部道外支行景阳支行</p>
方式八	招商银行 (卡号)	<p>招商银行帐户（卡号）： 6225884517313071 用户名：王海涛</p> <p>招商银行卡开户银行：招商银行哈尔滨分行马迭尔支行</p>

可以选择任意一种方式缴纳学费，收到学费当天，学校就会用邮政特快的方式为你邮寄教材、考试问卷以及收费票据。

田口管理 365

Everyday for
TAGUCHI MANAGEMENT

李胜强 李华 / 主编

海天出版社

总 序

“万物皆流，无物常住”。古希腊伟大的哲学家赫拉克利特 2500 多年前就曾经对事物的发展做出过精辟的论述。在今天这个科学技术日新月异的信息数字时代，企业的管理同样也是这样，不断地更新，不断地完善，不断地注入新的理念、观点和方法。

我国加入 WTO，正逐步与世界全面接轨，而世界经济则正在进入一个信息网络技术手段为主导的“全球化”的经济时代。市场经济已经不仅是法制经济，也不仅是竞争经济，而是逐步走向集约型全面提升管理水准的社会化经济。

美国著名的管理学家罗密尔特曾说过：“竞争优势决定于企业一系列独具特色的资源及其相互关系”。现代管理的最新思维就是：战略眼光审视企业内部，全面考察企业所拥有的资源、能力和核心竞争力是否与企业外部环境的变化相符合，将实践中总结出来的

田口管理 365

我公司根据国内外最新的信息资料和权威的管理理论著作合我公司在具体参与管理咨询、服务和协助完善企业管理制度升管理水准的基础上，编著了《工厂管理 365》丛书系列，即：《质量管理 365》、《物料采购 365》、《生产现场 365》、《目视管理 365》、《田口管理 365》、《客户管理 365》、《物流管理 365》、《IE 管理 365》。

当我们掩卷收笔，交付印刷之时，对那些以各种方式参与列丛书编著的朋友们致以深深的感谢，他们是：方敏、胡少兵、汉生、陈海斌、贾志安、赵蓉、赵安芝、何家俊、汪道安、熊国、姚红梅、姚玉雪、周慧萍、魏一江、李胜伟、朱红兵、朱毅、修、罗长江、王欣民、王大为、魏晓明、李伟红、卫红光、成、吴永薪、艾红、周红梅、张亦之、张英、孙世英。

同时也感谢为此套丛书在内容上多次提出修改意见的编辑、感谢为此套丛书进行封面设计、排版、校对而默默无闻、辛勤的所有朋友们。

前 言

近几年来，日本、美国和欧洲等工业先进的国家，成功推行“田口式品质工程”。该方法以客户的要求为中心，以突出产品的划和设计为重点，努力挖掘现有的技术能力和生产潜力，以寻求佳的产品设计及制程的动、静态设计参数组合。田口式品质工程最迅速、最经济的实验方法（直交表），使系统（产品设计或制程善）在不增加成本（甚至降低成本）情况下，突破了技术瓶颈、计瓶颈和制程瓶颈，极大地改善了生产制造流程，使得产品的技开发、产品开发，都能发挥出立竿见影的效果。

品质管理的重要性已被广大的企业充分地认识，不少成功的业已将品质管理很好地融入到了产品研发及生产的各个阶段。众周知，品质管理包括离线品管和线上品管两个部分。离线品管活发生在产品和制程的设计阶段。田口方法就是一种统计的方法，

田口管理 365

技术开发效率，也可避免量产品品质不良的后遗症。

《田口管理 365》，从工厂管理者的角度，较为系统、详细地了田口方法的整个知识体系，重点讲述了品质工程、直交表矩验、新品开发流程、田口方法计算以及实验计划、直交表及其用 S/N 比的精髓，让读者能够借助本书的帮助，建立起田口方法念和体系，轻松地将田口方法及管理应用到实际工作中，同时田口管理作为一种实用的技术开发、流程改善的有效工具，能速、快捷地找出现有生产环境中最适合的生产条件和因素，有缩短产品开发、研究、设计周期。

本书在编写过程中，因为时间仓促，难免有遗漏和疏忽的，欢迎各位朋友提出宝贵的意见，以便能日臻完善。

编者

2004 年 6 月

目 录

第一章 田口方法	
一、什么是田口方法	
二、田口方法的基本观念	
三、田口四大主张	
第二章 品质工程	
一、品质工程的定义	
二、品质工程设计的作法	
三、品质损失函数	

田口管理 365

第四章 品质计量法基础	
一、质量管理的全球化进程	
二、如何进行品质计量	
三、不同品质计量方法比较	
第五章 品质设计方法	
一、品质设计基础	
二、田口品质设计方法	
三、田口最佳化程序设计	
四、新旧田口方法比较	
第六章 直交表应用	
一、直交基本原理	
二、直交表的直交性证明	
三、直交表的正确使用	
四、直交表的应用	
五、直交表解析与说明	
六、交互作用的计算	

- 四、变异分析
- 五、变异分析方法
- 六、变异预测及诊断

第九章 标准直交表与线型图解

- 一、标准直交表的选择
- 二、编制直交表方法
- 三、空水准技术
- 四、复合因素方法
- 五、线型图解及交互作用

第十章 田口方法品质改善案例

- 一、太阳花散热鳍片试验
- 二、产品清洗工序品质改善

第一章 田口方法

一、什么是田口方法

二十世纪七十年代初期，日本田口玄一博士创立了一种新颖、有效、科学的质量工程优化设计方法，这种方法从工程的角度，能够预测产品的品质问题，把社会损失成本作为衡量产品品质的基础，在产品开发和产品设计早期阶段就能有效地防止产品的质量问题的。后来被称之为田口方法(Taguchi Methods)。田口方法有两个非常重要的工具——直交表和S/N比，所强调的重点是在产品或制程设计时就考虑产品的品质问题，也就是在设计和生产过程中如何降低产品的绩效变异。

二、田口方法的基本观念

田口方法不光是提供了一套完整的实验设计的数学模式，更重要的是提出了一个全新的质量观念。

1. 品质保证贯穿到产品形成的各个阶段

质量不是靠检验得来的，也不是靠生产过程的控制得来的。质量，就是把顾客的要求分解、转化成具体的设计数据，形成预期的目标值，最终生产出成本低、性能稳定、质量可靠、物美价廉的产品。换言之，也就是在初期的开发设计阶段，通过围绕所设置的目标值选择设计参数，经过实验来最大程度地减少品质变异，从而把质量标准构建到产品中，使生产的全部产品具有相同的、稳定的质量，最大限度地减少品质损失和降低生产成本。因此，可以说：品

田口管理 365

质不是检验出来的，品质保证必须贯穿到产品形成的各个阶段。

2. 要使目标值偏差最小化

要使产品品质“与目标值偏差”最小化，并且尽可能减少不可控制的环境因素对产品品质的影响。

3. 品质成本是标准值偏移的函数

田口方法以全新的成本效益的观念，找到了最佳的质量管理标准。这个观念与传统的实验设计、循环统计原理、强调模式的确立有很大的不同。田口方法已经成为企业界提升品质的最佳方法之一。

三、田口四大主张

田口玄一博士对品质的定义，有相当独特的见解。他认为：品质是产品出厂后给予社会的最小损失。因此品质不是免费的，是要花高代价来获取的。换句话说，品质是一项特殊的高成本的产物，我们要研究降低品质成本的策略，要规划降低品质成本的制度，更要思考降低品质成本的方法。

在产品售价表、资产负债表、损益表这些成本结构中，都没有将品质一项特别标示出来，所以人们不易体会品质的价值与重要性。要生产出优良的品质，是由诸多条件和因素决定的，要有优秀的设计、生技、制造、品管人员，优良精密的机器、设备，原物料，良好的工作环境，科学的管理制度等等。

正是把品质量化为金钱的损失，才有所谓的“田口四大主张”。

- 任何产品，成本最重要。
- 可以降低成本而不影响品质。
- 可以提高品质而不增加成本。
- 提高品质的同时，又可降低成本。

在田口方法中,品质是指机能的变异,而品质工程是研究品质的评价方法,设法在不增加成本的情况下,利用参数设计来改善品质。这种利用直交表、参数设计的概念来进行实验计划、制程改善、技术创新的方法,在日本、美国称之为“田口方法”,又有人称为“低成本品质工程”。以低成本生产高品质的产品,是一项涉及工程学、经济学、统计学、管理学等多门学科的一项科学的方法。生产一项产品,应考虑的成本有下列三大类:

(1) 操作成本

操作成本包括操作该项产品所需的能源成本、环境控制成本、维护成本、零组件的存货成本等等。不同制造业者生产的产品,其操作的资源成本当然也有别。制造业者设计产品时要注意该项产品的坚耐性,才能大幅度降低其操作成本。所谓坚耐性,是指降低该产品对环境、使用情况、制造及零组件损毁等变化的敏感度。

(2) 制造成本

制造成本包括设备、机器、材料、人工、废料、修整等。通常可以使用较低等级的材料、熟练性较低的人工,以及价格较低廉的设备等,在降低单位制造成本的同时,维持适当水准的品质。在产品设计时能重视该产品的坚耐性,重视制程的坚耐性,就可能降低制程对制造条件变异的敏感度。

(3) R & D 成本

R&D 成本是指新产品开发成本,再加上工程资源、研究实验资源等的成本。R&D 作业的实施目标,是设法降低单位成本及操作成本。实验计划与品质工程的实施,对 R&D 目标的达成,有重要的作用,因为实验计划与品质工程足以改善取得产品及制程设计所需重要资讯和数据的效率,因此可缩短产品开发的时间,减少开发所用的资源。

在上述三类成本中,制造成本和 R&D 成本产生于生产业者,再

田口管理 365

通过产品价格转嫁给客户，至于操作成本有时称为使用成本，则直接由客户产生和负担，但其高低也源于产品的品质。因此，从客户的观点来看，产品的购买价格加上操作成本，成为客户购买该产品后满足其需要的经济性。产品的品质较高，则操作成本通常较低，反之亦然。

第二章 品质工程

一、品质工程的定义

品质工程是研究单位制造成本和品质损失这两类成本的一项科学，它涉及工程设计、产品制造及产品经济学等。

产品品质与单位制造成本通常被认为成正比的关系，其实品质工程是一种不仅可以降低品质损失、而且还可以减少单位制造成本的科学方法。

产品的寿命周期分布在产品的两个不同阶段：销售前和销售后。产品销售前的各项成本的总和，即为“单位制造成本”。销售给客户后发生的成本总和，即为“品质损失”。

二、品质工程设计方法

产品或制程设计要做到最优化，涉及的因素相当繁杂，许多关键参数都还是未知数：

第一，产品或制程的最佳设计参数往往均为未知数，是要依靠实验方法才能获得。

第二，在产品或制程设计阶段，有关杂音因素的变异，如材料、零配件的成本及容差、制造的变异情况等都无从查考。

因此，要想获得一项包含全部各项成本的目标函数，显然是非常困难或者是不可能的。因此，在实际操作时，往往是凭经验和直觉来制定产品的设计策略、品质策略。

品质工程设计的方法，通常包含下列三个步骤：

1. 概念设计

设计人员以产品应有的功能和技术为基础, 研究分析出产品的结构特征, 然后从中选出一项认为最为合适的产品结构。但对某些更为复杂的产品, 有时则需要选出多个备选的结构, 再分别做初步的研究、分析, 最后从中选择和确定最佳的产品结构。这样的概念设计, 对降低产品相对于各项杂音因素的敏感度, 降低制造成本, 均有至关重要的作用。

2. 参数设计

参数设计的目的在于降低制造成本、降低对杂音的敏感度, 以减轻品质损失。参数设计的重点在于确定各项最佳控制因素。因此, 在参数设计中, 我们必须降低产品或制程功能相对于全部杂音因素的敏感度, 同时掌握各参数的目标值, 还要为杂音因素设定较宽的容差, 并假定产品将采用较低等级的零配件和材料。

3. 容差设计

在降低品质损失和增加制造成本两者之间选取平衡点, 是容差设计的目的。我们通过选择性地降低产品容差, 也必须选择性地采用较高等级的材料, 以求最适当的成本效益。降低容差和改用较佳材料, 两者皆属容差因素。因此, 必须将对杂音的敏感度减至最低之后才可进行容差设计, 否则容易为了减少品质损失, 而采用不必要的太高等级的材料和零配件, 最终导致制造成本过高。

三、品质损失函数

1. 品质损失函数

如何来计算或衡量品质损失呢？假设 y 是品质特性， m 是目标值， $L(y)$ 表示损失函数。则 $L(y)$ 在点 m 的泰勒展开函数式为：

$$L(y) = l(m) + l'(m)(y - m) + \frac{l''(m)}{2}(y - m)^2 + \dots$$

$\because L(m) = 0$ (在目标值上没有损失)

$L'(m) = 0$ (在目标值上损失最小斜率为 0)

舍去 3 次及更高次项

$$\therefore L(y) = k(y - m)^2 \quad (2.1)$$

k 为品质损失系数， $k = \frac{A}{\Delta^2}$

以公式 (2.1) 计算的结果用曲线表示，即为品质损失函数，见图 2-1。

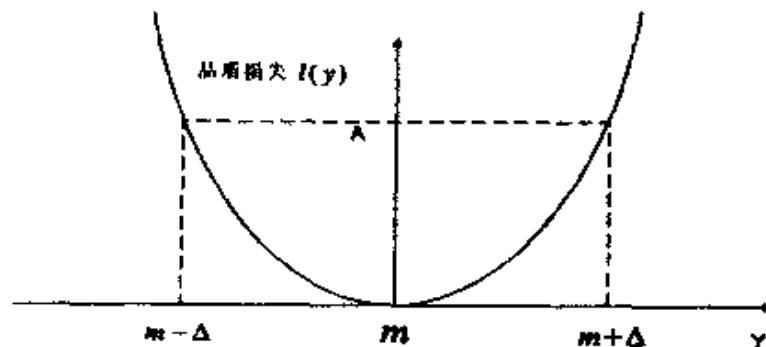


图 2-1 品质损失函数

2. 品质损失的计算

品质损失函数是一个二次曲线函数，依照公式 (2.1) 绘制出的某一产品制程改善前后的品质损失变化，见图 2-2 所示。当 $y = m$ 时，品质损失为 0；当 y 值接近 m 时，损失 $L(y)$ 开始出现， y 值距 m 愈远，则损失升高愈快。

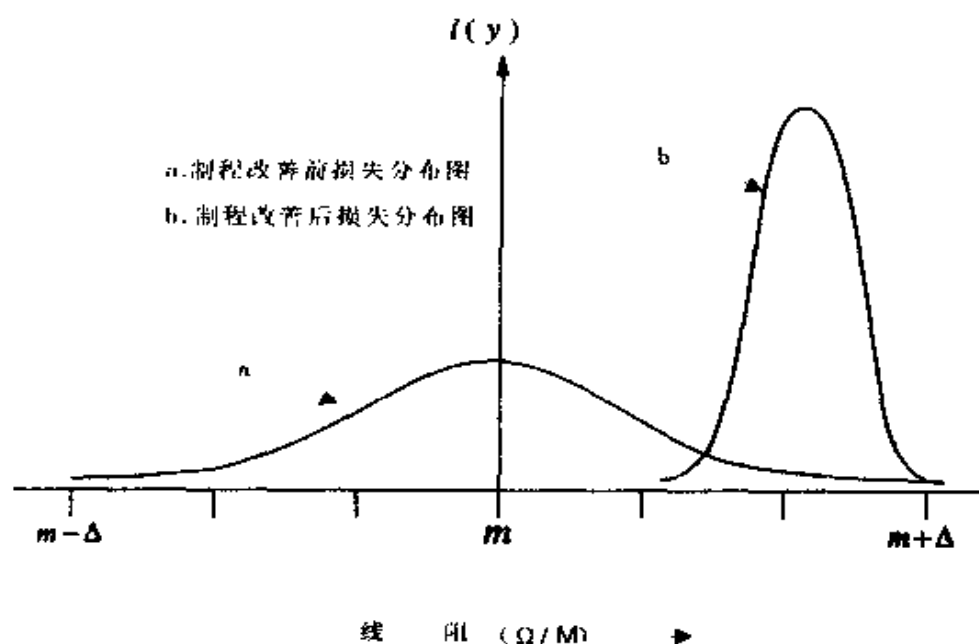


图2-2 制程改善品质损失分布图

公式 (2.1) 并不表示每一位取得品质 y 产品的客户，其所发生的品质损失必然等于 $L(y)$ ，而只是品质损失的平均值。对任何一位特定的客户，其发生的品质损失应当根据该客户本身特有的操作环境来定，且不一定相同于其他客户。

要想由公式 (2.1) 计算实际的产品品质损失，先要决定品质系数 k 。

可以先假定 y 值的功能限度 σ 。设这项功能限度为 $m \pm \Delta$ ，并假

设该产品于 $y \pm \Delta$ 时的品质损失为 A ，则

$$k = A / \Delta^2 \quad (2.2)$$

式中

Δ ：功能限度。指该产品在使用时，约有半数机会可能失效时的 y 值。

A ：产品的修理成本或换置成本。

此项成本包括：该产品在修理期间因无产品可用发生的成本，客户将产品送至修理站及自修理站取回时的转运成本等。如果一项产品因失效发生安全事故，由此发生的损失也包括于本项成本内。总之，不论所发生的损失由何人负担，所有此类损失均应计入 A 。

将公式 (2.2) 代入 (2.1)，即可计算出品质损失值。

$$L(y) = (A + \sigma^2) \times (y - m)^2$$

3. 品质损失函数特点

品质损失函数常见为二次曲线外，还有其他数项变化类型。其中以下列三类变化较为重要。

(1) 小为佳型品质特性

有些产品特性，不可能出现负值，例如微波炉的辐射泄漏、电子产品的漏电、汽车尾气污染等，此类产品品质损失的理想值为 0。其值增加时，则产品性能趋于不良。这样的特性，称为“小为佳型品质特性”。

此一类型的品质损失，可将公式(2.1)中以 $m = 0$ 代入，得如下函数：

$$L(y) = ky^2 \quad (2.3)$$

因 y 不能为负值，这是一项仅有一侧的函数。

(2) 大为佳型品质特性

田口管理 365

有些品质特性是其值愈大，性能愈佳，例如粘合剂的粘合强度，其理想值应为无穷大。理想值为无穷大时，品质损失为0。这类特性称为“大为佳型品质特性”。显然这类特性的倒数，则与小为佳型品质特性相同。因此，我们可将其品质损失函数，以 $1/y$ 代替公式(2.3)中的 y ：

$$L(y) = k [1/y^2] \quad (2.4)$$

其中的常数 k ，同样可由功能限度 σ 和相应的损失 A 算出。

(3) 非对称型品质特性

还有一些情况，品质特性偏于某一方向时，较偏于另一方向时弊多利少。对于此种情况，可用 k_1 和 k_2 分别代表两个不同方向。则非对称型品质损失函数可表示如下：

$$L(y) = \begin{cases} k_1(y-m)^2, & y > m \\ k_2(y-m)^2, & y \leq m \end{cases} \quad (2.5)$$

图 2-3 为以上三种不同的二次品质损失函数变化图。

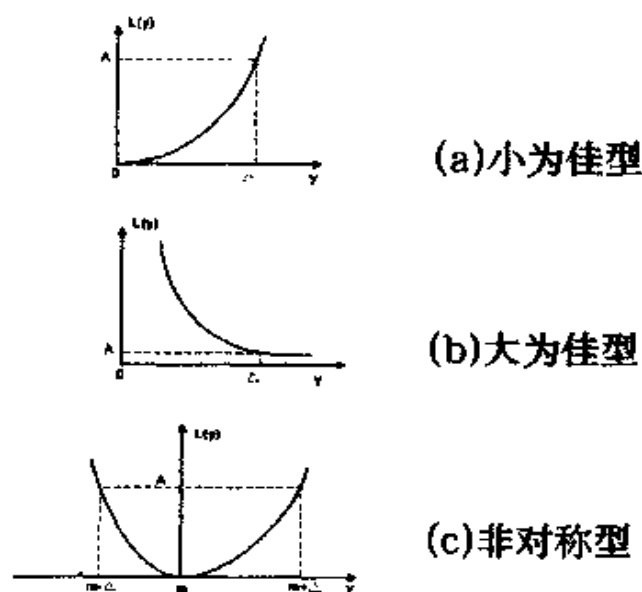


图2-3 二次品质损失函数变化图

4. 品质损失计算的作用

在产品制程中，每一个中间步骤的作业效率及成本，均受其先前各工序步骤品质变异的影响。同样地，中间步骤的品质变异，也必将影响其后续步骤的作业效率和成本。因此，采用损失函数进行品质损失计算，作为对成本及效率影响评估的依据，也作为制程各步骤中品质改善的决策基础。

5. 平均品质损失

产品的品质特性 y ，随产品的制程和使用是不相同的。设产品的品质特性分别为 y_1, y_2, \dots, y_n ，在产品寿命期间抽取的若干件代表件测得的 n 个代表值。再设特性 y 为“望大为佳型的品质特性”，其目标值为 m 。则其“平均品质损失”的计算如下：

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{n} [L(y_1) + L(y_2) + \dots + L(y_n)] \\ &= \frac{k}{n} [(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2] \\ &= k \left[(\mu - m)^2 + \frac{n-1}{n} \sigma^2 \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

式中 μ 及 σ^2 分别为中数值及差异，计算如下：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

当 n 值足够大时，公式(2.6)近似值为：

$$Q = k [(\mu - m)^2 + \sigma^2] \quad (2.7)$$

田口管理 365

由公式(2.7)可知,平均品质损失由以下两个部分组成:

$k(\mu - m)^2$ 为 y 偏离目标值而产生的品质损失。

$k\sigma^2$ 为 y 趋于中数值偏差而产生的品质损失。

很显然,第一个部分的品质损失容易减少,第二个部分的品质损失不易减少。在实际操作中,有3个减少品质差异的方法:

(1) 消除不良原因

设法发现产品形成过程中的功能不良现象和原因,并予以消除。比如,某产品在使用过程发现有功能不良现象,经实地考察发现,其原因是该产品的使用环境温度温差太大,后告知客户在该产品室内装设空调,不良现象消除。

消除不良原因,还有一个是容差缩小法,例如发现某产品在使用中的系统性能,主要是受其中某一特定组件容差的影响,于是在设计、采购中将该组件的容差予以缩小。

(2) 剔除不良品

剔除不良品是将超过一定上下限 $m \pm \sigma$ 的产品视为缺点件,予以剔除。在通常情况下,可将 σ 值设定为 $\Delta < \Delta_0$,这样订定的上下限,可照顾到检测误差、产品坏损等因素。至于剔除件,可视情况另行修整或予以报废。由于产品的检验、报废、修整费用较大,通过剔除不良品来减少差异的方法,会使产品的生产成本加大。

(3) 降低杂音敏感度

降低产品对杂音因素的敏感度有很多方法:

- (a) 选用较廉价的材料或零配件。
- (b) 缩小制造容差。
- (c) 限制产品的使用环境。

在上述方法中,第一种方法较为适宜。

产品的品质特性,和该产品各项参数及各项杂音因素之间,有着极为复杂的非直接关系。由于产品参数及品质特性之间多为“非

直线关系”，因此由产品参数组成的不同组合，会形成截然不同的品质特性差异。因此努力发掘并运用这层非直线关系，找到一个适当的组合，以使品质特性得以靠近其目标值，而变异也变得最小。

一般而言，通过参数设计来改变产品性能时，产品的制造成本不致过高。但在容差设计中，降低容差将会增加制造成本。

四、工程设计与实验计划

1. 工程设计

工程设计作为产品研发中主要的一环，是完成有关产品的规格、标准及生产图纸，以供产品制造、供应客户需求之用。工程设计是以相关的学科知识、工程经验为基础来完成的。直交表的设计与应用，无疑为统计学的实验设计增添了一个新的技术层面，也使得产品设计人员最为关切的两个问题有了新的突破。

缓和或减轻产品功能在客户使用环境中的变异。

确保研发部门通过实验所作出的工程决策，与制造环境及客户环境相吻合。

2. 实验计划

一个策划良好的实验，可使实验的结果更接近于实际情况和需要。实验计划是从实验中产生结果的一项经济有效的方法，以支出最低限度的资源来获得所需要的设计参数。

现分别说明有关名词的意义如下：

(a) 实验计划

是一项进度和要求的安排，便于实验有效地进行。而实验，则是一项研究方法，事先选定某项独立的变量作随机变化，来研究其效应。

田口管理 365

(b) 安排

指实验的措施、计划、费用的支付等。

(c) 自变量

又称为独立变量或自变量，指实验中需要控制的变量或因素。

(d) 效应

指可以度量、观察的反应或因变数。

(e) 因素

指可以预先设定的原因，说明反应的大小。

3. 实验计划的构成

(1) 实验阶段

在实验阶段，主要注意以下问题：

(a) 问题的提出。

(b) 自变量、因变量和效应的选定。

(c) 计量型或计数型实验。

(d) 固定性或随机性变动。

问题的提出力求明确，要指出应测度何项反应、应予变动的各项因素。因素的层次也必须确定。还要事先制定因素组合、实验步骤等等。

(2) 设计阶段

在设计阶段，主要注意以下问题：

(a) 观察次数和假设的设定。

(b) 实验的顺序和次数。

(c) 使用的随机取样方法。

在设计阶段首先要根据检测的数量、目标，确定观察的次数、实验顺序、随机取样方法等等。假设的设定也要适当，要便于掌握非控制因素的效果，得以设计误差独立的假设。

(3) 分析阶段

(a)数据的采集和处理。

(b)数理统计。

(c)实验结果分析的数学模型。

在分析阶段,应对数据采集、处理程序、统计方法事先明确,以便以正确的图形及表格方式表达。有时还需根据实验结果,分析、决定是否应做进一步的实验。

4. 实验计划的作用

产品在不同的使用情况下,设计参数对产品性能的实际影响,需要花费很多的时间和人力,才能获取足够的信息资料。而实验计划则像一个时间的放大器,工程师仅通过实验工作,花费少得多的时间,就能获得足够多的信息资料。

实验计划的实施,有两项重要的任务:

(1) 作为品质的测度

有了关于品质的领先指标,才能评估某一特定的设计参数对该产品性能产生的影响。

(2) 通过必要的实验,获得各项设计参数

只有取得有关设计参数的准确的信息,才能避免在制造阶段、客户使用阶段再来进行设计上的修改。而且各项信息的取得,还力求节省时间、减少资源耗用。

完成实验计划所使用的工具是 S/N 比和直交表。 S/N 比用做品质的测度,直交表可以对多项不同设计参数同时进行研究。

五、缺点百分比

前面讲到的品质损失,是以该产品未能达到预期的设计标准,产生有害的副作用时,所发生的社会总损失。这个损失通常是难以

计量的，这是因为同一产品会因客户的不同、用途的不同和环境的不同而不同。然而，此项损失又必须要用一个数量来表示，以便于评估产品设计及制程的正确性、评估产品损失对客户的影响，并供产品决策参考。

品质损失虽为普遍使用的一项方法，但在实际操作上仍感不足且易产生误解。因此，对品质损失的计量要求简单、可行、节省检测费用。这里，我们引入另外一个品质损失检测的概念——缺点百分比。

缺点百分比，是指不良品与合格产品的比。运用这个方法的好处在于计算比较方便，但如此表达的不当之处在于：合格产品在特定的客户看来，其品质不合格产品同样良好或同样不良，因为合格产品被视为性能良好，而产品规格偏离目标愈远，则其品质愈差。

缺点百分比作为品质测度的不当，可用电视机彩色密度的一项示例来说明。日本某报曾刊载过一项有关消费者对索尼牌电视满意度的调查。据该调查报告指出，索尼日本厂及索尼美国厂的产品，均以同样的设计、同样的容差生产同一规格的彩电。而事实上，消费者却对索尼日本厂的电视机较为偏爱。是什么原因会使消费者表现出对两者品质的不同认知呢？索尼美国厂生产的电视机，平均约有0.3%的产品在规格限度以外，也就是几乎全部合格。因此消费者对两厂电视机的偏好差异，显然无法用缺点百分比来解释。

关于此项产品品质的认知差异的问题，如果对符合规格限度的产品再作详细的分类，就会更加明显。合格产品中其彩色密度最接近标准(m)者，自属性能最佳，可以订为等级A。彩色密度逐渐偏离 m ，产品性能也应当稍逊一筹，分别订为等级B、等级C。调查分析的结果，索尼日本厂的等级A产品，远较美国厂为多；而等级C产品则远较美国厂为少，换句话说，索尼日本厂的产品，平均等级较美国厂产品为高，无怪消费者对索尼日本厂的电视机会较为偏爱。

消费者对统一标准生产的产品,产生品质认知差异的原因就在于索尼美国厂所重视的是产品应符合容差限度,而索尼日本厂所重视的则是产品应符合目标。

六、工程容差设计

产品超出了容差范围就是废品,造成的品质损失将使其产品成本加大。但在另一方面,一项产品如果仅能符合容差规格,同样也将造成品质损失,而这种品质损失,却是客户可以知晓的,因而将严重不利于产品的销售,还影响企业的经营声誉。因此品质损失函数固然必须计及产品不符容差规格的品质损失,同时也必须计及产品符合容差规格所产生的品质损失。

一般说来,工程容差可写成 $m \pm \Delta$ 的方式。对于此一规格,不要以为产品落在 $(m - \Delta)$ 及 $(m + \Delta)$ 的范围之内者,就是属于合格产品;也不可以认为产品一旦超过此一范围之外者,均属于不良品。换言之,品质损失计量化比较适当的方式,是采用下述分段函数(公式2.9)所示。

$$L(y) = \begin{cases} 0 & \text{设 } |y-m| \leq \Delta \\ A & \text{其他情况} \end{cases}$$

在上述函数中, A 为产品的换置成本或修理成本。

努力减少产品制造的总成本(包括单位制造成本及品质损失),必须先从参数设计着手,然后妥善调整容差,以便在品质损失的降低和制造成本的增高两者之中,找出一个最佳的经济平衡点。

对某一产品或制程品质进行改善,投入的费用大致可分为两部

田口管理 365

分：一是与参数设计有关的 R&D 费用；一是因容差设计而提高单位制造成本的费用。

虽然参数设计不致引起单位制造成本的增加，但至少要付出 R&D 费用，用以研究各项控制因素的非线性关系。我们应用直交表及信号对杂音的两项工具，可使 R&D 的效率增加，从而节省 R&D 总成本。

第三章 品质评价 S/N 比法

在第一章田口方法里，我们讲到田口方法非常重要的工具之一，就是 S/N 比。S/N 比在表示品质优劣、设计优劣的测量以及品质工程评价上占据着重要的地位。

S/N 比最早应用于通信领域，被用来显示通信机器、回路的优劣、信号品质的优劣的特性值之一，它将信号强度 S 和杂音强度 N 的比值定名为 S/N 比。

1960 年，进行各种实验的目的、试验的方法及妥当性、有效性研究的田口玄一博士指出，S/N 比因为 S 、 N 所具备的意义、内容的类似性，和检测设备、计测方法的优劣及产品的动态特性的优劣是相同的。后来，田口玄一博士再将这个方法运用到作为检测设计优劣、制造过程的优劣、制品信赖性优劣之检测上，并广为各企业、各产业所运用，成果大幅提升。

一、S/N 比的由来

使用 S/N 比，将过去难以评价的设计优劣，或是感觉性的评价等无法定量性评价实际制品的特性，进行量化表示并有效地改善。

关于通信、测量、动态特性的 S 、 N 观点发展如下。

1. 通信用 S/N 比

当要用收音机收听远程电台节目时，会因声音太小而听不清楚，这时可以加大音量就可以使声音增大，但是这样并不一定能够更清楚地收听到节目，往往是声音越大，杂音也跟着变大，这是听不清楚的原因。为了要听得清楚，杂音小要比声音的大小来得重要。在

田口管理 365

通信关系中,测量装置、测量方式的好坏特性,不只是声音大小(功率)、信号强弱 S 与杂音 N 的相对性的大小了。随着通信技术的发展,声音功率的提高更加容易,因此, S 或 N 的大小就不再那么重要了,反而是两者的比值 S/N 的重要性越来越大。

2. 检测用 S/N 比

信号接收机不论在任何时间、任何地点、测量多少次所获得的值都相同称为相同值,都不同时称为相异值。信号强弱的指示值大小在电器或机械方面都可以轻易地获得。所以当指示值为 K 倍的同时,反复测量指示值的差异(测定的误差 N)也是 K 倍,也就是说接收机的精度在本质上是不变的。

改善检测装置和检测方法,必须是增大 S/N 比的值。检测时 S/N 比的计算,基本上是将不同大小的输入反复测定数次,以其反复测定时每一个测定误差与每单位输入的灵敏度,将各个值以平方计算出 N 、 S 值。

计算时依变异数分析的顺序加以计算,变异数分析所分解出来的各要因功率之中,哪一个 S ,哪一个 N ,再配合各自的问题,依目的、使用条件等加以解决。例如等间隔刻度的测量器,可以从指示值的等间隔读出误差,指示输出之中只对于输入的比例部分当作是 S ,以外的部分则包含了误差在内。在使用时,可以一边校正基准点一边使用测量器。由于以基准点的长时间变动为基础之误差部分,在校正时被除去,所以除去了 N 的计算。

3. 动态特性 S/N 比

这里所说的动态特性是指如同汽车的操纵性、压延材料的压延性等,可以配合使用时的目标值加以调整,表示具有这种调节性能的用语。例如轿车想要向右大转时的方向盘可以正确地向右大转,

想要向左小转时，就能确实地向左小转。准备向右大转，而且也转动了方向盘，可是方向仍然不变，或者突然改变方向小转而进入错误的车道，这种情形绝对不会发生在性能正常的车子上。对于压延材料，想要1mm时就能无变异地做出1mm，想要2mm厚时，也可以依希望获得2mm的厚度。表示这种调整性优点(容易调整、确实、安定的综合性优点)的特性称为主动的动态特性。

这个动态特性的优点是输入可以调整(灵敏度 S 大)，而且随输入的大小在任何时候都可以获得相同的结果来表示其差异小(误差 N 小)，所以和测量时相同，可以用 S/N 比来加以评价。

从方向的变化量(回转半径)、压缩量等调整效果的大小来求得 S ，从包含误差要素(例如载重量、道路条件、车速、气候、压延温度、滚筒速度、测定位置等造成变异的原因)的误差求得 N ，计算 S/N 比。

4. 其他特性值的使用

动态特性可调整性的优点可以用 S/N 比来表示。对那些希望变异小，或操作加工受误差因素左右的情况，如何获得稳定的产品品质是最大的问题，或者说对产品进行设计时，如何保证产品能够稳定的加工制造是需要关心的主要问题。

功能相似的产品，由于设计不同，即使是在相同水平的生产设备上完成加工制造，其结果会是不尽相同。有些产品的品质几乎没有任何问题，而有些产品则无法顺利生产，质量问题不断。因此，品质工程要求在设计阶段对零件设计参数正确选择，不单只是要达到设计性能，更重要的是要从满足性能的设计中选择出最安定的设计参数，确保产品品质不受零件、材料的变异或劣化，制造条件的变异或变动，环境条件的差异或变化的影响。为达到安定的产品品质而推荐使用 S/N 比。

在实际的制造过程中，产品受到材料、零件的变异或生产变动、

季节、设备等条件的影响,会使产品的特性偏离目标值。而常用的对策则是采用追加加工工艺或变更加工条件这种头痛医头、脚痛医脚的方法,常常出现前一个问题的处理方法是提高加工温度,后一个问题的处理方法则是降低温度。所以尽量不要在问题发生了再来寻找对策,最好能在设计阶段就选择对制造条件变异感觉迟钝、较不易发生质量问题的设计参数。

5. 参数设计

参数设计就是以 S/N 比来测量的系统解决方法。生产环境或生产条件的变异,对于目标性能影响的大小,可以通过改变设计参数来加以控制。

这里所说的改变参数是选择最适当 S/N 比的因素和水准。由于实际应用中需要检查的参数很多,所以往往设计直交表来加以实验。要对直交表实验进行计划,以保证参数的特性值在每一个实验处理中都能够计算出 S/N 比值。由于一般的实验规模通常都很大,必须慎重选择适当的实验规模、因素和水准的选取、交互作用的对应和 S/N 比值等。

S/N 比的计算说起来很简单,但是具体的计算还要根据目的特性值(往往不止一个)的种类(计量值、计数值、百分率、动态特性、静态特性、望小特性、望大特性、望目特性等)、校正方法、改善目的的不同,可以分为 S 的计算式、 N 的计算式、 S/N 比的计算式、加入 S 的效果、加入 N 的效果、 S 、 N 都不加入的效果等多种,且各自都有其计算式和方法。

二、S/N比基础

1. 性能与变异

对产品性能的评价对不同的产品的差别不大。例如，自动售货机是一个丢钱进去就跑出要求产品的装置，如果其性能可以完全维持正确的话，这就是一个完全性能的产品。

零配件的性能，是指尺寸、形状、强度等目标性能。当零配件的尺寸或形状等符合目标值时表示该零配件具有理想性能。而对于强度等，则无限大是其理想性能。工作机械一般必须依设计制造出相应的目标尺寸或目标形状，所以也必须具备动态性能。例如，灯泡的性能是输入电源发出目标亮度的光。在标准使用条件(输入电源的电压、温湿度的条件等具有基准值的条件)的基础下所拥有的目标值，是该条件基础下的理想状况。即使对于现实上所产生的电压变化等的环境条件的变化，最好也不要亮度的变化。也就是说，在消费者的各种使用条件下，在灯泡的设计寿命期间，亮度随时和目标值相等，称之为理想性能的灯泡。

零件的尺寸等也不只在组合时才需要具备目标尺寸，尤其是耐久消耗材料，最好不要因为温度的变化或耗损而产生尺寸的变化。因此，像灯泡的亮度或零件的尺寸等，希望维持在某一个有限的目标值，这个要求称之为望目特性。

2. S/N比的应用由来

在处理信息的通信领域，早就采用了 S/N 比来评价通信系统的品质水准。使用测定器来测定全输出之中的信号强度 P_s 和杂音的强度 P_N 两者之比，称为 S/N 比。

田口管理 365

$$\eta = \frac{\text{信号强度}}{\text{杂音强度}} = \frac{P_S}{P_N} \quad (3.1)$$

对公式(3.1)取常用对数的 10 倍, 换算成分贝值的 S/N 比。

$$\eta = 10 \lg \frac{P_S}{P_N} \quad (3.2)$$

通信系统的改善使用公式(3.2), 做分贝值的 S/N 比的比较, 比较后分贝值的差称为增益。在开发电子显微镜的研究当中, 把想看的对象信号定义为 M , 其它各种杂音源为 x_1, x_2, \dots, x_k , 画像浓度为 y 。这些参数的关系式为:

$$y = f(m, x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.3)$$

则 S/N 比

$$\eta = \frac{(\frac{\partial f}{\partial M})^2}{(\frac{\partial f}{\partial x_1})^2 \sigma_{x_1}^2 + \dots + (\frac{\partial f}{\partial x_k})^2 \sigma_{x_k}^2} \quad (3.4)$$

式中, $\sigma_{x_1}^2, \dots, \sigma_{x_k}^2$, 是杂音 x_1, x_2, \dots, x_k 的变异。

公式 (3.4) 的分子, 是对于输入信号的感度的大小。分母是输出 y 的杂音大小。设计研究时使用的是公式 (3.4) 的分贝值。

由于对信号 M 输出的影响并不是线性的, 因此公式(3.4)并没有考虑信号被分割或消失的偏差率, 这些并不以偏差度来另外研究的影响, 通常是将其加入分母的杂音大小之中一起考虑的。

对于信号输出之非线性包含误差在内, 应该如何来求得 S/N 比, 这个问题是通信领域内的重要问题。因为对于信号输出变化的大小可以另外求得, 所以一定要有输出安定性的评价。

频率分析所使用的调和解析, 即使信号是从许多频率中合成的, 求每一个频率成分的信号强度和, 可以从杂音的输出求得信号的

输出。

3. 变异分析和 S/N 比计算

要想求得合理的 S/N 比, 设计者一定要解决以下四个阶段的问题。

(1) 理想的输入和输出关系

这里不论输入或输出都为计量值, 输入是 M , 输出是 y , 理想关系为:

$$y = \beta_0 M \quad (3.5)$$

(2) 输出 y 包含的变量

实际输出 y 是信号 M 及各种误差因素 x_1, x_2, \dots, x_k 的函数。

$$y = f(M, x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.6)$$

(3) 从信号 M 和杂音 x_1, x_2, \dots, x_k 的空间, 选出 n 个点, 来求出 y 值。

$$y_i = f(M_i, x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_k^{(i)}) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3.7)$$

y 的值为 y_1, y_2, \dots, y_n 。以信号 M 是零时的 y 值为基准, 来求 y 的值 y_1, y_2, \dots, y_n 。换句话说, 就是进行原点校正。

(4) 求 S/N 比

以下一个公式来求得全变动 S_T 、比例项的变动 S_B 、误差变动 S_e 。

$$S_T = y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2 \quad (3.8)$$

$$S_B = \frac{M_1 y_1 + M_2 y_2 + \dots + M_n y_n}{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_n^2} \quad (3.9)$$

$$S_e = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta M_i)^2 \quad (3.10)$$

再求出最小的 β 值

$$\beta = \frac{M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_n y_n}{M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_n^2} \quad (3.11)$$

将公式(3.11)代入公式(3.10), 则成为

$$\begin{aligned} S_e &= \sum_{i=1}^n (y_i - \beta M_i)^2 \\ &= \sum y_i^2 - 2 \sum M_i y_i + (\beta)^2 \sum M_i^2 \\ &= \sum y_i^2 - 2 \frac{(\sum M_i y_i)^2}{\sum M_i^2} + \frac{(\sum M_i y_i)^2}{\sum M_i^2} \\ &= \sum y_i^2 - \frac{(\sum M_i y_i)^2}{\sum M_i^2} \end{aligned} \quad (3.12)$$

然后, 用公式(3.9)求得比例项的大小, 可以将其改写为

$$\sum y_i^2 = S_e + S_b \quad (3.13)$$

全变动 S_T 可分解为 S_b 和 S_e 的和。

S_b 的内容是

$$E(S_b) = \sigma^2 + (M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_n^2) \beta^2 \quad (3.14)$$

输入信号的单位量变化, 输出值的变化是 β , 而 β^2 加入输入信号的变化大小为

$$(M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_n^2) \beta^2 \quad (3.15)$$

为了求出信号的全输出, 最好减去包含在 S_b 之中的误差变异 σ^2 , 误差变异是误差变动 S_e 除以自由度 $(n-1)$ 推定而来。

$$\text{信号的全输出 } S_{\beta'} = S_{\beta} - V \quad (3.16)$$

对于信号强度的单位变化，输出的大小是 β^2 ，其值是以公式 (3.17) 来推定。

$$\beta^2 = \frac{1}{M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_n^2} (S_{\beta} - V_e) \quad (3.17)$$

在 S/N 比，以这为信号的大小，此点和公式 (3.4) 的分子几乎相同，但是，在变异数分析中，还包含了 β^2 的变化。

$$V_e = \frac{S_e}{n-1} \quad (3.18)$$

式中，包含了信号大小变化或非线性的部分，可以通过公式 (3.19) 求得 S/N 比 η 值。

$$\eta = \frac{\frac{1}{r} (S_{\beta} - V_e)}{V_e} \quad (3.19)$$

式中， r 为有效除数（又称有效反复数）。

$$r = M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_n^2 \quad (3.20)$$

S/N 比的改善是采用公式 (3.19) 的常用对数的 10 倍分贝值：

$$\text{分贝单位的 S/N 比 } \eta = 10 \lg \frac{\frac{1}{r} (S_{\beta} - V_e)}{V_e} \quad (3.21)$$

这个 S/N 比没有包含公式 (3.4) 的缺点，换句话说，信号变异所产生的误差，并没有包含在分母内的缺点。因此，这里所表示的 S/N 比应用的范围非常广，不只是电器通信方面，机械、电器、化学等方面也经常使用。

三、S/N比的求法

1. 计量值的S/N比求法

(1) 计量值 S/N 比基本理论

求 S/N 比时, 测定值可以分为计量值和计数值两大类。测定值为计量值时, 在求 S/N 比的变异数分析中, 为了能求出 1 次效果, 可以大致分类为是否设定信号因素。而且, 更可以利用其中表示信号因素(输入)和数据(输出) y 关系的函数图形的差异, 来加以分类。

表 3-1 中(1)、(2)、(3)是知道有关信号因素的水准值或间隔值, 相当于能够十分正确地计算信号因素的一次效果的情况, 尤其是(2)、(3)。即使信号因素水准值的绝对值不正确, 只要能正确地设定出其间隔或水准值的关系, 就能够正确地计算出一次效果。(4)是无法知道信号因素水准值和间隔值的情况, 所以无法正确计算出一次效果。(5)是在没有信号因素, 望小特性或望大特性等的情况。

