



工业和信息化部“十二五”规划教材
军队“2110”工程资助项目

装备环境工程

(第2版)

ZHUANGBEI HUANJING GONGCHENG

宣兆龙 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材
军队“2110”工程资助项目

装备环境工程 (第2版)

宣兆龙 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书着眼于装备作战及保障,针对武器系统运用环境的构成及其特点,初步构建了装备环境工程的研究内容体系,系统阐述了装备环境工程的体系内涵、基本内容、关键技术及典型应用。其主要内容包括:装备环境效应、装备环境评价、装备环境试验、装备环境防护、装备环境适应性及装备环境仿真。

本书可供从事军事装备、环境工程、试验技术及功能材料相关的工程技术人员参考,也可作为相关专业培训的教材。

图书在版编目(CIP)数据

装备环境工程 / 宣兆龙编著. -- 2 版. -- 北京 :
北京航空航天大学出版社, 2015. 5
ISBN 978 - 7 - 5124 - 1787 - 8
I. ①装… II. ①宣… III. ①武器装备—环境模拟—
研究 IV. ①TJ06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 097827 号

版权所有,侵权必究。

装备环境工程(第 2 版)

宣兆龙 编著

责任编辑 王 实

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:20.25 字数:518 千字

2015 年 7 月第 2 版 2015 年 7 月第 1 次印刷 印数:2 000 册

ISBN 978 - 7 - 5124 - 1787 - 8 定价:59.00 元

再版前言

《装备环境工程》自 2011 年 3 月初版发行后,先后在军械工程学院、北京航空航天大学、北京理工大学等军地院校,兵器工业第 59 所、203 所等研究机构,以及北京军区、南京军区等部队用于相关专业教学、岗位培训和技术参考,并于 2012 年获总装备部教学成果一等奖,这使我们备受鼓舞。不少兄弟单位的有关领导、专家乃至学生就本书的系统、内容、习题等方面提出了许多宝贵意见,这使我们受益匪浅。在此,我们谨向所有读者致以衷心的感谢!

2013 年 12 月,《装备环境工程》被列为工业和信息化部“十二五”规划教材项目。根据立项要求和评审专家的意见,结合三年来的教学实践及本领域研究进展情况,我们对该书进行了修订。主要修改情况如下:

(1)对书中涉及的某些基本概念与知识,如装备环境工程、装备环境仿真等,作了更深入的分析与论述;

(2)结合科研进展及学术前沿,如装备防护技术、环境试验方法等,补充了应用实例和最新研究成果;

(3)对一些在目前所起作用不大的内容,予以删除;

(4)各章中都增加了习题。

此次修订,由宣兆龙统稿。其中,第 1、3、5 章由宣兆龙执笔;第 2 章由安振涛、吴雪艳执笔;第 4 章由高欣宝、李天鹏执笔;第 6 章由段志强、张倩执笔;第 7 章由武洪文、傅孝忠执笔。修订过程中,参考了国内外的有关著作、资料及相关学术研究成果,以期内容更加充实完善,在此向文献的作者表示深深的谢意。

由于成书仓促,疏误在所难免,切望广大读者不吝赐教,以利今后提高。

作 者

2015 年 1 月于石家庄

前 言

装备是部队训练和作战的物质基础,是部队战斗力的重要组成部分。装备的储存、运输、使用均在一定环境条件下进行,其自身性能、可靠性、安全性等也就必然受到环境因素的影响。因此,对于“装备-环境”系统的研究一直是武器系统与运用工程研究领域的有机组成部分。

装备环境工程着眼于装备作战及保障,落脚于装备运用环境。环境对武器装备的影响问题是随着武器装备的进步和作战样式的发展而不断发展变化的。众所周知,在冷兵器时代,环境对武器装备的使用基本上没有影响;热兵器时代,虽然环境对武器装备的作战性能有影响,但是在兵器制造过程中也基本上没有考虑环境适应性等相关问题;而在机械化兵器时代,则开始考虑武器装备的环境适应性问题;到了信息化时代,武器装备的发展呈现出技术先进性与系统复杂性,同时武器系统与运用环境的关系也空前密切。在信息化时代,环境对装备的影响已不仅是安全储存和正常使用的问题,而更加重要的是在正常使用的环境范围内具有不同的作战效果和效益,环境已成为影响武器装备实战性能、衡量战斗力的重要因素。因此,全面开展装备运用环境的效应分析、质量评估,以及试验方法、防护技术、适应性论证和模拟仿真等就显得尤为必要。近年来,上述研究内容经过逐步发展完善,业已形成了一门新的学科方向——装备环境工程。本书旨在从环境出发,系统阐述装备环境工程的体系内涵、基本内容、关键技术及典型应用,初步构建装备环境工程的内容体系,以期为相关研究提供技术支持,并促进装备环境工程研究的发展、深化和融合。

