



华夏英才基金学术文库

唐晓青 王美清 段桂江 著

产品设计质量保证 理论与方法



科学出版社



华夏英才基金学术文库

产品设计质量保证 理论与方法

唐晓青 王美清 段桂江 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书着重介绍了产品设计质量保证的理论与方法,总结了作者近年来在产品设计质量保证基础理论研究、技术与方法研发、应用研究与实践的成果。本书的主要内容包括:产品设计质量保证的基本概念;基于质量特性的产品设计质量控制与保证;产品研发过程中的设计更改影响传播与风险分析;产品设计质量评估方法;基于失效知识的机械产品概念设计方案评估方法等。

本书适合于从事产品质量保证和产品设计方法学领域的研究人员、产品研发的工程技术人员,亦可作为高等院校相关专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

产品设计质量保证理论与方法/唐晓青,王美清,段桂江著. —北京:科学出版社,2011

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-030437-7

I. ①产… II. ①唐… ②王… ③段… III. ①产品-设计 ②产品质量-质量管理 IV. ①TB472 ②F273.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033863 号

责任编辑:耿建业 / 责任校对:李 影

责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 3 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2011 年 3 月第一次印刷 印张:16 3/4

印数:1—2 500 字数:324 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

在全球化市场中,企业面临着激烈的竞争压力。产品质量是企业赢得市场竞争的第一要素。以更快的速度、更高的质量、更低的价格和更优的服务将产品推向市场,是企业不断追求的目标。提高产品质量,仅靠对产品的制造过程实施质量控制是远远不够的。产品设计的质量决定了产品的先天和内在质量,因此,对产品设计质量实施控制与保证日益受到关注。质量控制与管理向产品设计与开发阶段延伸是现代质量管理发展的必然趋势。

产品设计开发尽管是一类工程性活动,但其中包含着丰富的科学基础问题,德国学者在 20 世纪 70 年代就提出了“设计就是科学”的论断。多年来,世界各国学者和组织在不断地探寻各种提高产品设计质量的理论、技术与方法,先后提出了包括并行设计、健壮性设计、公理设计、保质设计、可靠性设计、面向产品全生命周期设计以及 TRIZ 理论等多种设计理论方法。这些方法在不同程度上满足了产品某些方面设计质量的要求,对提高产品设计质量起到了积极作用。与此同时,国际标准化组织在其 ISO9000 质量管理体系标准中也对产品设计与开发的质量控制与管理做出了规定,制定了条款。至此,该领域的研究集中到产品设计质量控制与保证的理论研究、技术与方法开发方面,并形成了将现代质量管理理论、现代产品设计理论与信息技术相结合的研究热点。

唐晓青领导的课题组近十余年来先后承担了多项与产品设计质量控制与保证相关的国家高技术研究计划(863 计划)、国家自然科学基金、教育部博士点基金等项目,开展了理论与方法的研究,并完成了相关技术的开发,在研究中注重在企业进行技术验证,取得了一些有价值的研究成果。在总结和梳理多年研究成果的基础上,撰写了本书。本书将现代产品设计理论、产品设计质量保证理论和技术相结合,从研究产品设计质量形成机制入手,以产品设计质量形成过程为对象,对现代产品设计环境下的产品设计质量控制与保证的基本理念与思想、理论与方法、应用技术与方法体系等进行了系统地论述。

本书介绍了课题组近年的一些研究成果,主要包括:设计质量保证的基本知识与概念、基于质量特性的产品设计质量控制与保证方法、产品研发过程中的设计更改影响传播与风险分析、产品设计质量评估方法、基于失效知识的概念设计方案评估方法等。课题组将继续此方面的研究,并力争向读者展示更多的研究成果和内容。

本书的编写综合了课题组十余年来的研究成果,参考了数百万字的项目技术

研究报告、课题组成员发表的学术论文、课题组成员的学位论文、博士后研究报告以及企业应用报告等。唐晓青、王美清、段桂江完成了编写,并对全书进行了修改与审订;王洪、王彬、杨帆、王洋等为本书的编写提供了有价值的素材。在此向课题组参加相关研究的全体成员表示衷心的感谢!

