

环境试验与观测

导弹用材料环境适应性数据库设计

万军

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 针对材料工艺师需要系统整合导弹环境适应性信息的手段、分析数据变化规律的工具、网络共享的平台,设计并开发导弹用材料环境适应性数据库。**方法** 数据库软件采用 J2ee 体系架构搭建,设计虚拟导弹数字化模型,通过建立大量的数据关联,将导弹基本结构信息、导弹整机失效信息、弹用材料基本性能信息、环境适应性信息和环境信息五大类信息整合为一体,供导弹模型调用。设计曲线绘制算法,采用 ActionScript 脚本语言编程,实现数据规律动态绘制,采用跨库关联建立数据关联查询和数据对比分析。**结果** 用户可通过鼠标操作,拆分和组装导弹模型,全方位观察导弹的构成。利用导弹模型整合的五大类环境适应性信息,直观反映导弹的构成和材料应用情况。软件能够查询导弹的故障模式、弹用材料环境适应性信息等,跨库关联则增强了数据对比性。**结论** 该数据库已经通过软件测评并上线运行,为导弹多个型号的选材和防护设计工作提供帮助,用户反映良好。

关键词: 导弹; 环境适应性; 数据库; 3D 建模; 数据可视化; 数据关联

中图分类号: TJ760.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2022)06-0147-08

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.06.021

Design of Environmental Adaptability Database for Missile Materials

WAN Jun

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

ABSTRACT: In view of the need of material technologists for a means to integrate systematically missile environmental adaptability information, tools to analyze the data change rules, and a platform for network sharing, the paper designs and develops an environmental adaptability database for missile materials. The database software is built by using J2EE architecture, and the virtual missile digital model is designed. Through the establishment of a large number of data association, the basic structure information of the missile, the failure information of the whole missile, the basic performance information of the missile materials, the environmental adaptability information of the missile materials and the environmental information are integrated into one, which can be called by the missile model. The curve drawing algorithm is designed, and the dynamic drawing of data rule is realized by using ActionScript script programming language, and cross-database association is used to establish data association query and data comparative analysis. The establishment of missile model enables users to observe the missile's composition in all views through operation, disassembly and assembly of missile model by mouse. The five kinds of environmental adaptability information integrated by the missile model can directly reflect the missile's composition and material application. The software can query the information of missile failure mode and environmental adaptability of missile materials,

收稿日期: 2021-07-08; 修订日期: 2021-07-21

Received: 2021-07-08; Revised: 2021-07-21

作者简介: 万军 (1974—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为装备环境数据处理。

Biography: WAN Jun (1974-), Male, Senior engineering. Research focus: data processing of equipment environment.

引文格式: 万军. 导弹用材料环境适应性数据库设计[J]. 装备环境工程, 2022, 19(6): 147-154.

WAN Jun. Design of Environmental Adaptability Database for Missile Materials[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(6): 147-154.

and cross-database association enhances the data contrast. The database has passed the software evaluation and has been put into operation, providing help for material selection and protection design of multiple types of missiles, and its users have a good response.

KEY WORDS: missile; environmental adaptability; database; 3D modeling; data visualization; data association

导弹在寿命周期内易受到各种自然环境和诱发环境的影响,因此在交付前需要对其环境适应性进行全面评价^[1],是导弹定型阶段的一项重要工作^[2]。我国对导弹的环境适应性问题非常重视,为掌握自然环境对导弹的影响,长期且系统地在我国各种典型大气环境试验站开展了环境试验^[3-8],积累了丰富的试验数据和试验信息。由于各种原因,材料工艺师依然难以获取足量的导弹用材环境适应性信息来支撑其选材和防护设计工作,究其原因,大致为以下4点:

1) 由于装备研制单位的工作组织和人员配备大多以型号为牵引,型号与型号之间的工作没有建立沟通。层级之间信息交流较多,层级之外信息交流较少,也就是信息垂直传递多,平行传递少,信息没有充分实现共享。

2) 信息没有经过系统、规范的组织,材料工艺师对各类信息的认识没有形成整体概念,对导弹环境试验信息应用依旧停留在点上。

3) 专业领域限制,材料工艺师对离散的环境试验参数概念模糊,理解不透彻,不清楚各类数据之间的关系。

4) 装备环境工程工作中,存在论证与研制脱节、研制与使用脱节、使用与反馈脱节等现象,各类试验数据信息分散在装备论证单位、研制单位、试验单位、保障单位,使得论证指标缺乏有力的依据,装备研制缺乏信息支撑,服役环境缺乏有效监控,信息资源整合与共享缺乏有效的工具。

