

美军军事极端环境选择的科学表征

文邦伟, 张凯, 袁艺, 刘俊

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: 介绍了美国陆军研究办公室资助陆军研究实验室环境科学部和陆军军官学校地理与环境工程部, 研发了通过地理环境分析提高利用自然环境进行试验和训练的科学判据, 实现了表征任意环境试验站点支持试验任务的能力。在地理环境位置分析中, 采用了8步骤环境试验站评价分析模型, 并给出了理想热带试验区环境条件分析和理想沙漠环境精确的地理学参数分析案例。为最优化试验站点选择, 还研发了附加关键自然环境因素评价等级。研究成果的创新在于通过科学的标准将选择全球最佳自然环境进行现场试验和军事行动的需求与地理背景环境联系起来, 能够对相关环境试验站的选择进行科学表征和评估, 实现装备/材料现场试验与部队训练效益最大化。

关键词: 美军; 自然环境试验; 环境表征; 极端环境

中图分类号: E915

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2021)08-0131-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.08.021

Scientific Characterization of Military Extreme Environment Selection by U.S. Army

WEN Bang-wei, ZHANG Kai, YUAN Yi, LIU Jun

(Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: To guarantee the ability of military equipment and soldiers to execute multiple military tasks under any circumstance in the world, the Environmental Science Division of U.S. Army Research Laboratory and Geography and Environmental Engineering Department of U.S. Military Academy were funded by Army Research Office to find the best natural environment conditions to achieve the maximum benefit for field testing of equipment and materials and army training—namely studying the scientific characterization of extreme environment selection. The U.S. military developed geographic analysis to improve scientific criterion for testing and training with the help of natural environment, representing the ability of the experimental site to support the experimental tasks under any circumstance. The eight-step method has been developed for geographic analysis. The authority of research results lies in its connection of field testing and military actions with geographical conditions. It can provide reference for the scientific evaluation of the natural environmental test site in China.

KEY WORDS: U.S. army; natural environment testing; environmental characterization; extreme environment

武器装备随着环境条件的变化和时间的增长, 必然会出现有形损耗和无形损耗。由于战争的特殊性,

必须考察其在极端自然环境条件下正常工作的能力, 即环境适应性。武器装备良好的可靠性、环境适应性

收稿日期: 2021-05-06; 修订日期: 2021-05-13

Received: 2021-05-06; Revised: 2021-05-13

作者简介: 文邦伟 (1967—), 男, 正高级工程师, 主要研究方向为装备环境试验。

Biography: WEN Bang-wei (1967—), Male, Researcher-level senior engineer, Research focus: equipment environmental engineering.

引文格式: 文邦伟, 张凯, 袁艺, 等. 美军军事极端环境选择的科学表征[J]. 装备环境工程, 2021, 18(8): 131-136.

WEN Bang-wei, ZHANG Kai, YUAN Yi, et al. Scientific characterization of military extreme environment selection to U.S. army[J]. Equipment environmental engineering, 2021, 18(8): 131-136.

已成为军事战斗力的高级倍增器^[1]。对于要完成多样化任务的现代化美军,装备及士兵必须具备在所有地形和任意环境中执行任务的能力。美军把极端自然环境分成沙漠(热与干)、热带(温暖与潮湿)、北极(极寒)等三大类。1812年拿破仑和德军二战时入侵俄罗斯的失败,以及美军在东南亚和中东过去50多年的经历都证明,在极端环境服役的装备,必须进行相应的性能试验。