本书中的主要研究成果是在国家高技术研究计划(863 计划)、国家自然科学基金、教育部博士点基金等相关课题的资助下取得的,在此,向上述资助基金与研究计划表示衷心的感谢!

本课题组多年深入产品研发一线从事理论研究与工程实践,与合作企业建立了良好的合作关系,没有这些企业的支持,不可能产生本课题组的研究成果,也没有这本书的问世,在此,对合作企业多年的支持表示衷心的感谢!

最后,感谢华夏英才基金对本书出版给予的资助!

由于本书作者从事研究和工程应用的局限性,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

作 者

2010 年 10 月于北京

目 录

前言

第 1 章 产品与产品质量	1
1.1 产品与产品生命周期	1
1.2 现代产品质量观	3
1.2.1 质量观的变迁	4
1.2.2 产品质量的内涵	6
1.3 产品质量的形成	8
1.4 本章小结.....	10
参考文献	10
第 2 章 产品设计与产品设计质量	11
2.1 概述.....	11
2.2 产品设计需求.....	11
2.3 产品设计的一般过程.....	12
2.4 现代产品设计方法.....	17
2.4.1 并行设计.....	17
2.4.2 保质设计.....	18
2.4.3 公理化设计	19
2.4.4 健壮性设计	20
2.4.5 TRIZ 方法	22
2.5 产品设计质量及其形成过程.....	24
2.5.1 设计质量的定义	24
2.5.2 设计质量形成过程	25
2.6 现代产品设计面临的挑战.....	27
2.7 本章小结.....	28
参考文献	28
第 3 章 产品设计质量控制与保证	30
3.1 概述.....	30
3.1.1 基本概念.....	30
3.1.2 作用	31
3.1.3 特点	32

3.1.4	目标	33
3.1.5	研究现状	33
3.2	质量标准与产品设计质量保证	35
3.3	设计质量控制策略	39
3.4	设计质量控制与保证过程模型	41
3.5	设计质量控制与保证支持工具与方法	42
3.6	设计质量信息管理	51
3.7	设计质量控制与保证系统	53
3.7.1	系统总体方案	53
3.7.2	系统功能模型	53
3.7.3	系统体系结构	56
3.8	本章小结	57
	参考文献	58
第4章	基于质量特性的产品设计质量控制与保证	60
4.1	质量特性	60
4.1.1	质量特性及其分类	60
4.1.2	质量特性的表达	61
4.2	质量特性的映射与配置	68
4.2.1	质量特性处理单元	69
4.2.2	质量特性处理中的约束分析	70
4.2.3	质量特性处理方法	71
4.3	质量特性映射与配置方法	73
4.3.1	常用质量控制方法	73
4.3.2	基于质量工具的质量特性处理过程模型	76
4.4	用户需求与质量特性间的映射	79
4.4.1	用户需求向质量特性映射的过程模型	80
4.4.2	基于质量特性的组合质量屋	82
4.4.3	基于组合质量屋的用户需求与产品级质量特性映射	84
4.4.4	应用示例	90
4.5	本章小结	100
	参考文献	100
第5章	产品研发过程中设计更改影响传播与风险分析	102
5.1	设计更改	102
5.1.1	概述	102
5.1.2	设计更改管理	103

