

基于数字线索的产品全生命周期 XBOM 管理模式研究

鱼 瑛, 张 涛, 银茹煜, 李海涛, 高鹏博

(金航数码科技有限责任公司, 北京 100028)

摘要: 构建全生命周期数字线索是产品研制数字化转型的重点发展方向, 产品全生命周期的 XBOM 是构建全局数字线索的核心抓手。通过对航空领域基于数字线索的产品全生命周期 XBOM 管理模式研究, 总结概括了三种不同的信息化系统建设思路, 并对不同建设思路下的总体架构进行了介绍, 并分析了不同架构下的优劣势, 为企业的系统规划提供参考建议, 以实现科学、有效的数字化改革。

关键词: 数字线索; 全生命周期; XBOM; 系统总体架构

中图分类号: TP391.7 **文献标志码:** A

Research on xBOM Management Model for Product Full Lifecycle Based on Digital Thread

YU Ying, ZHANG Tao, YIN Ruyi, LI Haitao, GAO Pengbo

(Jinhang Digital Technology Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Establishing a digital thread across the full product lifecycle is a critical direction for digital transformation in product development, where XBOM (X-Bill of Material) serves as the core enabler for constructing a global digital thread. This study investigates the XBOM management model for product lifecycle in the aviation sector, summarizing three distinct approaches to information system development. The overall architectures under these approaches are introduced, and their strengths and weaknesses are analyzed. The findings provide actionable recommendations for enterprise system planning to achieve scientific and effective digital transformation.

Keywords: digital thread; full lifecycle; XBOM; system overall architecture

1 引言

2013 年, 美国空军开展顶层科技发展规划, 并发布文件《全球地平线》, 文中将数字线索与数字孪生两项技术列为数字化制造发展的颠覆性技术。早在 2003 年, 美国空军和洛克希德·马丁公司在研制 F-35 战斗机时采用了数字主线的思想, 打通了设计数据和制造数据, 从而极大提升了军用战斗机制造与装配的自动化程度。2017 年, 美国空军提出了使用数字工程技术对 A-10 战斗机机翼进行升级改造的计划。该项计划利用数字化设计将机翼零件和组件进行模型格式统一, 并结合产品生命周期

管理, 构建了维护阶段的数字主线, 在实现战斗机减重的同时也大幅提高了其寿命^[1]。

国内各工业领域在数字线索领域开展了相关的研究。陶剑^[2]等开展了基于数字线索和数字孪生的生产生命周期研究; 冯蕴雯^[3]等基于数字主线的弹箭产品 XBOM 数据管理开展了研究。虽然数字线索在国内各行业是一个研究的重点方向, 但目前总体处于研究探索阶段。

针对数字线索的定义目前行业尚未统一。美国空军协同工作小组与工业界合作, 将数字线索定义为: 数字主线是一种可扩展、可配置和组件化的企业级分析框架,

可无缝加快权威技术数据、软件、信息和知识在企业信息-知识系统中的相互作用。通过提供访问、集成不同数据，并将其转换为可操作信息的能力，来为决策者提供产品全生命周期的信息。其中，数字系统模型指的是由所有利益相关者生成，集成了权威数据、信息、算法和系统工程过程的设备系统数字表示^[4]。

研究公司 Tech-Clarity 的一份报告证实，业绩优异的公司使用产品全生命周期管理（PLM）来支持数字线索的可能性要高出 73%。产品全生命周期管理系统作为统一的数据管理与集成平台，是数字线索的基础，也是构建数字线索的重要技术。基于 XBOM 管理产品数据是实

现全生命周期数据管理的行业共识。

BOM（Bill of Material）指物料清单，狭义上是指产品所需零部件明细表及其结构，广义上包含与之关联的所有数据信息的集合，通过产品分解结构有效组织关联数据信息，为不同业务组织提供数据保障。XBOM 即多视图物料清单，是围绕产品全生命周期数据管理过程，基于不同业务视角对产品结构以及数据进行构建和组织，从而形成面向不同业务领域（例如：设计、制造、服务等）的 BOM 视图，满足不同业务用户对产品数据和信息的管理、查看及使用的需要^[3]，典型的产品全生命周期 BOM 视图如图 1 所示。

