

环境试验与观测

# 东南亚地区环境特征分析及产品环境适应性对策研究

吴帅<sup>1,2</sup>, 周堃<sup>1</sup>, 刘聪<sup>1</sup>, 杨小奎<sup>1</sup>, 王竟成<sup>1</sup>, 李旭<sup>1</sup>, 罗丹<sup>1</sup>

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2.西藏拉萨大气环境材料腐蚀国家野外科学观测研究站, 拉萨 850100)

**摘要:** **目的** 掌握东南亚地区环境特征, 提出产品环境适应性工作对策。**方法** 采用主成分分析法开展东南亚地区环境精细化分类, 依据分类结果, 开展环境特征分析和规律研究, 并在产品环境适应性问题原因分析的基础上, 提出东南亚地区使用产品环境适应性工作对策。**结果** 东南亚地区具有年温度较高、相对湿度高、雨量充沛、太阳辐射较强等特征, 但不同类别之间具有一定的差异性, D1、D2类环境呈现一定的季节性特征, D3、D4类全年环境较为稳定, 温度、平均湿度、太阳辐射和降雨量均稳定地保持在较高量值范围内, 温度常年保持在20~30℃, 平均相对湿度在70%以上。**结论** 东南亚地区环境整体较为严酷, 在产品环境适应性论证、设计和使用维护等阶段应采取针对性措施, 以保证东南亚地区使用产品的环境适应性。

**关键词:** 自然环境; 环境特征; 东南亚; 环境适应性

中图分类号: TJ07; P468.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2023)01-0135-07

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2023.01.019

## Environmental Characteristics and Countermeasures for Environmental Adaptability of Product in Southeast Asia

WU Shuai<sup>1,2</sup>, ZHOU Kun<sup>1</sup>, LIU Cong<sup>1</sup>, YANG Xiao-kui<sup>1</sup>, WANG Jing-cheng<sup>1</sup>, LI Xu<sup>1</sup>, LUO Dan<sup>1</sup>

(1. Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China; 2. Tibet Lhasa Material Atmospheric Corrosion Station of National Outdoor Scientific Observation and Research, Lhasa 850100, China)

**ABSTRACT:** The work aims to master the environmental characteristics of Southeast Asia and put forward the working countermeasures for environmental adaptability of product. Fine classification of environment in Southeast Asia was conducted by principal component analysis. According to the classification results, the environmental characteristics and laws were analyzed. Based on the analysis of the causes on environmental adaptability of product, the countermeasures for environmental adaptability of service product in Southeast Asia were proposed. Southeast Asia was characterized by high annual temperature, high relative humidity, abundant rainfall and strong solar radiation. However, there were certain differences among different environmental categories. The environment of D1 and D2 presented certain seasonal characteristics. The environment of D3 and D4 was relatively stable throughout the year, and their temperature, average humidity, solar radiation and rainfall were stably maintained

收稿日期: 2021-11-04; 修订日期: 2021-12-17

Received: 2021-11-04; Revised: 2021-12-17

作者简介: 吴帅(1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为环境试验与环境适应性评价。

**Biography:** WU Shuai (1991-), Male, Master, Engineer, Research focus: environment adaption test and evaluation.

引文格式: 吴帅, 周堃, 刘聪, 等. 东南亚地区环境特征分析及产品环境适应性对策研究[J]. 装备环境工程, 2023, 20(1): 135-141.

WU Shuai, ZHOU Kun, LIU Cong, et al. Environmental Characteristics and Countermeasures for Environmental Adaptability of Product in Southeast Asia[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(1): 135-141.

in a high value range, their temperature was kept between 20 °C–30 °C and their average humidity was more than 70%. The environment is relatively harsh in Southeast Asia. Targeted measures should be taken in the stages of environmental adaptability demonstration, design, use and maintenance of product to ensure the environmental adaptability of product service in Southeast Asia.

