



卓越质量丛书

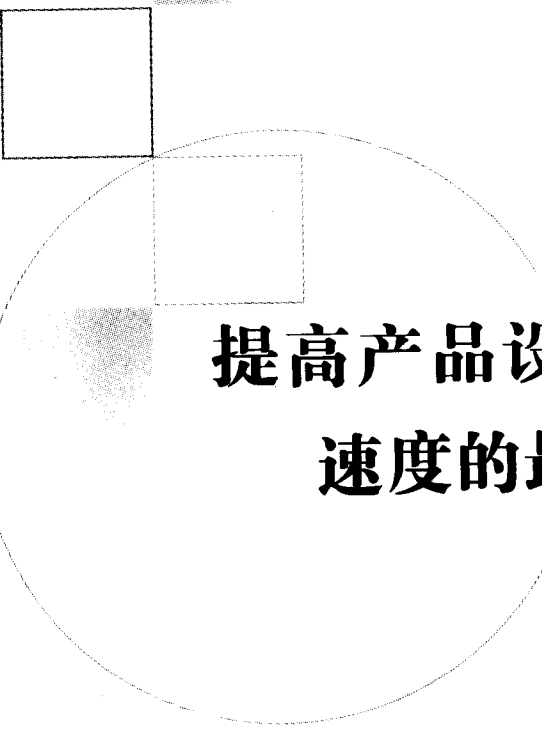
马林 主编

提高产品设计质量和速度的最有效方法

——“五环法”

王连生 编著



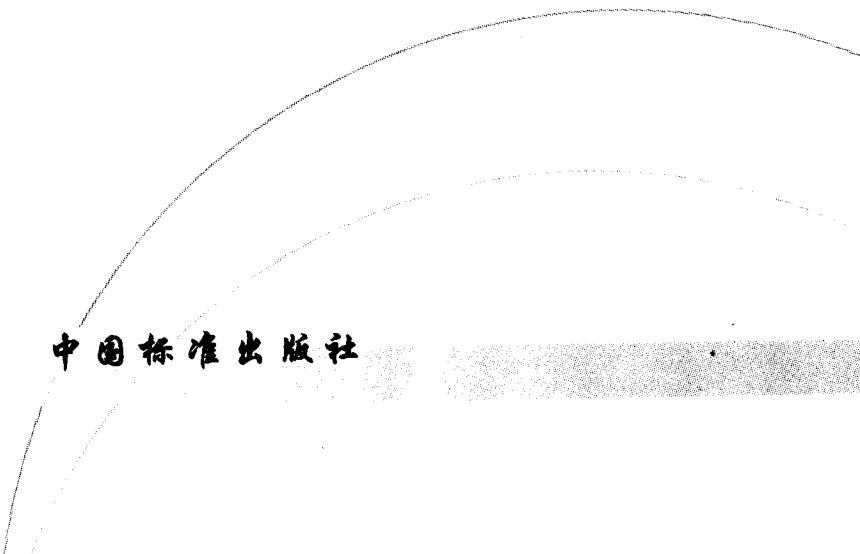


卓越质量丛书

马林 主编

提高产品设计质量和 速度的最有效方法—— “五环法”

王连生 编著



中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

提高产品设计质量和速度的最有效方法——“五环法”/王连生编著. —北京:中国标准出版社,2006
(卓越质量丛书/马林主编)
ISBN 7-5066-4201-8

I. 提… II. 王… III. 产品质量-质量管理-研究 IV. F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 089286 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址:www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 295 千字

