

环境工程与可靠性工程的关系初探

蔡健平

(中国航天标准化与产品保证研究院, 北京 100071)

摘要: 可靠性工程和环境工程是型号研制过程中的两套工程体系,在确保产品可靠使用上,可靠性工程和环境工程具有互补关系,但是两者在概念和方法上有较大区别。现代可靠性工程的发展使传统可靠性工程和环境适应性工程具备了互相融合的基础,环境工程与可靠性工程的融合是现代可靠性工程发展的趋势。

关键词: 环境工程; 可靠性工程; 融合

中图分类号: V216; E92 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)01-0066-04

On Relation between Environmental Engineering and Reliability Engineering

CAI Jian-ping

(China Aerospace Standardization and Product Assurance, Beijing 100071, China)

Abstract: Environmental engineering and reliability engineering are two different engineering systems in materiel development; they are complementary for materiel practical operation. On the other hand, they have great difference in their concept and method. Modern reliability engineering brings about merging basis of traditional reliability engineering and environmental engineering; the merge of environmental engineering and reliability engineering are trend of modern reliability engineering.

Key words: environmental engineering; reliability engineering; merge

产品可靠性是指产品在规定的使用条件下,于规定时间内完成规定功能的能力^[1]。规定的使用条件包括环境条件、载荷工作条件及使用维护条件等。可靠性工程是一门工程学科,它是为了达到产品可靠性要求而在产品设计、研制和生产中采取一系列有序且相互联系的管理、设计、分析和试验措施等工作的总和^[2]。

产品的环境适应性是指产品对规定的贮存、运输和使用环境条件下的适应能力,包括耐受规定的

恶劣贮存和运输环境而不致被损坏的能力和在规定的极限环境工作条件下正常工作的能力。与产品环境适应性对应的工程活动是环境工程,CJB 4239^[3]把环境工程定义为将各种科学技术和工程实践用于减缓各种环境对装备(产品)效能影响或者提高产品耐环境能力的工程学科。

从产品可靠性和环境适应性的定义来看,二者有密切的联系,但又有较大的区别。研究可靠性是在规定条件下进行的,这种条件并不是产品最恶劣

收稿日期: 2012-10-08

作者简介: 蔡健平(1969—),男,汉族,山西蒲县人,博士,高级工程师,主要研究方向为自然环境试验、环境防护、可靠性、产品保证等。

的环境,某种程度上甚至不能完全代表实际的服役条件。如果产品环境适应性差,在服役中遭遇极端(或者恶劣)的环境而出现故障甚至损坏,这时讨论产品完成功能的概率、产品的平均故障间隔等概念就失去了意义。例如1986年1月28日,美国“挑战者”号航天飞机在发射时发生爆炸,事故直接原因是低温下右侧助推器下端壳体接头密封圈的橡胶性能变差,这就是一个典型的环境适应性问题,而非可靠性问题;这个故障既不是在规定环境条件下发生的,又不能仅从概率角度来理解,而是存在着内在的物理化学原因,是有很大必然性的事件,所以控制环境适应性故障需要极为丰富的专业经验,不能用可靠性工作代替环境适应性工作。

如果提高了产品的耐环境能力,产品就具备了足够的耐环境裕度,当然也降低了产品的故障出现概率,即提高了可靠性。例如航天器由于批量少,所以在研制过程中大量依赖地面的环境模拟试验,以确保航天器的成功发射。

研究可靠性首先要确定产品是否有足够的环境适应性,环境适应性是可靠性的前提,是可靠性研究的基础。由于现代可靠性工程是控制产品故障包括环境适应性故障的技术和管理活动,所以可靠性工程具备与环境工程相互融合的条件。

通过讨论可靠性的发展趋势以及环境工程的发展历程、特点,分析了环境工程与可靠性工程的互补关系,通过可靠性工程和环境工程互补和有机融合,使产品的故障得到更好的控制。

1 可靠性工程技术的发展历程和趋势

可靠性工程技术于20世纪50年代率先在美国产生,最初是为了解决军用电子设备和复杂导弹系统的故障问题,随后从电子设备扩展到军用设备,并成为军用产品的质量指标。进入20世纪80年代后,可靠性事业在我国得到了迅猛发展,并使我国工程型号的可信工作逐渐步入了规范化发展轨道。

在可靠性技术发展的初期,受各方面技术和手段的限制,基于概率统计的可靠性工程方法(传统方法)因易使用、见效快,在工程实际中得到了广泛应用,这种方法把故障视为偶然性,通过对故障数据进行处理,获取产品可靠性方面的信息。随后发展了

