

文章编号: 1674-8190(2022)06-173-11

# 基于ATA2300标准的主最低设备清单建议稿 开发平台研究

瞿一帆<sup>1</sup>, 李志一<sup>1</sup>, 茅茆<sup>2</sup>

(1. 上海工业自动化仪表研究院 科技研发中心, 上海 200233)

(2. 上海飞机客户服务有限公司 飞行运行支援部, 上海 200241)

**摘要:** 随着民用飞机的研制和运营, 飞机主制造商需同时开展主最低设备清单建议稿(PMMEL)项目的开发和验证, 以提高民用飞机的派遣可靠性并获得局方的认可。研究PMMEL项目开发的实施过程和行业需求, 基于ATA2300标准明确PMMEL开发和验证过程的数据管理需求; 在此基础上, 构建PMMEL开发平台, 经过完备的系统功能测试保证系统可靠性后, 进一步采用实际的PMMEL项目数据对平台进行概念验证, 证明平台的业务符合性与匹配程度。结果表明: 通过PMMEL平台的建设和使用进一步规范了PMMEL项目的开发和验证数据, 能够为后期运行支援类手册的编制奠定重要的数据基础, 同时, 平台具备持续可扩展性, 能够伴随我国国产民用飞机的持续运营开展进一步的智能化扩展。

**关键词:** 民用航空; ATA2300; PMMEL; 开发平台

**中图分类号:** V267

**DOI:** 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.06.19

**文献标识码:** A

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## Research on Development Platform for Preliminary Master Minimum Equipment List based on ATA2300 Standard

QU Yifan<sup>1</sup>, LI Zhiyi<sup>1</sup>, MAO Mao<sup>2</sup>

(1. Technology Research & Development Center, Shanghai Institute of Process Automation & Instrumentation, Shanghai 200233, China)

(2. Flight Operation Support Department, Shanghai Aircraft Customer Service Co., Ltd., Shanghai 200241, China)

**Abstract:** With the development and operation of civil aircraft, the aircraft main manufacturers need to simultaneously develop and verify the preliminary master minimum equipment list (PMMEL) item to improve the reliability of civil aircraft dispatch and obtain approval from the Administrator. The implementation process and industry requirements of the PMMEL item development is studied, and the data management requirements of the PMMEL development and verification process based on the ATA2300 standard clarified. On this basis, the PMMEL development platform is constructed. After a complete system functional test to ensure the reliability of the platform, the actual PMMEL project data is further used to test for proof of concept, so as to prove the compliance and matching degree of the platform to the business. The results show that the development and verification data of the PMMEL project are further standardized through the construction and use of the platform, which can lay an important data foundation for the compilation of the later operation support manual. The continuous operation of the company will carry out further intelligent expansion.

**Key words:** civil aviation; ATA2300; PMMEL; development platform

收稿日期: 2022-01-19; 修回日期: 2022-06-06

通信作者: 瞿一帆, quyifan@sipai.com

引用格式: 瞿一帆, 李志一, 茅茆. 基于ATA2300标准的主最低设备清单建议稿开发平台研究[J]. 航空工程进展, 2022, 13(6): 173-183.

QU Yifan, LI Zhiyi, MAO Mao. Research on development platform for preliminary master minimum equipment list based on ATA2300 standard[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(6): 173-183. (in Chinese)

## 0 引言

为提高民用飞机的派遣可靠度和经济性,飞机主制造商需要为其新研制的飞机制定主最低设备清单建议稿(Preliminary Master Minimum Equipment List,简称PM MEL)。待PM MEL通过当局的评审后将其发布为主最低设备清单(Master Minimum Equipment List,简称MM EL)<sup>[1-2]</sup>,作为航空器运营人制定最低设备清单(Minimum Equipment List,简称MEL)的依据。

国内外适航当局对PM MEL项目进行评审时,也需要对相应的工程数据、分析过程和验证数据进行检查和确认。欧洲航空安全局(EASA)编发了MM EL的取证指导规范(CS-MM EL)以支持民用飞机主制造商开展相关工作<sup>[3]</sup>。中国民用航空局也编发了咨询通告《航空器主最低设备清单的制定和批准》<sup>[4]</sup>,用于向主制造商明确主最低设备清单的开发和评审要求。

PM MEL项目的分析过程也经历了从依托经验型数据分析到工程数据分析转变的过程。顾志武等<sup>[5]</sup>采用模糊综合评价方法对候选项目进行了综合评价分析;汪震宇等<sup>[6]</sup>采用安全性分析法开展了候选项目的分析和选择。PM MEL项目的验证工作方面,尹楚雄等<sup>[7]</sup>采用德尔菲法研究了PM MEL项目的评价标准;许科龙等<sup>[8]</sup>基于型号工作经验总结了PM MEL项目的验证工作流程和内容。这些研究作为PM MEL分析和验证的数据管理提供了重要依据。

随着航空器运行和持续适航文件制定技术的发展,作为运行支持类文件的MM EL编制也需要基于ATA2300标准和S1000D规范进行技术内容的收集和准备<sup>[9]</sup>。ATA2300标准主要用于航空器运行类手册的编制,其在数据技术方面与S1000D规范保持了一致<sup>[10]</sup>。在此基础上,空客公司开发了AirN@v系统,实现了A350XWB、A320等机型的交互式技术出版物的发布和使用<sup>[11-12]</sup>,机组和维护人员可以在A350XWB飞机上,通过机载信息系统或机载维护终端OMT访问最新版本的技术出

版物;中国商用飞机有限责任公司、航空工业西安飞机工业(集团)有限公司等国内主制造商也积极探索基于S1000D标准的运行手册编制技术研究<sup>[13-14]</sup>。