为应对全球范围可能的行动,美军研发和测试装备在极端环境的功能和性能,以确保先进技术为美军士兵提供最好的装备。然后在严酷环境下,按照军事条例训练士兵使用这些装备。为满足这些要求,军方必须明晰对行动引起最大威胁的自然条件,并在全球范围确定符合条件的地点。美军条例AR70-38发布了针对不同环境的温度、湿度标准^[2],但其他重要环境特征如综合气候、地形地貌和生物多样性对合格装备试验和部队训练也很重要。因1999年美军位于巴拿马的全部热带试验和训练设施关闭,在寻求新热带试验场的过程中,美军研发了进行地理环境分析以提高借助自然环境进行试验和训练更好的科学判据,以表征任意环境试验站点支持试验任务的能力。该方法也适用于沙漠试验和训练场详细环境特征的选择。由于北极极寒环境条件比较单一和特殊,世界上没有可替代选择的其他地区,故未考虑。

1 环境试验^[3]

美军建立了测试其材料、装备及系统的环境适应性试验体系。目前,自然环境试验的任务职责归属亚利桑那州犹马试验场,而北极和沙漠环境试验的管理机构在阿拉斯加的Greeley寒冷气候试验场和犹马试验场内。1977年巴拿马运河条约要求美军在1999年年底前撤离和停止其军事基地和设施的使用,包括已建立的美军热带试验中心,该中心在以前的运河区内,自20世纪30年代就开始使用。自1999年以来,在夏威夷的斯科菲尔德兵营进行了有限的热带试验,尽管那里的环境不能充分覆盖所遭遇的任务需求。

美军研发的特殊试验站点评价程序包括将装备测试任务要求转换成定量和定性的环境标准,该标准可被并入站点选择判断模型。在自然环境中的装备和系统的试验与评价,采用公认的实验室协议和既定的工程实践来管理,以确保试验的可控性、再现性和试验结果的有效性。对一个试验设施的基本要求是:想要的环境条件在一年内或季节内出现。试验也要求好的表征和假定一批野外站点能提供明确的环境条件,它能充分代表士兵、系统和装备在军事行动期间可能遭遇的环境条件。

以往,环境试验被分成3个主要的类型:材料、器材、车辆、武器和弹药的长期暴露试验;装备和系统在周围环境下的技术性能和可靠性试验;在使用环境下系统性能和人员行为的评价。除此之外,新的技术和工艺也必须进行充分测试,包括:传感器(空气传播/空间传播和便携系统);基于电磁传递的信息、数据网络和通讯技术;隐蔽和减低信号技术;产品现有系统改进;所有这些技术的完善和集成。同时,测试和评价新技术也需要充分地了解影响其技术性能的环境因素,以及挑战装备可操作性和可靠性的协同环境影响。

未来评估性能的测试技术将要求更加精密化,这是将来支撑试验与评价的虚拟环境的建模和模拟的可信度所必须的。涉及建模和模拟仿真的数字环境是基于一系列主要环境基准点开发的,而主要环境基准点位于犹马试验场司令部管理的极端气候试验站,这些被详细表征的主要环境基准点是虚拟试验场(VPG)的参考环境点。

2 地理位置分析

2.1 分析程序

美军在地理位置分析中采用一个8步骤程序,见表1。在最初的研究中发现,重新确定位置的热带试验中心是世界上少有的能够支持广泛陆军热带试验要求的理想地理地点,这样的站点在美国领土内也不存在。该结论导致或者终止研究的消极结果,或者扩

表1 环境试验站评价分析模型

Tab.1 Evaluation and analysis model for environment test site

步骤	目的	研究范围
1	定义试验任务	试验机构定义符合定量环境准则的任务要求
2	定义环境要求	选择实现明确试验任务所必须的环境的关键气候、自然和生物特征
3	选择分析层次	确定用于分析的各个环境参数的重要性
4	选择地理区域	采用网格工具进行区域分析
5	选择环境参数	分析试验任务以确定应用于明确任务需求的环境参数
6	选择站点位置	从科学和实际来考虑从选择的区域获得候选站点
7	符合环境准则的站点等级	进行各个候选站点的局部环境的比较评价
8	基于试验任务的站点等级	采用临界标准对照试验任务的各个部分对各个站点进行评级以获得试验能力的等级