表 3-1 计量值 S/N 比求法的分类

1. 知道信号因素真值的情况 (1) 零点比例式 (2) 基准点比例式 (3) 一次式 (4) 无校正 (5) 定点校正
2. 知道信号因素水准值的间隔值或间隔比 (1) 基准点比例式 (2) 一次式
3. 知道信号因素水准值之比 (1) 零点比例式 (2) 一次式
4. 信号因素的真值不清楚的场合 (1) 精度不良时: 试料间的变动为信号 (2) 精度不良时: M_{res} 不是误差 (3) 利用信号的加法性
5. 没有信号因素的情况 (1) 望目特性时: 相对变异的 S/N 比 (2) 望小特性时: $\sum y^2$ (3) 望大特性时: $\sum \frac{1}{y}$ (4) 望大特性时: 平均值的 S/N 比 相对变异的 S/N 比
6. 特别的计算时 (1) 以偏差值数据计算时的原本 S/N 比的变换 (2) 反复不全时的计算

田口管理 365

以下的说明,是针对控制因素的各水准而言。信号因素是一项,其余全部看成是误差因素的实验,可以获得如表 3-2 的数据。对于真值 M_i ($i=1, \dots, k$) 的信号,进行 r_0 次反复的实验,获得数据 y_{ij} ($j=1, 2, \dots, r_0$)。 y_i 表示对于信号 M_i 数据的和。

表3-2 信号因素与数据

信号	M_1	M_2	M_3	...	M_k
数据	y_{11}	y_{21}	y_{31}	...	y_{k1}
	y_{12}	y_{22}	y_{32}	...	y_{k2}
	y_{1r_0}	y_{2r_0}	y_{3r_0}	...	y_{kr_0}
合计	y_1	y_2	y_3	...	y_k

这里所求的 S/N 比是真数的 S/N 比,但是,为了将其作为特性值来解析有关控制因素的效果,使用常用对数 10 倍的分贝值作为变换值。

$$10 \lg \eta (db)$$

(2) 知道信号因素真值的场合

知道了信号因素水准值的真值时,可以正确地计算信号因素的 1 次效果。与直线性的偏离(非线性部分)也包含在误差内,来预估误差变异。以输入(信号因素)M 和输出(数据)y 之间最理想的函数关系,来改变计算式。以下叙述几种最具代表性的函数关系式。

零点比例式: $M=0$ 时, $y=0$ 是最理想的关系场合

$$y = \beta M \quad (3.22)$$

基准点比例式: 通过某特定点的比例式是最理想关系的场合

$$y - y_s = \beta (M - M_s) \quad (3.23)$$

一次式: M 和 y 之间的直线关系是希望的校正式的场合。

$$y = \partial + \beta M \quad (3.24)$$

无校正：不校正计测器的刻度，以读值为测定值的场合。

$$y=M \quad (3.25)$$

定点校正：以某定点的偏差 σ 加以修正的场合。

$$y = m - \partial \quad (3.26)$$

输出与输入该有的关系形状，在考虑了系统的使用方法之后，可以由实验者来自行选择。以研究者所想出来的关系式，可以正确地计算出误差，这就是 S/N 比的基本想法。

(a) 零点比例式

信号因素亦即是输入为 M 。而 $M=0$ 时，输出 y 也很明显的是零（因为理论上还有零点校正）， y 和 M 的比例式

$$y = \beta M \quad (3.27)$$

是最理想的。实际的实验 y 是信号因素 M 和各种误差因素 x_1, x_2, \dots, x_n 的函数。

$$y = f(M, x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.28)$$

公式 (3.27) 和 (3.28) 的关系的差是误差 e 。

$$e = f(M, x_1, x_2, \dots, x_n) - \beta M \quad (3.29)$$

β 称为灵敏度，误差 e 与灵敏度 β 之比的平方平均是 S/N 比 β 的倒数。

$$\frac{1}{\eta} = \left(\frac{f(M, x_1, x_2, \dots, x_n) - \beta M}{\beta} \right)^2 \text{ 的平均} \quad (3.30)$$

实际上，以信号因素 M 的 k 水准 M_1, M_2, \dots, M_k ，从误差因素的空间选出 r_0 个的点，读出输出 y 的值。数据如表 3-2 所示。

从表 3-2 的数据，可求出比例定数 β 和 S/N 比 η 。

● 零点比例式的计算

为了使误差变异最小，推算出灵敏度数 β

田口管理 365

$$\beta = \frac{1}{r} (M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_k y_k) \quad (3.31)$$

式中 r 称为有效除数。

$$r = n_0 (M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_k^2) \quad (3.32)$$

这时候的 y 和 M 的关系式(零点比例式)是

$$y = \beta M \quad (3.33)$$

● 零点比例式 S/N 比的计算

为了求 S/N 比所做的变异数分析, 全变动 S_T 和信号因素的一次效果 S_β , 以下面的一般式来进行计算。

$$S_T = \text{各个数据的2次方和} = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \cdots + y_{kn}^2 \quad (3.34)$$

$$S_\beta = \frac{1}{r} (M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_k y_k)^2 \quad (3.35)$$

误差变动是

$$S_e = S_T - S_\beta \quad (3.36)$$

误差变异是以误差的自由度($kr_0 - 1$)来除误差变动,

$$V_e = \frac{1}{kr_0 - 1} S_e \quad (3.37)$$

整理变异数分析表, 得表 3-3, 从变异数的期待值, 求出 β^2 和 σ^2 的推定值是

表3-3 零点比例式的变异数分析表

要因	f	S	V	$E(V)$
信号 β	1	S_β	V_β	$\sigma^2 + r\beta^2$
误差 e	$kr_0 - 1$	S_e	V_e	σ^2
合计 T	kr_0	S_T		

$$\beta^2 = \frac{1}{r}(S_p - V_e) \quad (3.38)$$

$$\sigma^2 = V_e \quad (3.39)$$

因此, S/N 比 η 变成

$$\eta = \frac{\beta^2}{\sigma^2} = \frac{\frac{1}{r}(S_p - V_e)}{V_e} \quad (3.40)$$

● 零点比例式的计算例

为了求出新开发变位计的 S/N 比, 以精度良好的变位计来测定信号的变位值。改变测定者再测定两次, 获得表 3-4 的读值。变位 M 是零时, 变位计的对应值 y 也是零, 所以假定为零点比例式。

对表 3-4 进行变异数分析:

表 3-4 变位计的变位 M 与数据

变位 $M(\mu m)$	30	60	90
读值 R_1	65	136	208
读值 R_2	74	147	197
合计	139	283	405

$$S_T = 65^2 + 74^2 + \dots + 197^2 = 131879 \quad (f = 6) \quad (3.41)$$

$$r = 2 \times (30^2 + 60^2 + 90^2) = 25200 \quad (3.42)$$

$$s_p = \beta = \frac{M_1 y_1 + M_2 y_2 + \dots + M_n y_n}{M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_n^2}$$

$$\frac{(30 \times 139 + 60 \times 283 + 90 \times 405)^2}{r} = 57600^2 / 25200 = 131657.14$$

田口管理 365

$$(f = 1) \quad (3.43)$$

$$S_e = S_T - S_\beta = 131879 - 131657.14 = 221.86$$

$$(f = 5) \quad (3.44)$$

$$V_e = S_e / 5 = 221.86 / 5 = 44.37 \quad (3.45)$$

整理之后获得表 3-5 的变异数分析表。

表3-5 变位计零点比例式的变异分析表

要因	f	S	V	E(V)
信号 β	1	131657.14	131657.14	$\sigma^2 + r \beta^2$
误差 e	5	221.86	44.37	σ^2
合计 T	6	131879.00		

S/N 比值

$$\eta = \frac{1}{25200} \frac{(131657.14 - 44.37)}{44.37} = 0.1177 (1/\mu m)^2 \quad (3.46)$$

变换成分贝值

$$\eta = 10 \lg 0.1177 = -9.29 \text{ (db)} \quad (3.47)$$

灵敏度系数的推定值为

$$\beta = 57600 / 25200 = 2.285 \quad (3.48)$$

M 和 y 的关系式为

$$y = 2.258M \quad (3.49)$$

(b) 基准点比例式的情况

基准点为零点的比例式是最理想的状况。y 和 M 的理想关系为

$$y - \bar{y}_s = \beta(M - M_s) \quad (3.50)$$

实际使用的信号范围与零点有较大的距离。

● 基准点比例式数据处理

从表 3-2 的数据, 变换为基准点校正的数据, 如表 3-6。

现说明以基准点数据的平均值作为基准点校正的情况。如果基准点的标准 M_s 相对读值为 $y_{s1}, y_{s2}, \dots, y_{sr_0}$, 则其平均值见公式 (3.51),

表3-6 基准点校正后的数据

信号	$M_1 - M_s$	$M_2 - M_s$	...	$M_k - M_s$
数据	$y_{11} - \bar{y}_s$	$y_{21} - \bar{y}_s$	...	$y_{k1} - \bar{y}_s$
	$y_{12} - \bar{y}_s$	$y_{22} - \bar{y}_s$	...	$y_{k2} - \bar{y}_s$

	$y_{1r_0} - \bar{y}_s$	$y_{2r_0} - \bar{y}_s$	...	$y_{kr_0} - \bar{y}_s$
合计	y_1	y_2	...	y_k

$$\bar{y}_s = (y_{s1} + y_{s2} + \dots + y_{sr_0}) / r_0 \quad (3.51)$$

将表 3-6 中的读值减去 M_s , 标准值减去 M_s , 重新计算。由于基准点的选择方法, $M_i - M_s$ 值也可能变为负数。 y_j 是重新计算出的数据之和。

平均值之外, 另外取出一个基准点的读值, 或者反复使用第一次的基准点的读值, 因此基准点校正的方法是有任意性的。

田口管理 365

● 基准点比例式的推定

以下面这个公式来推定最适当的基准点比例式的灵敏度系数。

$$\beta = \frac{1}{r} [y_1(M_1 - M_s) + y_2(M_2 - M_s) + \cdots + y_k(M_k - M_s)] \quad (3.52)$$

有效除数是

$$r = r_0 [(M_1 - M_s)^2 + (M_2 - M_s)^2 + \cdots + (M_k - M_s)^2] \quad (3.53)$$

回归式是

$$y - \bar{y}_s = \beta (M - M_s) \quad (3.54)$$

● 基准点比例式 S/N 比的计算

表 3-6 的数据是零点比例式数据的计算结果，而误差的自由度正好和零点比例式的情况相同。全变动与信号因素的一次效果，可以用以下的一般公式来计算。

$$S_r = \text{各个数据 } (y_{ij} - \bar{y}_s) \text{ 的 2 次方和} \quad (3.55)$$

$$S_\beta = \frac{1}{r} [y_1(M_1 - M_s) + y_2(M_2 - M_s) + \cdots + y_k(M_k - M_s)]^2 \quad (3.56)$$

误差变动为

$$S_e = S_r - S_\beta \quad (3.57)$$

误差变异是

$$V_e = \frac{1}{k_0 - 1} S_e \quad (3.58)$$

变异数分析整理后见表 3-7。

表3-7 基准点比例式的变异数分析表

要因	f	S	V	E(V)
信号 β	1	S_{β}	V_{β}	$\sigma^2 + r\beta^2$
误差 e	$kr_0 - 1$	S_e	V_e	σ^2
合计 T	kr_0	S_T		

S/N 比 η 是以

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_{\beta} - V_e)}{V_e} \quad (3.59)$$

加以计算。

如果将 $M_i - M_s$ 改写为 M_i ， $y_{ij} - \bar{y}_s$ 改写为 y_{ij} ，那么在形式上和 (a) 的零点比例式是相同的。

$$S_T = \text{各个数据的 2 次方和} = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \cdots + y_{kn}^2 \quad (3.60)$$

$$\beta = \frac{1}{r}(M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_k y_k) \quad (3.61)$$

$$r = r_0(M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_k^2) \quad (3.62)$$

$$S_{\beta} = \frac{1}{r}(M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_k y_k)^2 \quad (3.63)$$

往后的计算如同公式(3.57)到公式(3.59)。

注：进行基准点校正时，计算出的全变动的自由度是 $(kr_0 - 1)$ 。因此，误差的自由度是 $(kr_0 - 2)$ 。除了计算使用的数据之外，基准点校正时，全变动的自由度是 kr_0 。误差的自由度是 $(kr_0 - 1)$ 。严格说来，这两者要加以区别，但在误差自由度的实验中，因为差小，可以简单地将它统一为 $(kr_0 - 1)$ 。

田口管理 365

● 基准点比例式的计算例

以求出测定烯类浓度分析计的 S/N 比作为例子。信号因素采用四种浓度的标准液。分析计以 5% 的标准作为分析基准，在基准点比例式校正时使用。改变测定者，进行 2 次测定，得表 3-8 的数据。

表3-8 烯类浓度测定数据

浓度 M (%)	5	10	15	20
R_1	5.2	10.3	15.4	20.1
R_2	5.0	10.1	15.5	20.3

现在来进行变异数分析。首先，进行数据的前处理，因为 $M = 5\%$ 的数据平均是 $\bar{y}_s = (5.2 + 5.0) / 2 = 5.1$

所以各数据减掉这个值，也就是进行数据基准点的校正。结果见表 3-9。

表3-9 烯类浓度测定数基准点校正

浓度 M (%)	5	10	15	20
M'	0	5	10	15
变换后读值 R_1	0.1	5.2	10.3	15.0
变换后读值 R_2	-0.1	5.0	10.4	15.2
合计	0.0	10.2	20.7	30.2

第三章 品质评价 S/N 比法

$$s_r = 0.1^2 + (-0.1)^2 + \cdots + 15.2^2 = 722.35 \quad (f=8) \quad (3.64)$$

$$r = 2 \times (0^2 + 5^2 + 10^2 + 15^2) = 700 \quad (3.65)$$

$$s_\beta = \frac{(0 \times 0 + 5 \times 10.2 + 10 \times 20.7 + 15 \times 30.2)^2}{700} = \frac{711^2}{700} = 722.1729 \quad (f=1) \quad (3.66)$$

$$s_e = s_r - s_\beta = 722.35 - 722.1729 = 0.1771 \quad (f=7) \quad (3.67)$$

$$V_e = s_e / 7 = 0.1771 / 7 = 0.0253 \quad (3.68)$$

整理后,得表 3-10 的变异数分析表。

表3-10 烯类浓度基准点比例式变异数分析表

要因	f	S	V	E(V)
信号 β	1	722.1729	722.1729	$\sigma^2 + r \beta^2$
误差 e	7	0.1771	0.0253	σ^2
合计 T	8	722.35		

S/N 比是:

$$\eta = \frac{\frac{1}{700} (722.1729 - 0.0253)}{0.0253} = 40.76(\%)^2 \quad (3.69)$$

变换成分贝值为

$$\eta = 10 \lg 40.76 = 16.10 \text{ (db)} \quad (3.70)$$

感度系数的推定值为

$$\beta = 711 / 700 = 1.015 \quad (3.71)$$

M 和 y 的关系式是

$$y - 5.1 = 1.0157 (M - 5) \quad (3.72)$$

田口管理 365

(c) 一次式的场合

在信号因素和数据之间没有特别的限制的情况。在 M 和 y 之间，可以先假定出一次式

$$y = \alpha + \beta M \quad (3.73)$$

同时推定出函数必要的参数 $\alpha + \beta$ ，作为计算误差变异的方法。

● 一次式的推定

将一次式按照以下直交多项式的形式来推定必要的参数。

$$y = m + \beta(M - \bar{M}) \quad (3.74)$$

参数 $m + \beta$ ，按下式推定。

$$m + \bar{y} \quad (3.75)$$

$$\beta = \frac{1}{r} [y_1(M_1 - \bar{M}) + y_2(M_2 - \bar{M}) + \dots + y_k(M_k - \bar{M})] \quad (3.76)$$

$$\bar{M} = (m_1 + m_2 + \dots + M_k) / k \quad (3.77)$$

有效除数是

$$r = n_0 [(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + \dots + (M_k - \bar{M})^2] \quad (3.78)$$

函数式

$$y = m + \beta(M - \bar{M}) \quad (3.79)$$

● 一次式 S/N 比的计算

为了求得 S/N 比的变异数分析。全变动、一般变动以及信号因素的一次效果用以下公式来进行计算。

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{kn}^2 \quad (3.80)$$

第三章 品质评价 S/N 比法

$$S_m = (\sum y_{ij})^2 / kr_0 \quad (3.81)$$

$$S_b = \frac{1}{r} [y_1(M_1 - \bar{M}) + y_2(M_2 - \bar{M}) + \dots + y_k(M_k - \bar{M})^2] \quad (3.82)$$

● 一次式的计算例

以塑料的挤塑成形为例。以挤出压力为信号，来控制产品的尺寸。为了求这种系统的 S/N 比，让挤出压力发生变化来进行成形加工，并测量两个产品的尺寸，获得表 3-11 的数据。这里的直线关系并没有给予特别的限制，而设定为一次式。

表 3-11 塑胶挤出产品尺寸测定数据

压力(kgf/cm ²)	30	40	50	60
(M - \bar{M})	-15	-5	5	15
数据 R ₁ (cm)	4.608	4.64	4.682	4.718
数据 R ₂ (cm)	4.590	4.65	4.67	4.702
合计	9.198	9.29	9.352	9.420

在表 3-11 中，计算出变异数分析使用的 (M - \bar{M}) 的值。在这里 $\bar{M} = 45$ 。

下面进行变异数分析

$$S_T = 4.608^2 + 4.490^2 + \dots + 4.702^2 = 173.552216 \quad (f = 8) \quad (3.83)$$

$$S_m = (9.198 + \dots + 9.420)^2 / 8 = 37.26^2 / 8 = 173.53845 \quad (f = 1) \quad (3.84)$$

$$r = 2 \times [(-15)^2 + (-5)^2 + 5^2 + 15^2] = 1000 \quad (3.85)$$

$$S_b = \frac{[(-15) \times 9.198 + \dots + 15 \times 9.42]^2}{1000} = \frac{3.64^2}{1000} = 0.0132496 \quad (f = 1) \quad (3.86)$$

田口管理 365

$$S_e = S_T - S_m - S_\beta = 173.552216 - 173.53845 - 0.0132496 = 0.0005164$$

$$(f = 6) \quad (3.87)$$

$$V_e = S_e / 6 = 0.0005164 / 6 = 0.0000861 \quad (3.88)$$

整理后的变异分析见表 3-12。

表3-12 塑胶挤塑成形一次式变异分析表

要因	f	S	V	$E(V)$
平均 m	1	170.53845	170.53845	$\sigma^2 + 4 \times 2 \sigma m^2$
信号 β	1	0.0132496	0.0132496	$\sigma^2 + r \beta^2$
误差 e	6	0.0005164	0.0000861	σ^2
合计 T	8	173.55216		

S/N 比是

$$\eta = \frac{1}{1000} \frac{(0.0132496 - 0.0000861)}{0.0000861} = 0.1529$$

$$\eta = 10 \lg 0.1529 = -8.156 (\text{db}) \quad (3.89)$$

平均值 m 与灵敏度系数 β 的推定值为

$$m = 37.26/8 = 4.6575 \quad (3.90)$$

$$\beta = 3.64/1000 = 0.00364 \quad (3.91)$$

M 和 y 的关系式为

$$y = 4.6575 + 0.00364(M - 45) \quad (3.92)$$

(d) 无校正的时候

当认为量测器所显现的刻度是正确的而不用修正, 则在 M 和 y 之间假设具有的关系。以灵敏度 $\beta = 1$ 来求出 S/N 比。

$$y = M \quad (3.93)$$

信号因素 $M_i (i=1,2,\dots,k)$ 所获得的数据 $y_{ij} (j=1,2,\dots,r_0)$ 的误差 e_{ij} 是

$$e_{ij} = y_{ij} - M_i \quad (3.94)$$

因为误差变动是误差的平方和, 所以

$$S_e = \sum e_{ij}^2 = \sum (y_{ij} - M_i)^2 \quad (3.95)$$

误差变异是误差变动除以自由度

$$V_e = S_e / k r_0 \quad (3.96)$$

S/N 比以

$$\eta = 1/V_e \quad (3.97)$$

来加以计算。

(e) 定点校正的场合

只以定点 M_i 的读值 y_i 的偏差来修正全部的数据。 M 和 y 的校正假定是

$$y = M + \alpha \quad (3.98)$$

的关系, 以灵敏度 $\beta = 1$ 求出 S/N 比。

现在再来求出偏差 α , 如果定点的标准 M_i 的读值 $y_{s1}, y_{s2}, \dots, y_{sr_0}$, 则其平均值是 \bar{y}_s

$$\bar{y}_s = (y_{s1} + y_{s2} + \dots + y_{sr_0}) / r_0 \quad (3.99)$$

因此, 与定点的偏差 α 的推定值是 $\hat{\alpha} = \bar{y}_s - M_i$

信号因素 $M_i (i=1,2,\dots,r_0)$ 所获得的数据 $y_{ij} (j=1,2,\dots,r_0)$ 的误差 e_{ij} 是 $e_{ij} = y_{ij} - \alpha - M_i$

因为误差变动是误差的二次方和

$$S_e = \sum e_{ij}^2 = \sum (y_{ij} - M_i)^2 \quad (3.100)$$

误差变异是误差变动除以自由度

$$V_e = Se / (kr_0 - 1) \quad (3.101)$$

S/N 比以

$$\eta = 1/V_e \quad (3.102)$$

来加以计算。

(3) 水准值的间隔值或间隔比

对于信号因素的一次效果 S_j ，只要知道信号因素的间隔，就可以正确地计算了。虽然信号因素水准值的绝对值不明确，但是可以设定其间隔。这时候即使不知道正确的间隔值，或者仅知道是等间隔，例如间隔 $(M_1 - M_2)$ 是间隔 $(M_2 - M_3)$ 的2倍，那么以某值 h 为单位的几倍就可以了。

[例1] 成分含有率的分析

将含有率分别为 $\alpha\%$ 和 $\beta\%$ 的A、B两种试料，经充分混合之后，可以制造出各种含有率的试料。现在，如果 M_1 是A:B=0.2:0.8， M_2 是A:B=0.4:0.8，…，以此类推，则

$$M_1 = \alpha + 0.8(\beta - \alpha) \quad (3.103)$$

$$M_2 = \alpha + 0.6(\beta - \alpha) \quad (3.104)$$

$$M_3 = \alpha + 0.4(\beta - \alpha) \quad (3.105)$$

$$M_4 = \alpha + 0.2(\beta - \alpha) \quad (3.106)$$

$$M_5 = \alpha \quad (3.107)$$

即使无法正确地知道 α 、 β 的值，但由于这种信号因素水准是等间隔的，其间隔为 $0.2(\beta - \alpha)$ ，仍然可以通过水准的等间隔性来求解。这种信号因素的求解方法，在了解实际试料的计测误差的实验中是非常有用的。

[例2] 制品重量 S/N 比

为了测定某制品重量的 S/N 比, 准备两个小质量的砝码 A 和砝码 B。A 和 B 的质量分别经过精确测定, 得到十分精确的 M_A , M_B 。当制品很重时, 如果要准备一个和制品重量相近的砝码, 是很困难的。然而, 小质量的砝码就容易准备得多。为了求与制品质量相近之秤的 S/N 比, 先拿一个稍微轻的制品 M_C , 制品和砝码组合之后, 可以产生四种信号因素的水准。

$$M_1 = M_C \quad (3.108)$$

$$M_2 = (M_C + M_B) : (M_2 - M_1) = M_B - M_A \quad (3.109)$$

$$M_3 = (M_C + M_A + M_B) : (M_3 - M_2) = M_A \quad (3.110)$$

$$M_4 = (M_C + M_A + M_B) : (M_4 - M_3) = M_A \quad (3.111)$$

由于已知 M_A 和 M_B , 所以知道水准值的间隔, 即公式(3.109)到公式(3.111)。与平均值的差是

$$M_1 - \bar{M} = -(M_A - M_B)/2 \quad (3.112)$$

$$M_2 - \bar{M} = +(M_A - M_B)/2 \quad (3.113)$$

$$M_3 - \bar{M} = -(M_A - M_B)/2 \quad (3.114)$$

$$M_4 - \bar{M} = +(M_A - M_B)/2 \quad (3.115)$$

因此, 即使不知道制品的准确重量 M , 只要知道砝码的质量, 也就可以正确地知道间隔或与平均值的差, 就能够正确地计算 S/N 比的一次效果。

M 和 y 之间的函数关系, 因为水准值的绝对值不清楚, 所以无法设定为原点比例式。如果知道水准值间的关系, 可能有基准点比例式和一次式两种情况。

(a) 基准点比例式的情况

以某基准点 M_s 为标准, 为了不与基准点有偏差, 以可以进行基准点校正为前提, 假设比例式的基准点为原点, y 和 M 的函数关系假

田口管理 365

定为

$$y - \bar{y}_s = \beta(M - M_s) \quad (3.116)$$

● 基准点比例式数据的前处理与信号因素的水准值变换

原始数据经过变换后,成为基准点校正数据。现说明以基准点的数据的平均值来进行基准点校正的情况。如果基准点的标准 M_s 相对的读值是 $y_{s1}, y_{s2}, \dots, y_{sr0}$, 其平均值为

$$\bar{y}_s = (y_{s1} + y_{s2} + \dots + y_{sr0}) / r_0 \quad (3.117)$$

将所有的读值减去 \bar{y}_s , 重新计算出如表 3-13 的数据。

表3-13 基准点校正后的数据

信号	$M_1 - M_s$ $M_1' h$	$M_2 - M_s$ $M_2' h$	...	$M_k - M_s$ $M_k' h$
读值	$y_{11} - \bar{y}_s$ $y_{12} - \bar{y}_s$...	$y_{21} - \bar{y}_s$ $y_{22} - \bar{y}_s$ ...	...	$y_{k1} - \bar{y}_s$ $y_{k2} - \bar{y}_s$...
	$y_{1r_0} - \bar{y}_s$	$y_{2r_0} - \bar{y}_s$	...	$y_{kr_0} - \bar{y}_s$
	y_1	y_2	...	y_k

基准点校正的方法,在这里取其平均值,具有任意性。

而且,关于标准值是先将每一个的值减去 M_s , 重新变为 $M_i - M_s$, 再将基准值间隔 $M_i - M_s$ 变换为假设单位 h , 就容易计算了。

$$M_i - M_s = M_i' h \quad (3.118)$$

● 基准点比例式的 S/N 比的计算

从表 3-13 数据,计算出信号因素的水准值。全变动和信号因

第三章 品质评价 S/N 比法

素的一次效果以下一个公式来加以计算。

$$S_T = \text{各个的数据 } (y_{ij} - \bar{y}_s) \text{ 的 2 次方和} \quad (3.119)$$

$$S_B = \frac{1}{r} (M_1' y_1 + M_2' y_2 + \cdots + M_k' y_k)^2 \quad (3.120)$$

$$r = r_0 (M_1'^2 + M_2'^2 + \cdots + M_k'^2) \quad (3.121)$$

误差变动为

$$S_e = S_T - S_B \quad (3.122)$$

误差变异是

$$V_e = \frac{1}{k r_0 - 1} S_e \quad (3.123)$$

以 h 为单位, 假设 S/N 比 η' 为

$$\eta' = \frac{\frac{1}{r} (S_B - V_e)}{V_e} \quad (3.124)$$

加以计算。这个 S/N 比是以 $h=1$ 计算得来的, 不会变成信号因素单位的负二次方。即使是假设的 S/N 比, 其准确度已经足够了。求对应于信号因素单位 S/N 比时, 把信号因素单位的数值加于 h, 变换为下一个公式。

$$\eta = \frac{\eta'}{h^2} \quad (3.125)$$

(b) 一次式的情况

在信号因素和数据之间, 没有特别限制地设定直线关系。在 M 和 y 之间, 假设有一次式

$$y = \alpha + \beta M \quad (3.126)$$

同时推定函数必要的参数 α 和 β , 计算误差变异的方法。

田口管理 365

● 一次式信号因素水准值的变换

信号因素水准值的变换如下:

$$M'_i = (M_i - \bar{M}) / h$$

换句话说, 信号因素的各水准值更改为与平均值之间的间隔, 以间隔 h 为单位, 值变换为 M'

$$M_1 - \bar{M} \rightarrow M'_1 h$$

$$M_2 - \bar{M} \rightarrow M'_2 h$$

...

$$M_k - \bar{M} \rightarrow M'_k h$$

变换后的值 M' 可以用在以下的计算中: 知道间隔的绝对值时, 不使用假设的单位 h , 而直接使用间隔的绝对值就可以了。

信号因素水准值是等间隔时的 M' 值, 由水准数 k 来决定。

● 一次式 S/N 比的计算

为了求出 S/N 比所做的变异数分析, 全变动、一般变动及信号因素的一次效果, 以及使用变换后的水准值 M' , 按以下公式计算:

$$S_m = (\sum y_{ij})^2 / k r_0 \quad (3.127)$$

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \cdots + y_{kr}^2 \quad (3.128)$$

$$S_p = \frac{1}{r} (y_1 M'_1 + y_2 M'_2 + \cdots + M_k y_k)^2 \quad (3.129)$$

$$r = r_0 (M_1'^2 + M_2'^2 + \cdots + M_k'^2) \quad (3.130)$$

(4) 已知信号因素的水准值之比

信号因素的水准值之绝对值虽然不知, 但是仍可以正确地设定其水准值的比。即使不一定知道正确的基准值, 但是只要知道基准值单位的倍数, 如只知道等比的水准, 或是 M_1 是 M_2 的几倍就可以了, 知道了信号因素水准的相互关系, 信号因素的一次效果就能够正确地计算出来。

例如，在化学分析中，求某成分之含有率的计测方法之 S/N 比时，如果能将某含有率的试料稀释为 1/2、1/4、1/8，就能够制造出比值为 1/2 的水准。而且，如果利用秤，也可能分割为质量的 1/2。如果这种情形一再重复，还是可以设定比值为 1/2 的水准。

水准值的绝对值虽然不清楚，在零点和最大的水准值的点 M_s 之间，取一个分割点，作为水准值，所以 M 和 y 之间的函数关系设定基准点比例式是不存在的，而零点比例式和一次式，这两种情况在实际应用当中还是适用的。不论任何情况，首先要将信号因素的水准值

$$M'_i = M_i / M_s$$

变换成为基准的值 M_s 数倍的形态

$$M_1 \rightarrow M'_1 M_s$$

$$M_2 \rightarrow M'_2 M_s$$

...

$$M_k \rightarrow M'_k M_s$$

在这里，作为基准值 M_s 可以是任意值，通常是取水准的最大值，变换后的水准值 M' 在以下的计算中使用。

注：等比取信号因素的水准时，与等间隔情形相比，测定区域常会变得宽广，在某个区域里直线性是成立的，但是，会发生范围变宽，直线性恶化或是全体的直线性恶化等情况。因此，以固有技术，知道直线性最佳的范围，或是区分成无数的区域来求 S/N 比等的技术是必要的。

(a) 知道信号因素时的零点比例式

信号因素的值 $M=0$ 时，数据 $y=0$ 是很明显的，而且假定信号因素 M 和数据 y 是成比例的， M 和 y 的函数关系假定为

$$y = \beta M \quad (3.131)$$

●S/N 比的计算

信号因素的水准值使用变换后的值 M' 来计算信号因素的一次

田口管理 365

效果。例如等比水准，且公比 $1/2$ ，水准数 $k=4$ 时则

$$M_1' = 1/8, M_2' = 1/4, M_3' = 1/2, M_4' = 1 \quad (3.132)$$

$$S_p = \frac{1}{r} \left(\frac{1}{8} y_1 + \frac{1}{4} y_2 + \frac{1}{2} y_3 + y_4 \right)^2 \quad (3.133)$$

$$S_p = \frac{1}{r} \left(\frac{1}{8} y_1 + \frac{1}{4} y_2 + \frac{1}{2} y_3 + y_4 \right)^2 \quad (3.134)$$

以 M_s 为单位，假设的 S/N 比是

$$\eta' = \frac{\frac{1}{r}(S_p - V_e)}{V_e} \quad (3.135)$$

来加以计算。这个 S/N 比是以 $M_s=1$ 来计算的，所以不会变成信号因素的单位的负二次方。求信号因素的单位所对应的 S/N 比时，在作为基准的水准 M_s 加入表示信号因素的单位的数值，变换为下一个公式。

$$\eta = \frac{\eta'}{M_s^2} \quad (3.136)$$

(b) 知道信号因素比时的一次式

在信号因素之间，设定没有特别规定的直线关系时，在 M 和 y 之间，可以假定一次式

$$y = \alpha + \beta M$$

同时推定必要的参数 α 和 β ，以误差变异来进行计算。

(5) 信号因素真值不明确の場合

(a) 信号因素真值的精度不良时

因为是在信号因素的水准值不正确时所使用的，所以值是以不明的试料的变动作为信号。计算出信号因素的变动 M_s ，从全变动 S_T 将其减去之后，剩余的就是误差项。换句话说，只有通过误差因素的反复与两次的交互作用，才能统合于误差项里。这个方法比较简单，只要信号 M 和数据 y 之间的直线关系成立，或足以使用精度十

分高的关系式。在使用这个方法时,要先确保信号以外的要因不会使数据产生太大的变化,这点是非常重要的。

直线关系设定的不同,会使全变动的分解方法产生变化,要考虑下列两种情况:

①比例式: $S_T = S_M + S_e$ 时

②一次式: $S_T = S_m + S_M + S_e$ 时

信号因素 M 的效果 S_M , 和一般平均 S_m 的计算及自由度虽然不同,但是基本的思想是相同的。在这里叙述有关比例式的情况。

●S/N 比的计算(比例式的情况)

以下要先进行变异数分析。全变动在计算时和知道真值的情况完全相同。1 次效果因为不知道信号因素的真值,所以无法计算,因此, M 的效果全体 S_M 看成信号的变动,按下式求解:

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \cdots + y_{k0}^2 \quad (3.137)$$

$$S_M = (y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_k^2) / r_0 \quad (3.138)$$

比例式的时候,信号的变动 S_M 的自由度是 k, 误差变动是以

$$S_e = S_T - S_M \quad (3.139)$$

来计算。误差的自由度是

$$f_e = kr_0 - k \quad (3.140)$$

所以,误差变异是

$$V_e = \frac{1}{kr_0 - 1} S_e \quad (3.141)$$

变异数分析表整理之后,得表 3-14。

表3-14 一次式的变异数分析表

要因	f	S	V	E(V)
信号 β	k	S_M	V_M	$\sigma^2 + k r_0 \sigma_M^2$
误差 e	$k r_0 - k$	S	V_e	σ^2
合计 T	$k r_0$			

S/N 比 η 是以

$$\eta = \frac{\frac{1}{L}(V_M - V_e)}{V_e} \quad (3.142)$$

来计算。在这里

$$r = r_0 \times \sigma_M^2 = r_0 \times (M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_k^2) / k \quad (3.143)$$

因为 M_i 的真值不明, 所以从大多数的 M_i 值来推定出变异 σ_M^2 。加入 M 的变异推定值 σ_M^2 , 是为了将 S/N 比的尺度合于真值的单位, 与在间隔不明时, 以大略间隔 h 的 2 次方来除, 是相同的想法。

(b) 精度不良时

虽然大略了解信号因素的水准值, 但是在误差相当大的情况, 与数据的直线性偏离, 难以判断是信号因素水准值的误差, 还是系统的非直线性误差, 虽然可以概略地计算出一次效果, 但表示与一次效果偏离程度的残差项 S_{Mres} , 并不可以当成误差。因此, 直线关系的设定, 可区分成以下两种情况:

比例式的情况: $S_T = S_\beta - S_{Mres} + S_e$

一次式的情况: $S_T = S_M + S_\beta + S_{Mres} + S_e$

基本上, M 的效果可分解为

$$S_M = S_\beta + S_{Mres}$$

●S/N 比的计算(一次式的情况)

和知道真值的情况相同, 以下面的公式来计算一般变动、全变动及信号因素的一次效果。虽然精度并不十分正确, 且一次效果的计算全部使用水准值 M_i 来加以计算。

$$S_M = (\sum y_{ij})^2 / k r_0 \quad (3.144)$$

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \cdots + y_{k0}^2 \quad (3.145)$$

$$S_p = \frac{1}{r} [y_1(M_1 - \bar{M}) + y_2(M_2 - \bar{M}) + \cdots + y_k(M_k - \bar{M})]^2 \quad (3.146)$$

$$r = r_0 [k(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + \cdots + (M_k - \bar{M})^2] \quad (3.147)$$

因为水准值不明确, 为了避免直线性不佳, 或是预估误差太大, 信号因素的残差项 $S_{M_{res}}$, 亦即是与一次效果的偏离, 以下列公式求得:

$$S_M = \frac{(y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_k^2)}{r_0} - S_M \quad (f = k-1) \quad (3.148)$$

$$S_{M_{res}} = S_M - S_p \quad (f = k-2) \quad (3.149)$$

一次式信号因素效果 S_M 的自由度是 $(k-1)$, 而残差项 $S_{M_{res}}$ 的自由度是 $(k-2)$ 。

误差变动按下式计算

$$S_e = S_T - S_M - S_{M_{res}} - S_p = S_T - S_M - S \quad (3.150)$$

误差的自由度是

$$f_e = k r_0 - 1 - (k-1) = k r_0 - k \quad (3.151)$$

误差变异是

田口管理 365

$$V_e = \frac{1}{kr_0 - k} S_e \quad (3.152)$$

整理变异数分析表, 见表 3-15。

表3-15 信号因素不明确时的一次式的变异分析表

要因	f	S	V	E(V)
一般平均m	1	S_m	V_m	$\sigma^2 + k_m \sigma^2 m^2$
信号 β	k	S_β	V_β	$\sigma^2 + r \beta^2$
残差 Mres	k-2	S_{Mres}	V_{Mres}	$\sigma^2 + r_0 \sigma^2_{Mres}$
误差 e	$k_0 - k$	S_e	V_e	σ^2
误差 e'	$k_0 - 2$	$S_{e'}$	$V_{e'}$	
合计 T	k_0	S_T		

残差项 V_{Mres} 比误差变异 V_e 大时, 尽管原因不明, 但可以判断 y 和 M 的关系为非直线的可能性为大。此外, V_{Mres} 与 V_e 相比若是同等或以下时, 可以判断残差项为误差, 为了增加误差的自由度, 将残差项和误差项进行合并来预估误差。合并的误差变异为 $V_{e'}$, 按下式计算。

$$V_{e'} = \frac{S_{Mres} + S_e}{kr_0 - 2} \quad (3.153)$$

而 S/N 比 η 为

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_{e'}} \quad (3.154)$$

(c) 信号的加法性

信号的效果具有加法性时, 可以用来作为求 S/N 比的实验计划。也就是在信号的给与方法上下工夫, 然后, 将与加法性的偏离当作误差来进行评价。信号具有加法性时, A 和 B 的信号同时给予时的输出 y_{A+B} , 应该等于给予 A 时的输出 y_A 和只给予 B 时的输出 y_B 之和 $y_A + y_B$ 。加法性的偏离, 就是将 y_{A+B} 和 $y_A + y_B$ 的差看成是误差。这样,

即使无法正确地知道每一个信号的个别值 M_A 、 M_B ，仍然可以求出误差。

当作信号的有 A 和 B 两种情况，如表 3-16，即给与 A、B 各自的信号(以 1 表示)，不给与的(以 0 表示)之 4 种组合，取 r_0 次的数据。

表3-16 利用信号的加法性求数据的方法

A	B	1	2	...	r_0
0	0	y_{11}	y_{12}	...	y_{1r_0}
0	1	y_{21}	y_{22}	...	y_{2r_0}
1	0	y_{31}	y_{32}	...	y_{3r_0}
1	1	y_{41}	y_{42}	...	y_{4r_0}

和前面一样，有取比例式或一次式的方法这两种情况。其变异数计算为

$$S_T = \text{数据的二次方和} \quad (3.155)$$

$$S_m = (\text{数据的总和})^2 / (\text{全数据数}) \quad (3.156)$$

$$S_{p(A)} = \frac{[(A_1 \text{的数据和}) - (A_2 \text{的数据和})]^2}{(\text{取 } A \text{ 的数据和}) \times 2} \quad (3.157)$$

$$S_{p(B)} = \frac{[(B_1 \text{的数据和}) - (B_2 \text{的数据和})]^2}{(\text{取 } B \text{ 的数据和}) \times 2} \quad (3.158)$$

$$S_e = S_T - S_m - S_{p(A)} - S_{p(B)} \quad (3.159)$$

因为误差变动的自由度 f_e 是 $4r_0 - 3$ ，所以误差变异是

$$V_e = S_e / f_e \quad (3.160)$$

在比例式时，S/N 比 η 是以

田口管理 365

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_m + S_{\beta(A)} + S_{\beta(B)} - 3V_e)}{V_e} \quad (3.161)$$

来计算。式中

$$r = r_0 \times [M_A + M_B]^2 + M_A^2 + M_B^2 \quad (3.162)$$

采用一次式时是以

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_{\beta(A)} + S_{\beta(B)} - 2V_e)}{V_e} \quad (3.163)$$

来计算。在这里

$$r = r_0 \times M_A^2 + M_B^2 \quad (3.164)$$

当有三个以上信号值时 S_{β} 项会增加,但仍然可以使用变异数分析法来求得 S/N 比。

(6) 没有信号因素の場合

在求 S/N 比的实验因素之中,不包含信号因素时,依据解析特性的种类,有很多种不同的计算方法。

(a) 望目特性的場合

对于系统的输出,有目标值时以望目特性来加以解析。为了使输出配合目标值,使信号因素的值变化而获得目标值。实验上包含有信号因素时,利用前文叙述过的方法,就可以求得 S/N 比。当实验上不包含信号因素时,在某些控制因素能够使平均值配合目标值的前提下,可将与平均值的差看成误差,来计算 S/N 比。

求 S/N 比的实验没有信号因素,只有误差因素,所以全变动 S_T 在技术上的零点时,可以分解为一般平均的效果 S_m 和误差项 S_e 。

$$S_T = y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_n^2 \quad (3.165)$$

$$S_m = (\sum y_i)^2 / n \quad (3.166)$$

$$S_e = S_T - S_m \quad (3.167)$$

$$f_e = n - 1 \quad (3.168)$$

因此,误差变异是

$$V_e = \frac{1}{n-1} S_e \quad (3.169)$$

在这里 n 是全数据数。

S/N 比 η 是以

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_m - V_e)}{V_e} \quad (3.170)$$

来计算。公式(3.169)的分子是平均值 m 的二次方的推定值, S/N 比表示变动系数 σ / m 的倒数的二次方。当某些信号因素使平均值产生变化时, 则假定与平均值的二次方比例的误差变异也产生变化。

再看看公式(3.169), 如果 S_m 的值很大时, 就可以对 S/N 比做充分的评价, 但当 S_m 的值与 V_e 的值相近似时, 以对数来求就不一定合适了。这时候, 以望目特性希望目标值接近零时, 情况会更恶化。因此, 以零为目标的望目特性(又称零望目特性)时, 使用以下的方法来求 S/N 比。因为目标值接近零, 所以使用公式(3.168)的误差变异 V_e , 来计算。

$$\eta = 10Lg(1/V_e) \quad (3.171)$$

(b) 望小特性的场合

非负值且越小越好的特性称为望小特性。望小特性时的 S/N 比的计算如下:

$$\eta = \frac{1}{V_e}, \quad V_e = \left(\frac{1}{n}\right) \sum y_i^2 \quad (3.172)$$

在此, n 是全数据数。

统计量 y_i 的平均, 就是在作为真数的 S/N 比上加入平均值 m 的二次方和变异, σ^2 公式为

$$E(y^2) = m^2 + \sigma^2 \quad (3.173)$$

一般说来, 平均值越小时, 变异也越小。虽然零是理想值, 当值有正有负又要以零为目标值时, 不做平均值的解析, 而是对这种

S/N 比做解析，也就是用望目特性来进行解析比较好。

(c) 望大特性的场合 (1)

非负值，希望越大越好的特性，称之为望大特性。望大特性的 S/N 比，以下一个公式来求得：

$$\eta = \frac{1}{V_e}, v_e = \left(\frac{1}{n}\right) \sum \left(\frac{1}{y_i}\right)^2 \quad (3.174)$$

式中， n 是全数据数。

进行这种变换，望大特性的倒数 $1/y$ ，则具有越小越好的特性，因此，可以和望小特性一样来解析。如果望大特性值 y 的平均值为 m ，变异的标准偏差为 τ 的话，倒数 $1/y$ 的二次方的平均值的期待值是

$$E(1/y)^2 = \frac{1}{m^2} \left(1 + 3 \frac{\tau^2}{m^2}\right) \quad (3.175)$$

因此，误差变异 τ^2 必须是平均值的二次方的三倍大才有效。但是，在望大特性的时候，一般而言平均值 m 比较大，误差变异 τ 比平均值的二次方 m^2 还小，误差因素的效果无法充分反应在 S/N 比上。因此，在望大特性的比较上，在可以正确取出误差因素，算出 S/N 比时，可以把 $1/y$ 当作望小特性加以解析，如果不是这种情况时平均值和变异则要个别加以解析。

(d) 望大特性的场合 (2)

在非负值且希望越大越好的望大特性之中，由于误差因素的选取方法上有问题，加上 S/N 比无法充分反映出变异，在做特性 y 的变异数分析时，平均值的 S/N 比和变异的 S/N 比的求法如下。