然而,由于国内民用飞机研制起步较晚,相关应用工具的研究和使用鲜见。若需要快速实现PM MEL项目制定过程中数据的收集和管理,且同时满足后期MM EL编制的海量数据需求,必须制定一套开发平台。为此,本文基于ATA2300标准开展PM MEL项目的海量数据需求研究,结合PM MEL项目的分析和验证等工作流程设计PM MEL开发平台的各项功能,并开发原型系统;在此基础上,结合某型飞机的PM MEL项目对PM MEL开发平台进行操作验证。

## 1 综合标准与流程的开发平台需求分析

ATA2300标准定义了飞行类交互式电子技术出版物的结构化准则,是进行平台设计工作必须遵循和参考的准则。而作为支撑航空器制造厂商进行PM MEL开发的业务平台,用户的标准业务流程同样也在平台设计之初进行了充分的考虑与分析。为了确保平台业务流程与功能最终被准确地定义与实现,本文开展综合ATA2300标准以及标准业务流程的平台需求分析与确认工作。

首先,以PM MEL分析、编制和验证全寿命周期流程为基准,对平台的整体业务流程与核心功能模块进行定义与划分,PM MEL分析、编制和验证全寿命周期过程包括以下5个方面。

(1) 候选项的创建,综合航空器安全性分析、航空器运营人需求、相似机型MM EL清单等多方来源,创建PM MEL候选项。

(2) 候选项的分析,根据航空器的设计数据和安全性分析数据对候选项进行定量、定性分析,对候选项的可行性、维修间隔、放行数量进行充分论证。

(3) PM MEL手册的编制,参考咨询通告《航

空器主最低设备清单的制定和批准》中约定的建议项目格式,对PM MEL各候选项的信息进行编制,汇总形成PM MEL手册。

(4) 候选项验证,通过书面验证、地面验证、模拟机验证、试飞验证等途径进一步验证候选项故障时航空器的安全性,以论证候选项的可实施性。

(5) 局方评审,由中国民用航空局以及其他地域的航空管理局对PM MEL候选项及其分析、验证过程进行审定与验证,批准形成最终的《航空器主最低设备清单》。

其次,本文的研究核心即是能够基于ATA2300标准,实现PM MEL手册内容的结构化。因此,在需求分析过程中,同样对手册结构化的范围以及后续相关的实施路径进行分析,包括以下4部分。

(1) 手册分为正文前部分与正文部分。其中,正文前部分由封面、目录、版次说明(修订记录)、有效页清单(控制页)、更改摘要、前言以及定义和解释构成。正文部分由PM MEL建议项目部分以及PM MEL建议项目的建议分析部分组成。结合公共资源数据库(CSDB)的最佳实践经验,参考基于S1000D的技术出版物编制经验,并根据开发平台的系统边界进行决策,对于正文前与正文部分,可以采用不同的策略和路径。

(2) 正文前部分的内容主要依赖ATA2300标准中的<frontmatter>元素进行描述,同时结合包括手册发布器、样式表等其他信息化机制进行控制与生成。该部分内容通常在手册正文部分完成后,由手册主编统一进行汇总和编制,而本平台的核心在于手册正文部分的各建议项以及其建议分析内容的全生命周期数据与过程管理,因此在开展和实施结构化内容时,不考虑正文前部分的构建。

(3) 正文部分为PM MEL手册的核心部分,对于结构化技术出版物而言,其实质是将各建议项的数据模块(Data Module,简称DM)进行汇总和整合,形成完整的手册正文内容。该部分内容的主体由用户在平台中进行录入,并通过平台导出

相应的DM。

(4) 建议项的数据模块(DM)由三部分组成,包括:

(a) 标识与状态部分,用于描述各数据模块中包括修订日期、数据模块编码、技术状态等基本信息;

(b) 建议项部分,用于描述各建议项的签派放行信息,包括修复期限、安装数量、签派放行数量等;

(c) 建议项分析部分,用于描述建议项的相关分析内容,根据AC-91-037中的建议,该部分可以包括系统描述、故障影响分析、继发故障影响分析、维修程序与操作程序等。

上述(a)~(c)中,(a)部分通常由CSDB系统根据既定业务规则以及自动捕获的数据信息自动生成,主要通过<identAndStatusSection>元素进行描述;(b)、(c)部分为建议项DM的核心内容,需要对平台内与该部分内容相关数据的结构化导出进行设计与考虑。

此外,对于PM MEL建议项中图片内容的处理与实施,同样也应该在平台设计之初进行合理规划,包括以下2部分。

(1) 为支持用户通过PM MEL开发平台进行内容录入,实现数据与过程的统一管理,平台应该支持富文本内容的录入,兼顾文本数据与图片的统一管理。

(2) 由于结构化的XML文本无法直接存储图片内容,图片通常单独在CSDB系统中进行维护,在使用图片时,主要通过参引图片的唯一ICN编码的方式实现。因此,对于平台而言,在导出生成结构化数据时,应根据图片情况自动预留图片元素对<graphic>。当用户将由平台生成的结构化内容导入至CSDB系统后,应使用配套的手册编辑工具重新建立内容对图片的参引。

