

## 环境试验与观测

## 装备自然环境试验数据工程建设方法与实践

张伦武, 周堃, 谭甜甜, 王竟成, 舒畅, 周俊炎, 李旭, 谢婧

(西南技术工程研究所, 重庆 401329)

**摘要:** 简要介绍了装备自然环境试验数据的内涵及其重要性, 分析了国外自然环境试验站网、数据资源深层次开发利用、数据共享服务等建设现状。重点从基础设施与服务保障能力、数据治理管控模式等方面, 概述了国内装备自然环境试验数据工程建设现状与成效, 提出了要进一步激活要素价值潜能、创新数据共建共享服务模式、创新数据服务体制机制、加快推进产业数字化等建议。

**关键词:** 数据工程; 自然环境试验站网; 环境适应性; 数据治理; 共建共享; 数字化转型

中图分类号: TJ01

文献标志码: A

文章编号: 1672-9242(2025)01-0186-10

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2025.01.019

## Methods and Practices for Constructing Equipment Natural Environment Test Data Engineering

ZHANG Lunwu, ZHOU Kun, TAN Tiantian, WANG Jingcheng, SHU Chang, ZHOU Junyan, LI Xu, XIE Jing  
(Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 401329, China)

**ABSTRACT:** In this work, the connotation and importance of equipment natural environment test data were briefly introduced, the current construction status of foreign natural environment testing station networks, deep development and utilization of data resources, and data sharing services were analyzed. The work focuses on the current construction status and achievements of domestic equipment natural environment data engineering from aspects such as infrastructure and service assurance capability, and data governance models. Finally, further recommendations to activate the value potential of elements, innovate in data co-construction and sharing service models, innovate in data service systems and mechanisms, and accelerate industrial digitalization were proposed.

**KEY WORDS:** data engineering; natural environment test station network; environmental adaptability; data governance; co-construction and sharing; digital transformation

装备自然环境试验数据是装备试验鉴定大数据的重要组成部分, 主要包括装备服役环境因素数据、装备自然环境效应数据、装备服役历史数据等基础数据信息, 以及装备失效与服务案例、标准规范、模型、软件等数据衍生品, 是支撑我国装备环境适应性提升和质量建设的重要战略资源, 是开展环境试验与评

价、指导装备环境适应性设计与防护策略制定的重要科学依据<sup>[1-3]</sup>。装备自然环境试验数据工程建设是以提升武器装备作战保障能力为牵引, 分析装备全寿命期内的数据应用需求, 完善数据管理手段, 挖掘数据内在规律, 发挥数据最大效益, 建立覆盖装备试验全过程的数据体系, 实现数据建设规范化、成果产品化、

收稿日期: 2024-07-23; 修订日期: 2024-08-29

Received: 2024-07-23; Revised: 2024-08-29

引文格式: 张伦武, 周堃, 谭甜甜, 等. 装备自然环境试验数据工程建设方法与实践[J]. 装备环境工程, 2025, 22(1): 186-195.

ZHANG Lunwu, ZHOU Kun, TAN Tiantian, et al. Methods and Practices for Constructing Equipment Natural Environment Test Data Engineering[J]. Equipment Environmental Engineering, 2025, 22(1): 186-195.

应用常态化,包括数据采存管理、关联挖掘和共建共享等内容。通过开展装备自然环境试验数据工程建设,加强共建共享,深度整合已有自然环境试验数据资源和采集力量,集中管理、综合开发,有利于型号设计研制人员及时全面掌握所需数据信息,合理选择材料、构件、元器件等军工基础产品,科学确定武器装备环境适应性要求和指标,正确制定环境试验与评价方法,提高型号设计研制人员的决策效率和决策水平,进一步提升武器装备环境适应性,高质量服务武器装备建设<sup>[4-5]</sup>。

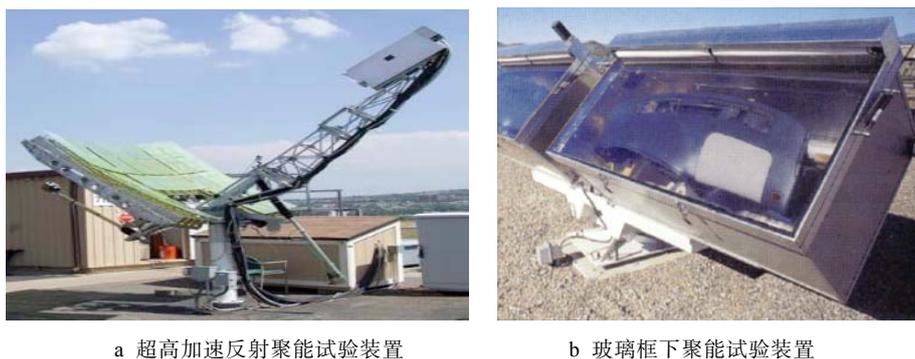
## 1 国外建设现状与成效

### 1.1 自然环境试验站网与数据积累<sup>[6-7]</sup>

1) 重视全球气候影响,实施自然环境试验全球化发展战略。欧美等发达国家非常重视全球气候类型对产品的影响,全面实施自然环境试验站网全球化发展战略。1907 年至今,美国材料试验协会(ASTM)陆续建立了覆盖各种环境类型的试验场站 50 多个,形成了环境试验网和全球性环境试验研究中心,美国 ATLAS 通过全球性规划发展,已建成包括美国、日本、俄罗斯、法国、加拿大、荷兰、新加坡、澳大利亚、沙特和中国等 10 个国家在内的 21 个大气环境腐蚀试验站网。英国共有各类大气试验场站约 40 个,在西非、新加坡、澳大利亚海滨等不同地点建立了规模不一的试验场站。法国约有试验场站 30 多个,气候类型大致分为欧洲大陆、非洲撒哈拉沙漠、赤道地区热带气候。日本大约有 40 个左右的大气环境试验场站,已形成网络体系。

