

基于模型的船体性能数值模拟系统 标准集构建方法研究

何瑞恒¹ 郑朔昉¹ 尹志勇² 刘萌萌¹

(1.中国航空综合技术研究所; 2.中国船舶科学研究中心)

摘要: 本文面向船体性能数值模拟系统数字化、智能化的开发与应用需求, 聚焦提升系统开发效率与质量, 研究确定了基于模型的复杂软件系统标准集构建技术路径, 开展了系统开发需求分析与场景建模, 以及系统视图构建, 在此基础上综合考虑系统生命周期、功能实现、系统组成等不同维度, 分析形成了该系统的标准体系架构, 以软件全生命周期质量保证过程为例, 开展各环节的标准适用性与缺项标准分析, 分别构建了标准配置模型(StdV-1)和标准预测模型(StdV-2), 形成了能够支撑系统开发和应用的标

关键词: 船体性能, 标准体系架构, 标准配置模型, 标准预测模型

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.07.016

Research on the Model-Based Construction Method of Standards System for Ship Total Performance Simulation System

HE Rui-heng¹ ZHENG Shuo-fang¹ YIN Zhi-yong² LIU Meng-meng¹

(1. China Aviation Poly-technology Establishment; 2. China Ship Scientific Research Center)

Abstract: In order to meet the development and application requirements of digitalization and intelligence for the numerical simulation system of ship overall performance, with a focus on improving the efficiency and quality of system development, the technical path for constructing a model-based complex software system standard set has been studied and determined. System development requirement analysis, scenario modeling, and system view construction have been carried out. Based on this, different dimensions such as system lifecycle, functional implementation, and system composition have been comprehensively considered, and the standard system architecture of the system has been analyzed and formed. Taking the software lifecycle quality assurance process as an example, standard applicability and deficiency standard analysis have been carried out for each link. Standard configuration models (StdV-1) and standard prediction models (StdV-2) have been constructed, forming a standard set that can support system development and application, enhancing the impact of various standards on the system throughout the entire lifecycle process.

Keywords: total performance, standards system architecture, standards profile model, standards forecast model

0 引言

随着装备数字化研发水平的不断提升, 各类以计算科学为核心的船体性能优化与验证软件正高

密度融入装备的研发过程。通过对船体性能的体系化梳理并形成相应的应用软件(App)进行船体性能预报、评价、优化的工作模式, 具有周期短、成本低、效能高、可与设计无缝高效融合等优点, 推

作者简介: 何瑞恒, 高级工程师, 硕士, 研究方向为航空标准化。

动船体性能研发模式的变革^[1]。传统的标准化工作模式下,虽然有标准体系的顶层设计,但表现形式为孤立维度的标准体系框图+明细表^[2],难以展现各类标准与上述复杂软件系统的功能、组成、生命周期过程等多个维度的模型化关联,有必要引入架构建模方法,通过开展系统视图模型和标准视图模型等的构建,形成能够支撑船体性能数值模拟系统开发与应用的各类现有标准和缺项标准的集合(即现行有效标准集和缺项标准集),各类标准集聚合形成完整的标准体系,提升标准体系构建过程的科学性与模型化水平。

1 架构建模方法解析

美国国防部架构框架(DoDAF 2.0)中规定的8类视图,及其在复杂系统研发过程中的应用如图1所示。其中的标准视图模型共两种:标准配置(StdV-1)和标准预测(StdV-2)。StdV-1定义了适用于复杂系统研发的各类现有标准及其与各类架构元素的关联关系;StdV-2描述在未来一定时间段内需要新研发的标准及其对当前架构元素产生的潜在影响。集成StdV-1和StdV-2,即为支撑复杂软件系统开发和应用的的标准体系^[3-5]。