基于上述论述与分析,综合PM MEL、PM MEL开发流程以及信息化系统应当具备的基本能力,可以分析出PM MEL开发平台的基本功能需求,如表1所示。

表 1 PMMEL 开发平台需求清单  
Table 1 List of requirements for PMMEL development platform

序号	一级功能	二级功能	功能描述
1	系统管理	部门用户管理	实现对用户组织架构、用户基本信息的管理与维护
2		角色管理	实现系统功能权限划分、角色定义、角色授权功能
3	数据字典	—	实现系统内通用数据项的内容维护,如机型、需求类型等
4	ATA 信息	—	实现对机型BOM树的维护管理,可基于ATA标准要求或本地化实际情况进行定义与维护
5	参考数据	—	涵盖包括规章数据、相似机型数据、工程数据等多个资料库,能够通过用户人工维护或接口自动捕获,用于支撑建议项目分析的相关参考文件
6	需求管理	—	用于维护和记录建议项目分析的来源需求,包括来自航空器设计团队、安全性分析团队、客服团队、运营人等
7	候选项管理	—	用于定义MMEL建议项目的基本信息
8	候选项分 析管理	MMEL 信息	用于维护建议项目中的MMEL信息
9		系统说明	用于维护建议分析内容中的“系统说明”部分
10		故障影响分析	用于维护建议分析内容中的“故障影响分析”部分
11		继发故障影响分析	用于维护建议分析内容中的“继发故障影响分析”部分
12		O/M 程序分析	用于维护建议分析内容中对“操作程序(O)/维修程序(M)”部分
13	候选项 验证管理	候选项验证规划	用于维护主制造商对候选项的整体验证规划、方案
14		候选项申请	用于发起候选项的申请流程,指明候选项的验证方法
15		候选项验证实施	用于维护包括书面验证、地面验证、模拟机验证、试飞验证、维修程序验证等不同验证视角与技术手段的过程数据与结果数据
16		局方意见汇总	用于维护局方针对候选项发起的评审问题、评审意见记录
17	候选项 意见汇总	专业组意见汇总	用于维护主制造商内部,由候选项所属以及相关系统的专业设计部门提出的问题与意见
18		局方验证	用于维护根据局方要求所开展的针对性验证涵盖的过程数据与结果数据
19	问题管理	—	用于维护与跟踪PMMEL建议项目全寿命周期涉及的各类问题以及解决状态
20	工作流引擎	—	工作流引擎,支撑系统内部的业务流转与审批流程的流转。能够根据实际需要自定义审批流程节点,支持在线的推送、审批以及查询

## 2 平台设计与实现

### 2.1 平台设计

在基本捕获平台的功能以及相关需求后,即可开展针对平台的设计工作,包括对平台的物理架构、整体技术路线规划以及逻辑架构的设计。

需要明确平台的物理架构,对于PMMEL开发平台而言,其主要使用对象为主制造商PMMEL手册编制部门,潜在用户包括主制造商设计部门、安全性分析部门、局方审定人员等与PMMEL全寿命周期相关的组织单位人员。因此,面向上述多用户、多组织的场景,为了降低部署维护成本、提升访问效率,最佳实践为采用B/S(Browser/Server)架构,仅需在一处进行服务部署,各用户单位均可通过网络(包括但不限于互联网、专网、局域网)对平台进行访问和使用。在该模式下,客户端无需安装任何专门的软件,仅需使用浏览器即

可与服务器端进行数据交互,只要有物理链接即可实现,无需增加硬件投入,且安全可靠,非常适合与PMMEL相关的对网络、数据安全要求较高的组织单位。平台物理架构如图1所示。

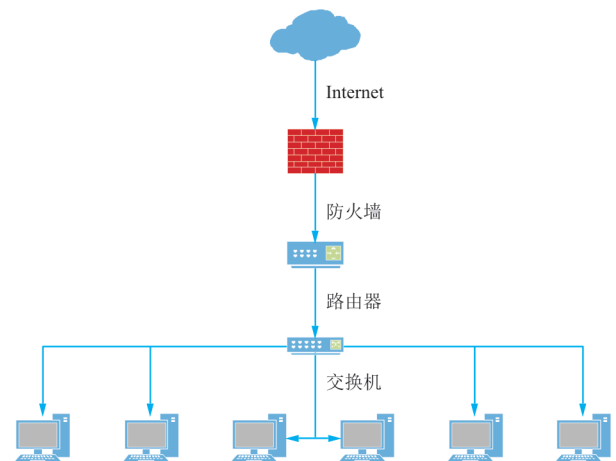


图 1 系统物理架构<sup>[15]</sup>

Fig. 1 System physical architecture<sup>[15]</sup>

在明确物理架构之后,即可对技术路线进行选型。平台采用前后端分离技术以提升平台的开发效率与维护效率,同时加强平台的可扩展性。基于前后端分离技术,前端选择主流的 Angular 前端框架。Angular 是一款基于 HTML、CSS 以及 JavaScript 的前端库,能够更轻量化、快捷地开展前端交互页面的设计与实现;后端采用 C# 语言,并选用 .Net Core 框架。基于 .Net Core,使得平台更具