**KEY WORDS:** natural environment; environmental characteristics; Southeast Asia; environmental adaptability

自然环境是产品面临的最主要环境, 对产品的影响具有长期性和普遍性, 会影响或破坏产品结构及材料, 造成器件、部件、产品性能劣化和功能失常<sup>[1-4]</sup>。在国民经济建设中, 自然环境对产品和基础设施的影响导致了巨大损失。2016年, 全球腐蚀调查报告表明, 世界平均腐蚀损失约占全球国民生产总值(GNP)的3.4%<sup>[5]</sup>。中国工程院开展的“我国腐蚀状况及控制战略研究”表明, 2014年我国腐蚀成本约占我国GDP的3.34%, 达到21 278.2亿元人民币<sup>[6-8]</sup>。

东南亚地区连接三洲(亚洲、非洲、大洋洲)、两洋(大西洋、印度洋), 战略位置十分突出, 且为“一带一路”的核心区域。由中国企业投资的中泰铁路、印尼雅万高铁、中马友谊大桥等重大工程项目陆续建设, 大量工程设备、通信产品、汽车等出口东南亚地区, 但由于未掌握东南亚地区的环境特征, 无法针对性开展产品环境适应性设计、试验评价和维护保养等工作, 造成产品的环境失效问题十分突出<sup>[9-12]</sup>。如某通讯公司在东南亚沿海区域布设的光纤, 运行不到3年就发生了严重的腐蚀失效。工程结构材料在印尼使用半年左右出现大面积的锈蚀失效, 严重影响工程安全。国内外相关学者开展了国内典型环境特征分析<sup>[13-16]</sup>, 提出了相应的产品环境适应性工作对策<sup>[17-20]</sup>, 但较少开展国外环境特征分析及产品环境适应性工作对策的研究。本文通过系统分析东南亚地区自然环境因素数据, 获取了主要环境特征, 并依据环境特征, 在产品环境适应性问题原因分析的基础上, 提出了产品在东南亚地区的环境适应性工作对策。

## 1 东南亚地区环境分类

东南亚地区地域广阔, 不同地区环境差异较大, 为了针对性地开展环境特征分析, 提出产品环境适应性工作对策, 本文采用主成分分析法<sup>[21-22]</sup>, 选用年平均温度、最高温度、最低温度、年平均湿度、年平均太阳辐射、年平均降雨量和海拔作为评价指标, 开展东南亚地区27个城市与我国大气环境试验站环境特征的差异性分析, 进行精细化分类。

1) 原始数据标准化处理。对选取的环境因素评价指标进行标准化处理, 使各种不同指标转化为同度量的指标, 指标转换公式见式(1)。

$$X'_i = \frac{X_i - E(X_i)}{\text{var}(X_i)} \quad (1)$$

2) 计算相关系数矩阵。通过MATLAB数学软件计算相关系数矩阵, 见式(2)。

$$R_{ij} = \frac{\text{cov}(X_i, X_j)}{\text{var}(X_i) \cdot \text{var}(X_j)} = E(X_i, X_j) \quad (2)$$

3) 计算相关系数矩阵的特征值 $\lambda_i$ 及其对应特征向量 $B_i$ , 见式(3)。

$$R = B \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \lambda_p \end{bmatrix} B^T \quad (3)$$

4) 计算主成分贡献率, 确定主成分个数, 使得累积贡献率达到85%以上, 即:

$$\frac{\sum_{m=1}^k \lambda_m}{\sum_{m=1}^p \lambda_m} \geq 85\% \quad (4)$$

5) 计算主成分得分, 根据主成分得分进行相关性分析和综合分类。

$$Z_{ij} = X'_{ij} \times B_i \quad (5)$$

按照以上分类步骤选取3个主成分计算主成分得分, 依据得分进行综合分类, 分类结果见表1, 并构建聚类树(如图1所示)。可见东南亚地区环境可细分为4类环境, 分别定义为D1—D4, 这4类环境通过值为2的虚线从层次树中划分出来。在虚线以左, 同一类别内城市之间的相异性均低于2, 每一类别表征了1种环境类型。

表1 东南亚地区4类环境包含城市

序号	类别	城市
1	D1	曼谷、清迈、乌隆、呵叻、胡志明市、芹苴
2	D2	荣市、河内、海防、万宁
3	D3	合艾、素叻、雅加达、泗水、万隆、巨港、新加坡、岷港、芽庄、马六甲、永兴岛
4	D4	棉兰、巴东、吉隆坡、乔治市、哥打基纳巴鲁、瓜拉登嘉楼、古晋市、斯里巴加湾市

