

装备环境工程

ZHUANGBEI HUANJING
GONGCHENG

宣兆龙 易建政 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

装备环境工程

宣兆龙 易建政 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书着眼于装备作战及保障,针对装备运用环境构成及其特点,初步构建了装备环境工程研究内容体系,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。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、功能材料相关工程技术人员参考,也可作为相关专业培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

装备环境工程/宣兆龙,易建政编著. —北京:国防工业出版社,2011.3

ISBN 978-7-118-07299-0

I. ①装... II. ①宣... ②易... 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(2011)第 018983 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20½ 字数 495 千字

2011 年 3 月第 1 版 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

编委会名单

主 编 宣兆龙 易建政

副主编 高欣宝 李天鹏 段志强

编 者 (按姓氏笔画排序)

安振涛 李天鹏 李德鹏 张 倩

易建政 段志强 宣兆龙 贾英江

高欣宝 傅孝忠 戴祥军

前 言

武器装备是部队训练和作战的物资基础,是部队战斗力的重要组成部分。装备的储存、运输及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没有影响;热兵器时代虽然环境对武器装备的作战性能有所影响,但是在武器制造过程中基本没有考虑环境适应性等相关问题;机械化兵器时代开始考虑武器装备的环境适应性问题;信息化时代,武器装备发展呈现技术先进性与系统复杂性,与此同时武器系统与运用环境的关系空前密切。环境对装备的影响已不仅是安全储存和正常使用的问题,更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子。因此,全面开展装备运用环境的效应分析、质量评估、试验方法、防护技术、适应性论证、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,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,以期对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。第一章概述装备环境工程的基本概念、发展沿革及内容体系;第二章介绍大气环境、力学环境、电磁环境对武器装备的作用效应;第三章介绍装备环境评价的基本方法及应用;第四章介绍环境试验的程序、方法及典型环境试验技术;第五章分别针对大气、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;第六章介绍装备环境适应性的概念、要求、论证要求及评价方法;第七章介绍仿真技术及在装备环境工程的应用。

全书由宣兆龙、易建政统稿。其中,第一、二、三、五章由宣兆龙执笔;第四章由高欣宝

执笔；第六章由易建政执笔；第七章由李天鹏、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。在本书的编写过程中，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。

目 录

第一章 装备环境工程概论	1
第一节 装备及运用环境	1
一、 装备与环境	1
二、 装备运用环境	5
第二节 装备环境工程及研究进展	15
一、 装备环境工程概述	16
二、 装备环境工程标准体系	23
三、 装备环境工程通用要求	27
四、 装备环境工程研究体系	30
第二章 装备环境效应	32
第一节 大气环境效应	32
一、 大气环境	32
二、 大气腐蚀	36
三、 大气腐蚀环境因子	44
第二节 力学环境效应	47
一、 振动	47
二、 冲击	55
第三节 电磁环境效应	61
一、 电磁环境及其作用	62
二、 静电效应	67
三、 雷电效应	72
四、 电磁脉冲效应	76
第三章 装备环境评价	80
第一节 装备环境评价概述	80
一、 基本概念	80
二、 环境评价基本方法	82

	三、环境因子赋权.....	86
第二节	装备环境评价方法.....	90
	一、基于层次分析决策的环境评价.....	90
	二、基于模糊集理论的环境评价.....	93
	三、基于灰色系统理论的环境评价.....	96
第三节	装备环境评价案例分析.....	101
	一、基于层次分析法的弹药管理环境 安全评价.....	102
	二、基于模糊数学理论的弹药野战 环境评价.....	109
	三、基于灰色模糊理论的弹药野战 环境评价.....	116
第四章	装备环境试验.....	121
第一节	装备环境试验概述.....	121
	一、试验分类.....	121
	二、试验工作流程.....	122
	三、试验程序.....	124
	四、试验方法的确定.....	125
第二节	大气环境试验.....	126
	一、低气压(高度)试验.....	127
	二、高温试验.....	129
	三、低温试验.....	133
	四、温度冲击试验.....	137
	五、太阳辐射试验.....	140
	六、淋雨试验.....	145
	七、湿热试验.....	147
	八、盐雾试验.....	149
第三节	力学环境试验.....	150
	一、振动试验.....	150
	二、加速度试验.....	154
	三、冲击试验.....	158
第四节	电磁环境试验.....	169
	一、静电测试技术.....	169
	二、电磁兼容试验技术.....	177
第五章	装备环境防护.....	185
第一节	装备防潮防护.....	185
	一、表面涂覆技术.....	185
	二、包装封存技术.....	197