全书共分为7章。第1章概述装备环境工程的基本概念、发展沿革及内容体系;第2章介绍大气环境、力学环境、电磁环境对武器装备的作用效应;第3章介绍装备环境评价的基本方法及应用;第4章介绍环境试验的程序、方法及典型环境试验技术;第5章分别针对大气、力学、电磁环境,介绍装备防潮防护、缓冲包装防护、电磁屏蔽防护等装备



防护技术;第6章介绍装备环境适应性的概念、要求、论证要求及评价方法;第7章介绍仿真技术及其在装备环境工程中的应用。

全书由宣兆龙、易建政统稿。其中,第1~3、5章由宣兆龙执笔;第4章由高欣宝执笔;第6章由易建政执笔;第7章由李天鹏、段志强执笔;安振涛、傅孝忠、戴祥军、李德鹏、张倩、贾英江参与了本书部分章节的编写、修订。在本书编写过程中,参考了国内外的有关著作、资料及相关学术研究成果,在此向文献的作者表示深深的谢意。

限于作者水平,书中疏漏在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2010年12月于石家庄

目 录

第 1 章 装备环境工程概论	1
1.1 装备及运用环境	1
1.1.1 装备与环境	1
1.1.2 装备运用环境	7
1.2 装备环境工程及研究进展	16
1.2.1 装备环境工程概述	17
1.2.2 装备环境工程标准	23
1.2.3 装备环境工程通用要求	27
1.2.4 装备环境工程研究体系	30
习 题	32
第 2 章 装备环境效应	33
2.1 大气环境效应	33
2.1.1 大气环境	33
2.1.2 大气腐蚀	36
2.2 力学环境效应	46
2.2.1 振 动	47
2.2.2 冲 击	55
2.3 电磁环境效应	61
2.3.1 电磁环境及其作用	61
2.3.2 静电效应	65
2.3.3 雷电效应	70
2.3.4 电磁脉冲效应	74
习 题	78
第 3 章 装备环境评价	79
3.1 装备环境评价概述	79
3.1.1 基本概念	79
3.1.2 环境评价基本方法	81
3.1.3 环境因子赋权	84
3.2 装备环境评价方法	88
3.2.1 基于层次分析决策的环境评价	88
3.2.2 基于模糊集理论的环境评价	92



3.2.3 基于灰色系统理论的环境评价	95
3.3 装备环境评价案例分析	99
3.3.1 基于层次分析法的弹药管理环境安全评价	100
3.3.2 基于模糊数学理论的弹药野战环境评价	106
3.3.3 基于灰色模糊理论的弹药野战环境评价	113
习 题	116
第4章 装备环境试验	118
4.1 装备环境试验概述	118
4.1.1 试验基本类型	118
4.1.2 试验流程与程序	119
4.1.3 试验方法与信息	122
4.1.4 加速试验技术	124
4.2 气候环境试验	127
4.2.1 低气压(高度)试验	127
4.2.2 高温试验	129
4.2.3 低温试验	133
4.2.4 温度冲击试验	136
4.2.5 太阳辐射试验	139
4.2.6 淋雨试验	143
4.2.7 湿热试验	145
4.2.8 盐雾试验	147
4.3 力学环境试验	148
4.3.1 振动试验	148
4.3.2 加加速度试验	152
4.3.3 冲击试验	156
4.4 电磁环境试验	165
4.4.1 静电测量	165
4.4.2 电磁兼容试验	172
习 题	180
第5章 装备环境防护	181
5.1 防潮阻隔技术	181
5.1.1 表面涂覆技术	181
5.1.2 包装封存技术	189
5.2 缓冲包装防护	197
5.2.1 缓冲包装概述	198
5.2.2 缓冲包装技术	200
5.2.3 缓冲包装材料	202