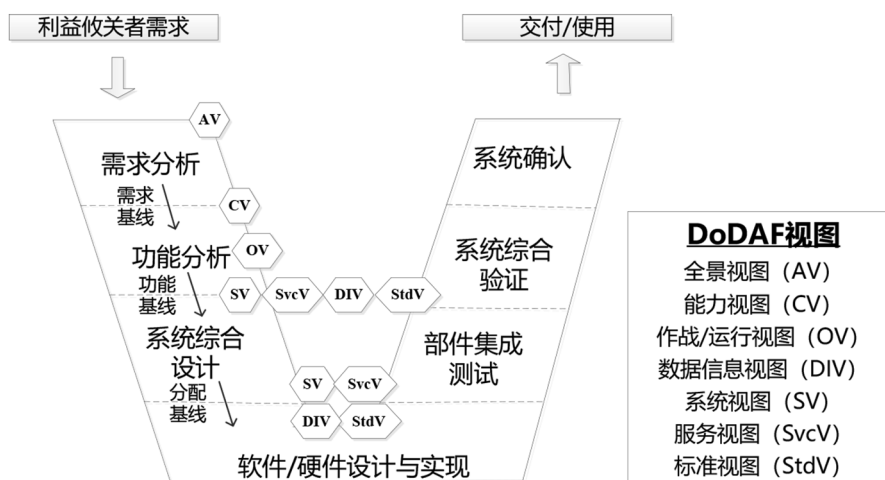


图1 DoDAF 2.0规定的8类视图及其应用

船体性能数值模拟系统涉及开发内容多,系统接口定义复杂,安全管理、运营管理等领域的缺项标准较多,而且各类APP的开发涉及多学科,有必要

开展基于架构建模的标准体系研究,全面支撑应用系统建设,以及各类App的协同开发与集成应用。

2 船体性能数值模拟系统简介

船体性能数值模拟系统的功能模块包括:工具集成模块、流程控制模块、人机交互模块和数据管理模块等,如图2所示。

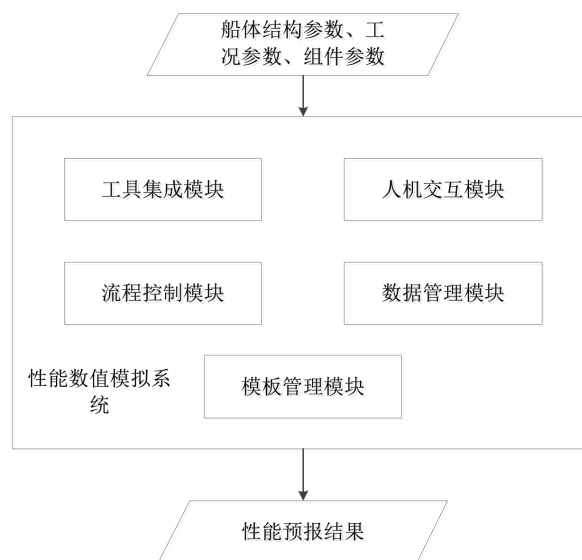


图2 船体性能数值模拟系统的功能模块^[6]

工具集成模块用于确定船体性能虚拟试验过程中使用的试验模型和若干个命令执行组件,每个命令执行组件分别是对船体性能虚拟试验过程中使用到的处理程序进行封装编译后生成的组件,以App的形式进行集成。人机交互模块用于获取试验模型、试验环境、试验工况等输入参数,接受用户指令开

展虚拟试验,流程控制模块用于对各个命令执行组件配置形成虚拟试验执行流程,数据管理模块用于将船体性能虚拟试验过程中的数据添加到对应的报告模板中形成船体性能预报结果,模板管

理模块用于将配置形成的虚拟试验执行流程发布并保存为流程模板。

3 基于架构建模的复杂软件系统标准集构建技术路径

船体性能数值模拟系统的标准集构建应针对系统开发需求,分析系统开发与应用场景,明确其功能分解和组成模块,分析形成标准体系架构,在此基础上开展标准适用性分析和缺项标准分析,构建与系统开发与应用场景,以及系统视图模型相关联的标准视图模型,包括标准配置模型(StdV-1)和标准预测模型(StdV-2),完成船体性能数值模拟系统标准集的构建。具体流程如图3所示,该方法同样适用于其他复杂软硬件系统的研制,可以向其他领域推广应用。