扩展性与可移植性,能够向移动端进行功能延展,同样也可以平滑地移植到其他的操作系统中。在当前国产化的大趋势下,系统的可移植性就显得更为重要。

平台逻辑架构能够相对清晰地定义系统的层次、相关资源,并明确系统的主要功能。基于前期明确的需求,PM MEL 平台的系统逻辑架构如图 2 所示。

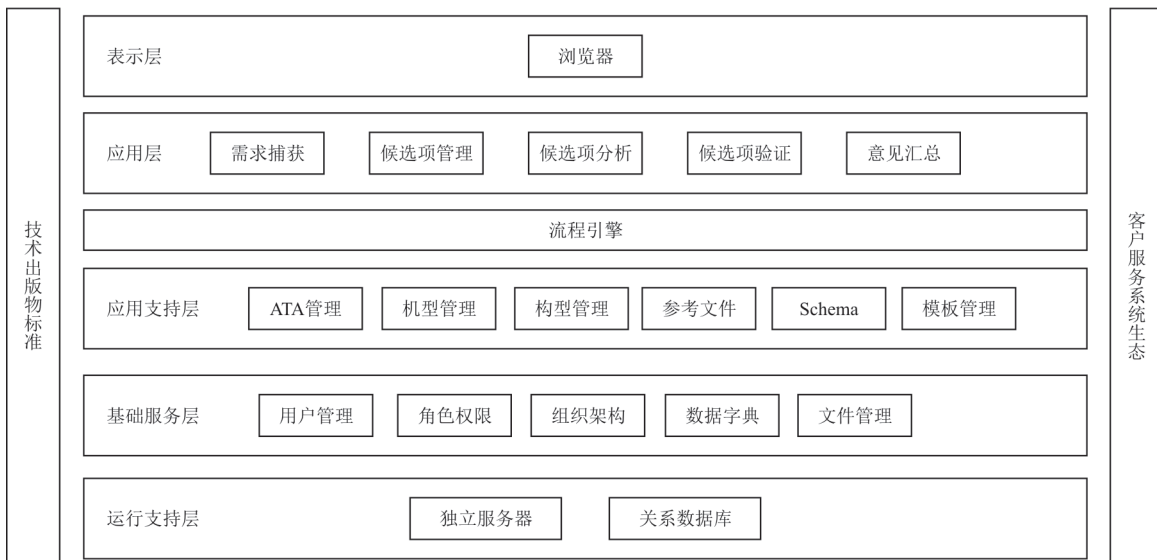


图 2 系统逻辑架构

Fig. 2 System logic architecture

## 2.2 平台实现

在明确平台设计思路后,即可依据平台设计理念开展具体的实现工作,通过部署、编码的方式对运行支持层、基础服务层、应用支持层、应用层以及表示层进行逐一落地。

### (1) 运行支持层

运行支持层主要指包括服务器、数据库等支持系统运行、数据读写、存储的软硬件设备。

### (2) 基础服务层

基础服务层主要指支撑系统基本运行维护的功能组件,这些组件可以利用开发团队现有框架或使用用户所在组织既有的基础组件,以降低开发成本与开发周期,并能够与用户实际环境保持一致。

### (3) 应用支持层

应用支持层是由为系统具体应用提供依赖与支撑的若干组件构成的。PM MEL 具体业务的开

展需要这些功能或数据作为依赖或参考。

### (4) 流程引擎

流程引擎的实质,是指遵循规章要求以及业务部门实际情况构建的工作流引擎,包含下述 2 个维度。

(a) 建立满足《航空器主最低设备清单的制定和批准》要求,且符合用户实际业务场景的 PM-MEL 分析、编制和验证全寿命周期流程,继而引导用户遵循流程进行业务操作并引导数据进行有序的传递与运转;

(b) 建立满足用户业务场景的内部运转流程规则,包括单一业务场景下的数据运转以及不同层级业务或数据的签署审批流程。

### (5) 应用层

应用层为民用飞机 PM MEL 综合系统核心业务模块,以支撑用户开展具体的业务操作。

### (6) 表示层

表示层主要指民用飞机 PMMEL 综合系统的用户交互界面。基于 B/S 架构,用户应仅需使用浏览器即可与系统进行交互,开展具体业务工作。

## 2.3 结构化手册的重点设计与实施规划

针对基于平台导出结构化手册的 XML 文件内容,在平台开发过程中进行重点的设计考虑,同时,也根据实际的用户场景,制定平台具体的落地方案以及用户的操作路径。

首先,在开展基于 ATA2300 的结构化手册内容导出前,明确平台的支持范围以及所遵循的标准。

PMMEL 结构化手册的构建以 ATA2300 标准为主。由于当前我国的交互式电子技术出版物(IETP)大多以 S1000D 标准建立的维修类手册先行,因此在构建 PMMEL 手册时,也兼顾了 S1000D 标准规范。

各 PMMEL 候选项能够生成两类 DM,纳入 CSDB 系统进行统一维护管理,DM 在系统中可通过分解码或差异码进行区分。

### (1) 签派放行信息 DM

使用 S1000D 标准中的 <identAndStatusSection> 元素及其结构定义 DM 的标识与状态,包括 DMC、修订版本信息、适用性信息等。

使用 ATA2300 标准中的 <dispatchItem> 元素及其结构定义 Content 部分内容,DM 中主要定义候选项的签派放行信息,包括建议项目、修复期限、安装数量、签派放行数据量、备注和例外等。

### (2) 建议分析信息 DM

使用 S1000D 标准中的 <identAndStatusSection> 元素及其结构定义 DM 的标识与状态,包括 DMC、修订版本信息、适用性信息等。

使用 ATA2300 标准中的 <substantion> 元素及其结构定义 Content 部分,DM 主要包括候选项建议分析部分的内容,包括系统描述、故障影响、继发故障影响、(O)/(M)程序等。

其次,明确范围后,即形成在平台落地后,针对用户业务行为的具体实施路径规划。

(1) 民用飞机 PMMEL 系统可将每个候选项导出签派放行信息与建议分析信息两个 DM 中的 Content 部分 XML 文件,导出文件的文件名应由下述两部分组成:候选项六位 SNS 编码、DM 差异区分码(如 34-00-01-D 与 34-00-01-S 分别代表该候

选项的签派放行信息 DM 与建议分析信息 DM)。标识与状态段的信息应由 CSDB 系统统一生成。

(2) 从民用飞机 PMMEL 系统中导出的 XML 文件根据导出内容的实际情况预留下述空元素。

(a) <dmRef>:在备注和例外以及(O)/(M)程序内容下预留,以供用户在结构化手册编辑器中参引对应的飞行操作程序或维修操作程序;