2) 发展高效监测与试验评价技术,有力支撑自然环境试验能力建设。针对不同气候类型,开发集成式监测装置进行系统监测。德国研制了自动测定紫外辐射、试样温度、大气湿度装置,能同时测定 A (320~400 nm) 和 B (280~320 nm) 2 个波段的紫外辐射量,较好地评价短波紫外辐射对材料的影响。日本东京大学开发了大气腐蚀监测仪(ACM)传感器,通过记录温度、相对湿度、海盐沉积量等海洋大气腐蚀影响因素,分析其对材料、部件、装备等的腐蚀损伤。法国 ENVEA 集团开发了 AQMS 环境因素在线监测分析系统,可 24 h 不间断观测温度、湿度等气象因素和二氧化硫、二氧化氮等大气污染物,并自动对数据进行处理分析。美国阿特拉斯耐候集团研发了 VIEEWTM 图像分析系统,通过采集并处理试样表面在各种光源下的数码图像,计算缺陷程度,进行腐蚀与老化评级。

为满足装备发展过程中的试验与评价需求,世界各国一方面在全球典型/极端气候区域拓展自然环境试验能力,另一方面积极创新环境试验技术与评价方法,设计、开发了针对性强、实用性好的综合试验与评价技术,研制了周期喷淋、跟踪太阳反射聚能等自然加速试验装置(如图 1 所示),建立了相应的试验方法和标准。阿特拉斯耐候集团研制出了将太阳辐射强化 60 倍的超高加速自然环境试验系统。美国麦金利气候实验室能够模拟地球上高低温、高低湿、雨、雪、雾、沙尘暴、积冰现象等多种气候条件,迄今已为美国陆军、海军、空军和海军陆战队 400 余架各类飞机、70 多个导弹系统、2 600 多种其他装备的环境适应性试验提供支撑。



a 超高加速反射聚能试验装置

b 玻璃框下聚能试验装置

图 1 自然加速试验装置

Fig.1 Natural acceleration test device: a) ultra-high acceleration reflection energy gathering test device; b) energy gathering test device under glass frame

3) 环境适应性数据逐渐从材料扩展到零部件、元器件乃至系统整机级。美国海军武器中心在寒带、热带、沙漠等典型气候下开展了长达数十年的自然环境试验,在太平洋表层海水和不同深度开展了海水环境监测及 400 多种合金的海水环境试验,在全球 11 个海水试验站对复合材料、阴极保护材料等进行了长

达 16 a 的环境试验,取得了海量环境监测数据和环境效应数据。同时,美军依托全球存在的海军舰船及陆战队部队开展了大规模的移动平台环境监测,欧洲腐蚀联盟(EFC)从 1992 年起在 8 个国家的 11 个试验站进行了海水腐蚀试验,获取了较全面的海水对不锈钢的腐蚀性数据。

针对结构件、系统整机的环境损伤,结合实际服役条件下使用环境和载荷的交互作用情况,研究新型环境试验强化技术,为装备结构设计、延寿等积累了可靠的环境适应性数据(如图2所示)。2005年,美国国防部启动了C-5“银河”运输机腐蚀预防与控制计划项目和飞机电接插件缓蚀计划项目,系统积累了飞机用元器件及结构的腐蚀防护数据。美国军方对通用弹药进行了长达15 a的贮存试验研究,获取了多种通用弹药在热带气候、沙漠气候、寒带气候等严酷自然环境,以及巡洋舰、驱逐舰、运输舰等舰载环境下长期贮存和暴露试验数据。针对弹箭等重大型号产品,通过开展自然环境试验监测其贮存环境信息和性能变化数据,对监测型号产品质量状态、环境适应性改进提升、寿命评价等具有重要意义。从公开的资料看,美国在大力神II、霍克、红眼睛、民兵III等众多导弹武器型号上开展了贮存环境适应性试验,基于试验数据制定了针对性的延寿措施,成功延长了导弹的贮存寿命。

## 1.2 数据资源深层次开发利用

1) 编制系列数据手册,并制定标准规范,提升环境数据质量及应用水平(如图3所示)。依托长期的自然环境数据积累,欧美等发达国家非常重视各种环境数据的规律研究与管理使用,编辑出版了大量数据手册与标准规范,为装备环境适应性要求确定和试验设计提供了基础支撑。美军相继编制和修订了《工程设计手册》(含《环境工程设计手册》《材

料科学与工程手册》等分册)、MIL-STD-210B《军用设备气候极值》、MIL-STD-210C《军用系统及设备设计和试验用气候数据》和MIL-HDBK-310《军用产品开发用全球气候数据》等相关的标准和手册,并在AR70-38《在极端气候条件下所用装备的研究、发展、试验与鉴定》陆军操作规程和MIL-STD-810H《环境工程考虑和实验室环境试验》中,以环境因素极值对全球环境进行了分级,对不同服役地域武器装备的试验和鉴定进行了严格的质量控制,支撑美军装备在高强度战争中的环境适应性。英军编制了DEF STAN 00-35《国防装备环境手册》(第四版),详细阐述了各种自然环境因素引发的效应,描述了武器装备在地球大气中可能遇到的气象和生物环境及其影响,为环境试验方法选择和试验严酷度确定提供依据。



图2 美国空空导弹及其分系统与材料的试验样品  
Fig.2 Test samples of American air-to-air missiles and their subsystems and materials

