

产品可靠性工程

吴英泰

(清云科技大学 策略与创新研究室)



前言

产品可靠性工程是非常重要的课题,在产品技术开发阶段尤其重要,遇到复杂的系统或量大的产品更需要重视,以避免未来的麻烦。可靠性工程是属于源头管理的范畴^{[1]-[4]},我们对系统的期望必须在一开始时就应考虑如何藉由设计而将它实现。这样的做法,称之为“设计入”(design in),它强调为了达到目的而在事前所做的思考及努力的动作。换言之,许多事情必须在事前考虑清楚,采取一定的措施及行动,才可以在事后获得或接近满意的结果。

在广义的定义上,我们谈“设计入”是包括了所有与系统输出的实际表现与系统输入有关的各种努力上之活动与规划。最近几年,企业流行与重视的“配合设计”(design for x, Dfx)及失效模式效应与分析(failure mode effect and analysis, FMEA),也是“设计入”的范畴。国际大厂在决定委托供应商提供量产商品时,近年来都极力要求供应商作好失效模式效应分析(FMEA),其基本的精神是引导并要求供应商重视可靠性工程的具体表现^{[5][6]}。

“源头管理”是“源流管理”的第一步,其重要性可用“慎于始”及“好的开始是成功的一半”两句话就能说明清楚。“系统思考”则

是要能顾虑周详并考虑时间的因素。源头管理与系统思考合起来,就是要我们“从开始就要能思路周详并考虑时间的因素”。坦白的说,这是“知易行难”的,需要严格训练并假以时日才能做到的。不过在激烈的企业竞争中,挑战极限及使命必达是常态,不经过此一淬炼,不足以出人头地。图1显示国际大厂在设计之初至量产之前对其各供货商在FMEA上的要求,要求中除“设计FMEA”(design FMEA,简称dFMEA)揭开产品开发的序幕,dFMEA的持续改善并与“制造FMEA”(production FMEA,简称pFMEA)接轨直到国际大厂实地访视为止。在dFMEA与pFMEA未能满足客户要求时,客户不会作实地访视。没有实地访视,就没有下单的可能。由此可见,产品可靠性工程应该要加以重视。

从图1中,可以看出在设计与原型机之间的

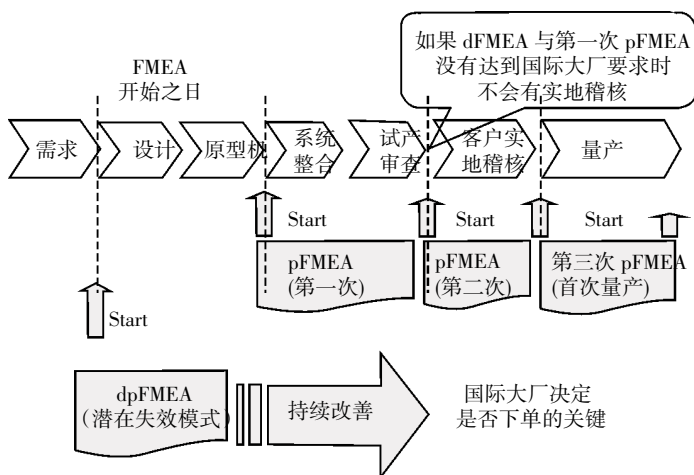


图1 国际大厂对供货商的要求

收稿日期:2011-05-16

dFMEA 针对潜在的失效模式之探讨,以及在系统整合与试产审查的第一次 pFMEA、客户实地访视的第二次 pFMEA 及首次量产的第三次 pFMEA 都看出对潜在失效模式及薄弱环节的重视。至此,读者可以了解与体会“可靠性是设计、制造与管理出来的”。

2 K&S 模式可靠性工程

K&S 模式是 Kossiakoff 及 Sweet 两位先生提出的一个系统开发生命周期的流程模式。他们将系统开发流程分成三大主要阶段(观念发展、工程发展及后工程发展)及八小段步骤(需求分析、观念探索、观念定义、先期开发、工程设计、整合与评鉴、生产、使用与支持),如图 2 所示^[7]。为了方便记忆,我们也称它为三八流程图,K&S 模式是在系统工程中采用的模式之一,在产品开发上很好用的一个工具^[7~10]。