本文介绍了以3D数字导弹模型为核心,系统组织各类信息,以导弹三维建模、数据可视化、跨库关联等技术为突破口,开发了导弹用材料环境适应性数据库,解决对导弹基本信息、导弹失效信息、弹用材料性能数据、环境数据、环境试验数据资源的系统组织、有效管理、图形化分析和网络共享等难题。

1 导弹用材料环境适应性数据库设计

1.1 设计数据库的目的

本数据库设计的目的是为了帮助型号单位的材料工艺师分析导弹在典型环境条件下环境因素对导弹选材的影响,分析导弹的薄弱环节以支撑导弹的选材、防护设计等工作。导弹信息类型则包括数据、文字、图像、视频等,数据类型多,数据结构复杂,传统的信息管理方式已难以胜任,因此需要建立一套

新的系统,以材料工艺师角度通过信息技术对相关信息进行系统、有效的组织,直观反映各类数据的内涵和规律。离散数据建立必要的联系以满足用户关联查询的需求。通过以上分析可以确定,数据有效组织、数据规律分析、数据对比性分析、数据关联分析是用户的四大需求。最终将数据库建成在保证信息安全的前提下,直观反映材料在导弹上应用和环境适应性信息数字化的综合共享平台,成为便捷、全面的导弹环境适应性设计、分析、选材的参考软件工具。

1.2 构建导弹环境适应性数据体系

导弹在寿命期内,反复经历运输、贮存、训练、检测、机动转移、任务准备、任务实施等阶段,经历各种自然环境、力学环境、热环境和电磁环境的综合作用,自然环境因素和诱发环境因素的综合作用会影响导弹的结构、防护和基础材料性能,甚至影响到整个导弹系统的战技指标。如高温引起的材料热胀、有机材料开裂、固体火药产生裂纹、材料软化导致强度降低等;高湿导致的水汽凝露造成电气短路、材料吸湿变形、加速金属材料件电化学腐蚀等;诱发环境的振动和冲击使机械产品产生应力和疲劳,导致材料机械强度降低,磨损加剧,紧固件、连接件松动等;冲击会导致部组件产生变形、折断和断裂,电子元器件触角断裂造成断路等。

由于导弹的贮存期占据整个导弹寿命周期较大的比例,因此自然环境在这段时间带来的影响更为明显,各国非常重视装备在贮存过程中受自然环境的影响,开展了导弹在贮存期的评估。如美国采用以自然贮存试验为主、加速贮存试验为辅的贮存期研究方法,制定了导弹贮存可靠性研究计划(SRP),导弹从研制到退役实行全寿命周期管理^[9]。俄罗斯同样也开展了装备贮存试验,从最基础的材料贮存试验入手,研究环境对导弹的影响,因为材料性能的高低很大程度上决定了导弹结构和部(组)件性能的好坏,进而决定导弹战术指标的优劣^[10]。俄罗斯的贮存试验产品包括导弹的零组件、材料、元器件、产品等。我国为了评估导弹的环境适应性,分别在代表我国热带海洋、高原、高寒、沙漠和酸雨等大气环境试验站的库房、试验棚、洞库等环境开展了贮存试验。试验针对基础材料、材料结构件、整弹3个方面来开展。基础材料类包括功能材料、电子元器件、涂层、火工品、产品包装等^[11]。随着大量的新技术、新工艺、新材料

运用到导弹上^[12-13]，加之人们对导弹用材料寿命认识的深入^[14]，参与自然环境试验的导弹用材越来越多，相关数据和信息日益丰富。从总体和材料工艺师角度来划分，数据包括材料基础性能数据、环境试验数据 2 类。按照材料分类可分为金属材料、高分子材料、无机非金属材料、复合材料 4 类。其中金属材料包括钢、铁、铸铁、有色金属及合金、金属覆盖层、非晶态合金 6 类材料；高分子材料包括塑料、橡胶、胶粘剂、竹木材料、纺织品、油漆涂层、隐身涂层、油脂 8 种材料；无机非金属材料包括水泥、陶瓷、玻璃 3 种材料；复合材料包括金属基复合材料、树脂基复合材料、陶瓷基复合材料、碳/碳复合材料。这些材料的物理性能和化学性能参数共同组成了材料基础性能数据和环境试验数据。