平均值的 S/N 比 η_m 是以

$$\eta_m = (S_m - V_e)/n \quad (3.176)$$

来计算。因为平均变动 S_m 比误差变异 V_e 大，所以，即使以

$$\eta_m = S_m/n \quad (3.177)$$

来计算, 也没有什么改变。在这里, n 是全数据数。

变异的 S/N 比是以

$$\eta = \frac{\frac{1}{n}(S_M - V_e)}{V_e} \quad (3.178)$$

来计算。一般来说, 无法充分取出误差因素的时候, 误差变异的评价会过小, 因此在变异的 S/N 比的效果上, 必须进行综合性判断。

(7) 特别计算的场合

(a) 以偏差数据来计算

进行变异数分析时, 数据的位数大、变动小时, 进行二次方的计算会引起位数遗漏。因此, 以数据 y_{ij} 减去信号因素的水准值 M_i 的 β_0 倍, 计算出偏差数据的情况也不少(通常 $\beta_0 = 1$)。

这时候, 如果使用以前的计算式来计算偏差数据, 虽然可以正确算出误差, 但是灵敏度系数 β 并不正确。为了变换成以本来的数据来计算 S/N 比, 应先进行以下的计算。

首先, 本来的灵敏度系数是

$$\beta = \beta_0 + \beta' \quad (3.179)$$

本来的 S/N 比是

$$\eta = \frac{\beta^2}{v_e} = \frac{\beta_0^2 + 2\beta_0\beta' + \beta'^2}{v_e} \quad (3.180)$$

另外, 以偏差数据求出的 S/N 比是

$$\eta' = \frac{\beta'^2}{v_e} \quad (3.181)$$

所以,

$$\eta = \frac{\beta_0^2 + 2\beta_0\beta'}{v_e} + \eta' \quad (3.182)$$

进行以上的修正后, 可以求出本来的 S/N 比。即使 η' 是负数的值, 也可以直接使用。

田口管理 365

$$\eta = \frac{1+2\beta'}{v_e} + \eta' \quad (3.183)$$

式中, η' : 从偏差数据求出的 S/N 比

β' : 从偏差数据求出的灵敏度系数

V_e : 从偏差数据计算的误差变异

求函数式时, 灵敏度系数 β 仍然使用原来的灵敏度系数。而且, \bar{y} 等也改用本来的平均值。而且, 以偏差数据所计算的信号因素的一次效果 s_β 的值, 与本来的 s_β 的值相异, 所以在求 S/N 比的信赖界限时, 必须重新计算本来的 s_β 。

(b) S/N 比的信赖界限

前文所求的 S/N 比

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(s_\beta - v_e)}{v_e} \quad (3.184)$$

的分贝值上的信赖界限是变异比

$$F_0 = \frac{s_\beta}{v_e} \quad (3.185)$$

和误差变异的自由度

$f_2 = f_e = V_e$ 的自由度

的函数。现在, 以控制因素的两个水准 A_1 和 A_2 , 来求出以下的信赖界限。

$$A_1 : \eta_{1+\varepsilon_1}, A_2 : \eta_{2+\varepsilon_2} \quad (3.186)$$

A_1 和 A_2 之间是否有显著差, 可用以下的近似计算来检查。

若 η_1, η_2 中较小的是 η_1 , 则差 = $\eta_2 - \eta_1$

$$\text{判定界限} = \sqrt{(\varepsilon_1')^2 + (-\varepsilon_2)^2} \quad (3.187)$$

如果公式(3.186)的值比公式(3.187)小则没有显著差,相等或较大时,就可以判定有显著差。但在实际应用中不一定非要测定显著差,如果充分考虑了误差因素,所获得的 S/N 比差不多有 3db 的差时,则几乎所有的情况都可以看成是显著的。

2. 信号因素水准的制作方法

(1) 输入信号是计量值的场合

信号因素水准的采取方法,在提升实验的效率和 S/N 比的精度上,非常重要。这里是将输入信号分为计量值、计数值、计数分类值来叙述水准的制作方法。在实际的实验上,不仅要注意信号因素的配置,更要考虑到与误差因素的组合。

信号因素是计量值的情况,考虑到理想性能的种类,或实际实验的操作难度,则会变成以下水准的选定形态,所以要根据情况来加以选定。

(2) 误差因素可以调合的场合

误差因素较多的时候,若在事前知道误差因素各自的水准倾向时,则按以下方式进行误差因素调合,来确定误差的水准。

N_1 : 组合误差因素的水准使正侧恶化。

N_2 : 标准的误差因素的水准组合。

N_3 : 组合误差因素的水准使负侧恶化。

按照如表 3-17 所示,进行各水准的实验。而当信号因素的水准容易变更时,如同表 3-18,优先 N_1 , N_2 , N_3 的选择。

田口管理 365

表 3-17 调合误差因素的实验数据

信号因素	M ₁			M ₂			...	M _k		
误差	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁	N ₂	N ₃	...	N ₁	N ₂	N ₃
A ₁	y ₁₁	y ₁₂	...	...	...	...	...	...	...	y _{1k}
A ₂	y ₂₁	y ₂₂	...	...	...	...	...	...	...	y _{2k}

$$n=3 \times k$$

表 3-18 调合误差各自进行实验的数据

信号因素	M ₁				M ₂				M _k			
误差	N ₁	N ₂	...	N _k	N ₁	N ₂	...	N _k	N ₁	N ₂	...	N _k
A ₁	y ₁₁	y ₁₂	...	y _{1k}	...	...	...	...	...	...	...	y _{1k}
A ₂	y ₂₁	y ₂₂	...	y _{2k}	...	...	...	...	...	...	...	y _{2k}

(3) 误差因素个数适度而水准变更困难の場合

误差因素有 2~5 个, 这些误差因素对特性值影响事前并不知道, 各自的水准的变更也不容易时, 以多水准法将信号因素配置在直交表上, 在剩余的行列上配置误差因素。例如, 信号因素 4 水准, 剩余误差因素有 4 因素时, 如同表 3-19, 在 L₈ 的 1~3 列制作信号因素的水准, L₈ 的剩余的行列上配置误差因素。

第三章 品质评价 S/N 比法

(a) 控制因素 A_1

因素 行 No.	信号	误差因素				数据
	M	N	O	P	Q	
	(123)	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	y_{11}
2	1	2	2	2	2	y_{12}
3	2	1	1	2	2	y_{13}
4	2	2	2	1	1	y_{14}
5	3	1	2	1	2	y_{15}
6	3	2	1	2	1	y_{16}
7	4	1	2	2	1	y_{17}
8	4	2	1	1	2	y_{18}

(b) 控制因素 A_2

因素 行 No.	信号	误差因素				数据
	M	N	O	P	Q	
	(123)	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	y_{11}
2	1	2	2	2	2	y_{12}
3	2	1	1	2	2	y_{13}
4	2	2	2	1	1	y_{14}
5	3	1	2	1	2	y_{15}
6	3	2	1	2	1	y_{16}
7	4	1	2	2	1	y_{17}
8	4	2	1	1	2	y_{18}

图3-19 多水准的信号因素的配置

(4) 误差因素多、水准变更比较容易的场合

误差因素多，其倾向也不清楚，而且，其水准变更容易的时候，误差因素配置在直交表上，信号因素的水准各自进行实验，例如，误差因素4，各自3水准，如表3-20，在直交表 L_9 的各行列配置误差因素，信号因素的水准各自进行实验。

表 3-20 控制因素 A_1 的实验

信号因素	M_1					M_2					...	M_k				
误差因素	N	O	P	Q	数据	N	O	P	Q	数据		N	O	P	Q	数据
No 行	1	2	3	4		1	2	3	4			1	2	3	4	
1	1	1	1	1	y_{11}	1	1	1	1	y_{21}		1	1	1	1	y_{k1}
2	1	2	2	2	y_{12}	1	2	2	2	y_{22}		1	2	2	2	y_{k2}
3	1	3	3	3	y_{13}	1	3	3	3	y_{23}		1	3	3	3	y_{k3}
4	2	1	2	3	y_{14}	2	1	2	3	y_{24}	...	2	1	2	3	y_{k4}
5	2	2	3	1	y_{15}	2	2	3	1	y_{25}		2	2	3	1	y_{k5}
6	2	3	1	2	y_{16}	2	3	1	2	y_{26}		2	3	1	2	y_{k6}
7	3	1	3	2	y_{17}	3	1	3	2	y_{27}		3	1	3	2	y_{k7}
8	3	2	1	3	y_{18}	3	2	1	3	y_{28}		3	2	1	3	y_{k8}
9	3	3	2	1	y_{19}	3	3	2	1	y_{29}		3	3	2	1	y_{k9}

(5) 误差因素多，其水准的变更困难的情况

和上述(4)项的问题相同，水准的变更正好相反，是信号因素的水准变更困难的情况。误差因素配置在直交表中，信号因素依直交表的实验号码排列，加以实验。有 4 个误差因素时，其配置如同表 3-21。

表 3-21 以控制因素 A_1 水准所进行的实验

信号因素	M_1					M_2					...	M_k				
误差因素	N	O	P	Q	数据	N	O	P	Q	数据		N	O	P	Q	数据
No 行	1	2	3	4		1	2	3	4			1	2	3	4	
1	1	1	1	1	y_{11}	1	1	1	1	y_{21}		1	1	1	1	y_{k1}
2	1	2	2	2	y_{12}	1	2	2	2	y_{22}		1	2	2	2	y_{k2}
3	1	3	3	3	y_{13}	1	3	3	3	y_{23}		1	3	3	3	y_{k3}
4	2	1	2	3	y_{14}	2	1	2	3	y_{24}	...	2	1	2	3	y_{k4}
5	2	2	3	1	y_{15}	2	2	3	1	y_{25}		2	2	3	1	y_{k5}
6	2	3	1	2	y_{16}	2	3	1	2	y_{26}		2	3	1	2	y_{k6}
7	3	1	3	2	y_{17}	3	1	3	2	y_{27}		3	1	3	2	y_{k7}
8	3	2	1	3	y_{18}	3	2	1	3	y_{28}		3	2	1	3	y_{k8}
9	3	3	2	1	y_{19}	3	3	2	1	y_{29}		3	3	2	1	y_{k9}

3. 计数值的 S/N 比

表 3-22, 对计数值的种类加以分类, 并说明 S/N 比的计算方法。

表 3-22 计数值的 S/N 比的分类

	分 类	主要的特性例
1	单纯计数值	具有 1 个、2 个、1 件、2 件等可数的特性。 适用于缺点数、事故件数等。
2	输出分类成两组的时候(有一种错误的时候)	输出特性可分类为良、不良、合格、不合格四类。通常使用其中一种的值来加以分析, 也可称之为 0、1 数据的特性。
3	输出分类为两组、信号因素的水准也分类为两组的时候(具有两种错误时)	对于输入的良与不良, 可将其分为两类, 输出输入为数字型时符合这类。
4	输出分类为二组, 信号因素水准的真值不清楚时	信号因素的水准的真值不明, 良、不良和 0、1、on、off 二值的输出时性等都适用。
5	输出分类为三组以上, 知道信号因素的真值时	预先将信号因素分类成三组以上, 而且知道它的值。在进行判断评价时, 适用于商品的名称及文字的鉴定特性。
6	输出分类为三组以上, 信号因素的真值不明时	使用于性质相异之评价时, 使用预先分类的物品(例如布、影印等), 将其分为上、中、下, 或良、普通、恶劣等的分类评价等属于该类。
7	输出分类为三组以上, 没有信号因素时(依顺序分类时)	为通常的计数分类值。分类后的组具有加法特性, 分级数据符合这类。

田口管理 365

(a)单纯计数值的 S/N 比

单纯计数值如同表 3-22 所示, 销售额、入场数、故障数等, 以 1 元、2 元, 1 人、2 人, 1 件、2 件等数目来加以计测。该 S/N 比的计算和计量值的处理方法相同。

(b)输出分类成两组时的 S/N 比

自动售货机的 0-1 数据图如图 3-1 所示。输入购货信号为 1, 出货信号为 0。对于输入信号 1, 还可以分成是出或是不出等两组的特性, 在计数值之中称为 0-1 数据图。

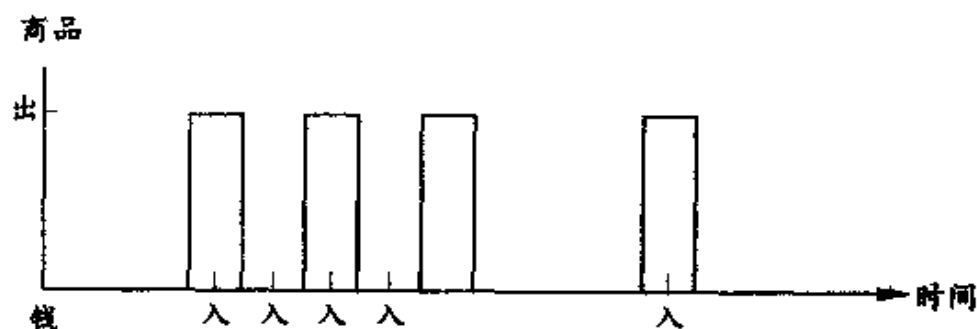


图 3-1 自动售货机 0-1 数据图

通过 n 次实验, 出现物品时为 1, 不出现物品时为 0, 其数据见表 3-23。

表 3-23 (0-1) 数据表

测试数 要因	1	2	3	4	...	n
A	y_1	y_2	y_3	y_4	...	y_n

如果出现物品的比例为 p

$$p = (y_1 + y_2 + \cdots + y_n) / n \quad (3.188)$$

全变动、误差变动用以下的公式来求得。 y 是 1 和 0，所以全变动

$$S_T = y_1^2 + y_2^2 + \cdots + y_n^2 = np \quad (3.189)$$

信号的效果只要能求得公式(3.188)的变动就可以了。公式(3.188)是线性图形，所以为自由度 1 的变动。

$$\begin{aligned} S_p &= \frac{p^2}{\text{系数的平方和}} \\ &= \frac{\left[\frac{(y_1 + y_2 + \cdots + y_n)}{n} \right]^2}{\left(\frac{1}{n} \right)^2 + \left(\frac{1}{n} \right)^2 + \cdots + \left(\frac{1}{n} \right)^2} = \frac{\frac{(y_1 + y_2 + \cdots + y_n)^2}{n^2}}{\left(\frac{1}{n} \right)^2 \times n} \\ &= \frac{(y_1 + y_2 + \cdots + y_n)^2}{n} = n \times p^2 = S_n \end{aligned} \quad (3.190)$$

$$S_e = S_T - S_p = np - np^2 = np(1 - p) \quad (3.191)$$

0, 1 数据的 S/N 比是以信号的变动和误差变动的比的分贝数来表现的。

$$\begin{aligned} \eta &= 10 \lg \frac{S_p}{S_e} = 10 \lg \frac{np^2}{np(1 - p)} = 10 \lg \frac{p}{(1 - p)} \\ &= 10 \lg \left(\frac{1}{p} - 1 \right) \text{ (db)} \end{aligned} \quad (3.192)$$

(c) 输出及信号因素水准均分类为两组时的 S/N 比

对于信号 0、1，输出 0、1 的数字系统，现在已经在通信等多种领域得到广泛的应用了。在不良品检查系统中，良、不良品选择的评价问题，从矿石中选出必要金属，熔渣之间的分离选择等，信号因素的水准是 0、1 和输出是可以分类为两组的计数值。这也可以看成是具有两种错误的数位系统，在这个系统中，存在着将 0 误为 1，或是将 1 误为 0 两种错误。

田口管理 365

对于输入信号 0、1，前者实验 n_0 次，后者 n_1 次。前者的错误次数 n_{01} 次，正确次数 n_{00} 次；后者的错误次数 n_{11} 次，正确次数 n_{10} 次，如表 3-24 所示。

表3-24 有两种类型错误的输入输出表

输出输入	0	1	计
0	n_{00}	n_{01}	n_0
1	n_{10}	n_{11}	n_1
计	r_0	r_1	n

但是，数字系统的公式(3.192)具有以下的问题：

输出方面的错误判定，是随临界值发生变化。

实验时，输出方面的错误率不一定会相等。

假设信号 0、1 的错误率各为 p 、 q ，现在要求出调整到 $p=q$ 之后的 S/N 比。调整后的输出表称为标准输入输出表，这时候的错误率称之为标准错误率 p_0 。现在以

$$p=n_{01}/n_0 \quad (3.193)$$

$$q=n_{10}/n_1 \quad (3.194)$$

则表 3-24 变成表 3-25，标准输出见表 3-26。

表3-25 表示错误率的输入输出表

输入 \ 输出	0	1	
0	$1-p$	p	1
1	q	$1-q$	1
计	$1-p+q$	$1+q-q$	2

表3-26 标准化后的输入输出表

输入 \ 输出	0	1	
0	$1-p_0$	p_0	1
1	p_0	$1-p_0$	1
计	1	1	2

S/N 比在以公式(3.195)求得标准错误率 p_0 之后,使用公式(3.196)来加以计算。这时候的 S/N 比 η_0 称之为标准 S/N 比。

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(\frac{1}{n} - 1\right)\left(\frac{1}{n} - 1\right)}} \quad (3.195)$$

$$\eta = -10 \lg \left[\frac{1}{(1 - 2p_0)^2} - 1 \right] \quad (\text{db}) \quad (3.196)$$

公式(3.195)是以错误率变换为 S/N 比之后的平均来求得的。对于输入信号 0、1 的错误率的 S/N 比 η_1 、 η_2 , 分别以下列公式表示。使用 0、1 数据的 S/N 比

$$\eta_1 = 10 \lg(1/p - 1) \quad (3.197)$$

$$\eta_2 = 10 \lg(1/q - 1) \quad (3.198)$$

如果决定标准错误率 p_0 时, 能够使 η_1 和 η_2 相等是最好的。所以考虑 0、1 数据的加法性来将分贝的尺度加以平均, 现求出在 S/N 比的尺度上的标准错误率。

$$-10 \lg\left(\frac{1}{p_0} - 1\right) = \frac{1}{2} \left[-10 \lg\left(\frac{1}{p} - 1\right) - 10 \lg\left(\frac{1}{q} - 1\right) \right] \quad (3.199)$$

$$p_0 = \frac{1}{1 + \sqrt{\left(\frac{1}{p} - 1\right)\left(\frac{1}{q} - 1\right)}} \quad (3.200)$$

而且, 公式(3.197)是以信号因素之水准的 0、1 数据的解析来求得, 参照表 3-25, 假设选出 0 或 1 的数据为 y_1, y_2, \dots, y_n 。

$$CF = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + \dots + y_{n_0} + y_{n_0+1} + \dots + y_n)^2 = \frac{\bar{r}_1^2}{n} \quad (3.201)$$

$$\begin{aligned} S_T &= y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_{n_0}^2 + y_{n_0+1}^2 + \dots + y_n^2 - CF \\ &= \bar{r}_1 - \frac{\bar{r}_1^2}{n} = \frac{\bar{r}_1(n - \bar{r}_1)}{n} = \frac{\bar{r}_1 r_0}{n} \end{aligned} \quad (3.202)$$

信号的变动以信号 0、1 的输出之差的变动来求的, 若差为 L 时

$$L = \frac{n_{11}}{n_1} - \frac{n_{01}}{n_0} \quad (3.203)$$

因为 L 是线形式, 所以利用线形式变动计算, 为

$$\begin{aligned} S_L &= \frac{\left(\frac{n_{11}}{n_1} - \frac{n_{01}}{n_0}\right)^2}{\left(\frac{1}{n_1}\right)^2 \times n_1 + \left(\frac{-1}{n_0}\right)^2 \times n_0} \\ &= \frac{(n_0 n_{11} - n_1 n_{01})^2}{n_0^2 \times n_1 - n_1^2 \times n_0} = \frac{(n_{00} n_{11} - n_{10} n_{01})^2}{n_0 \times n_1 \times n} \end{aligned} \quad (3.204)$$

S/N 比是信号的变动对误差的变动之比, s' 、 s_e' 是纯变动

$$\begin{aligned} \eta &= 10 \lg \frac{\text{信号的变动}}{\text{误差的变动}} = \frac{S_L'}{S_e'} \\ &\approx 10 \lg \frac{S_L / S_T}{S_e / S_T} \\ &= 10 \lg \frac{\rho_L}{\rho_e} \\ &= 10 \lg \frac{\rho_L}{(1 - \rho_L)} = -10 \lg \left(\frac{1}{\rho_L} - 1 \right) \text{ (db)} \end{aligned} \quad (3.205)$$

在这里，是信号因素的贡献率，是误差因素的贡献率。信号的贡献率用公式 (3.202) 和公式 (3.204) 来求得。本来是求纯变动的计算，因为误差变异 V_e 和信号的效果相比较后变得较小，所以省略减 V_e ，来求出贡献率。

$$\begin{aligned}\rho_L &= \frac{S_L}{S_T} \\ &= \frac{(n_{00}n_{11} - n_{01}n_{10})^2}{\frac{n_0n_1n}{r_0r_1}} = \frac{(n_{00}n_{11} - n_{01}n_{10})^2}{n_0n_1r_0r_1}\end{aligned}\quad (3.206)$$

若所有的变数要使用标准错误率来表示，则

$$n_{00}=n_{11}=1-p_0, \quad n_{01}=n_{10}=p_0, \quad r_0=r_1=n_0=n_1=1$$

所以 p_L 是

$$\rho_L = \frac{[(1-p_0)(1-p_0) - p_0 \times p_0]^2}{1 \times 1 \times 1 \times 1} = (1 - 2p_0)^2 \quad (3.207)$$

因此，标准的 S/N 比 η_0 是先求出 p_0 ，再计算 p_L ，然后代入公式 (3.205) 就可以求得了。

$$\eta_0 = 10 \lg \left[\frac{1}{(1 - 2p_0)^2} - 1 \right] \quad (3.208)$$

(d) 输出有两组分类，且信号因素真值不明的时候

测定值采取良、不良，上、下，合格、不合格等二值，而信号因素的真值不明的时候。这个数据是 0、1 数据，但是，有信号因素时的解析与 0、1 数据的解析互异。例如，色调、风向、音色、味觉等官能检查在真值不明的时候。这里介绍另外一种外观的检查方法，如想要从四位检查员 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 中选出一位最合适的人选，由这四个人各将 M_1 、 M_2 、 \dots 、 M_k 的物品进行 r_0 次的判定后，将所获的结果写入表 3-27。

田口管理 365

表3-27 两组输出且信号因素真值不明时的数据

	M ₁					小计	M ₂					小计	...	M _k					小计	合计
R	R ₁	R ₂	R ₃	...	R _{r₀}		R ₁	R ₂	R ₃	...	R _{r₀}			R ₁	R ₂	R ₃	...	R _{r_k}		
A ₁	1	1	0	...	0	y ₁₁	1	1	0	...	1	y ₁₂	...	0	0	0	...	0	y _{1k}	y ₁
A ₂	1	0	1	...	1	y ₂₁	0	1	1	...	0	y ₂₂	...	0	0	1	...	0	y _{2k}	y ₂
A ₃	1	0	0	...	1	y ₃₁	1	0	0	...	0	y ₃₂	...	0	1	0	...	0	y _{3k}	y ₃
A ₄	1	1	1	...	0	y ₄₁	1	1	0	...	1	y ₄₂	...	0	0	0	...	0	y _{4k}	y ₄

只使用 A₁ 的数据, 进行 S/N 比的计算

$$\text{修正项 } CF_1 = \frac{(\text{数据的合计})^2}{k r_0} = \frac{y_1^2}{k r_0} \quad (f=1) \quad (3.209)$$

$$= y_1 - \frac{y_1^2}{k r_0} \quad (f=k r_0 - 1) \quad (3.210)$$

$$S_M = \frac{y_{11}^2 + y_{12}^2 + y_{13}^2 + \dots + y_{1k}^2}{r_0} - CF \quad (f=k-1) \quad (3.211)$$

$$\text{误差变动 } S_e = S_T - S_M \quad [f=k(r_0-1)] \quad (3.212)$$

变异数分析整理结果见表 3-28。

表3-28 信号因素真值不明时的变异数分析表

要因	f	S	V	E(V)
m	k-1	S _M	V _M	$\sigma^2 + r_0 \sigma_M^2$
e	k(r ₀ -1)	S _e	V _e	σ^2
T	k r ₀ - 1	S _T		

用以下公式来求得 A₁ 的 S/N 比。

$$\eta_1 = 10 \lg \frac{\frac{1}{r_0} (V_M - V_e)}{V_e} \quad (3.213)$$

A₁, A₃ 的 S/N 比 和 A₁ 同样地计算比较。

第三章 品质评价 S/N 比法

(e) 输出是三组以上的分类的计数分类值

预先将信号因素分类为三组以上, 而且事先知道真值。例如, 三种以上的名称的识别测验, 或是文字等的鉴定等。事前完成的官能测试基准所进行的官能能力评价, 或是形态的评价等, 都是适用于这一项。

现在由 A_1 、 A_2 两个人来实施 k 水准的信号因素 $M(M_1, M_2, \dots, M_k)$ 的官能能力评价, 所获得的结果填入表 3-29。将 M_1 判定为 M_0 时, M_0 M_1 的数据判定为 1。同样, 如果将 M_1 判定为 M_2 , M_1 、 M_2 的数据则变成 1。以下求出 A_1 的 S/N 比 (在此, 反复实施 r_0 次)。

注: 如果在 $M_1 \sim M_k$ 之中, 信号是依顺位加以分类时, 由表 3-30 制作累积值, 以累积法来解析。

表 3-29 知道信号因素真值时的计数分类信 (A_1)

输入 \ 输出	(1)	(2)	(3)	...	(k)	
	M_1'	M_2'	M_3'	...	M_k'	合计
M_1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	...	y_{1k}	m_1
M_2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	...	y_{2k}	m_2
...
M_k	y_{k1}	y_{k2}	y_{k3}	...	y_{kk}	m_k
合计	y_1	y_2	y_3	...	y_k	T

表 3-30 知道信号因素的真值时的计数分类值 (A_2)

输入 \ 输出	M_1'	M_2'	M_3'	...	M_k'	计
M_1	y_{11}	y_{12}	y_{13}	...	y_{1k}	m_1
M_2	y_{21}	y_{22}	y_{23}	...	y_{2k}	m_2
...
M_k	y_{k1}	y_{k2}	y_{k3}	...	y_{kk}	m_k
计	y_1	y_2	y_3	...	y_k	T

首先, 各输出 $M_1' \sim M_k'$ 各自的变动, 计算出相关权重。 y_1 是

田口管理 365

r_0 次反复时的数据和。

$$T=k \times k \times r_0$$

$$M_1' \text{ 的权重 } W_1 = \frac{T^2}{y_1(T - y_1)} \quad (3.214)$$

$$M_2' \text{ 的权重 } W_2 = \frac{T^2}{y_2(T - y_2)} \quad (3.215)$$

$$M_k' \text{ 的权重 } W_k = \frac{T^2}{y_k(T - y_k)} \quad (3.216)$$

$$\text{全变动 } y_{s_r} = (y_1 - \frac{y_1^2}{T}) \times W_1 + (y_2 - \frac{y_2^2}{T}) \times W_2 + \dots + (y_k - \frac{y_k^2}{T}) \times W_k$$

$$= (\text{测定次数}) \times (\text{组数}) = k \times T \quad f=(k-1)(T-1)$$

信号因素的变动是

$$\begin{aligned} S_M = & (\frac{y_{11}^2}{m_1} + \frac{y_{21}^2}{m_2} + \dots + \frac{y_{k1}^2}{m_k} - \frac{y_1^2}{T}) \times W_1 + (\frac{y_{12}^2}{m_1} + \frac{y_{22}^2}{m_2} + \dots + \frac{y_{k2}^2}{m_k} - \frac{y_2^2}{T}) \times W_2 \\ & + \dots + (\frac{y_{1k}^2}{m_1} + \frac{y_{2k}^2}{m_2} + \dots + \frac{y_{kk}^2}{m_k} - \frac{y_k^2}{T}) \times W_k \\ Se = & S_T - S_M \quad [f=(k-1)(k-1)] \end{aligned} \quad (3.218)$$

误差变动是

$$Se = S_T - S_M \quad f=(k-1)(T-k) \quad (3.219)$$

变异数分析表见表 3-30。

表3-30 知道信号因素真值时计数分类值的变异数分析表

要因	f	S	V	E(V)
M	(K-1)(K-1)	S_M	V_M	$\sigma + T \sigma_M^2$
e	(K-1)(T-A)	S_e	V_e	
T	(A-1)(T-1)	s_r	V_T	

接下来以调和平均求出 r 之后, 就可求出 A_1 的 S/N 比 η 。 A_2 以相同的求法加以比较就可以了。

(f) 输出分类为三组以上, 信号因素的真值不明的时候

各信号因素的水准值不清楚, 将输出分类为三组以上时。例如对胶片表面污物情况分成没有污点、有污点、污点很多共计 3 类。

现在, 以各种条件制作出 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_k$ 的影印基准, 以测定法 A_1, A_2, A_3 来检查影印的品质, 分类为上、中、下三组, 加以测定。在相同的基准、相同时间、相同条件下, 进行二次和三次的分类评价。整理如下:

控制因素(测定法)A: A_1, A_2, A_3

信号因素(影印基准)M: M_1, M_2, \dots, M_k

误差因素(反复)R: R_1, R_2, R_3

因为输出特性分类为三组以上, 所以使用累积法来计算变异。 A_1 的测定结果见表 3-31, 使用累积法来求变动, 计算 A_1 的 S/N 比。

表 3-31 A_1 的计数分类值数据整理

信号因素	数据			密度指数			累积密度		
信号因子	R_1	R_2	R_3	上	中	下	I	II	III
M_1	上	上	中	2	1	0	2	3	3
M_2	上	中	下	1	1	1	1	2	3
...
M_k	中	上	上	2	1	0	2	3	
计				T_{\uparrow}	$T_{\text{中}}$	T_{\downarrow}	T_i	$T_{\text{中}}$	$T_{\text{中}}$

$$W_1 = \frac{T_{III}^2}{T_I(T_{III} - T_I)} \quad (3.220)$$

$$W_2 = \frac{T_{III}^2}{T_{II}(T_{III} - T_{II})} \quad (3.221)$$

田口管理 365

$$\text{修正项 } CF = \frac{T_1^2}{T_{111}} \times W_1 + \frac{T_{11}^2}{T_{111}} \times W_2 \quad (f=2) \quad (3.222)$$

$$\begin{aligned} \text{全变动 } S_T &= (T_1 - \frac{T_1^2}{T_{111}}) \times W_1 + (T_{11} - \frac{T_{11}^2}{T_{111}}) \times W_2 \\ &= (\text{分类的组数} - 1) \times \text{测定值的总数} \\ &= 2 \times T_{111} \quad [f_T = 2 \times (T_{111} - 1)] \end{aligned} \quad (3.223)$$

信号因素的变动

$$\begin{aligned} S_M &= \frac{1}{3}(2^2 + 1^2 + \dots + 2^2) \times W_1 + \frac{1}{3}(3^2 + 2^2 + \dots + 3^2) \times W_2 - CF \\ &[f_M = 2 \times (k-1)] \end{aligned} \quad (3.224)$$

误差变动

$$S_e = S_T - S_M \quad (3.225)$$

整理后的变异数分析如表 3-32。

表3-32 累积法的变异数分析表

要因	f	S	V	E(V)
M	f_M	S_M	V_M	$\sigma_s^2 + f_0 \sigma_M^2 + \sigma_e^2$
e	f_e	S_e	V_e	
T	f_T	S_T	V_T	

因为反复数是 3，所以 $r_0=3$ ，以下式求出 A_1 的 S/N 比。

$$\eta = 10 \lg \frac{\frac{1}{r_0}(V_M - V_e)}{V_e} \quad (\text{db}) \quad (3.225)$$

(g) 多组输出分类且无信号因素

现在说明不包含信号因素的计数分类值 S/N 比的求法，尤其是计数分类值之内，表示分级数据等分类有顺序时的 S/N 比计算。分级数据是将与最理想之组的差，如同计量值一般，以望小特性来求

出近似的 S/N 比。现在将 20 个产品的表面处理，以五分法加以分类，变成如同表 3-33 的数据。

表3-33 以五分法分类的数据

等级	1	2	3	4	5	合计
判定	最好	较好	普通	较差	差	
数据个数	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	20

以下一个公式来求出望小特性时的变异 σ^2 和 S/N 比。

$$\sigma^2 = \frac{1}{20} (0^2 \times y_1^2 + 1^2 \times y_2^2 + 2^2 \times y_3^2 + 3^2 \times y_4^2 + 4^2 \times y_5^2) \quad (3.226)$$

$$\eta = -10 \lg \sigma^2 \quad (3.227)$$

4. 计测方法的 S/N 比与计测误差

(1) 校正式与误差界限

对于有关测量未知的测定量 M' ，如何从所获得的读值 y' ，来推定 M' 的真值及其误差界限。也就是说当

$$\hat{M} = y/\beta$$

成推定值，推定值 \hat{M} 的近似性误差界限是以

$$\pm \frac{3}{\sqrt{\eta}}$$

来求得，这个公式称为误差界限的简易式。

(2) 计测误差的精密公式

在前项， M' 的真值和推定值的近似性之误差界限以 $\pm \frac{3}{\sqrt{\eta}}$ 来表现，因为这个公式是近似式，所以关于精密地求出计测误差的情况，就以一次式为例来加以说明。

田口管理 365

真值 M' 的推定值 \hat{M} ，是用

$$\hat{M}' = \bar{M} + \frac{y' - \hat{m}}{\hat{\beta}} \quad (3.228)$$

来加以推定。除此之外， M' 的正确值(真值)，是使用正确的 m ， β ，以

$$\hat{M}' = \bar{M} + \frac{y' - m - e'}{\beta} \quad (3.229)$$

来表示。 e' 是读值 y' 的误差。计测误差，亦即是推定值的误差为

$$\begin{aligned} \hat{M}' - M' &= (\bar{M} + \frac{y' - \hat{m}}{\hat{\beta}}) - (\bar{M} + \frac{y' - m - e'}{\beta}) \\ &= \frac{y' - m - e' - (\hat{m} - m) + e'}{\beta \left[1 + \frac{\hat{\beta} - \beta}{\beta} \right]} - \frac{y' - m - e'}{\beta} \\ &\approx \frac{e'}{\beta} - \frac{\hat{m} - m}{\beta} - \frac{y' - m}{\beta} \times \frac{\hat{\beta} - \beta}{\beta} \end{aligned} \quad (3.330)$$

e' 相当于测定实际的物品时的回归误差变异，第一项的变异以 S/N 比的倒数来求得。

$$\frac{\sigma^2}{\beta^2} = \frac{1}{\eta} \quad (3.331)$$

第二项是一般平均 m 的推定误差，其变异为

$$\begin{aligned} -\left(\frac{\hat{m} - m}{\beta}\right) &= -\frac{1}{\beta} \left(\frac{y_1 + y_2 + \cdots + y_k}{k} - m \right) \\ &= -\frac{1}{\beta} \left(\frac{e_1 + e_2 + \cdots + e_k}{k} \right) \end{aligned} \quad (3.332)$$

$$-\left(\frac{1}{\beta}\right)^2 \times \frac{\sigma_e^2}{k} = \frac{1}{k} \times \frac{1}{\eta_0} \quad (3.333)$$

第三章 品质评价 S/N 比法

在此, η_0 是为了决定校正式的标准测定之 S/N 比。第三项是以灵敏度系数的推定误差所产生的部分,

$$\begin{aligned}\beta - \beta &= \frac{\sum (M_i - \bar{M}) y_i}{\sum M_i - \bar{M}^2} - \frac{\sum (M_i - \bar{M}) (y_i - e_i)}{\sum (M_i - \bar{M}^2)} \\ &= \frac{\sum (M_i - \bar{M}) e_i}{\sum M_i - \bar{M}^2}\end{aligned}\quad (3.234)$$

因此, 公式(3.230)的第三项变异是

$$\left(\frac{y' - m}{\beta}\right)^2 \frac{1}{\beta^2} \times \frac{\sigma_e^2}{\sum (M_i - \bar{M})^2} = \left(\frac{y' - m}{\beta}\right)^2 \times \frac{1}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \frac{1}{\eta_0} \quad (3.235)$$

推定值的误差 $\hat{M} - M$ 的变异是

$$\begin{aligned}\hat{M}' - M' \text{ 的变异} &= \frac{1}{\eta} + \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\eta_0} + \left(\frac{y' - m}{\beta}\right)^2 \times \frac{1}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \frac{1}{\eta_0} \\ &= \frac{1}{n} + \left[\frac{1}{k} + \frac{1}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \left(\frac{y' - m}{\beta}\right)^2 \right] \frac{1}{\eta_0}\end{aligned}\quad (3.236)$$

式中

η : 测定实物时的 S/N 比

η_0 : 测定标准时的 S/N 比

为了决定校正式所使用的标准和实物是否相同, S/N 比相同的时候, 一般 η 取值比 η_0 大。

公式(3.236)称为误差界限的精密公式, 从公式的形式可以看出, 新的读值 y' 使误差界限的值产生变化, $y' = \hat{M}$ 的时候误差界限最小, y' 距离 \hat{M} 越远误差界限就越大。而且, 校正式的种类以及为了校正时标准测定的数据的采取方法的不同, 精密公式亦有所不同。

求 S/N 比 η 时, 如果能先使误差变异的自由度为最大的话, 几乎所有的场合只要用简易式就可以求出误差界限, 当然, 误差界限中也包含了校正式的误差。

田口管理 365

(3) 考虑标准误差的计测误差

在校正式所使用的标准 M_i ($i=1, \dots, k$) 的表示值中, 包含有计测误差。设标准 M_i 的表示值 ε_i 的误差为 σ_0^2 , 误差变异为 b_0 , 代入公式(3.228), M' 的正确值(真值)是以

$$M' = \bar{M} - \bar{\varepsilon} + \frac{y' - m - e'}{\beta} \quad (3.236)$$

来表示。因此, 计测误差代入公式(3.230), 变成

$$\hat{M} - M' = \frac{e'}{\beta} - \frac{\hat{m} - m}{\beta} - \frac{y' - m}{\beta} \times \frac{\hat{\beta} - \beta}{\beta} + \bar{\varepsilon} \quad (3.237)$$

而且, 灵敏度系数 β 的误差

$$\begin{aligned} \hat{\beta} - \beta &= \frac{\sum (M_i - \bar{M}) y_i}{\sum (M_i - \bar{M})^2} - \frac{\sum (M_i - \varepsilon_i - \bar{M} + \bar{\varepsilon})(y_i - e_i)}{\sum (M_i - \varepsilon_i - \bar{M} + \bar{\varepsilon})^2} \\ &= \frac{\sum (M_i - \bar{M}) e_i}{\sum (M_i - \bar{M})^2} - \frac{\sum (M_i - \bar{M}) \varepsilon_i}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \end{aligned} \quad (3.238)$$

然后, 代入公式(3.236), 测定值的误差 $\hat{M} - M$ 的变异是

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\eta} + \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\eta_0} + \left(\frac{y - m}{\beta} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \left(\frac{1}{\eta_0} + \frac{\sigma_0^2}{\beta^2} \right) + (b_0^2 + \frac{\sigma_0^2}{k}) \\ &= \frac{1}{\eta} + \left[\frac{1}{k} + \frac{1}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \left(\frac{y - m}{\beta} \right)^2 \frac{1}{\eta_0} \right] + \\ &\quad \left[\frac{1}{k} + \frac{1}{\sum (M_i - \bar{M})^2} \left(\frac{y - m}{\beta} \right)^2 \frac{1}{\beta^2} \right] \sigma_0^2 + b_0^2 \end{aligned} \quad (3.239)$$

公式 (3.239) 中, 右边第一项是获得新读值时的误差, 第二项是 S/N 比误差校正式的误差, 第三项是起因于标准的表示值之变异的校正式之误差。第四项的 b_0^2 是起因于标准的表示值的偏差所来之

校正式偏差的误差。

公式(3.238)是从 k 个的标准 M_1, M_2, \dots, M_k 各读一次所获得 k 个读值 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_k$ 所制作的一次校正式。

四、因素的分类

研究 S/N 比的因素, 依据其功用可以分为以下两种, 一种是为求 S/N 比的因素, 另外一种是为了比较 S/N 比的因素。前者有信号因素和误差因素(有时候也包括不含信号和误差的闲置因素), 后者有控制因素和标示因素。本节将针对各种因素做简单的说明。

1. 信号因素

信号因素是用于评价 S/N 比中信号 S 的因素。

在计测的领域中, 是作为输入条件, 这是计测对象的目的特性本身, 或是与目的特性之间具有比例关系者。

例如, 在求镉的定量分析方法或质量测定方法的 S/N 比时, 以镉含有量相异的试料, 或质量相异的标准砝码, 作为测定对象, 这就成为目的特性而被选为信号因素。此外, 求拉力试验机的 S/N 比时, 将断层面积相异的物品选为信号因素; 求香烟的水分测定法的 S/N 比, 将水分浸润时间选为信号因素。这些目的特性各不相同, 很难设定信号因素的水准, 所以, 选择对目的特性具有比例关系, 而且可以容易设定任意条件者。在这样的计测领域中的信号因素也可能是被动的信号因素, 称之为被动的动态特性。

相对的, 如同加工一样, 具有积极式动态特性功能的信号因素, 是为了要满足输出时的要求, 故也可称之为主动的信号因素。换句话说, 就是所谓主动的动态特性。但是, 不论被动时, 或是主动时, S/N 比的计算方法并没有差异, 没有特别的区别, 两者都称之为信号因素。为了使染色浓度接近目标值, 若以染料的使用量来加以调

田口管理 365

整的话,染料的使用量就是信号因素。

2. 误差因素

包括内部、外部等所有的因素。在计测领域,误差因素是指影响读出特性的校正周期内的环境条件的变化。但是,可以用标准等来校正时,就不包含在误差之内。例如,某计测器受周围温度的影响,如果不能进行温度补正时,校正周期内的温度变化就是误差因素,但是如果温度的异常可以修正时,就不是误差因素。

在主动的动态特性中,对某目标进行最适当的操作时,使结果异常的原因就是误差因素。研究车子操纵性的 S/N 比时,路面的状态,载重的不均衡,轮胎气压的变异等都是误差因素。

3. 闲置因素

在制作信号因素时也曾经提过,在 S/N 比的计算时,其效果不包含信号和也不包含误差的因素者为闲置因素。

例如,研究轮胎力学平衡测定法的 S/N 比时,信号因素中使用实际的轮胎,这时候,采用在不平衡的一侧贴上测验片的方法。

M_1 : 什么都不贴

M_2 : 贴上1张5g的测验片

M_3 : 贴上2张5g的测验片

如此一来,就可以制作出平衡量每5g变化的3水准的信号因素。在求特定平衡量接近的 S/N 比时这样就够了,在求实际的实验范围全体 S/N 比时,信号的幅度不能太狭窄。在这个情况下,如果使用平衡量有明显差异的数只轮胎时,就可以涵盖测定范围。以真值 M_1' 和 M_2' 来表示(例如平衡非常好的轮胎 M_1' 和平衡差的不良品 M_2'),如表3-34的6组来加以测定。

表3-34 闲置因素的水准值

M_1	M_2	M_s	
M_1'	M_1'	$M_1' + 5$	$M_1' + 10$
M_2'	M_2'	$M_2' + 5$	$M_2' + 10$

对于 M_1 、 M_2 、 M_3 、 r_0 个的合计为 y_1 、 y_2 、 y_3 时, 这种制作信号因素水准的信号效果 S_β 为

$$\text{比例式: } S_\beta = \frac{(M_1 y_1 + M_2 y_2 + M_3 y_3)^2}{r_0 (M_1^2 + M_2^2 + M_3^2)} \quad (3.239)$$

$$\text{一次式: } S_\beta = \frac{[(M_1 - \bar{M}) y_1 + (M_2 - \bar{M}) y_2 + (M_3 - \bar{M}) y_3]^2}{r_0 [(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + (M_3 - \bar{M})^2]} \quad (3.240)$$

但是, 全变动 S_T 减去信号的比例式或一次式效果 S_β 的变动值 $(S_T - S_\beta)$, 也包含 M' 的差异所产生的变动 $S_{M'}$, 所以就获得了误差变动 S_e 。如果包含 $S_{M'}$ 的是 S_e , 会因选择什么样的 M' , 而有所改变。因此, $S_T - S_\beta$ 必须除掉不是误差的 M' 的变动 $S_{M'}$ 。而且, $S_{M'}$ 还要再加上信号的效果。计算 S/N 比时, 不包含信号和误差的因素称为间隙因素。

4. 控制因素

为了选择 S/N 比的最佳条件, 所采用的因素, 称为控制因素。在数种计测方法之中选择最好的一种。当选择了擅长计测的人, 那么, 这时候的计测器、测定者就是控制因素。如果检测的目的, 是要选择因测定者的不同所造成的测定结果错误较少的计测器时, 测定者就是误差因素。

5. 调整因素

田口管理 365

在动态特性所采取的控制因素当中,对性能的安定性或正确性的S/N比没有效果,而对输出的平均值或灵敏度有效的因素,这个因素在求出S/N比的最适条件之后,平均值或灵敏度调整到妥当的值时,就可以利用。这些因素称之为调整因素。但是一开始就以调整用的因素来进行实验时,通常是当做信号因素。

6. 标示因素

标示因素适合于使用条件、品种、尺寸的差异等。本来,所谓S/N比很好,是因为不容易受到使用条件的影响,所以在这个意义时,通常也可以将它视为误差因素。但是,在讨论汽车的操纵性时,有低速操纵性和高速操纵性,接受内部、外部的影响方式也有显著的不同。而对象(旋转半径等)的特性值本身就会有大幅的差异。不论低速或高速,操纵性没有差异就一定是好的。但是,在技术上差异很明显的情况下,低速或高速的条件下,把握住S/N比到底有多大程度的不同,这是非常重要的。处理这些状况的因素就称之为标示因素,而不是控制因素。因素有以上数种的分类,各项因素到底应该如何分类,依实验的目的而有所不同。