5.1.3 设计更改的影响与风险管理	105
5.2 设计更改影响传播与风险分析	107
5.2.1 基于关联模型的设计更改影响分析	107
5.2.2 基于组件特性关联模型的设计更改影响分析	109
5.3 组件特性关联模型及其构建	113
5.3.1 组件特性关联矩阵	113
5.3.2 组件特性关联模型的层次架构	114
5.3.3 组件特性关联模型的构建	117
5.3.4 组件特性关联模型的扩展视图	122
5.4 设计更改影响传播机理与形态	125
5.4.1 组件特性的更改波动及其传播	125
5.4.2 更改影响传播的形态	127
5.4.3 组件特性更改影响传播的可能性分析	128
5.4.4 组件更改影响传播的可能性分析	130
5.5 设计更改影响传播路径搜索	131
5.5.1 组件层面的更改影响传播路径搜索	132
5.5.2 组件特性层面的更改影响传播路径搜索	140
5.6 更改影响传播路径分析与更改方案优化	143
5.6.1 相关概念与定义	143
5.6.2 更改扩散及其主因	145
5.6.3 更改影响传播路径分析与优化	147
5.6.4 更改影响的消解	151
5.7 设计更改风险评估	154
5.7.1 更改风险评价指标	155
5.7.2 组件层面的更改风险分析	155
5.7.3 组件特性层面的更改风险分析	158
5.7.4 基于风险评估的更改方案优选	159
5.8 设计更改影响传播与风险分析实例	161
5.8.1 案例对象	161
5.8.2 组件定义与识别	161
5.8.3 链接对象定义与识别	162
5.8.4 构建组件特性关联模型及其扩展视图	163
5.8.5 更改影响传播与风险分析	164
5.9 本章小结	167
参考文献	168

第 6 章 产品设计质量评估方法	170
6.1 概述	170
6.1.1 产品设计质量评估的作用	172
6.1.2 产品设计质量评估过程的特点	173
6.2 产品设计质量评估模型	174
6.2.1 过程模型	174
6.2.2 组织模型	179
6.2.3 体系模型	180
6.3 评估体系模型	185
6.3.1 评估体系模型构建	185
6.3.2 评估体系模型配置	186
6.4 评估求解方法	192
6.4.1 基于满意度的模糊综合评估方法	192
6.4.2 群组综合评估方法	199
6.5 基于实例推理技术在设计评估中的应用	202
6.5.1 CBR 原理	202
6.5.2 CBR 技术应用	203
6.6 本章小结	208
参考文献	208
第 7 章 基于失效知识的机械产品概念设计方案评估	210
7.1 概述	210
7.2 失效知识建模	211
7.2.1 产品 FCFMR ² 知识	211
7.2.2 产品 FCFMR ² 知识获取与表达	211
7.2.3 产品 FCFMR ² 知识模型	220
7.3 失效风险值计算	222
7.3.1 产品功能的失效风险计算	222
7.3.2 产品组件的失效风险计算	229
7.4 概念设计方案失效风险评估	229
7.4.1 关键支持功能识别	230
7.4.2 基本结构组件优选	230
7.4.3 产品设计方案的失效风险评估	232
7.5 应用示例	234
7.5.1 应用对象	234
7.5.2 基于失效知识的主传动及差速器设计方案评估过程	235

7.5.3 知识模型与知识库的构建	235
7.5.4 关键支持功能识别	244
7.5.5 基本结构优选	248
7.5.6 设计方案的失效风险评估与优选	250
7.6 本章小结	254
参考文献.....	255
术语缩写.....	256

第 1 章 产品与产品质量

1.1 产品与产品生命周期

产品是人类通过有意识的劳动所创造的承载特定功能的物品。产品与人类社会息息相关,并通过其承载的功能来满足人类的各种需求。

一般来说,产品的出现是因人类生存、生活、生产的需求而驱动的,现在被人们定义为“市场需求”;从市场需求出发,经过人类的智力劳动,基于对产品的设想形成规划,然后按照规划完成产品的开发设计与制造;产品进入市场之后,即进入产品的销售和使用阶段;当产品被市场淘汰,即进入产品报废和销毁阶段。上述过程周而复始,形成了产品的生命循环,即称为“产品生命周期”,如图 1.1 所示。