5.3 电磁屏蔽防护	209
5.3.1 电磁屏蔽理论	209
5.3.2 导电涂料	212
5.3.3 金属镀膜	215
5.3.4 其他电磁屏蔽材料	218
习 题	222
第 6 章 装备环境适应性	223
6.1 装备环境适应性概述	223
6.1.1 基本概念	223
6.1.2 全生命周期下的装备环境适应性	226
6.2 装备环境适应性要求	231
6.2.1 环境适应性要求的确定	231
6.2.2 自然环境适应性要求	235
6.2.3 诱发环境适应性要求	242
6.2.4 综合权衡和可行性分析	247
6.3 装备环境适应性论证	249
6.3.1 环境适应性论证简述	249
6.3.2 典型环境适应性论证	253
6.4 装备环境适应性评价	257
6.4.1 装备环境适应性评价概述	257
6.4.2 装备环境适应性评价方法	260
6.4.3 装备环境适应性评价示例	262
习 题	274
第 7 章 装备环境仿真	275
7.1 装备环境仿真基础	275
7.1.1 装备环境仿真概论	275
7.1.2 系统、模型与仿真	280
7.1.3 装备环境仿真研究的内容	287
7.2 典型装备环境仿真	288
7.2.1 大气环境仿真	289
7.2.2 装备运输性仿真	293
7.2.3 电磁环境仿真	295
7.2.4 战场环境仿真	298
7.2.5 装备环境仿真实例分析	300
习 题	309
参考文献	310

第 1 章 装备环境工程概论

装备环境工程着眼于武器装备(以下简称装备)作战及保障,落脚于装备运用环境,其根本目的在于有效解决装备自身与运用环境之间的基本矛盾,即装备的可靠性、储存性、安全性等在不同环境条件下的适应性问题。环境适应性是装备的重要属性之一,源于设计、制造,并在全寿命过程中体现。因此,装备环境工程是覆盖装备全生命周期的一项重要基础性工作。本章试图从装备运用环境的基本概念入手,分析其对装备的影响,介绍装备环境工程的发展沿革,初步探讨装备环境工程的研究内容体系。

1.1 装备及运用环境

任何装备寿命期内的储存、运输和使用均会受到各种气候、力学和电磁环境的单独、组合和综合的作用。环境使装备(或部件、元器件)的材料和结构受到腐蚀或破坏,导致其性能劣化和功能失常,降低装备作战效能,从而使军事行动受到严重影响。因此,研究装备及其运用环境对于装备作战及保障具有非常重要的意义。

1.1.1 装备与环境

1. 环境与环境因素

(1) 环境

环境(environment)是指周围所存在的条件,这也是直观的字面解释。

对于不同的对象和学科来说,环境的定义也不相同。比如对社会学来说,环境是指具体的人生活周围的情况和条件;对生物学来说,环境是指生物生活周围的气候、生态系统、周围群体和其他种群;对热力学来说,环境是指向所研究的系统提供热或吸收热的周围所有物体。

广义的环境描述:环境是指某一特定生物体或群体以外的空间,以及直接或间接影响该生物体或群体生存与活动的外部条件的总和。换言之,环境既包括以大气、水、土壤、植物、动物、微生物等为内容的物质因素,也包括以观念、制度、行为准则等为内容的非物质因素;既包括自然因素,也包括社会因素;既包括非生命体形式,也包括生命体形式。

系统科学把“研究的对象”称为系统,“系统以外的部分”称为环境。

美国《工程设计手册》(环境部分)中将环境定义为“在任一时刻和任一地点产生或遇到的自然条件和诱发条件的综合体”。

从上述定义可以看出,环境是一个相对概念,是相对于一定的主体而存在的,主体不同,环境的内涵也不相同。即使是同一主体,由于对主体的研究目的及研究尺度不同,环境的大小(分辨率)也各不相同。

本书采用的是环境科学对环境的定义:环境既包括自然界和社会中各种物质性的要素,又包括由这些要素所构成的系统及其所呈现出来的状态。这里的环境要素是物质性要素,要素构成环境,呈现特定状态;而环境作为系统又存在于更大的环境之中,并且与之相互作用,相互影响。



(2) 环境因素

环境因素是指组成环境这一综合体的各种独立的、性质不同而又有其自身变化规律的基本组成部分。环境因素分为自然环境因素和诱发环境因素,具体涉及气候、土壤、生物、地理、机械和能量等各个方面。环境因素分类及其组成如表1-1所列。

表1-1 环境因素分类及其组成

类 型	类 别	因 素
自然 环境 因素	地表	地貌、水文、土壤、植被
	气候	温度、湿度、压力、太阳辐射、雨、固体沉降物、雾、风、盐、臭氧
	生物	生物有机物、微生物有机体
诱发 环境 因素	气载	沙尘、污染物
	机械	振动、冲击、加速度
	能量	声、电磁辐射