(b) <graphic>:在建议分析内容中,若存在图片,则预留<graphic>元素对,以供用户在结构化手册编辑器中参引对应图片的 ICN 码。

(3) 用户应统一将建议分析中的各类图片、模型内容上传至 CSDB 系统进行管理,并通过配套编辑器,使用参引 ICN 码的形式实现对图片的参引。

(4) 由用户组织的技术出版物部门或信息化部门负责 PMMEL 手册样式表的定制,并利用技术出版物发布系统实现手册发布。

## 3 平台测试与验证

### 3.1 平台全量测试

平台全量测试的目标是对功能、性能的可靠性进行检测,以保证平台运行的稳定性。

在平台开发需求完成后,即开展基于需求的测试用例开发,并在平台实现完成后开展基于测试用例的黑盒功能测试工作,通过多轮次的功能测试与回归测试,逐步对系统功能缺陷进行收敛,保障平台达到既定的测试通过指标,最终,在测试环境中,平台功能测试缺陷全部收敛。根据实施经验与预测,在生产环境中,可能存在由于网络条件、环境差异而引发的兼容性故障,但均不会影响平台的整体功能,仅需进行针对性的适配即可。前三轮测试的缺陷趋势统计如图 3 所示。

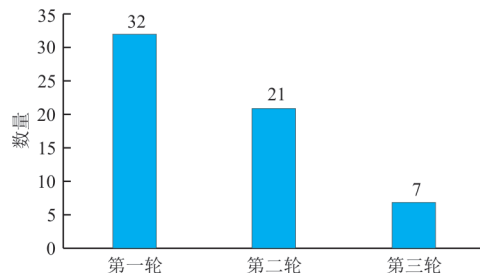


图 3 缺陷趋势统计

Fig. 3 Trend statistics of defects

通过趋势图,将每轮次的测试缺陷数量以柱状图的形式呈现,可以直观反映每轮次的缺陷数

量情况以及缺陷收敛情况,继而反馈系统功能的逐步完善趋势。

### 3.2 平台性能测试

在完成平台功能测试后,开展对平台的性能测试。为了保证性能测试的准确性以及测试效率,采用 Apache JMeter 性能测试工具,并通过编制测试脚本实现对平台性能指标的测试。为了保障平台的正常使用,平台从可靠性、响应速度以及并发支持能力三个维度定义如下性能指标:系统支持 7×24 h 正常运行要求;核心功能响应时间不超

过 3 s;至少支持 100 人同时在线访问。

针对测试指标,性能测试的具体实施步骤如下。

(1) 为确保系统能够实现 7×24 h 持续运行,将系统部署至于网络、电源稳定的服务器环境中运行,并进行持续地日志监控,确保平均每小时,均能记录并返回系统正常运行的交互结果,若系统在运行时出现故障,则会在日志中抛出以【ERROR】为前缀的报错信息。日志通过 7×24 h 的运行后,发现运行日志无异常报错,持续运行指标通过。监控日志的部分样例如图 4 所示。

```

2022-03-15 03:36:25 : 登陆,账号: 【test1】,返回结果: 【登录成功】;
2022-03-15 03:36:25 : 登陆,账号: 【test2】,返回结果: 【登录成功】;
2022-03-15 03:36:25 : 登陆,账号: 【test3】,返回结果: 【登录成功】;
2022-03-15 03:36:25 : 登陆,账号: 【test4】,返回结果: 【登录成功】;
2022-03-15 03:36:25 : 登陆,账号: 【test5】,返回结果: 【登录成功】;
2022-03-15 03:36:25 : 获取机型数据:
{"Data":
[{"id":1,"DataType":3,"Name":"A320","SpareColumn1":null,"SpareColumn2":null,"SpareColumn3":null,"SpareColumn4":0,"SpareColumn5":0,"SpareColumn6":0,"Remarks":null,"IsLocked":false,"CreatorId":1,"CreatorIdStr":"ChaoJiAdmin","CreatedTime":"2020-10-12T00:00:00","LastUpdaterId":null,"LastUpdaterIdStr":"","LastUpdatedTime":null,"Updatable":true,"Deletable":true},
{"id":2,"DataType":3,"Name":"A330","SpareColumn1":null,"SpareColumn2":null,"SpareColumn3":null,"SpareColumn4":0,"SpareColumn5":0,"SpareColumn6":0,"Remarks":null,"IsLocked":false,"CreatorId":1,"CreatorIdStr":"ChaoJiAdmin","CreatedTime":"2020-10-12T00:00:00","LastUpdaterId":null,"LastUpdaterIdStr":"","LastUpdatedTime":null,"Updatable":true,"Deletable":true},
{"id":3,"DataType":3,"Name":"A350","SpareColumn1":null,"SpareColumn2":null,"SpareColumn3":null,"SpareColumn4":0,"SpareColumn5":0,"SpareColumn6":0,"Remarks":null,"IsLocked":false,"CreatorId":1,"CreatorIdStr":"ChaoJiAdmin","CreatedTime":"2020-10-12T00:00:00","LastUpdaterId":null,"LastUpdaterIdStr":"","LastUpdatedTime":null,"Updatable":true,"Deletable":true},
{"id":4,"DataType":3,"Name":"B737","SpareColumn1":null,"SpareColumn2":null,"SpareColumn3":null,"SpareColumn4":0,"SpareColumn5":0,"SpareColumn6":0,"Remarks":null,"IsLocked":false,"CreatorId":1,"CreatorIdStr":"ChaoJiAdmin","CreatedTime":"2020-10-12T00:00:00","LastUpdaterId":null,"LastUpdaterIdStr":"","LastUpdatedTime":null,"Updatable":true,"Deletable":true},
{"id":5,"DataType":3,"Name":"B777","SpareColumn1":null,"SpareColumn2":null,"SpareColumn3":null,"SpareColumn4":0,"SpareColumn5":0,"SpareColumn6":0,"Remarks":null,"IsLocked":false,"CreatorId":1,"CreatorIdStr":"ChaoJiAdmin","CreatedTime":"2020-10-12T00:00:00","LastUpdaterId":null,"LastUpdaterIdStr":"","LastUpdatedTime":null,"Updatable":true,"Deletable":true},
{"id":6,"DataType":3,"Name":"B787","SpareColumn1":null,"SpareColumn2":null,"SpareColumn3":null,"SpareColumn4":0,"SpareColumn5":0,"SpareColumn6":0,"Remarks":null,"IsLocked":false,"CreatorId":1,"CreatorIdStr":"ChaoJiAdmin","CreatedTime":"2020-11-30T10:33:53.16094","LastUpdaterId":null,"LastUpdaterIdStr":"","LastUpdatedTime":null,"Updatable":true,"Deletable":true}],
>Total:7);