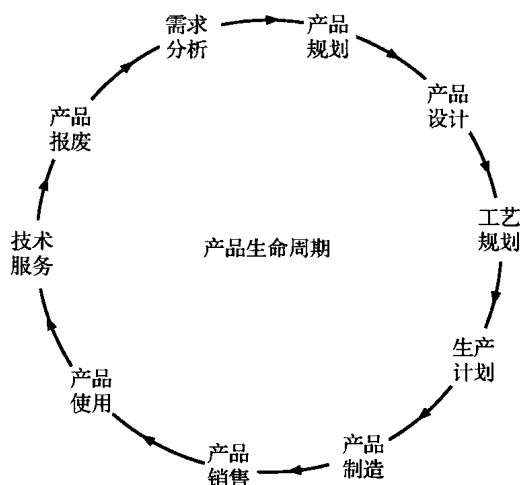


图 1.1 产品生命周期

产品生命周期的主要活动如下^[1]。

1. 需求分析

需求分析位于产品生命周期的最前端,是产品开发的基础。在激烈的市场竞争中,“以用户为中心,以市场为导向”是企业得以生存的核心理念。客观地获取需求,科学地分析市场,将市场需求贯穿于产品设计全过程,才能使所设计的产品满

足市场需求并具有竞争力。

市场需求可分为显性需求和隐性需求。显性需求体现市场对产品实物形态和相关技术指标的各种要求,包括结构、重量、体积、功能、质量、品种、规格、造型、色彩等;而隐性需求则指对产品的心理期望和隐含特性,包括新颖、美观、舒适、便利、服务等。设计人员应通过需求分析,抓住本质,集中力量解决主要需求,保证产品开发设计成功。

市场需求的获取主要是通过市场调查、用户访问、产品跟踪等途径。在新产品开发中,可以采用调查问卷、面谈、访问等多种方式获取需求;对于改进产品,企业开发人员应通过跟踪以往同类产品的市场变化,获取对产品的进一步需求。

2. 产品规划

产品规划是根据市场需求分析的结果和产品市场定位的预测,在概念上完成产品特性的确定和配置,并在产品功能、应用材料、制造工艺、检测与试验手段、质量和成本目标等方面对产品进行定义。产品规划除了确定产品外,还包括产品开发周期与投放市场的时机、市场定位与销售策略等与产品相关的经营与经济目标。

3. 产品设计

设计是在产品规划、已有知识和经验的基础上,为实现产品的功能与性能目标,创造性地完成产品整体构思、系统布局、结构分解与整合等,并寻求获得最优解。

设计按任务类型分为创新性设计、适应性设计及变异性设计。

设计过程作为产品形成过程的一个重要组成部分,经过不同的设计阶段,将抽象的产品规划目标转换成为完整的产品模型,该模型承载了产品的功能、性能、几何、物理、可靠性、质量、经济、社会等方方面面的特性。

产品的设计是一个人类思维高级活动的过程,产品的特性是在多维空间定义和求解的,不可能简单地借助于一个形式化的公式或公理直接获得最优解,因而,对于设计过程或一个产品的设计进行评估就更加困难。一般来说,产品的质量、社会和经济价值基本是在设计阶段就形成了,对设计过程进行优化与控制具有深远的意义。

4. 工艺规划

工艺规划是将产品设计转换成产品加工和装配的具体过程,基于设计过程生成的产品、部件和零件的描述信息,形成加工、检测、装配、试验过程的技术路线和工艺计划,并生成技术文件。

工艺规划包括制定工艺路线和设计工序。工艺路线主要描述毛坯选择、加工

方法、加工路线、工装选择等。工序设计确定每个工序和组成工序的工步的顺序、装夹方案、刀具、夹具及切削参数。另外,还要确定工时、辅助条件,在需要安排数控加工时,数控程序的编制是工艺规划的重要内容。