表1-1中列出了23个环境因素,这些因素基本包括了各种环境因素,为我们提供了一个完整的环境描述。上述因素中的某些因素或者能够再分成几个因素,或者能与其他因素组合,从而得到一个更为复杂的因素。除了上述环境因素,还有4个因素必须予以考虑,即3个空间维度和1个时间维度。之所以把这4个因素(空间、时间)单独列出,是因为每个环境因素都随地域(包括海域)、空域和时间的变化而变化。具体表现为:某一局部地区的环境因素值与其他地区是不同的;在某一给定地区,某一给定时间的环境与其他时间是不同的。不同的环境中,各环境因素的变化也是不同的。在确定某一给定区域的特定环境因素时,必须考虑到随着时间的变化,这些因素会出现相应的变化。另外,环境因素的重要性也随所处时间、地点的不同而发生变化。因此,我们可以认为环境具有 $(n+4)$ 个参数,即 n 为23个环境因素,其余4个因素为时空因素。

大多数环境因素既不是静止不变的,也不是到处都存在的。环境因素的存在与否及其变化范围和特性,往往作为确定环境条件(如地理区、气候区等)的基本依据。事实上,环境条件也总是以环境因素的组合形式出现的。例如温热地带的特点是有暴雨、空气湿度大、温度不太高、生长着大量的植物,并有大量的微生物和生物,然而不会出现沙尘、雪和雾。美陆军规程AR70-38《在极端条件下所用装备的研究、研制、试验和鉴定》中根据温度情况,将世界气候区划分为炎热、基本、寒冷和严寒4种类型,提供了有关气候区的温度、相对湿度和太阳辐射的工作状态、储存状态的极端数据,这些数据是设计武器装备时的气候要求依据。我国地理区域也可以大致划分为:南方地区,主要为亚热带季风气候(海南岛全部为热带季风性气候);北方地区,主要属于温带季风气候;西北地区,主要属于温带大陆性气候;青藏地区,主要属于高原山地气候。每种气候类型的温/湿度的日平均值、年极值平均值范围和绝对极值范围均不相同,这些数据可作为国内用装备的温湿度环境条件要求的设计依据。

考虑环境对装备的影响时,应仔细分析装备的寿命期内将经历的各种事件和条件及其与环境的关系。但是,对于特定的武器装备来说,其寿命期及其活动范围是有限的,这就决定了它不可能涉及每一个因素及其与其他因素的综合,显然不必考虑上述每一种环境和所有因素综合的影响,而是用有限数量的一组环境因素就能充分地描述其环境。其实,各种环境的重要性也随着武器装备所处的环境而异,有些环境因素可能在某种场合相当重要,在另一种场合则



并非如此,甚至可以忽略不计。如北方冬季环境因素主要考虑低温、风、冰雪(雨)等,对高温、太阳辐射则无需考虑;再如汽车运输环境条件包括振动、冲击、碰撞、加速度等,但实际考虑的主要因素是振动和碰撞。

各种环境因素的相互作用也是必须予以考虑的重要内容。同类环境因素之间存在交互作用,比如气候环境因素中高温会增大水蒸气渗透速度,温度和湿度条件适宜会使霉菌作用加剧;而不同环境因素间也可能存在交叉影响,比如气候环境条件与一定的地形地貌结合可加剧环境因素的作用,包括高温会加速沙尘对装备部组件的磨损速度,湿度与沙尘结合使装备组成材料加速变质等。表1-2列出了常见的环境因素交互作用。