展调查研究方法，为后来在热带试验案例中开发一种基于决策树对策方法的站点选择模型奠定了基础。

为方便研究，将表 2 中 14 个环境条件归为气候、

表 2 理想的热带试验区环境条件	
Tab.2 Environmental conditions for an ideal tropical test area	
特征	参数
气候	降水量：2~6 m/a，旱季月份>0.1 m
	温度：最低 18 ℃，日平均 27~0 ℃
	相对湿度：平均 75%，范围 75%~0%
自然背景	地形地势：海平面~500 m 海拔
	站点地形起伏：最低 150 m
	坡度：0~60%，与低地沿海场地一致
	地表水：终年有小（1~2 m）到中等（20 m）宽度的河流，名义流速（<20 m/s）
	土壤：氧化土，老成土，始成土，最小深度 10 m
生物学因素	植被结构：非原始的热带雨林需无干扰生长 25 a 密郁闭森林覆盖
	最少 70%~95%的茎干<10 cm 胸径，剩余茎干>20 cm 胸径
	基生面积为 0.2%~0.7%
	已建立起地被层植物
	微生物：多样的动物群和腐生物种群

自然背景和生物学因素 3 类，这些环境条件包括基本环境因素、增强环境因素和不利环境因素。通常采用一个常规决策树来处理，并根据适用于某一特定试验的判据，从最高到最低优先权对每个因素加以权衡。

2.2 热带环境研究

对于热带环境研究，最基本的参数包括：温度、相对湿度、降雨量、自然地理（地貌/坡度/海拔范围）和生物群落（植被结构）。认为高度可取但非关键的特征包括：热带风暴（飓风和台风）、季节性（首选的最低限度的旱季）、植被类别（森林/沼泽/草原）、地形类别（海滨/海岸沼泽/沿海平原/丘陵）、开发良好和可变的土壤剖面（氧化土/老成土/始成土/新成土）、河流大小和流动情况。可能存在因某些筛选标准原因而排除某些合适场所的情况，如：强烈的地质危险（活跃的火山作用/地震活动/塌方/泥石流）、易受海啸/巨浪影响、存在广泛的岩溶地形（石灰岩）、植被频繁或大范围的扰动（自然和/或人为）、存在高致病带菌体、农牧业影响、工业或城市化、土地使用限制等。可采用决策树评价相关区域，以进一步分析确定候选地点。图 1 给出了最初热带研究的初步结果。

