

综 述

航天产品环境适应性问题研究

赵保平, 孙建亮, 庞勇

(北京机电工程研究所, 北京 100074)

摘要: 全面论述了产品研制中提高环境适应性的途径,从产品设计角度阐释了产品环境适应性基本原理、产品环境分析、环境适应性设计、环境适应性试验、环境适应性管理等内容,并总结了相关环境分析、试验、设计、管理的风险因素,提出了环境适应性工作管理的3个覆盖和适应性技术的发展趋势,认为对当前传统认识——环境适应性工作就是制定环境条件和进行环境试验的观念要有所改变。

关键词: 环境适应性; 航天产品; 覆盖性; 环境剖面; 环境适应性设计; 研制试验

中图分类号: V216.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)03-0042-07

Research on Environmental Worthiness Problems of Aerospace Product

ZHAO Bao-ping, SUN Jian-liang, PANG Yong

(Beijing Mechano-Electronic Engineering Institute, Beijing 100074, China)

Abstract: The ways of improving environmental worthiness of aerospace product were introduced. From the designer's viewpoints, product environmental worthiness basic theory, environmental worthiness analysis, environmental worthiness design, environmental worthiness test and environmental worthiness management were discussed. The relative factors of the risk for environmental analysis, design, test and management was summarized, and the three principles for environmental worthiness management and development work were proposed. The traditional idea was corrected, which consider that the work of environmental worthiness is establishing environmental conditions and environmental test.

Key words: environmental worthiness; aerospace product; completeness; environmental profile; environmental worthiness design; development test

(续前)

4 充分的环境试验

充分的地面试验是成功的关键^[10],尽管可以采

取分析仿真的方法,但不能完全代替试验。近几年航天产品交付时的开箱合格率非常高,飞行成功率大幅度提高,与近几年大力建设试验设备,普遍进行振动-温度试验有关^[12]。通过大量试验,大部分与温度、振动相关的问题被消灭在了试验室内。

收稿日期: 2010-12-06

作者简介: 赵保平(1962—),男,研究员,主要从事飞行器环境设计与试验技术研究。

4.1 试验存在的风险

由于建模分析中要对系统进行假设和简化,从而可能会导致不同程度的错误结果和风险^[6],所以还要进行试验,但分析结果有利于试验的设计和规划,减少试验次数,明确试验方向。除了改进型产品,新型号环境试验条件难以准确确定,所以地面试验的目的是保障试验项目和状态能够覆盖实际使用状态。试验的主要风险在于:环境分析覆盖性不够,产生漏项或不准确;产品状态分析不准确,在进行地面试验时出现偏离或遗漏,造成试验无效,没起到应有的作用;地面辅助试验条件影响分析不充分,出现严重的多余影响(如火箭撬试验的冲击振动以及刹车影响)。另一类风险在于测试手段影响。

4.2 研制试验不必追求真实

研制试验的目的是发现设计缺陷和工艺缺陷^[1],因此可以采用灵活的方式进行,可以不追求试验的真实性。该项目是GJB 4239规定的项目(工作项目402),应是产品研制采用最多的试验。

试验是增值过程^[6],以较小的代价获得最多的设计制造缺陷。因此,研制试验的方法要紧紧围绕发现问题的目的灵活开展工作,环境试验技术的发展历程遵循这一目的不断前进。初期阶段的环境试验主要是模拟激励,在该环境激励下观察产品的功能是否正常,这种方法是真实试验但代价很大。第二阶段是按照产品响应相同的原理,激励方式可以与使用时的实际情况不同,产品响应达到预期即认为达到目的,这是目前采用的主要方法,如振动、温度等试验方法。效费比最高的方法是模拟相同作用效应,型号研制中常常要分析某种环境对产品的作用效应,设计某种方式在实验室内达到与实际同样的效应也就达到了目的,这是今后发展的趋势之一。既然试验是增值的,目的是发现故障缺陷,所以充分的地面试验是型号研制成功的保障,研制中应该戒除只关心通过不通过、怕试验出故障的思想^[4]。