2006 年 10 月第一版 2006 年 10 月第一次印刷

*

定价 35.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

内 容 简 介

本书为提高产品设计质量和速度给出了一种行之有效的方法——“五环法”，所称“五环”由以下五个关键环节构成：

环节一：正交式试验设计 (DOE)。介绍了正交试验设计概念、正交表、试验程序及案例，给出了正交试验设计的基本方法。

环节二：“三次设计”。介绍了系统设计、参数设计、容差设计，给出了系统设计的主要方法，参数设计的单因素、多因素优化设计的详细方法及案例，容差设计的方法及案例。

环节三：“可靠性设计”。介绍了可靠性设计的指导思想、可靠性概念、系统的可靠性分配与可靠性预计、可靠性设计的常规方法、故障分析及可靠性管理。

环节四：“设计评审”。介绍了设计评审的重要性、设计评审的划分，给出了设计评审的方法。

环节五：“同步小组实施并行设计”。介绍了同步小组的组成，同步小组的作用。

本书的读者对象主要是产业性科研院所的新产品研制设计人员，企业的新产品设计和工艺人员以及高级管理人员。

中国质量协会组织编著的部分书目

卓越质量丛书 马林 主编

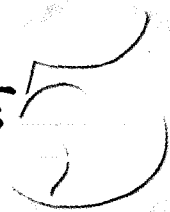
- ◆ 六西格玛管理
- ◆ 制造业六西格玛应用手册
- ◆ 质量功能展开
- ◆ 稳健性设计
- ◆ 卓越绩效模式理解与实施指南
- ◆ 高等院校ISO 9000质量管理体系建立与实施指南
- ◆ 提高产品设计质量和速度的最有效方法——“五环法”

国际质量译丛 马林 主编

- ◆ 注册质量经理手册
- ◆ 简化的顾客满意度测量
- ◆ 六西格玛战略
- ◆ 六西格玛实施指南
- ◆ 六西格玛革命
- ◆ 持久的六西格玛
- ◆ 六西格玛团队怎么做
- ◆ 六西格玛项目管理
- ◆ 什么是精益六西格玛
- ◆ 卓越绩效准则
- ◆ 鲍德里奇国家质量奖案例研究
- ◆ 追求卓越的旅程
- ◆ 21世纪的质量——企业永续经营中的质量和竞争观念
- ◆ 朱兰研究院论六西格玛——突破与超越
- ◆ 教育类卓越绩效准则
- ◆ 医疗保健类卓越绩效准则
- ◆ 组织自我评价

前

言



20 世纪 50 年代起质量管理的重点是在产品制造过程中进行产品质量控制(运用 SPC 控制),到目前为止我国工业生产使用的质量管理基本方法仍然是 SPC 控制。随着生产技术的发展,企业生产制造过程的机械化、自动化水平的提高,产品制造过程的质量保证能力大大增强,影响产品质量的人为因素大为减少,市场用户的索赔和意见中设计问题所占比例呈增加趋势。日本某公司的统计数据表明,约 70% 的用户索赔和意见是因设计责任造成的,其余 30% 是因制造和其他原因造成的。笔者在对我国某一个公司的统计中发现,65% 的产品质量问题是设计责任造成的。

20 世纪 70 年代开始许多科技发达国家的质量管理重点从产品的制造过程移向产品质量形成的源头——设计开发过程(在日本称源流管理),从而使产品设计质量得到空前的提高,达到 $5\sigma \sim 6\sigma$ 水平,通过制造过程后,仍然保持在 $4\sigma \sim 5\sigma$ 以上。而我国产品质量长时间停留在 $2\sigma \sim 3\sigma$ 水平,根本原因是产品设计质量(产品固有质量)不高。

用提高产品设计质量和速度的“五环法”就能从根本上解决这一问题。

一、“五环法”的提出

“五环法”是笔者对当今世界上经济发达国家产品设计领域里一些先进的理念和科学方法加以整合、集成,并经过笔者在原公司亲自对设计开发和工艺人员培训和实践运用,并取得明显效果的基础上提出来的。

“五环法”的构成是以设计开发新理念为指导,由“正交试验设计 DOE”、“三次设计”、“可靠性设计”、“设计评审”、“同步小组实施(并行设计)”这五个有着密切联系缺一不可的五个环节构成,如下图所示。



“五环法”结构图

二、“五环法”的重大作用

“五环法”可更新设计人员的设计理念,改变多年传统的设计思维和方法,理念上的更新做到与时俱进,是新产品设计领域里的一场丢弃陈旧的变革,它对提高产品设计质量将产生深远的影响。