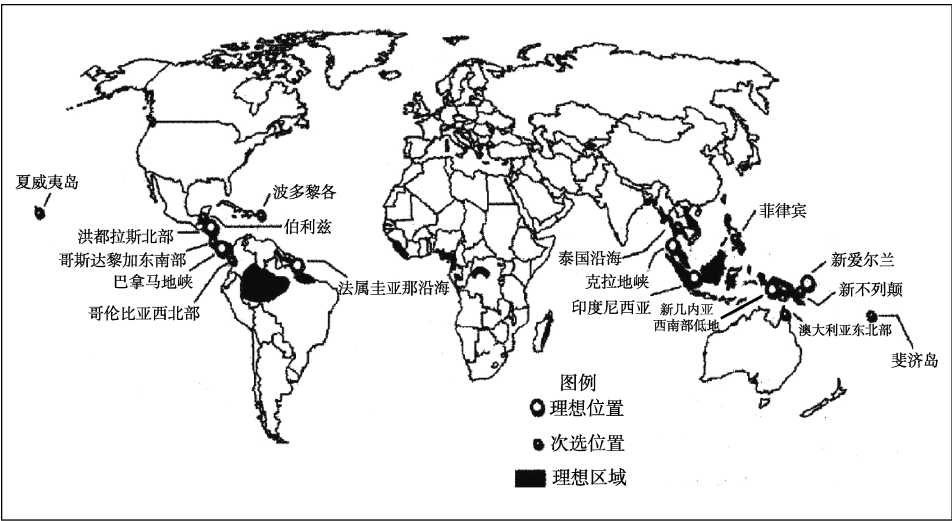


图 1 热带试验设施在世界范围内的最佳位置
Fig.1 Best locations worldwide for a tropic test facility

随着选站模型的发展，不断认识到表 2 中 14 个环境站点参数的每一个参数，对于每一项特定的试验任务（见表 3）都有不同程度的影响或重要性。例如环境暴露是装备研制试验之一。在热带环境背景下，温度、湿度、降雨量和动物群落被认为是关键的环境因素，而树荫则被认为是需要的，但不是必须的。反之，其他 9 个特征，例如坡度和地形地貌，对于成功的静态试验是相对无关紧要的。因此，对于这样的试验任务而言，不应当因为某个站缺少坡度和/或地形地貌的环境因素而将其排除在考虑之外。由此可见，

首先要确定完成每一项特定试验任务的关键环境特征，然后是希望的环境特征，这样就有可能优化该项试验任务每个组成部分的地理位置。

为解决各个站点满足每个标准程度上下限的评定，制定了 0~3 级的评定等级，来评定每个站点对各个环境因素的相对符合性。0 为不可接受，不能提供要求的环境；1 为最低限度，对试验设置一些严格的限制；2 为好，满足全部关键和最希望的标准；3 为理想，即能全面支持试验要求。

最优化热带试验站点选择的结束步骤出现在模

表 3 特定热带试验任务需要的环境因素
Tab.3 Environmental factors required for specific tropical testing missions

任务		环境因素（粗体为关键因素）
装备 研发试验	通讯与电子	地被层植物，树荫，温度 ，湿度，起伏地貌，动物群
	地面与空中探测器	树荫，地被层植物 ，温度，湿度，降雨
	化学与生物防护	动物群，地被层植物 ，温度，起伏地貌
	环境暴露	湿度，降雨，动物群，温度，树荫
操作和人员 性能测试	单兵系统	温度，湿度，树荫，地被层植物，降雨，起伏地貌 ，坡度，土壤
	通讯与电子	树荫，地被层植物，动物群，温度，湿度，地形地貌 ，降雨
	地面与空中探测器	树荫，地被层植物 ，温度，湿度，起伏地貌，土壤
	化学与生物防护	地被层植物，动物群，温度，湿度 ，起伏地貌，树荫
小口径弹药 试验	暴露试验	陆上试验区，温度，湿度，动物群 ，降雨，树荫
	操作试验与发射	陆上试验区，陆上试验区毗邻区 ，温度，湿度
	烟幕与掩蔽	地被层植物，温度，湿度 ，起伏地貌，树荫
大口径弹药 试验	暴露试验	陆上试验区，温度，湿度，动物群，降雨 ，树荫
	操作试验与发射	陆上试验区，陆上试验区毗邻区 ，温度，湿度
	烟幕与掩蔽	地被层植物 ，温度，湿度，起伏地貌，树荫
海岸暴露试验		海水喷溅 ，温度，陆上试验区
车辆机动性试验		土壤，坡度，起伏地貌，降雨，河流 ，地被层植物，湿度

拟夏威夷和波多黎各的特殊候选站点的应用。这一步通过对其各个站点支持试验任务的各个部分的全面能力的分级来实现。为了实现该任务，开发了一个附加的评价等级，该等级对一个特殊的试验（见表 3）仅应用基本的或重要的环境条件。该等级对于评价在给定位置进行特殊试验的能力是必须的。然后各个站点被赋值全部的等级，它反映站点支持特殊试验任务的能力，仅仅基于对该试验的重要环境因素。热带试验研究的分级结果见表 4。