## 2 东南亚地区环境特征分析

各类别环境特征与我国万宁站和永兴岛站环境特征对比如图2所示。可见, D1类各城市年平均温

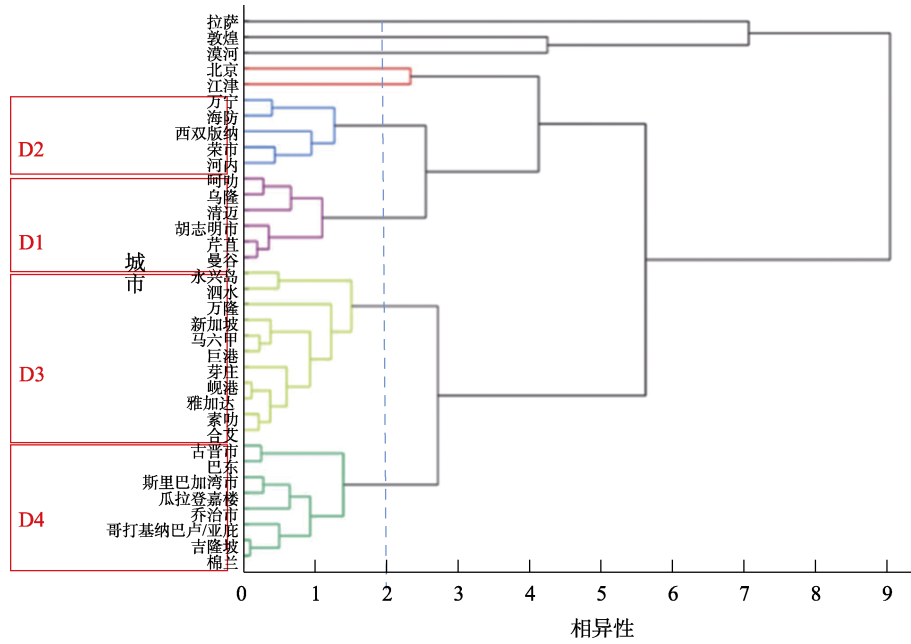


图 1 东南亚地区环境分类结果  
Fig.1 Results of environmental classification in Southeast Asia

度为 26.4 °C,最高温度为 43.8 °C,最低温度为 5.2 °C,年平均湿度为 74%,平均太阳辐射为 6 561.0 MJ/m<sup>2</sup>,平均降雨量为 1 311.6 mm。D2 类各城市年平均温度为 23.7 °C,最高温度为 41.4 °C,最低温度为 1.3 °C,年平均湿度为 81%,平均太阳辐射为 5 037.4 MJ/m<sup>2</sup>,平均降雨量为 1 637.1 mm。万宁站年平均温度为 24.9 °C,最高温度为 37.5 °C,最低温度为 8.5 °C,年平均湿度为 84%,平均太阳辐射为 4 879.0 MJ/m<sup>2</sup>,平均降雨量为 1 947.2 mm,属于 D2 类。D3 类各城市年平均温度为 26.4 °C,最高温度为 36.7 °C,最低

温度为 15.0 °C,年平均湿度为 83%,平均太阳辐射为 6 363.1 MJ/m<sup>2</sup>,平均降雨量为 2 023.1 mm。永兴岛站年平均温度为 27.0 °C,最高温度为 33.4 °C,最低温度为 18.0 °C,年平均湿度为 83%,平均太阳辐射为 7 148.0 MJ/m<sup>2</sup>,平均降雨量为 1 318.5 mm,属于 D3 类。D4 类各城市年平均温度为 26.2 °C,最高温度为 33.0 °C,最低温度为 16.6 °C,年平均湿度为 84%,平均太阳辐射为 6 220.9 MJ/m<sup>2</sup>,平均降雨量为 2 879.8 mm。D2 类年最大温差最大,达 40 °C 以上, D4 类年最大温差最小,仅 16.4 °C。

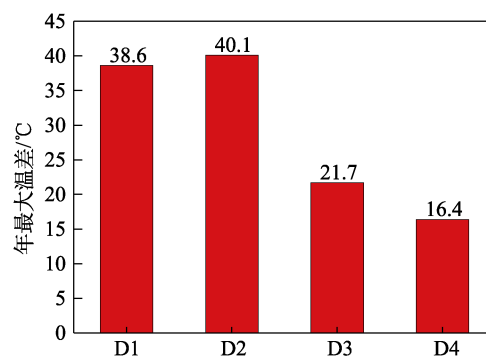
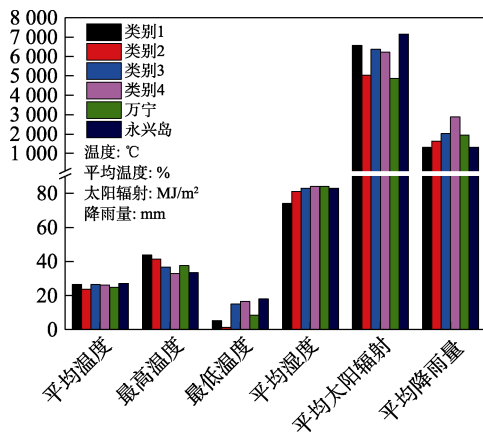