“五环法”能提高产品设计质量 2σ 以上,换句话说,使产品设计质量(固有质量)达到 $5\sigma\sim 6\sigma$ 。

“五环法”可以使新产品设计研制速度加快,缩短研制周期至少三分之一。因为运用 DOE 正交试验设计方法进行参数优化设计时,单因素运用黄金分割法 14 次试验相当于均分法做 1000 次,20 次相当于均分法做 10000 次。在多因素时,运用 DOE 正交试验或已知多元素每个参数波动范围时,用计算方法并进行极差及方差分析选定出参数最佳优化组合的时间要比靠摸索性的试验获得较好组合值的时间缩短若干倍。

“五环法”可降低设计的产品单台材料成本,因为 DOE 正交试验参数优化组合不仅仅能缩短研制周期,提高产品设计质量,而且还能显著地降低单台材料成本。

三、树立设计开发新理念

1. 以顾客为导向

设计者通过市场调研和顾客访谈,较充分地掌握顾客的需求和期望,做好产品定位,运用科学方法设计开发出顾客喜欢的、使用稳定可靠的产品,这样的产品才具有较强的生命力。

2. 加快新产品设计开发速度

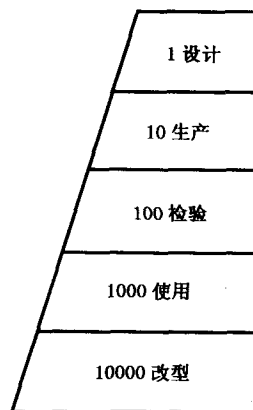
在当今日趋激烈的市场竞争环境中,产品更新换代的加快,由过去存在的大鱼吃小鱼的事实,又增加了快鱼吃慢鱼的新情况。这就迫使企业产品创新要加快速度,如果还像以往设计开发出一个新产品需要一至两年的时间,产品批量生产投放市场时,不是市场上已被同类产品占满,没有可挤进的空间,就是该类产品快要更新换代了。因此,新产品设计开发周期必须缩短。

3. 专业技术设计和统计技术相结合

中国及大多数第三世界国家所生产的产品,普遍存在产品质量差、物质消耗高、经济效益低的问题。其原因主要是产品的设计质量不高,设计主要靠专业技术完成设计。而科技发达国家的产品设计除应用专业技术进行设计外,还应用统计技术进行参数优化设计,既保证了产品质量的高水平,又大幅度降低产品成本,赢得高的经济效益。我国广大的产品设计者,应该树立起这一新理念,走专业技术和统计技术相结合的设计思路。

4. 产品功能形成设计同产品可靠性的设计同步进行

随着当今科学技术的进步,产品技术含量越来越高,产品的技术密集度越来越大,产品的体积和重量越来越小,如果在设计阶段中不同步进行产品的可靠性设计,等设计阶段已完成,在制造过程和使用过程发现了产品质量稳定可靠性差的问题后再想办法去解决,那将是非常困难的事。在设计开发过程中用1元钱可以解决的问题,如果未加以解决,等到生产、检验、使用、改型(重新设计)时再解决,花费则将以10倍的数量增加的,如右图所示。



问题发生与解决阶段
的投入比例图

5. 设计开发中树立“三新”

以往设计开发新产品,作为技术领导常常对项目负责人或设计者要求要采用新技术、新材料,现在还应运用新方法,即

运用统计技术“正交试验设计(DOE)”、“三次设计”功能展开,故障模式影响与分析(FMEA),故障树分析(FTA)等科学新方法。

以上五条新理念也是五条设计新产品的指导方针。贯穿新产品设计开发整个过程,以此指导新产品设计开发的工作。

“五环法”的五个环节是提高新产品设计开发质量和速度并使其有机联系在一起的重要的五个环节。每一个环节认真做好了不仅本身起到重要作用,而且为下一个环节打好基础,整个五个环节都做到位,设计开发工作的水平就将获得空前的提高,使设计开发出来的新产品的质量水平获得突破性的提升,产品设计开发周期得到缩短,产品材料成本得到明显降低,从而提高企业的市场竞争能力。