表 4 关键自然环境因素等级
Tab.4 Critical natural environmental factor rating

级别	环境等级评定	站点评价描述
A	全部 3	可接受的试验能力
B	大部分 2	足够，但有某些限制
C	2 和 1	处于可用于试验的边缘
D	大部分 1	不符合要求，若用于试验需严格受限
E	适合的关键因素为 0	完全不可接受

热带试验环境研究评价了夏威夷 8 个地点和波多黎各 4 个地点。夏威夷群岛 Schofield 兵营的环境评价结果见表 5。夏威夷群岛的 Schofield 兵营位于 Lelehua 高地，随着海拔的上升，呈现出显著的乡土地形地貌和悬崖坡面，通过常流河与开发良好的黏土土壤表层排水，年均温度为 21.0℃，降雨量超过低部区域 1200~2000 mm，相对湿度中等偏高，属于森林类型，包括高大的树冠（25 m）、次生林、桉树林和灌丛林，拥有发育良好的地被层植物。根据 14 个标准的等级级别和表 4 的等级图解，对于斯科菲尔德

兵营的“装备研制”、“人员因素试验”、“弹药试验”和“其他试验和训练”这 4 个试验任务，各自的评级分别为 B、C、B 和 B。当研发的这些评级恰当时，则认为在斯科菲尔德兵营站点的“车辆机动性”试验评级为 A，是可接受的试验能力。首先分析表 3，对于该试验，列出了土壤、坡度、地形地貌、降雨量和河流作为关键环境因素。表 5 给出该站点的全部 5 个参数，其中有等级“3”。因此，对该试验任务，存在的全部关键环境条件都为“A”。

表 5 对夏威夷群岛斯科菲尔德兵营的环境评价
Tab.5 Environmental evaluation of Schofield Barracks, Hawaiian Islands

评价标准	等级	评价标准	等级
温度	1	地表河流	3
降雨量	2	地被层植物	2
湿度	2	树荫	2
土壤	3	森林地面动物群落	2
区域大小	3	陆上试验区/所有权	3
坡度	3	陆上试验区毗邻区	3
地貌	3	文化/历史	3

热带试验环境研究评价的 12 个站点适合 17 种不同的试验任务，该热带试验研究结果包括对夏威夷和波多黎各的环境背景区域分析、12 个地点的环境特征、支持试验任务的能力等级以及进行热带试验和训练的能力。详细的区域分析证实了最初的研究结论，即这些地点仅能提供美军热带试验需求的部分能力。最关键的是，它们是热带的北部区域，比规定的温度更高。此外，随着地形的升高，通常会出现足够的降

雨,同时也会导致绝热冷却,在较高的山峰会出现更多的降雨,那里温度更低。总揽这些候选站点的环境特征,一般都缺乏最适合热带试验的生物学背景观测,也没有发现有两层或三层树冠的森林。在实际热带背景环境中,由于多因素环境的协同效应,进而导致这些生物网络和多样性水平的极大减少。

总之,适合于热带试验的理想气候应位于潮湿的热带丛林,能在很高的降雨量和持续暖温环境下提供极端高湿,但应当剔除热带风暴的不利影响。同时,围绕该站点的区域应当有超过 2000 mm 的年降雨量,月均最低温度大于 18℃,月均温度和湿度至少分别为 25℃和 75%。任何一个月的降雨量不低于 100 mm,同时年降雨量也不得超过 6000 mm。这些降雨量要求提出了对最低季节性变化的希望(优先选择没有绝干的季节)。理想的自然环境背景应是在靠近沿海盆地分界构造的背景环境,它能提供海滩、沿海地形和内陆低地,且没有频繁的自然灾害,没有高的活跃构造,土壤类型与结构应是气候与初始自然界标准的必然结果。生物学标准取决于气候和地质,对该地区没有不利的人类活动影响。在热带气候下,预计再生 25 a 就足以充分恢复热带雨林,则该场所足以被认为具备理想的生物学背景环境。此外,首选大陆性或大的岛屿环境背景,以保证理想环境特征类型的多样性,同时也必须考虑由于试验活动对一个地域的应力作用后的持续恢复能力。基于对气候、自然环境背景和生物群标准的协同作用,研究表明,全世界范围内被确定为满足这些标准准则的地域有 16 个。在美国的管辖范围内,没有能够满足所有基本要求的地方,从而导致犹马试验场热带地区试验中心的工作需要采用“站点目录”方式来近似满足其目前的热带试验需求。