地面试验是存在局限性的,只要在实验室进行就存在与实际状态的差异,就是常说的不真实,需要多个试验项目分片完成一个功能考核,如飞行器点火冲击或分离冲击,由于状态复杂,低频和高频同时存在,要采用经典冲击和冲击谱结合进行考核。有

时试验可能是超出实际的,有的甚至不可能实现,如长时间线加速度、失重等状态。这时要保证考核环境与功能状态能够覆盖而不是真实性,最真实的莫过于飞行试验了,但几次或几十次飞行试验也仅仅是众多产品使用的个案,并不能代表所有产品寿命期状态的全部,所以也是不真实的。

既然研制试验是为了发现缺陷,那么就不单单是起到考核产品的环境能力,也包含了改进产品环境响应特性的意义,所以选取的环境参数应该按照偏严酷的原则进行。这一点很多资料都提及过,其中比较典型的案例是半正弦经典冲击,俄罗斯的半正弦冲击要与产品的固有频率挂钩,先分析和测定产品固有频率,根据固有频率计算半正弦冲击的脉冲宽度^[15-16],使产品在固有频率得到充分响应,如图7所示。这一点与很多设计人员的想法矛盾,但一旦完成结构改进则会一劳永逸,产品研制后期则会十分顺利。

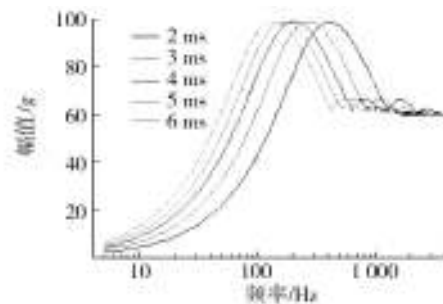


图7 不同脉宽的半正弦冲击SRS

Fig. 7 SRS of half-sine pulse of different pulse width

目前比较流行的高加速试验或高加速寿命试验,可以作为一项重要的环境适应性研制试验。尽管目前存在不完善,但效益非常明显,特别是寿命后期的缺陷,能通过该试验在较短时间内迅速发现,而采用传统的环境试验与可靠性试验都不能发现寿命后期的缺陷,且经济代价很大。

4.3 试验要抓主要矛盾

在型号研制中存在一种现象,某个部件或设备的试验,为了追求所谓的真实性,将其置于系统中进行,似乎边界条件等状态很真实,但结果由于系统的耦合影响因素太多,出现问题无法分清楚到底是设备本身的问题还是受其他因素影响。因此,在试验中应该找主要矛盾,尽可能地进行简化,根据设计要

求1次试验只解决1个问题。试验前要分析,是解决设备自身的问题还是解决相互影响问题,应先对传递路线上响应末端的设备/部件问题试验,再进行设备之间或设备与系统之间的接口试验,研究它们之间相互影响,避免出现交联耦合问题。这样,到了系统试验一级,能够保证设备一级不出问题,有问题也能够定位为系统相互影响问题,而不是本身的问题。

对不同类型试验也同样与主要目的有关,如上一节中不同脉冲宽度影响,冲击试验与设备固有频率挂钩,目的是改进设计降低设备放大倍数,主要矛盾是改进设备结构的力学响应特性,所以采用的条件不一定是实际发生的环境,但对于设备交付验收试验则不必如此。

4.4 不同试验的差别

环境试验种类很多,但从环境适应性角度看,不妨可以分为用于发现设计生产缺陷的试验和用于质量控制的试验2类。

4.4.1 用于发现设计生产缺陷的试验

产品研制活动是保障完成高可靠、高质量产品,而从另一个角度则可以表述为,围绕防止缺陷存在、防止发生故障而开展的工作。

1) 研制试验。研制试验大量在实验室内进行,对环境分析中确定的环境因素按照不同目的进行试验。由于该阶段主要目的是为了暴露缺陷,因此该试验阶段主要以研究产品的环境特性和确定产品耐环境能力为主,所以,该阶段应尽量把已知的环境因素和存在疑虑的问题彻底搞清楚,不漏项,不把这些问题遗留给下一个阶段。