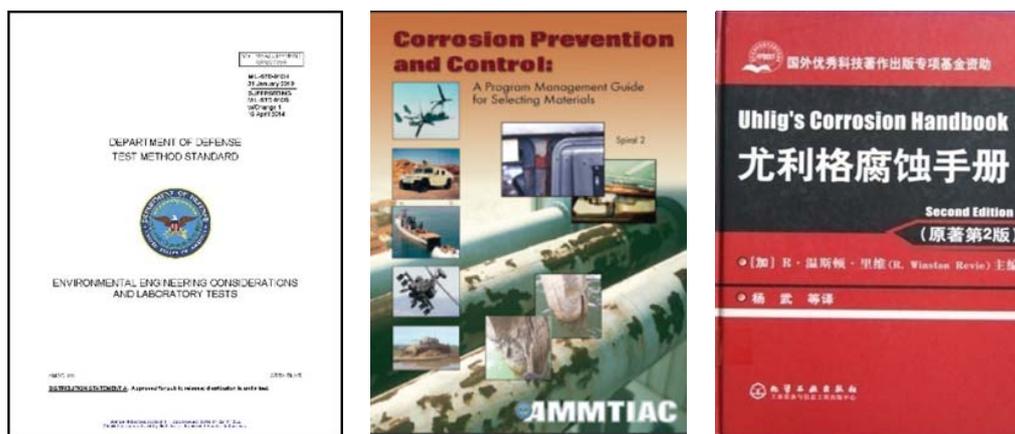


图3 系列数据手册  
Fig.3 Data handbook series

2) 构建数据信息系统平台,数据共享和应用服务广泛。军事发达国家在开展环境基础数据资源积累的同时,非常重视数据资源的开发利用,研发了基于基础数据资源的数据库、算法/模型、数据地图等,发现数据中隐藏的规律,最大程度发挥数据资源服务装备的效能。进一步推动数据资源的转化应用,形成知识库,构建专家系统、决策系统,建成了各类数据

信息系统、共享服务平台,大大提高了数据资源利用率。一些大型数据中心如美国国家环境信息中心、英国海洋数据中心都已形成较为系统的环境数据库和专题网页应用模块,为科研机构、政府和企业等各领域研究人员提供高质量的科学数据服务。美国国防部建立了提供历次国防腐蚀控制会议介绍、腐蚀控制基本知识、产品、重大事件、相关文献、法规及条例等

资源的腐蚀信息共享平台(如图 4 所示), 并利用十余万份腐蚀技术文献和报告开发了基于专家系统的在线腐蚀数据库系统, 用于辅助非腐蚀领域的研究设计人员进行材料优选。近年来建立的 GIDEP 信息共享平台, 包括产品失效经验数据库、产品信息数据库、工程数据库、可靠性/维修性数据库等 6 个子库, 其

中工程数据库主要收集系统整机、组件、部件、零件(元器件)从设计、采办、使用到报废全过程产生的各种文档和报告, 包括研发、试验、生产、管理、采购和后勤保障使用方面的数据。通过数据共享应用, 大大提高了数据资源利用率, 最大程度发挥数据资源服务装备的效能。



图 4 美国国防部腐蚀信息共享平台

Fig.4 Corrosion information sharing platform of U.S. Department of Defense

## 2 国内建设现状与成效

### 2.1 基础设施、服务与保障能力

1) 站网布局持续优化, 面向全球的自然环境试验与观测能力不断拓展。为积极响应国家战略需求, 提升武器装备的环境适应性, 支撑武器装备高质量发展, 国防科技工业主管部门针对装备全域服役的典型环境特征, 逐步建立健全环境试验站网, 完善数据积累能力, 形成国防科技工业自然环境试验站网、材料环境腐蚀国家野外科学观测研究试验站网一军一民的环境试验服务保障体系<sup>[8-12]</sup>。国防科技工业自然环境试验站网经过统筹建设与创新发, 已全面覆盖我国湿热海洋、高原低气压、低温寒冷、干热沙漠等典型气候区以及三大海域, 具备长期持续、规模化开展材料、工艺、零部件、元器件及装备系统等多层级军工基础产品自然环境试验、自然环境加速试验的能力, 同时拥有完备的环境适应性数据采集监测能力<sup>[13]</sup>。国防科技工业自然环境试验站网是多层级军工基础产品环境适应性数据采集汇集、管理治理、分析挖掘、研究应用、共享发布的重要基础设施和平台。

材料环境腐蚀国家野外科学观测研究试验站网着重针对材料腐蚀数据获取, 掌握我国典型自然条件下材料的腐蚀行为和规律。相关部委根据行业发展需要, 先后建立了包括大气、水环境、土壤环境的

材料腐蚀野外试验站点, 共计 34 个野外试验站, 包括 18 个大气环境腐蚀试验站, 9 个土壤环境腐蚀试验站和 7 个水环境腐蚀试验站。国家野外科学观测研究站是各类典型材料环境腐蚀试验观测与数据积累的关键平台, 已成为国家材料腐蚀与防护科学数据中心, 同时作为国家科技创新基地, 也是国家创新体系的重要组成部分。

2) 监测与模拟试验技术持续创新升级, 贴近实战的环境适应性评价能力不断加强。一是自然环境因素数据观测实现自动化、立体化、实时化<sup>[14]</sup>。高精度自动气象站、大气污染物浓度自动观测系统、大气环境和水环境立体化观测装置等一系列环境因素监测设备投入使用, 自然环境因素自动测量设备数据采集流程改造升级, 实现了数据动态分析和设备异常的及时发现, 站网环境观测智能化水平全面提高。二是自然环境效应测试评估技术向原位、实时、动态预警升级<sup>[15-17]</sup>。探索环境损伤识别和防护技术原理, 突破自然环境条件下应变、腐蚀等环境效应光纤传感自动测试、涂层下金属基体累积环境损伤快速无损检测、表观损伤定量评价等技术, 实现 10 μm 腐蚀裂纹扩展等多种效应原位传感监测、表观损伤类型和等级识别精准性从人工观测的约 70% 提高到 90% 以上。三是自然环境效应模拟技术向多因综合、动静结合发展<sup>[18-23]</sup>。研制环境-工况耦合试验、海洋自然环境高加速试验、