2.3 沙漠环境研究

沙漠是描述气候相对较干、蒸发率高和植被稀少的地理区域的专用术语,定义沙漠(如降雨量水平、温度和植被密度)的精确度量标准尚未建立。无论世界上沙漠的精确边界延伸到哪里,这些地区都具有十分重要的军事价值。沙漠环境研究对于军事试验、训练和行动的最初假设与以往所有的沙漠都不尽相同,明晰这些差异的不同,对于美军全球范围的任务计划都是十分重要的。

美军开展沙漠环境研究的目的是详查所了解的沙漠环境特征,支持其在全世界的军事部署,以及从试验到训练的需求。沙漠地区独特的自然环境背景给部队提出了不同于其他环境的挑战。如沙漠干旱,使得淡水水源的可用性和质量变得极其重要。白天高强度的暴晒和高温对人员和装备造成严重影响,同时沙漠风暴和伴随的沙尘可能造成装备的严重损坏,有时还可能造成军事行动完全终止或失败。沙漠地形植物

的缺乏以及大范围能见度差的独特环境特征,也会对军事行动造成巨大不利影响。1990—1991 年的海湾战争、2001—2003 年的阿富汗战争和 2003—2004 年的伊拉克战争都表明,特别需要强调在这些严酷地区进行持续的训练和高强度的装备试验。此外,当遭遇人类活动时,沙漠是很脆弱的环境,军事行动和试验毫无疑问可能引起沙漠环境的长期改变。这些改变可能使得被扰动地区可用作试验或训练场所的可用性减少。军方缺乏用于军事用途的重要环境参数,而这些环境参数是分析军事用途所需的基础科学数据。当需要继续提供实际训练时,这些信息可以更好地支撑决策者开发训练场地的计划。

表征沙漠的全部地域范围是引人注目的任务,研究仅限于考虑热和温暖的沙漠。下列方法程序有些类似于对理想热带试验站点分析的研发。第一步就是要区分与军事、试验、训练和行动有关的气候、自然及生物参数的沙漠。这一步骤不同于许多以前的工作,其关键在于要导出对军事参数、训练和行动有影响的独特参数,如要考虑到高吹沙和尘的影响。这一现象是军用车辆、飞机和武器在沙漠行动中会遇到的一个普遍问题,但有可能被风吹起的沙尘数量和类型是不同的。地质状况决定颗粒物的物理化学特性,而风化和侵蚀作用则影响颗粒的数量和粒径分布。每个沙漠都有产生基于大量风蚀作用的不同沙尘的潜在可能,都可能以不同方式影响军事行动,影响范围包括可能造成装备从轻微的损伤到花费高昂的损坏和故障。第二步是提炼用于在世界范围确定更好地表征军事用途范围内的沙漠参数的方法。

对世界范围热和暖沙漠的分析结果,能够强有力地支持最初假设的沙漠在军事用途方面存在巨大不同,了解这些差异,对可能部署在世界范围内任何地方的军队是非常重要的。然而,表征全球范围内沙漠的数据只能提供一般化和简单的分析,需要进行更详细的调查研究,才能确定对美军试验、训练和行动要求的更显著影响的参数。表 6 为理想沙漠环境精确的地理学参数。