2) 外场试验。由于环境的复杂性、随机性和认识上的局限性,环境分析中会存在遗漏的问题,还会存在各种小概率事件。这些问题只有进行外场试验才能暴露出来。外场试验一般代价很大,所以应该确保上一阶段实验室试验的充分性,本阶段如果暴露上一阶段的问题,则付出巨大成本。外场试验包括了自然暴露试验、动态环境模拟试验、气水动试验、分离试验、弹射试验、飞行试验、平台系留试验、对接/磨合试验、各种运输工具的运输试验等^[10-13],尽管不同产品试验名称不同实际做法存在一定差异,但原理相同、目的相同。这些试验的主要目的尽管不是为了验证环境适应性,但却会暴露环境分析和

试验没有覆盖到的因素。

3) 试用演练性试验。研制试验和外场试验完成后,绝大部分缺陷应该已经暴露,但仍存在一些因素需要考虑:设计人员与使用人员思想方法和习惯存在差异;使用人员因个性差异使用方式也不同。这会导致使用中的一些诱发环境因素仍然存在以及使用地域、环境的规律性差异。通过试用或演练,会暴露大部分使用不兼容环境问题。

4) 使用性试验。当产品交付用户后,在长时间使用中还会存在一些问题,这些问题主要是一些根本想不到的偶发性问题,属于在实验室阶段看起来很简单而实际隐藏很深的问题,影响后果很大,如美国沙漠风暴行动中的中东沙尘环境、阿富汗战争中的黑色尘土环境。这个阶段的主要环境任务是监测、积累使用中的环境问题,如美国在越战期间舰船环境的跟踪测量、中东基地的跟踪监测等。

以上试验之间存在一定的逻辑关系,距离用户使用时间越近,缺陷对研制成本影响越大。应掌握的原则是,进行充分的实验室试验,把那些属于无法预料的、技术上存在认识不到位的问题推迟到飞行试验等外场,把无法掌握的、使用人的动作习惯造成的问题留给试用阶段,极个别的问题通过演练、演习暴露,争取把最少的问题留给使用阶段,使每一个阶段的试验充分发挥该阶段的作用,把每一个阶段的功能发挥到最大。

同时,上述试验做法的侧重面不同,实验室试验需要更多地研究设计,而外场试验乃至使用,则更侧重跟踪监测,以收集足够的数据用于维护保障和后续产品研制。

4.4.2 用于质量控制的试验

此类试验主要用于研制生产中的质量控制,特别是生产阶段保证工艺稳定性要求,在生产过程、转阶段、转产中,可能会发生质量变化,为控制其质量,需要在生产过程中进行例行试验,交付过程中进行检验。在产品定型时要进行鉴定试验,以向用户证明该产品的环境适应性。

1) 交付/验收试验:在用户一方抽检进行的试验为交付试验;用户认可的则为验收试验。

2) 鉴定试验:产品定型时,为证明产品的环境适应性达到了设计生产要求进行的试验。

3) 例行试验:在生产过程中,为了保证工艺稳

定性或质量一致性进行的抽检试验。

4.5 试验必须根据目的进行设计

既然试验的目的是为了暴露缺陷,而且因环境因素的复杂需要进行众多的试验,这样就存在一个优化问题,采用最少的试验次数、最少的试验种类,暴露更多的故障。因此进行试验前不能照搬过去或别人的经验,而是要针对产品特点和研制条件去认真筹划设计,以保证试验的覆盖性而且代价最小。常用的方法很多,如正交设计或均匀设计等方法,对相关试验需要获取的参数进行研究。

