

机械设计丛书

保 质 设 计

吴昭同 余忠华 陈文华
高 琦 杨世锡 黄广龙 编著
胡 洁 曹衍龙
冯培恩 审稿

机械工业出版社

保质设计是研究如何使设计方法学和机器系统知识与全面质量管理技术相结合,将顾客需要的质量主动通过设计过程合成到产品中去的设计科学中一种知识系统;是力图在源头上消除产品质量隐患,以最大限度地满足顾客需要;是现代企业广泛关注的热点之一。

本书系统地介绍了保质设计的概念、基本思想、问题与策略、质量形成过程,以及质量策划与分析、质量合成与优化、质量评价与决策三大基本设计活动与方法工具系列等,还提供了一些应用案例。可作为从事产品设计开发工程技术人员、现代质量管理人员的参考用书,亦可供高校有关学科师生参考教材之用。

图书在版编目(CIP)数据

保质设计/吴昭同等编著. —北京:机械工业出版社, 2004.6
(机械设计丛书)

ISBN 7-111-14431-7

I. 保... II. 吴... III. 机械设计 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第041840号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:张亚秋

版式设计:冉晓华 责任校对:罗莉华

封面设计:姚毅 责任印制:

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004年7月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·8.75 印张·337千字

定价: 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来，以提高质量、降低成本、缩短产品交货期为目的的先进制造技术得到迅速发展，日益促进我国制造业的技术进步。但是企业受困扰的效益低下、质量损失严重的局面亟待改变，质量问题已成为经济发展中一个战略问题，已具有无可比拟的重要意义。

目前越来越多的人认识到产品质量首先是设计保证，而后才是制造保证的。大量研究表明，产品设计对最终质量和成本都有极大影响；产品设计开发在生产中所占成本只有6%，但对产品总成本影响却占了70%，这是因为产品设计决定了产品的先天和内在质量，且传递、影响到产品制造、使用等后续过程，因而是产品质量的源头。

目前，面向保证质量的设计方法（DFQ）先由日本田口博士提出，后由 V. Hubka 和 M. Morup 等学者形成 DFQ 理论与方法。该方法不是单纯从质量管理观点实施保质设计，而是从设计方法学和机器系统知识与全面质量管理技术相结合出发，探索保质设计理论、方法与工具，以便一方面能将预防质量问题的状况转变为将用户需求的质量主动通过设计过程合成到产品中去，另一方面在达到高质量产品的同时能伴随着低成本目标。实际上，DFQ 是设计科学中一个知识系统，给设计者提供所必需的知识（包括理论、方法与工具）以完成一个产品或过程所需要的高质量。

浙江大学“保质设计”课题组承担了国家高技术研究基金资助项目“保质设计方法和工具”及其他国家自然科学基金等项目，开展了研究工作，取得一些成果，并结合国内外有关保质设计的文献和研究现状撰写了本书。书中介绍了保质设计的概念、基本思想与策略、质量形成过程以及调整与充实的三大基本设计活动与方法工具系列等，还提供了一些应用案例，为“机械工程与自动化”学科从事 CAD 与 CAM 研究开发人员提供参考用书，亦可供高校有关学科学学生参考教材之用。

参加本书各章节编写的人员有：第 1、2 章，余忠华教授；第 3 章，余忠华教授，高琦副教授；第 4 章，高琦副教授；第 5 章，黄广龙博士，余忠华教授；第 6 章，杨世锡副教授，曹衍龙博士；第 7 章，胡洁博士；第 8 章，陈文华教授；全书由吴昭同教授策划、统稿。