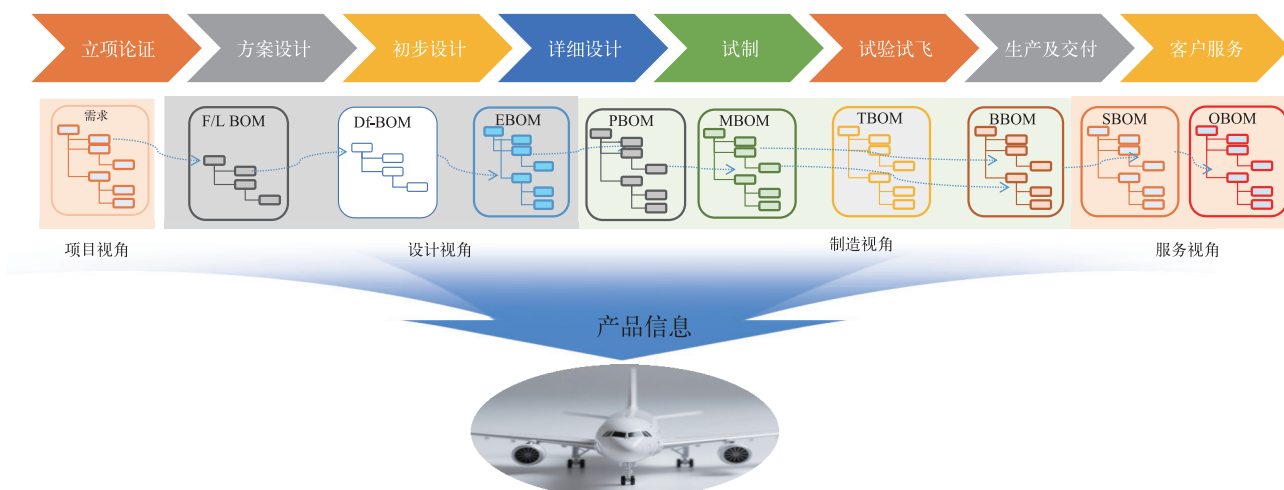


图 1 典型的产品全生命周期 BOM 视图

空客在型号研制中推行涵盖飞机全生命周期、基于模块化的技术状态管控新模式，从飞机的视图和扩展视图两个维度构建和管理了 15 个产品视图，提升了研制质量，降低了研制周期。洛马在军机的研制过程中，逐步形成产品开发、制造规划、产品装机和运营支持的多视图 XBOM 管理体系，实现了飞机产品在全生命周期过程中对各研制阶段飞机技术状态的清晰记录、管理和追溯。

2024 年，国内大部分企业在进行工业软件数字化建设过程中，面向设计、制造的 EBOM、PBOM 和 MBOM 管理技术基本成熟，但产品全生命周期的 XBOM 管理体系尚在建设中，全局数据分散在不同的业务系统中，各系统之间通过集成的方式进行数据的传递，不利于实现数据的一致性、及时性和共享协同，构建基于数字线索的产品全生命周期 XBOM 数据管理平台成为制造企业的迫切需求。

各企业在建设现有信息化系统中投入了大量的财力和人力，如何构建企业基于数字线索的全生命周期 XBOM 管理能力成为研究重点方向之一。

2 关键技术

构建基于数字线索的产品全生命周期 XBOM 管理平台，需要业务人员和信息人员密切协作来梳理、定义全周期的业务模型。在建设过程中，梳理不同领域业务模型、规范化表达业务模型、跨组织工作协同、数据安全管控及系统集成成为建设过程中的关键技术。

2.1 梳理产品全周期数据管理的业务模型

产品全生命周期主要涵盖设计、工艺、制造、质量、服务和运维六个阶段，从业务角度梳理全局管理的业务对象类型，并基于数字主线中数字系统模型表达所需的元素，明确各业务对象的属性、与其他业务对象之间的

关系、不同 BOM 之间的演化关系等。复杂产品研制过程中，业务模型种类繁多，关系复杂，完整清晰地梳理业务模型是构建基于数字线索的全周期数据管理的基础。

2.2 业务模型的规范化、统一化表达

业务模型需要在全周期不同业务域中使用及传递，统一设计、工艺、生产和服务保障信息的表达和传递模式，确保数据的唯一性、完整性、准确性，避免信息传递的二义性，构建全周期唯一、权威的数据中心。另外，统一、规范的业务模型为系统集成提供了良好的基础，使得不同系统在对接时能够更容易地识别和处理数据。