跟踪太阳反射聚能试验、周期喷淋试验等系列化自然环境加速试验装置,可按多种标准模拟温度、湿度、太阳辐射、霉菌、污染物、气压、振动、冲击、碰撞、跌落等单因素或多因素效应的气候与力学环境,复杂自然环境效应模拟试验能力大幅提升。

## 2.2 数据治理管控和数据工程建设<sup>[24-30]</sup>

1) 多维度开展基础数据采集,持续拓展数据资源覆盖性。依托自然环境试验站网体系,通过跨行业、

多单位联合承研,国防科技工业部门持续拓展装备自然环境试验基础数据采集领域,完善数据资源覆盖性,形成涵盖环境因素数据、环境效应数据、环境适应性案例集、试验试件及设备设施数据等多尺度的基础数据类型,见表1。制定/修订了自然环境试验基础数据“采、存、管、用”标准规范,形成了数据工程标准体系,在体系化、制度化建设自然环境试验与测试大数据服务平台层面发挥了顶层引领和基础支撑作用。

表1 装备自然环境试验基础数据分类体系

Tab.1 Basic data classification system for equipment natural environment testing

门类	一级分类	二级分类
自然环境因素数据	大气环境	以典型气候区/站点进行分类(环境因素至少包括:温度、相对湿度、太阳辐射、日照、气压、风、大气降水、天气现象(积雪、大风、雷电、沙尘等)、氯离子、二氧化硫、氨、硫化氢、氯化氢、二氧化氮、臭氧、大气降水、沙尘、霉菌)
	海水环境	以典型海域进行分类(环境因素至少包括:温度、盐度、浊度、溶解氧、潮差、酸碱度、电导、电化学性能、水流、海生物、污染物、泥沙、海冰)
	材料环境效应	金属材料环境效应、高分子材料环境效应、复合材料环境效应、含能材料环境效应、光电材料、其他材料
自然环境效应数据	结构件环境效应	金属结构件环境效应
		非金属结构件环境效应
	金属与非金属混合结构件环境效应	
	电子元器件环境效应	电阻器、电容器、滤波器和网络、开关、电子连接器、继电器、电气电子组件、板和卡等环境效应
	部组件环境效应	以产品类别进行分类
产品整机环境效应数据	以产品类别进行分类	
试验试件及设备设施数据	试件信息数据	试件组成与状态、试件试验信息和检测信息
	试验场地数据	以试验场地所在环境进行分类
	仪器仪表数据	以仪器仪表种类进行分类
	试验设备数据	以试验设备使用场景分类,可分为大气环境试验设备、海水环境试验设备、自然环境加速试验设备、气候模拟试验设备、运输模拟试验设备、电磁干扰试验设备
		检测设备数据
	分析评估设备数据	数字环境试验场数据、仿真试验系统数据、数据处理设备数据
	计量和标校数据	设备计量数据、性能标校数据
	综合性数据	标准规范
科技文献		学术论文、学术专著、学术期刊、研究报告、其他科技文献
科技管理		科研项目信息、科研机构能力、专家队伍
技术与产品		环境效应减缓和抑制技术、设备/装置、专利、软件著作权
自然环境试验与观测站网		自然环境试验站、自然环境观测站、实验室

通过开展典型环境因素监测及数据积累、关键材料及零部件自然环境适应性规律分析等研究,长期积累全球14类气候区和四大洋重点海区地面环境因素数据7亿余条,揭示了温度、湿度、太阳辐射等关

键环境因素动态演变规律。成体系采集了基础材料、基础元器件、结构件、部组件、分系统等共2200余种基础产品在典型自然环境中的损伤行为数据170余万条,指导和规范装备体系的材料和器件选用。收

集了覆盖航天、航空、船舶、电子、兵器等军工行业各型产品环境适应性案例 100 余个, 编制形成了《轻质材料环境腐蚀数据手册-铝合金、钛合金及防护工艺分册》《橡胶材料环境适应性数据手册》《武器装备环境适应性案例集》《我国典型气候区域和海域自然环境数据手册》等, 为产品研制生产提供了基础数据保障。

2) 数据规范性持续加强, 全方位奠基数据高质量应用。稳步推进试验站固定式自然环境观测系统升级改造, 开发信息解码软件, 打通国防站网环境因素数据自动采集、实时传输、动态展示链路, 采用信息传输单元, 实现基于 4G 网络、北斗系统的设备数据远程传输, 形成了自动观测装置的组网回传方案。大幅缩短数据输出到数据应用的时间, 提升自然环境因素数据的汇集处理能力, 促进自然环境试验与测试原始数据向二次数据、数据产品转化效率。开展数据规范化与质量控制, 一是逐步完善装备自然环境试验与测试大数据标准体系, 编制数据入库规范、分类与编码、数据质量控制规范等标准, 为后续数据质量规范化奠定基础。二是实现海量自然环境因素数据的自动化质量控制, 包括格式检查、缺测检查、界限值检查、主要变化范围检查、内部一致性检查、时间一致性检查、空间一致性检查、质量控制综合分析和数据质量标识等。三是针对环境效应数据种类多、统计繁琐的特点, 理清原始数据、二次数据之间的关联关系, 增加二次数据自动统计计算功能。根据数据处理规则,