导弹贮存试验期间环境试验科研人员同步对环境信息（含装备外部环境和装备内部微环境数据）进行了记录，记录的环境信息包括气象因素和大气污染介质^[15-20]2 部分信息。环境信息要素包括温度、湿度、气压、雨、风、太阳辐射、天气现象 7 类气象数据和空气、雨水、降尘 3 类大气介质数据。上述环境信息组成能够代表我国典型大气环境、导弹装备部署地区环境或未来可能部署的极端环境的环境信息参数。

综上所述，根据目前各方统计的数据类别和用户需求，将导弹环境适应性数据体系划分为导弹基本结构信息、导弹整机失效信息、弹用材料基础性能信息、材料环境适应性信息和环境信息 5 类信息。

1.3 软件功能的设计思路

传统的装备类数据库的数据组织方式、数据表达方式多是以关系型模式建库，以二维表的形式将数据“赤裸”地展示给用户^[21-22]，数据的组织是以关键字为牵引进行组织。用户体验数据库就是存储数据的容器，管理数据的工具。如果本数据库按照传统方式组织，数据就会脱离用户真实需求。本数据库目标用户

主要是型号单位的材料工艺师，就材料环境适应性信息来说，材料工艺师与型号设计师的关注点（需求差异）区别很大。材料工艺师对材料类性能数据极其敏感，重视材料性能的定量描述和材料在不同环境下的性能退化规律；型号设计师更关注选材对装备整体战技指标的影响，材料性能方面更倾向于定性描述，相对于材料的环境适应性信息，更关注材料的寿命周期。材料工艺师由于专业领域限制，对导弹整机、部件及材料受各种环境因素影响而造成的腐蚀（老化）的变化规律概念模糊，而对这部分信息理解最深刻的是环境试验人员。如何辅助材料工艺师通过数据库软件掌握更多的导弹用材环境适应性信息是用户的重点需求。需求即设计目标，本数据库整个开发过程都邀请导弹装备研制单位的型号设计师、材料工艺师和环境试验单位的科研人员联合开展设计，形成初步的数据库开发构想^[23]，在数据库开发的每个阶段进行把关，指导数据库的开发，数据库各项设计贴近材料工艺师的日常工作，尽可能满足用户需求。

数据库软件设计思路是建立一个虚拟导弹的可视数字化模型，以数字化模型为牵引，直观反映材料在导弹上的应用，同时借助导弹材料牌号关联到弹用材料基本性能数据和材料环境适应性数据，再利用材料环境适应性数据关联到典型环境、试验环境和具体的环境数据，达到利用数字模型整合导弹基本结构信息、导弹整机失效信息、弹用材料基础性能信息、材料环境适应性信息和环境信息这 5 类信息的目的。将 5 类信息通过关联建立联系，整合为一体，数据之间能够相互调用，增强了数据的可比性。

导弹用材料环境适应性数据库软件功能包括导弹模型展示、导弹失效信息查询、材料性能信息查询、环境适应性信息查询、环境数据查询、选材建议、材料失效规律分析、环境数据变化规律分析等 20 多项软件功能，软件功能如图 1 所示。

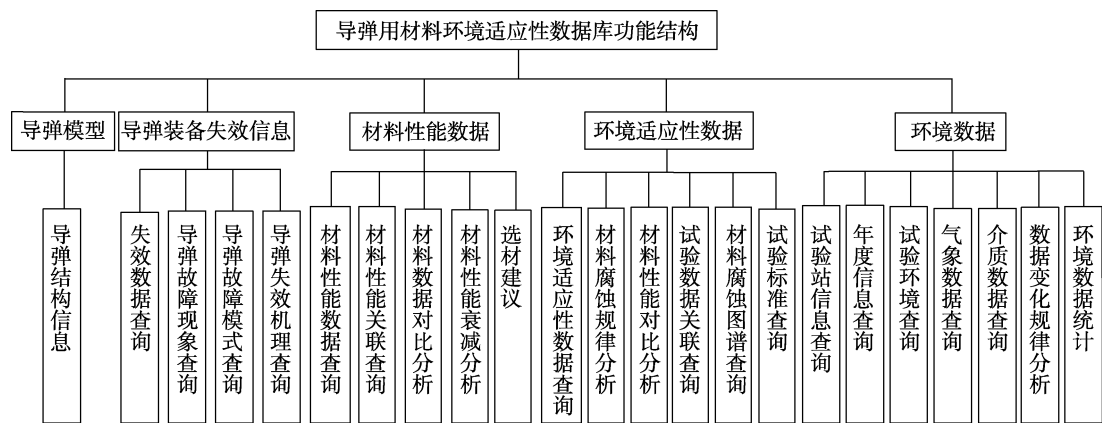


图 1 导弹用材料环境适应性数据库软件的功能

Fig.1 Functional block diagram of environmental adaptability database software for missile materials