表 1 列出 K&S 模式、可靠性工程阶段、设计入的种类与 FMEA 的要求。可靠性工程与设计入的观念有密切的关系,作法是时代的新思维与新习惯,建议读者认真去面对它,会节省整个系统开发的总人力及总成本,它也可以说是产品开发管理

表 1 设计入的种类与要求

K&S 模式 阶段 / 流程	可靠性工程阶段	设计入的种类	失效模式效应 分析(FMEA)
观念阶段	定义计划阶段		
需求分析		Marketing-in;	系统功能的规格及
观念探索		Plan-in;	已定义的系统观念
观念定义		Design-in	
工程阶段			
先期开发	设计发展阶段	Design-in,	dFMEA
工程设计		Test-in;	pFMEA(第一次)
整合与评鉴	验证与评估阶段	Maintain-in;	pFMEA(第二次)
		Use-in	
后工程阶段			
生产	接收阶段	Build-in,	pFMEA(首次量产
使用与支持	改进阶段		第三次)

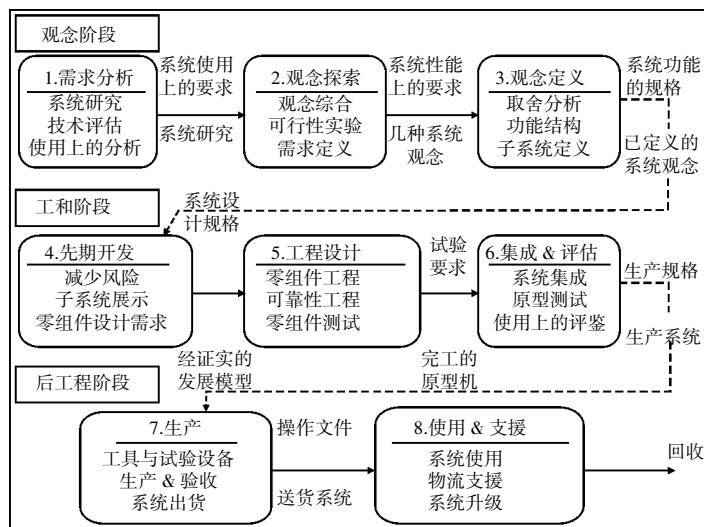


图 2 K&S 流程模式的三八流程图

表 2 可靠性的规划与管理项目

项目	规划与管理
1	组织与分工
2	工作时段与管制
3	工作计划
4	计划审查与设计审查
5	零件材料与流程计划
6	失效报告分析与改正计划
7	失效评估委员会
8	稽核
9	供货商 / 外包商管制
10	技术文件管制
11	教育训练

中重要的基本功夫。

K&S 模式的应用可以推展到可靠性工程的各个阶段,表 1 中可以看出在三大阶段及 8 个步骤在整个产品生命周期的轮廓。可靠性工程是提升质量、品牌形象及降低产品生命周期成本,简称 LCC),制造利润的利器,应予以重视。LCC 是系统工程管理中的一个重点。表 2 列出表 1 可靠性工程阶段中(定义计划阶段、设计发展阶段、验证与评估阶段、接收阶段及改进阶段)定义计划阶段中可靠性的规划与管理项目。

3 可靠性

可靠性是产品质量要素之一,可靠性是设计、制造与管理出来的,可靠度工程就是产品在产品生命周期中的可靠性的活动,其中在观念阶段有可靠性需求定义、需求订定及计划订定;在设计发展阶段中的可靠性工程内容,赋予产品可靠性的最高极限,对产品可靠性有决定性的影响。产品设计发展阶段中的工作重点有可靠性配置、可靠性需求设计、失效分析与可靠性预估及可靠度鉴定试验;在后工程阶段有可靠性接收试验、可靠性评估及可靠性的改进等。