表1-2 环境因素交互作用

环境因素	高 温	低 温	湿 度	低 压	盐 雾	霉 菌	沙 尘	冲 击	振 动	太阳辐射
高 温	—	×	水蒸气渗透率增大	相互增大影响	盐雾腐蚀加剧	适当高温助长霉菌	加快沙尘磨蚀	相互加强	相互加强	客观存在
低 温	×	—	湿度随温降而降低	加速密封泄漏	降低盐雾腐蚀	影响霉菌生长	加剧沙尘侵入	极低温有加剧作用	极低温有加剧作用	相互减弱
湿 度	水蒸气渗透率增大	湿度随温降而降低	—	加强低压影响	减小盐雾浓度	助长霉菌	加剧作用	○	加剧电工材料击穿	加剧有机材料腐蚀
低 压	相互增大影响	加速密封泄漏	加强低压影响	—	×	○	×	○	增大影响	○
盐 雾	盐雾腐蚀加剧	降低盐雾腐蚀	减小盐雾浓度	×	—	×	加剧作用	○	加剧电工材料击穿	盐雾腐蚀加剧
霉 菌	适当高温助长霉菌	影响霉菌生长	助长霉菌	○	×	—	○	○	○	助长霉菌
沙 尘	加快沙尘磨蚀	加剧沙尘侵入	加剧作用	×	加剧作用	○	—	○	加快沙尘磨损	可能产生高温
冲 击	相互加强	极低温有加剧作用	○	○	○	○	○	—	○	○
振 动	相互加强	极低温有加剧作用	加剧电工材料击穿	增大影响	加剧电工材料击穿	○	加快沙尘磨损	○	—	加速材料变质
太阳辐射	客观存在	相互减弱	加剧有机材料腐蚀	○	盐雾腐蚀加剧	助长霉菌	可能产生高温	○	加速材料变质	—

注:表中,“—”表示同一因素;“×”表示一般不会出现或不相容;“○”表示无明显作用。



2. 环境定量描述

定量描述环境是研究环境条件及进行环境条件标准化的基础。同时,为了分析环境对武器装备的影响,对环境进行定量描述也是十分必要的。

(1) 数据描述

为应用于工程实际,环境必须采用定量化的描述。例如,只有已知湿热地区的温度和湿度数据,才能对这一地区的装备器材进行设计和环境试验。理论上讲,所有环境因素都应采用量化描述,但实际上这往往受到许多因素的限制。例如,生物环境就难以用参数来进行描述。

环境因素本身的量化表述以及环境对装备影响的量化表述,是对环境条件进行标准化处理的两类常用数据。两种类型的数据(前者是关于环境自身的,后者是关于环境对装备影响的)同样重要,比如有关电子元件的工作温度及其随时间发生变化的性能之间的关系、各种材料的腐蚀速度(随时间和环境条件的变化)、各种形式的辐射能对装备的有害影响等。如何获得这两类有效数据是一个复杂的工程问题,最简单、最直接的方法是对这些环境参数进行直接测量。由于测量程序、仪器(及精度)、数据处理方法的差异等方面的影响,往往会带来测量数据的差异,这就需要对数据进行统计分析,然后再应用于环境工作。

需要指出的是,对各种环境因素和由环境因素产生的影响来说,时间都是一个重要的参数。由于在自然环境中很少存在稳定条件,所以环境条件可以在短时间内发生显著改变。研究表明,某一环境因素产生的影响与此环境因素的强度以及暴露于此环境内的时间有关,并且有很强的非线性关系。

(2) 模型描述

应用数学方法,建立各类环境的数学模型或物理模型环境是环境定量描述的另一重要方法。模型描述能够反映环境因素之间的逻辑关系、各类环境因素之间的相互影响关系以及各环境因素取值的边界条件。常见的环境参数模型见表1-3。

表 1-3 常见的环境参数模型

环境因素	环境参数	数学模型
风 速	风速随高度变化	$V_z = V_1 (Z_2/Z_1)^a$
	阵风因子	$G_z = 1 + A \exp(-BV)$
淋 雨	淋雨强度	$R_t = At^B$
温 度	极值温度	$T_g = aI + b$ $I = \bar{T} + (\bar{T}_{\max} - \bar{T}_{\min})$
沙 尘	颗粒大小分布	$I_n M_a = I_n M_g + 2\sigma_g^2$
	颗粒形状系数	$d_{st} = d_p \sqrt{\alpha_s/\pi}$
振 动	振动频率	$f = 1/T$
冲 击	固有频率	$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}}$
	阻尼比	$\xi = \frac{c}{2\sqrt{Km}}$
加 速 度	总加速度大小	$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$
	总加速度方向	$\tan \theta = \frac{a_t}{a_n}$