2 导弹用材料环境适应性数据库的实现

2.1 数据库系统架构

为了与现有网络系统保持一致,本数据库软件采用 B/S 模式。具体地说,客户机只作为一个前端,不包含任何直接的数据库调用,客户机通过浏览器与一个应用服务器通信,再由应用服务器与数据库系统通信,客户机不需要额外安装任何软件。数据库采用 J2ee 体系架构进行开发,采用 Struts 框架来构建多层次系统,架构分为表现层、业务逻辑层、数据操作层和数据逻辑层 4 个层次。表现层主要用来展示信息,因此使用了多种计算机语言 and 多媒体元素进行展示(如 Flash、HTML 语言、JavaScript 语言、JSP 语言编程等);业务逻辑层主要面向的是各种业务功能,如封装表单数据等;数据操作层主要是对数据表的操作进行封装、数据的传递;数据逻辑层为数据的存放位置^[24]。系统的总体架构如图 2 所示。

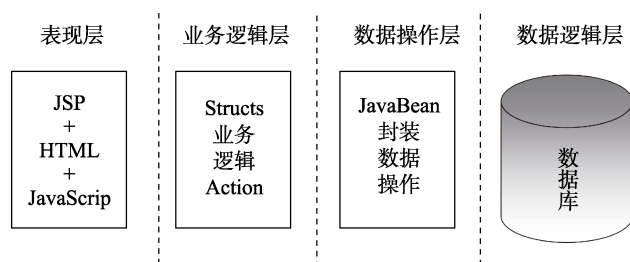


图 2 数据库架构
Fig.2 Database architecture

2.2 数据分类与组织的实现

为了直观地反映和组织导弹基本信息、失效信息、环境信息、材料性能信息、环境适应性信息,采用 SolidWorks 软件建立 3D 全尺寸、等比例数字化导弹模型,以数字化模型为核心,组织各类信息。用户通过鼠标操作可对导弹模型进行旋转、拆分与组合,观察导弹的主要构成。导弹装备初步拆分成各个舱段,各舱段又可以继续拆分成多个部、组件,详细展现每个部件的基本结构。通过建立的关联,调运组件的材料清单,通过材料清单链接到该材料的性能数据、环境适应性数据等信息。导弹数字化模型解剖如图 3 所示。

1) 导弹基本信息组织。导弹基本信息分为 2 部分,一部分为导弹型号、任务使命、战技指标、可靠性要求、环境适应性要求等顶层导弹装备信息;第二部分为导弹基础产品信息,包括部件代号、组成、名称、应用型号、应用部位,以及材料、工艺在导弹上

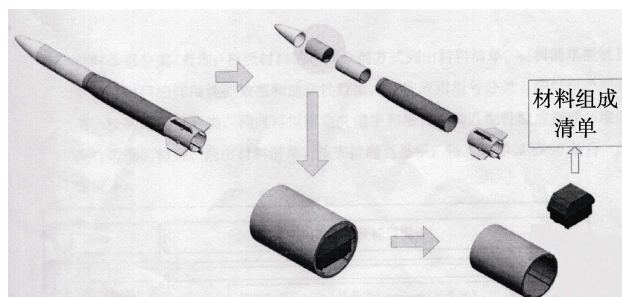


图 3 导弹数字化模型解剖示意图
Fig.3 Anatomical diagram of missile digital model

的使用情况等信息。基本信息单独建立基本信息子库,以方便模型的调用。用户在操作模型时,可以根据意愿拆卸虚拟整弹,了解导弹各个部、组件和导弹使用的材料信息。

2) 导弹失效信息组织。失效信息包含导弹故障现象、故障模式、导弹用材失效机理、腐蚀与老化图谱等。信息以导弹的型号为关键字,依照整机、部组件、零部件、材料组织数据。

3) 环境信息的组织。环境信息包括 2 部分:各级库房环境信息和地区环境信息;国防口典型大气环境试验站的环境信息。环境信息的组织统一按照环境试验站(导弹部署地区)→贮存环境(库房、试验站、暴露场等)→数据的采集时间→具体的环境数据为主线进行组织。在软件设计方面,采用数据树和选项卡组合的方式来实现,如图 4 所示。上述各节点信息均可由用户自行灵活的配置,以满足对库房环境信息或环境试验站环境信息管理的需求。