学习好“五环法”,可以使企业锻炼造就出一支掌握当代设计领域先进科学方法,又有较强设计能力的工程技术队伍,这支队伍是企业追赶世界先进水平,提高自己的核心技术的财富。

“五环法”的简介在2004年2月16日《中国质量报》给予刊登,《品质文化》杂志在其第二期同时登载,“五环法”正在得到我国一些企业中的设计所、研发中心、产业性科研院所的产品设计人员的关注,目前已在北京西门子电子有限公司、北京海兰信科技有限公司、河南平原光电有限公司运用。

本书共分为6章,每章主要内容如下:

第1章“正交试验设计”介绍了正交试验设计(DOE)概念、正交表、试验设计案例。给出了正交试验设计(DOE)基本方法。

第2章“三次设计”介绍了系统设计、参数设计、容差设计,给出了系统设计定理主要方法,参数设计的单因素、多因素优化设计的详细方法及案例,容差设计方法及案例。

第3章“可靠性设计”介绍了可靠性设计指导思想、可靠性概念、系

统的可靠性分配与可靠性预计、可靠性设计常规方法及故障分析可靠性管理。

第4章“设计评审”介绍了设计评审的重要性、设计评审的主要内容,给出了设计评审方法。

第5章“同步小组及实施并行设计”介绍了同步小组的组成,同步小组的作用。

第6章“‘五环法’的贯彻实施步骤”介绍了“五环法”怎样进行培训,“五环法”的实施,对“五环法”成果进行验证、评估和奖励。

本书的读者对象主要是产业性科研院所的新产品研制设计人员、企业的新产品设计及工艺人员。

本书在编写过程中参考了新产品设计方面专业性的图书文献,由于水平有限,书中可能存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者
2006年4月

目 录

第 1 章 环节一 正交试验设计(DOE)	1
1.1 名词介绍	1
1.2 正交表	2
1.3 正交试验设计的基本应用程序	7
1.4 正交试验设计应用案例	13
第 2 章 环节二 三次设计	22
2.1 系统设计	22
2.2 参数设计	33
2.3 容差设计	118
2.4 参数设计与容差设计案例	145
第 3 章 环节三 可靠性设计	155
3.1 可靠性概述	155
3.2 可靠性设计的指导思想	155
3.3 可靠性与维修性的常用度量及浴盆曲线	157
3.4 系统的可靠性分配与预计	161
3.5 可靠性几种常规的设计方法	173
3.6 故障模式与影响分析(FMEA)	189
3.7 故障树分析(FTA)	192
3.8 可靠性管理	193

3.9 风险分析与评估	199
第4章 环节四 设计评审	205
4.1 设计评审的重要性	205
4.2 设计评审的主要内容	205
4.3 如何使用设计评审	207
第5章 环节五 同步小组及实施并行设计	210
5.1 并行设计的提出	210
5.2 同步小组的组成	211
5.3 同步小组的作用	211
第6章 “五环法”的贯彻实施步骤	215
6.1 “五环法”的培训	215
6.2 “五环法”的贯彻实施制定推行计划	215
6.3 对“五环法”应用成果进行验证和评估	216
6.4 奖励应用“五环法”有突出成就的有功人员	216
6.5 对推行应用“五环法”总结	217
附表	218
附表Ⅰ 常用正交试验设计表	218
附表Ⅱ 常用数表	228
附表Ⅲ 正交多项式系数表	234
参考文献	237

第 1 章

环节一 正交试验设计(DOE)

1.1 名词介绍

正交试验设计(DOE)法是研究与处理多因素试验的一种科学方法。它在实践经验与理论认识的基础上,利用规格化的表格——正交表,科学地挑选试验条件,合理安排试验。其优点在于能从很多试验条件中选出代表性强的少数次试验条件,并能通过对少数次试验条件的分析,找出较好的生产条件即最优或较优的试验方案。