图 2 东南亚地区各类别环境特征对比  
Fig.2 Comparison of environmental characteristics of various environmental types in Southeast Asia

对比分析可知,东南亚地区整体具有年温度较高、相对湿度高、雨量充沛、太阳辐射较强等特征,但不同类别之间又有一定的差异性。具体来说, D1 类具有温度高、太阳辐射强、相对湿度和降雨量相对较低的特征; D2 类呈现平均温度、太阳辐射相对较低,年温差较大的特征; D3 类和 D4 类表现为湿度高、

降雨量大、温差小等特征,而 D4 类温度相对较低。

### 3 东南亚地区环境因素变化规律

在 4 类环境中分别选择 1 个城市作为该类别的典型环境特征代表,开展环境规律研究。D1—D4 类分

别选择泰国曼谷、越南荣市、马来西亚马六甲和文莱斯里巴加湾市。图3分析了东南亚地区各类别环境平均温度、极值温度、平均湿度、太阳辐射累积量和降雨量等环境因素的变化规律。可见,D1类在每年3—5月的温度最高,太阳辐射最强,而在9、10月的相对湿度较高,降雨量较大;D2类在每年5—7月的温度最高、太阳辐射最强,8—10月降雨量较大,全年相对湿度均较高;D3类和D4类全年环境较为稳定,温度常年保持在20~30℃,平均湿度在70%以上,D4类更是常年保持在80%以上,太阳辐射和降雨量也稳定地保持在较高量值范围内。

进一步分析东南亚地区各类别环境温湿度特征,如图4和图5所示。可见,D1类全年日平均温度几乎

均在20℃以上,在25~30℃的天数占全年的68%以上;D2类全年日平均温度几乎均在10℃以上,在25~30℃的天数占全年的41%以上;D3类和D4类全年日平均温度均在25~30℃。此外,东南亚地区整体高温高湿时间较长。东南亚地区4类环境2001—2018年间平均温度高于20℃和湿度高于70%、80%的时间如图6所示。可见,D4类几乎全年温度均超过20℃、湿度高于80%;D3类几乎全年温度均超过20℃、湿度高于70%,湿度高于80%的时间也超过200d;D2类全年日平均温度超过20℃、湿度高于70%的时间达240d以上,湿度高于80%的时间在150d左右;D1类高温高湿时间在不同年份波动较大,但全年日平均温度超过20℃、湿度高于70%的时间也达200d以上。