5. 生产计划

生产计划基于工艺规划,有效地安排生产过程,高效地使用设备,合理地利用资源,科学地控制成本,实现产品设计和工艺规划。

6. 产品制造

产品制造一般可划分为毛坯制备、零部件制造和产品装配三个阶段。基于产品的设计和工艺规划,依据生产计划,实现从原材料到零部件、成品产出,即将产品设计物化的过程。

7. 产品销售

以上所有过程的目的是将满足用户和市场需求的产品尽快投放市场。成功的销售才能够使产品到达需求者和顾客手中。

8. 产品使用

产品使用表明产品进入提供其功能或使用的生命阶段,这一阶段以产品报废为结束。一个产品的使用价值主要以能否提供可靠的产品性能来衡量。

9. 技术服务

产品使用过程中,产品提供商将提供技术支持和服务,以保障产品的正常使用。

10. 产品报废

报废是产品生命周期中的最后阶段。由于能源及原材料日益紧缺,环境问题越来越突出,因此,可拆卸及回收再利用问题已成为公众关注的核心问题。虽然该问题是在产品生命周期结束时才体现,但产品的可拆卸性和可回收再利用性则是由产品开发阶段决定的。

1.2 现代产品质量观

质量观是对质量的理解,是质量管理的思想基础。正确的质量观是确保产品质量、提高企业市场竞争能力的前提。在相当长的一段时间,人们认为产品质量是

衡量产品是否达到设计要求,描述产品的特征是否符合设计规范。以机械产品为例,这些特征指产品的几何形状、尺寸公差、表面粗糙度等。所谓产品质量保证就是保证这些特征在规定的范围内,无数的企业按照这种质量观念设计、制造、检验并销售产品,也使相当多的企业面临产品“质量达标、市场滞销”的尴尬局面。20 世纪 60 年代以来,对于产品质量的理解更加深刻,质量观发生了根本的变化。

1.2.1 质量观的变迁

从世界范围来看,制造企业经历了由产品导向、制造导向、销售导向,发展到今天的竞争导向阶段。在制造业发展的不同阶段,质量观念也随之发生变化。人们对质量的理解向着更深化、更透彻和更全面的方向发展。

在产品导向阶段,人们普遍把质量理解为产品技术特征符合规定要求(设计要求)的程度,被称为质量的“符合性”定义。根据这样的定义,产品技术特征只要在规定的技术要求范围内就是合格,质量就好;合格率越高,质量就越好。显然,这种定义完全从企业的角度出发,市场和顾客被排斥在质量定义之外。

20 世纪 60 年代,美国质量管理专家朱兰(Juran J M)提出“质量是满足顾客需求的程度”的观点,被称为质量的“适用性”定义。质量的适用性定义考虑到顾客的需求,对质量的理解超出了企业的范畴,比符合性定义有了很大进步。

质量观念的发展体现在 ISO9000 质量管理体系国际标准对质量的定义中。ISO8402:1986 将质量定义为:“产品或服务满足规定或潜在需要的特征和特性的总和”。在 ISO8402:1994 中,又作了一些修改,质量被定义为“反映实体满足明确和隐含需求的能力的特性总和”。这两个定义没有实质区别,并没有指明“明确和隐含的需求”的主体。ISO9000:2000 的质量定义又有了进一步的改动,质量被定义为“一组固有特性满足要求的程度”^[2]。这一质量定义中的要求,是指“明示的、通常隐含的或必须履行的需求和期望”。为了满足顾客或其他方的需求,就要使产品、过程或体系具有一定的特性。将“特性”作为产品、过程或体系所特有的性质,反映了其满足“要求”的能力。

朱兰用螺旋式上升的曲线表示了产品质量产生、形成和实现的过程,也表示了产品适用性不断提高的过程。通常称该曲线为“朱兰螺旋曲线”,如图 1.2 所示。在朱兰螺旋曲线所描述的产品质量产生、形成和实现的螺旋式上升过程中,包括了一系列循序进行的工作或活动,即市场研究、设计开发、制定工艺、采购、生产、检验、销售及售后服务等环节。这些环节一环扣一环,相互制约、相互依存、相互促进、不断循环、周而复始。每经过一次循环,就意味着产品适用性的一次提高。不断循环,产品质量也就不断提高^[3]。