正交试验设计法最早由日本质量管理专家田口玄一提出,称为国际标准型(田口型)正交试验设计法。在日本,正交试验设计法得到广泛的应用,并由田口玄一进一步深化而发展成为三次设计中的参数优化设计。正交试验设计法在日本几乎达到家喻户晓的程度。

我国工业企业,特别是化工、纺织、医药、电子、机械行业,正交试验法的应用也取得了相当的成就。针对田口型正交试验设计法计算复杂的问题,中国数学家张里千教授发明了中国型正交试验设计法,由于应用计算简便的极差分析法,非常适合工业企业和生产现场应用。

1.1.1 试验因素

试验因素(因子)指当试验条件变化,试验考核指标也发生变化时,影响考核指标取值的量,一般记为 A、B、C 等。

试验因素可以理解为试验过程中的自变量,如:试验中的温度、压力、时间、催化剂用量;机械加工中的切削速度、进给量、刀具的几何参数等。从广义上讲,试验因素可理解为若干变量间的某种确定关系,如原料的配方比例、供货单位、工艺流程等,这都可以作为一种广义的因素。

因素有可能按数量表示,如温度、时间、压力等称为定量描述的因素。但也有不能用数量表示而只能定性描述的,如材料的品种、产品的型号、工艺流程的类别等,称为定性描述的因素。在试验过程中有些因素所处的状态是可以控制或调节的,如加热温度、熔化温

度、切削速度等,这样的因素称为可控因素。反之,另外一些因素所处的状态是不能控制或调节的,如未装空调的生产环境的温度、湿度等,称为不可控因素或干扰因素。在正交试验设计应用过程中,如无特殊规定,因素一般是指可控因素。在试验过程中只考察一个因素对试验结果(考核指标)影响的试验,称为单因素试验;若同时考察两个以上因素,则称为多因素试验。单因素试验设计一般可应用优选法进行,而多因素试验设计必须应用正交试验设计法解决。

1.1.2 试验因素的位级

试验因素的位级是指试验因素所处的状态。一般试验方案是由若干个试验因素所组成的若干组合,试验因素在试验方案中变化的几种状态,就称为有几个位级。在试验中,温度、时间、压力这些因素允许在一定范围内变化,但在一个试验方案中,温度、时间、压力等因素总是固定在几个状态中变化,例如:温度可以是100℃、120℃、150℃等;时间可以是1h、1.5h、2h等;压力可以是1MPa、1.5MPa、2MPa等,这称为试验中因素的三个位级。

1.1.3 考核指标

考核指标是在试验设计中,根据试验目的而选定的用来衡量试验效果的量值(指标)。

考核指标可以是定量的,也可以是定性的。定量指标如硬度、强度、寿命、成本、几何尺寸、各种特性等。定量指标根据试验结果的预期要求,又可分为望目值、望小值、望大值三种类型(见第2章2.2.2.2对三种类型的定义)。定性指标不是按数而是按质区分,如质量的好与坏、天气的晴与阴、颜色的深与浅、味道的好与不好等。为考核方便,对定性指标可以用加权的方法量化为不同等级。

考核指标可以是一个,也可以是多个。前者称为单指标试验设计,后者称为多指标试验设计。在多指标试验设计中,一般根据指标的重要程度予以加权,确定为一个综合性考核指标,以便进行计算。

1.2 正交表

1.2.1 正交表的符号

正交表是正交试验设计法的基本工具。它是运用组合数学理论在正交拉丁方的基础上构造的一种规格化的表格。正交表的符号是:

$$L_n(j^i)$$

其中:

L ——正交表的代号;

- n ——正交表的行数(试验次数、试验方案数);
 j ——正交表中的数码(因素的位级数);
 i ——正交表的列数(试验因素的个数);
 $N=j^i$ ——全部试验次数(完全因素位级组合数)。