3.1 可靠性设计原则

流程模式管理有两项重要的基本观念及关键:源头管理及接口管理。前者强调源头的重要,也就是古人说的“慎于始”,越在源头的地方投入心血,整个系统的成本效益就越好。后者强调的是每一阶段或步骤交接之时,前后相关的单位或人员应有很好的“接棒”。

基于可靠性是设计、制造与管理出来的,产品经过设计制造后,其可靠性即已确定,产品在设计阶段,即已赋予产品可靠性的最高极限,制造与管理阶段的工作只是要避免任何失误而尽量达到此最高极限而已。在设计中,为得到理想的设计可靠性之需求目标,建议参考以下的设计原则并认真行之。

透过以下之设计原则,可以赋予系统较高的可靠性上限,若与生产质量控制技术相辅相成,则应可获得高可靠性的产品。

3.1.1 设计简化技术

设计简化与分析的意义,在于若能简化零件而不损失功能性,则可强化可靠性,零件老化与数值误差是必然存在的现象,为了使系统有较佳的可靠性,应分析瞬间瞬时动作及零件老化对系统正常工作及零件承受最高瞬时应力的影响。

3.1.2 标准化与模块化

这是针对设计材料与对象的选择。建议尽可能使用标准零件、一致性的尺寸和形状、拆装与组合方便、易于检查和测试等。

3.1.3 减额与安全因素

减额应用的意义,是指将零件运用于较其额定可负荷之应力为低的情况,以达到改善其可靠性的作法。因为绝部份类型的零件,在较低的倾向。实际的作法是选用可负荷较实际应力需求为高的零件。在一般零件的失效模式中,失效率之增加皆由于承受较高之应力与温度,故减额应用之内容,一般均针对温度与应力为重点。

3.1.4 零件的选用与管制

由于系统可靠性是建立在零件可靠性上,所以零件可靠性是非常重要的。系统大都使用数量众多,品项复杂的零件,故零件选用与管制不仅重要而且是一项吃重的工作。

零件选用的基本原则要先确定零件的类型—零件使用之需求功能及环境因素需求:

1) 确定零件的损坏严重性

零件执行最重要的功能?

零件寿命是否有限?

零件需要特别的测试以验证其可靠度?

其可靠性资料是否很有把握

2) 确定零件的获得性

是否名列常用可靠的零件表列中?

是否符合设定标准?

是否获得稳定?获得周期恰当?

是否有完整使用记录?

零件之替代程度需求?

3) 确定零件的可靠性需求

4) 确定增加零件可靠性的方法

5) 确定每一零件减额使用的原则

6) 确定非标准性的测试需求

7) 执行精确的应力及可靠性计算与分析

零件管制的目的是将零件涉及设计功能及可靠性的需求制度化,以获得严密完整的零件可靠性控制,零件控制的作业应包括:厂商控制管理;厂

商制程监证;零件进厂检测;零件相关文件建立。

3.1.5 冗余设计

可靠性可透过复置技术予以强化,复置技术基本上是利用平行并列之组件,以提供多个可增变的能管道来达成复置的效果与增加系统可靠性的目的。

3.1.6 环境抗力设计(操作、储存与运输)

基本上环境抗力设计之原则,应先确认系统运作的环境特性,再确定系统内各零件在特定环境下之功能需求,因为操作环境对可靠性有绝对的影响,所以在设计工作的初期,即应确认环境因素对零件可靠性的影响及其相对应之可行改善措施,作为设计准则。

3.1.7 人员工程

3.1.8 安全性

3.1.9 维护性与测试性

系统的可靠性,可利用侦检系统的工作状况及零件的早期变化,施以适当的改正措施以保持其原设定的可靠性,而其可侦检性及可修复改正性的特性需求,必须在设计时间考虑,一般常用的方式有:检测点的设计;自动检测警告能力的设计(特别是运用在设有软件的系统中);自动检测装置的设计;便于检修的硬件结构设计

3.2 K&S 模式阶段与可靠性的工作项目

科技日益精进的今天,人们对“质量”从简单的概念、探讨、认识、进而成为追求的重心。“质量”至少包含两项意义:即功能特性及可靠性。对一项产品而言质量可以解释为:使用者期望的适用性;持续达到适用性的能力—可靠性。