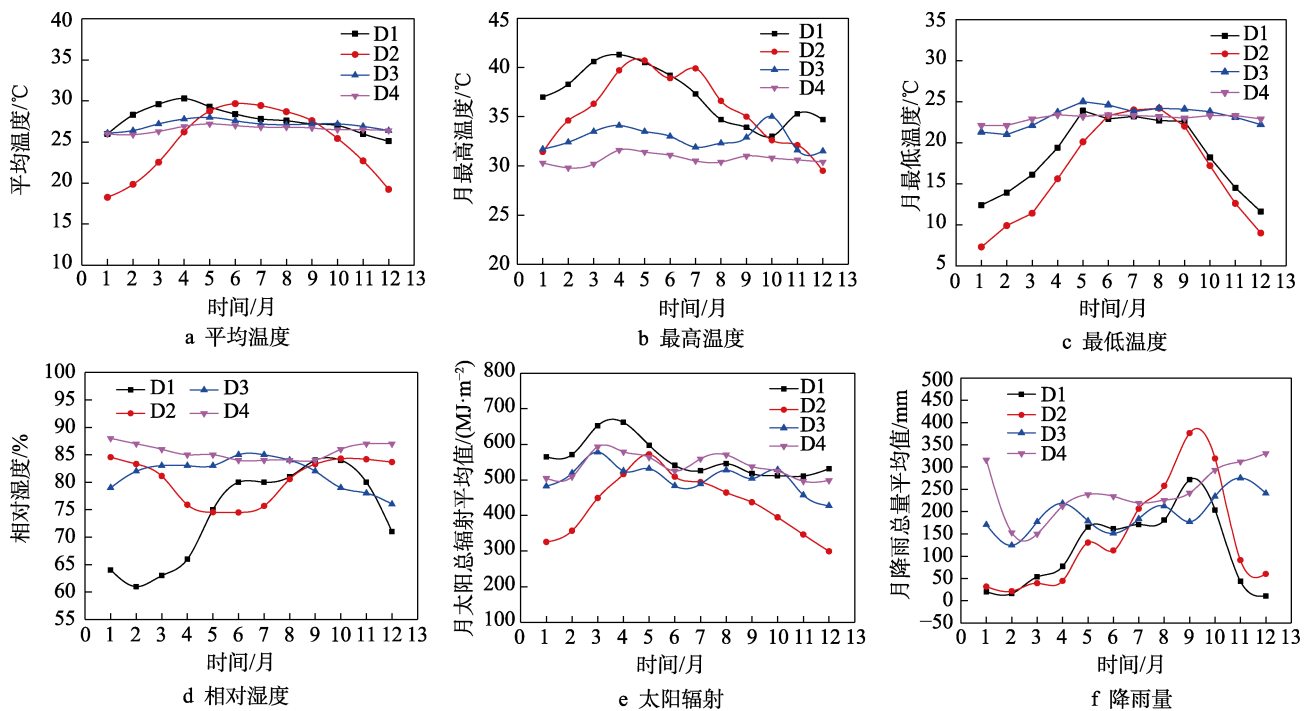


图3 东南亚地区环境因素变化规律

Fig.3 Variation law of environmental factors in Southeast Asia: a) average temperature; b) maximum temperature; c) minimum temperature; d) relative humidity; e) solar radiation; f) rainfall

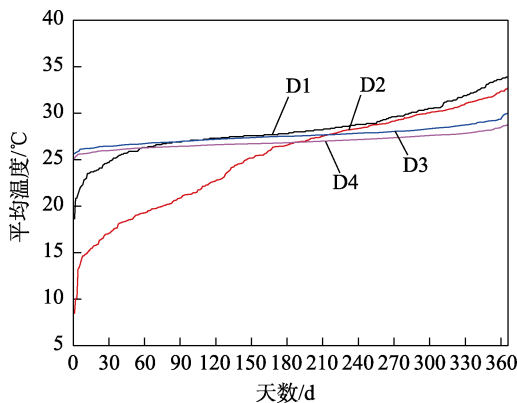


图4 东南亚地区各类别环境温度低于t的天数分布  
Fig.4 Distribution of days with temperature below t of various environmental types in Southeast Asia

## 4 东南亚地区产品环境适应性工作对策

### 4.1 产品环境适应性问题原因分析

产品环境适应性问题是产品质量综合水平的反映,涉及到产品的使用环境、环境适应性设计水平、产品环境适应性考核验证评价等多个方面。

1) 使用环境严酷。综合东南亚地区环境特征及规律分析结果,东南亚地区具有温度高、湿度大、太阳辐射强、高温高湿持续时间长等环境特征,且东南亚由中南半岛和马来群岛组成,地区11个国家仅老挝为内陆国,其余国家均紧靠海洋,盐雾含量必然高,

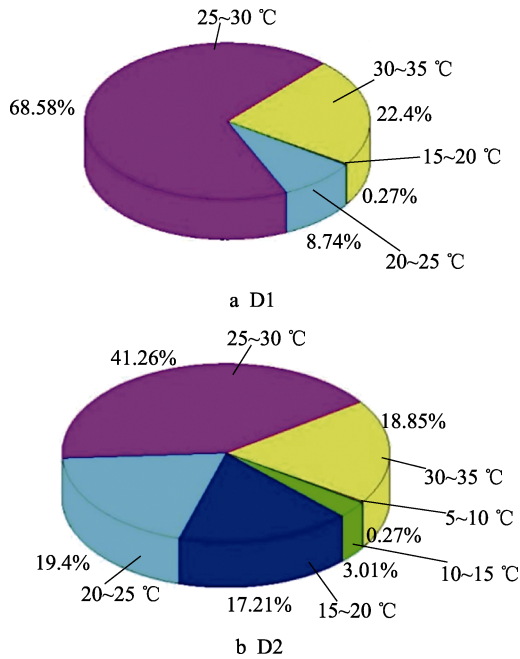


图 5 东南亚地区各类别环境温度区间分布  
Fig.5 Temperature range distribution of various environmental types in Southeast Asia