对某一项试验,应把环境因素和产品特性作为试验设计参数,仔细分析、精心设计才能达到目的。如在研制中遇到的冲击传感器低频上翘问题就是典型的例子。该传感器根据种种迹象预测可能存在低频问题,在大量经典试验中不能激发出该现象,但经过精心设计的试验激发了低频上翘,如图8所示。该试验是在一种特定的条件下出现的,并不是所有类型的冲击都能出现。由此可推断,传感器如此,其他形式的结构同样如此。

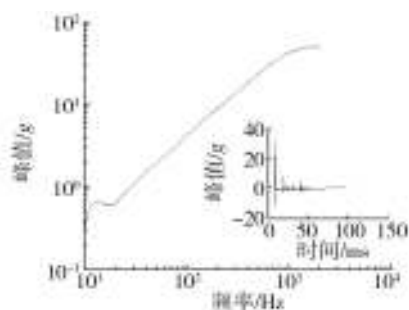


图8 传感器低频上翘曲线

Fig. 8 Bending-up curve of low frequency response function of sensor

对于多种类型的试验,其目的不同,有些则存在相似性,所以需要进行筹划设计,保证其达到目的而且整体综合效益最大。如某产品提供了多个冲击试验条件,条件规定的量级和脉冲宽度不同,有的用户采用了大量窄脉宽的条件试验,不能达到目的。又如淋雨试验与浸渍试验是产品研制通常进行的项目,有的用浸渍代替了淋雨,在一些特定情况下两者等效,但另外一些情况是不等效的,试验设计需要考虑哪些等效哪些情况不等效来进行剪裁。还有一些需要权衡的问题是在实验室内还是留给外场试验暴露,

对那些涉及重大安全的问题,则要在实验室内不惜代价解决,其他则可以放宽。这些问题都是试验设计需要考虑的,归根结底,试验设计要使每一阶段和每一种试验都发挥到最大的效益,保证用较少的试验样品,覆盖每个层次的设备、设备之间的关系和整个系统。

4.6 实施高加速试验面临的问题

高加速试验是研制试验的一种,因其高效成为近几年研究的热门技术之一,称谓也很多,如高加速寿命试验、高加速应力试验、可靠性强化试验等。该方法确实在工程中能克服传统方法的缺点,在短时间内暴露出寿命期故障,技术优势明显,但推广起来难度很大。

1) 主要原因是思想认识还不到位,需要有一个逐步深入的过程。其中,用户和设计人员对加速试验不与环境条件挂钩想不通,通常试验是按照标准办事,本来研制试验的目的是找出问题,但用户过于关心研制试验中的问题,而设计人员也担心说不清楚被用户穷追不舍。同时,该试验需要在前期投入产品,直接费用较多。

2) 由于试验目的是发现问题改进设计,所以重点是故障模式分析,需要总体、设计、试验、环境可靠性等专业人员共同完成,对试验设计人员要求较高,并且与目前研制体制存在一定冲突。在民用产品,如IT业应用较多。

此外,目前试验设备还存在一定欠缺,高频太多、低频少,对电子产品、元器件有效,对机电设备有效性不太高,也是IT应用较多的原因。目前国防科技大学等单位正在开展此方面的研究工作。

5 产品环境适应性管理

产品研制活动是保障完成高可靠、高质量产品,也可以表述为围绕防止缺陷存在,防止发生故障而开展的工作。“乘十法则”表明,某个问题在项目的各个阶段所产生的影响,将从发现该问题阶段开始,以10倍的放大因子传播。如设计初级阶段的问题需要1万元代价,到了实验室试验阶段被发现则需要10万元,到了试生产阶段则需要100万元,到了定型阶段则需要1000万元,到了用户手中,则无法估计了。从产品层次角度,元器件问题在部、组件阶段解

决,需要1万元,留到外场试验阶段暴露,则需要1 000万元量级代价^[6]。因此原则上,应将故障隐患消灭在早期阶段,所以每一步都应该做对做好,做该阶段该做的事情,这就是管理的目标。