4) 材料性能及环境适应性信息的组织。材料性能信息主要指材料原始性能信息,包括各种物理性能、化学性能参数等。这类信息量特别大,信息的组织方式是以整机→部、组件→零部件→具体材料的方式进行。

5) 环境适应性信息的组织。环境适应性信息指材料在特定环境条件下物理和化学性能参数的变化。按照材料种类划分为金属材料、高分子材料、无机非金属材料、复合材料 4 类,然后以材料的具体种类、牌号再次进行细分。在软件设计方面,材料性能及环境适应性信息是以数据树的方式进行组织的。

2.3 数据可视化的实现

根据用户需求,用户需要大量的数据可视化方法形象地展示数据之间的规律和统计信息。Flash 动画在共享网站中是数据可视化常用的方法,其特点是:属于矢量图形,图形体积小;交互非常好,可以采用 ActionScript 脚本语言控制图形;页面多元化,能动态绘制点、线、面,甚至图形的 3D 效果^[25-26]。采用 Flash 动态绘制曲线的软件设计流程如图 5 所示。



图 4 环境数据的组织（因相关要求数据虚化处理）
Fig.4 Organization of environmental data (Due to relevant requirements, the data is blurred)

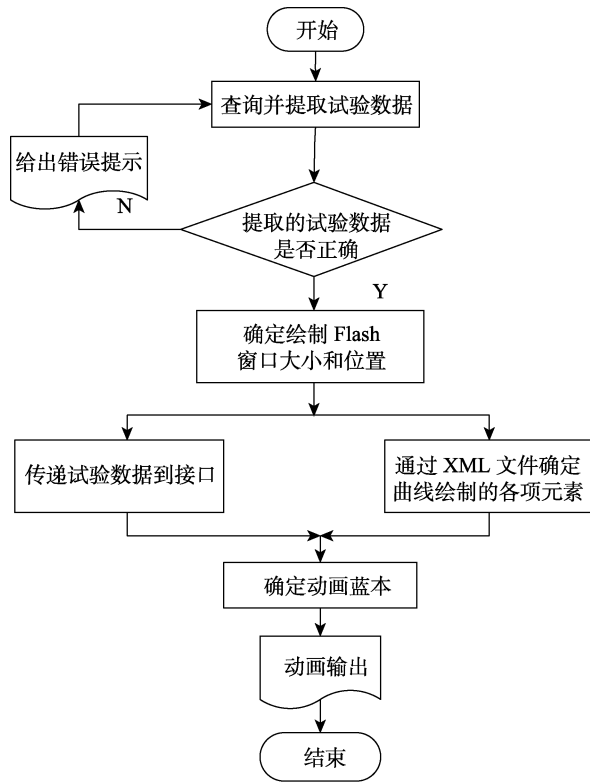


图 5 曲线绘制流程
Fig.5 Flow chart of curve drawing

采用 Flash 多媒体动画动态表征各类数据的方法：

1) 环境适应性参数的可视化。环境适应性参数的图形表达方式是采用 Flash 绘制横向进度条动态展现性能参数衰减的过程。如非金属材料的力学性能在试验后仅为原始性能的 80%，则当用户鼠标指向该参数时，参数上方显示横向柱状图缓慢减少到 80%，给用户以材料在某地区性能衰退的直观映像。其设计原理是将试验后的数据与材料原始性能数据进行一一对比，换算出各项参数残余百分比，再将其传输到 ActionScript 预先编写好的 fla 程序中，调动画蓝本输出动画。

2) 材料腐蚀性能变化规律的可视化。对于材料环境试验数据的变化，首先是对数据进行初步筛选，然后将符合条件的数据抽取出来，并以时间为横坐标、性能参数为纵坐标绘制动态曲线，直观展示材料的老化规律。

3) 环境数据变化规律的可视化。本数据库能对所有记录的环境参数进行规律分析。以环境主因素分析为例，这里主因素分析指对导弹装备用某材料影响较大的环境因素变化规律分析。如金属材料在海洋大气环境下易受氯离子、温度、湿度的影响；高分子材料在户外易受紫外线、红外线的影响。数据库能将这 些数据自动抽取出来，绘制成规律变化曲线，辅助型号设计师的环境适应性分析工作。

2.4 数据间关系表达的实现

1) 数据间关系的建立。为了加强数据间的联系，增强数据之间的可比性，通过关键字为数据库建立了包括环境适应性数据与材料性能数据之间、环境适应性数据与环境数据之间、环境适应性数据与标准库之间等 20 多个关联，通过跨库关联使数据之间的联系大大增强。数据库设计时建立的试验站—试验环境—环境因素的关系如图 6 所示。