第二节	缓冲包装防护	206
	一、缓冲包装概述	206
	二、缓冲包装技术	209
	三、缓冲包装材料	211
第三节	电磁屏蔽防护	218
	一、电磁屏蔽理论	218
	二、导电涂料	221
	三、金属镀膜	224
	四、其他电磁屏蔽材料	227
第六章	装备环境适应性	232
第一节	装备环境适应性概述	232
	一、基本概念	232
	二、全寿命周期下的装备环境适应性	235
第二节	装备环境适应性要求	240
	一、环境适应性要求的确定	240
	二、自然环境适应性要求	244
	三、诱发环境适应性要求	251
	四、其他要求	257
	五、综合权衡和可行性分析	258
第三节	装备环境适应性论证	259
	一、环境适应性论证简述	259
	二、典型环境适应性论证	263
第四节	装备环境适应性评价	267
	一、装备环境适应性评价概述	267
	二、装备环境适应性评价方法	271
	三、装备环境适应性评价示例	273
第七章	装备环境仿真	285
第一节	装备环境仿真概述	285
	一、装备环境仿真的概念与特点	285
	二、装备环境仿真技术作用	286
	三、装备环境仿真技术发展现状	287
第二节	系统建模与仿真	290
	一、基本概念	290
	二、系统建模	292
	三、系统仿真	296
第三节	典型装备环境仿真	301
	一、大气环境仿真	301

二、 运输模拟仿真	305
三、 电磁环境仿真	308
四、 战场环境仿真	311
参考文献	315

第一章 装备环境工程概论

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,其根本目的在于提高装备环境适应性。装备环境适应性是装备的重要质量特性,虽然在使用中体现,但源于设计、制造阶段,只有在全寿命期开展环境工程工作,才能不断提高装备的环境适应性,环境工程标准则是有效开展这项工作的基础。本章从装备运用环境基本概念入手,分析其对装备影响,阐述装备环境工程发展沿革,初步构建装备环境工程的研究内容体系。

第一节 装备及运用环境

任何武器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,这必然会使武器装备的材料和结构受到腐蚀或破坏,导致元器件、部件和装备性能劣化和功能失常,降低作战效能,严重影响军事行动。因此,研究装备及其运用环境对于装备作战及保障具有重要意义。

一、装备与环境

(一) 环境与环境因素

1. 环境

环境,从字面解释即“周围的境况”(摘自《辞海》)。

系统科学把“研究的对象”叫做系统,“系统以外的部分”叫做环境。

《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”。

环境科学对环境的定义:环境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。也就是说,世界是物质的,物质构成环境,存在于一定环境之中,并且与环境互为作用、相互影响。

从上述定义可以看出,环境的描述是为特定目的服务的。环境既涉及各种自然和诱发的因素,同时又与时间、空间密切相关。

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,分为自然环境因素和诱发环境因素,具体涉及气候、地理、生物、机械和能量等各个方面。环境因素分类及其组成见表1-1。

表 1-1 环境因素分类及组成

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 中列出的 23 个环境因素基本包括了各种环境因素,其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,从而得到一种更为复杂的因素。可以认为环境具有($n+4$)个参数, n 即 23 个环境因素,其余 4 个因素即三个空间坐标和一个时间坐标。考虑环境对装备影响时,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,其寿命期及活动范围是有限的,这就决定了其不可能涉及每一个因素及其与其他因素的综合,即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。