4 系统开发需求分析与场景建模

该软件系统的开发目标是实现船体性能的虚拟试验,降低对工程师的经验能力要求,且自动化程度和规范化效果好。

负责船体性能虚拟试验的科研人员可以根据自己的工作需求,从系统中选择自己所需的App或选择预设的App组合,通过输入有关数据及调用系统中已储存的数据,运行App或App组合完成虚拟

试验工作。此外,App还应具有知识学习、专家咨询等功能,满足相关科研人员的“一站式”工作要求。系统管理员负责系统更新维护、用户身份和权限的授权、App上架下架及更新维护、知识库内容的更新维护、数据库内容的更新维护等。

该软件系统的开发与集成过程包括系统架构设计、App开发、软件自测试、App封装、数据传输及接口设计、App柔性应用、系统集成测试等环节,以及相关的软件开发文档编制、软件开发过程质量保证等活动。

以App封装为例,业务场景如图4所示,描述了利用App封装环境封装App的整个过程,包括启动软件&创建新的App工程、拖拉拽工具组件完成App的设计、配置App I/O、配置App执行程序、配置报告自动生成、配置控制流及数据流、配置App交互界面、发布App等步骤,能够为App开发者提供低代码APP封装环境,让App开发更高效。

5 系统视图构建

对于使用该系统的科研人员,系统的主要功能包括:用户与该系统的交互功能,App的存储、管理和运行功能,数据和知识的存储和调用功能等。对于系统管理员,系统的主要功能包括:管理员与该系统的交互功能和系统的管理维护功能等。