本书的出版，得到各方面的支持和帮助。冯培恩教授为本书作了审阅，提出不少宝贵意见；国家八六三高技术研究基金委员会给予了大力支持；杨将新教

授，宣安光副总师和张芳霁博士给予了支持与协助，对此特表示衷心感谢！

DFQ 仍处于发展阶段，同时限于水平，书中不足之处、缺点和错误，恳请批评指正。

吴昭同

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 保质设计提出的背景与意义	1
1.1.1 质量在现代企业竞争中的地位和作用	1
1.1.2 保证产品质量的源头在设计	2
1.1.3 保质设计提出的背景与意义	4
1.2 保质设计的研究对象与方法综述	5
1.2.1 保质设计的研究对象	5
1.2.2 保质设计的应用方法	8
1.3 本书的主要内容	14
参考文献	15
第 2 章 保质设计的基本思想与策略	19
2.1 “质量”的概念	19
2.1.1 朱兰的定义	19
2.1.2 ISO9000 族标准的定义	20
2.1.3 田口的质量定义	20
2.1.4 产品质量属性与分类	21
2.2 产品质量形成的过程	21
2.3 产品设计过程及其质量影响因素分析	23
2.3.1 产品设计类型与设计过程模型	23
2.3.2 设计过程中的质量影响因素分析	26
2.3.3 ISO9001 质量管理与产品设计的质量保证	30
2.4 保质设计的基本思想与策略	32
2.4.1 保质设计的概念	32
2.4.2 保质设计的基本思想与质量等价原理	32
2.4.3 设计方法学与设计质量的联系	35
2.4.4 保质设计过程的基本设计活动与方法、工具系列	36
2.5 保质设计的体系结构与参考模式	37
参考文献	40
第 3 章 质量规划与分析	42
3.1 引言	42
3.2 质量功能配置方法	43
3.2.1 概述	43
3.2.2 QFD 的原理与方法	45
3.3 故障分析技术及在质量规划中的应用	49
3.3.1 故障分析概述	49
3.3.2 故障树分析	50
3.3.3 故障模式及影响分析	51
3.4 基于 QFD/FA 综合的产品质量规划方法	53
3.4.1 QFD 与 FA 综合的必要性	53
3.4.2 QFD 与 FA 综合的实施框架	54
3.4.3 基于 QFD/FA 综合的产品质量规划方法	55
3.5 应用案例	68

3.5.1 应用背景.....	68	方法	110
3.5.2 产品质量规划的综合 分析.....	68	5.3.6 基于粗集理论的评价 方法	111
参考文献	74	5.3.7 基于效用理论的方法	111
第4章 质量合成与优化	77	5.3.8 综合评价方法	113
4.1 引言	77	5.3.9 比较分析	113
4.2 质量合成与优化设计 的原理.....	78	5.4 基于空间映射的评价 方法	115
4.2.1 质量屋信息的设计适 用性分析.....	79	5.4.1 从设计变量空间到质量属 性空间的映射	118
4.2.2 质量屋信息的获取.....	80	5.4.2 从质量属性空间到偏好空 间的映射	122
4.3 质量合成与优化设计 建模	81	5.5 偏好的聚合及方案 排序	128
4.3.1 定义设计变量.....	81	5.5.1 基于证据推理与粗集理论的 属性偏好聚合方法	129
4.3.2 定义设计属性.....	82	5.5.2 多属性多人的理性化偏好 聚合方法	138
4.3.3 构造约束条件.....	82	参考文献	143
4.3.4 构造目标函数.....	83	第6章 鲁棒设计方法	145
4.3.5 构造优化模型.....	88	6.1 鲁棒设计的原理与 方法	145
4.4 优化模型求解	88	6.1.1 产品质量特性的统计 性质	145
4.5 保质优化设计软件系统 ...	89	6.1.2 鲁棒设计	146
4.6 应用实例	91	6.1.3 鲁棒设计方法	147
4.6.1 优化设计数学模型.....	92	6.2 质量损失模型	148
4.6.2 优化结果及分析.....	98	6.2.1 质量损失函数	148
参考文献	100	6.2.2 信噪比	150
第5章 保质设计中的质量 评价	101	6.3 正交试验设计	151
5.1 引言	101	6.3.1 正交表	152
5.2 质量评价的指标体系	101	6.3.2 正交试验设计	154
5.2.1 建立指标体系的原则	102	6.4 参数设计	157
5.2.2 指标体系的结构	103	6.4.1 参数设计的原理	157
5.3 几种常用的评价方法	104	6.4.2 用正交试验的参数设计方法 与步骤	157
5.3.1 层次分析法	105	6.5 容差设计	158
5.3.2 Pugh 的评价方法	106		
5.3.3 模糊评价方法	106		
5.3.4 基于统计与证据理论的 评价方法	108		
5.3.5 基于区间分析的评价			

6.5.1 望目特性容差的确定	159	7.2.6 变动几何约束网络的生成	193
6.5.2 望小特性容差的确定	159	7.3 变动几何约束网络在公差类型生成中的应用	194
6.5.3 望大特性容差的确定	159	7.3.1 公差分类	194
6.6 模糊质量损失模型	160	7.3.2 公差的生成规则	194
6.6.1 田口质量损失模型特点	160	7.3.3 公差网络的定义及其生成	195
6.6.2 模糊质量损失及模糊质量损失率	160	7.4 变动几何约束网络的运动学模型	196
6.6.3 模糊质量损失成本	162	7.4.1 变动几何约束的旋量参数	196
6.7 基于模糊质量损失模型的公差设计和公差试验设计	165	7.4.2 变动几何约束网络的运动学模型	198
6.7.1 模糊鲁棒性指标与设计准则	165	7.4.3 变动几何约束网络和公差网络之间映射的定量描述	199
6.7.2 基于模糊质量损失模型的公差设计	166	7.5 计算机辅助公差大小的最优分配	201
6.7.3 基于模糊质量损失模型的公差试验设计法	167	7.5.1 公差大小最优分配的数学模型	201
6.8 应用实例	169	7.5.2 采用遗传算法的公差大小的最优分配	201
6.8.1 静态特征的参数设计	169	7.5.3 可装配性评价	203
6.8.2 圆柱螺旋弹簧刚度的参数和容差设计	170	7.5.4 计算机辅助公差大小优化设计的总体框架	204
6.8.3 模糊质量损失模型在公差设计中的应用	174	7.6 实例分析	205
6.8.4 模糊质量损失模型在公差试验设计中的应用	176	7.7 本章小结	214
参考文献	181	附录 7-1	215
第 7 章 计算机辅助公差(精度)设计与评价方法	184	附录 7-2	221
7.1 引言	184	参考文献	223
7.2 变动几何约束网络与回路的生成	184	第 8 章 可靠性设计	225
7.2.1 特征的分类	184	8.1 引言	225
7.2.2 变动几何约束	187	8.1.1 质量与可靠性	225
7.2.3 变动几何约束网络	189	8.1.2 可靠性的定义与尺度	225
7.2.4 基于配合树的回路的生成	190	8.1.3 可靠性设计与试验的内容、特点和方法	227
7.2.5 完全约束的判定准则	193	8.2 机械零件可靠性设计	228