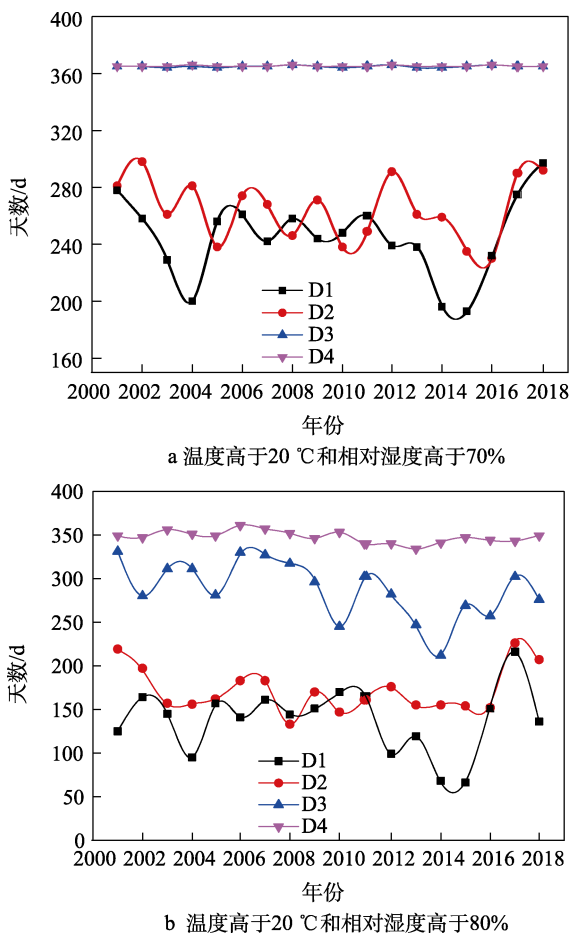


图 6 东南亚地区各类别环境日平均温度高于 20 °C 和相对湿度高于 70%、80% 的天数分布  
Fig.6 Distribution of days with daily mean temperature above 20 °C and relative humidity higher than 70% (a), 80% (b) of different environment types in Southeast Asia

高温、高湿、强太阳辐射再加上海风带来高浓度盐雾, 势必造成产品金属材料腐蚀、涂层开裂、脱落, 高分子材料老化等环境适应性问题。

2) 环境适应性设计的针对性不强。在产品研制过程中, 设计人员较少从环境对产品的影响角度来预先研究和总体考虑产品在东南亚使用的环境特点对材料/防护工艺/结构设计、密封设计等所提出的不同要求, 使得材料及防护工艺选择不当, 结构/密封设计不合理, 造成产品过早出现腐蚀老化、故障失效等问题, 严重影响产品的效能发挥和可靠性水平。

3) 环境适应性考核验证不充分。我国产品研制工作中, 大都以实验室加速试验方式进行环境适应性考核, 辅以国内典型自然环境试验站开展自然环境试验。但东南亚地区地域广阔, 环境特征多样, 国内环境无法覆盖全部环境类型。因此, 仅依靠单纯的实验室加速试验或国内自然环境试验, 难以真实反映产品在东南亚地区使用出现的环境适应性问题, 这也导致很多产品虽然通过了预定的环境试验考核, 但在东南亚地区使用过程中仍存在环境适应性问题。

#### 4.2 产品环境适应性工作对策

面对产品东南亚地区环境适应性保障需求, 亟需加强东南亚地区自然环境因素与环境效应分析, 掌握典型自然环境特征, 从产品环境适应性论证、设计和使用维护等阶段提出产品环境适应性对策, 支撑产品在东南亚地区典型环境下的环境适应性提升。

1) 针对产品环境适应性论证阶段。加强东南亚地区使用产品的环境适应性调查, 全面掌握产品环境腐蚀失效、使用维护的信息和经验, 结合东南亚地区环境特征和规律, 明确产品在寿命期内可能经历的环境剖面, 提出产品环境适应性设计和试验中需考虑的环境因素类型、环境条件量值等建议。其中, 自然环境因素应重点考虑温度、湿度、雨水、太阳辐射和盐雾的影响, 并结合文中给出的 D1—D4 类环境特征及环境条件量值, 确定产品环境适应性要求。