大多数航天产品的复杂性非常高,在研制过程中包含了较多的不确定性,从环境适应性角度来看,其产品研发的重要过程是消除故障隐患,因此要研究为何失效。但环境是客观存在的,当产品存在缺陷或对环境敏感时,才会发挥影响导致产品故障。从此意义上讲,只有产品设计不为环境激励提供发挥作用的机会,就不会发生故障,也就能够适应所经历的环境,所以在设计分析上下足功夫,让大部分试验起到把关验证作用。如何做到设计、分析、试验每一个过程发挥最大效益,做到充分覆盖、代价最低就是管理的职能。

产品研制要综合运用设计分析试验等多种手段反复多次,环境适应性设计应与环境适应性研制试验、使用环境试验、自然环境试验和其他工程研制试验紧密结合,充分利用这些试验信息,对所发现的环境适应性薄弱环节采取设计措施加以纠正^[1]。所以,环境适应性管理是一种成本有效性控制过程,有效的设计、试验过程不能从管理工程中分离出来^[6],管理要体现在以下几个方面。

5.1 产品层次考虑与控制

产品具有多个层次,由小到大排列为:元器件<板级<组件级<设备级<分系统级<系统级,各个层次在设计分析试验方法上存在差异。

从纵向角度看,每个层次级别应该做好自己的事情。随着元器件、板级、组件级、设备级、分系统级、系统级的逐级深入,发现问题的成本呈几何级数增长,所以每个级别应该做好自己的事情,先末端设计分析研究,保证自身特性良好、不出故障,不把问题带入下一级别,如图5所示。

从横向角度看,每个层次的设备/部件不能仅仅考虑自身,还要考虑邻里关系,考虑相互影响,如图3所示。要考虑与临近设备的相互影响,考虑与系统之间的关系影响,考虑对内部组件元器件的影响,考虑接口连接等电气、机械等关系是否匹配。

从整体角度考虑,应在设计论证开始就统揽全局,统筹安排,保证各部分的要求和它们之间关系。

5.2 专业协作

由于技术人员存在的专业认识习惯和专业盲区,容易忽视产品的其他专业特性或影响。因此,设计人员应有意识增加专业之间的交流沟通,防止出现专业之间耦合问题。

首先,产品总体要给专业和设备提出要求,包括应做哪些事情、做成什么样、如何做,不需提很具体的问题(比如到元器件上的环境条件等),主要是技术原则和工作规则。应进行总体的综合仿真,考察系统各专业之间的兼容性。

其次,分系统/设备应根据总体要求,进行大量的分析工作,既考虑内部情况,又考虑相互影响。目前一般分系统/设备环境分析力量较弱,应加强与总体部沟通,进行相应的环境分析,对下一层次的分承制方提出要求。

此外,专业不能只管自己的事情,要与其他专业沟通是否存在不同专业之间的耦合问题,如机电、电热等。

5.3 工作流程控制

将上述问题细化,纳入到工作流程中。从流程控制角度,最基本的原则是少走回头路。在传统观念中,一般认为环境工程就是制定环境试验条件,产品设计生产后进行环境试验,近年来大量进行的试验确实在提高开箱合格率和产品质量方面发挥了重要的作用,但也存在大量经验教训,图9为原环境工作流程。其最大的问题是中间不控制最后算总账,不符合质量控制的要求,一旦反复将付出巨大代价。如果按照前面的分析,将研制过程中必要的环节增加环境研究工作,进行严格控制,则效果会大为改善。图10为理想的环境工作流程控制,图11为研制过程对比。