2.3 数据安全管控

数据安全管控历来是数据管理系统的关键技术之一。全生命周期产品数据管理系统不仅涉及企业内部的用户，而且涉及众多外部单位。需要从多个维度进行系统数据的安全管控，主要有：①系统访问的身份认证，通过密码、指纹等方式对访问系统的用户进行验证，确保合法人员进入系统；②按照密级对数据访问进行控制，对系统数据和用户进行密级设置，确保用户按自身密级访问系统数据；③按用户组织、产品、角色等维度进行数据访问控制，例如 A 单位的人员，无特殊授权，不允许访问 B 单位数据；研制 A 产品团队人员不允许访问 B 产品数据；同单位同一产品的设计人员在没有特殊授权时，不能访问生产数据，从而限制不合法的访问，保障数据的安全性。

2.4 系统集成

基于数字线索的产品全生命周期 XBOM 管理系统需要与企业内部和外部的多个系统进行集成，集成的系统存在异构系统、数据模型不统一等问题。在进行集成接口设计时，需充分考虑接口调用验证，确保接口调用的合法性；需降低集成复杂度，尽可能统一集成接口规范、数据结构化定义等；考虑并兼顾接口多并发调用的情况，使用队列、栈等技术，确保接口的稳定性。

3 航空领域构建思路

我国航空领域在面向产品全生命周期 XBOM 数据管理及数字线索构建方面开展了大量的理论研究及数字化平台建设探索。航空产品 XBOM 通常包括 DBOM（定义 BOM）、EBOM（工程 BOM）、PBOM（工艺 BOM）、MBOM（制造 BOM）、SBOM（服务 BOM）和 OBOM（运维 BOM）。目前，产品研制各个阶段产生的数据，需要以 BOM 为核心，对产品不同研制阶段数据

进行结构化定义和管理，并明确各数据之间的转化关系，作为构建数字线索的基础来源。XBOM 是构建全生命周期数字线索的核心抓手，是客户、设计所、制造厂和成品单位协同工作的核心^[5]。

通过对航空领域基于数字线索的产品全生命周期 XBOM 管理模式研究^[6-8]，总结概括了以下三种系统总体架构，并对不同架构优缺点进行分析。

3.1 基于数据中台的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构

经过多年的信息化建设，各单位已经构建了不同业务领域的软件系统，将产品全生命周期的数据分散在不同的系统中，例如产品设计数据主要在系统工程管理系统、产品研发系统，制造数据主要在制造数据管理系统，生产数据主要在 ERP、MES、质量等系统，服务保障数据在服务保障系统等，为了不影响已有业务系统及产品研发工作开展，进行产品全生命周期数据线索的构建，可将不同业务系统数据进行抽取，同步至一个数据平台中，并定期同步各业务系统中变更数据。如图 2 所示，通过数据采集 - 数据治理 - 数据存储 - 数据计算等过程，将产品全周期 XBOM 数据构建至数据中台，可根据原业务系统的数据关联进行数字线索的构建，也支持用户在该系统中进行数据关联的维护。即数字线索不是依赖任何一个传统的数据源系统，而是基于相关的系统之上，汇聚企业所有数据，经过数据治理后，构建全周期数据管理中台，在该中台进行产品全局分析与应用，支持各阶段 BOM 结构化展示、关联追溯、统计分析、统计输出和智能决策等应用。

基于数据中台的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构的优缺点如下：①优点，对已建设的业务系统改造小，仅开发与数据中台的同步接口，即可支持构建产品全生命周期 XBOM 数据环境，对已有业务系统影响小、实施周期较短、系统集成逻辑简单；②缺点，存在异构系统数据集成，数据的映射与关联复杂度高；需要将业务系统同步的数据在数据中台再存储一份，资源使用效率低。

3.2 基于轻量化数字线索的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构

基于轻量化数字线索的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构是在已有信息化系统的基础上，将 BOM 管理及变更管理的业务从原系统剥离，将不同业务阶段的 BOM 及关联数据集的数据链接构建至该平台，但不管理数据