之所以把 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)、空域和时间的不同而变化。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也是不同的;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、地点不同而变化。

大多数环境因素既不是静止不变的,也不是处处存在的。环境因素的存在与否及其变化范围和特性,往往作为确定地理区特别是气候区的基本依据。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。美国陆军规程 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、寒冷和严寒四种类型,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,这些数据可作为设计武器装备时对气候要求的依据。GJB 4797.1 根据全国范围内不同的户外温度、湿度条件规定了六种气候类型,给出了这六种气候类型的温度、湿度的日平均值、年极值平均值范围和绝对极值范围。这些资料也可作为在我国范围武器装备的温湿度环境条件要求的设计依据。

(二) 环境对装备的影响

装备在完成自身功能的同时,又处于周围的环境、操作者、工作对象等环境的交互作用中。这种互为因果的关系是自然界各种现象的普遍表现方式。任何一个环境因素均对处于其中的装备有影响,而且很多是负面影响。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是必须考虑的问题。

环境条件对武器装备的影响程度与后果主要表现为两个方面:一是产生暂时影响,即在装备使用过程中,因环境影响使得装备不能正常工作,但当环境应力减少或撤除后又能够恢复功能和进行正常工作,这种环境条件称为工作环境条件;二是产生永久性后果,即在环境应力减少后不能恢复功能,使装备损坏或失效,这种环境条件称为承受环境条件。上述两种影响

的结果,最终都反映在武器装备作战性能的发挥上。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,一般可分为两大类:一类是对装备力学性能的影响,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;另一类是对装备功能的影响,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。尽管两类影响都使装备系统不能很好地完成规定任务,但机械影响可以表现为一个或多个零部件的实际损坏或失效。具体表现为以下四个方面。

1. 性能降低

武器装备是担负作战使命的特种机械,由于各种环境因素影响,武器装备的各项性能,如射击可靠性、材料强度、零部件寿命、维修性、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是从影响装备表面防护开始。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、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,进而导致材料氧化、腐蚀变质等。

环境因素对装备的影响还体现在其他性能方面。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的作用下,将逐渐被腐蚀,直至失效;沙尘不但对装备表面有磨蚀作用,而且将渗入装备内部,增加机构运动的摩擦阻力,污染开关接触器等(降低绝缘性能);温度的交替和湿度的变化,往往引起塑料元器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、振动与温度的综合作用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等。

2. 可靠性降低

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,预测其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 列出了环境与可靠性的关系。