环境参数模型的本质是描述参量间的相互关系,主要用途是对环境进行分析。环境参数模型分为机理模型和统计模型,这两种模型对于定量分析环境及其影响都是必要的。机理模型是依据过程的质量、能量及动量守恒的原则,以及反应动力学等原理来建立的,属“白箱”模型,如冲击、振动、加速度的相关模型。统计模型是依据过程输入、输出数据,利用一定的统计方法对数据进行分析来建立的,属于“黑箱”模型,如描述温度和反应速率之间关系的阿汉尼斯方程,用此方程作为描述装备与温度有关的变化模型。虽然这些模型与实际情况间存在误差甚至误差比较大,但在进行环境分析时,模型还是非常有用的。例如:美陆军规程AR70-38中的气候类型模型就给出了温度和湿度的范围、温度和湿度的循环以及其他因素的极限值。另外,如标准大气模型、降雨量和降雨强度之间的数学关系,以及根据积累的气象记录做出的典型日的描述等都是常见模型。

3. 环境对装备的影响

装备在完成自身功能的同时,也处于操作人员、工作对象及周围环境的交互作用中,这种互为因果的关系是自然界各种现象的普遍表现方式。任何一类环境因素均对处于其中的装备有影响,综合各类环境因素对装备的影响作用,绝大部分是负面影响。美国国防部的调查表明:环境造成装备的损坏占整个使用过程中损坏的50%以上,超过了作战损坏;在库存期,环境造成的损坏比例占整个损坏的60%。装备的环境适应性问题一直困扰着各国军队,由于装备环境适应性差而造成装备难以形成战斗力的例子不胜枚举。因此,无论是研发设计还是鉴定试验,环境因素对装备的影响都是必须考虑的问题。

环境条件对武器装备的影响从作用程度或后果上可分为两类。一类是产生暂时影响,也叫做功能失效,即在装备使用过程中,由于环境应力的作用,使装备不能完成预定的功能或其特征参数超过允许的范围,使得装备不能正常工作,但当环境应力减小或撤除后又能够恢复功能和进行正常工作。另一类是产生永久性后果,也叫做结构失效,即由于环境应力的作用使装备的机械结构损坏,使构成装备的零部件不能完成预定的功能,引起装备失效,而且在环境应力减小后装备不能恢复功能。前者环境条件称为工作环境条件,后者环境条件称为承受环境条件。显然,承受环境条件比工作环境条件更加严酷。

环境对装备产生影响的效应是复杂的,而且往往是综合性的,具体表现为性能降低、可靠性降低、使用寿命缩短等,各种影响的结果,最终都反映在武器装备作战性能的发挥上。另外,在讨论环境对武器装备的影响时,还必须考虑环境因素对武器装备的要求,以及由此带来的研制、生产、维修成本提高,这两者都是非常重要的。

(1) 性能降低

武器装备是担负作战使命的特种机械,由于各种环境因素的影响,武器装备的各项性能,如射击精度、材料强度、零部件寿命、维修性及安全性等,均有不同程度的降低。

大量的事实说明,环境因素对装备的影响首先从影响装备的表面防护开始。由于大多数装备材料均采用表面处理加以防护,如金属镀层、涂层或表面化学处理等,这些表面防护层暴露于各种环境因素中,随着时间的推移将会逐渐脱落甚至损坏,有时这一损坏过程进行得比机构本身损坏更快。温度、湿度、太阳辐射、降雨、固体沉积物、沙尘、盐雾、生物及微生物等都能使装备防护层损坏,这些因素往往综合起来或其中一个因素促使其他因素起作用,造成装备材料某一结构上表面保护层大量剥落,从而使材料本体完全暴露于环境中造成氧化、腐蚀、变质等,并导致装备性能降低。



环境因素对装备性能的影响还体现在多个方面。例如,承受振动和冲击的装备容易在应力集中部位出现裂痕。在金属上出现的应力交变和随后在应变点通过微观裂纹诱发的腐蚀作用,是装备产生裂纹的主因。金属器件在大气中的盐雾或污染物作用下,将逐渐被腐蚀,直至失效。沙尘不但对装备表面有磨蚀作用,而且将渗入产品内部,增加机构运动的摩擦阻力,污染开关接触器,降低绝缘性能。温度的交替和湿度的变化,往往引起塑料元件的老化和脆断,并给装备本身带来意料不到的危害。温湿度因素还容易引发电子元器件的电性能下降,如绝缘被击穿、电阻值改变、元器件物理性能破坏以及一些工作装置参数的变化。冲击、振动与湿度的综合作用则可产生更为严重的物理损坏,如电线折断、绝缘体裂纹及电器机械机构出现故障。

(2) 可靠性降低

由于环境因素的诱发作用,不仅降低了装备的使用性能,也增大了装备出现故障的频率,从而降低了装备的可靠性。大量的统计数据表明,装备的使用可靠度或任务可靠度均低于装备初始设计时的可靠度。