```

图 4 监控日志  
Fig. 4 Monitoring log

(2) 为验证系统核心功能响应时间与并发用户数量,采用 JMeter 测试工具进行性能模拟测试。通过 Excel 预设最大 500 名用户的登录信息,并通过 JMeter 工具配置 JSON 脚本依次模拟 100、200、

300、400、500 名用户在 60 s 内同时登录系统,测试结果均满足预期要求。系统并发聚合报告如图 5 所示,可以看出:500 名用户登录时,测试工具反映,平均响应时间 35 ms 左右,满足预期要求。

Label	# Samples	Average	Median	90% Line	95% Line	99% Line	Min	Maximum	Error %	Throughput	Received K...	Sent K/Sec
登陆	500	35	32	42	45	77	28	279	0.00%	8.3/sec	8.27	2.70
请求首页	500	17	16	21	25	31	14	106	0.00%	8.4/sec	22.01	5.76
TOTAL	1000	26	29	38	42	60	14	279	0.00%	16.7/sec	30.25	8.45

图 5 系统并发聚合报告  
Fig. 5 Aggregate report for system concurrency

(3) 完成系统并发数测试后,继续使用JMeter工具对核心页面的响应时间进行测试。根据对PM MEL业务的分析,在本平台中,定义的核心页面为:登录页面,机型页面,获取候选项分析数据页面,获取候选项验证数据页面。针对上述核心页面,模拟10人同时登录系统并访问对应功能,结

论如图6所示,可以看出:10个学员同时登录系统,平均响应时间在195 ms左右;10个学员同时获取机型页,平均响应时间在148 ms左右;10个学员同时获取候选项分析,平均响应时间在3 797 ms左右;10个学员同时获取候选项验证,平均响应时间在34 ms左右。

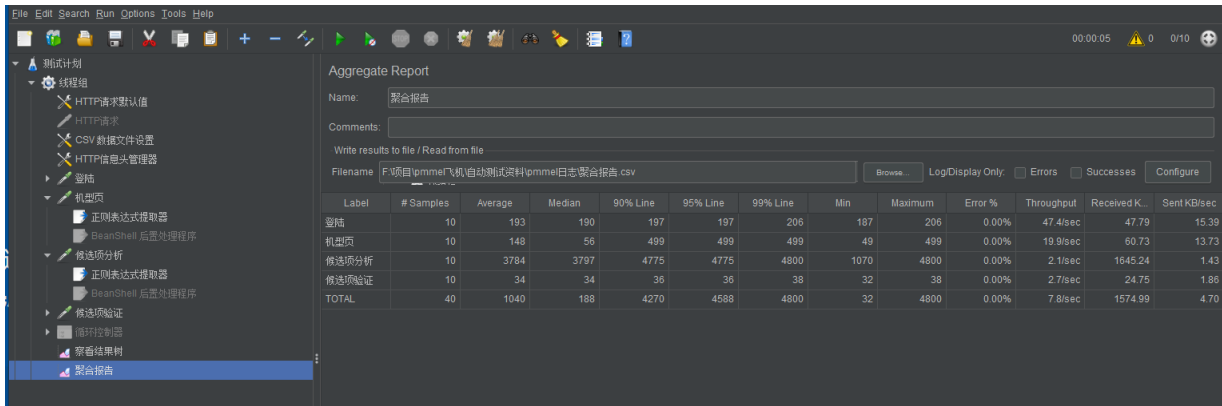


图6 响应时间聚合报告

Fig. 6 Aggregate report for response time

对平台运行的监控以及采用测试工具进行模拟压力测试,充分验证了平台满足既定性能指标。

### 3.3 平台验证

平台验证的目的是为了通过相对真实的测试数据与测试场景实现对功能流程以及输入输出数据的校验,保证平台各功能与流程在正常运转的

同时,能够满足既定的业务要求。具体的测试步骤包括:建立虚拟用户;建立测试基础数据;批量建设PM MEL建设项目;基于流程完成PM MEL分析,并选择建议项目导出XML样例。