2) 利用数据关联建立数据对比分析功能。用户需要大量的数据对比功能，如同一典型环境条件下，不同时间段的环境因素数据同比分析；同一时间段不同环境条件下环境因素的环比分析；同一试验点不同材料性能、防护体系的退化对比；同一牌号材料、防护体系在不同环境条件下的性能退化对比等。通过曲线动态展示环境的变化规律，使数据间的关系表达更直观，如图 7 所示。数据库还具备不同装备型号的同类用材环境试验数据对比分析（如图 8 所示）、同牌号材料试验前后的对比分析、同牌号材料在不同环境下的试验结果对比分析等 10 余项对比分析功能。

3) 利用数据关联建立关联分析。环境适应性数

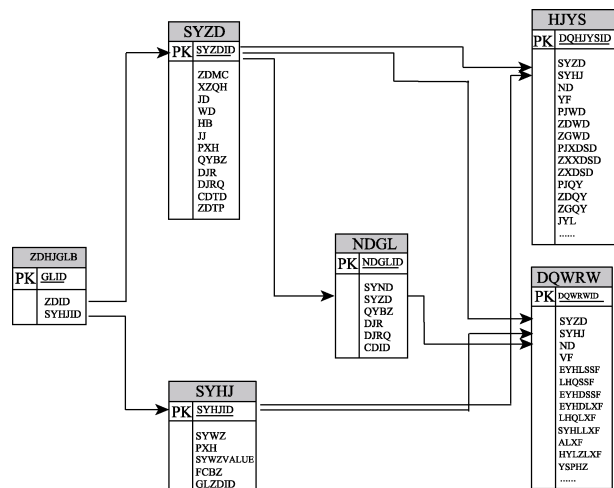


图6 试验站-试验环境-环境因素关联
Fig.6 Test station-test environment-correlation of environmental factors

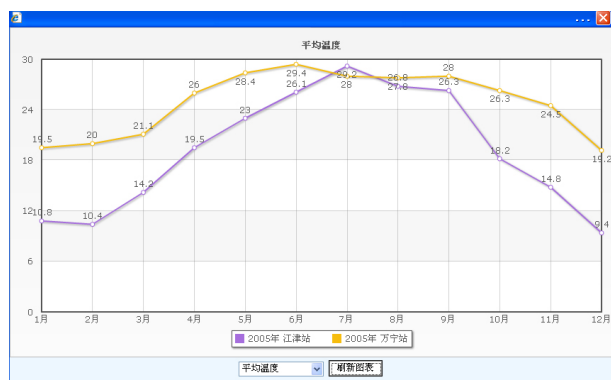


图7 环境数据变化规律对比
Fig.7 Comparison of environmental data change law

字段名	值
型号名称	
材料用途	尾翼
外观腐蚀状况	34
腐蚀面积	32
平均腐蚀率	32
点蚀深度	32
点蚀密度	43
抗拉强度	34
伸长率	34
断面收缩率	34
屈服强度	43
冲击功	43
弯曲强度	45
抗压强度	43
疲劳强度	23
应力腐蚀K _{ISCC}	32
断口金相组织	32
局部腐蚀类型	32
电偶腐蚀因子	23
阴极保护度	23

图8 环境适应性数据对比分析
(因相关要求数据虚化处理)
Fig.8 Comparative analysis of environmental adaptability data (Due to relevant requirements, the data is blurred)

据通过试验时间、试验地点关联到对应的环境数据,绘制规律曲线,以便进一步进行环境影响因素分析。

通过材料环境适应性数据关联到万宁试验站的温度变化规律,如图9所示。另外,还能通过材料牌号采用跨库关联技术调用材料失效机理、腐蚀形貌,材料失效导致的故障模式,试验采用的标准等信息,为用户展示材料在不同环境下衰变过程信息的全貌。



图9 数据关联查询
Fig.9 Data association query

3 结语

针对导弹用材料环境适应性信息分散、零散的问题开发了导弹装备用材料环境适应性数据库,数据库以导弹虚拟数字化模型为牵引,直观反映导弹的构成和材料应用情况,通过建立大量的数据关联,达到利用数字模型整合五大类导弹环境适应性信息的目的。用户通过该数据库软件实现对型号单位长期分散的环境试验信息资源系统组织、规范管理、网络共享和分析应用,为型号单位材料工艺师提供便捷、直观、全面的材料选用参考的软件工具。目前,该数据库已经通过可靠性和安全性软件测评并上线运行,为导弹多个型号的环境适应性设计、分析等工作提供帮助,用户反映良好。