8.2.1 应力—强度分布干涉理论	228	8.5.2 加速寿命试验设计的基本原理	256
8.2.2 机械零件可靠度的计算	230	8.5.3 加速寿命试验方案优化设计的准则	259
8.2.3 机械零件的可靠性设计	232	8.5.4 加速寿命试验的可靠性统计模型	260
8.3 系统的可靠性设计	233	8.5.5 用于方案优化的 ML 估计理论	260
8.3.1 系统可靠性逻辑模型的建立	234	8.5.6 试验方案优化设计的数学模型	262
8.3.2 系统的可靠性预测	235	8.5.7 优化设计实例	263
8.3.3 系统的可靠性分配	240	8.6 产品可靠性的区间估计方法	264
8.4 系统的可靠性分析	244	8.6.1 Bootstrap 区间估计的思想方法	265
8.4.1 失效模式、影响及致命度分析 (FMECA)	244	8.6.2 Bootstrap 纠偏估计	266
8.4.2 失效树分析 (FTA)	247	8.6.3 Bootstrap 区间估计实例与估计精度的讨论	267
8.5 加速寿命试验及其试验方案的优化设计	254	参考文献	269
8.5.1 寿命试验设计的基本问题	254		

第 1 章 绪 论

1.1 保质设计提出的背景与意义

1.1.1 质量在现代企业竞争中的地位和作用

世界经济的高速发展和工业竞争的日益激化，促使了卖方市场向买方市场的转化，企业竞争的焦点也由价格竞争转向了质量竞争。企业能否在竞争中取胜，不再仅仅取决于企业的规模和产量，而更取决于企业能否生产出适应用户需要的产品。“企业只要能生产出来，就能卖得出去”的物资不充足的时代已成为过去，而在产品日益丰富的今天，如果生产出来的产品不能适应市场需求，则必然导致生产得越多，积压得越多。因此，企业经营的目标必须由数量转为质量。“用户是上帝”、“质量是企业的生命”已不再是简单的口号。尤其是，随着用户市场观念的转变和购买行为的日益成熟，用户在选购产品时不再单纯地考虑其销售价格，而更加注重包括其使用和维护等全生命周期的成本。单纯的价格竞争已失去往日的风采，而通过改善产品的质量，加快新产品上市时间、准时交货和提供优良的售后服务等非价格竞争已成为当今国际贸易竞争的主要手段和市场竞争的焦点。

其次，现代产品以规格多样化、技术尖端化和结构复杂化为主要特征。规格多样化意味着产品生产模式转向多品种、中小批量生产将逐步取代大批量生产，影响质量的因素更多更复杂，对质量控制的要求更迫切。技术尖端化意味着对产品加工和检验都提出了更高的要求^[1]：以中型加工中心为例，其重复定位精度 20 世纪 80 年代大约在 $10\sim 15\mu\text{m}$ ，90 年代前期在 $5\sim 6\mu\text{m}$ ，90 年代后期在 $4\sim 5\mu\text{m}$ ，而 21 世纪前三年大约在 $2.5\sim 3\mu\text{m}$ ，预计到 2010 年将要小于 $1.5\mu\text{m}$ ^[59]；同时，以由上百万个零件组成的飞机为例，如每个零件平均测量 25 个参数，则需测量 245 百万至 1 亿个误差值，大幅度地增加了测量和质量控制的特征值。结构复杂化意味着对每个零部件的质量都需要有更高的要求才能保证整个产品的质量。事实上，很多空难事件仅仅是由于某些不起眼的产品零件缺陷所致。据报道，著名的“泰坦尼克号”巨轮的沉没，主要原因可能是由于连接螺钉的材质问题。现代产品忽视任何一个细节，都可能导致灾难。可以说，现代产品比以往任何时候都更需要强有力的质量控制。