自动生成二次数据, 并收录到各类专题数据库, 提高自然环境效应基础数据的溯源性和入库规范性。三管齐下, 专业数据资源的规范性与可靠性大幅提升, 为高质量数据产品与应用服务的产出与孵化提供了根本保证。

3) 数据管理应用能力全面提升, 推动数据服务跨越升级。针对自然环境试验与测试数据分散、数据低价值利用现象突出、数据无法形成合力服务产品质量建设等问题, 通过总体设计、分步实施, 打通自然环境试验与测试数据采集传输、存储管理、加工挖掘、共享应用全过程, 打造自然环境试验与测试大数据服务平台, 实现试验站网基础数据资源统筹管理, 面向用户提供数据资源查询、分析、图形化展示, 形成多维动态数据可视化决策支持产品, 促进数据资源高效使用, 大幅提升自然环境试验与测试基础数据资源管理能力。

一是构建全球自然环境因素数据管理与可视化平台, 覆盖全国湿热、亚湿热、暖温、寒温 I、寒温 II、寒冷和干热等七大气候区以及部分重点区域, 实现部分非密站点环境因素数据采集的实时传输(如图 5 所示)。针对自然环境效应数据种类多、结构复杂的特点, 基于关系型数据库, 构建自然环境试验与观测数据信息管理系统, 搭建底层子库 200 余个, 开发系统管理、数据存管、数据智能查询等功能模块 20 余个, 有效整合了行业长期积累而分散保存的环境效应基础数据资源, 实现了六大类基础数据资源的动态扩展管理。



图 5 全球自然环境因素数据管理与可视化平台

Fig.5 Global natural environment factors data management and visualization platform

二是开发自然环境试验数据共享发布系统, 实现产品环境效应数据、失效与服务案例、科技成果数据、算法与模型等多源异构数据资源融合与高效流转使用。建立了离线建设-线上发现-线下共享的数据共享共建机制, 形成了自然环境试验与观测数据应用服务

规范, 带动了自然环境试验在各军民品企业中的应用服务模式创新。

三是构建自然环境试验数据挖掘平台, 大力研究面向应用服务的环境适应性模型体系(如图 6 所示)。全面打通基础数据资源池、专题数据库、挖掘平台、专业

场景、专题看板、数字地图之间的数据流转链路，通过自定义配置模型功能与场景式应用开发促进海量数据

大幅增值，为基础数据资源向数据产品的转化提供了工具软件，推动形成数据驱动、模型驱动的研发模式。

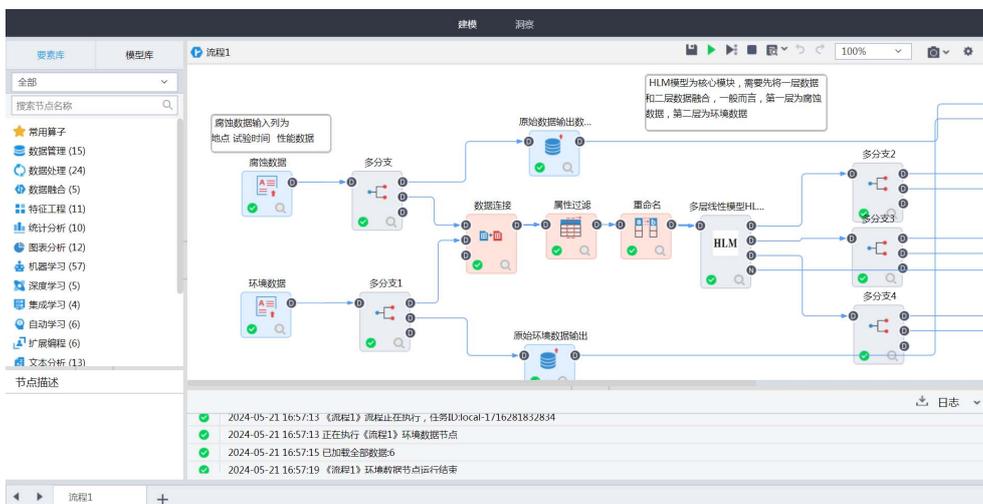


图6 自然环境试验数据挖掘分析平台  
Fig.6 Natural environment testing data mining and analysis platform

### 3 装备自然环境试验数据工程建设展望与对策

以装备环境工程领域积累的大量数据资源为输入，目前国内形成了多种类型的数据产品，发布了系列标准规范，初步搭建了数据共享服务平台，装备自然环境试验数据工程建设初具成效。然而相较于国外建设现状，对标国内装备全要素数据采集要求多维性、环境数据治理挖掘技术多样性、数据产品服务体系高效性的需求，国内装备自然环境试验数据工程建设还存在数据资源分散，未能实现共享和聚合，数据挖掘深度不够，未形成高水平服务产品，创新能力不足，难以应对数字化转型的新挑战等问题。需要从进一步激活要素价值潜能、创新数据服务模式与数据服务体制机制、加快推进产业数字化、把握数字化转型重大机遇等方面全面加强装备自然环境试验数据工程建设。

#### 3.1 激活数据要素价值潜能<sup>[31]</sup>

数据作为新型生产要素，具有显著的溢出效应和倍增效应，已成为新质生产力的核心生产要素。全面实现数据要素为新质生产力赋能，一是以“增”带“存”强化基础数据治理，建成以数据为核心的“一站式”数据价值创造平台，构建以研发、制造、管理为基础领域的数据库，提升数据采集、挖掘和利用管理能力，充分激活存量数据价值，实现数据要素价值高质量倍增。二是以“数”谋“新”加强前沿技术攻关，大力发展超算、大数据、人工智能等新技术，打造数字化核心能力，推动生产力跃进升级。三是加“数”向“实”，增强数实融合，基于超大量、成体系、长时期积累的基础数据资源，以构建数字化自然环境试