首先,在系统内建立虚拟用户,并建立包括如ATA信息、数据字典等各类基础信息。ATA信息的建立与维护完成状态如图7所示。

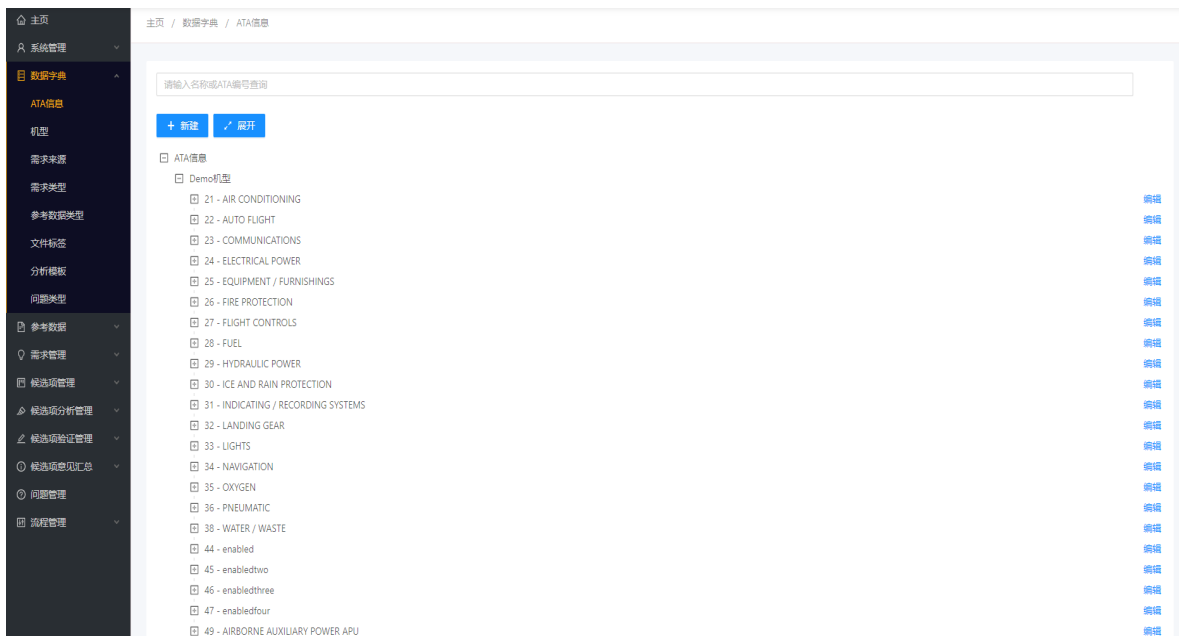


图7 ATA信息

Fig. 7 ATA Information



其次,通过批量导入的形式,将既定的系列 MMEL 建议项目清单纳入系统,并抽样开展建议项目分析,如图 8 所示。

最后,根据平台流程的引导,完成候选项的分析工作,并从平台导出相应的 DM 内容进行确认,如图 9 所示。

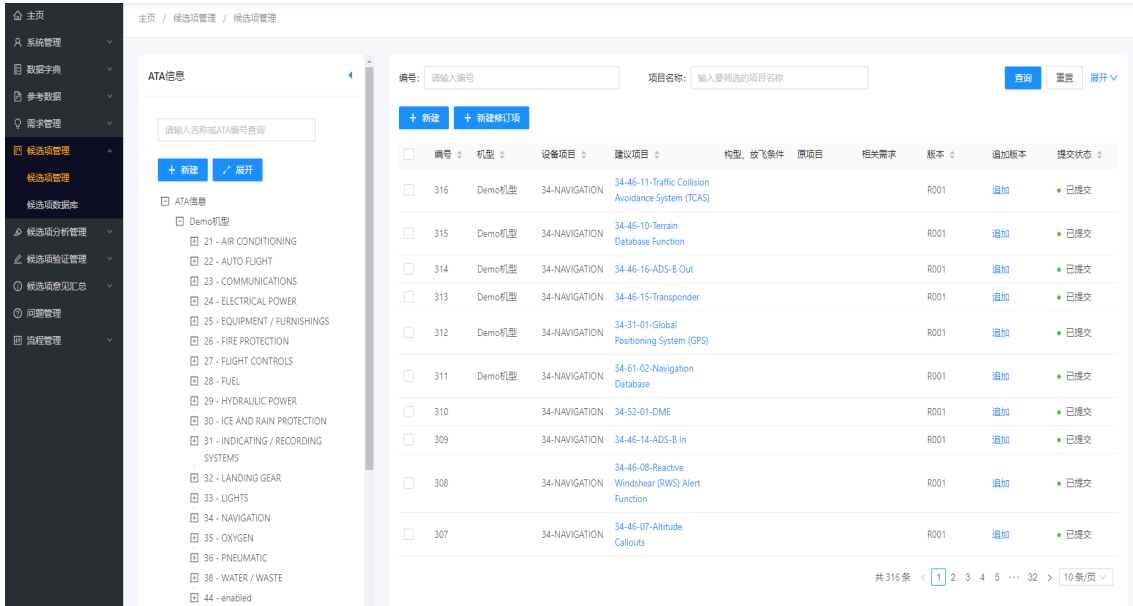


图 8 MMEL 建议项目  
Fig. 8 Proposal projects for MMEL



图 9 数据模块样例  
Fig. 9 Sample data module

### 4 结 论

(1) 通过 PMMEL 开发平台的使用,本文实现了 PMMEL 全生命周期的过程管理与数据管理;

通过导出数据模块(DM)的技术路线,打通了编制过程数据与技术出版物公共资源数据库(CSDB)的壁垒;通过自动化的流程运转,提高了协同能力与工作效率。

(2) 基于 ATA2300 标准,以 PMMEL 开发平台的研发思路与研制技术为基础,可以持续进行扩展,包括横向实现飞机机组操作手册(FCOM),快速检查单(QRH)的开发管理与 DM 生成,纵向的主最低设备清单(MMEL)、放行偏离指南(DDG)的开发管理与 DM 生成,进而促进飞行类技术出版物全寿命周期的过程管理与数据管理。

本文研究成果在当前阶段初步实现了 PMMEL 全寿命周期工作的数字化,对于网络化与智能化的实现,在结合我国国产民机运营数据与经验的积累下,仍可进行持续的扩展。首先,伴随未来国产民机多机型的项目研发,平台应能进一步加强利用相似机型的安全性数据、运行数据、MMEL 分析数据辅助 PMMEL 分析人员开展分析工作,以提升工作的效率,加强对工作的支撑粒度。其次,随着数据的积累,平台应能进一步实现建议项目的定量、定性分析算法,根据响应的数据输入,反馈更准确的维修间隔时间,在安全性保障的前提下,进一步提升我国国产民机的签派率与运行经济型。