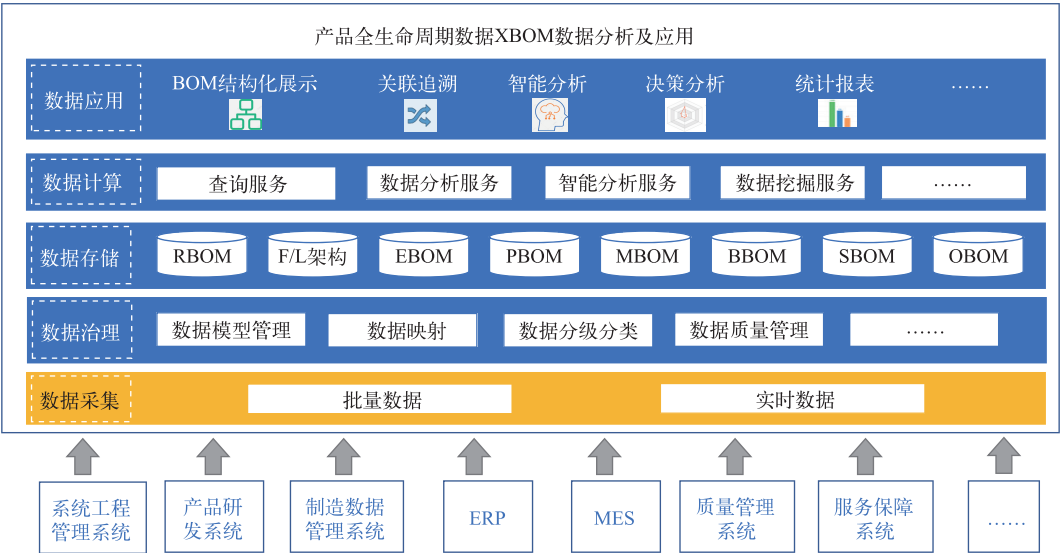


图2 基于数据中台的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构示意

实体文件本身，构建一个轻量化的产品全周期 XBOM 管理平台，示意图如图 3 所示。

该平台不是替代某个单一业务域的应用系统，而是将各业务域的系统集成起来，基于 BOM 驱动业务协同。XBOM 系统作为企业级产品数据核心系统，面向企业全业务链的协同与管理，各业务系统发挥其优势及特长，与专业的工具进行集成，面向内部协同与技术资料的管理。

在 XBOM 系统中，基于 BOM 的更改会驱动全局变更管理，实现相关业务人员及业务系统变更协同工作，实现闭环管理。该 XBOM 系统作为产品数据源，进行数据发布，支持企业不同角色的人员使用，并将 PBOM/MBOM 传递至 ERP/MES，支持生产制造。XBOM 管理平台与各业务系统共同构建产品全生命周期数据管理环境。