五、S/N比的实验计划

求S/N比或是比较S/N比时,确定实验条件的过程称为实验的配置或实验计划。在S/N比的配置中,S/N比的因素配置和求S/N比的因素配置,两者必须加以区别。前者称之为内侧配置,后者称之为外侧配置。S/N比的配置中,内侧、外侧的术语经常使用到,最好能牢记。内侧的配置因素称作内侧因素,外侧的配置因素称作外侧因素。

内侧因素有时候只有一个,有时候有很多个。在有很多个内侧因素的场所里,决定合理的实验条件的配置是必要的。

配置的方法在这里比较 A 组之 S/N 比, 换句话说, A 组的各项, 可以是计测器的种类, 也可以是由配置所得到的实验条件。这些内侧条件称之为尾水准。这时候必须进行求 k 组 S/N 比的实验。信号因素为 3 水准, 而以各重复 2 次为误差因素时, 内侧的 k 组分别是 $M_1R_1, M_1R_2, \dots, M_3R_2$, 共获得 6 个数据。如此一来, 就可以从每 6 个数据中计算出 k 组的 S/N 比。以内侧的各个条件求得外侧数据, 这种方法在实验计划法的用语上, 称之为直积的实验。如果有 S/N 比的比较因素, 就一定可以形成直积的实验。外侧的数据至少是为了求出内侧的特定条件的 S/N 比, 而外侧数据所计算出来的 S/N 比, 对内侧的条件而言只不过是一个特性值。S/N 比的特性值并不是以计测器求得的, 而是从计算求得的, 此计算的数据就是外侧数据。

标示因素以内侧因素来处理, 一般以内侧的配置来加以考虑。只是, 结果中也可能产生误差因素时, 对于内侧、外侧的全组合, 可以采取标示因素的各水准的数据。而且, 内侧的条件决定之后, 标示因素的各水准改变的情形也相同。例如, 汽车操纵性的情况, 标示因素是车速, 组成一项内侧条件的车子, 再加上外侧条件固定, 获得车速改变的数据就很简单了。这种情况下, 每一个外侧的条件, 都可以获得一个标示因素水准的数据。

六、外侧的配置

1. 信号因素和误差因素的取法

外侧的配置是为了决定计算特定条件之 S/N 比的数据的采取方法。信号因素通常采用 5 水准左右, 在外侧的配置使用时, 用 3 水准或 6 水准就可以了。

误差因素的采取方法, 依实验目的而有所不同。S/N 比的实验目的, 一般用在评价计测器使用上的计测误差, 或是改善计测误差

田口管理 365

或动态特性的 S/N 比。前者的情况，内侧条件的水准数通常都不太多。计测误差的评价结果因为还必须反映现实的测定环境，所以充分地采取误差因素，根据计量值所设定的条件，以下的 3 水准是最具合理性的。

$$K_1 = m - \sqrt{\frac{3}{2}}\sigma \quad (3.241)$$

$$K_2 = m \quad (3.242)$$

$$K_3 = m + \sqrt{\frac{3}{2}}\sigma \quad (3.243)$$

式中 m ：是校正周期内的误差因素 K 的平均。

σ ：是校正周期内的误差因素的标准偏差。

为了促进实验全体的效率，希望限定外侧的规模越小越好。因此，只以提出的误差因素为主，只要调合数个误差因素之后做成调合因素就可以了。

2. 不调合时的配置

不调合时的配置，主要有以下三种形式。

(1) 采取所有组合的数据

外侧因素的所有组合数通常能控制在 10 个以下。但是，当采取数据是比较容易，组合的数目虽然很多，如果不是太烦琐时，仍然可以使用。

(2) 采取直交表 L_9 的数据

只有误差因素配置在 L_9 等的小规模的直交表上，依各信号因素的水准采取直交表的数据。例如，评价某计测器实际误差的大小，可以求 S/N 比来评价。设信号因素 M 为 5 水准，而误差因素 K 、 L 、 P 、 Q ，如公式(3.241)~公式(3.243)，设定为 3 水准。实验次数即使不多也无妨，误差因素配置在 L_9 。信号因素的 5 水准，完全根据 L_9 的 9

表 3-34 L₉ 误差因素配置表

行 \ No.	1	2	3	4	信号因素				
	K	L	P	Q	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
1	1	1	1	1	y ₁₁	y ₁₂	y ₁₃	y ₁₄	y ₁₅
2	1	2	2	2	y ₂₁	y ₂₂	y ₂₃	y ₂₄	y ₂₅
3	1	3	3	3	...	...	...	...	...
4	2	1	2	3	...	...	...	...	...
5	2	2	3	1	...	...	...	...	...
6	2	3	1	2	...	...	...	...	...
7	3	1	3	2	...	...	...	...	...
8	3	2	1	3	...	...	...	...	...
9	3	3	2	1	y ₉₁	y ₉₂	y ₉₃	y ₉₄	y ₉₅
合计		y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅			

个误差条件, 采取数据。换句话说, 如表 3-34 的 45 项组合采取数据。

这时的 S/N 比用以下的公式来求得

[比例式校正]

$$S_T = 45 \text{ 个 } 2 \text{ 次方和} \quad (f=45) \quad (3.244)$$

$$S_B = \frac{(M_1 y_1 + M_2 y_2 + \dots + M_5 y_5)^2}{9(M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_5^2)} \quad (f=1) \quad (3.245)$$

$$S_e = S_T - S_B \quad (f=44) \quad (3.246)$$

$$V_e = \frac{S_e}{44} \quad (3.247)$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_B - V_e)}{V_e} \quad (3.248)$$

但是, $r = 9 \quad (M_{12} + M_{22} + \dots + M_{52})$

[一次式校正]

田口管理 365

$$CF = \frac{(y_1 + y_2 + \cdots + y_5)^2}{45} \quad (f=1) \quad (3.249)$$

$$S_T = 45 \text{个2次方和} - CF \quad (f=44) \quad (3.250)$$

$$S_p = \frac{[(M_1 - \bar{M})y_1 + (M_2 - \bar{M})y_2 + \cdots + (M_5 - \bar{M})y_5]^2}{9[(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + \cdots + (M_5 - \bar{M})^2]} \quad (f=1) \quad (3.251)$$

$$S_e = S_T - S_p \quad (f=43) \quad (3.252)$$

$$V_e = \frac{S_e}{43} \quad (3.253)$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_p - V_e)}{V_e} \quad (3.254)$$

式中, $r = 9[(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + \cdots + (M_5 - \bar{M})^2]$

上式很适合于基准点比例式校正和对于以基准点补正的数据。

(3) 采用 L_{18} 直交表的数据

按照 L_{18} 直交表对信号因素和误差因素进行配置。现在, 在外侧配置上采取以下的因素。

信号因素 M: 6 水准

误差因素 K: 3 水准

L: 3 水准

P: 3 水准

Q: 3 水准

R: 3 水准

L_{18} 使用 2 水准的第 1 行和 3 水准的第 2 行, 制作出 6 水准的行列, 因此, 6 水准的行配置信号因素 M, 而第 3、4、5、6、7 行则从 K 到 R 对应配置即可, 见表 3-35, 没有对应要因的第 8 行, 为误差 e。

表 3-35 包含 6 水准, 以 L_{18} 直交表所做的配置

No.	列			M	K	L	P	Q	R	e
1	2				3	4	5	6	7	8
1	1	1	→	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	→	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	→	1	3	3	3	3	3	3
4	1	3	→	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	→	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	→	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	→	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	→	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	→	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	→	4	1	3	3	2	2	1
11	2	1	→	4	2	1	1	3	3	2
12	2	1	→	4	3	2	2	1	1	3
13	2	2	→	5	1	2	3	1	3	2
14	2	2	→	5	2	3	1	2	1	3
15	2	2	→	5	3	1	2	3	2	1
16	2	3	→	6	1	3	2	3	1	2
17	2	3	→	6	2	1	3	1	2	3
18	2	3	→	6	3	2	1	2	3	1

使用 L_{18} 时的信号因素的水准数最好是 3~6 个。前面的表 3-34 如果也使用虚拟法, 则信号因素的 5 水准在形式上可以当作 6 水准来配置 L_{18} , 但实验次数变少。对于 S/N 比的计算, 必须考虑到 M 的反复数会因水准而有所不同。

3. 信号和误差配置在直交表上的 S/N 比

现以汽车操纵性评价来说明利用直交表上的 S/N 比, 来计算信号因素和误差因素的配置。

田口管理 365

驾驶汽车时自由改变汽车的方向是主动的信号因素。虽然具体上有转向角度，但是，即使转向角度一定，车子行走的方向也不一定会固定，还是会受到道路条件等环境因素、轮胎的种类及其磨损程度等的影响。随着转向角度的变化，旋转半径会跟着变化。当转向角度固定时，旋转半径的变异较少，就可以认为汽车的方向可操纵性能较佳，旋转半径的变异与操纵性能的比就是 S/N 比。

为了求出某辆卡车的 S/N 比，将以下因素配置在直交表 L_{18} 上，来检测 18 种旋转半径的结果，见表 3-36。

表3-36 汽车操纵性的配置与检测数据

行 NO.	M	L	M	e	N	P	Q	e	旋转半径(m)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	44
2	1	1	2	2	2	2	2	2	34.2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	27.4
4	1	2	1	1	2	2	3	3	43.7
5	1	2	2	2	3	3	1	1	31.9
6	1	2	3	3	1	1	2	2	31.8
7	1	3	1	2	1	3	2	3	46.6
8	1	3	2	3	2	1	3	1	35.5
9	1	3	3	1	3	2	1	2	27.3
10	2	1	1	3	3	2	2	1	37.2
11	2	1	2	1	1	3	3	2	42.8
12	2	1	3	2	2	1	1	3	25.5
13	2	2	1	2	3	1	3	2	38.2
14	2	2	2	3	1	2	1	3	33.7
15	2	2	3	1	2	3	2	1	27.6
16	2	3	1	3	2	3	1	2	39.5
17	2	3	2	1	3	1	2	3	28.1
18	2	3	3	2	1	2	3	1	34.6
合计									629.6

(1) 信号因素

转向角度 M: $M_1=200$ 度, $M_2=250$ 度, $M_3=300$ 度

(2) 误差因素

旋转方向 K: $K_1=$ 右转, $K_2=$ 左转

路面状态 L: $L_1=$ 柏油

$L_2=$ 干柏油

$L_3=$ 干水泥

负重的位置 N: $N_1=$ 前负重

$N_2=$ 标准

$N_3=$ 后负重

轮胎的种类 P:

$P_1=$ 直纹式轮胎

$P_2=$ 横纹式轮胎

$P_3=$ 辐射形轮胎

前轮的气压 Q:

$Q_1=$ 左右都是 6

$Q_2=$ 右 3, 左 6

$Q_3=$ 左右都是 3

S/N 比计算公式:

$$S_T = 44.02 + 34.22 + \dots + 34.62 - 629.62 / 18$$

$$= 719.67 \quad (f=17)$$

其次, S_θ 是使用 M 的一次项的大小来求得。

$$S_\theta = \frac{[(M_1 - \bar{M})y_1 + (M_2 - \bar{M})y_2 + (M_3 - \bar{M})y_3]^2}{6 \times [(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + (M_3 - \bar{M})^2]} \quad (3.255)$$

4. 误差变动分析

求 S/N 比的目的是为了进行比较或改善时, 所求出来的 S/N 比就是比较对象的特性值。但有的时候, 是为了进行误差变动的分析, 那么就要对因素的数据和水准进行分析了, 见表 3-37。

田口管理 365

表3-37 汽车可操纵性数据分析表

因素水准	K	L	M	N	P	Q
1	322.4	211.1	249.2	233.5	203.1	201.9
2	307.2	206.9	206.2	206.0	210.7	205.5
3	—	211.5	174.2	190.1	215.8	222.2

$$CF = \frac{629.6^2}{18} \quad (3.256)$$

$$S_k = \frac{322.4^2 + 307.2^2}{9} - CF = 12.84 \quad (3.257)$$

$$S_L = \frac{211.1^2 + 206.9^2 + 211.5^2}{6} - CF = 2.22 \quad (3.258)$$

$$S_M = \frac{(-249.2 + 174.2)^2}{6 \times 2} = 468.75 \quad (3.259)$$

$$S_N = \frac{233.5^2 + 206^2 + 190.1^2 + \dots}{6} - CF = 160.7 \quad (3.260)$$

$$S_P = \frac{203.1^2 + 210.7^2 + 215.8^2 + \dots}{6} - CF = 13.61 \quad (3.261)$$

$$S_Q = \frac{201.9^2 + 205.5^2 + 222.2^2 + \dots}{6} - CF = 39.11 \quad (3.262)$$

$$S_T = 44^2 + 34.2^2 + \dots + 34.6^2 - CF = 719.67 \quad (3.263)$$

$$S_e = S_T - S_k - S_L - S_M - S_N - S_P - S_Q = 22.44 \quad (3.264)$$

变异数分析见表3-38。

表3-38 汽车操纵性的变异数分析表

要因	f	S	V	p (%)
K	1	12.84	12.84°	
L	2	2.22	1.11°	
M	1	468.75	468.75	64.5
N	2	160.70	80.35	21.1
P	2	13.61	6.805°	
Q	2	39.11	19.555	4.3
e	7	22.44	3.206	
T	17	719.67		100
(e)	12	51.11	4.259	10.1

从变异数分析表中可以看出, 误差变异的产生, 基本上是 N(负重), Q(轮胎的气压)所造成的。

七、误差因素的调合

1. 何谓调合

改善 S/N 比的研究大多数把侧重点放在研究内侧的条件配置上。因为外侧条件的配置, 往往需要做大量的实验工作。使外侧配置效率化的方法就是进行误差的调合。当知道定性倾向的多个误差因素时, 可采用以下整理成 3 水准的方法。

N_1 — 使结果变小的误差因素组合 (这称为负侧的最恶劣条件)

N_2 — 标准条件

N_3 — 使结果变大的误差因素组合 (这称为正侧的最恶劣条件)

有时候, 常常只用 N_1 和 N_3 的 2 水准。对于误差因素 K、L、P、Q 的特性值 y, 定性倾向如下:

K-K 值变大, y 就变大。

L-L 值变大, y 就变小。

田口管理 365

P-P 值变大, y 就变小。

Q-Q 值变大, y 就变大。

对于 K、L、P、Q 各为 3 水准, 其调合因素 N 为 3 水准, 3 水准的区分各是:

$$N_1 - K_1 L_3 P_3 Q_1$$

$$N_2 - K_2 L_2 P_2 Q_2$$

$$N_3 - K_3 L_1 P_1 Q_3$$

即使可能的调合误差因素有好几个, 但是只要是 2~3 水准, 即可进行组合。误差因素与信号因素的组合见表 3-39。

表 3-39 调合后的数据

信号误差	M_1	M_2	...	M_k	合计
N_1	y_{11}	y_{21}	...	y_{k1}	N_1
N_2	y_{12}	y_{22}	...	y_{k2}	N_2
N_3	y_{13}	y_{23}	...	y_{k3}	N_3
合计	y_1	y_2	...	y_k	T

误差因素调合的最大优点, 就是可以获得较高评价的控制因素水准。对于那些定性倾向不明的误差因素, 最好先进行简单的预备实验来确定出定性倾向, 然后再进行误差因素调合。

2. 调合时的 S/N 比

调合后的 S/N 比计算步骤如下:

- 求全变动 S_T 。
- 求信号因素的比例或 1 次效果 S_b 。
- 误差变动为 $S_e = S_T - S_b$ 。
- 求误差变异。

第三章 品质评价 S/N 比法

$$V_e = \frac{S_e}{f_e} \quad (3.265)$$

(e) 计算 S/N 比。

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)}{V_e} \quad (3.266)$$

(1) 比例式校正

详见表 3-40。

表3-40 比例式变异数分析表

要因	f	S	V
β	1	S_β	S_β
N	2	S_N	V_N
e	3(k-1)	S_e	V_e
T	3k	S_T	V_N'
N+e	3(k-1)	S_N'	V_N'

各变动因素用以下公式求出。

$$S_T = 3k \text{ 个 2 次方的和} \quad (f=3k) \quad (3.267)$$

$$S_\beta = \frac{(M_1 y_1 + M_2 y_2 + \cdots + M_k y_k)^2}{3 \times (M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_k^2)} \quad (f=1) \quad (3.268)$$

$$S_N = S_{N+\beta} = \frac{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2}{M_1^2 + M_2^2 + \cdots + M_k^2} - S_\beta \quad (f=2) \quad (3.269)$$

$$\text{式中, } L_i = M_1 y_{i1} + M_2 y_{i2} + \cdots + M_k y_{ik} \quad (3.270)$$

$$S_e = S_T - S_\beta - S_N \quad [f=3(k-1)] \quad (3.271)$$

$$S_N' = S_{N+e} = S_T - S_\beta \quad (3.272)$$

(2) 一次式校正

详见表 3-41。

表3-41 一次式变异数分析表

要因	f	S	V
β	1	S_{β}	S_{β}
N	2	S_N	V_N
e	$3(k-1)-1$	S_e	V_e
T	$3k-1$	S_T	V_N'
N+e	$3k-2$	S_N'	V_N'

各变动因素用以下公式求出。

$$CF = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_k)^2}{3k} \quad (3.273)$$

$$S_T = 3k \text{ 个 2 次方的和 } - CF \quad (f=3k-1) \quad (3.274)$$

$$S_{\beta} = \frac{[(M_1 - \bar{M})y_1 + (M_2 - \bar{M})y_2 + \dots + (M_k - \bar{M})y_k]^2}{3[(M_1 - \bar{M})^2 + (M_2 - \bar{M})^2 + \dots + (M_k - \bar{M})^2]} \quad (f=1) \quad (3.275)$$

$$S_N = \frac{N_1^2 + N_2^2 + N_3^2}{k} - CF \quad (f=2) \quad (3.276)$$

$$S_e = S_T - S_{\beta} - S_N \quad [f=3(k-1)-1] \quad (3.277)$$

$$S_N' = S_{N+e} = S_T - S_{\beta} \quad (f=3k-2) \quad (3.278)$$

比例式和一次式在 S/N 的计算式不同的原因，在于比例式是通过零点，所以因 N 的水准所造成的平均差异和 N 的水准所产生倾斜的差异是相同的。因此， $S_N = S_{N \times \beta}$ ，利用 N 的水准即可求出倾斜的差异。而一次式因 N 的水准所造成的平均差异和因 N 的水准所产生倾斜的差异不会相同。有时候平均相同，倾斜相异，有时候平均相异，倾斜相同。在这里，是依据 N 的水准来分离平均差异，如同公式(3.279)。

从表 3-39 和表 3-40 的变异数分析表，可以利用以下的公式求

出 S/N 比 η 。

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_p - V_N)}{V_N} \quad (3.279)$$

但是, 如果 V_N 比 V_e 小时, 常常是

$$\eta = \frac{\frac{1}{r}(S_p - V_N')}{V_N'} \quad (3.280)$$

八、多个控制因素的配置

1. 内侧的配置

在对多种计测器进行择优评估时, 每一种类采用一个外侧数据来比较 S/N 比就可以了。而对以设计或改善为目的, S/N 比的设计好坏的评估时, 则要求有足够数量的评估因素。最后究竟需要什么水准的因素组合, 以及确定必要的内侧设计条件, 此时使用直交表是最有效的了。

如果比较 S/N 比的因素有

(1) 2 水准 1 因素和 3 水准 7 因素。

(2) 6 水准 1 因素和 3 水准 6 因素。

都可以使用 L_{18} 来配置。如果使用组合法的话, 2 水准的 2 因素可以当做 3 水准的 1 因素来加以处理, 所以可以配置相当数量的 2 水准的因素。3 水准的因素太多, L_{18} 无法配置完全时, 使用 L_{36} 也可以。

2. 计算实例

(1) 配置

在对家用体重器的改善研究, 从秤的构成要素之中, 选出相应的影响因素来加以研究。见表 3-42。

田口管理 365

表3-42 家用体重器影响因素

影响因素	1	2	3
基盘的补强 A	2.3	无(现状)	3.2
额盘的补强 B	2.3	无(现状)	3.2
弹簧材料 C	$S_{sp}-A$	A(现状)	SWC
弹簧制造 D	A	B(现状)	C
小齿轮半径 E	10	0.75(现状)	0.5
基盘脚位置 F	+10	中央(现状)	-10

表3-42 是求得的最适当水准组合的控制因素。从A到F的3水准的实验,见表3-43从A到F配置在第3、4、5……8行之中(2、3……7行也可以),表中只要行数比因素的数目多就可以,见表3-43。

No.1和No.5的实验分别以 $A_1B_1C_1D_1E_1F_1$ 、 $A_2B_2C_2D_2E_2F_2$ 的组合来表示。在这个配置表中,以 A_3 的条件实验是No.1、4、7、10、13、16,以 A_2 的条件实验是No.2、5、8、11、14、17,以 A_3 的条件实验是No.3、6、9、12、15、18。而且,6组的 A_1 的实验之中,包含 B_1 、 B_2 、 B_3 各2次, C_1 、 C_2 、 C_3 各2次,……, F_1 、 F_2 、 F_3 各2次。同时在 A_2 、 A_3 的各6组实验之中也是相同的。因此,6组的 A_1 、 A_2 、 A_3 的平均比较,A以外的因素的影响被平均化,对于A称为公平的比较。

以上的分析对于B、C、……F的对应行列也是相同的,除此之外,求S/N比的外侧因素如以下所示,配置在 L_{18} 。

(a) 信号因素

● 基准砝码 M

$M_1=0$, $M_2=2$, $M_3=40$, …, $M_6=100$ (kgf)

(b) 误差因素

● 地面 G

G_1 : 榻榻米上, G_2 : 木板上, G_3 : 线毯上

第三章 品质评价 S/N 比法

表 3-43 使用直交表 L_{18} 配置体重器的 3 水准 6 因素

No. 行			A	B	C	D	E	F	S/N 比 (db)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	17.94
2	1	1	2	2	2	2	2	2	15.83
3	1	1	3	3	3	3	3	3	15.83
4	1	2	1	1	2	2	3	3	16.46
5	1	2	2	2	3	3	1	1	15.26
6	1	2	3	3	1	1	2	2	14.92
7	1	3	1	2	1	3	2	3	20.08
8	1	3	2	3	2	1	3	1	12.68
9	1	3	3	1	3	2	1	2	14.62
10	2	1	1	3	3	2	2	1	13.56
11	2	1	2	1	1	3	3	2	13.41
12	2	1	3	2	2	1	1	3	13.78
13	2	2	1	2	3	1	3	2	15.84
14	2	2	2	3	1	2	1	3	13.02
15	2	2	3	1	2	3	2	1	15.83
16	2	3	1	3	2	3	1	2	15.68
17	2	3	2	1	3	1	2	3	12.16
18	2	3	3	2	1	2	3	1	16.16

● 倾斜 H

H_1 : 往右 3 度, H_2 : 水平, H_3 : 往后 3 度

● 偏重 I

I_1 : 偏后, I_2 : 中央, I_3 : 偏左

(2) 内侧的变异数分析

以内侧的 18 组条件选出外侧的数据, 按不调合时的配置状况求出 S/N 比。表 3-43 的 S/N 比(db) 栏就是其计算结果。

利用外侧数据求出的 S/N 比, 比较控制因素的水准别的 S/N 比, 其目的是要找出体重器的 S/N 比最好的控制因素的水准的组合(这称

田口管理 365

之为最适条件)。

直交表各行的每一个水准的合计(或平均)的比较,不受配置于其它行列的因素的影响,对于配置在行列中的因素的水准可以公平地加以比较。因此如果能够制造像表 3-44 的水准别的合计表,从水准间的 S/N 表的大小比较,也可以了解哪些水准较佳。

表 3-44 体重器 S/N 比控制因素的水准别合计与平均值

因素	水准	合计	平均
A	1	99.56	16.59
	2	82.36	13.73
	3	91.14	15.19
B	1	90.42	15.07
	2	90.65	16.16
	3	85.69	14.28
C	1	95.53	15.92
	2	90.26	15.04
	3	87.27	14.55
D	1	87.32	14.55
	2	89.65	14.94
	3	96.09	16.02
E	1	90.30	15.05
	2	92.38	15.40
	3	90.38	15.06
F	1	91.43	15.24
	2	90.30	15.05
	3	91.33	15.22
平均		273.06	15.17

从表 3-44 可以看出, $A_1B_2C_1D_3E_2F_1$ 被认为最佳,而且,以这样的组合,可以知道体重器的 S/N 比。现在,18 次的 S/N 比的总平均是 15.17db,以 A_1 来加以比较时可以获得

第三章 品质评价 S/N 比法

$$\bar{A}_1 - \bar{T} = 16.59 - 15.17 = 1.42(db) \quad (3.281)$$

同理选择 B_2 、 C_1 、…… F_1 ，与 \bar{T} 相比较时，只要 $(\bar{B}_2 - \bar{T})$ 、 $(\bar{C}_1 - \bar{T})$ 、 $(\bar{F}_1 - \bar{T})$ 、…变好，则 $A_1 B_2 C_1 D_3 E_3 F_1$ 与 \bar{T} 相比较也会变好。

$$(\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) + \dots + (\bar{F}_1 - \bar{T}) \quad (3.282)$$

如果是选择 A_1 与全体进行比较时，只要 $\bar{A}_1 - \bar{T}$ 好，由于实验误差，会造成对 A_1 效果评估过大。由于要知道 A_1 真正比平均好多少的方法较为麻烦，所以从 A、B、C、D、E、F 之中，只考虑效果比较大的因素，来替换公式(3.282)。对于没有配置控制因素的第1行，从各水准别的平均值来看，

$$(1 \text{ 行})_1 = 15.96$$

$$(1 \text{ 行})_2 = 14.38$$

仍有一定的差值。这个差值产生于实验过程的误差。实验误差的大小或控制因素影响的大小，是可以利用变异数分析来加以判断的，其分析顺序如下：

顺序1 求出修正项 CF

$$CF = \frac{(17.94 + 15.83 + \dots + 16.16)^2}{18} = \frac{273.06^2}{18} \quad (f=1) \quad (3.283)$$

顺序2 求全变动 S_T

$$S_T = 17.94^2 + 15.83^2 + \dots + 16.16^2 - CF \quad (f=17) \quad (3.284)$$

顺序3 求控制因素的变动 S_A

$$S_A = \frac{(A_1\text{之和})^2 + (A_2\text{之和})^2 + (A_3\text{之和})^2}{A_i\text{的反复数}} - CF$$

$$= \frac{99.56^2 + 82.36^2 + 91.14^2}{6} - CF \quad (f=2) \quad (3.285)$$

$$S_B = \frac{90.42^2 + 96.95^2 + 85.69^2}{6} - CF \quad (f=2) \quad (3.286)$$

以相同的方法可求得：

田口管理 365

$$\begin{aligned} S_C &= 5.830 & (f=2) \\ S_D &= 6.8786 & (f=2) \\ E &= 0.4629 & (f=2) \\ S_F &= 0.1304 & (f=2) \end{aligned} \quad (3.287)$$

顺序4 求误差变动 S_E 。

$$\begin{aligned} S_E &= S_T - S_A - S_B - S_C - S_D - S_E - S_F \\ &= 15.7042 & (f=5) \end{aligned} \quad (3.288)$$

顺序5 制作变异数分析表，如表3-45。

表3-45 变异数分析表

要因	f	S	V
A	2	24.6569	12.3284
B	2	10.6556	5.3278
C	2	6.583	2.915
D	2	6.8786	3.4393
E	2	0.4629	0.2314
F	2	0.1304	0.0652
e	5	15.7042	3.1408
T	17	64.3186	

顺序6 找出显著要因。

对那些与要因无关系的变异，例如误差变异 V_E 是3.1408，而C、E、F的变异都比它小，所以都可以视为误差而将其整合。另外，VD和 V_e 的值比较接近，所以D也可以整合。整合后的误差变动 $S_{(e)}$ 是

$$S_{(e)} = S_e + S_C + S_D + S_E + S_F = 29.0061 \quad (f=5+2+2+2+2=13) \quad (3.289)$$

误差变异 $V_{(e)}$ 是

$$V_{(e)} = \frac{S_{(e)}}{f_{(e)}} = \frac{29.0061}{13} = 2.2312 \quad (3.290)$$

顺序 7 整理变异数分析表, 见表 3-46。

表3-46 整理后的变异数分析表

要因	f	S	p(%)
A	2	24.6569	31.4
B	2	10.6556	9.6
e	13	23.0061	59
T	17	64.3186	100

以 $V_{(e)}$ 对 A、B 的效果进行 F 检定, 其判定效果是显著的, 由于 A、B 的变异比都在 2 以上, 所以可以认定 A、B 都是显著要因。贡献率的计算, 先以纯变动 S' 除以 S_T , 然后放大 100 倍。

$$\begin{aligned} \rho_A &= \frac{S'_A}{S_T} \times 100 = \frac{S_A - f_A \times V_e}{S_T} \times 100 \\ &= \frac{24.6569 - 2 \times 2.2312}{64.3186} \times 100 = 31.4 \% \end{aligned} \quad (3.291)$$

$$\rho_B = \frac{S'_B}{S_T} \times 100 = \frac{S_B - f_B \times V_e}{S_T} \times 100 = 9.6 \% \quad (3.292)$$

$$\rho_e = 100 - \rho_A - \rho_B \quad (3.293)$$

则贡献率

$$\frac{S'_e}{S_T} \times 100 = \frac{S_e + (f_A + f_B) \times V_e}{S_T} \times 100 = 59 \% \quad (3.294)$$

(3) 最适当条件下的 S/N 比及其经济性

变异数分析的结果, A、B 的影响是显著的, 将最适条件 A_1B_2 ($C_1D_3E_2F_1$) 的组合所得到的 S/N 比减去平均 \bar{T} 就可以了。

田口管理 365

$$(\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{B}_1 - \bar{T}) \quad (3.295)$$

最适当条件下的 S/N 比的推定值 $\hat{\mu}$ 为

$$\begin{aligned} \hat{\mu} &= \bar{T} + (\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{B}_1 - \bar{T}) \\ &= \bar{A}_1 + \bar{B}_1 - \bar{T} \end{aligned} \quad (3.296)$$

表 3-44 的平均栏为

$$\hat{\mu} = 16.59 + 16.16 - 15.17 = 17.58 \text{ (db)} \quad (3.297)$$

最适当条件的 S/N 比的推定可以用以上方式来求得,但仅限于 S/N 比不是真数而是分贝单位的情况。一般而言, A_1 是 \bar{T} 的 K_1 倍, B_1 是 \bar{T} 的 k_2 倍,但是 $A_1 B_1$ 却不是 \bar{T} 的 $(K_1 + k_2)$ 倍。因此,在研究多个控制因素时,以分贝来表现是最恰当的了。

第四章 品质计量法基础

一、质量管理的全球化进程

经济全球化是指世界各国的经济活动和过程，都被纳入了一个以通信技术和网络技术联结起来的全球性网络，在全球范围内寻求资源的最佳配置。进入二十世纪九十年代以后，计算机技术和通信技术的迅猛发展，信息全球化、网络化开始形成；由航空业、远洋运输业、高速公路网连成的全球性高速交通网也初具规模。

随着全球贸易的迅速扩大，产品和资本的流动日趋国际化，世界各国或相关国际组织为保证国际产品质量和明确产品责任问题，制订了各自的质量标准，以控制和保障流入的产品质量达到一定的安全、环保、卫生等系列标准以及质量管理国际标准，从而出现了国际化的产品认证和质量体系认证。如UL (Underwriter Laboratories Inc.) 认证、CSA (Canadian Standards Association) 认证等。

经济发展和时代的变革促进了品质管理理念以及方法的发展，表4-1归纳了不同的品质理念和品质方法的发展历程。

二、如何进行品质计量

1. 常用品质计量方法

品质计量方法有很多种，例如计量值管制图、制程能力分析、柏拉图、推移图、层别分析，等等。而较为常用的是不良率、制程能力和信号杂音比。

(1) 不良率

田口管理 365

表4-1 品质理念的发展历程

理念发展	品质方法	管制对象	品质指标
品质检验论	1.重视品质检验 2.SPC	作业执行人员	规格
品质制造论	1.重视品质管制 2.SPC、QCC、IE改善	管控改善人员	不良率、制程能力
品质设计论	1.重视品质保证 2.DOE、TAG	设计开发阶段	可靠度
品质习惯论	1.重视品质经营 2.ISO9001:2000 3.ISO14000 4.QS9000 5.ISO/TS16949	经营管理阶段	品质成本、客户满意度
品质文化论	1.重视品质价值 2.6 σ	决策经营阶段	客户满意度、员工满意度、公司股东满意度

不良率指的是不良品（指品质特性超出规格界限的产品）所占的百分比。产品的不良率越低，表示该产品的品质越佳，如6 σ 要求的不良率为3.4ppm（百万分之一）。不良率的计量可以采用不良率分析记录表进行，见表4-2。

表4-2 不良率分析记录表

编号：

品名：									
日期	供应商 操作者	型式	检验 项目	入厂数 加工数	检验数	不良数	不良 百分率	缺点数	不良说 明及处理

(2) 制程能力

制程能力包含三项指标：

(a) 上限能力指标 CPU

$$CPU = \frac{USL - \bar{y}}{3\sigma} \quad (4.1)$$

(b) 下限能力指标 CPL

$$CPL = \frac{\bar{y} - LSL}{3\sigma} \quad (4.2)$$

(c) 制程能力指数 Cp

$$Cp = \min\left(\frac{USL - \bar{y}}{3\sigma}, \frac{\bar{y} - LSL}{3\sigma}\right) \quad (4.3)$$

当品质特性分布呈现以标称值 m 为中心的对称型时，制程能力指数计算公式可简化为

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (4.4)$$

制程能力指数越大，表示产品的品质越佳。

(3) 田口 S/N 比

在第二章论述了品质损失函数，并推出平均品质损失 Q

$$Q = k[\mu - m]^2 + \sigma^2 \quad (4.5)$$

对一批产品而言，平均品质损失越小，表示该产品的品质越好，田口博士将平均品质损失以对数来转换，并且乘以 10（放大），再取负号，称为 S/N 比，作为品质的同义词。在此引用一个均方偏差 MSD 的概念。

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2 \quad (4.6)$$

经过代数换算，可以证明 MSD 可表示成平均值及标准偏差的方式：

$$MSD = (\mu - m)^2 + \sigma^2 \quad (4.7)$$

则 S/N 为:

$$S/N = -10Lg(MSD) \quad (4.8)$$

在 S/N 公式中, 对数的引入提高了 S/N 比的可加减性, 减弱了各因子间的交互作用。

2. 品质计算实例

某家具厂, 分别向四个板材商订购了一批同规格的木芯板, 要求木芯板标称厚度是 $20 \pm 4\text{mm}$, 即最小规格极限 LSL 是 16mm, 最大规格极限 USL 是 24mm, 厚度低于 LSL 或超过 USL 均为不合格产品。因为太薄时木芯板不够坚固, 而太厚时木芯板会增加家具的重量且增加家具安装时的不便。

四个板材商送来的木芯板, 经随机抽验后, 各家的木芯板厚度平均值 \bar{y} 及标准偏差 σ 等数据用图 4-1 和表 4-3 表示。



图4-1 木芯板厚度分布图

现在按照不良率、制程能力, S/N 比来评价这四个板材商的产品品质。

(1) 不良率

不良品是指厚度小于 LSL 或大于 USL 的木芯板。利用微软的 Excel 软件的 NORMDIST (返回标准正态分布函数) 计算式, 计算

表4-3 各板材商木芯板厚度平均值及标准偏差

	板材商 A	板材商 B	板材商 C	板材商 D
平均值 \bar{y}	20	18	17.2	20
标准偏差 σ	1.333	0.667	0.4	2.828

出不同板材商产品的不良率，见表 4-4。

表4-4 各板材商产品不良率

	Excel 计算式	不良率
板材商 A	$= \text{NORMDIST}(16, 20.0; 1.333, \text{TRUE}) \times 2$	0.27%
板材商 B	$= \text{NORMDIST}(16, 18.0; 0.667, \text{TRUE}) \times 2$	0.14%
板材商 C	$= \text{NORMDIST}(16, 17.2; 0.400, \text{TRUE}) \times 2$	0.14%
板材商 D	$= \text{NORMDIST}(16, 20.0; 2.828, \text{TRUE}) \times 2$	15.70%

从计算结果看，板材商 B、板材商 C 的品质同属优良，而板材商 A 属次等。（但实际结果却是板材商 A 比板材商 B 或 C 有较佳的品质，其原因将在本节末尾解释。）

(2) 制程能力

板材商 A：

$$\text{CPU} = (24.0 - 20) / 3 \times 1.333 = 1$$

$$\text{CPL} = (20 - 16) / 3 \times 1.333 = 1$$

$$\text{CPU} = \text{CPL}$$

$$\text{故 } \text{Cp} = \text{CPU} = \text{CPL} = (24.0 - 16.0) / 6 \times 1.333 = 1$$

板材商 B：

$$\text{CPU} = (24.0 - 18.0) / 3 \times 0.667 = 3$$

$$\text{CPL} = (18.0 - 16.0) / 3 \times 0.667 = 1$$

$$\text{CPU} \geq \text{CPL}$$

田口管理 365

故 $C_p=C_{PL}=(18.0-16.0)/3 \times 0.667=1$

板材商 C :

$C_{PU}=(24.0-17.2)/3 \times 0.4=5.67$

$C_{PL}=(17.2-16.0)/3 \times 0.4=1$

$C_{PU} \geq C_{PL}$

故 $C_p=C_{PL}=(17.2-16.0)/3 \times 0.4=1$

板材商 D :

$C_{PU}=(24.0-20)/3 \times 2.828=0.47$

$C_{PL}=(20-16)/3 \times 2.828=0.47$

$C_{PU}=C_{PL}$

故 $C_p=C_{PU}=C_{PL}=(24.0-16.0)/6 \times 2.828=0.47$

将各板材商的制程能力指数汇总, 见表 4-5。

表4-5 各板材商制程能力指数

	计算式	制程能力指数
板材商 A	$=(24.0-16.0)/(6 \times 1.333)$	1
板材商 B	$=(18.0-16.0)/(3 \times 0.667)$	1
板材商 C	$=(17.2-16.0)/(3 \times 0.400)$	1
板材商 D	$=(24.0-16.0)/(6 \times 2.282)$	0.47

制程能力指数在一定程度上反映出产品的品质特性, 制程能力指数越大, 产品的品质越佳。由表 4-4 可以看出, 板材商 A、B 及 C 三家的品质同属优质品。此结论和用不良率所得的结论并不一致。

(3) 田口 S/N 比

按照田口 S/N 比的最基本公式

$$S/N = -10 \lg \left[(\bar{y} - m)^2 + S^2 \right] \quad (4.9)$$

公式(4.9)式适用于望目特性(例如木芯板厚度)的品质评估, 其他形式的 S/N 比可由公式(4.9)导出。利用公式(4.9)所计算的四

组木芯板的品质评估结果, 如表 4-6 所示。

表 4-6 各板材商 S/N 比

	计算式	S/N 比(db)
板材商 A	$= -10\lg 10[(20.0-20.0)^2 + 1.333^2]$	-2.50
板材商 B	$= -10\lg 10[(18.0-20.0)^2 + 0.667^2]$	-6.48
板材商 C	$= -10\lg 10[(17.2-20.0)^2 + 0.400^2]$	-9.03
板材商 D	$= -10\lg 10[(20.0-20.0)^2 + 2.828^2]$	-9.03

我们知道 S/N 比值越大越好, 因而从表 4-6 可以看出板材商 A 的品质优于 B、C、D, 板材商 B 的品质又优于 C、D, 板材商 C、D 的品质一样差。

三种品质计量方法得到的结果竟截然不同。

三、不同品质计量方法比较

上节采用三种品质计量方法所得到的结果完全不同, 到底哪个板材商的产品品质更好一点呢? 下面对这三种品质计量方法进行比较。我们把三种品质计量方法的计算结果(表 4-4、表 4-5 及表 4-6)汇总成表 4-7, 然后加以比较。

表 4-7 三种品质计量方法比较

	板材商 A	板材商 B	板材商 C	板材商 D
平均值	20	17.2	17.2	20
标准偏差 S	1.333	0.400	0.400	2.828
不良率	0.27%	0.14%	0.14%	15.70%
制程能力指标	1	1	1	0.47
S/N 比	-2.50	-6.84	-9.03	-9.03

田口管理 365

从图 4-1 的木芯板厚度分布图来分析板材商 A，他们的产品平均厚度正好是标准偏值 (20)，公差 ($USL-LSL=8$) 横跨 6 倍的标准偏差 ($8/1.333=6$)，这是非常标准的制程要求，即不良率 0.27% 或制程能力指数 1.0 (如表 4-7 所示)。

再来看板材商 C，把平均厚度控制在 18mm，他们的制程能力在 1.0 的水准，不良率也降到了 0.135% (比板材商 A 还要低)。从不良率和制程能力的观点来看，板材商 C 节省了原材料 (平均厚度少了 10%)，板材商 C 的做法是聪明和正确的。

同样可以推论板材商 C 的木芯板比板材商 A 或板材商 B 都薄，品质应该更差。

从消费者的角度来衡量，大部分消费者会认为板材商 A 的木芯板要比板材商 B 的品质要好得多。因为，板材商 A 的木芯板结实。在现代社会竞争中，不再单单以满足规格来评定产品品质，更重要的是以最大限度满足顾客需要作为评判品质的标准，所以消费者才是产品品质好坏的最终裁判员。

通过对上述例子采用的三种品质计量方法的比较，不难发现不良率和制程能力没有反映出真正的品质事实，只有田口 S/N 比能确切地反映出产品品质的真正状况。

如果用不同的观点来比较板材商 C、D 的木芯板品质，并用符号 > 表示优良比较结果，其结论见表 4-8。

表 4-8 不同评价观点的评价结论

评价观点	结论
不良率和制程能力	板材商 C > 板材商 D
田口 S/N 比	板材商 D > 板材商 C
消费者角度	板材商 D > 板材商 C

第五章 品质设计方法

一、品质设计基础

品质设计的目的,在于降低产品变异和制程系统对于干扰因素的敏感程度,在不增加生产成本的基础上,进一步提高产品的品质和生产成本。通常,要降低产品的品质变异有两种方法:

(1) 去除干扰

去除干扰需要耗费成本、时间来完成,加上干扰因子不易控制,所以结果很难控制。

(2) 降低产品对干扰的敏感度

也就是在不增加成本的情况下,提高产品对于干扰因素的免疫力。

1. 品质设计原理

(1) 利用品质特性与控制因子间的非线性关系,来降低内部干扰因子的影响。

(2) 利用干扰因子与控制因子间的交互作用,来降低外部干扰因子或量测干扰因子的影响。

2. 品质设计特性

以品质特性为纵轴,控制因子为横轴,用图形的方式展现控制因子与品质特性的关系。大多数控制因子与品质特性成非线性关系(如图5-1),使我们有机会利用这个特性,从而进行稳健设计。

以品质特性的稳健性来衡量,从图5-1可以看出 A_2 比 A_1 要佳。因为在同样的控制因子变异下,所引起的品质特性变异 A_2

田口管理 365

要小于 A_1 。

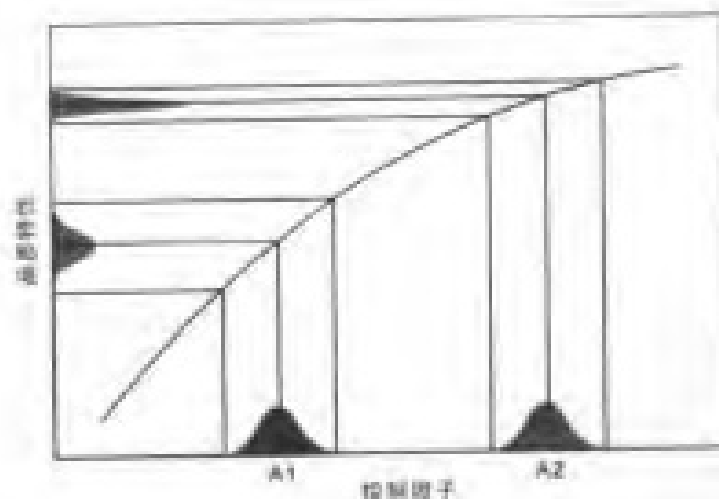


图5-1 控制因子与品质特性非线性关系图

如果控制因子与品质特性成线性关系时,在同样的控制因子变异情况下,B因子的变动不影响品质特性的变异,仅影响品质特性的大小,见图5-2。

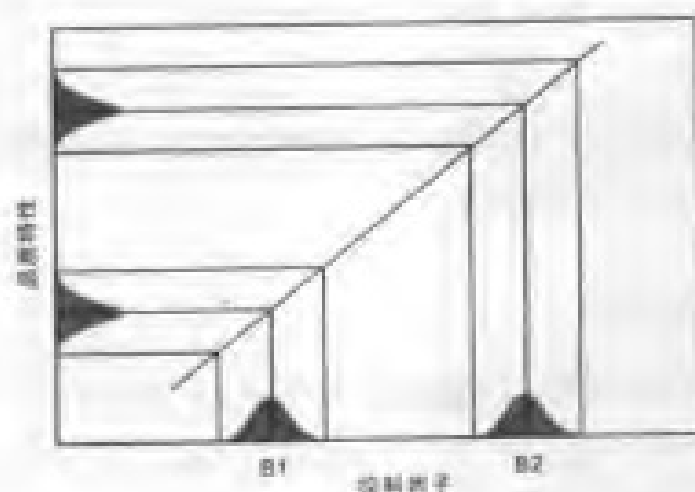


图5-2 控制因子与品质特性线性关系图

在控制因子之间、干扰因子和控制因子之间都存在着交互作用,也就是说,当某个因子的效应随着另一个因子的变动而改变时,这两个因子之间会存在一定的交互作用。而一个干扰因子对品质特性的效应,随着控制因子的变动而改变时,那么这两个控制因子和干扰因子之间同样存在着交互作用。正是由于这两个因子之间存在这样的交互作用,我们才可以从中选择控制因子的某一水准,使得干扰因子对产品的品质特性的影响降到最小,从而达到产品品质稳健的效果。