图9 原环境工作流程

Fig. 9 Original work flow of environmental engineering

从图9—11的对比可以看出,按照环境工程方法,将过去传统方法的大循环变成无数小循环,增加

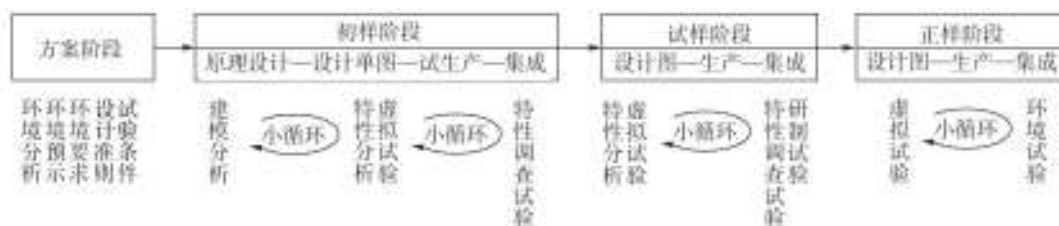


图10 理想的环境工作流程

Fig. 10 Ideal work flow of environmental engineering

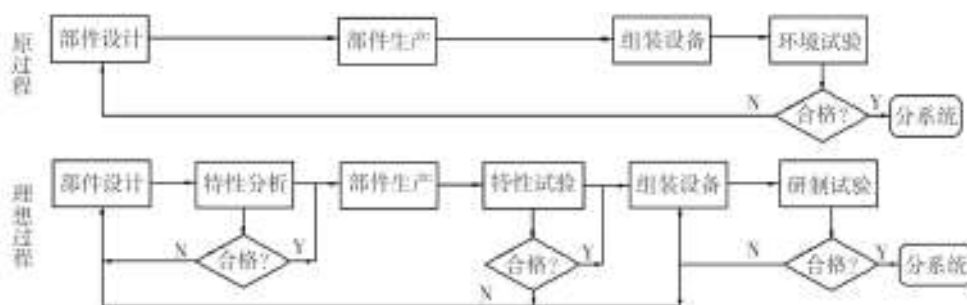


图11 研制过程对比

Fig. 11 Comparison on development process

了大量中间控制环节,减少了返工成本。这就是质量控制手段,将环境适应性控制的节点进行前移。过去是定条件、做试验,中间的设计、分析、测定等步骤没有实施,相当于每一步骤应该达到的状态要求处于失控状态。

环境适应性工作应以信息化为手段,建立设计分析试验一体化的工作平台,并成为硬性的工作程序之一。

5.4 环境管理计划及工作系统

按照上述要求分解细化,编制详细的计划,确定每一阶段的工作内容。编写环境适应性保证大纲等相关环境文件要求。建立FRANCAS^[1],可以与可靠性系统统一进行。

6 航天产品环境适应性技术发展趋势

由于信息化技术、材料技术等迅速发展,为产品研制中的环境适应性带来了新的不确定性,主要表现在以下几个方面。

由于产品智能化不断提高,大量采用大规模集成电路、芯片等器件,表贴器件(FPGA)越来越多,由于可编程逻辑电路需要烧制完成,其连接节点很小,

所以对高频振动冲击等十分敏感,高能粒子影响会日益显现。此外,由于产品设备小型化要求提高,火工品必然大量采用,产品装填密度大大增加,火工品工作近场影响不可小视,集成电路等按照位置与防护要求提高。

此外,产品的软件量越来越大,对动作器件或设备的控制依赖软件,因其具有隐蔽性的特点,程序、时序、流程的需要充分与环境的时序、频谱等配合。

虚拟试验技术是未来发展的重要方向之一,由于高速网络化、高性能计算机以及大量积累的数据,结合三维虚拟样机和试验建模技术,将多层次产品的物理特性模型、故障模型集成到信息化工作系统中,对快速分析产品环境特性十分快捷。虚拟试验的应用受到的最大限制,仅仅对已经存在的模型有效,对那些新的或还没有建立起特性和故障模型的产品,还要依赖试验。

超声速飞行器由于飞行速度快,导致振动恶劣,而且为三向振动,试验技术会因其多样性变得十分复杂。同时,热问题也会比较突出,需采用整体减震和面积隔热材料,其环境特性会有较大变化。对追求形状变化的飞行器,会采用大量新的功能和智能材料/结构,也会带来新的特性,分析和试验方法都需要相应改变。

此外,预计最大的趋势是与功能紧密结合的试验。当前的航天产品发展已经初露端倪,其特点是传统通用平台式试验方法受到很大影响,试验场地/试验设备等与产品截然分开的做法可能行不通了,需要产品涉及到的多个专业紧密配合,并与场地、布局、用材、测控手段等密不可分。(续完)