基于功能分析,确定该软件的系统架构和外部

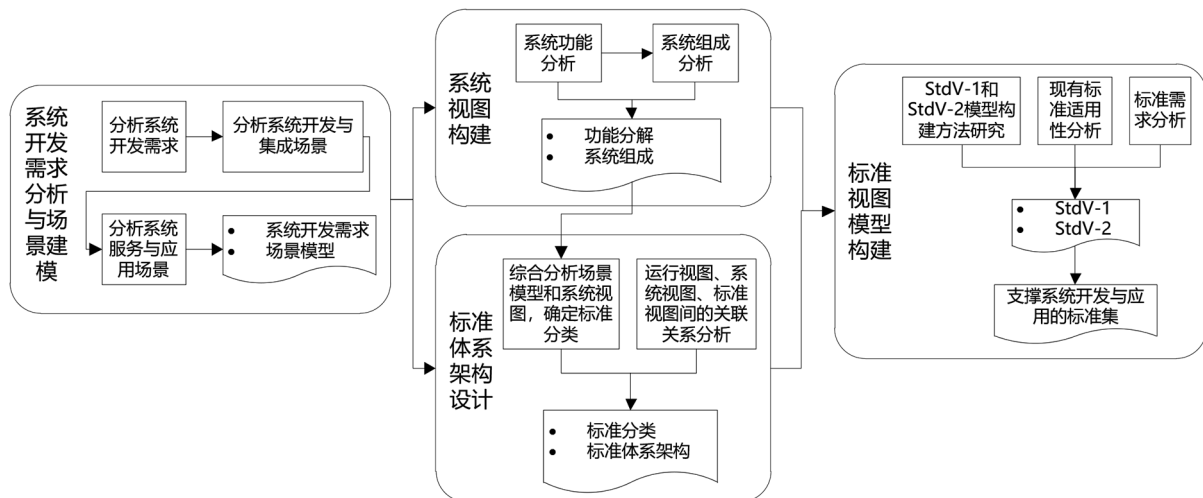


图3 基于架构建模的复杂软件系统标准集构建技术路径

接口关系,如图5所示。主要包括:基础系统、App群、App、数据库、知识库、资源库。面向管理员操作,还需要对应的管理系统。

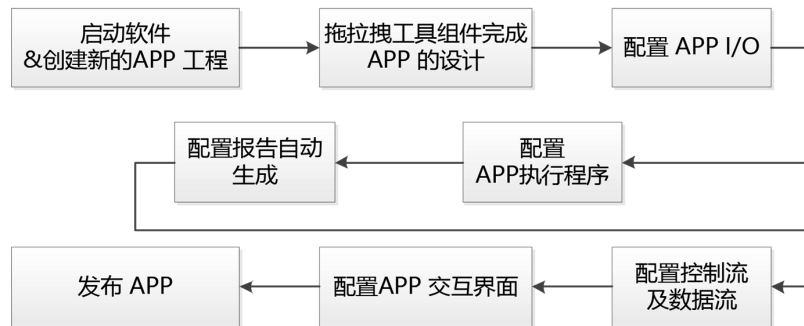


图4 App封装过程

基础系统作为用户使用时的主运行环境,功能与操作系统近似,可完成与用户或管理员的交互操作,支持App的调用运行,管理数据的调用分配等。

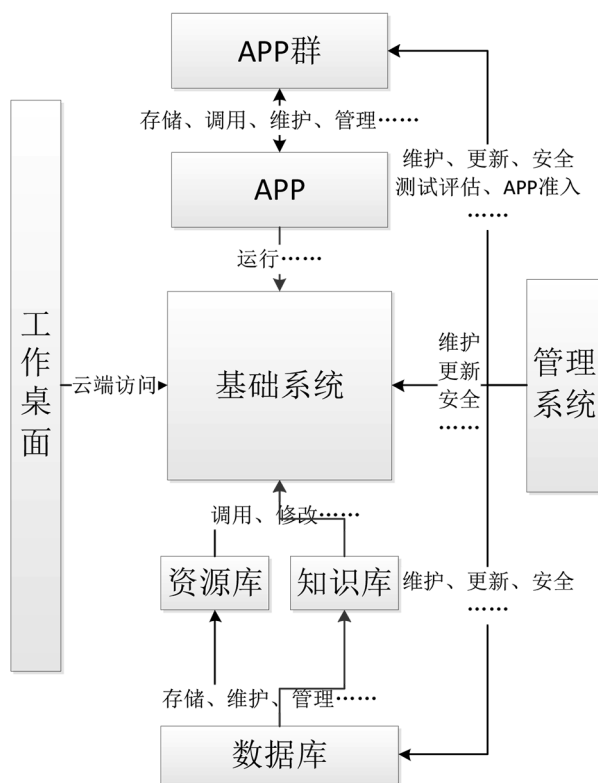


图5 系统架构与外部接口关系图

App群是可在系统平台上兼容运行的具备一定功能的工具软件库,群中的App为在系统平台上运

行的软件,仅可以由使用人员通过接口在系统上运行并通过系统平台进行调用,不能单独运行。

数据库主要包括资源库和知识库。资源库主要用于存储和管理App中预设的有关数据、为支持用户工作进行提前存储的有关数据或用户在使用App过程中通过计算等工作产生的各类数据等。知识库主要用于存储和管理标准文献、经验指南等各类知识。