随着社会法律制度的健全，为维护消费者的合法利益，当今企业对其产品质量负有更大的法律责任。一旦有质量问题的产品给用户造成人身伤害、财产损失，或对环境造成污染而带来社会公害时，消费者可依据有关的产品质量法追究企业的责任，迫使企业支付高额赔偿金、停产整顿甚至走向破产。这样的质量责任已成为现代经营决策中必须考虑的重要内容。

近年来，以提高质量、降低成本、缩短产品交货期为目的的先进制造技术得到了迅猛的发展，已成为世界各国关注的焦点，提出了多种先进的制造技术与生产模式，如计算机集成制造（CIMS：Computer Integrated Manufacture System）、准时生产（JIT：Just - In - Time）、精良生产（LP：Len Production）、敏捷制造（AM：Agile Manufacture）等。这些新技术无不与质量控制密切相关：计算机辅助质量系统（CAQ：Computer Aided Quality System）已成为 CIMS 中不可分割的重要组成部分；而 JIT、LP、AM 等技术对预防性质量控制或快捷的质量反馈系统提出了更高的要求。

由此可见，对现代制造工业来说，质量控制具有过去无法比拟的重要意义，标志着“质量新时代”已经到来。特别是，在我国制造企业长期受困扰的效益低下、质量损失严重的局面急待改变。质量问题已成为经济发展中的一个战略问题，成为影响国民经济和对外贸易发展的重要障碍。国务院对此给予了高度的重视，特制订了《质量振兴纲要》（1996~2010 年），以提高全民的质量意识和质量工作水平。因此，研究先进的质量保证技术，对提高我国制造业的市场竞争能力具有特殊的重要意义。

1.1.2 保证产品质量的源头在设计

回顾质量管理近百年的发展历程，我们不难发现：在 20 世纪初叶质量保证的手段是对产品的事后检验，质量保证的焦点是如何通过检验保证合格品出厂；二次世界大战以后开始了统计质量控制，将质量保证的重点前移到了产品制造阶段，通过对加工工序的统计、预测来保证产品质量；但很多产品质量缺陷的根源并不在现场加工技术方面，美国著名的质量管理学家 Juran 和 Gryna 曾通过大量的调查研究和统计，发现对于中等以上复杂程度的产品而言，故障的 40% 是直接由于设计不当造成的，30% 归咎于现场管理，只有大约 30% 归咎于加工^[3]。从 60 年代开始美国质量管理学家费根堡姆博士引入了全面质量管理的思想，力图从产品全生命周期的各个阶段和企业经营的各个环节上，对影响质量的所有因素进行全面的控制，质量保证的重点应该放在企业经营的薄弱环节上，对产品质量进行追根求源，进行全方位的质量保证。特别是国际标准化组织（ISO）在全面质量管理的基础上，运用标准化原理对质量管理活动进行了研究，并于 1987 年颁布了 ISO9000 质量管理和质量保证体系标准，并对标准经过了多

次修订与完善，使人们对质量保证活动有了更全面、更深刻的了解。

质量管理必须正本清源。人们已越来越清楚地认识到，产品质量的源头在市场、在设计过程，产品质量首先是设计出来，而后才是制造出来的，是在产品设计和产品物化过程中合成的。

大量研究结果表明，产品设计对最终的质量和成本都有极大的影响。由图1-1可见，产品的设计开发在生产中所占的成本只有6%，但对产品总成本的影响却占了70%^[4]。产品设计决定了产品的先天和内在质量，并且传递、影响到产品制造、使用等后续过程，是形成产品质量至关重要的阶段，是产品质量的源头。