环境条件与可靠性设计和试验密切相关,在装备设计中,为了保证装备在预期使用环境下能够正常工作并达到规定的可靠性,必须首先了解装备的预期使用环境及各类环境的特殊要求,而后根据这一要求进行装备的可靠性设计,如材料选择、结构设计等。对装备可靠性进行预测时,也必须以环境条件为基础,预测产品在一定环境条件下的可靠性。可靠性试验则与环境应力类型选择和应力大小是否适当有关。围绕装备-环境所开展的环境因素影响分析、环境防护研究,以及故障模式、失效机理等方面的信息,对于分析装备故障和采取纠正措施具有参考价值。图1-1中列出了环境与可靠性之间的关系。

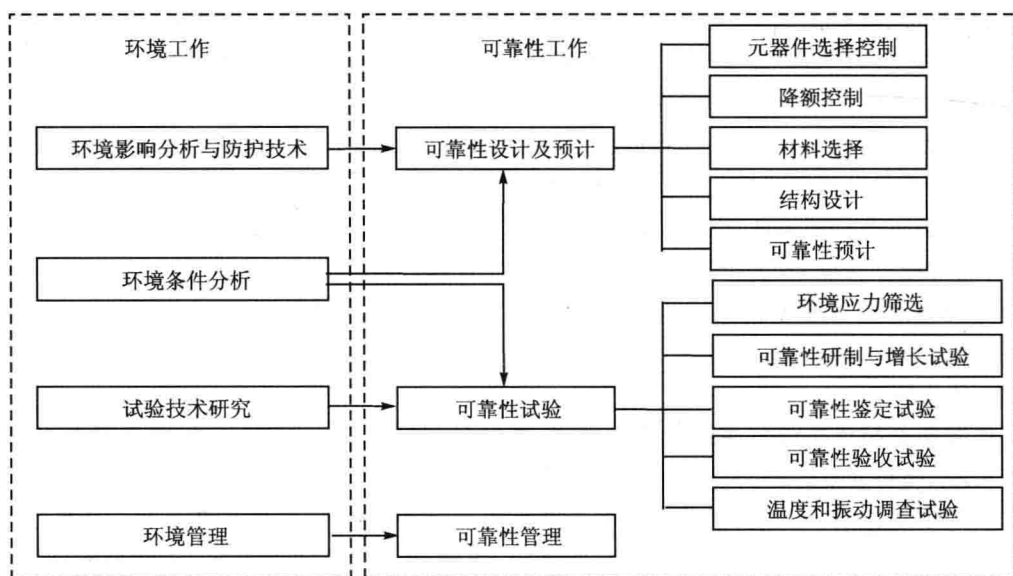


图 1-1 环境与可靠性之间的关系

(3) 使用寿命缩短

由于环境因素的影响,武器装备的使用寿命将明显缩短。一方面装备在储存和运输中受到各种环境因素的影响,甚至尚未使用就已损坏;更多的情况则出现在武器装备的工作状态,



因为此时装备的各元器件更多地暴露于环境应力下,在有害介质、高温和低温、沙尘、电磁辐射、核辐射等的作用和影响下,使装备本体受到磨损、腐蚀和疲劳,零部件的使用强度下降,并伴有构件材料老化等物理-化学破坏过程,从而缩短装备的使用寿命。例如:雨水、盐雾、生物往往造成金属生锈、光学仪器发霉和织物腐烂,从而造成各种装备和器材过早淘汰;风吹日晒引起的塑料和橡胶软管老化;低温条件下出现的材料脆断、活动件卡死;储存运输过程中湿热带来的腐蚀;冲击和振动带来的应力应变及微观裂纹,等等。此外,白蚁损坏木材,海洋凿船虫等侵蚀桩材,废蠹物毁坏纺织品,沙尘磨损车辆刹车片等,也是环境因素缩短装备使用寿命的典型例子。

(4) 成本提高

环境因素对武器装备的使用提出了各种要求,这使得装备在研制阶段必须考虑耐环境设计。例如设计者不得不考虑一些附属结构,以确保装备的耐环境能力。这些用于适应各种环境的特殊设施及防护装置,在增强装备环境适应能力的同时,也增加了装备的研制、维修和采购费用。