管理系统主要作为管理员对系统管理与维护使用。主要包括对系统、App和数据库的测试、管理、维护与更新,系统的安全管理,App的准入与测试,用户的权限管理等。

6 标准体系架构设计

基于系统开发与应用场景和系统视图,综合考虑系统生命周期、功能实现、系统组成等不同维度,开展标准体系架构设计,如图6所示。

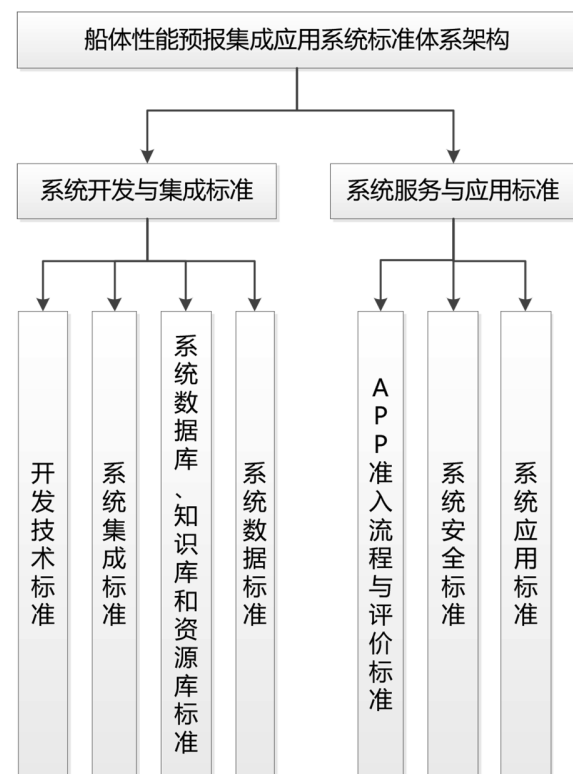


图6 船体性能数值模拟系统标准体系架构

在生命周期维度,按照系统开发、集成、服务、应用的全过程,分析各个环节应遵循的现有标准和缺项标准;在功能实现维度,依据该软件系统实现的水动力学、结构安全、振动噪声等总体性能预估功能,分别布局相应的数据标准,以及相关的总体性能预报和智能应用标准;在系统组成维度,针对基础系统、管理系统、App、数据库、知识库、资源库等组成模块,分别规划相应的架构设计、接口、安全等方面的标准。其中App又分为基于物理试验大数据的总体性能快速预报App、已有商用软件二次开发的总体性能预报App、自研软件的总体性能预报App,分别开展App准入流程与评价标准分析。具体如下:

(1) 开发技术标准

主要包括:系统软件开发过程标准、App软件开发过程标准、软件开发文档标准、软件开发质量保证标准、软件自测试标准。

(2) 系统集成标准

主要包括:系统软硬件架构标准、App封装标准、系统数据传输及接口标准、App柔性应用标准、系统集成测试标准。

(3) 系统数据库、知识库和资源库标准

主要包括:系统数据库标准、系统知识库标准、系统资源库标准。

(4) 系统数据标准

主要包括:水动力学数据标准、船体振动噪声数据标准、船体结构安全数据标准。

(5) App准入流程与评价标准

主要包括:基于物理试验大数据的总体性能快速预报App准入流程和评价标准、已有商用软件二次开发的总体性能预报App准入流程和评价标准、自研软件的总体性能预报App准入流程和评价标准。

(6) 系统安全标准

主要包括:系统软硬件及接口安全标准、系统数据安全标准、系统运行与访问安全标准、面向云端的智能运行安全标准。

(7) 系统应用标准

主要包括:面向云端的智能应用标准、总体性

能预报与评估应用标准、总体性能优化设计应用标准、系统应用成熟度标准、系统应用改进完善标准。

7 标准视图模型建模

依据上述分析形成的标准体系架构,以及DoDAF 2.0中规定的标准视图模型与场景模型、系统视图模型间的信息交互,建立标准与业务活动、系统组成等架构元素间的数据关系。

对象管理组织(Object Management Group, OMG)发布的统一架构框架(UAF)中规定了采用SysML块定义图建立标准与其他架构元素的数据关联^[7],如图7所示。DoDAF 2.0中的各类模型可以用UAF中规定的各类SysML图进行模型表达。