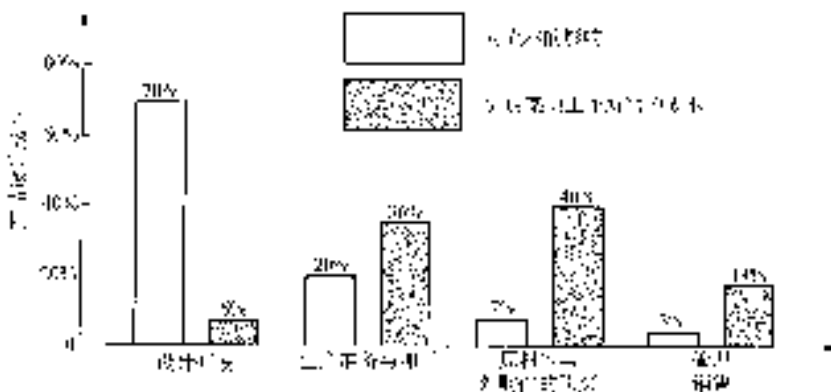


图 1-1 产品中各项成本的比例

德国质量保证纲要 1992-1996 的研究表明^[6]，大约 75% 的差错是源于产品设计与规划阶段的，并且大约 80% 的差错在最终检验或用户使用时才被发现；在航空和汽车工业的几个主要业务的工程更改的案例研究中，发现平均大约 70% 的产品工程返工是由于产品质量不能满足用户期望和车间生产能力欠考虑等原因所致；40% 以上的返工需求是在生产开始后才发现的。在相当简单的电子产品的 850 个专业错误的典型案例研究中发现，43% 的错误是由于工程设计不足引起的；终端、调制解调器 (Modem) 和其他计算机产品的制造商，在分析设计更改的原因时发现 78% 的更改原因是设计错误；对较为复杂的机电产品，在设计阶段的错误有 40% 是由满足用户需求方面的问题所引起的。

在 20 世纪八、九十年代，美国一权威人士估计：80% 以上的新产品开发是失败的，约 70% 试销的消费品并未向全国范围内推广；而另一些新产品不是被淘汰，就是连开发费也不能收回。

以上这些现象的主要原因，通常是设计开发中缺乏以市场为中心、以满足顾客需要为宗旨的观念。在设计过程中仅局限于设计工程师的作用，而缺乏用户及企业其他相关职能部门人员的参与，致使企业与用户、企业内部各部门人员之间

得不到及时的交流与反馈，从而使设计出的产品与市场脱节、设计过程与制造过程脱节，产品质量得不到保证。

要使产品具有更强的竞争优势，获得高质量的设计，减少反复修改次数，更有效地使用各种现代设计手段为产品设计开发服务，必须在传统的设计观念基础上注入新的设计理念，必须把设计过程放在产品的整个生产活动中统一加以考虑，必须强调进行主动的质量设计，而不是反应式的被动管理或事后纠正。“一次成功”已成为当今企业成功经营的基本策略。

1.1.3 保质设计提出的背景与意义

鉴于产品设计对产品质量、成本以及企业竞争力等方面的巨大作用，近年来，人们开始从不同角度展开了对产品设计阶段的质量保证方法的研究。

设计方法学，是研究在各约束条件下最佳地满足已知问题的要求，完成全部机器、系统或过程要求的具体结构的学科。设计方法学得到较大发展是在二次大战之后。特别是 20 世纪 60 年代以来，由于产品的激烈竞争，刺激了方法学的发展。1981 年，在意大利罗马召开的国际工程设计 ICED (International Conference on Engineering Design) 会议，标志着设计方法学走向了世界，引起了教育界、工业界的普遍重视。在欧洲，组织发起了一系列 ICED 会议，同时组织出版 WDK (Workshop Design Konstruktion) 丛书，大大推动了设计方法学研究的发展。它主要研究设计的一般规律、合理的设计进程以及设计各阶段所采用的先进的思维和工作方法，为产品质量在技术上得以实现提供了基础。

另一方面，质量管理的研究焦点也已从生产现场转移到了产品设计阶段。要提高产品质量，就必须实现产品全过程的质量管理，特别是设计过程中的质量管理与质量保证。日本著名质量专家田口玄一博士率先提出了质量工程的概念。他将设计阶段的质量理论和方法称为在线（线内）质量工程学，主要包括：质量损失函数、质量信噪比设计、三次设计 [即：系统设计、参数设计和公差（容差）设计] 和鲁棒性设计等。力图通过合理配置产品的结构、参数或公差（容差），来达到消除或抑制影响产品质量波动的噪声干扰，保证产品质量的一致性和稳健性。目前，田口方法、实验设计 (DoE: Design of Experiment)、可靠性技术 [包括故障模式及效应分析 (FMEA, Failure Modes and Effect Analysis)、故障树分析 (FTA, Fault tree Analysis)] 等已被工业界广泛重视，得到了普遍应用与推广。当前，得到世界各国极力推崇的 ISO9000 族质量管理体系标准，也已对产品设计/开发过程中质量保证的最低要求做了一些规范。

无论是设计方法学，还是质量工程，其目的都是力图在设计过程中保证和控制产品质量，只是它们的侧重点有所不同。设计方法学更加强调技术系统的作用，强调通过技术设计去实现产品的功能与要求；而后者则更强调对产品在制造

或使用过程中如何抑制或消除产品质量波动或噪声的干扰等。把两者有机地结合在一起,是现实设计阶段产品质量保证的必然趋势和要求。基于这一思想,瑞士学者 V. Hubka 在 1989 年召开的工程设计国际会议上 (ICED 89) 首次提出保质设计 (DFQ) 的概念^[12],之后,许多专家学者致力于这一极具吸引力的领域的研究,Journal of Engineering Design 杂志在 1992 年举办了一次有关保质设计研究的专题讨论,陆续发表了许多研究成果^[13~15]。