验场、装备环境适应性数字样机为目标，打造自然环境效应与防护仿真试验能力，逐步实现装备产品环境适应性的数实融合验证，为新质生产力的加快培育和发展注入澎湃动能。

#### 3.2 固化创新数据服务模式

持续开发数据产品与研发微服务模块，健全自然环境试验数据共建共享机制，扩大数据应用。建成形式灵活的自然环境试验数据共享发布体系，打造自然环境试验数据资源的展示窗口。通过常态化推送数据产品、标准模型工具敏捷化应用服务、数据驱动定制化评估服务等多方面向全行业各应用服务单位、国民经济主战场提供体系化的专业数据、定制化的技术服务、知识化的科普资源以及全覆盖的行业资讯，有效促进数据流通，以更完备的数据产业链扩大环境试验数据服务范围与影响力，使专业数据资源形成合力，推动工业产品质量建设和国民经济发展。

#### 3.3 探索体制机制创新范式

确保自然环境试验与测试大数据服务产业高质量发展，搭建数据服务创新体制机制。一是数据归口管理机制，积极配合上级主管机关，协助制定专业建设规划，牵头制定数据管理规定和相关标准规范，逐步建立自然环境数据服务中心，形成数据汇集与服务应用的归口管理机制；二是常态化工作机制，组建专职数据服务人员队伍，建立数据汇聚管理规范与数据交付、分发制度，保障数据形式、内容与质量，进行规范化数据治理与产品输出，提供常态化推送的基础数据服务；三是集成服务机制，面向工业装备全寿命周期需求，利用基础数据资源持续形成定制化数据

集,模块化开发软件工具,针对不同单位以集成化的数据与软件提供便捷的服务保障;四是共建共享机制,围绕重大任务保障需求,打通自然环境试验领域的行业壁垒和不同单位之间的政策壁垒,减少重复建设,整合资源,降本增效,充分发挥“聚合优势”,提高环境试验数据资源服务效能。

### 3.4 加快推进产业数字化,赋能产业转型升级

需求牵引带动产业建设。深入用户一线与生产研制单位,紧盯装备产品论证设计、研制生产、试验鉴定与使用维护需求,以数据、算法、模型等为新型生产要素,增加数据手册/汇编、软件工具等数据产品产出,有力支撑装备产品环境适应能力提升。牢固树立服务装备的意识,以需求为牵引推动环试大数据产业建设。

行业协同赋能产业建设。坚持“小核心、大协作”,充分融合航空、船舶、兵器、电子等行业优势资源力量和知名高校、高新技术企业等创新力量,发挥各自优势强化行业协调联动,贯通环境试验与测试大数据产业圈信息流、数据流与技术流,合力推进环试大数据产业建设。

自主可控保障产业建设。积极践行国产化替代战略,大力推进浪潮服务器等国产硬件设备、达梦数据库等国产软件工具,以及物联网、人工智能等先进技术在自然环境试验大数据采集、管理、挖掘、共享应用等全过程的应用,确保自然环境试验与测试大数据建设高度自主可控,支撑后期可持续创新发展。

### 3.5 新域新质装备<sup>[32-36]</sup>

目前,全球正经历广泛而深刻的数字化变革,要求装备试验鉴定数字化转型。加强装备自然环境试验数据流通与应用,发挥海量数据和丰富应用场景优势,促进数字技术和实体经济深度融合,是贯彻落实习主席关于大数据产业发展重要指示的重要任务。

立足新发展阶段,针对武器装备自主创新发展、新型试验鉴定体系构建等重大现实需求,适应信息化时代数据资源建设和运用模式变革。一是要聚焦装备自然环境试验数据服务保障能力瓶颈短板,瞄准国际先进水平和前沿技术,以作战需求为牵引,以装备环境问题为导向,聚力技术推动,健全标准规范,完善保障条件,深化共性技术研究,提升人才队伍能力和水平,扎实开展装备环境工程建设,为装备建设与运用提供坚实的环境观测与服务保障。二是要以自然环境试验与测试服务数字化建设为重要抓手,不断摸索环境试验数据的建设、管理、应用模式,持续做好武器装备数字化转型的模型体系与工具软件等自然环境数据产品与服务开发,筑牢装备自然环境试验数据服务保障力,扩大环境试验服务品牌在全军的影响

力,在自然环境试验领域,以完备的数据要素、坚实的数字底座,通过数据标准制定、数据产品输出、数据服务引领全面融入装备数字化转型发展。

## 4 结语

装备自然环境试验数据工程建设是提升武器装备环境适应性、高质高效服务武器装备建设的重要环节,目前通过站网布局优化、基础数据资源拓展、数据管控模式强化等举措,已取得初步建设成效。进一步应把握数字化转型重大机遇,从激活数据要素价值潜能、固化创新数据服务模式、探索体制机制创新范式等方面持续推进装备自然环境试验数据工程建设。