二、田口品质设计方法

田口方法被广泛应用到产品设计、工艺设计和技术开发等不同的阶段,以寻求最佳的产品或制程机能,并且将受干扰因子的影响维持最小,从而提高产品设计质量、降低生产成本,缩短研发周期。利用田口方法进行品质设计的步骤如下:

1. 品质特性的选定

品质特性是指所要改善的产品或制程机能(如不良率、良率、产品标准等)。品质特性的选择是品质改善方案成败的关键,因此,品质特性最好选用可以测量的实数,也就是说最好是计最值参数。

2. 品质特性的判定

品质特性的判定,也就是所要达到的理想值。如:不良率的理想机能是越小越好(即望小为佳特性);对于木芯板的厚度,是希望趋近于目标值(即望目为佳特性)。

3. 寻找所有影响因子

在公司内召集各部门的专业技术人员,共同讨论并确定影响品质特性的因子。影响因子的寻找和确定,要以特性要因图(鱼骨图)

田口管理 365

来表现。

4. 确定控制因子及水准

在特性要因图上所列出的所有因子，并不一定都作为控制因子来研究，要根据实验目的、实验成本以及再现性要求等，综合考虑才能最后确定控制因子及水准。

5. 直交表选定

根据控制因子及其水准的数目，来选定合适的直交表，并拟定完整的实验计划。

6. 得出实验数据

7. 数据分析

对实验所得的数据及资料进行分析的要点如下：

- (1) 计算控制因子的水准变动对品质特性的效应。
- (2) 计算控制因子的水准变动对品质特性变异的效应。
- (3) 根据计算结果调整控制因子，使品质特性最接近理想机能。

8. 实验确认

根据数据和资料分析的结果，来确定各控制因子间的最佳组合，并预测执行新的设计值后品质特性值及变异的趋势，进行实验确认。

实验确认是将实际值与预测值进行比较，如果二者比较接近，则新的设计值可以在生产线进行批量试产，否则，就要对原先的改善方案进行进一步的改进。

三、田口最佳化程序设计

下面以瓷砖制程设计为例介绍田口两阶段最佳化程序设计的方法。

某瓷砖厂根据用户要求生产一批厚度要求为 $10 \pm 0.15\text{mm}$ 瓷砖。其中，有一型号的瓷砖在生产过程中出现了严重的品质问题，约 30% 的瓷砖超出了容许的公差范围，成为不良品。究其原因是堆放在烧制车台上的瓷砖，由于内外受热不均，导致烧出的厚度发生了变异。

1. 确定控制因子和水准

工厂的技术人员经过研究，确定了影响瓷砖厚度的控制因子和水准，见表 5-1 和表 5-2。

表5-1 瓷砖制程设计控制因子

因子符号	因子名称	原始设计值
A	石灰石含量	1%
B	寿山石含量	53%
C	寿山石种类	原来配方
D	烧粉含量	1%
E	添加物粒径	原来粒径
F	烧成次数	二次烧成
G	长石含量	4%
H	粘土种类	K-type 及 G-type 各一半

表5-2 瓷砖制程设计控制因子水准

因子符号	因子名称	水准 1	水准 2	水准 3
A	石灰石含量	5%	1%	
B	寿山石含量	43%	53%	63%
C	寿山石种类	新配方加 添加物	原来配方	新配方 无添加物
D	烧粉含量	0%	1%	3%
E	添加物粒径	小一些	原来粒径	大一些
F	烧成次数	一次烧成	二次烧成	三次烧成
G	长石含量	7%	4%	0%
H	粘土种类	+K-type	各一半	G-type

2. 拟定实验计划

在 8 个控制因子当中，一个为 2 水准，其余 7 个为 3 水准，选用 L_{18} 直交表，见表 5-3。

3. 进行实验

经过实验，收集的数据见表 5-4。

4. 数据分析与计算

对实验的数据进行分析，计算出每组实验的 S/N 比，见表 5-5。

5. 绘制 S/N 比的效应表和效应图

S/N 比的效应见表 5-6 及图 5-3。

6. 绘制控制因子对品质特性的效应表和效应图

控制因子对品质特性的效应分别见表 5-7 和图 5-4。

表5-3 磁砖制程设计实验计划

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
1	1	1	1	1	1	1	1	1							
2	1	1	2	2	2	2	2	2							
3	1	1	3	3	3	3	3	3							
4	1	2	1	1	2	2	3	3							
5	1	2	2	2	3	3	1	1							
6	1	2	3	3	1	1	2	2							
7	1	3	1	2	1	3	2	3							
8	1	3	2	3	2	1	3	1							
9	1	3	3	1	3	2	1	2							
10	2	1	1	3	3	2	2	1							
11	2	1	2	1	1	3	3	2							
12	2	1	3	2	2	1	1	3							
13	2	2	1	2	3	1	3	2							
14	2	2	2	3	1	2	1	3							
15	2	2	3	1	2	3	2	1							
16	2	3	1	3	2	3	1	2							
17	2	3	2	1	3	1	2	3							
18	2	3	3	2	1	2	3	1							

表5-4 磁砖制程设计实验数据

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.20
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.20	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.80	9.93
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.20	10.18	10.18	10.36
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10.00	9.94	9.90	9.88	9.87	9.85	10.05
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.90	9.88	9.80	9.72	10.12
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.90	10.22
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.80	10.02
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10.00	9.95	9.92	9.78	9.71	10.06
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10.00	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.10	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12

第五章 品质设计方法

表5-5 瓷砖制程设计实验S/N比一览表

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	RAW	S/N	S
1	1	1	1	1	1	1	1	1	10.18	10.18	10.12	10.06	10.02	9.98	10.20	10.11	41.3	0.087
2	1	1	2	2	2	2	2	2	10.03	10.01	9.98	9.96	9.91	9.89	10.12	9.99	42.2	0.078
3	1	1	3	3	3	3	3	3	9.81	9.78	9.74	9.74	9.71	9.68	9.87	9.76	43.6	0.064
4	1	2	1	1	2	2	3	3	10.09	10.08	10.07	9.99	9.92	9.88	10.14	10.02	40.3	0.096
5	1	2	2	2	3	3	1	1	10.06	10.05	10.05	9.89	9.85	9.78	10.12	9.97	37.7	0.129
6	1	2	3	3	1	1	2	2	10.20	10.19	10.18	10.17	10.14	10.13	10.22	10.18	50.0	0.032
7	1	3	1	2	1	3	2	3	9.91	9.88	9.88	9.84	9.82	9.80	9.93	9.87	46.3	0.048
8	1	3	2	3	2	1	3	1	10.32	10.28	10.25	10.20	10.18	10.18	10.36	10.25	43.2	0.071
9	1	3	3	1	3	2	1	2	10.04	10.02	10.01	9.98	9.95	9.89	10.11	10.00	43.1	0.070
10	2	1	1	3	3	2	2	1	10.00	9.98	9.93	9.80	9.77	9.70	10.15	9.90	36.0	0.156
11	2	1	2	1	1	3	3	2	9.97	9.97	9.91	9.88	9.87	9.85	10.05	9.93	42.9	0.071
12	2	1	3	2	2	1	1	3	10.06	9.94	9.90	9.88	9.80	9.72	10.12	9.92	37.1	0.139
13	2	2	1	2	3	1	3	2	10.15	10.08	10.04	9.98	9.91	9.90	10.22	10.04	38.5	0.120
14	2	2	2	3	1	2	1	3	9.91	9.87	9.86	9.87	9.85	9.80	10.02	9.88	43.2	0.069
15	2	2	3	1	2	3	2	1	10.02	10.00	9.95	9.92	9.78	9.71	10.06	9.92	37.7	0.129
16	2	3	1	3	2	3	1	2	10.08	10.00	9.99	9.95	9.92	9.85	10.14	9.99	40.2	0.097
17	2	3	2	1	3	1	2	3	10.07	10.02	9.89	9.89	9.85	9.76	10.19	9.95	36.6	0.147
18	2	3	3	2	1	2	3	1	10.10	10.08	10.05	9.99	9.97	9.95	10.12	10.04	43.5	0.067

田口管理 365

表5-6 瓷砖制程设计实验 S/N 比的效应表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level1	43.1	40.5	40.5	40.3	44.5	41.1	40.4	39.9
Level2	39.5	41.2	41.0	40.9	40.1	41.4	41.5	42.8
Level3		42.2	42.5	42.7	39.3	41.4	42.0	41.2
Effect	3.6	1.6	2.1	2.4	5.3	0.3	1.6	2.9
Rank	2	6	5	4	1	8	7	3

表5-7 控制因子对品质特性的效应表

	A	B	C	D	E	F	G	H
Level1	10.02	9.93	9.99	9.99	10.00	10.07	9.98	10.03
Level2	9.95	10.00	10.00	9.97	10.02	9.97	9.97	10.02
Level3		10.02	9.97	9.99	9.949.91	10.01	9.90	
Effect	0.06	0.08	0.03	0.03	0.08	0.17	0.04	0.13
Rank	5	3	7	8	4	1	6	2



图5-3 瓷砖制程设计实验 S/N 比效应图

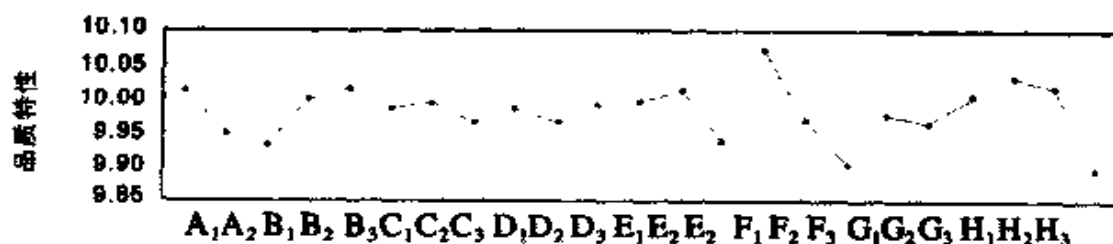


图5-4 控制因子对品质特性的效应图

7. 控制因子分类

田口博士在分析因子的重要性有一个“一半一半”原则，即将大约一半的因子视为重要因子，另一半视为不重要因子。虽然这个原则缺乏足够的说服力，但在工程应用实务上确实是简便易行，又有足够的准确性，而且最大的好处是不用进行繁琐的数理统计。

(1) 对控制因子进行分类

按有无影响，对控制因子大致可以分成四类，见表5-8。

表5-8 控制因子分类

分类	S/N 比	品质特性
1	有	有
2	无	有
3	有	无
4	无	无

(2) 控制因子排序和归类

根据上述分类原则，我们对瓷砖制程设计实例进行分析：

(a) 各控制因子对 S/N 比的效应排列顺序

E、A、H、D、C、B、G、F

根据一半一半原则，影响 S/N 比的控制因子依次为：E、A、H、D、C

(b) 各控制因子对品质特性的效应排列顺序

F、H、B、E、A、G、C、D

根据一半一半原则，影响品质特性的控制因子依次为：F、H、B、E、A

(c) 将控制因子归类

田口管理 365

按照表 5 - 8 的分类原则, 将控制因子进行归类汇总, 见表 5-9。

表5-9 控制因子归类汇总

类别	影响 S/N	影响品质特性	控制因子	用途
1	有	有	A、E、H	用来缩小变异
2	否	有	B、F	用来调整品质特性至目标值
3	有	否	C、D	用来缩小变异
4	否	否	G	用来降低成本

8. 进行两阶段最佳化

(1)先调整那些对 S/N 比有影响的因子(如第 1 类和第 3 类因子), 使得 S/N 比最大, 也就是品质特性的变异缩成最小。

(2)接着调整那些对品质特性有影响但对 S/N 比没有影响的因子(第 2 类因子), 使得品质特性的平均值靠近目标值, 且变异维持不变。

综上所述, 田口博士的两阶段最佳化程序可简述如下:

(a)最大化 S/N 比, 减小变异、降低杂音的敏感性。在此阶段, 可以不考虑平均值, 而是选择能够最大化 S/N 的控制因子水准。

(b)调整平均值到目标值上。在此阶段, 可以选择适当的调整因子(对 S/N 比没有影响但对平均值有显著影响的因子), 从而使平均值靠近目标值。

四、新旧田口方法比较

田口方法有新、旧之分, 均为田口玄一博士开发。新方法在日本称为田口品质工程, 在美国则称为田口方法。而旧方法被称为实验计划法(DOE)。

新旧方法最大的差别是在最后的数据处理上，旧方法要进行变异数分析表，而新方法则用 S/N 比直接处理数据。下面用一个实例来探讨新旧田口方法的差异。

实例

设有一实验，共有 5 个因子，采用 2 水准直交表，每次实验收集 4 个数据共有 6 个因子，采用 L_8 直交表进行实验计划。

1. 旧方法(DOE)

旧方法会考虑交互作用，实验前假设因子 A 和 B 有交互作用，并配置在第 3 列。设实验者所配置的实验及实验结果如表 5-10 所示。

表5-10 实验结果一览表

实验	A	B	A × B	F	D	E	C	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
1	1	1	1	1	1	1	1	381	381	385	384
2	1	1	1	2	2	2	2	382	382	381	379
3	1	2	2	1	1	2	2	365	366	378	377
4	1	2	2	2	2	1	1	387	384	383	384
5	2	1	2	1	2	1	2	388	388	387	387
6	2	1	2	2	1	2	1	374	380	380	384
7	2	2	1	1	2	2	1	383	381	383	381
8	2	2	1	2	1	1	2	384	381	384	384

运用旧田口方法一定需要经过变异数分析的程序，变异数分析见表 5-11。

表5-11 变异数分析表

因子	SS	自由度	Var	F	信心	重要性
A	78.125	1	78.125	7.962	100%	Yes
B	45.125	1	45.125	4.599	<99%	No
AxB	18.000	1	18.000	1.834	<90%	No
F	10.125	1	10.125	1.032	<75%	No
D	162.000	1	162.000	16.510	100%	Yes
E	288.000	1	288.000	29.350	100%	Yes
C	15.125	1	15.125	1.541	<90%	No
Error	235.5	24	9.813	S=3.13		
Total	852.0	31	626.313	Note: At lease 99% confidence		

由上面的变异数分析表可知，因子 A、D、E 的影响是显著的！

2. 新方法

新方法不考虑交互作用，但为了比较起见仍然仿照以上配置，直接将 S/N 比作处理(此处假设为望目特性)，利用望目特性的 S/N 比公式，将各次实验结果数据转换成 S/N 比，见表 5-12、表 5-13。

由上述 S/N 比因子水准辅助表排序中，可知重要因子是 A、D、E，其排序依次为 D、E、A、A × B、B、C、F。

3. 新旧方法之比较

(1) 交互作用的考虑

旧方法需考虑，并设法(运用点线图或是观察效果列)加以配置。

(2) 显著因子的掌握

旧方法利用 ANOVA 表和检定找出，新方法利用因子水准表 Max-Min 找出。

两种方法的结果比较见表 5-14，表 5-15。

全国迷你型MBA职业经理双证班

- 学习方式：全国招生 函授学习 权威双证 国际互认
- 认证项目：注册职业经理、人力资源总监、品质经理、生产经理、营销策划师、物流经理、项目经理、企业管理咨询师、企业总经理、营销经理、财务总监、酒店经理、企业培训师、采购经理、IE工业工程师、医院管理、行政总监、市场总监等高级资格认证。
- 颁发双证：高级注册 经理资格证+MBA研修证+人才测评证+全套学籍档案
- 收费标准：仅收取**1280元** 招生网址：www.mhjy.net
报名电话：**13684609885 0451—88342620**
咨询邮箱：xchy007@163.com 咨询教师：王海涛
- 学校地址：哈尔滨市道外区南马路**120**号职工大学（美华教育）



美华论坛
www.mhjy.net

- 颁证单位：中国经济管理大学
• 主办单位：美华管理人才学校

全国职业经理MBA双证班

精品课程 火热招生

函授学习 权威双证 全国招生 请速充电



- 近千本**MBA**职业经理教程免费下载
- -----请速登陆: www.mhjy.net

第五章 品质设计方法

表 5-12 实验数据 S/N 比

实验	1	2	3	4	5	6	7	8
S/N 比	45.3744	48.6082	34.5563	46.9267	56.5366	39.2796	50.3919	48.1478

表 5-13 S/N 比的因子水准辅助表

实验因子	水准 1	水准 2	Max - Min	排序
A	43.8664	48.5890	4.7266	3
B	47.4497	45.0057	2.4440	5
A × B	48.1306	44.3248	3.8057	4
F	46.7148	45.7406	0.9742	7
D	41.8395	50.6158	8.7763	1
E	49.2464	43.2090	6.0374	2
C	45.4931	46.9622	1.4691	6

表 5-14 新旧田口方法比较表 (1)

比较项目	新方法	旧方法
复杂程度	计算简单、不理睬交互作用，使用直交表不配置交互作用列。	要猜测有无交互作用，并因交互作用列来进行直交表配置。
难度	只需具备加、减、乘、除和以 10 为底的 log 的计算能力。	需具备高等统计“变异数分析”的计算能力。
结果运用	结果理想，不但可知实验因子何者为影响显著且能加以排序，本例为 D、E、A，可运用公式，在事前即进行结果预测。	结果不理想，仅能得知实验因子何者影响显著，本例为 A、D、E。变异数分析依然会被使用到允差设计中，同时不做 F 检定。

田口管理 365

表 5-15 新旧田口方法比较表 (2)

比对项目	旧方法	新方法	备注
理想机能	无	重视	解题关键
品质特性值	无	计量类	新法分静态与动态
解题策略	无	有	新法先缩小变异后调整中心
误差因子处理	忽略	重视	新法用调和误差
直交表	2 水准系列	L_{18}	
交互作用	重视	忽略	早期运用点线图
实验结果数据	原始数据	S/N 比	新法将数据转换成 S/N 比
变异数分析	重视	不使用	新法用于允差设计和前馈控制
同步解决多问题	无	有	

第六章 直交表应用

一、直交基本原理

直交是指两条互成 90° 相交的直线, 按照解析几何中对于经过原点的这两条直线来说, 其斜率的乘积 ($m_1 \times m_2$) 等于 -1 时, 二直线成直角。按照向量运算规则, 对 $(1,1)$ 及 $(-1,1)$ 两个向量来说, 只要先将对应项相乘再相加, 如果其和为 0 , 则两个向量互成直角。

二、直交表的直交性证明

直交表具备以下两个特性:

- (1) 每列因子的水准出现频率相同。
- (2) 某一系列中出现某一水准的所有实验组, 与在另一列中, 出现此水准的频率相同。

当上述两个特性同时存在, 就可称为直交。因此可以根据上述直交特性理论, 对直交表的直交性进行证明。

下面给出几个常见直交表的直交性证明方法。

1. $L_4(2^3)$ 直交表

- (a) $L_4(2^3)$ 直交表, 见表 6-1。
- (b) 证明 $L_4(2^3)$ 直交表的正确性, 见表 6-2。

2. $L_8(2^7)$ 直交表

- (a) $L_8(2^7)$ 直交表, 见表 6-3。
- (b) 证明 $L_8(2^7)$ 直交表的正确性, 见表 6-4。

田口管理 365

表 6-1 $L_4(2^3)$ 直交表

Expt No.	Column		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

表6-2 $L_4(2^3)$ 直交表正确性证明

A	B	C	A × B 之和	B × C 之和	C × A 之和
-	-	-	+	+	+
-	+	+	-	+	-
+	-	+	-	-	+
+	+	-	+	-	-
0	0	0	0	0	0

表 6-3 $L_8(2^7)$ 直交表

A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	2	2	2	2
1	2	2	1	1	2	2
1	2	2	2	2	1	1
2	1	2	1	2	1	2
2	1	2	2	1	2	1
2	2	1	1	2	2	1
2	2	1	2	1	1	2

表6-4 $L_8(2^7)$ 直交表正确性证明

A	B	C	D	E	F	G	$A \times B$ 之和	$B \times C$ 之和	$C \times D$ 之和	$D \times E$ 之和	$E \times F$ 之和	$F \times G$ 之和	$G \times A$ 之和
-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-
-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-
-	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+
+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-
+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-
+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

田口管理 365

3. $L_9(3^4)$ 直交表

(a) $L_9(3^4)$ 直交表, 见表 6-5。

表 6-5 $L_9(3^4)$ 直交表

NO \ 因子	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

(b) 证明 $L_9(3^4)$ 直交表的正确性, 见表 6-6。

表 6-6 $L_9(3^4)$ 直交表正确性证明

NO \ 因子	A	B	C	D	A × B	B × C	C × D	D × A
1	-	-	-	-	+	+	+	+
2	-	0	0	0	0	0	0	0
3	-	+	+	+	-	+	+	-
4	0	-	0	+	0	0	0	0
5	0	0	+	-	0	0	-	0
6	0	+	-	0	0	-	0	0
7	+	-	+	0	-	-	0	0
8	+	0	-	+	0	0	-	+
9	+	+	0	-	+	0	0	-
小计	0	0	0	0	0	0	0	0

4. $L_{18} (2^1 \times 3^7)$ 直交表

(a) $L_{18} (2^1 \times 3^7)$ 直交表, 见表 6-7。

表 6-7 $L_{18} (2^1 \times 3^7)$ 直交表

NO	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁
2	A ₁	B ₁	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂
3	A ₁	B ₁	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃
4	A ₁	B ₂	C ₁	D ₁	E ₂	F ₂	G ₃	H ₃
5	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	E ₃	F ₃	G ₁	H ₁
6	A ₁	B ₂	C ₃	D ₃	E ₁	F ₁	G ₂	H ₂
7	A ₁	B ₂	C ₁	D ₂	E ₁	F ₃	G ₂	H ₃
8	A ₁	B ₂	C ₂	D ₃	E ₂	F ₁	G ₃	H ₁
9	A ₁	B ₂	C ₃	D ₁	E ₃	F ₂	G ₁	H ₂
10	A ₂	B ₁	C ₁	D ₃	E ₃	F ₂	G ₂	H ₁
11	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₁	F ₃	G ₃	H ₂
12	A ₂	B ₁	C ₃	D ₂	E ₃	F ₁	G ₁	H ₃
13	A ₂	B ₂	C ₁	D ₂	E ₃	F ₁	G ₃	H ₂
14	A ₂	B ₂	C ₂	D ₃	E ₁	F ₂	G ₁	H ₃
15	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁	E ₂	F ₃	G ₂	H ₁
16	A ₂	B ₃	C ₁	D ₃	E ₂	F ₃	G ₁	H ₂
17	A ₂	B ₃	C ₂	D ₁	E ₂	F ₁	G ₂	H ₃
18	A ₂	B ₃	C ₃	D ₂	E ₁	F ₂	G ₃	H ₁

(b) 证明 $L_{18} (2^1 \times 3^7)$ 直交表的正确性, 见表 6-8。

三、直交表的正确使用

1. 直交表特性

(1) 减少实验次数。

田口管理 365

表 6-8 $L_{18} (2^1 \times 3^7)$ 直交表的正确性证明

因子 NO	A	B	C	D	E	F	G	H	A × B	B × C	F × G
1	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
2	-	-	O	O	O	O	O	O	+	O	O
3	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+
4	-	O	-	-	O	O	+	+	O	O	O
5	-	O	O	O	+	+	-	-	O	O	-
6	-	O	+	+	-	-	O	O	O	O	O
7	-	+	-	O	-	+	O	+	-	-	O
8	-	+	O	+	O	-	+	-	-	O	-
9	-	+	+	-	+	O	-	O	-	+	O
10	+	-	-	+	+	O	O	-	-	+	O
11	+	-	O	-	-	+	+	O	-	O	+
12	+	-	+	O	O	-	-	+	-	-	+
13	+	O	-	O	+	-	+	O	O	O	-
14	+	O	O	+	-	O	-	+	O	O	O
15	+	O	+	-	O	+	O	-	O	O	O
16	+	+	-	+	O	+	-	O	+	-	-
17	+	+	O	-	+	-	O	+	+	O	O
18	+	+	+	O	-	O	+	-	+	+	O
小计	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

(2) 由直交表实验所获得的结论，在整个实验范围里都成立。

(3) 具有良好的再现性。

(4) 数据分析简单，各因子效应只需简单计算即可决定各个因子的结果。

2. 直交表的使用

在选择直交表之前要事先确定以下条件：

- (1) 因子数量。
- (2) 每个因子的水准数。
- (3) 二因子交互作用。
- (4) 实验中可能出现的问题。

然后选择适当的直交表,进行因子配置,决定实验的次数和实验的总自由度。自由度指估计咨询来源所需的独立量测数目,自由度越大获得的情报量越多。假设因子A具有 A_1 和 A_2 二个水准,要想知道哪一水准能提供最大效能时,必须进行一次比对(比较 A_1 和 A_2 的效果),那么A因子的自由度即为A因子所需进行比对的次数,此时A因子(二水准)的自由度为1。假设B因子具有 B_1 、 B_2 、 B_3 三个水准,想要了解这三个水准中哪一水准效果最佳,需要进行二次比对,因而B因子的自由度为2。一般来说,一个因子的自由度为该因子的水准数减1。两因子交互作用的自由度为此两因子个别自由度的乘积,即

$$\begin{aligned} & \text{AB的交互作用 (A} \times \text{B) 的自由度} \\ &= (\text{A的自由度}) \times (\text{B的自由度}) \\ &= (\text{A的水准数}-1) \times (\text{B的水准数}-1) \end{aligned}$$

直交表的自由度有两种计算方法,一是为实验次数减1,例如 L_8 的自由度为7, L_4 的自由度为3, L_9 的自由度为8;一个是等于直交表中每个因子自由度的总和。

3. 举例说明

例 1

某例共有2水准控制因子1个(A),3水准控制因子5个(B,C,D,E,F),要计算A,B两因子之交互作用,其矩阵实验自由度计算见表6-9。

表6-9 矩阵实验自由度计算

因素 / 交互作用	自由度
总平均	1
A	$2-1=1$
B、C、D、E、F	$5 \times (3-1)=10$
$A \times B$	$(2-1) \times (3-1)=2$
自由度合计	$1+1+10+2=14$

因此,我们至少要做14个实验,才能掌握各控制因素及交互作用之效应。

例 2

设某例共有2水准控制因子2个(A, B), 3水准控制因子4个(C, D, E, F)。对于此案例,要计算A, B和C, D两因子之间的交互作用,其矩阵实验自由度计算见表6-10。

表6-10 矩阵实验自由度计算

因素 / 交互作用	自由度
总平均	1
A、B	$2 \times (2-1) = 2$
C、D、E、F	$4 \times (3-1)=8$
$A \times B$	$(2-1) \times (2-1)=1$
$C \times D$	$(3-1) \times (3-1)=4$
自由度合计	$1+2+8+1+4=16$

因此,我们至少要做16个实验,才能掌握各控制因素及交互作用之效应。

四、直交表的应用

通过一系列的多次实验,按照实验计划将各项产品或制程参数予以变动,对累积的相关数据进行分析,以确定各参数的效应。实验时要用到一项特定的,可以同时研究若干个对产品或制程有参数影响的矩阵即直交表。在实验计划中,直交表是一项非常重要的技术手段。

直交表最大的优点是数据分析较为简单,各项参数的影响只需要作简单的平均计算后即可知晓,获得有关因素的影响后,即可用以决定是否最优。

依统计学的用语,实验计划可称为设计的实验。实验计划包含的个别实验,有时可称为回合。各参数的数值,则名为水准,参数本身又可称为因素。

现举一个例子加以说明。假定要知道四个制程参数的影响或效应情况,即温度、压力、时间及清洗方法。表6-11为四项制程参数及其水准,该表所列四项因素,表示了实验的范围。研究的目的是决定各参数的最佳水准。

表6-11 四项制程参数及其水准

因素	水 准		
	1	2	3
温度	100	150	200
压力	5	10	15
稳定时间	10	20	30
清洗方法	30	35	40

田口管理 365

本例的实验计划见表6-12，计划中的个别实验有9个，见表中9个横行。

表6-12 直交表实验计划

实验编号	水 准				实验测定值
	温度	压力	稳定时间	清洗方法	
1	1	1	1	1	
2	1	2	2	2	
3	1	3	3	3	
4	2	1	2	3	
5	2	2	3	1	
6	2	3	1	2	
7	3	1	3	2	
8	3	2	1	3	
9	3	3	2	1	

矩阵中所示数字，为各因素实验时的水准。例如实验2，四项因素的水准分别为1、2、2、2。

每个编号实验的四项因素分别为：温度、压力、稳定时间及清洗方法。如实验5，实施实验时的温度为水准2、压力为水准2、沉淀时间为水准3、清洗方法为水准1，可用 $A_2B_2C_3D_1$ 代表。

表6-12所表示的实验矩阵就是标准的直交表 L_9 。试取表中任两个直列，各项因素水准的组合，均以相同次数出现，此特性称为位置的平衡性。例如以直列3及直列4来说，因素水准的组合计有九组，每组各仅出现一次。计为(1,1)、(2,2)、(3,3)、(2,3)、(3,1)、(1,2)、(3,2)、(1,3)及(2,1)。

直交表实验的每一次实验均以不同数量的因素为基础，有些因素含有两种水准，有些含有三种水准甚至更多种水准。

五、直交表解析与说明

1. 直交表解析

以 $L_4(2^3)$ 直交表为例进行解析,见表 6-13。

表 6-13 $L_4(2^3)$ 直交表解析

因子、因素)列 NO.(实验次数)	操作条件或实验配方			实验结果
	A	B	C	
①	1 _{⊗A}	1 _{⊗B}	1 _{⊗C}	y_1
②	1 _{⊗A}	2 _{⊗B}	2 _{⊗C}	y_2
③	2 _{⊗A}	1 _{⊗B}	2 _{⊗C}	y_3
④	2 _{⊗A}	2 _{⊗B}	1 _{⊗C}	y_4

$L_4(2^3)$ 表示是一个具有 4 次实验、2 水准、3 因素的直交表。

直交排列表有 2^n 型、 3^n 型和混合型三种类型。

2^n 型直交排列表用于每一个因素都有两个水准,例如温度有 100℃ 及 200℃,压力有 2 大气压及 3 大气压。

3^n 型为每个因素有三个水准,例如温度因素有 100℃、200℃、300℃,压力有 2 大气压、3 大气压、4 大气压。

混合型直交表常用 L_{12} , L_{18} , L_{36} 三种类型,可以配置 11 个 2 水准的因素。在 L_{18} 的直交表中,可配置 2 水准 1 个因素与 3 水准 7 个因素。

直交表实验广泛地被应用到设计、实验、制程改善、品质管理、生物工程等领域,常用的直交表,其水准数的表示法,大致有下列四种,见表 6-14。

表6-14 水准数表示法

1	0 0 0	1 1 1	-1 -1 -1	- - -
2	0 1 1	1 2 2	-1 +1 +1	- + +
3	1 0 1	2 1 2	+1 -1 +1	+ - +
4	1 1 0	2 2 1	+1 +1 -1	+ + -

2. 直交排列特性

在表6-13中,将表内1用-1取代,2用+1取代,可得表6-15的表示形式。从表中可以看出:

(1) 任何一列的和为零

如第二列为 $(-1) + 1 + (-1) + 1 = 0$ 。

(2) 任两列的乘积和亦为零

如第A列乘第B列,即 $(-1) \times (-1) + (-1) \times (+1) + (+1) \times (-1) + (+1) \times (+1) = 1 - 1 - 1 + 1 = 0$ 。

根据直交定义各列成为相互直交,依此而构成的表叫直交排列表,以此直交排列配置各种因素、并作变异数等分析,叫直交排列法。直交排列特性说明见表6-15。

表6-15 直交排列特性说明

列	A	B	A × B
①	-1	-1	+1
②	-1	+1	-1
③	+1	-1	-1
④	+1	+1	+1

六、交互作用的计算

在实验计划要因配置的所谓直交,是指对于某一要因的任一水准,其它要因的全部水准出现的次数相同,以直交表 $L_4 (2^3)$ 为例说明交互作用的计算,见表 6-16。

表 6-16 直交表 $L_4 (2^3)$

因子、因素 实验次数	(操作条件或实验配方)			实验结果
	A	B	C	
①	1 ① A_1	① B	1 ① C	y_1
②	1 ② A_2	② B	2 ② C	y_2
③	2 ③ A_1	③ B	2 ③ C	y_3
④	2 ④ A_2	④ B	1 ④ C	y_4

现假设,因素 A 有 A_1 、 A_2 二水准。

因素 B 有 B_1 、 B_2 二水准。

因素 A、B 的所有可能组合

有 $A_1B_1 \rightarrow 1 \text{ ① } A \quad 1 \text{ ① } B$

$A_1B_2 \rightarrow 1 \text{ ② } A \quad 2 \text{ ② } B$

$A_2B_1 \rightarrow 2 \text{ ③ } A \quad 1 \text{ ③ } B$

$A_2B_2 \rightarrow 2 \text{ ④ } A \quad 2 \text{ ④ } B$

对于①、②、③、④组合的实验值 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 , 由于 A 没有受到 B 的影响, 因此, 比较 A 在第 1 水准的 y_1 、 y_2 及 A 在第 2 水准的 y_3 、 y_4 就可求得 A_1 变为 A_2 的主效果:

$$(y_1 + y_2) - (y_3 + y_4) \quad (6.1)$$

田口管理 365

$$A_1/B_1 \dots y_1 \quad (6.2)$$

$$A_1/B_2 \dots y_2 \quad (6.3)$$

$$A_2/B_1 \dots y_3 \quad (6.4)$$

$$A_2/B_2 \dots y_4 \quad (6.5)$$

A_1 变为 A_2 时, B 因素中 B_1 与 B_1 会相互抵销。B 因素中 B_2 与 B_2 会相互抵销。

同理 B_1 变为 B_2 的主效果:

$$(y_1 + y_3) - (y_2 + y_4) \quad (6.6)$$

再来看看交互作用的计算方法。设因素 A、B 均为 2 阶次, 见表 6-17。

表 6-17 因素 A、B 的交互作用

		A	
		A_1	A_2
B	B_1	$A_1 B_1$	$A_2 B_1$
	B_2	$A_1 B_2$	$A_2 B_2$

因此 A 与 B 的交互作用可表示为:

$$(A_1 B_1 - A_1 B_2) - (A_2 B_1 - A_2 B_2) = (A_1 B_1 - A_2 B_2) - (A_1 B_2 - A_2 B_1) \quad (6.7)$$

假定将 A、B 分别配置 L_8 表的第一列及第二列, 见表 6-18 所示。

表 6-18 A 与 B 交互作用

No.	A	B	A × B	实验结果
①	1	1	1	y ₁
②	1	1	1	y ₂
③	1	2	2	y ₃
④	1	2	2	y ₄
⑤	2	1	2	y ₅
⑥	2	1	2	y ₆
⑦	2	2	1	y ₇
⑧	2	2	1	y ₈

七、重要因果图解分析方法

重要因果图解分析，是将某一事件产生的结果对该结果的各项可能原因的关系，以图解方法表示，见图 6-1。

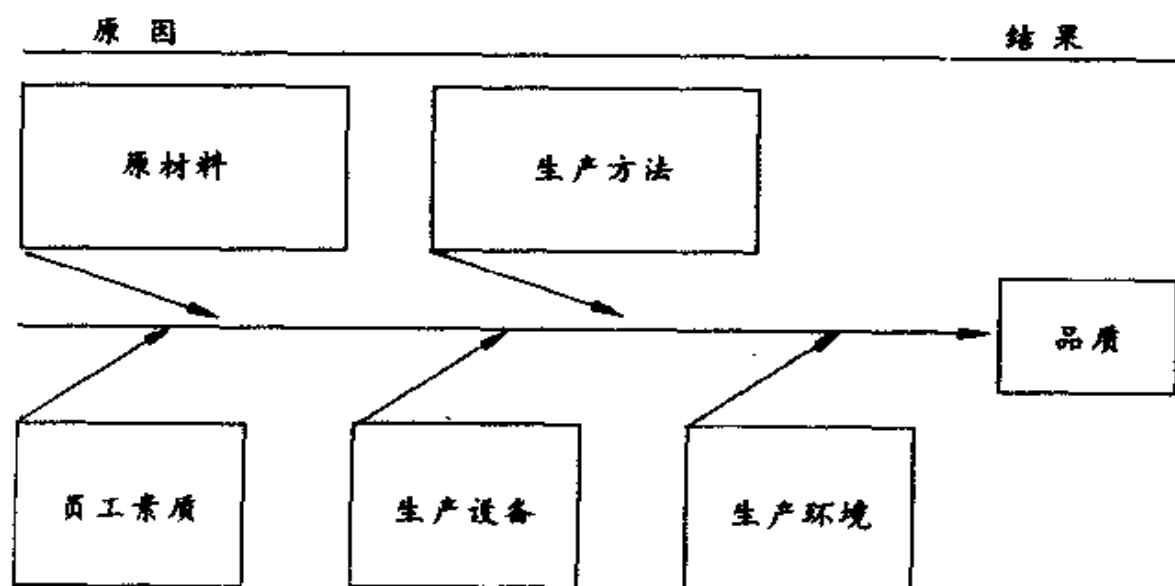


图6-1 重要因果图解分析

田口管理 365

下面用重要因果图解分析方法,来研究品质分散结果及其原因之间的关系。

第一步:决定品质特性项目。

例如生产机器发生的震动,是大部分产品缺陷产生的原因。因此为除此项震动,首先必须找出和确定产生震动的原因。

第二步:按照图 6-1 绘制因果分析图解。

造成制品震动的原因很多,大致可分为原材料、生产设备、生产方法、人力及生产环境等,而分别成为因果图主箭头上的分箭头。

第三步:细分并找出主要因果原因。

在图 6-2 上各分箭头旁表明可能的原因;再进而将更细的原因绘制分箭头上的支箭头。见图 6-3。

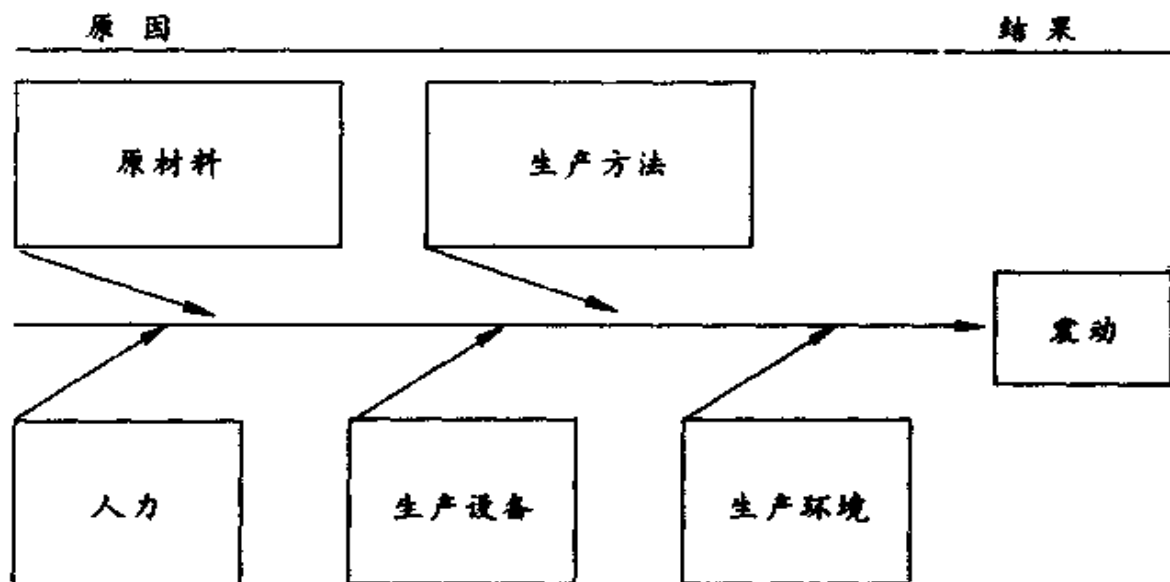


图6-2 震动因果分析图解

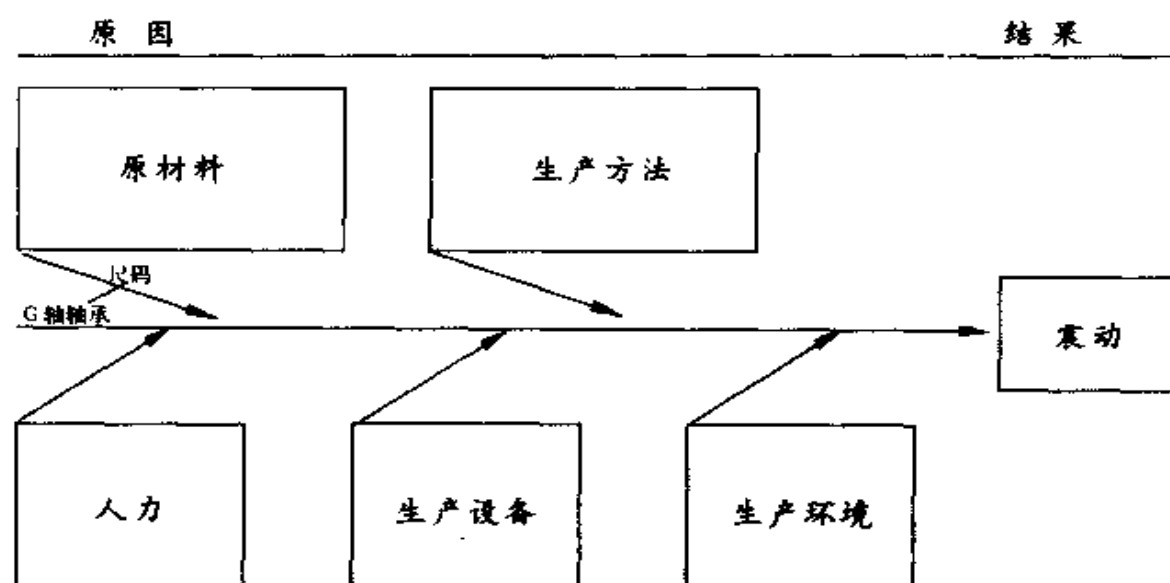


图6-3 震动因果分析分步图解

按照上述步骤将问题的全部原因列举完毕再进行如下分析：

(1) 产品缺陷产生的主要原因？

机器震动是影响品质的因素之一。

(2) 机器震动（品质分散）产生的原因？

材料的分散性，所以材料是图解的一个分支箭头。

(3) 材料的分散为何发生？

G轴轴承的分散是原因之一。

(4) G轴轴承的分散为何发生？

G轴轴承的尺码的分散应属原因之一。

(5) G轴轴承尺码之分散为何发生？

由于2.6mm的分散，故“2.6mm”应属原因之一。

如此逐步将原因绘制于图解上。

第四步：最后检查导致分散的全部原因是否已绘制图中。

至此本例的因果关系已全部列清，因果图解完成。

田口管理 365

第五步：在重要因果图解中分析最有可能的原因。

在列出各项原因的同时，要查明是否有已变动的事项，是否有与标准不符的差异。从而对症下药，消除真正的原因。

第六步：深入分析最有可能的重要因果项目，是否可以控制。

例如温度、压力、转速、选用材料等项目可以控制，则用长方形围住该项表示属可控件目，列入内侧直交表。其他如误差因素、不易查明或排除的杂项因素，则归入不可控制项目，列入外侧直交表。

因果图解分析的目的，在于清楚明示问题的因果关系、最终找到问题所在，并拟定出改正措施。

第七章 直交表展开

一、 $L_4(2^3)$ 直交表展开

1. $L_4(2^3)$ 排列组合模式

(a) $L_4(2^3)$ 排列组合表

$L_4(2^3)$ 直交表展开后, 有 $2^3 = 8$ 种排列, 见表 7-1。

表 7-1 $L_4(2^3)$ 排列组合表

A	B	C
A_1	B_1	C_1
		C_2
	B_2	C_1
		C_2
A_2	B_1	C_1
		C_2
	B_2	C_1
		C_2

(b) $L_4(2^3)$ 排列组合模式

经整理后的 8 种排列组合模式见表 7-2。

表 7-2 $L_4(2^3)$ 排列组合模式

序号	组合模式	序号	组合模式
1	$A_1B_1C_1$	5	$A_2B_1C_1$
2	$A_1B_1C_2$	6	$A_2B_1C_2$
3	$A_1B_2C_1$	7	$A_2B_2C_1$
4	$A_1B_2C_2$	8	$A_2B_2C_2$