首先,设计人员必须“以用户为中心,以市场为导向”,增强商品意识,掌握市场的脉搏,把满足市场显在和潜在需求作为产品设计的出发点和归宿,抓住解决质量的源头,加强产品设计的质量控制,使质量保证变被动为主动,把一系列质量保证措施与设计过程有机地集成,全面把握住用户在企业系统中的地位和作用,把用户满意理论^[4]贯穿于企业的产品设计、生产制造和管理中以实现质量的有效配置。

其次,在设计阶段尽可能早地考虑到产品生命周期下游阶段与设计有关的众多质量因素,包括产品功能、材料、可加工性、可装配性、可测试性、可靠性等,尽早地发现、解决开发过程中所有可能产生的缺陷与冲突,及时地对所完成的各个阶段的产品设计结果进行评估和验证,将矛盾和可能出现的错误消除在设计阶段,以减少由于设计质量问题带来的反复修改所造成的人力、物力和时间上的巨大浪费,提高产品质量,缩短开发时间,降低成本。

由于设计过程的复杂性以及多学科的交叉性,决定了保质设计研究内容的多样性,涉及知识的广泛性。但最终的目的是为设计者提供实现产品或过程的要求质量所必需的知识及各类辅助手段,把一系列的质量保证措施与设计系统有机地集成,始终以质量为工作重心,以最大限度地满足用户的要求为宗旨展开设计活动。

1.2 保质设计的研究对象与方法综述

1.2.1 保质设计的研究对象

从概念上来讲,保质设计是一种用户驱动的、质量驱动的集成化产品和过程的开发 (IPPD: Integrated Product and Process Development) 思想。保质设计所强调的是把质量有效地集成到产品开发过程中去,而不是游离于设计开发之外,仅由质量管理人员实施的事务性管理活动。对保质设计的理解不应陷入纯设计管理的范畴而非设计理论的误区。在这一思想的指导下,如何从设计的角度,去理解质量的内涵;如何从保障的角度出发,建立相应的保质设计模型,以便有效地协调企业内部以及其与外部顾客之间的复杂关系,决定何时何地应用何种设计方

法和技术来分析和解决质量问题，以提高产品在市场上的核心竞争力等。

1.2.1.1 保质设计的研究对象

保质设计关注的对象是产品质量，对产品质量的理解是保质设计首先必须解决的问题。然而“质量”是一个综合性指标，在概念上比较模糊，难以准确表述。并且，质量的定义伴随着制造业的发展而变化。

从制造业的发展来看，它经历了由产品导向、制造导向、销售导向到今天的市场导向阶段。在产品导向阶段，所谓质量是指达到产品设计者所期望的功能，即产品质量好坏的评价标准是能否实现预期的功能要求；在制造导向阶段，质量意味着符合产品的规格要求，即产品质量的评价标准除了能实现预期的功能要求以外，还要满足所规定的性能要求；在销售导向阶段，质量除了产品符合规格要求以外，还包括了质量保证的一系列措施，如对产品实现“三包”等；在市场导向的今天，质量则定义为“产品、体系或过程的一组内在特性满足顾客和其他受益者要求的能力”（见标准 ISO9000：2000），质量特性就是指从顾客和其他受益者要求中得出的产品、过程或体系的内在特性，是产品过程或体系的组成部分。质量特性源于要求，并且这种要求涵盖了明确的、习惯上隐含的或强制的需要和期望。质量被界定为“内在特性”满足“要求”的“能力”。因此，今天所谓的质量就是指在产品功能、性能、可信性、安全性、适应性、经济性、时间性等全方位地满足顾客及其他受益方的需求的能力。

可见，随着工业技术的发展和生产力的提高，质量的定义在不断拓展，因此，如何理解质量、把握质量的内涵是保质设计研究的重要内容，将在本书的第2章详细阐述。

值得注意的是，M. Morup 博士在他的研究中提出了质量两类论的观点^[14]，建议把质量分成两类（ Q, q ）： Q ——外部质量，指顾客能感受到的质量，即最终产品所体现的特征、特性； q ——内部质量，指企业内部为实现 Q 而进行的一切生产活动的质量，如采购、设计、生产、装配等质量。 Q 体现了企业与用户之间的制造商—用户原则，是用户对企业最终产品的质量要求； q 体现了企业内部各部门之间的供应商—用户原则，是产品在企业内部流动中上一部门对下一部门提出的质量要求。 Q 的实现依赖于企业理解和控制与产品实现过程有关的变量的能力。 Q 中的每个元素与 q 中的诸元素相对应，设计过程实际上就是通过设计相应的 q 来保证 Q 的过程。这样，产品设计开发过程中，可以针对不同的对象使用不同的质量术语，便于理解和交流。K.G.Swift 和 A.J.Allen 在文献 [16] 中论述了 Q 和 q 在产品保质设计开发过程中的地位和作用。这一理论已得到了普遍认可，成为保质设计研究的基础。