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。

3. 使用寿命降低

大量的武器装备由于储存和运输中受到了各种环境的影响,甚至尚未使用就损坏了。由

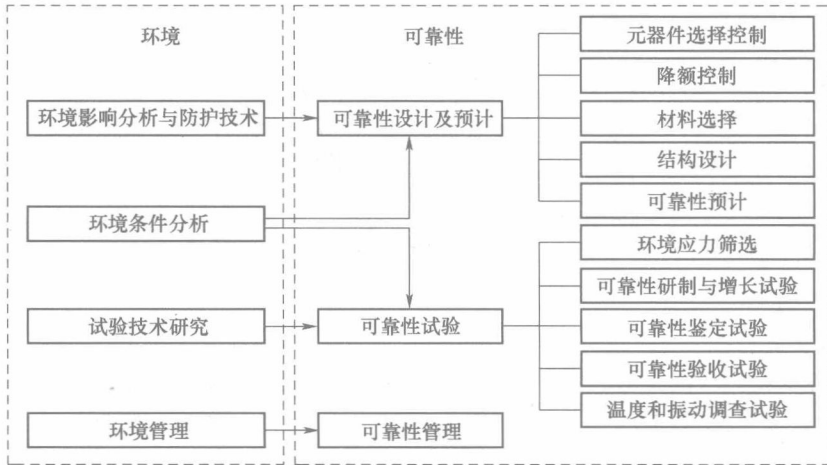


图 1-1 环境与可靠性之间的关系

于环境因素的影响,大量武器装备的使用寿命明显降低,这种情况在武器装备工作状态最为明显,因为此时装备各元器件更多地暴露于环境应力下,零部件的使用寿命下降。有害介质、高低温、沙尘、电磁辐射、核辐射等环境作用和影响,使装备本体受到磨损、腐蚀和疲劳,并伴有金属材料腐蚀现象、聚合材料老化等物理—化学破坏过程,从而缩短装备的使用寿命。例如,雨水、盐雾、生物往往造成装备生锈、发霉和腐烂,造成各种物资和器材过早淘汰;风吹日晒引发的塑料老化、橡胶软管侵蚀;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。此外,白蚁损坏木材、废蠹物毁坏纺织品、沙尘磨损车辆刹车片等也是环境因素降低装备使用寿命的典型例子。

4. 成本提高

由于环境因素的存在,使得设计者在进行装备耐环境设计时,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,增强了装备环境适应能力,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特殊设备有关以外,还与维修及军用武器装备的使用寿命长短以及为满足环境要求所进行的试验费用紧密相关,这些构成了按军用规范(包括严酷的环境要求)进行采购的成本。因此,要使大多数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。

(三) 环境定量描述

为了了解环境对武器装备的影响,研究导致武器装备性能下降的一系列环境效应,对环境进行定量描述是十分有用的。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。

1. 数据描述

如果环境的描述能被设计工程师应用,则它必定是量化的描述。例如,只有已知湿热地区的温度和湿度数据,才能对这一地区的器材进行设计和环境实验。所有的环境因素都要用数量来表示,但是否能做到这一点往往受到许多因素的限制。例如,生物和微生物就难以用参数来描述。定量描述环境因素对装备的影响与定量描述环境因素同样重要。例如,有关电子元器件的工作温度及其随时间而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。

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。在自然环境中很少存在稳定条件,环境条件可以在短时间内发生显著改变。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。

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。要获得这两类有效数据,往往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、仪器精度以及数据处理方法的差异等方面的影响,会带来测量数据的差异,需对其进行统计分析才能应用。

2. 模型描述

环境定量描述的另一种方法就是应用数学方法,建立各类环境的数学模型或物理模型,这些模型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。以装备储存环境为例,其常见的环境参数描述模型见表 1-2。

表 1-2 装备储存环境参数及模型

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

环境的性质及其产生的影响可以用一些模型来表示,它们能反映出现的环境因素之间的逻辑关系,或者表示各环境因素的数值之间的相互影响关系。虽然这些模型与实际情况间误差较大,但在进行环境分析时,模型还是非常有用的。例如,气候模型(美军 AR70-38),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,降雨量和降雨强度之间的数学关系;描述温度和反应速率之间关系的阿汉尼斯方程可作为描述装备与温度有关的变化模型;标准大气是一个表示大气参数的模型。

针对不同目的有不同的模型。一些模型是纯理论性的,而另外一些是根据大量的数据得出的。这两种模型对于定量分析环境及其影响都是必要的。

二、装备运用环境

(一) 定义

装备运用环境是指武器装备在任一时刻、任一地点产生或遇到的自然条件和平台条件以及能量环境的综合体。这里的自然条件指地表、气候、生物、水文等自然环境条件;平台环境主要是指装备自身或者是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、技术标准等;能量环境主要包括力学环境、电磁环境、噪声

环境等。

一般说装备运用环境是指为保障部队战备和作战训练需要,装备在储存、运输、使用、维修等一系列物流过程中所处的境况。显然,装备运用环境作为装备受到各种条件和影响的总和,可简单分为自然和诱发两个方面。任何武器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,必然会使武器装备的材料和结构受到腐蚀或破坏,导致元器件、部件和装备性能劣化和功能失常,降低作战效能,使军事行动受到严重影响。