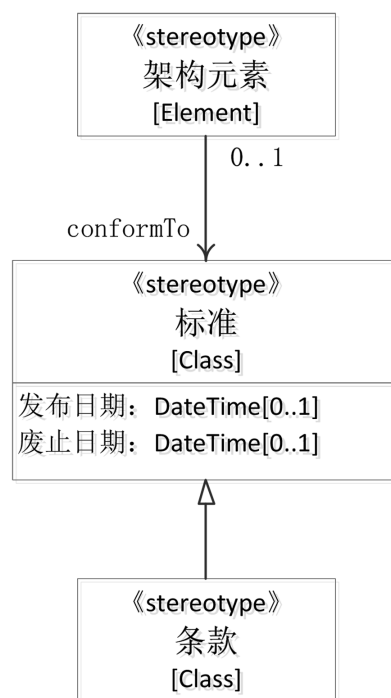


图7 标准与其他架构元素的关联

利用复杂网络模型将系统、标准化要素和标准三者进行有机结合,是实现标准化研究从项目跟随到体系引领、从定性分析到定量分析、从单项评审到系统验证转变的基本手段,也是标准化工作在系统建设应用中的创新和探索^[8]。

以船体性能数值模拟系统全生命周期质量保

证过程为例,开展各环节的标准适用性与缺项标准分析,如图8所示。质量管理人员依据标准要求对总体开发流程、关键控制点的活动和工作产品(技术文档与部分代码)进行质量审查,对存在的主要不符合项进行督促整改,促使开发人员对整个应用方案的理解与执行到位。针对现有标准不适用

的情况,结合项目特点,研制相关项目专用标准。

DoDAF 2.0采用多维表格的形式进行标准视图模型的可视化展现,研究形成的标准配置模型(StdV-1)的示例见表1,标准预测模型(StdV-2)的示例见表2,分别构成支撑系统开发和应用的现行有效标准集和缺项标准集。