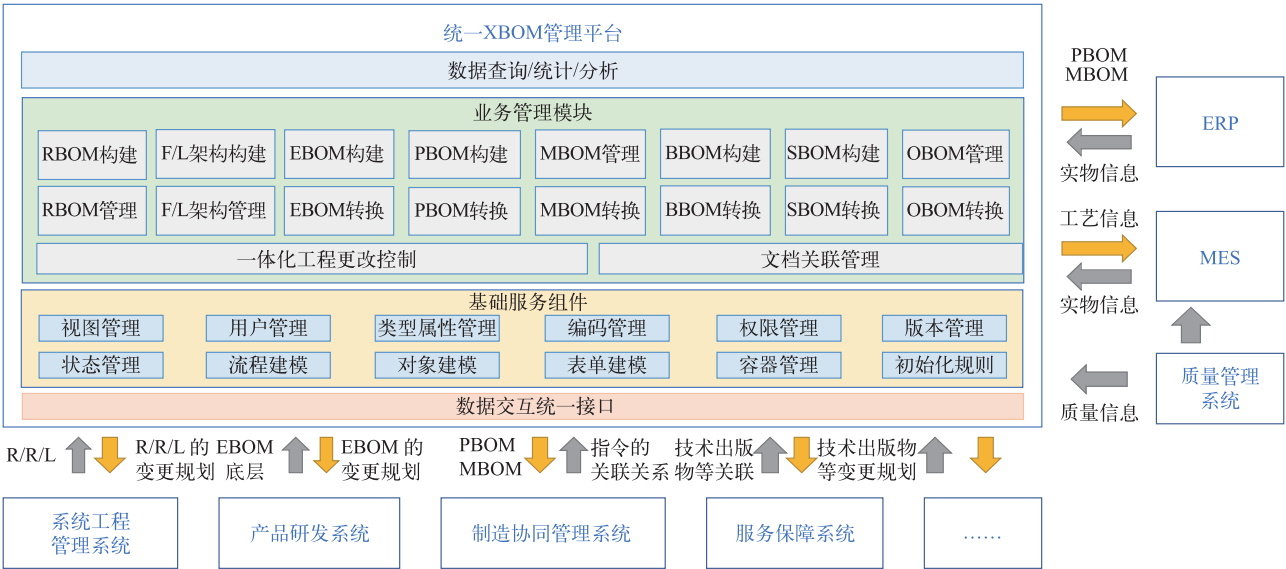


图3 基于轻量化数字线索的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构示意

基于轻量化数字线索的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构优缺点如下：①优点，在统一 XBOM 平台仅管

理全周期的 BOM 及相关数据集的关联关系，构建了轻量化的全周期数字线索平台，既提升了系统运行效率，又

实现了在统一环境中进行全周期 XBOM 的构型管理；②缺点，各系统间集成逻辑复杂，对集成接口稳定性要求高。

3.3 基于统一业务平台的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构

产品全生命周期数据的管理是一个跨专业、跨部门、跨企业的数据管理技术，在传统的管理模式，产品数据需要在不同系统之间进行传递与复现，且需将生产业务域的信息反馈至设计域，通过跨系统之间的集成层层传递，实现及时、准确的信息流转难度较高。

目前，产品全生命周期数据管理相关系统已发展为基于统一开发底座实施建设，具备统一的软件开发底座、业务基础平台、统一的数据模型。例如开发系统工程管理应用，使用业务中台提供的建模服务定义 MBSE 的业务模型，使用技术底座开发相关的系统工程业务功能；产品研发系统在建模服务中扩展了设计业务模型，基于统一的技术底座开发产品研发功能，构建业务系统在统一的数据环境中运行，调用不同应用之间的系统服务，实现了数据跨业务域的使用。总体架构如图 4 所示。