参考文献:

- [1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239—2001, General Requirements for Materiel Environmental Engineering[S].
- [2] 何俊, 陶小创, 石高荣. 导弹地面装备自然环境适应性评价方法探讨[J]. 装备环境工程, 2016, 13(1): 91-97.
HE Jun, TAO Xiao-chuang, SHI Gao-rong. Discussion on Evaluation Methods of Natural Environmental Worthiness of Missile Surface Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(1): 91-97.
- [3] 李飞, 汝枫, 赵军贵, 等. 导弹武器装备全天候自然环境实验室研究[J]. 导弹与航天运载技术, 2016(3): 40-43.

- LI Fei, RU Lan, ZHAO Jun-gui, et al. Research of Missile Weapon's Full-Weather Natural Environment Laboratory[J]. Missiles and Space Vehicles, 2016(3): 40-43.
- [4] 金恂叔. 航天器环境试验和航天产品的质量与可靠性保证[J]. 中国空间科学技术, 2004, 24(6): 25-31.
- JIN Xun-shu. The Development Status and Application of Spacecraft Verification and Test Standards[J]. Chinese Space Science and Technology, 2004, 24(6): 25-31.
- [5] 赵朋飞, 张生鹏, 翟疆, 等. 航天导弹装备自然环境试验方法探讨[J]. 装备环境工程, 2017, 14(11): 37-43.
- ZHAO Peng-fei, ZHANG Sheng-peng, ZHAI Jiang, et al. Testing Methods for Space Missile Materiel in Natural-Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(11): 37-43.
- [6] 肖军, 廖志忠, 吴连锋. 空空导弹弹体结构海洋环境腐蚀防护[J]. 航空兵器, 2019, 26(6): 86-92.
- XIAO Jun, LIAO Zhi-zhong, WU Lian-feng. Study on Corrosion Protection on Structure of Air-to-Air Missiles in Marine Environment[J]. Aero Weaponry, 2019, 26(6): 86-92.
- [7] 常新龙, 姜帆, 惠亚军. 导弹橡胶密封件环境失效研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(4): 59-62.
- CHANG Xin-long, JIANG Fan, HUI Ya-jun. Environmental Failure Analysis of Rubber Sealing Components of Certain Missile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(4): 59-62.
- [8] 洪亮, 张福光, 邱立军. 海军导弹环境试验的风险源辨识分析[J]. 装备环境工程, 2018, 15(4): 38-43.
- HONG Liang, ZHANG Fu-guang, QIU Li-jun. Risk Source Identification of Navy Missiles Environmental Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(4): 38-43.
- [9] 白天, 张欢, 邹士文, 等. 导弹用非金属材料贮存期评估技术及应用[J]. 宇航材料工艺, 2017, 47(1): 20-24.
- BAI Tian, ZHANG Huan, ZOU Shi-wen, et al. Storage Life Evaluation Technology and Application for Missile Used Non-Metallic Materials[J]. Aerospace Materials & Technology, 2017, 47(1): 20-24.
- [10] 杨鸿昌. 飞航导弹复合材料的应用概况、需求及发展前景[J]. 飞航导弹, 2000(4): 60-63.
- YANG Hong-chang. Application, Demand and Development Status of Composite Materials for Cruise Missiles[J]. Winged Missiles Journal, 2000(4): 60-63.
- [11] 段楠楠, 赵英俊, 周豪. 地空导弹装备环境适应性研究与分析[J]. 装备环境工程, 2009, 6(6): 88-91.
- DUAN Nan-nan, ZHAO Ying-jun, ZHOU Hao. Research and Analysis of Environmental Worthiness of Ground-to-Air Missile Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(6): 88-91.
- [12] 李琳, 朱小飞, 杨科, 等. 国内外战术导弹外防护涂层技术现状与发展趋势[J]. 航空制造技术, 2016, 59(14): 47-51.
- LI Lin, ZHU Xiao-fei, YANG Ke, et al. Progress in External Ablation-Resistant Coating for Tactical Missile[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(14): 47-51.
- [13] 彭瑾, 徐兴柱, 蓝仁恩. 巡航导弹中金属结构材料的应用[J]. 飞航导弹, 2008(3): 54-58.
- PENG Jin, XU Xing-zhu, LAN re-nen. Application of Metal Structural Materials in Cruise Missile[J]. Winged Missiles Journal, 2008(3): 54-58.
- [14] 肖军, 高雪梅, 杨庆贺. 机载导弹非金属部件和材料的使用寿命[J]. 航空兵器, 2004, 11(2): 38-41.
- XIAO Jun, GAO Xue-mei, YANG Qing-he. Service Life of Nonmetallic Components and Materials of Airborne Missile[J]. Aero Weaponry, 2004, 11(2): 38-41.
- [15] 张则敏, 遇宏. 导弹装备在沿海地区防腐蚀措施[J]. 装备环境工程, 2004, 1(2): 81-85.
- ZHANG Ze-min, YU Hong. Anti-Corrosion Measures of Missile Equipment in Coastal Area[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(2): 81-85.
- [16] 高春生, 史建峰, 夏学津. 环境条件对某型陆军导弹电子设备可靠性的影响[J]. 环境技术, 2009, 27(1): 48-50.
- Gao Chun-sheng, Shi Jian-feng, Xia Xue-jin. Environmental Condition to an Army Missile Electronic Installation Reliable Influence[J]. Environmental Technology, 2009, 27(1): 48-50.
- [17] 洪亮, 张福光, 崔旭涛. 海军导弹服役环境对导弹寿命的影响及防护包装对策的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(23): 1-4.
- HONG Liang, ZHANG Fu-guang, CUI Xu-tao. Research on Influence of Naval Missile Service Environment on Missile Life and Countermeasures of Protection Packaging[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(23): 1-4.
- [18] 常新龙, 龙兵. 固体火箭发动机高原荒漠环境适应性分析[J]. 装备环境工程, 2010, 7(5): 73-76.
- CHANG Xin-long, LONG Bing. Analysis of Environmental Worthiness of Solid Rocket Motor in Highland and Desert Area[J]. Equipment Environmental Engineering, 2010, 7(5): 73-76.
- [19] 史明丽, 毛剑晖. 机载导弹特殊环境分析[J]. 装备环境工程, 2017, 14(1): 57-60.
- SHI Ming-li, MAO Jian-hui. Special Environment of External-Store Missile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(1): 57-60.
- [20] 段鹏程, 王学奇, 霍建成, 等. 基于多传感器的机载导弹环境应力监测装置[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(9): 111-113.
- DUAN Peng-cheng, WANG Xue-qi, HUO Jian-cheng, et al. Airborne Missile Environmental Stress Monitoring Device Based on Multi-Sensor[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2015, 34(9): 111-113.
- [21] 杨福军, 刘云楚, 阳贵刚. 导弹气动数据库管理系统分析与设计[J]. 兵工自动化, 2006, 25(3): 38-39.
- YANG Fu-jun, LIU Yun-chu, YANG Gui-gang. Analysis and Design of Management System for Missile Aerodynamic Database[J]. Ordnance Industry Automation, 2006, 25(3): 38-39.