田口管理 365

2. $L_4(2^3)$ 直交表圈选

对 $L_4(2^3)$ 直交表进行圈选, 见表 7-3 和表 7-4。

表 7-3 $L_4(2^3)$ 直交表圈选

因子 \ 编号	A	B	C
1	A_1	B_1	C_1
2	A_1	B_1	C_2
3	A_1	B_2	C_1
4	A_1	B_2	C_2
5	A_2	B_1	C_1
6	A_2	B_1	C_2
7	A_2	B_2	C_1
8	A_2	B_2	C_2

表 7-4 $L_4(2^3)$ 直交表圈选结果

因子 \ 编号	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

3. $L_4(2^3)$ 直交表提升制程优良率技术

表 7-5 $L_4(2^3)$ 直交表提升制程优良率技术

控制因子	水准 1 (原值)	水准 2 (原值 $\pm 6\%$)
A	A_1	A_2
B	B_1	B_2
C	C_1	C_2

注: 水准 1 为原设计值和原操作标准, 水准 2 为新设计值和新操作标准。

4. $L_4(2^3)$ 静态望小为佳特性

(1) $L_4(2^3)$ 因子表

表 7-6 $L_4(2^3)$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二
1	A	温度	2	A_1	A_2
2	B	材质	2	B_1	B_2
3	C	标准	2	C_1	C_2

(2) $L_4(2^3)$ 直交表

表 7-7 $L_4(2^3)$ 直交表

实验编号	重复次数	A	B	C	Y_1
1	1	1	1	1	28
2	1	1	2	2	20
3	1	2	1	2	22
4	1	2	2	1	18

(3) $L_4(2^3)$ S/N 比

表 7-8 $L_4(2^3)$ S/N 比

实验编号	A	B	C	S/N	Raw
1	1	1	1	-28.9432	28
2	1	2	2	-26.0206	20
3	2	2	2	-26.8485	22
4	2	2	1	-25.1055	18

田口管理 365

(4) $L_4(2^3)$ 参数一览表

表 7-9 $L_4(2^3)$ 参数一览表

实验编号	A	B	C	S/N	Raw
1	1	1	1	-28.9432	28
2	1	2	2	-26.0206	20
3	2	2	2	-26.8485	22
4	2	2	1	-25.1055	18

(5) 最佳组合结果

最佳组合结果: S/N=-24.51567 Raw=16

5. $L_4(2^3)$ 静态望大特性

(1) $L_4(2^3)$ 因子表

表 7-10 $L_4(2^3)$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二
1	A	温度	2	A_1	A_2
2	B	材质	2	B_1	B_2
3	C	标准	2	C_1	C_2

(2) $L_4(2^3)$ 直交表

表 7-11 $L_4(2^3)$ 直交表

实验编号	重复次数	A	B	C	Y_1
1	1	1	1	1	92
2	1	1	2	2	86
3	1	2	1	2	74
4	1	2	2	1	80

(3) $L_4 (2^3)$ S/N 比

表 7-12 $L_4 (2^3)$ S/N 比

实验编号	A	B	C	S/N	Raw
1	1	1	1	39.2758	92
2	1	2	2	38.6900	85
3	2	1	2	37.3845	74
4	2	2	1	38.0655	81

(4) $L_4 (2^3)$ 最佳组合结果

最佳组合结果: S/N=39.32156 Raw=91

二、 $L_9 (3^4)$ 直交表展开

1. $L_9 (3^4)$ 排列组合模式

(a) $L_9 (3^4)$ 排列组合表

$L_9 (3^4)$ 直交表展开后, 有 $3^4 = 81$ 种排列。详见表 7-13、表 7-14 和表 7-15。

表 7-13 $L_9 (3^4)$ 排列组合表(1)

A	B	C	D
A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃
	B ₂	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃
	B ₃	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃

表 7-14 $L_9(3^4)$ 排列组合表(2)

A	B	C	D
A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃
	B ₂	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃
	B ₃	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃

表 7-15 $L_9(3^4)$ 排列组合表(3)

A	B	C	D
A ₁	B ₁	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃
	B ₂	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃
	B ₃	C ₁	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₂	D ₁
			D ₂
			D ₃
		C ₃	D ₁
			D ₂
			D ₃

2. $L_9(3^4)$ 直交表圈选

对 $L_9(3^4)$ 直交表进行圈选, 见表 7-16 和表 7-17。

表 7-16 (1) $L_9(3^4)$ 直交表圈选

NO \ 因子	A	B	C	D
1	A_1	B_1	C_1	D_1
2	A_1	B_1	C_1	D_2
3	A_1	B_1	C_1	D_3
4	A_1	B_1	C_2	D_1
5	A_1	B_1	C_2	D_2
6	A_1	B_1	C_2	D_3
7	A_1	B_1	C_3	D_1
8	A_1	B_1	C_3	D_2
9	A_1	B_1	C_3	D_3
10	A_1	B_2	C_1	D_1
11	A_1	B_2	C_1	D_2
12	A_1	B_2	C_1	D_3
13	A_1	B_2	C_2	D_1
14	A_1	B_2	C_2	D_2
15	A_1	B_2	C_2	D_3
16	A_1	B_2	C_3	D_1
17	A_1	B_2	C_3	D_2
18	A_1	B_2	C_3	D_3
19	A_1	B_3	C_1	D_1
20	A_1	B_3	C_1	D_2
21	A_1	B_3	C_1	D_3
22	A_1	B_3	C_2	D_1
23	A_1	B_3	C_2	D_2
24	A_1	B_3	C_2	D_3

田口管理 365

续表

NO	因子	A	B	C	D
25		A ₁	B ₃	C ₃	D ₁
26		A ₁	B ₃	C ₃	D ₂
27		A ₁	B ₃	C ₃	D ₃
28		A ₂	B ₁	C ₁	D ₁
29		A ₂	B ₁	C ₁	D ₂
30		A ₂	B ₁	C ₁	D ₃
31		A ₂	B ₁	C ₂	D ₁
32		A ₂	B ₁	C ₂	D ₂
33		A ₂	B ₁	C ₂	D ₃
34		A ₂	B ₁	C ₃	D ₁
35		A ₂	B ₁	C ₃	D ₂
36		A ₂	B ₁	C ₃	D ₃
37		A ₂	B ₂	C ₁	D ₁
38		A ₂	B ₂	C ₁	D ₂
39		A ₂	B ₂	C ₁	D ₃
40		A ₂	B ₂	C ₂	D ₁
41		A ₂	B ₂	C ₂	D ₂
42		A ₂	B ₂	C ₂	D ₃
43		A ₂	B ₂	C ₃	D ₁
44		A ₂	B ₂	C ₃	D ₂
45		A ₂	B ₂	C ₃	D ₃
46		A ₂	B ₃	C ₁	D ₁
47		A ₂	B ₃	C ₁	D ₂
48		A ₂	B ₃	C ₁	D ₃
49		A ₂	B ₃	C ₂	D ₁
50		A ₂	B ₃	C ₂	D ₂
51		A ₂	B ₃	C ₂	D ₃
52		A ₂	B ₃	C ₃	D ₁
53		A ₂	B ₃	C ₃	D ₂

第七章 直交表展开

续表

NO	因子	A	B	C	D
54		A ₂	B ₃	C ₃	D ₃
55		A ₃	B ₁	C ₁	D ₁
56		A ₃	B ₁	C ₁	D ₂
57		A ₃	B ₁	C ₁	D ₃
58		A ₃	B ₁	C ₂	D ₁
59		A ₃	B ₁	C ₂	D ₂
60		A ₃	B ₁	C ₂	D ₃
61		A ₃	B ₁	C ₃	D ₁
62		A ₃	B ₁	C ₃	D ₂
63		A ₃	B ₁	C ₃	D ₃
64		A ₃	B ₂	C ₁	D ₁
65		A ₃	B ₂	C ₁	D ₂
66		A ₃	B ₂	C ₁	D ₃
67		A ₃	B ₂	C ₂	D ₁
68		A ₃	B ₂	C ₂	D ₂
69		A ₃	B ₂	C ₂	D ₃
70		A ₃	B ₂	C ₃	D ₁
71		A ₃	B ₂	C ₃	D ₂
72		A ₃	B ₂	C ₃	D ₃
73		A ₃	B ₃	C ₁	D ₁
74		A ₃	B ₃	C ₁	D ₂
75		A ₃	B ₃	C ₁	D ₃
76		A ₃	B ₃	C ₂	D ₁
77		A ₃	B ₃	C ₂	D ₂
78		A ₃	B ₃	C ₂	D ₃
79		A ₃	B ₃	C ₂	D ₁
80		A ₃	B ₃	C ₃	D ₂
81		A ₃	B ₃	C ₃	D ₃

田口管理 365

表 7-17 $L_9(3^4)$ 直交表圈选结果

NO	因子	A	B	C	D
1		1	1	1	1
2		1	2	2	2
3		1	3	3	3
4		2	1	2	3
5		2	2	3	1
6		2	3	1	2
7		3	1	3	2
8		3	2	1	3
9		3	3	2	1

3. $L_9(3^4)$ 直交表提升制程优良率技术

表 7-18 $L_9(3^4)$ 直交表提升制程优良率技术

控制因子	水准 1	水准 2	水准 3
A	A_1	A_2	A_3
B	B_1	B_2	B_3
C	C_1	C_2	C_3
D	D_1	D_2	D_3

注:

- ①控制因子主要涉及模式、模型、模组、模块、方向、曲线、色泽等。
- ②水准 2 代表原设计值, 水准 1 代表原设计值 - 6%, 水准 3 代表原设计值 + 6%。

4. $L_9(3^4)$ 静态望小为佳特性

(1) $L_9(3^4)$ 因子表

第七章 直交表展开

表 7-19 $L_9(3^4)$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
1	A	A	3	A_1	A_2	A_3
2	B	B	3	B_1	B_2	B_3
3	C	C	3	C_1	C_2	C_3
4	D	D	3	D_1	D_2	D_3

(2) $L_9(3^4)$ 直交表

表 7-20 $L_9(3^4)$ 直交表

实验编号	重复次数	A	B	C	D	Y_i
1	1	1	1	1	1	16
2	1	1	2	2	2	28
3	1	1	3	3	3	34
4	1	2	1	2	3	30
5	1	2	2	3	1	26
6	1	2	3	1	2	29
7	1	3	1	3	2	37
8	1	3	2	1	3	18
9	1	3	3	2	1	24

(3) $L_9(3^4)$ S/N 比

表 7-21 $L_9(3^4)$ S/N 比

实验编号	A	B	C	D	S/N	R_{av}
1	1	1	1	1	-24.0284	16
2	1	2	2	2	-28.9243	28
3	1	3	3	3	-30.6295	34
4	2	1	2	3	-29.5425	30
5	2	2	3	1	-28.2995	26
6	2	3	1	2	-29.2480	29
7	3	1	3	2	-31.3640	37
8	3	2	1	3	-25.1055	18
9	3	3	2	1	-27.6042	24

田口管理 365

(4) $L_9(3^4)$ 参数一览表

表 7-22 $L_9(3^4)$ 参数一览表

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
A	A	3	2.3333	26	28.333	26.333
B	B	3	5.0	27.3678	24	29
C	C	3	11.34	21	27.33	32.333
D	D	3	9.335	22	31.33	27.3444

(5) $L_9(3^4)$ S/N 比图形

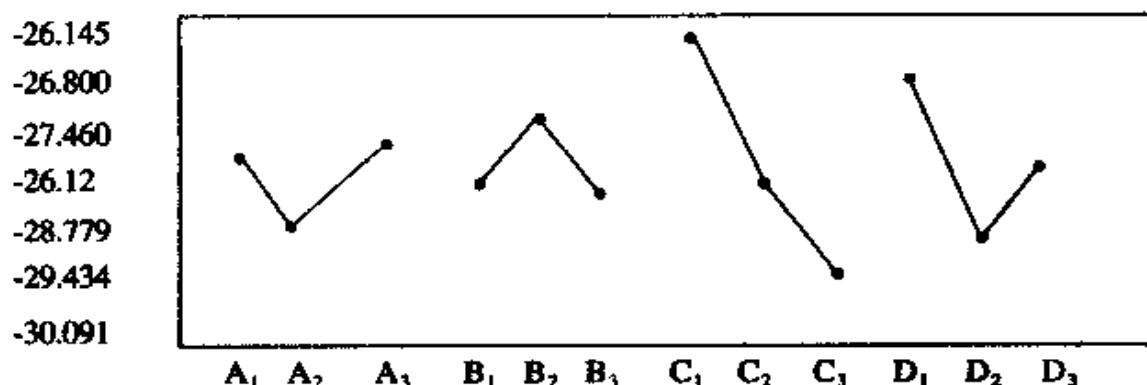


图 7-1 $L_9(3^4)$ S/N 比图形

(6) $L_9(3^4)$ 最佳组合结果

表 7-23 $L_9(3^4)$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D
因子水准	2	2	2	2
最佳组合	1	1	1	1
最佳组合结果	S/N=-23.20245 Raw=12.333			

5. $L_9(3^4)$ 静态望大为佳特性

(1) $L_9(3^4)$ 因子表

表 7-24 $L_9(3^4)$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
1	A	A	3	A_1	A_2	A_3
2	B	B	3	B_1	B_2	B_3
3	C	C	3	C_1	C_2	C_3
4	D	D	3	D_1	D_2	D_3

(2) $L_9(3^4)$ 直交表

表 7-25 $L_9(3^4)$ 直交表

实验编号	重复次数	A	B	C	D	Y_1
1	1	1	1	1	1	16
2	1	1	2	2	2	28
3	1	1	3	3	3	34
4	1	2	1	2	3	30
5	1	2	2	3	1	26
6	1	2	3	1	2	29
7	1	3	1	3	2	37
8	1	3	2	1	3	18
9	1	3	3	2	1	24

(3) $L_9(3^4)$ S/N 比

表 7-26 $L_9(3^4)$ S/N 比

实验编号	A	B	C	D	S/N	Raw
1	1	1	1	1	-24.0284	16
2	1	2	2	2	-28.9243	28
3	1	3	3	3	-30.6295	34
4	2	1	2	3	-29.5425	30
5	2	2	3	1	-28.2995	26
6	2	3	1	2	-29.2480	29
7	3	1	3	2	-31.3640	37
8	3	2	1	3	-25.1055	18
9	3	3	2	1	-27.6042	24

田口管理 365

(4) $L_9(3^4)$ 参数一览表

表 7-27 $L_9(3^4)$ 参数一览表

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
A	A	3	1.11449	27.885	29.030	28.0246
B	B	3	1.7113	28.3214	27.4485	29.1564
C	C	3	3.9548	26.1458	28.6977	30.0788
D	D	3	3.1287	26.6645	29.4587	28.4587

(5) $L_9(3^4)$ S/N 比图形

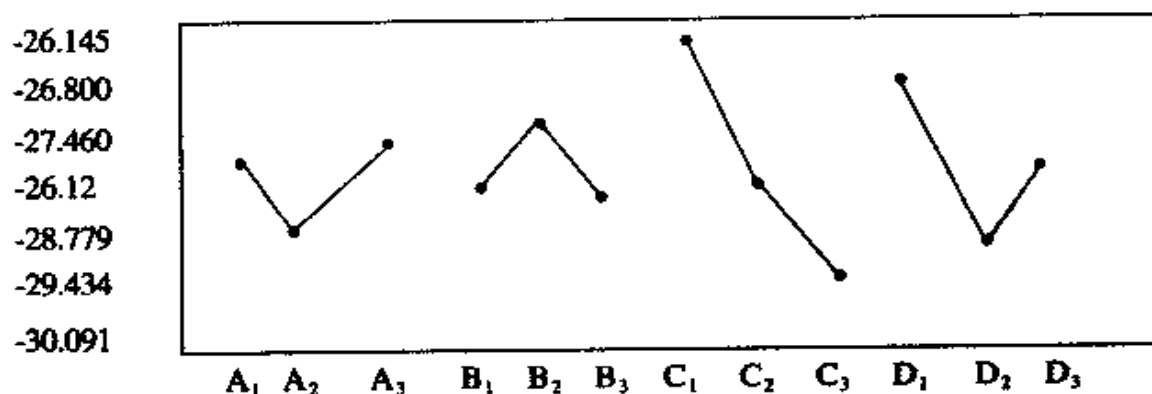


图 7-2 $L_9(3^4)$ S/N 比图形

(6) $L_9(3^4)$ 最佳组合结果

表 7-28 $L_9(3^4)$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D
因子水准	3	3	3	3
最佳组合	2	3	3	2
最佳组合结果	S/N=33.20038 Raw=40.3333			

三、 $L_{16}(2^{15})$ 直交表展开

1. $L_{16}(2^{15})$ 排列组合模式

$L_{16}(2^{15})$ 直交表展开后, 有 $2^{15}=32768$ 排列。见表 7-29 及表 7-30。

表 7-29 $L_{16}(2^{15})$ 排列组合表 (1)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_1	N_1	O_1
	B_2	C_2	D_2	E_2	F_2	G_2	H_2	I_2	J_2	K_2	L_2	M_2	N_2	O_2
A_2	B_1													
	B_2													

表 7-30 $L_{16}(2^{15})$ 排列组合表 (2)

因子 NO	A	B	C	D	E	F	G	F	I	J	K	L	M	N	O
1	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_1	N_1	O_1
2	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_1	N_1	O_2
3	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_1	N_2	O_1
4	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_1	N_2	O_2
5	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_2	I_1	J_1	K_1	L_1	M_2	N_1	O_1
6	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_2	N_1	O_2
7	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_2	N_2	O_1
8	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_1	M_2	N_2	O_2
9	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	F_1	G_1	H_1	I_1	J_1	K_1	L_2	M_1	N_1	O_1
...
32767	A_2	B_2	C_2	D_2	E_2	F_2	G_2	H_2	I_2	J_2	K_2	L_2	M_2	N_2	O_1
32768	A_2	B_2	C_2	D_2	E_2	F_2	G_2	H_2	I_2	J_2	K_2	L_2	M_2	N_2	O_2

2. $L_{16}(2^{15})$ 直交表圈选结果

田口管理 365

表 7-31 $L_{16}(2^{15})$ 直交表圈选结果

因子 NO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

3. $L_{16}(2^{15})$ 直交表提升制程优良率技术

表 7-32 $L_{16}(2^{15})$ 直交表提升制程优良率技术

序号	控制因子	水准 1	水准 2	序号	控制因子	水准 1	水准 2
1	A	A ₁	A ₂	9	I	I ₁	I ₂
2	B	B ₁	B ₂	10	J	J ₁	J ₂
3	C	C ₁	C ₂	11	K	K ₁	K ₂
4	D	D ₁	D ₂	12	L	L ₁	L ₂
5	E	E ₁	E ₂	13	M	M ₁	M ₂
6	F	F ₁	F ₂	14	N	N ₁	N ₂
7	G	G ₁	G ₂	15	O	O ₁	O ₂
8	H	H ₁	H ₂	16	P	P ₁	P ₂

注：1. 控制因子主要涉及模式、模型、模组、模块、方向、曲线、色泽等。

2. 水准 1 代表原设计值，水准 2 代表原设计值 ± 6%。

4. $L_{16}(2^{15})$ 静态望小特性

(1) $L_{16}(2^{15})$ 因子表

表 7-33 $L_{16}(2^{15})$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二
1	A	A	2	A_1	A_2
2	B	B	2	B_1	B_2
3	C	C	2	C_1	C_2
4	D	D	2	D_1	D_2
5	E	E	2	E_1	E_2
6	F	F	2	F_1	F_2
7	G	G	2	G_1	G_2
8	H	H	2	H_1	H_2
9	I	I	2	I_1	I_2
10	J	J	2	J_1	J_2
11	K	K	2	K_1	K_2
12	L	L	2	L_1	L_2
13	M	M	2	M_1	M_2
14	N	N	2	N_1	N_2
15	O	O	2	O_1	O_2

田口管理 365

(2) $L_{16} (2^{15})$ 直交表

表 7-34 $L_{16} (2^{15})$ 直交表

实验编号	重复次数	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	y_i
1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	468
2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	458
3	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	325
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	204
5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	156
6	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	361
7	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	401
8	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	360
9	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	258
10	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	327
11	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	428
12	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	265
13	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	311
14	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	357
15	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	435
16	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	473

第七章 直交表展开

(3) $L_{16} (2^{15})$ S/N比

表 7-35 $L_{16} (2^{15})$ S/N比

实验 序号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	S/N	Raw
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-46.1296	203
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	-45.3912	185
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	-51.1274	361
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	-52.0639	402
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	-51.1598	363
6	1	2	2	2	2		1	1	1	2	2	2	2	1	-49.1968	288
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	-50.3245	329
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	-52.6855	427
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	-48.4351	265
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	-49.8526	310
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	-53.6346	481
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	-49.5136	298
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	-51.0645	356
14	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	-49.7924	309
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	-52.1498	405
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	-53.4588	471

田口管理 365

(4) $L_{16} (2^{15})$ 参数一览表

表 7-36 $L_{16} (2^{15})$ 参数一览表

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二
A	A	2	1.2219	-49.7456	-50.9664
B	B	2	1.6598	-49.5605	-51.2546
C	C	2	0.4256	-50.1458	-50.5866
D	D	2	2.9756	-48.5899	-51.8944
E	E	2	0.5478	-50.0788	-50.6489
F	F	2	1.1499	-49.8749	-50.9613
G	G	2	1.1278	-49.8475	-50.9874
H	H	2	0.2817	-50.5278	-50.2456
I	I	2	0.3489	-50.1955	-50.2469
J	J	2	0.3698	-50.3623	-50.1956
K	K	2	0.3212	-50.2186	-50.5326
L	L	2	0.3826	-50.5486	-50.1874
M	M	2	1.1128	-50.9645	-49.8184
N	N	2	1.3411	-49.7068	-51.0489
O	O	2	0.6894	-50.4781	-50.1544

(5) $L_{16} (2^{15})$ S/N 比图形

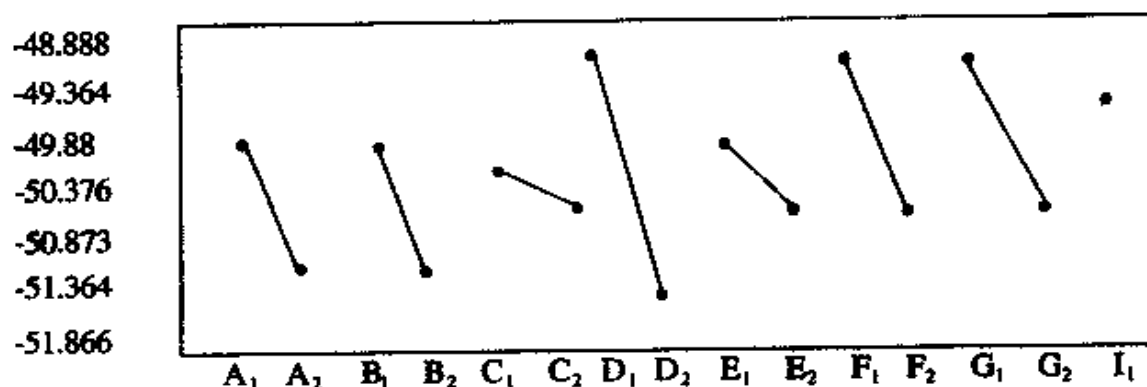


图 7-3 $L_{16} (2^{15})$ S/N 比图形

(6) $L_{16}(2^{15})$ 最佳组合结果

表 7-37 $L_{16}(2^{15})$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
因子水准	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
最佳组合	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1
最佳组合结果	S/N= - 43.69976 Raw=103.857													

5. $L_{16}(2^{15})$ 静态望大为佳特性

(1) $L_{16}(2^{15})$ 因子表

表 7-38 $L_{16}(2^{15})$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二
1	A	A	2	A ₁	A ₂
2	B	B	2	B ₁	B ₂
3	C	C	2	C ₁	C ₂
4	D	D	2	D ₁	D ₂
5	E	E	2	E ₁	E ₂
6	F	F	2	F ₁	F ₂
7	G	G	2	G ₁	G ₂
8	H	H	2	H ₁	H ₂
9	I	I	2	I ₁	I ₂
10	J	J	2	J ₁	J ₂
11	K	K	2	K ₁	K ₂
12	L	L	2	L ₁	L ₂
13	M	M	2	M ₁	M ₂
14	N	N	2	N ₁	N ₂
15	O	O	2	O ₁	O ₂

(2) $L_{16} (2^{15})$ 直交表

表 7-39 $L_{16} (2^{15})$ 直交表

实验编号	重复次数	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Y_i
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	203
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	186
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	361
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	402
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	362
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	288
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	324
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	427
9	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	254
10	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	312
11	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	480
12	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	298
13	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	357
14	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	309
15	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	406
16	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	472

(3) $L_{16}(2^{15})$ S/N 比

表 7-40 $L_{16}(2^{15})$ S/N 比

试验 序号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	S/N	Raw
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	46.1926	204
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	45.3912	186
3	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	51.1742	362
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	52.0659	401
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	51.1981	363
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	49.1878	288
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	50.3175	328
8	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	52.6087	427
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	48.4231	256
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	49.8556	310
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	53.6245	481
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	49.5135	298
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	51.0645	356
14	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	49.7924	309
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	52.1498	405
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	53.4588	471

田口管理 365

(4) $L_{16} (2^{15})$ 参数一览表

表 7-41 $L_{16} (2^{15})$ 参数一览表

代号	因子名称	水准数	Max-min	水准一	水准二
A	A	2	1.2219	49.7456	50.9664
B	B	2	1.6598	49.5605	51.2546
C	C	2	0.4256	50.1458	50.5866
D	D	2	2.9756	48.5899	51.8944
E	E	2	0.5478	50.0788	50.6489
F	F	2	1.1499	49.8749	50.9613
G	G	2	1.1278	49.8475	50.9874
H	H	2	0.2817	50.5278	50.2456
I	I	2	0.3489	50.1955	50.2469
J	J	2	0.3698	50.5623	50.1956
K	K	2	0.3212	50.2186	50.5326
L	L	2	0.3826	50.5486	50.1874
M	M	2	1.1128	50.9645	49.8184
N	N	2	1.3411	49.7068	51.0489
O	O	2	0.6894	50.4781	50.1544

(5) $L_{16} (2^{15})$ S/N 比图形

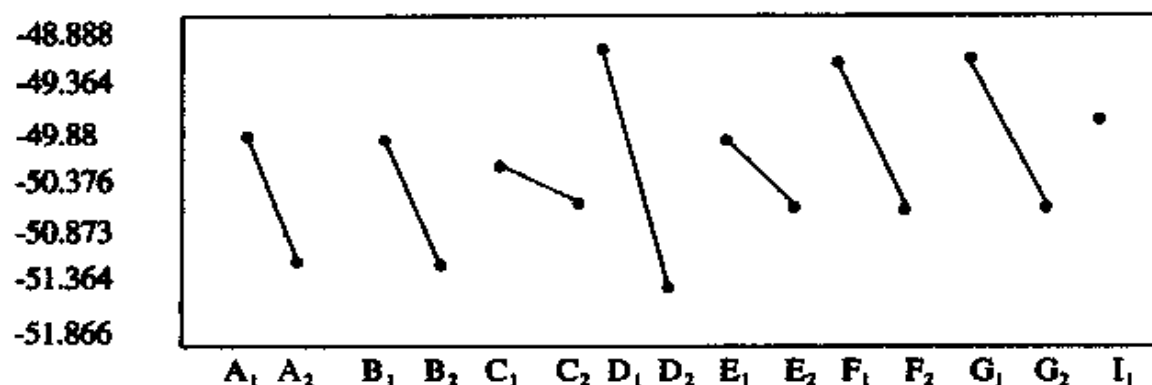


图 7-4 $L_{16} (2^{15})$ S/N 比图形

(6) $L_{16}(2^{15})$ 最佳组合结果

表 7-42 $L_{16}(2^{15})$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
因子水准	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
最佳组合	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2
最佳组合结果	S/N=57.05458 Raw=578.128													

四、 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表展开

1. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 排列组合模式

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表展开后, 有 $2^1 \times 3^7 = 4374$ 排列, 见表 7-43 及表 7-44。

表 7-43 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 排列组合表

A	B	C	D	E	F	G	H
A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁
	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂
	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃
A ₂	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁
	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂
	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃

田口管理 365

表 7-44 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 排列组合模式

No. 因子	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁
2	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₂
3	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₃
4	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₂	H ₁
.....
4374	A ₂	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃

2. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表圈选

表 7-45 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表直交表圈选结果

No. 因子	A	B	C	D	E	F	G	H
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁
2	A ₁	B ₁	C ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂
3	A ₁	B ₁	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃
4	A ₁	B ₂	C ₁	D ₁	E ₂	F ₂	G ₃	H ₃
5	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	E ₂	F ₃	G ₁	H ₁
6	A ₁	B ₂	C ₃	D ₃	E ₁	F ₁	G ₂	H ₂
7	A ₁	B ₃	C ₁	D ₂	E ₁	F ₃	G ₂	H ₃
8	A ₁	B ₃	C ₂	D ₃	E ₂	F ₃	G ₃	H ₁
9	A ₁	B ₃	C ₃	D ₁	E ₃	F ₂	G ₁	H ₂
10	A ₂	B ₁	C ₁	D ₃	E ₂	F ₂	G ₂	H ₁
11	A ₂	B ₁	C ₂	D ₁	E ₁	F ₃	G ₂	H ₂
12	A ₂	B ₁	C ₃	D ₂	E ₂	F ₁	G ₁	H ₃
13	A ₂	B ₂	C ₁	D ₂	E ₂	F ₁	G ₃	H ₂
14	A ₂	B ₂	C ₂	D ₃	E ₁	F ₂	G ₁	H ₃
15	A ₂	B ₂	C ₃	D ₁	E ₂	F ₃	G ₂	H ₁
16	A ₂	B ₃	C ₁	D ₃	E ₂	F ₃	G ₁	H ₂
17	A ₂	B ₃	C ₂	D ₁	E ₂	F ₁	G ₂	H ₃
18	A ₂	B ₃	C ₃	D ₂	E ₁	F ₂	G ₃	H ₁

3. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 提升制程优良率技术

表 7-46 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 提升制程优良率技术

控制因子	水准1	水准2	水准3	控制因子	水准1	水准2	水准3
A	A ₁	A ₂	A ₃	E	E ₁	E ₂	E ₃
B	B ₁	B ₂	B ₃	F	F ₁	F ₂	F ₃
C	C ₁	C ₂	C ₃	G	G ₁	G ₂	G ₃
D	D ₁	D ₂	D ₃	H	H ₁	H ₂	H ₃

注:

- ①控制因子主要涉及模式、模型、模组、模块、方向、曲线、色泽等。
- ②水准2代表原设计值，水准1代表原设计值+6%，水准3代表原设计值-6%。

4. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 静态望小特性

(1) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 因子表

表 7-47 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 因子表

序号	代号	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
1	A	A	2	A ₁	A ₂	A ₃
2	B	B	3	B ₁	B ₂	B ₃
3	C	C	3	C ₁	C ₂	C ₃
4	D	D	3	D ₁	D ₂	D ₃
5	E	E	3	E ₁	E ₂	E ₃
6	F	F	3	F ₁	F ₂	F ₃
7	G	G	3	G ₁	G ₂	G ₃
8	H	H	3	H ₁	H ₂	H ₃

(2) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

表 7-48 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

实验编号	重复次数	A	B	C	D	E	F	G	H	Y_i
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	47
2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	54
3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	22
4	1	1	2	1	1	2	2	3	3	41
5	1	1	2	2	2	3	3	1	1	67
6	1	1	2	3	3	1	1	2	2	54
7	1	1	3	1	2	1	3	2	3	48
8	1	1	3	2	3	2	1	3	1	70
9	1	1	3	3	1	3	2	1	2	79
10	1	2	1	1	3	3	2	2	1	61
11	1	2	1	2	1	1	3	3	2	82
12	1	2	1	3	2	2	1	1	3	78
13	1	2	2	1	2	3	1	3	2	26
14	1	2	2	3	1	2	3	2	1	56
15	1	2	2	3	1	2	3	2	1	56
16	1	2	3	1	3	2	3	1	2	72
17	1	2	3	2	1	3	1	2	3	75
18	1	2	3	3	2	1	2	3	1	66

第七章 直交表展开

(3) $L_{18}(2^1 \times 3^7)S/N$ 比

表 7-49 $L_{18}(2^1 \times 3^7)S/N$ 比

实验编号	A	B	C	D	E	F	G	H	S/N	Raw
1	1	1	1	1	1	1	1	1	-46.1070	202
2	1	1	1	1	2	2	2	2	-51.1315	361
3	1	1	1	1	3	3	3	3	-53.6429	481
4	1	2	2	2	1	1	1	2	-49.1576	287
5	1	2	2	2	2	2	2	3	-46.1499	203
6	1	2	2	2	3	3	3	1	-52.6491	429
7	1	3	3	3	1	1	1	3	-53.2552	460
8	1	3	3	3	2	2	2	1	-50.9309	352
9	1	3	3	3	3	3	3	2	-51.7766	388
10	2	1	2	3	1	2	3	1	-46.6083	214
11	2	1	2	3	2	3	1	2	-45.5751	190
12	2	1	2	3	3	1	2	3	-48.4321	264
13	2	2	3	1	1	2	3	2	-51.4109	372
14	2	2	3	1	2	3	1	3	-52.0629	401
15	2	2	3	1	3	1	2	1	-55.2985	582
16	2	3	1	2	1	2	3	3	-52.9867	446
17	2	3	1	2	2	3	1	1	-52.4650	420
18	2	3	1	2	3	1	2	2	-53.6969	484
19	3	1	3	2	1	3	2	1	-51.4574	374

田口管理 365

(4) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 参数一览表

表 7-50 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 参数一览表

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
A	A	2	1.3503	-34.0936	-35.4440	
B	B	3	3.3268	-34.4605	-33.2596	-36.5863
C	C	3	2.7071	-33.4125	-36.1196	-34.7742
D	D	3	1.7118	-35.7319	-34.5544	-34.0201
E	E	3	1.8213	-34.8751	-35.6263	-33.8050
F	F	3	0.4069	-34.7724	-34.9704	-34.5636
G	G	3	2.8001	-35.9623	-35.1820	-33.1621
H	H	3	2.1643	-35.6544	-35.1618	-33.4902

(5) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ S/N 比图形

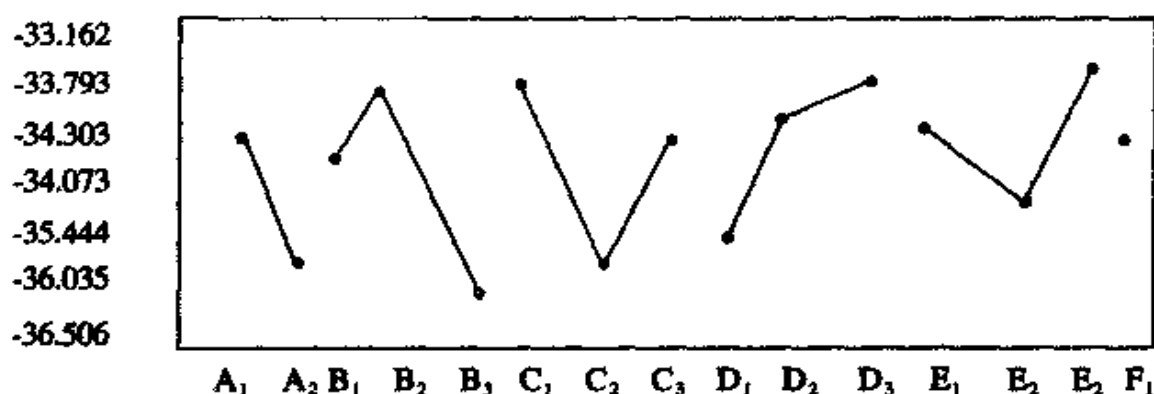


图 7-5 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ S/N 比图形

(6) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 最佳组合结果

表 7-51 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D	E	F	G	H
因子水准	2	3	3	3	3	3	3	3
最佳组合	1	2	1	3	3	3	3	3
最佳组合结果	S/N=-26.42503 Raw=14.66667							

5. $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 静态望大特性

(1) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 因子表

表 7-52 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 因子表

序号	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
1	A	2	A ₁	A ₂	A ₃
2	B	3	B ₁	B ₂	B ₃
3	C	3	C ₁	C ₂	C ₃
4	D	3	D ₁	D ₂	D ₃
5	E	3	E ₁	E ₂	E ₃
6	F	3	F ₁	F ₂	F ₃
7	G	3	G ₁	G ₂	G ₃
8	H	3	H ₁	H ₂	H ₃

田口管理 365

(2) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

表 7-53 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表

实验编号	重复次数	I	J	K	L	M	N	O	P	Y _i
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	47
2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	54
3	1	1	1	3	3	3	3	3	3	22
4	1	1	2	1	1	2	2	3	3	41
5	1	1	2	2	2	3	3	1	1	67
6	1	1	2	3	3	1	1	2	2	54
7	1	1	3	1	2	1	3	2	3	48
8	1	1	3	2	3	2	1	3	1	70
9	1	1	3	3	1	3	2	1	2	79
10	1	2	1	1	3	3	2	2	1	61
11	1	2	1	2	1	1	3	3	2	82
12	1	2	1	3	2	2	1	1	3	78
13	1	2	2	1	2	3	1	3	2	26
14	1	2	2	3	1	2	3	2	1	56
15	1	2	2	3	1	2	3	2	1	56
16	1	2	3	1	3	2	3	1	2	72
17	1	2	3	2	1	3	1	2	3	75
18	1	2	3	3	2	1	2	3	1	66

第七章 直交表展开

(3) $L_{18}(2^1 \times 3^7)S/N$ 比

表 7-54 $L_{18}(2^1 \times 3^7)S/N$ 比

实验编号	A	B	C	D	E	F	G	H	S/N	Raw
1	1	1	1	1	1	1	1	1	33.442	47
2	1	1	2	2	2	2	2	2	34.6479	54
3	1	1	3	3	3	3	3	3	26.8485	22
4	1	2	1	1	2	2	3	3	32.2557	41
5	1	2	2	2	3	3	1	1	36.5215	67
6	1	2	3	3	1	1	2	2	34.6479	54
7	1	3	1	2	1	3	2	3	33.6248	48
8	1	3	2	3	2	1	3	1	36.9020	70
9	1	3	3	1	3	2	1	2	37.9525	79
10	2	1	1	3	3	2	2	1	35.7066	61
11	2	1	2	1	1	3	3	2	38.2763	82
12	2	1	3	2	2	1	1	3	37.8419	78
13	2	2	1	2	3	1	3	2	28.2995	26
14	2	2	2	3	1	2	1	3	32.8691	44
15	2	2	3	1	2	3	2	1	34.9683	56
16	2	3	1	3	2	3	1	2	37.1466	72
17	2	3	2	1	3	1	2	3	37.5012	75
18	2	3	3	2	1	2	3	1	36.3909	66

田口管理 365

(4) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 参数一览表

表 7-55 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 参数一览表

因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
A	2	1.3503	34.0936	35.4440	
B	3	3.3268	34.4605	33.2596	36.5863
C	3	2.7071	33.4125	36.1196	34.7742
D	3	1.7118	35.7319	34.5544	34.0201
E	3	1.8213	34.8751	35.6263	33.8050
F	3	0.4069	34.7724	34.9704	34.5636
G	3	2.8001	35.9623	35.1820	33.1621
H	3	2.1643	35.6544	35.1618	33.4902

(5) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ S/N 比图形

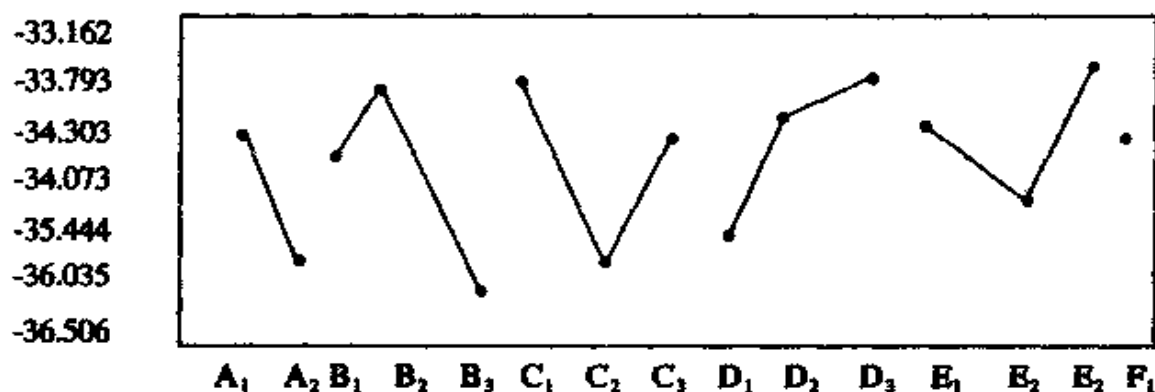


图 7-6 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ S/N 比图形

第七章 直交表展开

(6) $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 最佳组合结果

表 7-56 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
因子水准	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
最佳组合	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2
最佳组合结果	S/N=57.05438 Raw=578.125													

五、 $L_{27}(3^{13})$ 直交表展开

1. $L_{27}(3^{13})$ 排列组合模式

$L_{27}(3^{13})$ 直交表展开后, 有 $3^{13} = 1594323$ 排列组合。见表 7-57、表 7-58 及表 7-59。

表 7-57 $L_{27}(3^{13})$ 排列组合表

A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A ₁	B ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₁
	B ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂	I ₂	J ₂	K ₂	L ₂	M ₂
	B ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₃	L ₃	M ₃
A ₂	B ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₁
	B ₂	D ₂	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂	I ₂	J ₂	K ₂	L ₃	M ₂
	B ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₂	L ₃	M ₃
A ₃	B ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₁
	B ₂	D ₃	E ₂	F ₂	G ₂	H ₂	I ₂	J ₂	K ₂	L ₂	M ₂
	B ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₂	L ₃	M ₃

表 7-58 $L_{27}(3^{13})$ 排列组合表 (2)

因子 No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₁
2	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₂
3	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₁	M ₃
4	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₂	M ₁
5	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₂	M ₂
6	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₁	L ₂	M ₃
7	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₂	L ₃	M ₁
8	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₂	L ₃	M ₂
9	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	E ₁	F ₁	G ₁	H ₁	I ₁	J ₁	K ₂	L ₃	M ₃
...
1594322	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₃	L ₃	M ₂
1594323	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	E ₃	F ₃	G ₃	H ₃	I ₃	J ₃	K ₃	L ₃	M ₃

第七章 直交表展开

表 7-59 $L_{27}(3^{13})$ 排列组合表 (3)

No.	因子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
12	2	1	2	3	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2

田口管理 365

表 7-59 $L_{27} (3^{13})$ 排列组合表 (3)

No.	因子	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13	2	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	2	1	3	2	1	4	2	1	3
21	3	1	3	2	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2

2. $L_{27}(3^{13})$ 提升制程优良率技术

表 7-60 $L_{27}(3^{13})$ 提升制程优良率技术

序号	控制因子	水准1	水准2	水准3	序号	控制因子	水准1	水准2	水准3
1	A	A ₁	A ₂	A ₃	9	I	I ₁	I ₂	I ₃
2	B	B ₁	B ₂	B ₃	10	J	J ₁	J ₂	J ₃
3	C	C ₁	C ₂	C ₃	11	K	K ₁	K ₂	K ₃
4	D	D ₁	D ₂	D ₃	12	L	L ₁	L ₂	L ₃
5	E	E ₁	E ₂	E ₃	13	M	M ₁	M ₂	M ₃
6	F	F ₁	F ₂	F ₃	14	N	N ₁	N ₂	N ₃
7	G	G ₁	G ₂	G ₃	15	O	O ₁	O ₂	O ₃
8	H	H ₁	H ₂	H ₃					

注:

①控制因子主要涉及模式、模型、模组、模块、方向、曲线、色泽等。

②水准2代表原设计值，水准1代表原设计值-6%，水准3代表原设计值+6%。

3. $L_{27}(3^{13})$ 静态望小为佳特性

(1) $L_{27}(3^{13})$ 因子表

表 7-61 $L_{27}(3^{13})$ 因子表

因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
A	3	A ₁	A ₂	A ₃	H	3	H ₁	H ₂	H ₃
B	3	B ₁	B ₂	B ₃	I	3	I ₁	I ₂	I ₃
C	3	C ₁	C ₂	C ₃	J	3	J ₁	J ₂	J ₃
D	3	D ₁	D ₂	D ₃	K	3	K ₁	K ₂	K ₃
E	3	E ₁	E ₂	E ₃	L	3	L ₁	L ₂	L ₃
F	3	F ₁	F ₂	F ₃	M	3	M ₁	M ₂	M ₃
G	3	G ₁	G ₂	G ₃					

田口管理 365

(2) $L_{27} (3^{13})$ 直交表

表 7-62 $L_{27} (3^{13})$ 直交表 (2-1)

实验编号	重复次数	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	BB	Y_1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	202
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	360
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	480
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	287
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	203
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	429
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	460
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	352
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	388
10	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	214
11	1	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	190
12	1	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	264
13	1	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	3	372
14	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	400
15	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	582
16	1	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	446

第七章 直交表展开

表 7-62 $L_{27}(3^{13})$ 直交表 (2-2)