与朱兰的质量螺旋相类似的另一种提法是“质量环”,如图 1.3 所示,它是由瑞典的质量管理学家桑德霍姆(Sandholm L)提出的。质量环是指“从获取顾客和市

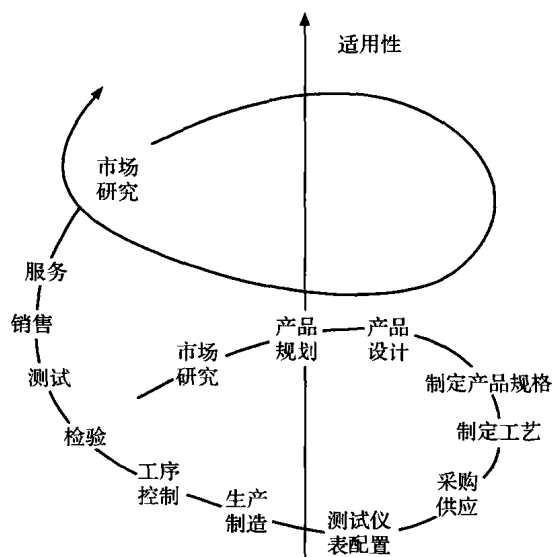


图 1.2 朱兰螺旋曲线

场对产品的需求到评定这些需求是否得到满足的各阶段中,影响质量的相互作用的活动的概念模式”。也就是说,它是指从了解和掌握用户对产品质量要求和期望开始,到质量实现的产品全生命周期,将影响质量的各项活动划分为若干环节的一种理论模式。

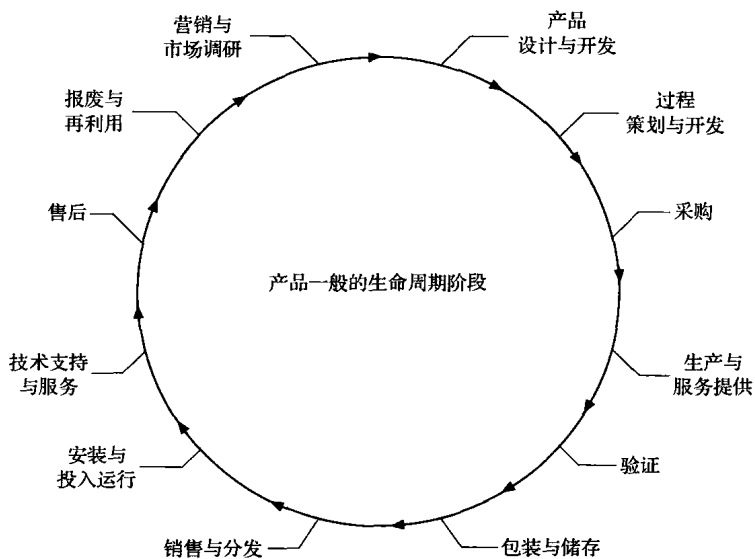


图 1.3 质量环

1.2.2 产品质量的内涵

依据现代质量观,产品质量是由适用性和符合性两个层次构成的。适用性是指满足顾客需要的程度;符合性是指符合标准要求的程度。两者的关系是:适用性决定了符合性,符合性使适用性得以实现,符合性只有在适用性前提下才有价值。企业提供的产品,不能满足顾客需要或顾客不适用,就会没有或失去市场,也就无“质量”可言。同时,企业为实现产品的适用性,还需通过确定并执行某些技术规范来生产出符合技术规范的产品,实现质量的符合性。从适用性和符合性两个角度理解质量,才是正确的,既具有科学性,又具有可操作性。