1.2.2 正交表的结构

应用正交试验设计法,必须了解正交表,下面通过对两种最常用的正交表—— $L_8(2^7)$ (表 1-1)和 $L_9(3^4)$ (表 1-2)来介绍正交表的结构(常用正交试验设计表见书后附表 I)。

表 1-1 $L_8(2^7)$ 正交表

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	2	2	1	2
2	2	1	2	2	1	1	1
3	1	2	2	2	2	2	1
4	2	2	1	2	1	2	2
5	1	1	2	1	1	2	2
6	2	1	1	1	2	2	1
7	1	2	1	1	1	1	1
8	2	2	2	1	2	1	2

表 1-2 $L_9(3^4)$ 正交表

列号 试验号	1	2	3	4
1	1	1	3	2
2	2	1	1	1
3	3	1	2	3
4	1	2	2	1
5	2	2	3	3
6	3	2	1	2
7	1	3	1	3
8	2	3	2	2
9	3	3	3	1

$L_8(2^7)$ 正交表为可容纳 7 个因素各 2 个位级,具有 8 个试验方案的正交表,其特点如下:

- (1) 具有 8 个横行,表示 8 个试验方案的因素位级组合;
- (2) 具有 7 个直列,表示最多可容纳 7 个试验因素;
- (3) 正交表中横行与直列交点的数码,表示该列因素的位级。

$L_8(2^7)$ 正交表中的数码,表示为每个因素的每个位级各出现 4 次,即每个数码出现的机会是完全均等的。任意两列其横向组合的 8 个数字对(1,1),(1,2),(2,1),(2,2)恰好各出现 2 次,即任意两列间位级的搭配是均衡的。

$L_9(3^4)$ 正交表为可容纳 4 个因素各 3 个位级,具有 9 个试验方案的正交表。其特点如下:

- (1) 具有 9 个横行,表示 9 个试验方案的因素位级组合;
- (2) 具有 4 个直列,表示最多可容纳 4 个试验因素;
- (3) 正交表横行与直列交点的数码,表示该列因素的位级。

$L_9(3^4)$ 正交表中的数码,表示为每个因素的每个位级各出现 3 次,即每个数码出现的

机会是完全均等的。任意两列其横向组合的9个数字对中,(1,1),(1,2),(1,3),(2,1),(2,2),(2,3),(3,1),(3,2)和(3,3)各出现1次,即任意两列间位级的搭配是均衡的。

1.2.3 正交表的由来

正交表来源于正交拉丁方。

拉丁方:古希腊是一个多民族的国家,国王在检阅臣民时要求每个方队中每行有一个民族的代表,每列也要有一个民族的代表。数学家在设计方阵时,以每一个拉丁字母表示一个民族,所以设计的方阵称为拉丁方。图1-1所示为七个元素组成的拉丁方。拉丁方的排列有许多种形式,这只是其中的一种方式。而图1-2是由正交拉丁方演变来的正交表。

A	B	C	D	E	F	G
B	C	D	E	F	G	A
C	D	E	F	G	A	B
D	E	F	G	A	B	C
E	F	G	A	B	C	D
F	G	A	B	C	D	E
G	A	B	C	D	E	F

图 1-1 七元素拉丁方图示

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

图 1-2 由正交拉丁方演变来的正交表示示

1.2.4 正交表的正交性

正交表的正交性体现在因素位级的整齐可比性和均衡分散性两个方面。

(1) 整齐可比性

在同一张正交表中,每个因素的每个位级出现的次数是完全相同的。由于每个因素的每个位级试验结果中与其他因素的每个位级参与试验的几率是完全相同的,这就保证在各个位级中最大程度地排除了其他因素位级的干扰。因而,能有效地进行比较和作出展望,容易找到好的试验条件。

(2) 均衡分散性

在同一张正交表中,任意两列(两个因素)的位级搭配(横向形成的数字对)是完全相同的。这样就保证了试验条件均衡地分散在因素位级的完全组合之中,因而具有很强的代表性,容易找出好的试验条件。

正交试验设计法所以具有很高的效率,主要是由于正交表的这两个特性。在应用正