1.2.1.2 保质设计的概念模型

产品设计过程是一个极为复杂的创造性过程，人们已从不同的角度提出了诸

如协同设计、并行设计、广义优化设计等大量的设计方法学及其概念模型，为从事产品设计提供指导。同样，保质设计作为设计方法学与质量工程密切结合的产物，也需要构造一个易于理解、便于操作和推广的概念模型。

丹麦技术大学 M. M. Andreasen 博士提出以市场需求作为产品设计依据的产品开发一体化模式，认为在设计全过程中自始至终应把产品的设计、销售（市场需要）及制造三方面作为整体来考虑^[11]。只有设计与市场信息密切配合，在市场、设计、生产中寻求最佳关系，才能以最快的速度回收投资、获得效益。类似地，K. G. Swift 和 A. J. Allen 提出了保质设计的集成产品开发模型^[15]，如图 1-2 所示。图 1-2a 表明保质设计从用户需求出发，沿着市场、设计、制造三条线的并行开发。图 1-2b 表明了质量两类在设计中的地位 and 相互关系。Q 横跨市场和设计带，而 q 位于设计和制造区内，力图把先进的质量理念和方法与产品设计方法学完美地结合在一起，从宏观上规划、协调与管理产品开发全过程，从根本上保证产品质量。

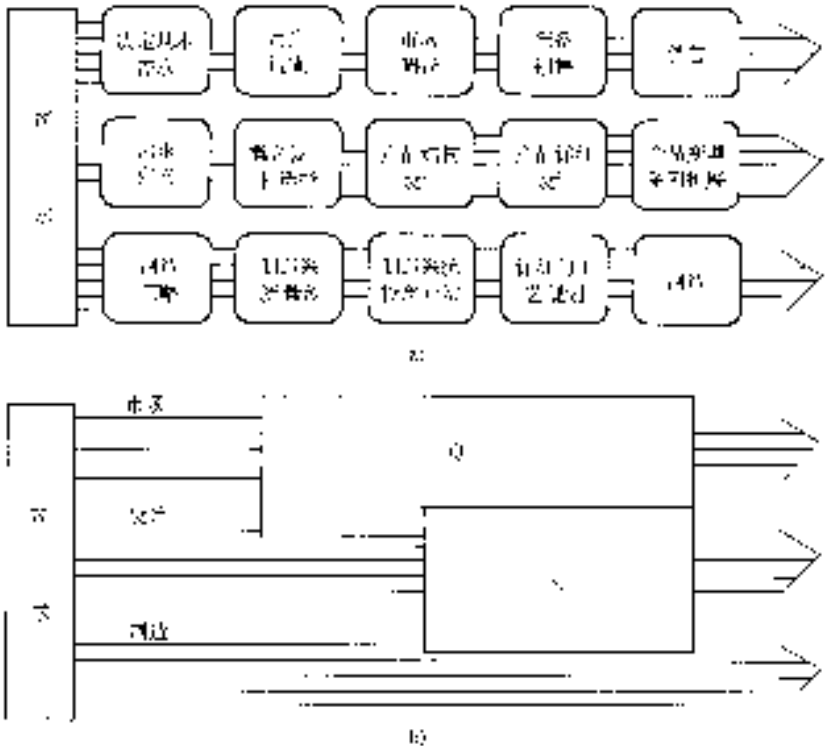


图 1-2 保质设计模型

M. Morup 在质量两类论的基础上，给出了如图 1-3 所示的保质设计概念模型^[14]。其特点是：

- 1) 模型建立在集成产品开发模型的基础上，特别强调 Q 和 q 的合成。
- 2) 模型建立在产品合成的基础上，因为产品设计就是一个系统综合的过程。
- 3) 模型强调选择目标、合成、验证活动分开的重要性，以增加监测整个过程的机会。
- 4) 模型的核心是既定目标，目的就是实现质量要求。