同时,将产品视为一个系统,产品质量不是表现在某一个局部范围或某几个指标上,而是表现在一系列相互影响、相互制约的特性上。因此近年来人们日渐注重对产品质量进行多维评价。

一般来说,产品的质量可以用以下 8 个方面的特征来定义。

1. 功能与性能

功能是指产品或服务必须做的事情,是承载其价值的主要指标之一。性能则是指产品具有的适合用户要求的物理、化学或技术性质与效用,如强度、刚度、纯度、功率、转速等。产品的功能与性能有着密切的联系,性能与功能组成一个完整的整体;只有功能要求,而没有性能来保证是无法完成既定工作任务的,即功能要通过良好的性能才能得以实现和予以保证。

2. 可靠性

产品的可靠性是指产品在规定的使用条件下,在规定的时间内,完成规定功能的能力^[4]。产品的可靠性是与规定的条件分不开的。所谓“规定条件”,包括气候因素(温度、湿度、气压)、机械负载(振动、加速度)、使用因素(供电电压、润滑状况)等。产品的可靠性与规定的时间密切相关,因为随着时间的增长,产品的可靠性是下降的。因此,在不同的规定时间内,产品的可靠性是不同的。产品的可靠性还与规定的功能有密切关系。所谓“规定功能”就是产品应具备的技术指标。只有明确了产品规定的功能,才能对产品是否发生故障有确切的判断。

3. 维护性

产品的维护性是指产品在规定的条件下和规定的时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到规定状态的能力。可靠性与维修性决定了产品的可用性。可用性是指产品在任一时刻,当需要和开始执行任务时,处于可工作、可使用状态的程度。可用性之所以重要,并被列为评价产品质量的基本特性,是因为它

关系到产品的成败。产品如果不具备所要求的可用性,其技术性能就不能正常发挥,甚至不能被实际使用,使产品失去了存在的价值,因而为此付出的全部代价也就丧失了意义,甚至还会造成严重的产品责任事故。

4. 安全性

安全性是指因产品的故障造成对人的伤害或损坏的风险,限制在可接受水平的范围。如一架飞机在飞行中失事,一种家用电器在使用时漏电危及使用者等,都会产生严重的产品责任问题,并给社会、环境和人类造成极大损失。当前,世界各国都对产品安全性给予了极大的关注。

5. 适应性

适应性是指产品适应外界环境变化的能力。这里所说的环境包括自然环境和人文环境。自然环境指产品适应沙漠与山地、暴风雪与海浪、振动与噪声、灰尘与油污、电磁干扰、高温与高湿等自然条件的能力。人文环境指产品适应某地区、某国家、某类顾客心理、宗教等需求的能力。

6. 经济性

经济性是指合理的产品寿命周期费用。产品寿命周期费用包括设计开发过程、生产制造过程、流通使用过程以及用后维修所需费用的总和。它是满足顾客和社会要求的主要质量特性之一。如果产品具有良好的性能、可靠性、安全性、适应性,但造价、运输和维修费用十分昂贵,这样的产品是不可能得到顾客青睐的。产品的经济性是保证企业在竞争中得以生存的关键之一,是产品质量特性的重要组成部分。

7. 时效性

时效性是指在规定的时间内,满足顾客对产品交货期和数量要求的能力,以及随时间变化满足顾客需要变化的能力。在科学技术日新月异的时代,产品的更新换代、新产品的开发及供货的及时性,已提高到十分重要的地位。时间意味着产品的竞争力,意味着产品可获得性的提高。

8. 环保性

产品的环保性是指产品设计、制造、使用、报废等全过程对环境、生态、自然资源造成压力的程度。随着经济的发展,严峻的生态环境使人们赖以生存的空间受到严重威胁。任何产品都应该考虑是否有利于环境保护和生态平衡,这已成为社会共识。产品的环保性主要体现在减少或消除对不可再生原材料的使用,减少或消除产品对生态环境和人类健康的负面影响等。