实验编号	重复次数	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	BB	Y_1
17	1	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	420
18	1	3	1	2	3	1	2	2	2	1	1	2	3	484
19	1	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	374
20	1	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	380
21	1	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	433
22	1	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	266
23	1	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	337
24	1	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	456
25	1	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	782
26	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	646
27	1	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	587

田口管理 365

(3) $L_{27} (3^{13})$ S/N 比

表 7-63 $L_{27} (3^{13})$ S/N 比 (2-1)

实验编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	S/N	Raw
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-46.1070	202
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-51.1315	361
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-53.6429	481
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	-49.1576	287
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	-46.1499	203
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	-52.6491	429
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	-53.2552	460
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	-50.9309	352
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	-51.7766	388
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	-46.6083	214
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	-45.5751	190
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	-48.4321	264
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	-51.4109	372
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	-52.0629	401
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	-55.2985	582
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	-52.9867	446

第七章 直交表展开

表 7-63 $L_{27}(3^{13})$ S/N 比 (2-2)

实验编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	S/N	Raw
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	-52.4650	420
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	-53.6969	484
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	-51.4574	374
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	-51.5957	380
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	-52.7298	433
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	-48.4976	266
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	-50.5526	337
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	-53.1793	456
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	-57.8641	782
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	-56.2047	646
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	-55.3728	587

田口管理 365

(4) $L_{27}(3^{13})$ 参数一览表

表 7-64 $L_{27}(3^{13})$ 参数一览表(1)

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
A	A	3	2.5176	-50.5328	-50.9485	-53.0504
B	B	3	4.1421	-49.6971	-50.9954	-53.8392
C	C	3	1.3893	-51.3616	-50.8904	52.2797
D	D	3	3.3647	-53.2322	-51.4320	-49.8675
E	E	3	2.2350	-50.8161	-50.7403	-52.9753
F	F	3	0.6107	-51.8161	-50.7403	-52.9753
G	G	3	0.8359	-51.1005	-51.4948	-51.9364
H	H	3	1.0519	-51.6556	-50.9121	-51.9640
I	I	3	0.9938	-50.9594	-51.9532	-51.6191
J	J	3	0.5408	-51.2796	-51.8204	-51.4318
K	K	3	2.1939	-50.4205	-52.6144	-51.4968
L	L	3	0.8722	-50.9978	-51.8701	-51.6638
M	M	3	1.4903	-50.5918	-51.8579	-52.0821
N	N	3	122.1111	351.3333	374.7778	473.4444
O	O	3	185.2222	322	370.3333	507.2222
P	P	3	32.2222	383.5556	400.2222	415.7778
Q	Q	3	165.1111	490.3333	384	352.2222
R	R	3	90.5556	378.1111	365.4444	456
S	S	3	34.2222	404.6667	380.3333	414.5556
T	T	3	28.5556	381.7778	407.4444	410.3333
U	U	3	54.7778	408.3333	368.2222	423
V	V	3	52.8889	369.6667	422.5556	407.3333
W	W	3	4.5556	397.8889	402.4444	399.2222
X	X	3	99.4444	354.4444	453.8889	391.2222
Y	Y	3	25.1111	385.2222	410.3333	404
Z	Z	3	53.4444	372.8889	400.3333	426.3333

(5) $L_{27}(3^{13})$ S/N 比图形

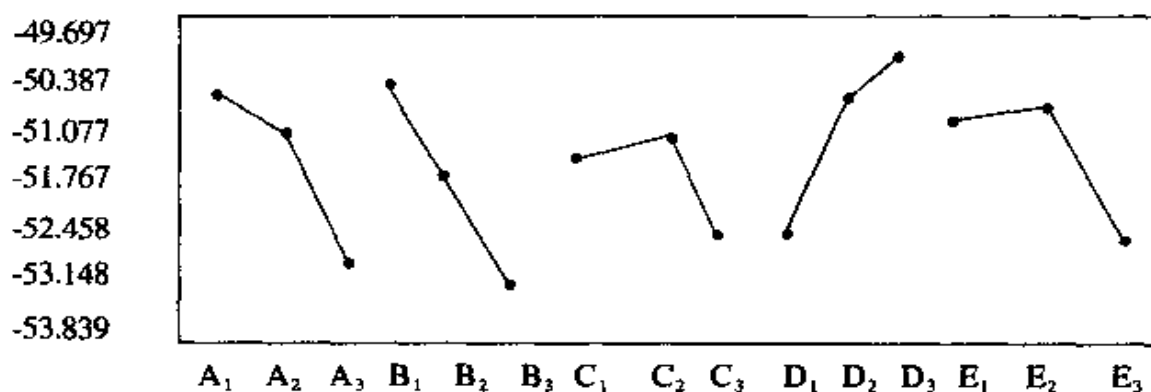


图 7-7 $L_{27}(3^{13})$ S/N 比图形

(6) $L_{27}(3^{13})$ 最佳组合结果

表 7-65 $L_{27}(3^{13})$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
因子水准	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
最佳组合	1	1	2	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1
最佳组合结果	S/N=-41.02910 Raw=-23.5556												

4. $L_{27}(3^{13})$ 静态望大为佳特性

(1) $L_{13}(3^{13})$ 因子表

表 7-66 $L_{27}(3^{13})$ 因子表

序号	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
1	A	3	A ₁	A ₂	A ₃
2	B	3	B ₁	B ₂	B ₃
3	C	3	C ₁	C ₂	C ₃
4	D	3	D ₁	D ₂	D ₃

田口管理 365

续表

序号	因子名称	水准数	水准一	水准二	水准三
5	E	3	E ₁	E ₂	E ₃
6	F	3	F ₁	F ₂	F ₃
7	G	3	G ₁	G ₂	G ₃
8	H	3	H ₁	H ₂	H ₃
9	I	3	I ₁	I ₂	I ₃
10	J	3	J ₁	J ₂	J ₃
11	K	3	K ₁	K ₂	K ₃
12	L	3	L ₁	L ₂	L ₃
13	M	3	M ₁	M ₂	M ₃

(2) $L_{27}(3^{13})$ 直交表

表 7-67 $L_{27}(3^{13})$ 直交表

实验编号	重复次数	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Y_1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	202
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	360
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	481
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	287
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	203
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	429
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	460
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	352
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	388
10	1	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	214
11	1	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	190
12	1	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	264
13	1	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	3	372
14	1	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	400
15	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	582

表 7-67-1 $L_{27}(3^{13})$ 直交表

实验编号	重复次数	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Y_i
16	1	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	446
17	1	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	420
18	1	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	484
19	1	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	374
20	1	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	380
21	1	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	433
22	1	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	266
23	1	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	337
24	1	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	456
25	1	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	782
26	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	646
27	1	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	587

第七章 直交表展开

(3) $L_{27} (3^{13})$ S/N比

表 7-68 $L_{27} (3^{13})$ S/N比(2-1)

实验编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	S/N	Raw
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	46.1070	202
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	51.1315	361
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	53.6429	481
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	49.1576	287
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	46.1499	203
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	52.6491	429
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	53.2552	460
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	50.9309	352
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	51.7766	388
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	46.6083	214
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	45.5751	190
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	48.4321	264
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	51.4109	372
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	52.0629	401
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	55.2985	582

田口管理 365

表 7-68 $L_{27} (3^{13})$ S/N 比 (2-2)

实验编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	S/N	Raw
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	52.9867	446
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	52.4650	420
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	53.6969	484
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	51.4574	374
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	51.5957	380
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	52.7298	433
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	48.4976	266
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	50.5526	337
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	53.1793	456
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	57.8641	782
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	56.2047	646
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	55.3728	587

第七章 直交表展开

(4) $L_{27}(3^3)$ 参数一览表

表 7-69 $L_{27}(3^3)$ 参数一览表(2-1)

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
1	A	3	2.5176	50.5328	50.9485	53.0504
2	B	3	4.1421	49.6971	50.9954	53.8392
3	C	3	1.3893	51.3616	50.8904	52.2797
4	D	3	3.3647	53.2322	51.4320	49.8675
5	E	3	2.2350	50.8161	50.7403	52.9753
6	F	3	0.6107	51.8161	50.7403	52.9753
7	G	3	0.8359	51.1005	51.4948	51.9364
8	H	3	1.0519	51.6556	50.9121	51.9640
9	I	3	0.9938	50.9594	51.9532	51.6191
10	J	3	0.5408	51.2796	51.8204	51.4318
11	K	3	2.1939	50.4205	52.6144	51.4968
12	L	3	0.8722	50.9978	51.8701	51.6638
13	M	3	1.4903	50.5918	51.8579	52.0821

表 7-70 $L_{27}(3^3)$ 参数一览表(2-2)

代号	因子名称	水准数	Max-Min	水准一	水准二	水准三
14	A	3	122.1111	351.3333	374.7778	473.4444
15	B	3	185.2222	322	370.3333	507.2222
16	C	3	32.2222	383.5556	400.2222	415.7778
17	D	3	165.1111	490.3333	384	325.2222
18	E	3	90.5556	378.1111	365.4444	456
19	F	3	34.2222	404.6667	380.3333	414.5556
20	G	3	28.5556	381.7778	407.4444	410.3333
21	H	3	54.7778	408.3333	368.2222	423
22	I	3	52.8889	369.6667	422.5556	407.3333
23	J	3	4.5556	397.8889	402.4444	399.2222
24	K	3	99.4444	354.4444	453.8889	391.2222
25	L	3	25.1111	385.2222	410.3333	404
26	M	3	53.4444	372.8889	400.3333	426.3333

田口管理 365

(5) $L_{27} (3^{13})$ S/N 比图形

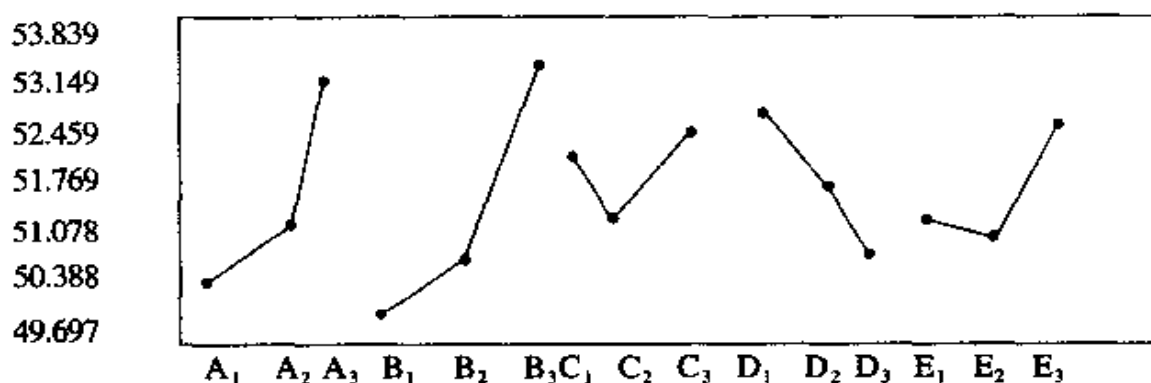


图 7-8 $L_{27} (3^{13})$ S/N 比图形(1)

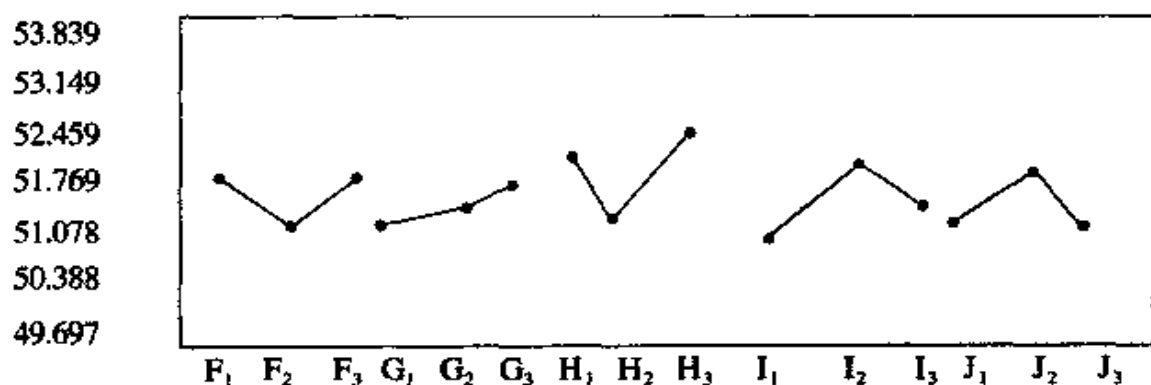


图 7-9 $L_{27} (3^{13})$ S/N 比图形(2)

(6) $L_{27} (3^{13})$ 最佳组合结果

表 7-71 $L_{27} (3^{13})$ 最佳组合结果

因子名称	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
因子水准	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
最佳组合	3	3	3	1	3	3	3	3	3	2	2	2	3
最佳组合结果	S/N=63.26724 Raw=908												

第八章 直交表矩阵实验

一、矩阵实验定义及方法

矩阵实验是指用矩阵直交表进行一系列的多次实验，每次实验都将各项产品或制程参数加以变动，然后对实验获得的数据进行分析，以确定各参数的效应。

在统计学里，矩阵实验又称为“设计的实验”(designed experiment)。矩阵实验中所包含的各个实验，称为“回合”(reatments)。实验参数称为“因子”(factors)，因子的数值则称为“水准”(levels)。

现以某化学分解试验为例，介绍矩阵实验的技术、数据的分析和利用直交表做矩阵实验的优点。实验要确定四个制程参数的影响或效应：

- 温度 A
- 压力 B
- 稳定时间 C
- 洗涤方法 D

每个参数选定三组值为研究范围，通过实验来确定参数的最佳水准。

表 8-1 为各因素及其选定的三组水准。该表所列数据底部画有横线者，为实验开始的水准。即在本项矩阵实验开始时，温度水准为 $T_0^{\circ}\text{C}$ ；压力水准为 P_0 ；稳定时间为 t_0 ；无清洗。各因素其余的数据，则分别如表中所列。例如温度，为 $(T_0 - 25)^{\circ}\text{C}$ 及 $(T_0 + 25)^{\circ}\text{C}$ 。

田口管理 365

表8-1 制程参数及其水准

因素	水 准		
	1	2	3
温度	$T_0 - 25$	T_0	$T_0 + 25$
压力	$P_0 - 200$	P_0	$P_0 + 200$
稳定时间	t_0	$t_0 + 8$	$t_0 + 16$
洗涤方法	无	CM ₂	CM ₃

矩阵实验采用标准直交表 L_9 ，如表 8-2 所示。单一实验的四项因素分别为：温度 ($T_0 - 25$) $^{\circ}\text{C}$ ；压力 ($P_0 - 200$)，稳定时间 t_0 ，洗涤方法为“无”。例如实验 6，实验时的温度为水准 2，即 $T^{\circ}\text{C}$ ；压力为水准 3，即 ($P_0 + 200$)；沉淀时间为水准 1，即 t_0 分；洗涤方法为水准 2，即 CM₂；用 $A_2B_3C_1D_2$ 代表。

表 8-2 L_9 矩阵实验表

序号	因素水准				试验结果 η (dB)
	1	2	3	4	
	温度 (A)	压力 (B)	稳定时间 (C)	洗涤方法 (D)	
1	1	1	1	1	$\eta_1 = -20$
2	1	2	2	2	$\eta_2 = -10$
3	1	3	3	3	$\eta_3 = -30$
4	2	1	2	3	$\eta_4 = -25$
5	2	2	3	1	$\eta_5 = -45$
6	2	3	1	2	$\eta_6 = -65$
7	3	1	3	2	$\eta_7 = -45$
8	3	2	1	3	$\eta_8 = -65$
9	3	3	2	1	$\eta_9 = -70$

二、因素效应评估

现以对硅芯片的观察实验为例，读出硅芯片上三个位置的“单位面积的平均表面缺点数”，每次的观察实验可以获得9个读数。从9个实验所得的 η 值，可以求出4项制程参数的效应。可先算出整个实验范围内的 η 的总均值，公式如下：

$$\begin{aligned} m &= \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \eta_i \\ &= \frac{1}{9} [\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_9] \end{aligned} \quad (8.1)$$

由于9次实验中得每一个制程参数的三个水准值，在表8-2中出现的次数相同，因此，由此算出的 m 值是整个实验范围内的一项总均值。所称某一水准的参数效应，是指因该参数的影响，导致 η 偏离其总均值而产生的变异。

现以参数温度于水准 A_2 为例，来说明如何由实验结果来评估其效应的方法。

温度参数的水准 A_2 ，见之于实验序号4、5、6。此三次实验的平均S/N比 m_{A_2} 可按下式计算：

$$m_{A_2} = \frac{1}{3} [\eta_4 + \eta_5 + \eta_6] \quad (8.2)$$

则温度水准 A_2 的效应，应为 $(m_{A_2} - m)$ 。由表8-2可见实验4、5、6的压力参数、沉淀时间及洗涤方法的水准均为1，2，3。由此可以推定， m_{A_2} 所代表的 η 值是一项平均值。

温度水准 A_2 及 A_2 平均S/N比均可依此而算得。

$$m_{A_2} = \frac{1}{3} [\eta_7 + \eta_8 + \eta_9] \quad (8.3)$$

田口管理 365

$$m_{A_i} = \frac{1}{3} [\eta_1 + \eta_2 + \eta_3] \quad (8.4)$$

将本例四项制程参数各水准的平均值绘图表示，见图 8-1。如此求得的各因素效应，都是互相分离所产生的效应，常称为主效应。以上估算因子效应的方法称为均数分析法。

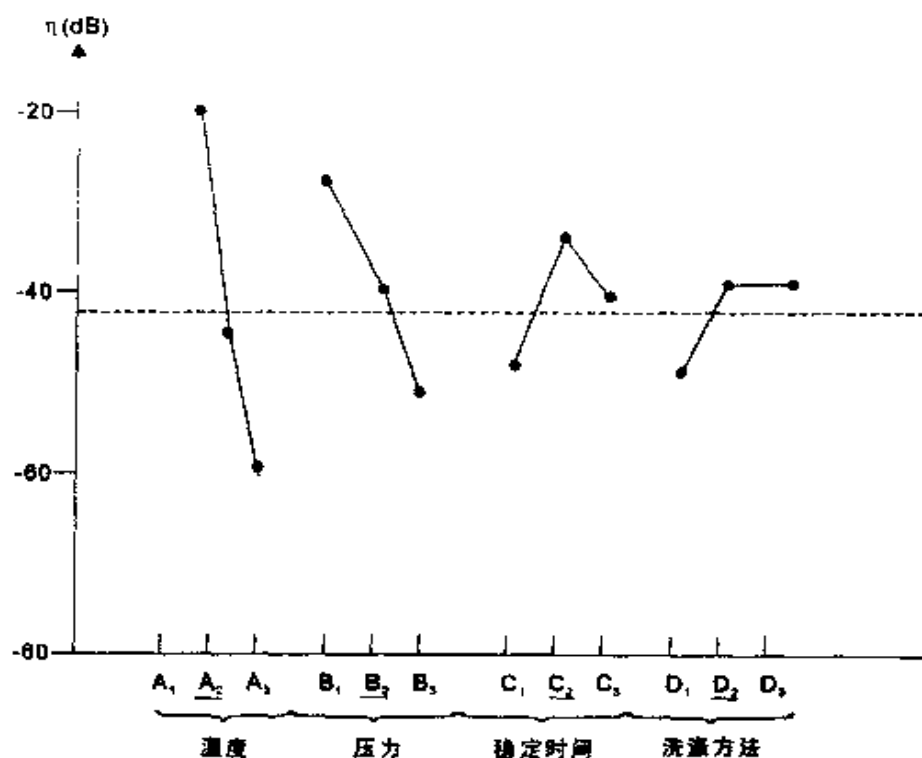


图8-1 制程因素效应图

矩阵实验的目的，就是要求得每一项因素的最佳水准，使产品设计或制程设计的水平达到最佳化程度。而一项因素的最适水准，是指该因素能在实验中产生最高 η 值。在化学分解的例子中，其目的也是要求得表面缺点计数的最小。由于计算公式中的 $-\log$ 为一项递减函数，故可应求 η 值的最大化。

由图 8-1 可知，各因素水准均有 η 的最大值，故可以由此确定各因素的最佳水准。例如：最佳温度和最佳压力分别 A₁、B₁，最佳

稳定时间和最佳洗涤方法分别 C_2 、 D_2 (或 D_3)。由矩阵实验的结果还可以知道, 各因素能产生最大 η 值或最低的表面缺点计数者, 是 A_1 、 B_1 、 C_2 、 D_2 及 A_1 、 B_1 、 C_2 、 D_3 。

三、因素效应累加模型

累加模型理论认为由多项因子所产生的总效应, 等于各因素效应的总和。不同因素的效应可能会呈现不同的函数关系, 或直线关系, 或二次函数关系, 或高次函数关系, 但在累加模型的讨论中, 不涉及两个或两个以上因素的情况。

η 值和各制程参数之间的关系十分复杂, 推算出这些关系的费用较高。而一旦 η 值经估算决定后, 便可用累加模型描述它们之间的近似关系:

$$\eta(A_i, B_j, C_k, D_l) = \mu + a_i + b_j + c_k + d_l + e \quad (8.5)$$

式中

μ : 整个实验范围内 η 的总均值。

a_i 、 b_j 、 c_k 、 d_l : 分别为因素 A、B、C、D 在水准 A_i 、 B_j 、 C_k 、 D_l 时偏离 μ 值的变异。

e : 误差(指可累加近似值误差, 加上在某一实验中经多次反复测度 η 值的误差)。

假定 a_1 、 a_2 及 a_3 为因素 A 的三个不同水准引起 μ 的偏差, 则:

$$a_1 + a_2 + a_3 = 0 \quad (8.6)$$

同理,

$$\left. \begin{aligned} b_1 + b_2 + b_3 &= 0 \\ c_1 + c_2 + c_3 &= 0 \\ d_1 + d_2 + d_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (8.7)$$

其实, 因素效应采用简单的算术平均法计算的结果与累加模型的结果相近, 相当于用最小二乘法将上述公式 (7.5)、(7.6) 及 (7.7)

田口管理 365

应用到可累加模型而求得 μ 的近似值。以估算因素 A (温度) 水准 3 的效应为例:

$$\begin{aligned} m_{A_3} &= \frac{1}{3}[\eta_7 + \eta_8 + \eta_9] \\ &= \frac{1}{3}[(\mu + a_3 + b_1 + c_3 + d_2 + e_7) + (\mu + a_3 + b_2 + c_1 + d_3 + e_8) + (\mu + a_3 + b_3 + c_2 + d_1 + e_9)] \\ &= (3\mu + 3a_3) + (b_1 + b_2 + b_3) + (c_1 + c_2 + c_3) + \\ &\quad (d_1 + d_2 + d_3) + (e_7 + e_8 + e_9) \\ &= (\mu + a_3) + (e_7 + e_8 + e_9) \end{aligned} \quad (8.8)$$

我们把直交表内所列杂音因素的水准重复出现的次数称为重现次数。一般来说, 某项因素水准的平均效应的误差变异, 多小于该因素单一实验的误差变异, 二者之差常等于水准的重现次数。因此有必要增加实验次数, 来提高因素水准平均效应的正确性。例如, 为求温度因素三个水准的平均 η 值, 可以实施 $3 \times 3 = 9$ 次实验 (三个水准, 各水准重现三次), 在进行实验时, 其它因素 (如 B_1, C_1, D_1) 保持其水准不变。

把温度固定在最佳水准上, 分别实施 B_2 及 B_3 的压力实验, 同样再做 $3 \times 2 = 6$ 次实验。如此循环进行因素 C 及 D 的实验, 计 $2 \times 6 = 12$ 次, 累计实施 27 次实验, 即可分别研究出四个因素的最佳水准。而利用直交表矩阵实验, 则只需 9 次实验便可获得各因素水准的效应。

采用完全阶乘数实验也可求得各项因素的最佳组合。所谓完全阶乘数实验, 是将各项因素水准的全部可能的组合来完成整个实验。例中的四项因素将共用 $3^4 = 81$ 种不同的组合, 也即要进行 81 次实验。显然采用完全阶乘数实验, 较矩阵实验的 9 次实验实在多

出太多。

综上所述，直交表具有简捷、准确、耗费少等诸多优点，因此在进行矩阵实验时，应该按照制定的矩阵实验计划，一一进行，不应遗漏，毕竟直交表矩阵实验已经是获得最佳组合必不可少的实验方法和实验次数了，如果直交表中某一横行的实验没有进行，就会缺少对应的实验数据，那么整个研究的平衡性将无从发挥，直交表的矩阵实验也将失去存在的意义。

四、变异分析

杂音因素对产品表面缺点的形成有不同程度的影响，可以通过对各因素效应的相对大小做大致的判断，见表8-3。变异分析是将变异分解，再来判断各项因素的相对效应。对于误差变异也可以应用此项变异分析方法，来估计各项因素效应的误差变异以及预测误差的变异。

表8-3 制程因子不同水准的平均 η 值

制程因素		水 准		
		1	2	3
A	温度	-20*	-45	-60
B	压力	-30*	<u>-40</u>	-55
C	稳定时间	<u>-50</u>	<u>-35*</u>	-40
D	洗涤方法	<u>-45</u>	-40*	-40*

注：

总均值 = -41.67B。

实验开始时的水准为标有横线的值。

代有*号为最佳水准值。

田口管理 365

1. 平方和的计算

各 η 值平方后的汇集总和，计算如下：

$$\begin{aligned}\text{平方的汇集总和} &= \sum_{i=1}^9 \eta_i^2 \\ &= (-20)^2 + (-10)^2 + \dots + (-70)^2 \\ &= 19.425 \text{ (dB)}^2\end{aligned}$$

2. 由平均值产生的平方和计算

由平均值产生的平方和 = 实验次数 $\times m^2 = 9 \times (41.67)^2 = 15625 \text{ (dB)}^2$

3. 平方总和的计算

$$\begin{aligned}\text{平方总和} &= \sum_{i=1}^9 (\eta_i^2 - m)^2 \\ &= (-20 - 41.67)^2 + (-10 - 41.67)^2 + \dots + \\ &\quad (-70 - 41.67)^2 \\ &= 3800 \text{ (dB)}^2\end{aligned}$$

由于 m 为 9 个 η_i 值的平均，故：

$$\sum_{i=1}^9 (\eta_i - m)^2 = \sum_{i=1}^9 \eta_i^2 - 9m^2$$

或：平方总和 = (平方的汇集总和) - (平均值产生的平方和)

杂音因素 A，其效应变异的平方总和应等于各次实验的变异的平方总和。即：

杂音因素 A 产生的平方和

$$\begin{aligned}&= 3(m_{A_1} - m)^2 + 3(m_{A_2} - m)^2 + (m_{A_3} - m)^2 \\ &= 3(-20 + 41.67)^2 + 3(-45 + 41.67)^2 + 3(-60 + 41.67)^2\end{aligned}$$

$$= 2450 (\text{dB})^2$$

依同理也可算出杂音因素 B、C 及 D 产生的平方和分别为 950、350 及 $50(\text{dB})^2$ 。将这些数据整理如表 8-4。

表 8-4 η 的变异分析表

因素		自由度	平方和	平方和的平均	F
A	温度	2	2450	1225	12.25
B	压力	2	950	475	4.75
C	稳定时间	2	350*	175	
D	洗涤方法	2	50*	25	
误差		0	0		
合计		8	3800		
(误差)		(4)	(400)	(100)	

4. 各项平方和值的关系

矩阵实验中显示的矩阵特性，反映于各项“平方和”值之间，存有下列关系：

$$\text{平方的总和} = \text{因各项杂音因素产生的平方和的总和} + \text{因误差产生的平方和} \quad (8.9)$$

五、变异分析方法

1. 自由度

自由度是指任一项个体（如某一矩阵实验、某一因素、某一平方和等等）所包含的独立参数的个数。例如，一项矩阵实验有 9 个横行即 9 度自由度，其平方总和也为 9 度自由度。又如一项平均值，有 1 度自由度，其因平均值产生的平方和，也为 1 度自由度。

田口管理 365

又如某杂音因素 A 有三个水准, 杂音因素效应又受三个参数的影响, 即 a_1, a_2, a_3 。而且这三个参数又满足

$$a_1 + a_2 + a_3 = 0 \quad (8.10)$$

的限制条件, 那么从效应方面而言, 杂音因素 A 仅含有两个独立参数, 故其自由度为 2 度。同理, 杂音因素 B, C 及 D 等, 也各为 2 度自由度。

一般而言, 某一因素的自由度等于该因素的水准数减 1。以矩阵实验的矩形特性而言, 各项自由度之间存有下列关系:

$$\text{平方之总和的自由度} = (\text{各因素之自由度之总和}) - \text{误差的自由度} \quad (8.11)$$

2. 误差变异的估算

误差变异为误差平方的均值:

$$\sigma_e^2 = \frac{\text{因误差产生的平方和}}{\text{误差的自由度}} \quad (8.12)$$

以前述例子来估算因素 C 及因素 D 的误差变异, 因素 C 及 D 两者的自由度, 合计为 4 度, 平方和为 400, 故误差变异为 100。

在对制程参数或产品参数进行研究时, 通常会将矩阵中全部直列或大部分直列加以应用, 这样在估算误差变异时, 由于自由度不存在了, 将无法直接估算误差变异, 变通的办法是转而估算误差变异的近似值: 即在全部平方和中, 仅就其中平方均值较低的杂音因素估算其平方和, 用以估算误差变异。

这个取近似值的估算方法, 是基于可以将各项因素序列的后半部分因素(相当于自由度较低的因素)的平方和, 来作为估算误差平方平均值或误差变异值。

3. 信度区间

信度区间是指在一定的误差标准值下，某一因素水准发生变动时其效应变动大小的范围。在前述例子中，因素水准的效应变异为 $(1/3)$ ， $\sigma_e^2 = (1/3)(100) = 33.3(\text{dB})^2$ 。因此，在两个标准差值下，信度区间的宽度约为： $\pm 2 \sqrt{33.3} = \pm 11.5\text{dB}$ 。

4. 变异比

变异比 (F) 的定义：

$$F = \frac{\text{杂音因素的效应平方均值}}{\text{误差平方和}} \quad (8.13)$$

F 值越大表示该因素的效应相对于其误差变异越大，同时也表示该因素愈为重要，对制程反应 η 的影响也愈大。

F 值的大小常作为各项杂音因素序列高低排序的依据之一。还可以用 F 值与 F 机率分布相比，来判断一项因素效应的可信度，并推断其是否更符合实际情况或仅仅是偶然现象，见表 8-5。

表 8-5 F 值的大小判断

F 值大小	判断结果
<1	该因素效应较小，且小于可累加模型的误差。
>2	该因素效应并不太小。
>4	该因素已趋于相当大的影响程度了。

六、变异预测及诊断

1. η 的预测

用公式(8.5)所示的可累加模型, 来预测本章化学分解案例的 η 值:

$$\begin{aligned}\eta &= m + (m_{A_1} - m) + (m_{B_1} - m) \\ &= -41.67 + (-20 + 41.67) + (-30 + 41.67) \\ &= -8.33 \text{ (dB)}\end{aligned}\quad (8.14)$$

在预测 η 值时, 由于因素 C 及因素 D 的平方和都很小, 可以将其忽略不计。因为如果将此类因素的影响纳入计算, 则预测的 η 改善将超过实际改善, 也就是说, 我们的预测结果将高于实际状况。

同理还可利用公式(8.14), 预测最佳情况下的缺点为 -8.33dB , 即缺点计数的平方均值为:

$$y = 10 - \eta_{\text{opt}}/10 = 10^{0.833} = 6.8 \text{ (缺点/单位面积)}^2 \quad (8.15)$$

此外, 本项可累加模型还可用于预测两种制程情况下的缺点计数的差数, 即初步制程 ($A_2B_2C_1D_1$) 改变为最佳情况 ($A_1B_2C_2D_2$) 后, 预测的 η 值改善为:

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_{\text{opt}} - \eta_{\text{initial}} = (m_{A_1} - m_{A_2}) + (m_{B_1} - m_{B_2}) \\ &= (-20 + 45) + (-30 + 40) \\ &= 35 \text{ (dB)}\end{aligned}\quad (8.16)$$

2. 实验的验证

求得最佳状况下的效应之后, 应以最佳参数为基础再做一次实验, 并将实验所得的 η 值, 与预测的值互作比较。若实验值与预测值接近, 则可以认定可累加模型为适用。

3. 预测误差的变异

了解预测误差的变异, 来判断实验 η 值与预测 η 值是否接近。其中预测误差, 应为实验 η 值与预测 η 值两者之差, 是由两个互相独立的项目所构成:

第一个构成项目, 是分别预测 m , m_{A_1} 及 m_{B_1} 等的误差所引发的预测值 η 的误差。

第二个构成项目, 则是一项实验的重复误差。

这两项构成项目彼此互为关联, 故预测误差的变异应为两个构成项目的变异之和。以第一个项目而言, 其变异应为 $(1/n_0) \sigma_e^2$ 。其中 σ_e^2 为误差变异, n_0 为估算 η 时的相当样本大小。相当样本大小 n_0 , 可按下列式计算:

$$1/n_0 = 1/n + [1/n_{A_1} - 1/n] + [1/n_{B_1} - 1/n] \quad (8.17)$$

式中, η 为矩阵实验的行数, η_{A_1} 为矩阵实验中水准 A_1 重复的次数。

4. 预测误差变异的同一性

就本例实验范围内各项因素水准而言, 预测误差的变异 $\sigma_{\eta_m}^2$ 均相等。即无论某一组合方式是否相应于矩阵实验中的某一横行, 预测误差的变异均为一定。这一点, 在进行矩阵实验之前, 是无法知晓的。因此, 预测误差的同一性应属当然。

5. 各控制因素间的交互作用

交互作用可借用图 8-2 的(a)、(b)、(c)来说明。

(1) 没有交互作用

见图 8-2 (a), 因素 A 及因素 B 没有交互作用。因此, 因素 A

相对于因素 B 的水准 B_1 , B_2 及 B_3 等的效应线均为互相平行。

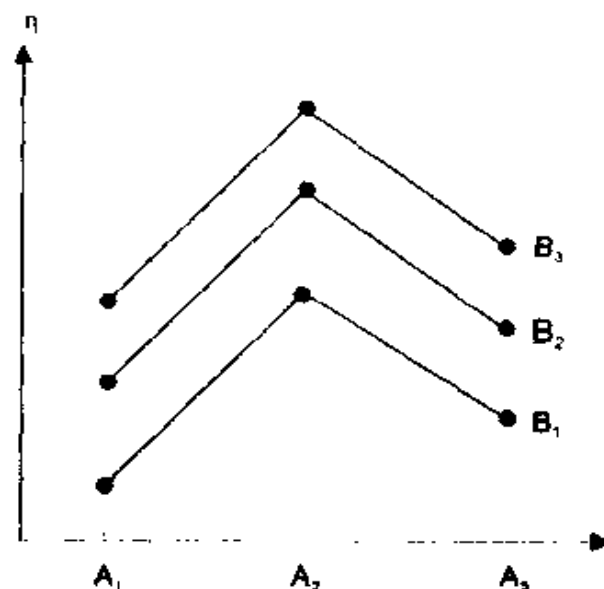


图 8-2 各控制因素间交互作用 (a) 无交互作用

各线互相平行, 说明假如将因素 A 的水准由 A_1 变动为 A_2 或 A_3 , 其 η 值的相应变动均属相同, 而与因素 B 的水准无关。同样地, 因素 B 水准的变动, 也将使 η 值产生完全相同的变动, 而与因素 A 的水准无关。

没有交互作用的情况, 可累加模型显示的最佳水准仍能适用。

(2) 协力型交互作用

见图 8-2 (b), 各因素间效应线不平行, 表示有交互作用。由于改善的方向大致相同, 所以称之为协力型交互作用。对于这种情况, 可累加模型显示的最适水准仍能适用。

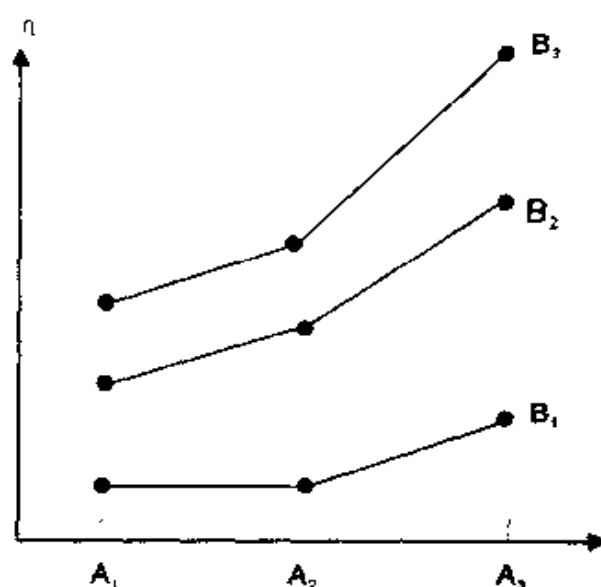


图 8-2 各控制因素间交互作用 (b) 协力型交互作用

(3) 非协力型交互作用

见图 8-2(c), 各因素间有交互作用, 不但效应线互不平行, 改善的方向也全不一致, 所以称为非协力型交互作用。

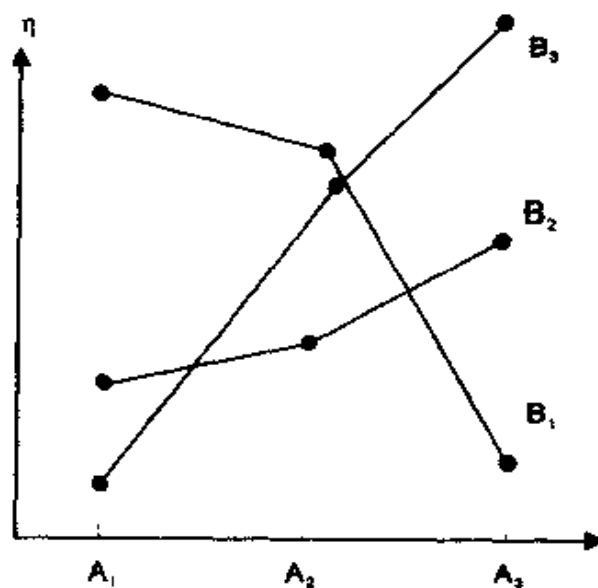


图8-2 各控制因素间交互作用
(c) 非协力型交互作用

田口管理 365

可累加模型是极为理想的一个评估数学模型，可作为掌握 η 值及各控制因素间关系的基础，但必须事先选定适当的品质特性，规划适当的 S/N 比，确定适当的控制因素。接着就可以进行验证实验，验证实验的目的在于一旦可累加模型不适用时，能为我们提供一项警示，以防制程设计及产品设计走入误区，劳神伤财。

往往验证实验会提供两种或两种以上的情况供我们选择，当可累加模型为适用时，则预测结果必须与实验结果相符。当然，在某些情况之下，我们也能凭自己的工程经验和科技知识，来判断哪一种交互作用的关系更为重要。

第九章 标准直交表与线型图解

一、标准直交表的选择

(1) 标准直交表

田口博士编制了18个标准直交表,可以在矩阵实验规划时直接运用。各标准直交表各有名称,由其名称可知该表横行及直列的数目,以及各直列水准的数目。

直交表 $L_4(2^3)$:表示有四个横行,三个2水准的直列。

直交表 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$:表示有18个横行,1个2水准的直列,及7个3水准的直列。

为方便起见,对直交表的称呼,仅指称其横行数目,如 L_4 。若两个直交表的横行数相同,如对两个36横行的直交表将名之为 L_{36} 及 L'_{36} 。

田口的18个标准直交表,见表9-1。

表9-1 田口标准直交表

直交表	横行数	最高的 因素数目	最高的直列数, 水准数分别如下			
			2	3	4	5
L ₄	4	3	3	—	—	—
L ₈	8	7	7	—	—	—
L ₉	9	4	—	4	—	—
L ₁₂	12	11	11	—	—	—
L ₁₆	16	15	15	—	—	—
L ₁₆	16	5	—	—	5	—
L ₁₈	18	8	1	7	—	—
L ₂₅	25	6	—	—	—	6
L ₂₇	27	13	—	13	—	—
L ₃₂	32	31	31	—	—	—
L ₃₂	32	10	1	—	9	—
L ₃₆	36	23	11	12	—	—
L ₃₆	36	16	3	13	—	—
L ₅₀	50	12	1	—	—	11
L ₅₀	54	26	1	25	—	—
L ₆₄	64	63	63	—	—	—
L ₂₅	64	21	—	—	21	—
L ₂₅	82	40	—	40	—	—

(2) 直交表选择

(a) 直交表横行行数的选择

直交表选择的横行行数即为应做实验的次数, 为便于选择, 直交表的横行数至少应等于研究个案的自由度数。

(b) 有效控制因素的数目

为控制因素的数目, 有时我们也可直接使用直交表, 其条件是: 控制因素的水准数相符。在一般情况下, 实施实验需耗费成本。因此有时我们可以找出最小的某一符合研究个案需求的直交表进行使用。

(c) 提高因素效应的可累加性

为了使因素效应的可累加性能进行充分的试验,有时也可采用某一个试验次数略大一些的直交表。

(3) 直交表选择实例

(a) 实例1

研究有 7 个 2 水准因素的效应。本例的自由度为:

总平均值 1 度 + 7 个 2 水准因素共 7 度 = 8 度

应该选用的最小直交表必须有 8 个或 8 个以上的横行。使用 L_8 直交表。

(b) 实例2

研究有 1 个 2 水准因素及 6 个 3 水准因素的效应。其自由度为:

总平均值 1 度 + 2 水准因素 1 度 + 6 个 3 水准因素 12 度 = 14 度

应该选用的最小直交表必须有 14 个或 14 个以上的横行。直交表最小者为 L_{16} 。由于 L_{16} 直交表中有 15 个 2 水准的直列,无法直接用于 3 水准的因素。再往大处选择直交表 L_{18} , 含有 1 个 2 水准直列及 7 个 3 水准直列。根据直交表 L_{18} 的特性,可将 2 水准因素设定于 2 水准的直列,将 6 个 3 水准因素设定于 7 个 3 水准的直列,1 个 3 水准的直列设为空列。

一般来说,在直交表内保持 1 个或 1 个以上的空列,不会影响矩阵实验的结果。但必须再次审核已选定的控制因素之外是否还有应予纳入的其他控制因素。若有未列属于次要项目的控制因素,则可设定于该项空列。

(c) 实例3

研究有 2 个 2 水准因素及 3 个 3 水准因素的效应。本个案的自由度为 9 度。标准直交表 L_9 并不能直接使用,因为该直交表并无 2 水准的直列。同理,直交表 L_{12} 也不能直接使用,因无 3 水准直列。类似的考虑可继续至直交表 L_{27} 。直交表 L_{27} 至少含有 2 个 2 水准直

田口管理 365

列。在依次选择直交表时，如果有 2 个直交表可选择，除了要保证矩阵试验结果的准确性外，还要考虑试验的效率问题，也就是比较拟选择的两个直交表的自由度，看看选择哪一个直交表浪费的自由度最小。例如，本例可选择除了直交表 L_{27} 外，直交表 L_{36} 具有 3 个 3 水准直列，也可以采用。下面对两种选择浪费的自由度进行比较：

L_{27} 浪费的自由度数为 $(27 - 9 =) 18$ 度

L_{36} 浪费的自由度数为 $(36 - 9 =) 27$ 度

如果选择了 L_{36} ，将会使试验的效率大大降低。

二、编制直交表方法

按照编制矩阵实验直交表需要的各项技能，可分为初级方法、中级方法和高级方法三种，可根据实际品质管理需要选用。

1. 初级方法

适合于初接触本类课题者，实验的次数少于 18 个，可直接选用一项合适的标准直交表，见表 9-2。通常可供选用的直交表是 L_4 、 L_8 、 L_9 、 L_{12} 、 L_{16} 、 L_{18} 及 L_{27} 。

表 9-2 直交表初级方法

	2 水准 因素的数目	建议采用 的直交表	备 注
全为 2 因素水准	2~3	L_4	
	4~7	L_8	
	8~11	L_{12}	
	12~15	L_{16}	
全为 3 因素水准	2~4	L_9	
	5~7	L_{18}	除 7 个 3 水准因素，也可 用 1 个 2 水准因素。

第九章 标准直交表与线型图解

初学者对于直交表,宜考虑选用全部为2水准因素或全部为3水准因素的直交表,且最好不需要进行交互作用估算。

在表9-2所列的直交表中,以 L_{18} 使用最为普遍,因为 L_{18} 直交表包含了最高7个3水准因素及1个2水准因素,可以满足大部分试验的需要。

2. 中级方法

表9-3是供中级使用者参考。中级方法适合于那些对矩阵实验已具有相当经验的使用者,可以根据实际需要进行空格水准、复合因素、

表9-3 直交表中级方法

2 水准因素 的个数	3 水准因素的个数							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0			L_9	L_9	L_9	L_{12}	L_{18}	L_{18}
1			L_9	L_9	L_{18}	L_{18}	L_{18}	L_{18}
2	L_4	L_4	L_9	L_{18}	L_{18}	L_{18}	L_{18}	L_{18}
3	L_9	L_9	L_9	L_{18}	L_{18}	L_{18}	L_{18}	L_{18}
4	L_4	L_4	L_4	L_{18}	L_{16}	L_{18}	L_{18}	L_{18}
5	L_9	L_{16}	L_{16}	L_{16}	L_{18}	L_{18}		
6	L_{18}	L_{16}	L_{16}	L_{16}	L_{18}			
7	L_{18}	L_{16}	L_{16}	L_{18}	L_{18}			
8	L_{12}	L_{16}	L_{16}	L_{18}				
9	L_{12}	L_{16}	L_{16}	L_{18}				
10	L_{12}	L_{16}						
11	L_1	L_{16}						
12	L_{12}	L_{16}						
13	L_{16}							
14	L_{16}							
15	L_{16}							