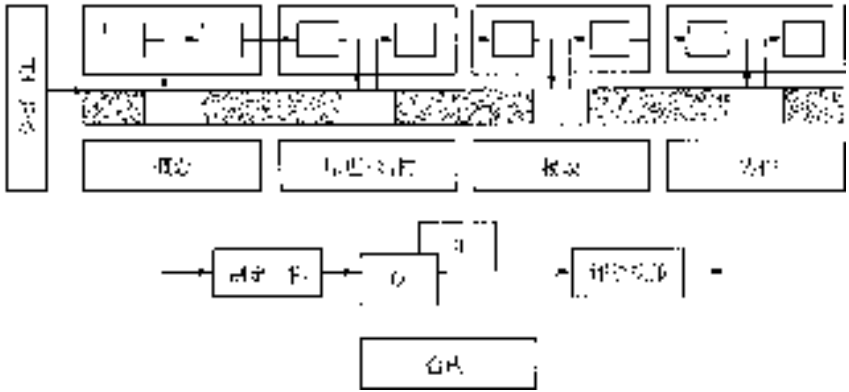


图 1-3 保质设计的结构化模型

从这些模型中可以看出，用户需求是保质设计的驱动力，在产品设计全过程都能紧紧地围绕用户需求，反映用户对产品质量的期望，保证 Q ；同时，在设计过程必须能最大限度地使用企业现有资源或社会可获得资源，以取得最大的回报，保证 q 。当用户需求 Q 与企业资源 q 发生冲突时，必须能进行合理地取舍，以达到全局最优。建立早期质量预警系统，独立开展评价与验证活动是保质设计的重要环节。并行化和集成化的开发原则是保质设计的实现机制，而技术与知识的综合运用则是保质设计的实现基础。但由于设计过程不同于制造过程，具有极强的创造性特征，因此，其实现过程往往呈现出半结构化、甚至非结构化特点，关系极为复杂。目前，对保质设计的研究尚处于探讨阶段，还未形成较完善的理论体系。进一步的内容，将在第 2 章讨论。

1.2.2 保质设计的应用方法

泛而言之，所有为控制、保证和改进产品质量的方法都是保质设计的应用方法。因此，保质设计的应用方法不仅数量大，而且种类繁多。对这些方法进行系统的研究，以明确其应用特点、对象、适用范围及绩效等，以便在设计过程中把合适的方法及时地提供给设计者进行质量问题的分析、设计、控制与改善，从而使产品设计质量得到保证，是保质设计研究的重中之重。

通常，用于解决质量问题的方法按其功用大致可分为三大类：面向设计的方法、面向分析的方法和统计过程控制方法（SPC：Statistical Process Control），如

图 1-4 所示。

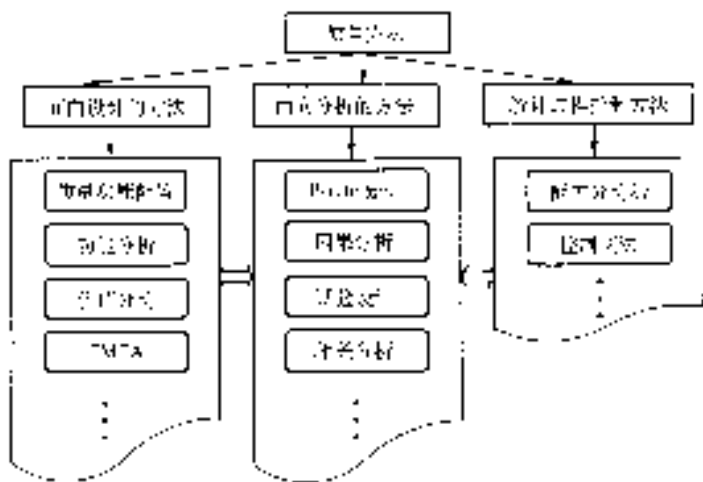


图 1-4 质量控制方法的分类

1. 面向设计的质量方法

这类质量方法的主要功能是辅助人们进行质量规划、质量设计或质量改进等。如质量功能配置 (QFD: Quality Function Deployment)^[22-24]就是实现用户驱动的保质设计或并行设计的有力工具；故障模式及其影响分析 (FMEA: Failure Modes and Effect Analysis)^[26]可以帮助人们尽早地识别质量问题、避免设计错误或在设计时采取相应的预防措施来保证质量，提高设计的稳健性。类似地，还有故障树分析法 (FTA: Fault Tree Analysis)、特征—因素图分析法、失效模式及影响分析法 (FMEA: Failure Modes and Effects Analysis)、失效模式与影响及致命度分析法 (FMECA: Failure Modes and Effect and Criticality Analysis)、事件时序树分析法 (ETA: Event Tree Analysis)、危险性预先分析法 (PHA: Preliminary Hazard Analysis) 等。价值工程的方法，是从如何提高性能价格比的角度，优化设计产品或过程的质量。田口三次设计方法，提出了应用内外正交表来安排试验方案，通过误差因素模拟各种干扰，并以信噪比 (SN) 作为质量评价指标，同时引入灵敏度分析，来设计最佳的即稳健性好的参数组合；通过质量损失函数和功能界限来设计容差等。

2. 面向分析的质量方法

这类方法的功能是获取产品或过程的质量信息与知识，以发现质量问题，寻找改进机会。如实验设计 (DoE: Design of Experiment)^[27]可以用于调查工艺参数对制造质量的影响程度、选取最佳的工艺参数、调查不同材料对产品性能的影响等；借助调查表可以获取市场、产品制造或使用过程的第一手资料；通过分层法可以对质量问题的影响因素的构成关系进行科学的分析，从而诊断出产生质量