所以可靠性是产品质量的决性要素之一。可靠性工程的概念与运用始自二次大战期间,美军研究电子系统的失效问题衍生而来,长久以来可靠性工程以美国军方发展最为完整,投注最多的人力、物力与时间。但其发展的理论、方法与技术,不只适用于军事装备,亦可以用于工业产品等任何需要注意产品可靠性的领域。

3.2.1 固有可靠性

操作可靠性是固有可靠性与应用可靠性的乘积。

固有可靠性可分为两大块:由设计及制造出来的。前者又可分为设计与材料供应的管理而后者则有环境与操作的研究、制程的管制、试验及出货检查。

可靠性设计与质量设计有密切的关系。一般而言,可靠性设计包括可靠性的定义、计划、数据的收集、过去技术的累积等。

可靠性设计的基本原则有:(1)简单化;(2)标准化与模块化;(3)减额与安全因素;(4)零件的选用与管制;(5)容错设计、容损设计及冗余设计;(6)环境强度与防制(操作、储存与运输);(7)人员工程;(8)安全性;(9)维护性与测试性等。

制造的基本管制有:(1)进料质量控制;(2)制程质量控制;(3)成品质量控制;(4)成品可靠性试验。

3.2.2 使用可靠性

使用可靠性是藉由使用、维修及环境方面考虑出来的。在使用及维修上必须考虑撰写使用手册、维修手册并提供基本的训练教材及检测工具。就维修而言,合理的备用件、技术服务相关设施等亦在考虑之列。在环境上则需考虑保存包装及安装、储存搬运与运输及操作使用。

图3显示了可靠性特性要因图,从图3中可以

表3 可靠性设计方法的工作项目

项目	设计分析方法
1	可靠性定性定量需求与规格
2	可靠性方块图
3	可靠性配置
4	可靠性预估
5	可靠性设计分析
6	电子零件/电路公差分析
7	FMEA/ FMECA
8	缺陷树/事件树分析 (FTA/ETA)
9	优选元器件/材料清单
10	可靠性设计准则

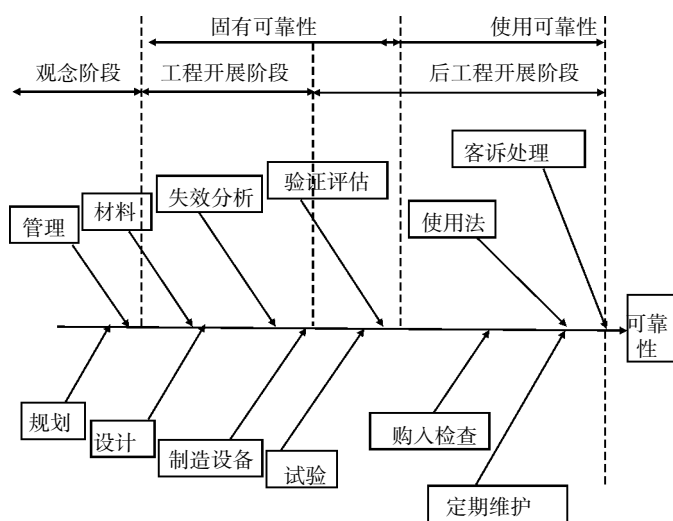


图3 可靠性特性要因图

表4 可靠性验证与评估的工作项目

很清楚的看出 K&S 模式中的三个阶段与操作可靠性之间的关系。表3列出了可靠性设计方法的工作项目，表4列出了可靠性验证与评估的工作项目

项目	验证与评估
1	验证与评估规划
2	试验规范
3	试验方案与程序
4	环境应力筛选
5	发展/成长试验
6	鉴定试验
7	接收试验
8	试验记录
9	试验报告
10	评估报告

4 可靠性工程

任何一项产品或系统的制造完成,都经过一段自刻意的构思到制造完成进入被利用的流程,整个的流程是一项产品或系统的“生命周期”。流程模式是依整个流程不同的阶段与步骤而形成。