2) 针对产品环境适应性设计阶段。根据环境特征和东南亚地区使用产品的环境适应性调查情况, 提出产品选材、总体设计、结构设计、密封设计等方面的对策建议, 尤其是针对湿度较为敏感的光学设备、电器设备等, 应着重加强密封设计和防潮设计。针对产品关键部位和薄弱环节, 推荐环境试验考核方法。在开展自然环境试验考核工作时, 在 D2 类环境中使用的产品, 应在万宁站完成考核; 在 D1 类环境中使用的产品, 可在万宁站开展自然环境加速试验, 适当强化太阳辐射; 在 D3 类环境中使用的产品, 应在永兴岛站或环境较为接近的岛礁环境完成考核; 在 D4 类环境中使用的产品, 可参考 D3 类环境开展考核试验, 并根据实际使用情况, 适当强化环境湿度完成考核。



3) 针对产品使用维护阶段。根据东南亚地区使用产品的环境适应性调查情况, 确定东南亚严酷环境下使用产品的薄弱环节, 结合产品的环境效应数据, 以及产品在东南亚具体使用地区环境特征及季节性变化规律, 合理评估产品使用周期, 制定产品维护保养工作方案建议等。如东南亚地区4种环境类型全年均有200 d以上温度高于20℃, 湿度高于70%, D3和D4类更是全年高温高湿, 必须加强产品防潮控湿手段, 提高光学设备、电器设备巡检维护频率等。

## 5 结论

1) 东南亚地区环境可细分为4类, 整体具有年温度较高、相对湿度高、雨量充沛、太阳辐射较强等特征, 但不同类别之间具有一定的差异性。

2) D1、D2类环境呈现一定的季节性特征, D3、D4类全年环境较为稳定, 温度、平均湿度、太阳辐射和降雨量均稳定地保持在较高量值范围内。

3) 东南亚地区使用环境严酷, 应针对产品环境适应性论证、设计和使用维护等阶段, 采用加强密封设计和防潮设计, 提高光学设备、电器设备巡检维护频率等针对性措施, 以保证东南亚地区使用产品环境适应性。

### 参考文献:

- [1] 吴护林, 钱一欣, 赵春柳, 等. 军工材料自然环境试验体系建设与应用[J]. 工程研究-跨学科视野中的工程, 2018, 10(2): 124-132.  
WU Hu-lin, QIAN Yi-xin, ZHAO Chun-liu, et al. Construction and Application of Military Material Natural Environment Test System[J]. Journal of Engineering Studies, 2018, 10(2): 124-132.
- [2] 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 by U.S. Army[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(8): 131-136.
- [3] 孙颀, 刘威. 南海大气环境对战术导弹结构可靠性的影响浅析[J]. 装备环境工程, 2019, 16(4): 72-75.  
SUN Jie, LIU Wei. Influences of the South China Sea Atmosphere Environment on Structural Reliability of Tactical Missile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2019, 16(4): 72-75.
- [4] 刘艳, 陈江攀, 刘艺, 等. 导弹装备自然环境试验现状及建议[J]. 现代防御技术, 2021, 49(4): 86-90.  
LIU Yan, CHEN Jiang-pan, LIU Yi, et al. The Present Situation and Suggestion of Missile Equipment Natural Environment Test[J]. Modern Defence Technology, 2021, 49(4): 86-90.
- [5] 侯保荣, 张盾, 王鹏. 海洋腐蚀防护的现状与未来[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(12): 1326-1331.  
HOU Bao-rong, ZHANG Dun, WANG Peng. Marine Corrosion and Protection: Current Status and Prospect[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2016, 31(12): 1326-1331.
- [6] 侯保荣. 中国腐蚀成本[M]. 北京: 科学出版社, 2017.  
HOU Bao-rong. The Cost of Corrosion in China[M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [7] 马秀敏, 郑萌, 徐玮辰, 等. 腐蚀成本及控制策略研究[J]. 海洋科学, 2021, 45(2): 161-168.  
MA Xiu-min, ZHENG Meng, XU Wei-chen, et al. Study of Corrosion Cost and Control Strategy[J]. Marine Sciences, 2021, 45(2): 161-168.
- [8] HOU Bao-rong, LI Xiao-gang, MA Xiu-min, et al. The Cost of Corrosion in China[J]. Npj Materials Degradation, 2017, 1: 4.
- [9] 董俊华. 泰国: 自然环境腐蚀调查图谱集[M]. 沈阳: 中国科学院金属研究所, 2015.  
DONG Jun-hua. Thailand: Investigation of Corrosion in Natural Environment[M]. Shenyang: Institute of Metals, Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [10] PONGSAKSAWAD W, PALSSON N S, KHAMSUK P, et al. Atmospheric Corrosion Monitoring Sensor in Corrosion Rate Prediction of Carbon and Weathering Steels in Thailand[J]. Materials Transactions, 2020, 61(12): 2348-2356.
- [11] PONGSAKSAWAD W, KLOMJIT P, KHAMSUK P, et al. Chloride Distribution Model and Corrosion Map of Structural Steels for Tropical Climate in Thailand[J]. The Science of the Total Environment, 2021, 787: 147465.
- [12] 申孟亮, 尚秀玲. 印度尼西亚市场蒸发器腐蚀泄漏原因分析[J]. 制冷与空调, 2018, 18(5): 31-33.  
SHEN Meng-liang, SHANG Xiu-ling. Analysis on Causes of Corrosion Leakage Inside Evaporators in Indonesia's Market[J]. Refrigeration and Air-Conditioning, 2018, 18(5): 31-33.
- [13] 唐其环, 张先勇, 张燕. 敦煌地区干热与干冷环境特征研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(12): 81-85.  
TANG Qi-huan, ZHANG Xian-yong, ZHANG Yan. Environmental Characteristics of Dry Heat and Dry Cold in Dunhuang Area[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(12): 81-85.
- [14] 马长李, 马瑞萍, 白云辉. 我国沿海地区大气环境特征及典型沿海地区大气腐蚀性研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(8): 65-69.  
MA Chang-li, MA Rui-ping, BAI Yun-hui. Characteristics of Atmospheric Environment in China's Coastal Areas and Atmospheric Corrosion in Typical Coastal Regions[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(8): 65-69.
- [15] 张先勇, 唐其环, 张燕. 漠河低温工作极值及其统计方法探讨[J]. 装备环境工程, 2021, 18(9): 125-131.  
ZHANG Xian-yong, TANG Qi-huan, ZHANG Yan. Discussion on Operational Extreme Value and Statistical Method of Mohe Low Temperature[J]. Equipment Envi-