注:中级方法不宜选用含有2水准因素及3水准因素组合的直交表,故本表未列入。

田口管理 365

直列合并等处理,以扩大因素水准的可能组合。中级方法选定的标准直交表,以不大于 L_{18} 为好。选定的因素,最好也是完全2水准因素或3水准因素,也宜避免交互作用的估算。

若需对已选定的标准直交表做必要的修改,应按照下列规则进行:

(1) 需要在直交表 L_{18} 或 L_{16} 中编制一个3水准的直列,先将直交表的3个直列(任选2个直列及一个含有该2直列的交互作用的直列)予以合并,成为一个4水准的直列,然后再利用空格水准的方法,将此4水准直列转变成为一个3水准的直列。

(2) 需要在直交表 L_{16} 中编制2个3水准的直列,先将直交表中的两组不同的3个直列(任选2个直列,及一个含有该两直列的交互作用的直列)予以合并,成为2个4水准直列,然后再利用空格水准的方法,将4水准直列转变成为3水准直列。

(3) 使用直交表 L_9 ,当因素的总个数小于或等于4时,可利用空格水准方法,将某一2水准因素分派于一个3水准的直列内。

(4) 选用直交表 L_9 ,当因素的总个数大于4时,可利用复合因素法,由直交表的2个2水准因素编制一个3水准因素,以使因素个数成为4个。

(5) 选用直交表 L_{18} ,且2水准的直列数大于1时,则可利用空格水准法及复合因素法,按上述第3及第4两项规则处理。

3. 高级方法

高级方法适合于试验主持人以及在矩阵实验方面累积了相当丰富经验的使用者,他们可以运用线型图及有关线型图修改技术,来扩大自己运用各项因素及其水准的范围,进而进行交互作用的估算,等等。高级方法通常包括下列步骤:

(1) 先应用初级方法及中级方法对个案进行初步的解决。若仍

无法达到要求, 则进行下列步骤。

(2) 计算自由度的度数。

(3) 由表 9-1 选定一项可用的标准直交表。当大部分因素为 2 水准因素或 4 水准因素, 则应选择一个 2 水准的直交表。若大部分因素为 3 水准因素时, 则应选择一个 3 水准的直交表。

(4) 绘制线型图, 预估因素间的交互作用, 并适当应用直列合并法及制程分析法, 直至达到预期的要求。

三、空水准技术

假设某直交表内的某个直列有 n 个水准, 其中某一因素有 m 个水准, 当 n 大于 m 时, 可将该项因素分派于直交表内, 即为空水准技术 (dummy level technique)。例如某因素 A , 有 A_1 及 A_2 两个水准, 可另创一个“空水准” A_3 , 而将因素 A 分派到直交表的一个 3 水准的直列中, 该项另创的空水准, 可与 A_1 或 A_2 相同。

现举例说明如下: 某试验有水准因素 1 个 (A) 及 3 水准因素 3 个 (B , C 及 D), 自由度为 8 度, 选择直交表 L_9 , 见表 9-4。

采用空水准技术, 将四个因素 A 、 B 、 C 及 D 分别列入直交表直列 1、2、3、4 当中, 所创的空水准 A'_1 , 见表 9-5。

经过空水准技术调整后的直交表仍具有矩阵特性。在表 9-5 中, 虽将空水准 A_3 订为 A_1 , 但也可订为 A_2 , 至于对 $A_3 = A_1$ 或 $A_3 = A_2$ 时应如何选择, 需要多方考虑而定。一般而言, 主要考虑以下几点:

(1) 选定一项空水准, 应以期望有更精确的结果者为准。假定 $A_3 = A_2$, 则 A_2 的效应必须较 A_1 有更精确的估算, 也就是说 A_2 效应的精确度应为 A_1 效应精确度的两倍。如果水准 A_1 为开始情况, 而 A_2 为一项新情况, 则我们应认定以 A_2 为空水准, 即 $A_3 = A_2$ 。

(2) 实验时的可用资源以及难易程度。假设 A_1 及 A_2 为两种不同的材料, 而 A_1 较为稀少, 则我们宜选 $A_3 = A_2$, 以保证制定好的矩阵

田口管理 365

表 9-4 L_9 直交表

实验编号	直列号码			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
	A	B	C	D
	因素分派			

表 9-5 空水准技术计划表

实验编号	直列号码			
	1	2	3	4
1	A_1	B_1	C_1	D_1
2	A_1	B_2	C_2	D_2
3	A_1	B_3	C_3	D_3
4	A_1	B_1	C_2	D_3
5	A_2	B_2	C_3	D_1
6	A_2	B_3	C_1	D_2
7	A_1	B_1	C_3	D_2
8	A_1	B_2	C_1	D_3
9	A_1	B_3	C_2	D_1
	A	B	C	D
	因素分派			

实验能在合理的时间内顺利完成，而不至于受材料短缺的制约。

空水准处理技术还可以扩大到1个以上的因素。如本例，假定有2个2水准因素（A及B）及2个3水准因素（C及D）。则可以将这四个因素分派于选出的直交表 L_9 各直列中，并设定空水准

$$A_3 = A'_1 \text{ (或 } A_3 = A'_2 \text{)}$$

$$B_3 = B'_1 \text{ (或 } B_3 = B'_2 \text{)}$$

对于2个或2个以上的因素应用空水准技术后，直交表的矩阵特性不变。

除此之外，空水准技术还可以进一步扩大应用到将1个 m 水准因素分派于1个 n 水准的直列，且 m 小于 n 的情况，此时直交表的矩阵特性依然不变。

四、复合因素方法

复合因素方法 (compound factor method) 是以一项直交表为依据，使纳入试验的因素数目多于直交表的直列数目的方法。

1. 例子1

例如有2个2水准因素，可以将各因素分派到仅有1个3水准的直列中。该因素A及B均为2水准。A及B两个因素的水准组合共有四种： A_1B_1 ， A_2B_1 ， A_1B_2 及 A_2B_2 。

然后从这四种组合中选取三种较重要的组合，称之为“3水准的复合因素AB”。假定选定的三个水准为： $(AB)_1 = A_1B_1$ ， $(AB)_2 = A_1B_2$ ，及 $(AB)_3 = A_2B_1$ 。从而，复合因素AB，便可分派到一个3水准的直列，来研究A与B的效应和其它因素的效应。先由复合因素 $(AB)_1$ 及 $(AB)_2$ 的水准平均之差，来求得由 B_1 变动为 B_2 后的效应。同样地，由复合因素 $(AB)_1$ 及 $(AB)_3$ 的水准平均之差，也可以获得由 A_1 变动为 A_2 的效应。

田口管理 365

经过复合因素技术处理的直交表，其矩阵特性会有部分损失，因为两个复合因素间并无矩阵特性。虽然如此，但单独一个复合因素与另一个其他因素之间仍有矩阵特性。

再来看前节空水准处理技术的例子，假设有2个2水准因素（A及E）及3个3水准（B、C及D）。可以合成一个3水准的复合因素（AE），其3水准分别为：

$$(AE)_1 = A_1E_1$$

$$(AE)_2 = A_1E_2$$

$$(AE)_3 = A_2E_1$$

经处理后就可以变成4个3水准因素，并将其分配到直交表 L_9 ，即将因素AE、B、C及D分配于直列1、2、3及4的结果。见表9-6。

表9-6 复合因素技术的实验计划

实验编号	直列号码			
	1	2	3	4
1	A_1E_1	B_1	C_1	D_1
2	A_1E_1	B_2	C_2	D_2
3	A_1E_1	B_3	C_3	D_3
4	A_1E_2	B_1	C_2	D_3
5	A_2E_2	B_2	C_3	D_1
6	A_2E_2	B_3	C_1	D_2
7	A_1E_1	B_1	C_3	D_2
8	A_1E_1	B_2	C_1	D_3
9	A_1E_1	B_3	C_2	D_1
	AE	B	C	D
	因素分派			

2. 例子2

某一试验有3个2水准因素(A、B及D),及6个3水准因素(C、E、F、G、H及I),其自由度合计为16度,经查可用直交表为 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 。

实验主持人经考虑,决定合成3个复合因素(BD),有3水准:

$$(BD)_1 = B_1D_1$$

$$(BD)_2 = B_2D_1$$

$$(BD)_3 = B_1D_2$$

于是该试验变成:

1个2水准因素及7个3水准,完全与直交表 L_{18} 配合。

如果是2个2水准因素(A及B)及7个3水准因素(C至I)来完成试验,就会发现如果将其中某1个3水准因素略去1个水准,直交表 L_{18} 仍能适用。假定不事先加以修正,而直接使用直交表 L_{27} ,实验的次数将增加50%。因此,在选择合适的直交表后,还要考虑是否可以进行较小的修改,从而减少实验工作的负荷。

五、线型图解及交互作用

“线型图解”(linear graphs)方法,是田口博士开发的一项图解工具。利用这项工具,使得编制直交表的程序简单了许多。

1. 因素效应交互作用的交络

以表9-7直交表 L_8 为例,将因素A、B、C、D、E、F及G等分派于该直交表的直列1、2、3、4、5、6、7中。假定已知因素A及因素B有很强的交互作用。那么其余7个因素由矩阵实验所产生的效应,对交互作用有什么影响呢?

表9-7 直交表 L_8

实验编号	直 列						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
	A	B	C	D	E	F	G
	因素分派						

实验的交互作用效应见图9-1。

我们可由该图效应的互不平行的程度，测度交互作用的大小如

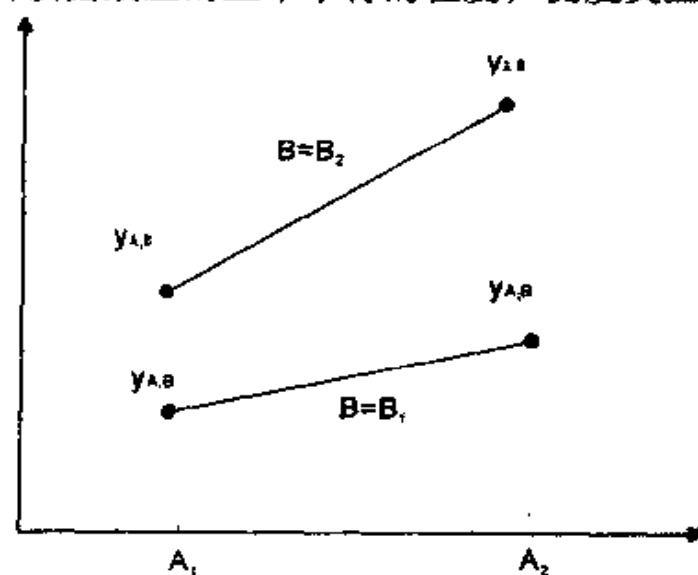


图9-1 两因素的交互作用

下:

$$\begin{aligned} A \times B \text{ 交互作用} &= (y_{A_2B_2} - y_{A_1B_2}) - (y_{A_2B_1} - y_{A_1B_1}) \\ &= (y_{A_2B_2} + y_{A_1B_1}) - (y_{A_2B_1} + y_{A_1B_2}) \end{aligned}$$

因素 A 及 B 的交互作用, 使因素 A 的效应在因素 B 的水准 B_1 及 B_2 时, 出现不平行状态。

2. 交互作用表

交互作用表 (interaction table) 是这样一个表格, 可以指出在直交表中的何项直列“对 L_8 直交表中的相互成对的直列”有交互作用的交错。因此, 由这个交互作用表, 我们能够了解 L_8 直交表中的何项直列可以将其列为空列 (即不分派任何因素), 以便于估算某项特定交互作用的效应。见表 9-8。

表 9-8 L_8 的交互作用

直 列	直 列						
	1	7	2	3	4	5	6
1	(1)	6	3	2	5	4	7
2		5	(2)	1	6	7	4
3		4		(3)	7	6	5
4		3			(4)	1	2
5		2				(5)	3
6		1					(6)
7		(7)					

注: 本表所示为相互对称的直列有交互作用的交错。

田口管理 365

交互作用表是一个对称的矩阵，因为通过这个交互作用表，我们可以知道：

- (1) 直交表的“直列1及直列2的交互作用”，对直列3有交错。
- (2) 直交表的“直列a与直列b之间的交互作用”，与“直列b与直列a之间的交互作用”完全相同。

3. 线型图解

线型图解就是用图解方法来提供交互作用的信息，更便于为直交表的直列分派有关的因素和交互作用。在线型图解中，直交表的直列用“点”和“线”表示。将两个点连成一条线，表示两个点所代表的直列之间有交互作用，且该项交互作用对于由该线条代表的直列将有交错现象。因此在一幅线型图解中，每一个点和每一条线均各自注明了直列的编号。且直交表中的每一个直列，也仅在该表的线型图解中出现一次。

请参看图9-2为直交表 L_8 的标准线型图。该图有四个点（相当于直交表的直列1、2、4及7）、三条线（分别代表直交表的直列3、5及6）。三条线相当于直列1及2的交互作用，直列1及4的交互作用，及直列2及4的交互作用。

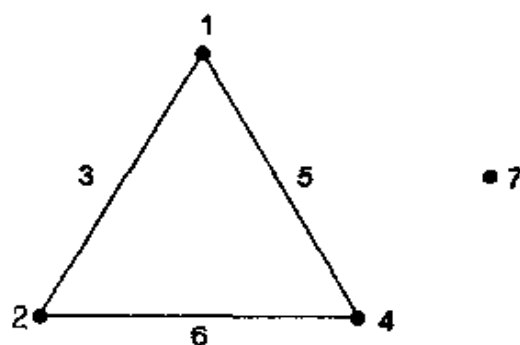


图9-2 直交表 L_8 标准线型图解

第九章 标准直交表与线型图解

由图 9-3 还可以得出：直列 3、5 及 6 的确相应于上述交互作用关系无误。

其实，线型图解没有包含直交表中全部成对的直列，因为在实际应用当中也无必要。故图 9-2 中并未绘出直列 1 及 3 的交互作用，直列 2 及 7 的交互作用等等。

图 9-3 为直交表 L_8 的另一种标准线型图。

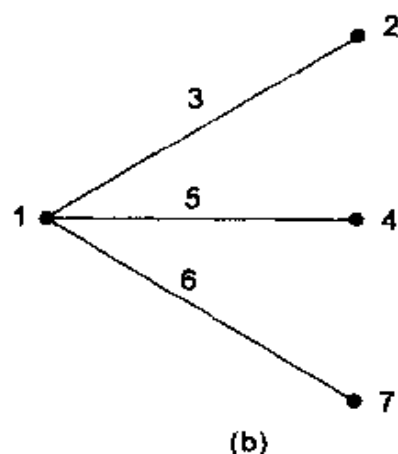


图 9-3 直交表 L_8 标准线型图解

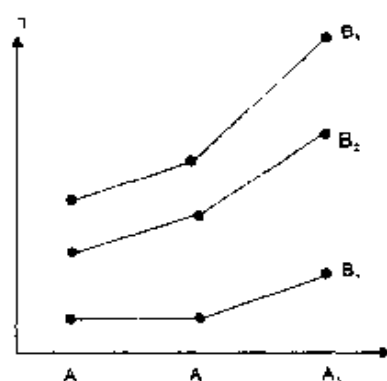
同样地，该图也绘有四个点（代表直列 1、2、4 及 7）、三条线（代表直列 3、5 及 6）。同样地，各线分别相当于直列 1 及 2 的交互作用，直列 1 及 4 的交互作用，及直列 1 及 7 的交互作用。

一份直交表通常可以绘制许多幅不同的线型图，分别供不同的规划作业之用。但每一幅图，均必须与该直交表的交互作用一致。

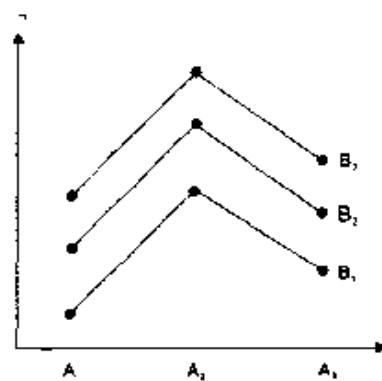
4. 三水准因素的线型图解

以上所讨论的都是以 2 水准因素的交互作用为限，其实所用到的概念，同样也能扩大至较多水准的因素。请参看图 9-4，其中图 9-4(a)为 2 个 3 水准因素无交互作用的情况，图 9-4(b)及 9-4(c)则为

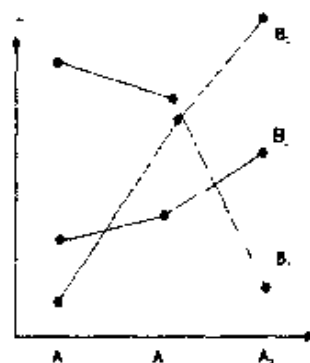
田口管理 365



(a) 无交互作用



(b) 协力性交互作用



(c) 非协力性交互作用

图9-4 交互作用图例

有交互作用的情况。

直交表中含有3水准的直列者，有 L_9 、 L_{27} 等项。这类直交表的线型图及交互作用表，均较2水准直列的直交表复杂。一个3水准因素的每一个直列，自由度为2度；2个3水准直列的交互作用的自由度则为4度。因此，估算2个3水准因素的交互作用时，我们需将2个3水准的直列留空；相形之下，对于2水准的直交表则仅需保持一个直列留空。

第十章 田口方法品质改善案例

一、太阳花散热鳍片试验

电脑CPU的散热方式一直是以“散热鳍片+风扇”的结构模式。随着新一代CPU的出现,发热量已超出100W以上,原有的小尺寸风扇已经无法满足散热的需求。一种具有放射状太阳花结构的新型铝制散热片问世,那么如何进行样品制作或是进行数值仿真分析比对,对生产厂家来说,都面临相当大的困难。

目前具有自动网格生成功能的软件,也仅能产生非正交性的四面体网格,此一网格类型对分析固体与流体间的热交换的状况,其精确度不太准确。为此,开发出让使用者依设计需求输入参数即可产生网格,并建立起一个可供分析的模型。

1. 执行程序及模型建立

由软件自动进行网格之产生,自动完成需要的模型文件。

2. 模型建立测试结果

使用者在很短的时间里,就可以得到三个不同设计条件的网格。

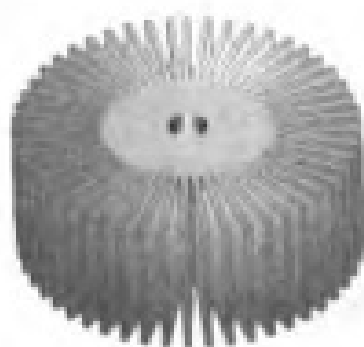


图 10-1 太阳花散热鳍片网格 (1)

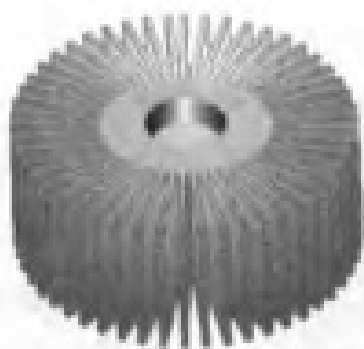


图 10-2 太阳花散热鳍片网格 (2)

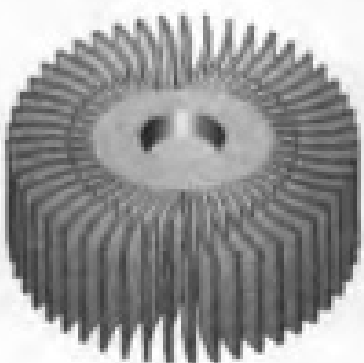


图 10-3 太阳花散热鳍片网格 (3)

3. 设计参数的选取

影响散热效果的因子有：鳍片外型、鳍片数目、鳍片高度、塞铜的半径及高度、鳍片的厚度、风扇的尺寸、风扇与散热片的距离、风扇的转速，等等。

在这些影响因子中，哪些是问题的重点，哪些是可变因子，等等，都需要认真加以研究。为便于研究，按照田口方法各半的原则，我们选择鳍片数目、鳍片高度、塞铜半径为分析设计参数，见表10-1。在不考虑成本的前提下，分析的目标是获得的热阻最小，而风量尽可能大。

表10-1 参数因子选择

序号	鳍片数目	鳍片高度	塞铜的半径
1	50	30	7.5
2	60	35	10

4. 设计分析组合

表10-2 为设计分析组合表

表10-2 设计分析组合表

分析组合	1	2	3	4	5	6	7	8	9
鳍片数目	50	50	50	60	60	60	70	70	70
鳍片高度	30	35	40	30	35	40	30	35	40
塞铜半径	12.5	7.5	10	10	12.5	7.5	7.5	10	12.5

5. 模型架构设计

(1) 风扇部分设计

风扇网格数目=85484

风扇尺寸=9225

风扇转速=3000

(2) 固体部分设计

包括铝挤鳍片、中间塞铜、导热膏、网格总数。

(3) 流体部分设计

包括流体全部网格数的设计

6. 结果分析比对

就散热鳍片数目及鳍片高度这两个控制因子而言,增加鳍片高度可以加大散热面积,而增加鳍片数目相对会增加阻抗。从试验结果得知,当鳍片数目从60到70之间变化时,虽然散热面积加大,但流量却下降了约25%,整体散热效果明显降低。

综合各方因素,要使散热鳍片的散热效果好、风量大、热阻小,最佳设计参数是:

鳍片数目是60片,鳍片高度为40mm,中间塞铜半径为12.5mm。

7. 验证假设

我们选择不同的设计参数,来进行对比实验,其结果见表10-3。

表10-3 不同设计参数的实验结果

实验编号	鳍片数目	鳍片高度	塞铜半径	热阻	流量
1	60	40	15	0.3949	39.36
2	70	40	15	0.4023	31.32
4	60	35	15	0.4081	38.54

从表 10-3 可以看出, 选择第一组试验参数, 得到的热阻是最低的, 而且三组结果的差异相当小:

(1) 第一组和第二组鳍片数目的差异与流量的差异乘积所得的结果基本一致;

(2) 增加鳍片高度对第一组和第三组的散热效果已没有多少帮助。

下面来探讨风扇转速对流量的影响, 选择第三组的参数条件进行分析。见表 10-4。

表10-4 不同风扇转速性能比对

试验编号	鳍片数目	鳍片高度	转速	热阻	流量
1	60	40	3000	0.3949	39.36
2	60	40	3000	0.4081	38.54
3	60	40	3000	0.3550	53.03
4	60	35	3000	0.3657	52.12

从实验结果可以看出, 在转速提高的情况下, 鳍片高度对流量有所帮助。由于对中间塞铜的高度一开始就定在 30mm, 因此当鳍片高度从 35 增加到 40mm 时, 无法有效传导热量到鳍片的上半部, 因而整体的散热能力还是靠着较为底层的鳍片进行散热, 虽然增加了散热面积, 但还不是有效散热面积。

8. 结论

按照新一代 CPU 散热热阻不超过 0.3 的要求, 试验的结果仍未达到要求。究其原因可能是选择的风扇效能不足。这是没有把风扇的效能考虑到控制因子当中, 而未对风扇进行最佳设计, 也没考虑到风扇扇叶与散热鳍片之间的良好搭配的缘故。

但利用田口方法, 能迅速、简捷地进行分析比对, 因而可以利

田口管理 365

用批次档的方式将数个案件编辑进行批处理,前期作业所需时间约仅一小时,之后由计算机自行执行计算约数十小时,而这数十个小时,使用者完全可以去从事更重要的工作。

利用田口方法,先期进行实验设计和规划,这样在2~3天就可以完成9组资料的比对,比以往传统的实验方法来得迅速。特别是像本例在太阳花的铝挤结构加上中间塞铜并非易事,但是通过田口的数值分析和前期规划,将可减少相当多不必要的时间浪费及不佳的样品制作。

二、产品清洗工序品质改善

电脑硬盘配件的生产,对清洁度的要求非常严格,产品要经过严格的清洗后才可包装出厂。衡量产品清洁程度的指标为NVR(Non Vapour Residue) $<5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。达不到要求的产品将被客户拒收,批拒收率曾经高达10%。拒收的产品经过重新清洗可以达到客户要求,但会造成生产能力大大下降,同时会使生产成本剧增。

为解决这个问题,成立NVR改善小组,应用田口方法进行研究及过程优化。首先使用2水准的部分因子实验设计法,从大量因子中筛选出3个关键因子,然后运用2水准全因子设计和最快下降法寻找优化区域,最后用CCD设计和响应面分析方法RSM(response surface methodology),试验的结果为:

- NVR平均值降到 $0.6\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。
- 批拒收率为零。

1. 筛选式设计

NVR改善小组选出对NVR有影响的6个潜在因子以及各因子的水准值。选用 L_8 直交表设计出实验方案。实验重复次数为2次,总实验次数为16次。按随机化次序进行实验。随机化的主要好处是

可以消除某些隐藏的因子对实验结果的干扰,这些隐藏的因子包括环境温度的变化、生产设备的磨损、原料批次品质变异等。

2. 实验设计

以往工程技术人员在解决设计问题时,习惯于使用单因子实验法(OFAT),即一次只变动一个试验因子,而将其他因子固定来进行实验。当控制因子不多时,这种方法简便易行。但控制因子很多时,还继续使用OFAT法,就不合适了。与田口的实验计划法(DOE)相比较,OFAT有两大缺点:

(a) 效率不高。

要获得相同数量的试验数据,OFAT需要的实验次数远远大于DOE。

(b) 结论不准确。

OFAT无法表现因子之间的交互作用,因而得到优化结果与实际情况出入较大。而应用DOE,效率较高、试验结果可靠。

DOE效率最高的为2水准因子设计,其简单、实用、便于因子筛选和掌握量化因子的主效果和交互作用。在2水准因子设计中,每个因子都设定在2个水准。为便于分析因子效果的显著性,有时可以在2水准因子设计中,在中心点增加进行实验次数。

NVR改善小组运用 L_8 直交表,其因子和水准选择见表10-5。

表10-5 因子和水准选择

因子代号	控制因素	-1 水准	+1 水准
A	清洗剂浓度 1	2%	2.50%
B	清洗剂浓度 2	0.50%	0.60%
C	温度	80℃	90℃
D	超声波频率	40kHz	68kHz
E	超声波功率	1000 W	2000 W
F	水流量	20 L/M	30 L/M

田口管理 365

3. L_8 实验数据

实验结果见表 10-6。

表 10-6 实验结果

No.	Conc1	Conc 2	Temp	U/S Fre	U/S power	DI flow	R_1	R_2
1	-1	-1	-1	1	1	1	3.733	3.678
2	1	-1	-1	-1	-1	1	5.098	5.013
3	-1	1	-1	-1	1	-1	4.49	4.505
4	1	1	-1	1	-1	-1	4.338	4.281
5	-1	-1	1	1	-1	-1	2.702	2.618
6	1	-1	1	-1	1	-1	4.126	4.082
7	-1	1	1	-1	-1	1	3.624	3.591
8	1	1	1	1	1	1	3.276	3.229

4. 实验数据分析

设计筛选通常只考虑主效果的分析。主效果是指单个因子从 -1 水准变到 +1 水准时, 响应值改变的程度。以 A 因子为例, A 在 -1 水准时, 响应值的平均值为 3.62。A 在 +1 水准时, 响应值的平均值为 4.18。因子 A 的主效果即为两者之差, 等于 0.56。同样方法可计算其他因子的主效果。

每个因子的主效果都不为零, 是否说每个因子对 NVR 都有显著影响(即每个都是关键因子)? 显然回答是否定的。原因是这种差异有可能是随机变异造成的。要评估因子的显著性, 应将主效果与随机变异进行比较, 看主效果是否显著大于随机变异。

这里是使用方差分析, 根据 P 值或排列图, 从而确定因子 XYB 是关键因子, 对 NVR 有显著的影响。为了直观地了解因子的主效果

(一般认为, $P < 0.05$ 表明该因子影响显著。或在排列图上, 超出红线的因子影响显著), 可以绘制出主效果图。

从排列图可知三因子对 NVR 有显著影响:

因子 C : 温度

因子 D : 超声波频率

因子 A : 清洗剂浓度 1

5. 实验中心点的确定

2 水准因子设计只能评估线性效果, 在某些情况下, 因子的效果实际为二次或其他曲线模式。例如因子处于或接近优化区域时往往出现二次模式, 因此增加试验的中心点, 有助于评估因子效果的曲率。若发现因子效果的曲率显著, 则使用 CCD 设计和 RSM 方法对该过程进行进一步优化。若发现因子效果的曲率不显著, 则先采用最快上升(或最快下降)方法寻找优化区域, 再使用 CCD 设计和 RSM 方法对该过程进行进一步优化。

NVR 改善小组据此原则增加了实验中心点, 数据分析为发现显著曲率, 小组采用最快下降法找到优化区域(曲率显著区域)为:

因子 A: 1.0% (-1), 1.5%(+1)

因子 C: 100℃(-1), 110℃(+1)

对该区域进行 CCD 实验和过程优化, 结果见图 10-4。

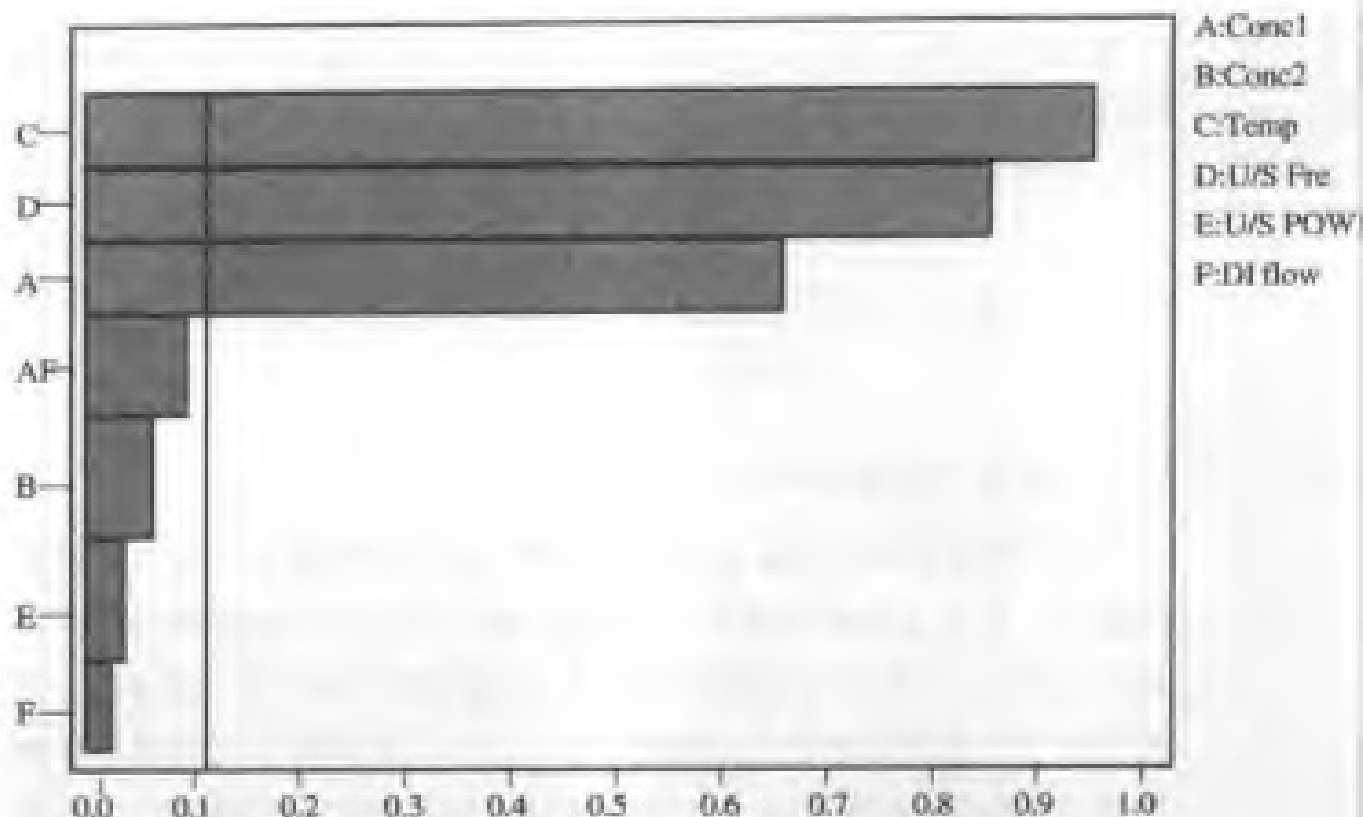


图10-4 因子效果的排列图

6. 中心组合设计

由2水准设计建立起的二次数学模式可以达到优化的结果,但这种方法建立的数学等式,通常是估算值。而CCD设计可以建立起更准确的数学模式,CCD设计其实是2水准设计增加中心点和轴向点,其因子的水准数多达5个。本例中有2个基本控制因子,即浓度和温度。2水准全因子设计的组合数为4,增加中心点5个,增加轴向点4个,总共实验次数为13次。通过CCD设计的实验数据见表10-7。

数据分析的过程,是首先建立起数学模式,然后去除非显著项,再进行减项模式分析得到:

$$NVR = 0.63 - 0.12 \text{ 浓度} - 0.17 \text{ 温度} + 0.22 \text{ 浓度}^2$$

第十章 田口方法品质改善案例

表 10-7 CCD 设计及数据结果

No.	conc	temp	NVR
1	1100		0.97
2	1.5	100	0.95
3	1110		0.74
4	1.5	110	0.51
5	0.9	105	0.95
6	1.6	105	0.63
7	1.25	97.93	0.7
8	1.25	112.07	0.48
9	1.25	105	0.67
10	1.25	105	0.53
11	1.25	105	0.67
12	1.25	105	0.71
13	1.25	105	0.5

作出的响应表面图，见图 10-5，可以直观地看到各因子对响应值(NVR)的影响：

- (a) 温度的上升会导致 NVR 下降(NVR 的理想值为零)；
- (b) 浓度的上升先是使 NVR 下降，到大约 1.3% 之后，浓度继续上升使 NVR 增加。

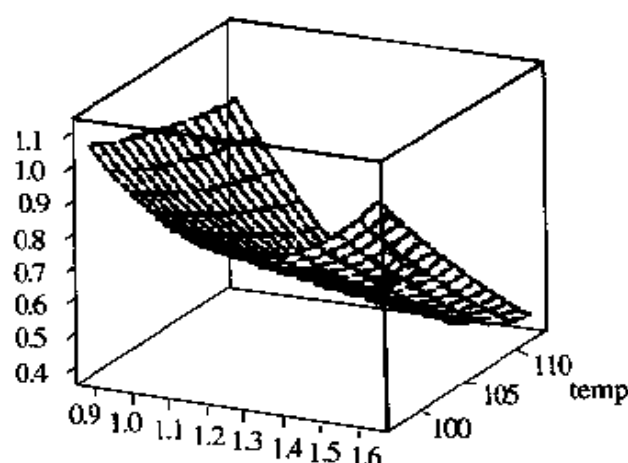


图10-5 响应面图

从响应表面图还可知道大约的因子设定：

- (a) 温度越高越好。
- (b) 浓度要适中。在1.3%左右较为合适。

实验观察中还发现，温度太高虽有利于NVR降低，但是会导致另一种缺陷的急速上升。温度设定在 $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 最理想。而对浓度的红线加以变动又发现，浓度在1.35%时，NVR达到最小值0.6，浓度控制在 $1.35 \pm 0.15\%$ ，可以使NVR小于0.65。

由此，得出最后的控制因子设定值为：

因子A：清洗剂1的浓度 $1.35 \pm 0.15\%$ 。

因子C：温度 $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

因子D：超声波频率68kHz。

其他因子设定为目前水平。

7. 确认实验

按得到的最佳设定运行过程, 检验实际结果是否与预期一致。NVR 改善小组进行为期一周的确认实验, 结果 NVR 平均值为 0.63 。

8. 改善成果

NVR 改善小组经过为期 2 周的实验, 最后获得的成果如下:

- (1) NVR 平均为 0.62, 远远小于客户要求的 $5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。
- (2) 因 NVR 的改善, 产品的拒收率降为 0。
- (3) 生产成本大大节约。

图书在版编目(CIP)数据

田口管理365/李胜强著. — 深圳:海天出版社, 2005.1

ISBN 7-80697-299-4

I.田... II.李... III.企业管理:质量管理 IV.F273.2
中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第104468号

海天出版社出版发行

(深圳市彩田南路海天大厦 518033)

<http://www.htph.com.cn>

责任编辑:廖译 (email:choate_ly@yahoo.com.cn)

责任技编:卢志贵 封面设计:谭伟伟

邮购电话:0755-83460397

深圳市希望印务有限公司印刷 海天出版社经销

2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16

字数:200千 印数:1-8000册

定价:20.00元

海天版图书版权所有,侵权必究。

海天版图书凡有印装质量问题,请随时向承印厂调换。

全国Mini-MBA职业经理双证班



精品课程 权威双证 全国招生 请速充电

教委批准成立正规管理类教育机构，近 20 年实战教育经验，值得信赖！（教证：0000154160 号）

全国迷你 MBA 职业经理双证书班[®]，全国招生，毕业颁发双证书，近期开课。咨询电话：13684609885

招生专业及其颁发证书

认证项目	颁发双证	学费
全国《职业经理》MBA 高等教育双证书班	高级职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《人力资源总监》MBA 双证书班	高级人力资源总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《生产经理》MBA 高等教育双证班	高级生产管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《品质经理》MBA 高等教育双证班	高级品质管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销经理》MBA 高等教育双证班	高级营销经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《物流经理》MBA 高等教育双证班	高级物流管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《项目经理》MBA 高等教育双证班	高级项目管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《市场总监》MBA 高等教育双证书班	高级市场总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《酒店经理》MBA 高等教育双证班	高级酒店管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《企业培训师》MBA 高等教育双证班	企业培训师高级资格认证毕业证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《财务总监》MBA 高等教育双证班	高级财务总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《营销策划师》MBA 双证书班	高级营销策划师高级资格认证证书+2 年制 MBA 高等教育研修证书	1280 元
全国《企业总经理》MBA 高等教育双证班	全国企业总经理高级资格证书+2 年制 MBA 高等教育研修结业证书	1280 元
全国《行政总监》MBA 高等教育双证班	高级行政总监职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《采购经理》MBA 高等教育双证班	高级采购管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《医院管理》MBA 高等教育双证班	高级医院管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《IE 工业工程管理》MBA 双证班	高级 IE 工业工程师职业资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《企业管理咨询师》MBA 双证班	高级企业管理咨询师资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元
全国《工厂管理》MBA 高等教育双证班	高级工厂管理职业经理资格证书+2 年制 MBA 高等教育结业证书	1280 元



【授课方式】 全国招生、函授学习、权威双证

我校采用国际通用3结合的先进教育方式授课：远程函授+视频光盘+网络学院在线辅导（集中面授）



【颁发证书】 学员毕业后可以获取权威双证书与全套学员学籍档案

- 1、毕业后可以获取相应专业钢印《高级职业经理资格证书》；
- 2、毕业后可以获取2年制的《MBA研究生课程高等教育研修结业证书》；



【证书说明】

- 1、证书加盖中国经济管理大学钢印和公章（学校官方网站电子注册查询、随证书带整套学籍档案）；
- 2、毕业获取的证书与面授学员完全一致，无“函授”字样，与面授学员享有同等待遇，



【学习期限】 3个月（允许有工作经验学员提前毕业，毕业获取证书后学校仍持续辅导2年）



【收费标准】 全部费用1280元（含教材光盘、认证辅导、注册证书、学籍注册等全部费用）

函授学习为你节省了大量的宝贵的学习时间以及昂贵的MBA导师的面授费用，是经理人首选的学习方式。



【招生对象】

- 1、对管理知识感兴趣，具有简单电脑操作能力（有2年以上相应工作经验者可以申请提前毕业）。
- 2、年龄在20—55岁之间的各界管理知识需求者均可报名学习。



【教程特点】

- 1、完全实战教材，注重企业实战管理方法与中国管理背景完美融合，关注学员实际执行能力的培养；
- 2、对学员采用1对1顾问式教学指导，确保学员顺利完成学业、胸有成竹的走向领导岗位；
- 3、互动学习：专家、顾问24小时接受在线教学辅导+每年度集中面授辅导



【考试说明】

1. 卷面考核：毕业试卷是一套完整的情景模拟试卷（与工作相关联的基础问卷）
2. 论文考核：毕业需要提交2000字的论文（学员不需要参加毕业论文答辩但论文中必修体现出5点独特的企业管理心得）
3. 综合心理测评等问卷。



【颁证单位】

中国经济管理大学经中华人民共和国香港特别行政区批准注册成立。目前中国经济管理大学课程涉及国际学位教育、国际职业教育等。学院教学方式灵活多样，注重人才的实际技能的培养，向学员传授先进的管理思想和实际工作技能，学院会永远遵循“科技兴国、严谨办学”的原则不断的向社会提供优秀的管理人才。



【主办单位】

美华管理人才学校是中国最早由教委批准成立的“工商管理MBA实战教育机构”之一，由资深MBA教育培训专家、教育协会常务理事徐传有老师担任学校理事长。迄今为止，已为社会培养各类“能力型”管理人才近10万余人，并为多家企业提供了整合策划和企业内训，连续13年被教委评选为《优秀成人教育学校》《甲级先进办学单位》。办学多年来，美华人独特的教学方法，先进的教学理念赢得了社会各界的高度赞誉和认可。



【咨询电话】 13684609885 0451--88342620

【咨询教师】 王海涛 郑毅

【学校网站】 <http://www.mhgy.net>

【咨询邮箱】 xchy007@163.com



【报名须知】

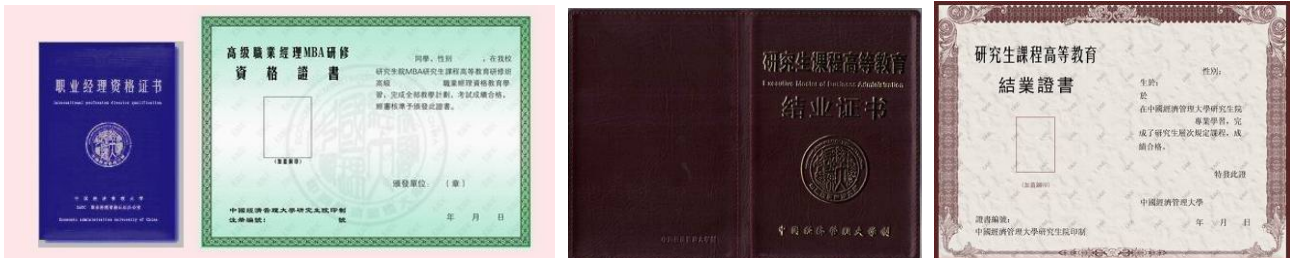
- 1、报名登记表格下载后详细填写并发邮件至 xchy007@163.com (入学时不需要提交相片，毕业提交试卷同时邮寄4张2寸相片和一张身份证复印件即可)
- 2、交费后请及时电话通知招生办确认，以便于收费当日学校为你办理教材邮寄等入学手续。



【证书样本】(全国招生 函授学习 权威双证 请速充电)

(高级职业经理资格证书样本)

(两年制研究生课程高等教育结业证书样本)



【学费缴纳方式】(请携带本人身份证到银行办理交费手续，部分银行需要查验办理者身份证)

方式一	学校地址	<p>邮寄地址：哈尔滨市道外区南马路 120 号职工大学 109 室</p> <p>邮政编码：150020 收件人：王海涛</p>
方式二	学校帐号 (企业账户)	<p>学校帐号：184080723702015 账号户名：哈尔滨市道外区美华管理人才学校</p> <p>开户银行：哈尔滨银行中大支行 支付系统行号：313261018034</p>
方式三	交通银行 (太平洋卡)	<p>帐号：40551220360141505 户名：王海涛</p> <p>开户行：交通银行哈尔滨分行信用卡中心</p>
方式四	邮政储蓄 (存折)	<p>帐号：602610301201201234 户名：王海涛</p> <p>开户行：哈尔滨道外储蓄中心</p>
方式五	中国工商银行 (存折)	<p>帐号：3500016701101298023 户名：王海涛</p> <p>开户行：哈尔滨市道外区靖宇支行</p>
方式六	建设银行帐户 (存折)	<p>中国人民建设银行帐户（存折）： 1141449980130106399</p> <p>用户名：王海涛</p>
方式七	农业银行帐户 (卡号)	<p>农业银行帐户（卡号）： 6228480170232416918 用户名：王海涛</p> <p>农行卡开户银行：中国农业银行黑龙江分行营业部道外支行景阳支行</p>
方式八	招商银行 (卡号)	<p>招商银行帐户（卡号）： 6225884517313071 用户名：王海涛</p> <p>招商银行卡开户银行：招商银行哈尔滨分行马迭尔支行</p>

可以选择任意一种方式缴纳学费，收到学费当天，学校就会用邮政特快的方式为你邮寄教材、考试问卷以及收费票据。