美军国家训练中心位于干旱、温暖的沙漠,该地区通常不能提供世界上最热沙漠所遭遇的温度。研究建议国家训练中心扩张大幅增加可用于训练或试验的地形和土壤类型多样的区域。国家训练中心有 3 类主要植被,包括小规模灌木类植被,但缺乏大量沙子堆积和沙湖平原的沙漠环境,也缺乏产生大规模沙尘事件的自然区域。国家训练中心经过多年持续不断的军事训练活动,对植被的剥离破坏和地表表层的破坏,已造成了大面积区域军事行动产生的沙尘,能够模拟在阿富汗和伊拉克行动期间大多看见的沙尘水平。

阿伯丁试验场和国家训练中心都没有高频度的自然沙尘暴。局部地质运动造成的表面创伤和由训练

表6 理想沙漠环境的地理学参数
Tab.6 Geographic parameters for ideal desert environment

参数	描述	
地形地貌	基岩高地	陡峭的山地地形和裸露的岩石
		巨大的斜坡扇, 被纵深的河床切开
	冲积扇和碛原	石头高度覆盖 (>50%的表面区域) 的冲积扇/碛原
		石头中度覆盖 (25%~50%的表面区域) 的冲积扇/碛原
	沙漠平坦无障碍	石头低度覆盖 (<25%的表面区域) 的冲积扇/碛原
	沙粒堆积	坡少
		沙丘
	温度	温暖, 年日均最高温度>20 ℃
气候	降雨量	热, 年日均最高温度>30 ℃
	风	极端干燥 (<100 mm), 干燥 (< 200 mm)
		能使沙尘悬浮
生物学	植被极其缺乏	—
	稀疏的植被	植被通常<1 m
可用区域	范围	全部区域皆可使用
	周围区域的使用	所有权和毗邻区域可永久使用
	危险和威胁物种	存在或没有
	持续力	随着时间的增长, 持续执行当前任务的能力

与试验活动诱发的沙尘, 提供了在这些条件下试验和训练的部分能力, 但在西南沙漠的任何地域, 都没有呈现出持续很久的周期性沙尘现象。总之, 世界范围内已发现的大部分自然沙漠, 在阿伯丁试验场、国家训练中心以及两者的结合中, 都能找到环境类型相似的区域。

美军沙漠环境研究增加了对可军用的沙漠环境的了解, 以及该环境如何影响军事任务的知识, 详细定义了军事行动的气候、自然背景和生物活动的主要参数。该模型被当作用来分析阿伯丁试验场和国家训练中心的工具, 模型和分析方法可用于包括任何地理场所的研究, 例如像驻海外部队重返、基地重组和关闭等研究。该研究方法的权威性在于, 它通过科学的标准, 将军事行动的需求与地理背景环境联系起来。

3 结语

美军从面临的全球军事战略任务出发, 要求其装备在最严酷和最现实的环境条件下进行试验以及部队训练, 因此, 必须充分掌握装备环境试验和士兵军

事行动训练的预期环境。美军巴拿马热带试验中心的关闭和更好地了解沙漠环境的需求, 促使研发相关的方法以增强对热带和沙漠环境的了解。美军研发的极端环境的表征方法, 提供了科学的模型, 可用于寻求世界范围理想的热带试验场所和比较世界范围潜在的用于试验和训练的沙漠场所。美军的研究成果, 非常值得我国今后在建立相关环境试验站选点时科学评估参考。

参考文献:

- [1] 文邦伟, 李继红, 张伦武. 美军三大自然环境试验中心[J]. 装备环境工程, 2004, 1(1): 87-90.
WEN Bang-wei, LI Ji-hong, ZHANG Lun-wu. The three natural environmental test centers of US army[J]. Equipment environmental engineering, 2004, 1(1): 87-90.
- [2] AR 70-38, Research development, test and evaluation of materiel for extreme climatic conditions[S].
- [3] Russell S H, COL W C K, COL E J P, et al. Characterizing extreme environments for army testing[C]//Proceedings for the army science conference (24th). Orlando, Florida: [s. n.], 2005.