各种定性和定量的可靠性方法,如可靠性分配和预计、故障模式及影响分析(FMEA)、故障树(FTA)分析、可靠性试验技术,形成了一套完善的可靠性设计、试验和管理标准。

随着科学技术的进步,人们对产品可靠性不再是仅仅通过故障数据来认识,转而开始对造成故障的机理有所理解,因此近年来基于故障物理(PoF)方法的可靠性工程日益受到重视。故障物理方法与传统的基于概率统计的可靠性研究方法不同,它以物理、化学分析为基础,强调对故障物理、化学过程的定量分析和描述^[4]。故障物理方法从本质上探究产品不可靠的必然性原因,它将可靠性研究从一门只能对故障数据进行处理的黑盒艺术”发展为一门可以对故障过程进行描述的“白盒科学”,从而为研制和生产更高可靠性的产品提供科学依据。例如在电子元器件可靠性预计中采用故障物理方法将会更科学地反映现场实际故障和故障密度^[5]。美国山地亚国家实验室发展出了以失效物理为基础的可靠性工程方法,被称为21世纪以科学为基础的可靠性工程方法^[6]。

随着可靠性工程研究对象日益复杂以及技术进步,当前可靠性技术向综合化、实用化、自动化、信息化、智能化、精细化和军民两用化发展^[7-9]。

2 环境工程的发展历程和特点

2.1 环境工程的发展历程^[10]

由于第二次世界大战期间暴露出大量装备环境适应性问题,环境工程以“环境试验”的理念和实践开始出现。经过对环境试验的标准化,到1985年,美军的MIL-STD-810已成为世界上最权威的装备环境试验标准,广泛地被西方主要军事大国所接受。然而,装备千变万化的服役环境导致严格规定的试验条件标准出现了大量“欠试验”和“过试验”案例,环境试验达不到应有的效果。因此,从20世纪90年代开始,美国、英国等国家开始把装备的环境适应性工作作为一项系统性的工作,明确了环境条件测量、环境分析、环境设计、环境试验、环境控制与管理等多项技术和管理的工作,将各种环境技术综合应用于产品的整个研制周期中,使产品的环境适应性

达到规定要求。

2.2 环境工程的特点

从环境工程的发展历程看,环境工程有下列特点。

1) 以装备实际服役环境作为环境工程工作的出发点,开展环境试验的剪裁、环境适应性设计等技术和管理工作,确保武器装备在实际使用过程中不发生环境适应性问题。尽管环境工程中也大量采用实验室环境试验,但是实验室环境试验应根据实际服役环境条件而制定,并尽量能模拟实际环境的效应。可靠性工程则在典型环境条件下开展设计、试验和分析工作。

2) 故障的机理分析是环境工程的重要基础。早期的环境工程以环境试验为中心,但是随着环境工程成为一项系统工程,环境条件分析、环境适应性设计、环境试验的剪裁等技术都需要了解环境对装备造成的种种影响,特别是造成故障的机理。因此分析环境在微观上对产品的物理、化学和生物的作用机理是环境工程的重要基础。

3) 强调专家经验的作用以及技术基础的支撑作用。作为一项基础性和共性的工作,环境工程中基础环境数据的搜集分析、环境试验的设计与剪裁、环境损伤机理及其控制等技术需要大量的技术基础研究和专业知识,因此环境工程中强调要组织来自不同专业的专家(如材料专家、试验技术专家、元器件专家等)形成环境工程专家组,支撑型号的环境工程技术工作,避免粗放式设计。例如,如果没有环境工程专家积累和分析基础环境数据,型号设计人员只能通过“过设计”来保证成功,有时甚至是凭着感觉设计,毫无疑问这种设计的质量很难保证。

4) 保证环境适应性设计是环境工程活动的目的。环境工程的最初目的主要是为了可靠地进行环境试验。随着环境试验的积累,环境试验人员、设计人员以及相关领域的专家积累了丰富的环境适应性设计素材,总结这些实用的工程经验,就为指导装备的设计提供了条件。例如波音公司在其设计手册中涉及到不少环境控制、材料选择和结构设计的内容,这都是多年环境工程活动的工程经验总结,确保波音飞机满足适航性的规定,并成为企业的核心技术。环境适应性设计技术是在环境工程活动基础上