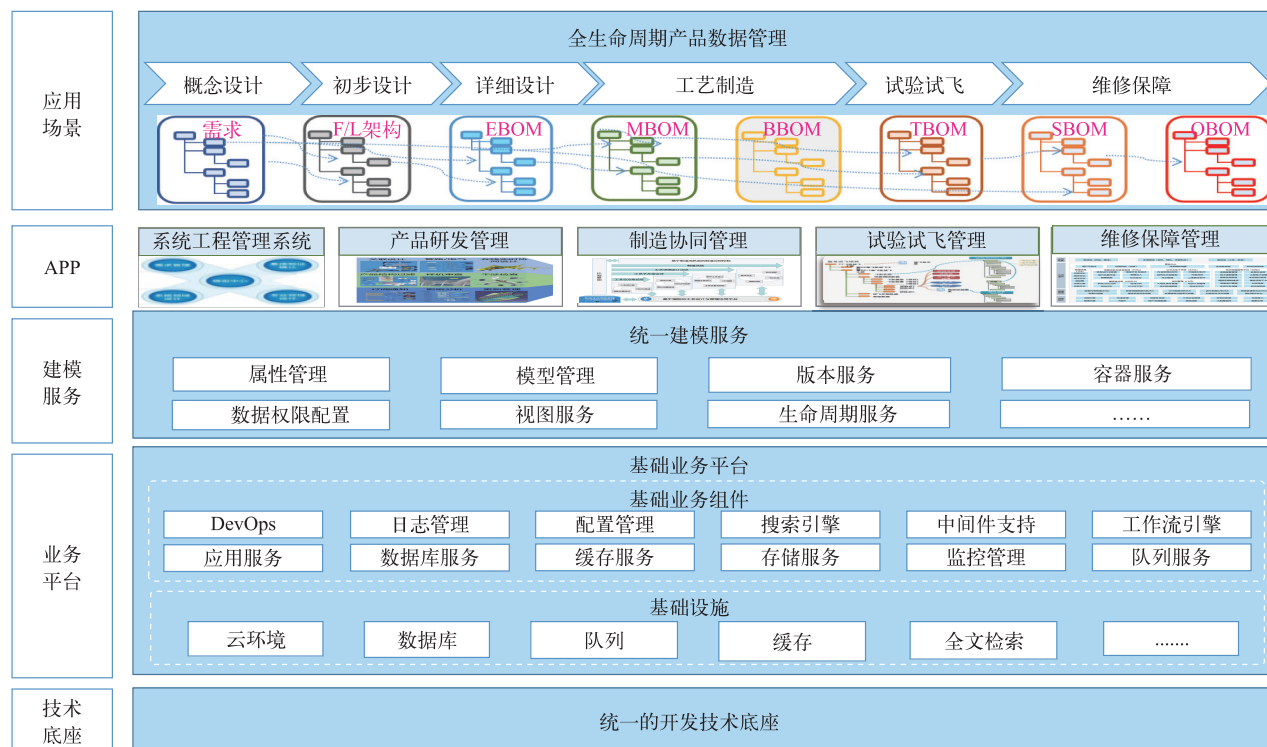


图 4 基于统一业务平台的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构

各专业人员使用不同的应用系统，但基于统一的应用环境可以快速地共享和处理数据，保证了数据模型的统一，避免了数据跨业务系统的传递与复原。

基于统一业务平台的全生命周期 XBOM 管理系统总体架构优缺点如下：①优点，基于统一的技术及基础业务平台进行业务应用的功能开发，统一的建模服务引擎进行数据模型的设计，实现产品全周期数据模型的统一及流程贯通，大幅提升跨部门、跨企业的集成效率；②缺点，需要新的统一底座上进行业务 APP 的开发，实施成本高、周期长；虽然可通过接口集成的方式对各企业已有系统进行兼容，但该架构的优势不再突出。

4 推进建议

研究机构 CIMdata 认为企业数字化转型的“关键十二要素”之一为数字线索，构建基于数字线索的全生命周期数据管理平台是产品研制数字化技术发展的未来方向。结合文中三种系统总体架构，推进建议如下。

第一种，基于数据中台构建模式，比较适用产品研制已通过相关认证，进入批生产阶段，该阶段的产品已存在大量历史数据，该模式避免了数据的迁移工作，规避数据不一致风险。数据中台的模式可实现全生命周期数据的贯通，支持产品全周期数据关联分析，为决策者提供数据支撑。

第二种，基于轻量化数字线索构建模式，适用性较为广泛，新研产品或已投产的产品都可以使用该模式。新研产品不存在历史数据迁移及原有模式兼容问题；已投产产品上线使用，存在部分业务无法全部使用新平台，需要新旧研制流程共存的情况。

第三种，基于统一业务平台构建模式，较为适用新研产品，且尚未投产的阶段。在规划产品之初，同时基于统一业务平台同步构建全生命周期管理相关系统，基于统一数据模型贯通全周期业务系统，实现全局数据关联分析与追溯。

总体来说，构建产品全周期数据管理及数字线索难度大，目前国内工业领域尚未形成典型案例，均处于建设或试用阶段。企业可根据已有系统建设现状、周期要求、研制进度和经费等方面的因素综合评判，选择合适的全周期数字线索平台的建设系统架构，采用全局规划，分步实施的策略，逐步实现企业的信息化改革。

参考文献

[1] 任璐英, 张海峰, 王庆国, 等. 数字主线与数字孪生技术发展及在复杂产品研制中的应用 [J]. 国防科技, 2024 (339) : 75-81.

[2] 陶剑, 戴永长, 魏冉. 基于数字线索和数字孪生的生产生命周期研究 [J]. 航空制造技术, 2017 (21) : 26-31.

[3] 冯蕴雯, 陈俊宇, 侯杰然, 等. 基于数字主线的弹药产品 XBOM 数据管理 [J]. 西北工业大学学报, 2024, 42 (3) : 521-530.

[4] 刘婷, 张建超. 数字主线应用于航空发动机的初步探讨 [J]. 航空动力, 2021 (2) : 30-34.

[5] 刘湘川, 王辉, 葛磊, 等. 基于 BOM 的民用大飞机全生命周期业务贯通方法 [J]. 科技和产业, 2024 (24) : 144-151.

[6] 张晓梅. 飞机型号研制过程中 XBOM 的定义和管理 [J]. 智能制造, 2021 (6) : 21-28.

[7] 钱仲焱, 张馨元, 孟旭, 等. 商用飞机全生命周期构型管理 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2023.

[8] 石振华, 戴永长. 以数字线索理念为指导的系统生命周期管理技术研究 [J]. 智能制造, 2019 (8) : 35-36.

作者简介: 鱼瑛 (1986—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为航空制造领域产品数据管理及技术状态管理。
收稿日期: 2024-11-22