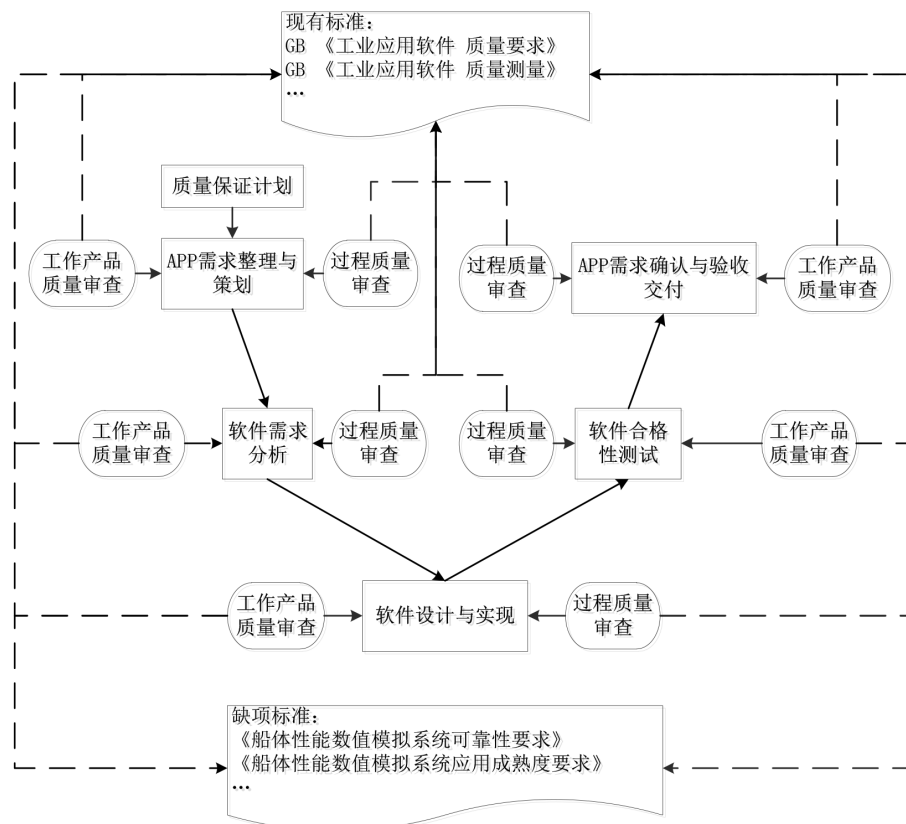


图8 软件全生命周期质量保证过程的标准适用性与缺项标准分析

表1 标准配置模型 (StdV-1) 示例

序号	技术领域	标准编号	标准名称	标准类别	标准内容	适用系统
1	开发技术标准	GB/T 29263-2012	信息技术 面向服务的体系结构 (SOA) 应用的总体技术要求	国家标准	规定了SOA应用的概念模型、技术参考模型及基本技术要求	基础系统
2	系统数据标准	GB/T 36344-2018	信息技术 数据质量评价指标	国家标准	规定了数据质量评价指标的框架和说明。本标准适用于数据生存周期各个阶段的数据质量评价	数据库
3	开发技术标准	GB/T 33847-2017	信息技术 中间件术语	国家标准	界定了信息技术中间件领域通用术语	App群
4	系统集成标准	20193192-T-469 (征求意见稿)	工业App组件化封装通用要求	国家标准	介绍了工业App组件化封装范围、封装框架、封装模式和封装环境,规定了工业App组件化封装过程要求	App群
						

表2 标准预测模型(StdV-2)示例

序号	技术领域	缺项标准名称	标准内容	标准状态	适用系统
1	开发技术标准	系统集成开发与测试标准	本标准规定基础系统集成的集成方式、集成架构和集成要求，以及生命周期内各阶段测试的方法、过程和准则	待编制	基础系统
2	系统数据标准	船体操纵性试验数据标准	本标准规定船体操纵性试验数据的定义、数据内容说明以及数据的入库格式，适用于船体操纵性试验数据的编码、传输、存储、查询等	待编制	数据库
3	App准入流程与评价标准	App准入评价标准	本标准规定App进入软件库的评价要求，包括技术要求、生产要求、文档要求、评估要求等，适用于App的准入评价	待编制	App群
					

8 结论

本文分析了基于模型的船体性能数值模拟系统标准集构建的技术路径,开展了系统开发需求分析与场景建模,以及系统视图构建,在此基础上综合考虑系统生命周期、功能实现、系统组成等不同

维度,分析形成了该系统的标准体系架构,开展了标准适用性分析和缺项标准分析,分别构建了标准配置模型(StdV-1)和标准预测模型(StdV-2),验证了基于模型的船体性能数值模拟系统标准集构建方法的可行性,形成了能够支撑系统开发和应用的标

参考文献

[1] 韦喜忠,金建海,等. 面向船舶总体性能预报APP 研制的GJB 5000A应用方案[J]. 船舶标准化工程师, 2020,53(4):05-10.

[2] 郑朔昉,何瑞恒,等. 基于UAF建模的装备标准集生成技术研究[J]. 系统仿真学报,2021(7):1534-1541.

[3] 谢文才,罗雪山,等. 基于元模型的军事信息系统体系结构建模方法[J]. 国防科技大学学报, 2012,34(1):82-87.

[4] 郑朔昉,何瑞恒. 标准视图在装备研制中的应用方法研究[J]. 标准科学,2017(3): 60-64.

[5] 瑞恒,郑朔昉,等. 基于需求的无人直升机标准视图建模研究[J]. 直升机技术,2018(2):47-51+63.

[6] 中国船舶科学研究中心. 一种舰船总体性能预报集成应用系统[P]. 中国发明专利, CN202111462529. 2022-03-01.

[7] Object Management Group. Unified Architecture Framework Profile (UAFP) Version 1.1. [EB、OL].[2019-06-15].

[8] 尹亮,何明利,等. 装备-标准知识图谱的过程建模研究[J]. 计算机科学, 2018,45(s1):502-505.