形成的工程经验结晶,是环境工程活动最终的成果。

3 可靠性工程和环境工程的区别

可靠性工程以可靠度为主要指标,而环境工程则以环境适应性为关注焦点,可靠性和环境适应性在描述和技术上都有很大区别。

1) 产品的环境适应性以定性判断为主,而传统的可靠性强调定量。例如,为了确保装备在实际服役条件下的可靠服役,必须通过环境适应性工作定性判断产品的环境适应性,而很多可靠性指标则以定量描述为主。

2) 环境适应性以机理分析为主,而可靠性则以概率等宏观表现分析为主。研究各种环境因素在机理上的作用,特别是从微观上分析产品的物理、化学、生物反应过程,以便从结构、材料、工艺等设计方面采取控制故障的措施,并评估环境适应性;传统的可靠性工程主要采用概率统计等数学方法从宏观上来把握故障的整体特性。

3) 可靠性以简化的方法(还原论)为主,而环境适应性则以综合性为特征。由于造成产品故障的原因极为复杂,进行可靠性研究时必须规定条件和时间,否则难以开展研究,这是一种典型的简化和还原方法,但是这种方法忽略了造成产品故障的一些关键细节,特别是忽视了实际环境的细节;环境适应性研究需要全面考虑环境和装备的相互关系,特别需要综合考虑实际环境。

4) 可靠性研究需要大量利用各种数学工具,而环境适应性更注重利用不同专业领域专家的工程经验。环境适应性工作主要针对实际的复杂环境条件开展工作,环境适应性问题的解决,依赖于不同专业领域专家的工程经验,所以在环境工程工作中,要求充分利用环境工程专家的经验来展开工作。

环境工程和可靠性工程之间的区别见表1。

4 环境工程与可靠性工程的联系及有机融合

现代可靠性工程是控制产品故障包括环境适应性故障的技术和管理活动,这就导致可靠性工程必然在技术方法上同环境工程相互融合^[1]。

表1 环境工程和可靠性工程之间的区别

Table 1 The difference between environment engineering and reliability engineering

项目	环境工程	可靠性工程
环境条件	以实际的复杂服役环境为基础,全面了解服役环境条件及其效应	在典型环境下进行,但不能完全代表服役环境对产品的效应
对故障的描述	以定性、机理分析为主,注重环境效应微观机理	主要以统计等数学方法来描述故障
解决故障的途径	大量依赖专家实际工程经验	主要依靠分析寻找薄弱环节
设计方面	减缓环境效应和提高产品耐受环境能力	提高产品可靠度,控制造成故障的各种因素

1) 环境试验和可靠性试验的融合。从某种程度上说,可靠性试验都是环境试验,而合理的环境试验都能帮助减少故障,而且环境试验和可靠性试验的环境条件都是环境工程的研究内容,环境和可靠性试验目前都从单一环境试验走向统一的综合环境试验。例如航天产品价格昂贵、小批量生产,所以无法进行统计试验,其可靠性是通过环境试验来保证的。

2) 环境效应及失效机理研究的融合。不论是环境工程还是可靠性工程,对环境效应及失效机理分析的研究都很注重,其研究的角度、处理问题的方法也基本相同,着重于研究各环境应力引起失效的物理、化学和生化变化过程及其失效规律与失效影响。环境效应及失效机理分析的研究为环境保护及环境控制提供了依据,以便从结构、材料、工艺等方面采取相应的措施,提高产品耐环境应力的能力。

3) 环境适应性设计与可靠性设计的融合。环境适应性设计是产品研制和生产过程中环境工程应用的重要内容,它的许多内容与可靠性设计相互重合。当可靠性设计中采用一般设计技术无法满足要求时,必须通过特殊的结构设计和工艺措施来提高产品耐环境能力,这恰恰是环境工程中的重要工作内容。

4) 环境工程和可靠性工程可以统一管理。环境工程工作和可靠性工作贯穿于产品研制、生产的整个过程,所以在制定环境管理大纲、可靠性大纲以及安排环境工作、可靠性工作时,要注意二者之间的协调。通过有效管理大纲,才能使产品的设计、试验等工作在协调、有序、规范的状况下进行,从而保证研制的进度和质量。同时,环境管理大纲和可靠性大纲都是在产品研制、生产甚至使用过程中分别对

环境工程工作和可靠性工程工作进行规划,并进行监督和检查。它们可以相互借鉴,根据需要制定出统一的工程工作计划及管理大纲,有利于保证产品在研制、生产全过程其环境适应性和可靠性达到合同的要求。