- [22] 陈燕, 刘彦宏, 贾志军. 基于 Web 技术的通用导弹装备保障信息管理研究[J]. 军械工程学院学报, 2003, 15(3): 49-52.
Chen Yan, Liu Yan-hong, Jia Zhi-jun. Research on Information Management of General Missile Equipment Indemnification Based on Web[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2003, 15(3): 49-52.
- [23] 许文清, 龙仕腾, 符朝旭, 等. 导弹环境适应性数据库开发构想[J]. 环境技术, 2015, 33(2): 31-34.
XU Wen-qing, LONG Shi-teng, FU Chao-xu, et al. The Idea of Database Development of Missile Environment Adaptability[J]. Environmental Technology, 2015, 33(2): 31-34.
- [24] 张晓东, 高鉴伟. JSP+Oracle 数据库开发与实例 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008
ZHANG Xiao-dong, GAO Jian-wei. JSP+Oracle 数据库开发与实例 [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [25] 姚竞英. 基于 ActionScript 的 Flash 网站的研究[J]. 数码设计, 2019(1): 1-4.
YAO Jing-ying. Research on Flash Website Based on ActionScript[J]. Peak Data Science, 2019(1): 1-4.
- [26] 王娟. 如何利用 ActionScript3.0 技术制作 Flash 动画[J]. 辽宁师专学报(自然科学版), 2017, 19(1): 27-28.
WANG Juan. How to Make the Flash Animation by Using Actionsript3.0[J]. Journal of Liaoning Teachers College (Natural Science Edition), 2017, 19(1): 27-28.

责任编辑: 刘世忠