参考文献:

- [1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [2] 祝耀昌. 产品环境工程概论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [3] 王德言. 试验环境剪裁技术[J]. 环境条件, 1997(1): 5—8.
- [4] 赵保平, 王刚, 高贵福. 多输入多输出振动试验应用综述[J]. 装备环境工程, 2006, 3(6): 26—32.
- [5] 赵保平. 航天产品常见振动问题及对策[J]. 航天器环境工程, 2008(3): 242—246.
- [6] PATRICK D T. Test Engineering: A Concise Guide to Cost-effective Design[J]. Development and Manufacture, 2007, 75(5): 23—34.
- [7] 蒋瑜. 频谱可控的超高斯随机振动环境模拟技术及其应用研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 1996.
- [8] PATRICK D T. 实用可靠性工程[M]. 朱莉, 译. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [9] 黄本诚, 马有礼. 航天器空间环境试验技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [10] 黄瑞松. 飞航导弹工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2004.
- [11] 过崇伟. 有翼导弹系统分析与设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [12] 金其明. 防空导弹工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2004.
- [13] 薛成位. 弹道导弹工程[M]. 北京: 中国宇航出版社, 2002.
- [14] 王浚. 环境模拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [15] 无线电设备结构设计编写组. 无线电设备结构设计[M]. 1978. (余不详)
- [16] 振动与冲击编辑委员会. 振动与冲击手册[K]. 1992. (余不详)
- [17] 刘庆楣. 飞航导弹结构设计[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1995.

(上接第14页)

表1 材料的疲劳性能参数变化

Table 1 Parameters change of fatigue performance of materials

材料性能参数	腐蚀状况				
	未腐蚀	腐蚀 2 h	腐蚀 4 h	腐蚀 6 h	腐蚀 12 h
$A = \frac{\lg C}{\alpha}$	749.883 7	1 173.664 5	1 103.060 9	1 166.915 4	1 168.561 7
$B = -\frac{1}{\alpha}$	-75.508 6	-185.107 2	-173.294 8	-190	-193

减小幅度比较大,从腐蚀 2 h 到腐蚀 12 h 阶段其值变化比较缓慢。

3 结论

利用 Origin 软件对 LY12CZ 铝合金材料疲劳和腐蚀疲劳试验数据进行拟合,可以得出:

- 1) 未腐蚀试件的 $S-N$ 曲线与腐蚀试件的 $S-N$ 曲线差别很大,疲劳寿命明显降低,而腐蚀 2, 4, 6, 12 h 的 $S-N$ 曲线差别不大,比较接近。
- 2) 腐蚀会使材料性能下降,导致结构的疲劳寿命降低。从拟合数据可以看出, α , C 随腐蚀时间的增加其值都是减小的,但 α , C 从未腐蚀到腐蚀其值减小幅度比较大,从腐蚀 2 h 到腐蚀 12 h 其值变化比

较缓慢,与实际理论相吻合。

参考文献:

- [1] SMITH S H, CHRISTMAN T K, BRUST F W, et al. Accelerated Corrosion Fatigue Test Methods for Aging Aircraft [J]. Corrosion, 1999, 2(5): 16—17.
- [2] WANHILL R J H, LUCCIA J J De. An AGARD- Coordinated Corrosion Fatigue Cooperative Testing Programme, AGARD-695[R]. 2003.
- [3] WANHILL R J H, LUCCIA J J De, RUSSO M T. The Fatigue in Aircraft Corrosion Testing (FACT) Programme, AGARD-713[R]. 1989.
- [4] 陈跃良, 段成美, 吕国志. 军用飞机日历寿命预测技术研究现状及关键技术问题[J]. 航空学报, 2002, 4(4): 69—70.
- [5] 金平, 段成美. 飞机结构强度[M]. 北京: 海潮出版社, 2003: 130—131.