这些阶段描述了一项产品自概念至使用的必经过程。其中使用阶段才是产品表现其功能特性(适用性)与可靠性的时机,但是产品可靠性并不是随着产品的生产自动俱备的,可靠性必须经过特定的“可靠性”设计、制造与管理。许多的工程人员只重视功能特性的适用性而较忽略了可靠性。

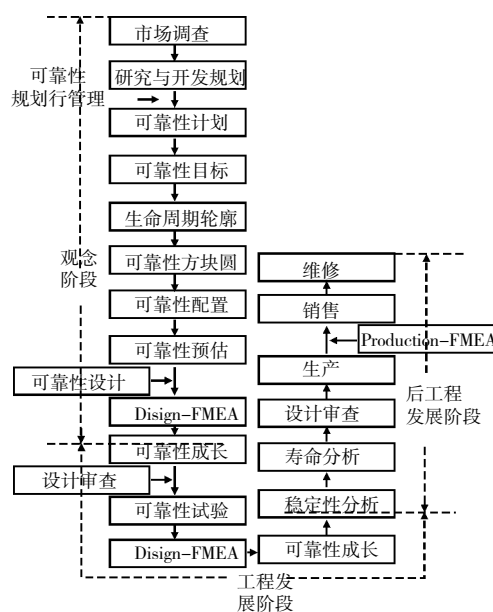
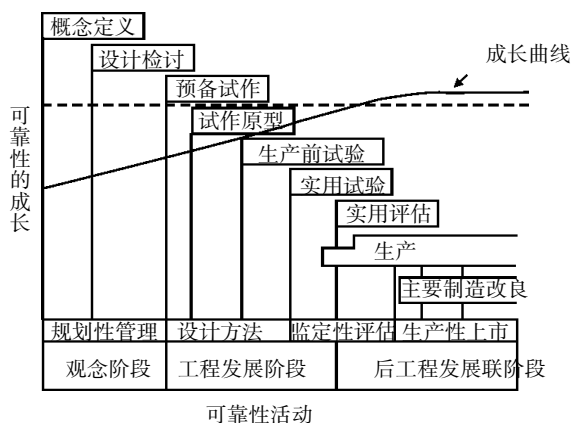


图4 可靠性活动示意图

在质量工程的各项努力中,可靠性的成长是一项要关注的重点。系统可靠性必须要达到预定的设定目标,由于很可能在生产制造中可靠性因管理或采购不善而导致下降的情况(见图5在生产阶段可靠性成长曲线的下降不连续现象),因此在开发初期,预定目标要订得再高一些。

图5 理想中可靠性在不同阶段的成长曲线^[8]

5 结语

模式与建模在系统工程中至为重要。一个好的模式,端赖在建模过程中掌握建模的目的。简单、清晰、易于了解且要接近实际的系统。K&S

表5 研发人员在质量追求上的自我检核表

既存的技术	新开发事项
1 既存的标准是否适用?	采用的新技术、新材料、新设备及新方法能不能被明确的分别? 必须被确认的质量及方法是否明确?
2 既存的标准需要变更时可否被识别? 是否有妥当的变更理由?	需要的人员、设备及经费等经营资源是否明确?
3 是否依据变更管理的程序变更?	使用新材料时,相关部门之间的联系是否畅通?
4	需要新制程时,生产部门可否会偕同一块开发?
5	设计审查与 FMEA 是否按计划进行?
6	新开发事项的质量确认的方法是否已经底定、被书面化及被实施?

模式能帮助开发团队建立共识,减少因沟通不良造成的失误或失效。本文将典型的 K&S 模式作了延伸,加上可靠性的设计技巧与观念。换言之,它尽可能采用图表来显现可靠性成长的关键阶段,相信对产品设计开发人员的系统概念很有帮助。