(二) 分类

武器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,其所遭遇的环境又有很大的区别和不同的特点。对于步兵武器装备而言,只要是作战人员所能到达的地域,武器装备就要面临该地域的环境条件,因此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,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。海军武器装备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对武器装备的腐蚀环境。各种车载和机载武器所面临的一个突出环境问题就是冲击加速度效应对装备可靠工作可能产生致命的影响。

根据装备运用环境的定义,可以得出装备运用环境的不同分类方法。

1. 根据装备寿命周期分类

由于武器装备从出厂到完成任务终止的整个寿命期通常可以分为以下几个阶段:运输阶段、储存/后勤供应阶段、执行任务/出击阶段。武器在每一阶段都要暴露在一定的环境状态中,都会受到各种环境应力的冲击。因此,根据装备寿命周期(流通环节)可将装备运用环境分为储存环境、运输环境、使用环境,每种环境应力产生的机理又有诱发和自然两种,下面分别介绍。

1) 储存环境

储存(及后勤供应)可分为三种情形,即后勤支援运输、有遮蔽储存和无遮蔽储存。各状态武器装备所受的环境应力见表 1-3。

表 1-3 装备储存环境应力

储存环境 环境应力	装卸和后勤支援运输 (最坏路线)	有遮蔽储存 (帐篷、圆顶屋)	无遮蔽储存
诱发环境应力	道路冲击(大颠簸/大坑) 道路振动(随机) 装卸冲击(跌落/翻倒) 热冲击(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 长霉 化学侵蚀	高温(干/湿) 低温/冰冻 淋雨/冰雹 沙/尘 盐雾 太阳辐射 长霉 化学侵蚀

2) 运输环境

武器装备在整个寿命周期经常要处于运输状态,常见的运输手段有公路运输、铁路运输、空运、船运等。运输手段不同所受的环境应力也有较大差别,见表 1-4。

表 1-4 装备运输环境应力

运输环境 环境应力	装卸和公路运输	装卸和铁路运输	装卸和空运	装卸和船运
诱发环境应力	道路冲击 (大颠簸/大坑) 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/滑轮回诱发) 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)
自然环境应力	高温(干/湿) 低温 淋雨/冰雹 沙/尘	高温(干/湿) 低温 淋雨/冰雹 沙/尘	减压 热冲击 (仅是空投)	高温(湿) 低温 淋雨 临时浸渍 盐雾

3) 使用环境

武器装备在使用即执行任务过程中可分为两个阶段:一是准备待发阶段;二是击中目标阶段。武器装备在准备待发之前都是进行部署后使用,主要部署和使用的情形可分为:由徒步战士和地面人员部署和使用、在陆地车辆上部署和使用、船舶上部署和使用以及在飞机上部署和使用。装备处于这些状态之中所受到的环境应力见表 1-5。

表 1-5 装备使用环境应力(准备待发阶段)

使用环境 环境应力	徒步战士和表面 人员部署和使用	陆地车辆上部署 和使用	船舶上部署 和使用	飞机上部署 和使用
诱发环境应力	装卸冲击(跌落/冲 撞/翻倒) 发射/爆炸冲击 噪声 爆炸性大气 电磁干扰	(偏离)道路振动 (偏离)道路冲击 击发射武器振动 击发射武器冲击 装卸冲击 (含工作台操作) 噪声 爆炸性大气 电磁干扰	波浪诱发振动 (正弦) 发动机诱发振动 波浪冲撞冲击 水雷/爆炸冲击 武器发射冲击 噪声 爆炸性大气 电磁干扰 增压(海下)	跑道诱发振动 气动扰动 搏斗机动振动 炮振 起飞/着陆/机动加速 爆炸气体冲击 弹射器发射 制动着陆冲击 装卸冲击 (含工作台操作) 气动加热 噪声 爆炸性大气 电磁干扰