### 参考文献:

- [1] 王成章,钟勇,张薇,等.航空装备环境适应性试验鉴定工作展望[J].装备环境工程,2023,20(5):6-11.  
WANG C Z, ZHONG Y, ZHANG W, et al. Prospect of Environmental Adaptability Test and Appraisal of Aviation Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(5): 6-11.
- [2] 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 H L, QIAN Y X, ZHAO C L, et al. Construction and Application of Military Material Natural Environment Test System[J]. Journal of Engineering Studies, 2018, 10(2): 124-132.
- [3] 汪学华,何新洲,杨晓然,等.军工材料环境适应性工程化验证和研究发展战略探讨[J].装备环境工程,2005,2(6):48-57.  
WANG X H, HE X Z, YANG X R, et al. Discussion on the Development Strategy of Engineering Verification and Research of the Environmental Worthiness of Military Material[J]. Metal Forming Technology, 2005, 2(6): 48-57.
- [4] 秦晓洲,常文君.自然环境试验与武器装备发展[J].装备环境工程,2004,1(3):1-7.  
QIN X Z, CHANG W J. Natural Environmental Test and the Development of Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(3): 1-7.
- [5] 罗来正,王江山.浅析科技创新和关键核心技术突破对装备环境适应性高质量发展的重要性[J].装备环境工程,2021,18(7):107-111.  
LUO L Z, WANG J S. Technological Innovation and Key Core Technology Breakthrough: The Cornerstone of Equipment Environment Adaptability High-Quality Development[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(7): 107-111.
- [6] 闫杰,刘丽红,纪春阳,等.国内外自然大气环境试验的发展[J].中国腐蚀与防护学报,2009,29(1):69-75.  
YAN J, LIU L H, JI C Y, et al. Development of Natural

- Atmospheric Environmental Test in the World[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2009, 29(1): 69-75.
- [7] 冯林, 孟祥辉, 张薇, 等. 美国海军陆战队车辆腐蚀/耐久性行驶试验方法综述[J]. 装备环境工程, 2023, 20(7): 24-31.  
FENG L, MENG X H, ZHANG W, et al. Review on Vehicle Corrosion/Durability Driving Test Method of US Marine Corps[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(7): 24-31.
- [8] 秦晓洲, 杨晓然, 杨德模, 等. 国防科技工业自然环境试验站网运行及管理探讨[J]. 装备环境工程, 2011, 8(2): 78-81.  
QIN X Z, YANG X R, YANG D M, et al. Operation and Management of Natural Environmental Test Station Network of National Defense Science, Technology and Industries[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(2): 78-81.
- [9] 徐波, 吴俊升, 王瑞丹, 等. 材料腐蚀野外站联网观测研究工作进展与展望[J]. 中国科技资源导刊, 2023, 55(1): 25-34.  
XU B, WU J S, WANG R D, et al. Research Progress and Prospect of Materials Environmental Corrosion Observation Station Networks[J]. China Science & Technology Resources Review, 2023, 55(1): 25-34.
- [10] 王倩, 李辛庚, 樊志彬, 等. 材料腐蚀数据库的研究现状及前景展望[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(10): 49-53.  
WANG Q, LI X G, FAN Z B, et al. Research Status and Prospect of Material Corrosion Database[J]. Corrosion & Protection, 2023, 44(10): 49-53.
- [11] 李晓刚. 国家材料环境腐蚀平台共享服务实践探析[J]. 中国科技资源导刊, 2018, 50(6): 101-107.  
LI X G. Practice Analysis about the Sharing Service of National Materials Environ-Mental Corrosion Platform[J]. China Science & Technology Resources Review, 2018, 50(6): 101-107.
- [12] 徐迪, 杨小佳, 李清, 等. 材料大气环境腐蚀试验方法与评价技术进展[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2022, 42(3): 447-457.  
XU D, YANG X J, LI Q, et al. Review on Corrosion Test Methods and Evaluation Techniques for Materials in Atmospheric Environment[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2022, 42(3): 447-457.
- [13] 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 Y, CHEN J P, LIU Y, et al. The Present Situation and Suggestion of Missile Equipment Natural Environmental Test[J]. Modern Defence Technology, 2021, 49(4): 86-90.
- [14] 李旭, 刘聪, 张宸, 等. 热带海洋大气环境氯离子浓度立体化观测技术研究[J]. 装备环境工程, 2024, 21(1): 142-148.  
LI X, LIU C, ZHANG C, et al. Three-Dimensional Observation Technology of Chloride Ion Concentration in Tropical Marine Atmospheric Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(1): 142-148.
- [15] 岑远遥, 廖光萌, 朱玉琴, 等. 基于布拉格光纤光栅的铝合金应力腐蚀裂纹扩展监测技术[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2024, 44(3): 815-822.  
CEN Y Y, LIAO G M, ZHU Y Q, et al. Monitoring Technology for Stress Corrosion Crack Propagation of Al-Alloy Based on Optical Fiber Bragg Grating[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2024, 44(3): 815-822.
- [16] 陈星昊, 舒畅, 黄伦, 等. 环境效应检测与评价中的图像识别技术综述[J]. 兵器装备工程学报, 2021, 42(12): 44-51.  
CHEN X H, SHU C, HUANG L, et al. Image Recognition Technology in Detection and Evaluation of Environmental Effect[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2021, 42(12): 44-51.
- [17] 李婷玉, 魏洁, 陈楠, 等. 用于大气环境的电化学传感器的腐蚀性能研究[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2024, 44(2): 365-371.  
LI T Y, WEI J, CHEN N, et al. Corrosion Performance of Electrochemical Sensors for Atmospheric Environments[J]. Journal of Chinese Society for Corrosion and Protection, 2024, 44(2): 365-371.
- [18] 周阳红生, 王春川, 赵振峰, 等. 航空装备海洋大气综合环境试验方法研究[J]. 装备环境工程, 2020, 17(2): 86-90.  
ZHOU Y, WANG C C, ZHAO Z F, et al. Comprehensive Environmental Test Method for Aviation Equipment in Marine Atmosphere[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(2): 86-90.
- [19] 周阳红生, 张洪彬, 薛海红, 等. 我国综合环境试验现状与发展建议[J]. 装备环境工程, 2018, 15(5): 44-47.  
ZHOU Y, ZHANG H B, XUE H H, et al. Current Situations and Development Suggestions of Combined Environmental Test in China[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(5): 44-47.
- [20] 朱玉琴, 陈源, 张燕, 等. 国内外动态自然环境试验技术发展现状[J]. 装备环境工程, 2015, 12(6): 93-99.  
ZHU Y Q, CHEN Y, ZHANG Y, et al. Current Status of Dynamic Natural Environmental Test Techniques at Home and Abroad[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(6): 93-99.
- [21] 李茜, 胡涛, 孙茂钧, 等. 海洋大气环境多因素组合/综合试验及方法现状分析[J]. 装备环境工程, 2023, 20(3): 84-90.  
LI (Q /X), HU T, SUN M J, et al. Analysis of Multi-Factor Combined/Comprehensive Test and Method in Marine Atmospheric Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(3): 84-90.
- [22] 杨万均, 崔兵兵, 陈星昊, 等. 自然环境超高加速光老化试验系统研制[J]. 装备环境工程, 2023, 20(7): 168-174.  
YANG W J, CUI B B, CHEN X H, et al. Development of Ultra-Accelerated UV Aging Test System under Natural

- Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2023, 20(7): 168-174.
- [23] 杨晓然, 彭小明, 杨小奎, 等. 多因素综合高原高寒气候环境模拟加速试验箱研制[J]. 装备环境工程, 2020, 17(7): 27-33.
- YANG X R, PENG X M, YANG X K, et al. Development of Multifactor Integrated Frigid Plateau Climate Simulation and Acceleration Test Chamber[J]. Equipment Environmental Engineering, 2020, 17(7): 27-33.
- [24] 代杰, 杨宇静, 张西川, 等. 装备数据管理体系分析与设计[J]. 电子质量, 2021(7): 52-55.
- DAI J, YANG Y J, ZHANG X C, et al. Analysis and Design of Data Management System for Equipment[J]. Electronics Quality, 2021(7): 52-55.
- [25] 栾瑞鹏, 张静, 刘立坤. 面向装备试验鉴定领域数据治理的知识图谱本体构建[J]. 系统工程与电子技术, 2024, 46(3): 1013-1020.
- LUAN R P, ZHANG J, LIU L K. Knowledge Graph Ontology Construction for Data Governance in Equipment Testing and Identification Field[J]. Systems Engineering and Electronics, 2024, 46(3): 1013-1020.
- [26] 徐萍, 耿伟波, 游宏梁. 加强装备质量数据资源建设的思考[J]. 质量与可靠性, 2020(6): 43-47.
- XU P, GENG W B, YOU H L. Thoughts on the Construction of Equipment Quality Data Resource[J]. Quality and Reliability, 2020(6): 43-47.
- [27] 戴超凡, 刘丽华, 曾赛红, 等. 军事数据质量管理研究[J]. 指挥与控制学报, 2016, 2(4): 322-328.
- DAI C F, LIU L H, ZENG S H, et al. On Military Data Quality Management[J]. Journal of Command and Control, 2016, 2(4): 322-328.
- [28] 胡浩, 孟祥辉, 郑苗. 武器装备质量工程基础数据环境建设研究[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(11): 37-40.
- HU H, MENG X H, ZHENG M. Research on the Construction of the Fundamental Data Environment in Quality Engineering for the Weapons and Equipment[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2013, 34(11): 37-40.
- [29] 程芳, 赵彦庆, 姚萍. 面向多领域共享服务的数据质量控制体系研究[J]. 标准科学, 2020(11): 155-158.
- CHENG F, ZHAO Y Q, YAO P. Research on the Data Quality Control Framework Based on Multi-Domain Sharing Service[J]. Standard Science, 2020(11): 155-158.
- [30] 叶波, 梅文辉, 陈佳斌, 等. 基于数据融合共享、多维赋能的质量数据工程管理[J]. 中国信息界, 2024(1): 106-111.
- YE B, MEI W H, CHEN J B, et al. Quality Data Engineering Management Based on Data Fusion and Sharing and Multidimensional Empowerment[J]. Information China, 2024(1): 106-111.
- [31] 洪银兴. 新质生产力及其培育和发展[J]. 经济学动态, 2024(1): 3-11.
- HONG Y X. New Quality Productivity and Its Cultivation and Development[J]. Economic Perspectives, 2024(1): 3-11.
- [32] 宋敬华, 周焕, 陈昱. 装备试验鉴定数字化转型需求分析[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(10): 312-316.
- SONG J H, ZHOU H, CHEN Y. Review of Research on Digital Transformation Construction of Equipment Test and Appraisal[J]. Computer Measurement & Control, 2023, 31(10): 312-316.
- [33] 任璐英, 谭立忠, 姜开波, 等. 加快推进装备数字化转型发展建设的启示[J]. 军民两用技术与产品, 2023(8): 11-14.
- REN L Y, TAN L Z, JIANG K B, et al. The Enlightenment of Accelerating the Development and Construction of Digital Transformation of Equipment[J]. Dual Use Technologies & Products, 2023(8): 11-14.
- [34] 唐秀媛. 装备试验鉴定数字化转型需求思考[J]. 实验室检测, 2024(2): 74-77.
- TANG X Y. Reflection on the Digital Transformation Needs of Equipment Testing and Appraisal[J]. Laboratory Testing, 2024(2): 74-77.
- [35] 傅耘, 张建军, 李明, 等. 关于环境工程数字化转型的思考[J]. 装备环境工程, 2024, 21(5): 13-23.
- FU Y, ZHANG J J, LI M, et al. Reflections on Digital Transformation of Environmental Engineering[J]. Equipment Environmental Engineering, 2024, 21(5): 13-23.
- [36] 徐涛, 宋敬华, 李亮, 等. 装备数字化试验发展研究[J]. 新技术新工艺, 2022(9): 15-19.
- XU T, SONG J H, LI L, et al. Research on Development of the Equipment Digital Test[J]. New Technology & New Process, 2022(9): 15-19.