5 结语

由于装备及其研制活动系统复杂,导致在型号研制过程中形成了可靠性工程和环境工程两套工程体系。为了研究和控制的方便,可靠性在概念上采用了还原论的方法,选取典型环境来简化环境条件,“把模糊性约化为清晰性,把非线性关系约化为线性,把混沌运动约化为周期运动”^[13],这就忽视了实际服役环境条件的细节特征。为了解决实际恶劣环境导致的各种故障,环境工程应运而生,在方法上和技术上对可靠性工程形成了较大程度的互补。

由于人们“偏爱无益的精确性、眼光短浅与方法上的局限性而非普遍存在而又处处可见的新颖和优美”^[13],环境工程缺少所谓“数学性”、“量化”等科学性特征,以工程经验积累为主,并且需要大量艰苦细致的基础工作,所以环境工程在实际工作和技术研究中未得到充分的重视。要使现代可靠性工程成为与产品实际发生的各种故障作斗争的一门科学技术,就需要将环境工程和可靠性工程融合起来。应该指出的是,这种融合需要在方法论上首先进行突破。

可靠性工程和环境工程是型号研制过程中的两套工程体系,两者在概念和方法上有较大区别,但在确保产品可靠使用上,可靠性工程和环境工程具有互补的关系。由于二者都是为预防产品故障发生、

(下转第101页)

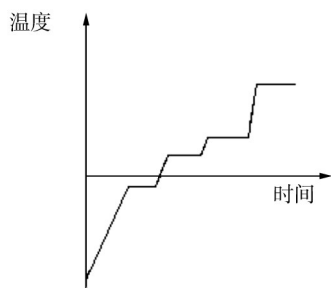


图1 温度控制曲线

Fig. 1 Curve of temperature control

部分是否卡死或活动不畅,密封件是否脱胶等。

试件电气部分检验,总的原则是“化整为零、取大优先”,即整机上电,通过仪器仪表检测试件的电气性能,如果测试结果符合要求,即正常,则整机或大系统优先通过检验;整机上电出现故障,则由整机

向各分系统逐一排查,逐一归零。如此反复,直至找到问题所在并解决。

4 结论

环境试验过程控制和试后恢复实施,从接手试件预处理、进行试验再到试验结束恢复处理,整个实施过程中科学的思想、合理的方法、细节的处理和做法都对试验真实有效的进行产生重要影响,一些随意的做法或认为无关紧要的思想是不可取的。

参考文献:

- [1] GJB 150,《军用设备环境试验方法》实施指南[S].
- [2] GJB 150.1—86,军用设备环境试验方法[S].
- [3] 郭庆堂,吴进发.实用制冷工程设计手册[K].北京:中国建筑工业出版社,1994.

(上接第69页)

消减故障后果而产生的,这就使其具备了有机融合的基础。环境工程和可靠性工程的有机融合是现代可靠性工程发展的需要。

参考文献:

- [1] GJB 451A,可靠性维修性保障性术语[S].
- [2] GJB 9001A—2001,质量管理体系要求解释提纲与实施要点[S].
- [3] GJB 4239,装备环境工程通用要求[S].
- [4] 曾声奎.可靠性设计与分析[M].北京:国防工业出版社,2011:313.
- [5] 韩庆田,刘梦军.可靠性预计的发展趋势[J].军用标准化,2002(1):40—42.
- [6] 康锐.可靠性维修性保障性工程基础[M].北京:国防工业出版社,2012:24.

- [7] 刘正高.航天质量与可靠性技术的发展趋势简评[J].质量与可靠性,2005(4):35—38.
- [8] 肖慧鑫,王静滨.未来武器装备可靠性、维修性和保障性发展趋势[J].国防技术基础,2006(1):17—19.
- [9] 宋晓明,寿少峻,陈方斌,等.武器装备可靠性现状及发展趋势[C]//中国国防科技质量与可靠性高峰论坛论文集.北京:国防科工局,2010:13—17.
- [10] 张铮.国防报告GF-A 0078174N 国外装备环境适应性现状及发展研究[R].北京:中国国防科技信息中心,2002.
- [11] 林震.国防报告GF-A-0090717 可靠性工程与环境工程的有机融合是未来技术发展趋势[R].北京:中国国防科技信息中心,2005.
- [12] 苗东升.把复杂性当作复杂性来处理[J].科学技术与辩证法,1996,13(1):11—13.
- [13] 维纳.人有人的用处[M].陈步,译.北京:北京大学出版社,2010:26.