武器装备成本除了与耐环境设施设备有关以外,还与装备使用寿命长短、军事应用情况、后勤支援模式和维修保障内容紧密相关。由于环境因素的影响,导致装备性能劣化,增加了维修负担;缩短使用寿命,增加了采购和后勤支援任务;对于特殊武器装备提出了新的防护要求;提高装备性能要求,导致研制生产成本提高;影响了军事行动的成败。要使武器装备满足军用规范中的环境要求,必然会使装备成本提高。事实上,要求某一种装备(设备)在各种环境因素的全部变化范围内都能正常工作是非常困难的,要证实装备满足各种要求的程度,必须进行相应的试验,而这些工作最终也都会反映在武器装备采购成本的提高上。

1.1.2 装备运用环境

环境是相对于研究对象而提出的,因研究对象的不同而不同,随研究对象的变化而变化。对于武器装备而言,围绕武器装备的外部空间、外部条件和外部状况,构成了装备的环境。理论上讲,一切环境因素均能对武器装备产生影响,但本书研究的环境是指装备在储存、运输和使用过程中所处的境况,我们称为装备运用环境。

1. 定义

根据环境定义及装备运用特征,可作如下定义:装备运用环境是装备在任一时刻和任一地点产生或遇到的自然条件、平台条件以及能量环境的综合体。这里的自然条件是指地表、气候、生物及水文等自然环境条件;平台条件主要指装备自身或者装备所处的搭载平台的环境,包括物理环境、逻辑环境、数据环境、安全环境、用户环境及技术标准;能量环境则主要是指力学环境、电磁环境及噪声环境等。

2. 分类

装备所面临的环境复杂多变,根据装备的军兵种和所要承担作战任务的不同,其所遭遇的环境也具有各自不同的特点。例如,对于步兵武器装备而言,作战人员所能到达的地域就是装备面临的环境条件,因此可以说步兵武器几乎要面临所有自然和诱发的环境条件;对于特种兵而言,如水下蛙人携带的武器还要承受水下环境条件,空降兵携带的武器则要承受强烈的冲击环境条件;对于海军武器装备而言,所承受的环境条件主要是船舶的颠簸所产生的振动环境和



海上盐雾造成的腐蚀环境;对于各种车载和机载武器而言,所面临的一个突出环境问题则是冲击加速度效应对装备可靠性的影响。

根据装备运用环境的定义,可以得到装备运用环境的不同分类方法。

(1) 根据装备寿命周期分类

在装备自出厂到寿命终结的过程中,有关事件和条件的时间历程是装备的寿命期剖面。寿命期剖面通常包括以下事件(阶段):运输(阶段)、储存/后勤供应(阶段)、执行任务/出击(阶段)。与装备寿命期剖面对应的环境种类及其时序的描述称为寿命期环境剖面,由此可将装备运用环境分为储存环境、运输环境和使用环境等,每种环境条件又包括诱发环境应力和自然环境应力。

1) 储存环境

储存可分为三种情形,即后勤装卸运输、有遮蔽储存和无遮蔽储存。各状态条件下武器装备所受的储存环境应力如表 1-4 所列。

表 1-4 装备储存环境应力

储存环境 环境应力	后勤装卸运输	有遮蔽储存	无遮蔽储存
诱发环境应力	道路冲击(颠簸) 道路振动(随机) 装卸冲击(跌落/翻倒) 温度冲击(空投)	无	无
自然环境应力	高温(干/湿) 低温/冰冻 淋雨/冰雹 沙尘 盐雾 太阳辐射	高温(干/湿) 低温/冰冻 盐雾 生霉 化学侵蚀	高温(干/湿) 低温/冰冻 淋雨/冰雹 沙尘 盐雾 太阳辐射 生霉 化学侵蚀

2) 运输环境

装备在寿命期经常处于运输状态,常见的运输手段有公路运输、铁路运输、航空运输和水路运输等。不同运输手段(含装卸)所受的运输环境应力也有较大差别,如表 1-5 所列。

表 1-5 装备运输环境应力

运输环境 环境应力	公路运输	铁路运输	航空运输	水路运输
诱发环境应力	道路冲击(颠簸) 道路振动(随机) 装卸冲击(跌落/翻倒)	铁路冲击(起动急移) 铁路振动 装卸冲击(跌落/翻倒)	飞行中振动(发动机/ 滑轮诱发) 着陆冲击 装卸冲击(跌落/翻倒)	波浪诱发振动(正弦) 波浪正弦冲击 水雷/爆炸冲击 装卸冲击(跌落/翻倒)