K&S 模式是一种生命周期的模式。因为它将系统的生命以流程的方式呈现并分成几个阶段或步骤以便能列出其生命的里程碑。一般采用生命周期模式有两项主要的任务:其一,在生命周期的每一个阶段或步骤都必须与相对应主要的系统工程活动的进行有关;其二,这些阶段或步骤必须能被系统工程界人士接受使用并正式纳入主要的流程模式,以形成共同的语言。本文主要的目的是希望专研可靠性的工程人员一定要了解流程模式的重要性,在设计开发上,“设计功能”及在生命周期内“维持功能”是同样的重要。理想的“设计功能”吸引顾客购买,而“维持功能”的可靠性则是让顾客满意的关键。

K&S 模式的重要性不仅是流程的完整性,而且是考验执行的严谨性,这两者的互动得以在某些特定的指标上获得满足,如质量、成本或交期等。使得公司对产品点子的产生、研发、生产制造、客户及供货商之间互相产生交集关系,更因此加

速了产品的上市速度,大幅提升了企业获利能力。

在以生产制造为主的企业中,以提升作业效率、降低成本、提升质量做为一个重要的生存条件,但是在现在处于一个微利时代中,追求生产成本的降低,压缩供货商的供货成本,寻求更低廉的工资成本已经不能再是企业竞争的利器,企业要再进一步提升获利的能力则应回归到产品本身,因此才要有更多的创新产品、多元化客制产品及加速产品上市速度,这才是企业竞争能力提升的重要关键。换言之,观念阶段的强化是未来企业朝向高附加值产品努力的重点。

在质量工程的各项努力中,可靠性的成长是一项要关注的重点。系统可靠性必须要达到预定的设定目标,由于很可能在生产制造中可靠性因管理或采购不善而导致下降的情况应予避免,因此在开发初期,预定目标需要订得比目标值再高一些。图5中的虚线是可靠性的目标值而成长曲线的稳定值应高于目标值才能保证任务的达成。

可靠性工作计划与质量成本总表报表要能相互对照。质量成本总表报表可依公司对质量成本的分类逐项填写,以后可以作相互的比较,已确认质量改善计划获致最大的注意力及较高的投资报酬效果。当然质量成本的定义与分类要清楚,最好能有书面的说明,以后会专文介绍之。

质量、成本及速度是公司能力的表现也是职场上追求的重点,三者有其必然的关连性及重迭性,值得大家多加研究与实践。

参考文献

- [1] 吴英泰,韩行祚,胡天正。产品可靠度能源、资源与环境季刊,Vol.3, No2, 1990年。
- [2] 韩行祚,吴英泰。产品设计发展阶段的可靠度工程[J]。能源、资源与环境季刊,Vol.3, No2, 1990年。
- [3] 韩行祚,吴英泰。设计发展阶段可靠度工程[J]。能源资源与环境季刊,Vol.3, No.2, 1990年5月。

源与环境季刊, Vol.3, No.2, 1990 年 5 月。

[4] 吴英泰, 研究发展与商品化过程[J]. 能源、资源与环境季刊, Vol.4, No.3, 1991 年。

[5] 吴英泰、洪靖发, 产品开发可靠度成长的关键: 设计入系统思考[A]. 2005 年电力电子研讨会论文集[C]. 清华大学及电力电子协会主办, pp. 1137~1141.

[6] 吴英泰, 源流管理与系统思考: 配合设计及失效模式影响与分析[J]. 电力电子, 第 6 卷, 第 6 期, pp.14~22, 2008 年 11 月。

[7] Kossiakoff A. & W.N. Sweet, Systems Engineering Principles and Practice, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2003.

[8] 吴英泰, 新产品开发管理[J]. 变频技术应用, 2011 年, 第 2 期, pp.49~55, 2011 年 4 月

[9] 吴英泰, 模式、建模及应用: K&S 模式与可靠度工程[J]. 电力电子, 第 3 卷, 第 4 期, 2005 年 7 月。

[10] 吴英泰、朱政仁、张沛鸣、翁健伟, 以 K&S 模式为基础的设计指南[J]. 电力电子, 第 3 卷, 第 4 期, pp. 11~18, 2005 年 7 月。

[11] 张友松、杨殿国、吴英泰, FMEA 在产品开发流程的效益探讨[A]. 2010 年电力电子研讨会暨展览会论文集[C]. 中正大学, 嘉义。