- ronmental Engineering, 2021, 18(9): 125-131.
- [16] 秦晓洲. 自然环境试验站典型环境特征及腐蚀图谱[M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.  
QIN Xiao-zhou. Typical Environmental Characteristics and Corrosion Map of Natural Environment Test Station[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2010.
- [17] 张梦龙, 赵志敏. 东南海域岛礁环境对武器装备的影响及对策研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(10): 20-25.  
ZHANG Meng-long, ZHAO Zhi-min. The Influence and Countermeasures Study of Weapon Equipment Influenced by Island-Reef Environment in the Southeastern Sea[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(10): 20-25.
- [18] 周家胜, 王慧, 周涛, 等. 炮弹在海洋环境下适应性分析及对策[J]. 兵工自动化, 2017, 36(3): 81-83.  
ZHOU Jia-sheng, WANG Hui, ZHOU Tao, et al. Analysis Environmental Adaptability of Artillery Shell in Marine Environment and Its Countermeasure[J]. Ordnance Industry Automation, 2017, 36(3): 81-83.
- [19] 许翔, 李玉兰, 刘刚, 等. 高原环境对军用越野汽车的影响及对策研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(9): 85-89.  
XU Xiang, LI Yu-lan, LIU Gang, et al. Influences of Plateau Environment on Military Off-Road Vehicle and Countermeasures[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(9): 85-89.
- [20] 沈军, 魏荣俊, 边英杰, 等. 直升机在海洋气候环境下的腐蚀防护对策研究[J]. 装备环境工程, 2017, 14(3): 71-74.  
SHEN Jun, WEI Rong-jun, BIAN Ying-jie, et al. Corrosion Control of Helicopter in Environment of Marine Climate[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(3): 71-74.
- [21] WANG Jing-cheng, ZHANG Lun-wu, ZHANG Ding-fei, et al. The Application of Principal Component Cluster Analysis in Environment Classification for Chinese Cities[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 569(1): 012040.
- [22] 贾志军, 赵泉林, 董超芳, 等. 主成分分析法综合评价我国13个大气腐蚀站点的气候因素[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2009, 29(5): 388-393.  
JIA Zhi-jun, ZHAO Quan-lin, DONG Chao-fang, et al. Evaluation of Weathering Conditions of 13 Cities in China by Principal Component Analysis[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2009, 29(5): 388-393.

责任编辑: 刘世忠