### 参考文献

- [1] 陈洁. 基于 PMMEL 的民机飞控系统签派可靠度计算 [C]// 第六届民用飞机航电系统国际论坛. 上海: 中国航空学会, 2017: 198-204.  
CHEN Jie. The calculation of dispatch reliability for flight control system based on PMMEL [C]// 6th Annual Civil Avionics International Forum Conference. Shanghai: CSAA, 2017: 198-204. (in Chinese)
- [2] DURMAZBURAK A. Use of master minimum equipment list (MMEL) to ensure safe dispatch [C]// 2013 System Safety Conference. Boston: EASA, 2013: 1-8.
- [3] EASA. Regular update of CS-MMEL and CS-GEN-MMEL[R]. [S.l.]: EASA, 2018.
- [4] 中国民用航空局. 航空器主最低设备清单的制定和批准: AC-91-037[S]. 北京: 中国民用航空局, 2018.  
CAAC. Preparation and approval of aircraft master minimum equipment list: AC-91-037 [S]. Beijing: CAAC, 2018. (in Chinese)
- [5] 顾志武, 杜倩宜, 冯蕴雯, 等. 民用飞机主最低设备清单建议稿项目模糊综合评价方法研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 59-67.  
GU Zhiwu, DU Qianyi, FENG Yunwen, et al. Preliminary master minimum equipment list fuzzy comprehensive evaluation method of civil aircraft [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 59-67. (in Chinese)
- [6] 汪震宇, 何浩松. 基于安全性分析的民用飞机 PMMEL 制定方法 [C]// 飞机机电系统理论与实践——第二届民用飞机机电系统国际论坛. 北京: 中国航空学会, 2015: 1-5.  
WANG Zhenyu, HE Haosong. The method of making PMMEL for civil aircraft based on safety analysis [C]// Aircraft Electromechanical System Theory and Practice—The Second Civil Aircraft Electromechanical System International Forum. Beijing: CSAA, 2015: 1-5. (in Chinese)
- [7] 尹楚雄, 顾志武, 薛小锋. 民用飞机主最低设备清单建议稿验证评价标准研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 68-74.  
YIN Chuxiong, GU Zhiwu, XUE Xiaofeng. Research on evaluation standard of civil aircraft proposal master minimum equipment list validation [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 68-74. (in Chinese)
- [8] 许科龙. 民用飞机主最低设备清单验证工作研究[J]. 科技创新导报, 2015, 12(33): 39-40.  
XU Kelong. Research of aircraft master minimum equipment list validation [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2015, 12(33): 39-40. (in Chinese)
- [9] 温丽华. 基于 ATA2300 标准的民机飞行运行类技术出版物产生流程及应用研究 [C]// 上海市科学技术协会第十三届学术年会. 上海: 上海市航空学会, 2015: 114-123.  
WEN Lihua. Research on the process and application of ATA2300 in the flight civil aircraft technical publication [C]// 13th Annual Academic Conference of Shanghai Association for Science and Technology. Shanghai: Shanghai Aeronautical Society, 2015: 114-123. (in Chinese)
- [10] CHATEL B. ATA Spec2300 implementation perspectives [EB/OL]. [2022-01-19]. <http://www.ataebiz.org/forum/forum2014/3-ATASpec2300.pdf>.
- [11] Anon. AirN@v-next generation Airbus interactive E-documentation consultation [J]. Aircraft Technology Engineering & Maintenance, 2004(2): 98-99.
- [12] 褚双磊, 刘菲, 魏志强. 基于运行要求的 A320 机型 MMEL 编制方法研究[J]. 中国民航大学学报, 2015, 33(6): 5-8, 27.  
CHU Shuanglei, LIU Fei, WEI Zhiqiang. Research on editing method of A320 MMEL based on operational requirements [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2015, 33(6): 5-8, 27. (in Chinese)
- [13] 李文浩, 贝壳. 基于 ATA2300 的飞行机组操作手册适用性管理方法研究[J]. 科技创新导报, 2020, 17(21): 3-8.  
LI Wenhao, BEI Liang. Research on the applicability management method of flight crew operation manual based on

- ATA2300[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2020, 17(21): 3-8. (in Chinese)
- [14] 魏严锋, 乔琳君. 基于 S1000D 标准的飞机技术出版物结构化方法研究[J]. 航空工程进展, 2021, 12(5): 116-122. WEI Yanfeng, QIAO Linjun. Research on structured method of aircraft technical publication based on S1000D standard [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2021, 12(5): 116-122. (in Chinese)
- [15] 刘瑞雯, 郭炜峻, 曾志刚, 等. 基于 BS 架构的跨网段数据上传的实现与应用[J]. 民航学报, 2019, 3(6): 54-56. LIU Ruiwen, GUO Weijun, ZENG Zhigang, et al. Implementation and application of cross-network segment data up-

load based on BS architecture[J]. Journal of Civil Aviation, 2019, 3(6): 54-56. (in Chinese)

#### 作者简介:

瞿一帆(1991—),男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机运行支持及客户服务技术。

李志一(1989—),男,学士,工程师。主要研究方向:智能制造生产执行及民用飞机运行支持技术。

茅 苒(1991—),女,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机飞行运行类技术出版物。

(编辑:丛艳娟)

(上接第 165 页)

- [9] 张浪,程用胜,王福新. 水上飞机静水起飞过程水气耦合性能分析[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(11): 190-195. ZHANG Lang, CHENG Yongsheng, WANG Fuxin. Coupled hydrodynamic and aerodynamic performance analysis of seaplane take-off process in calm water[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(11): 190-195. (in Chinese)
- [10] 田煜. 大型灭火飞机投水过程数值仿真方法研究[J]. 飞行力学, 2019, 37(3): 83-86. TIAN Yu. Research on numerical simulation method of large fire-fighting aircraft water-dropping process[J]. Flight Dynamics, 2019, 37(3): 83-86. (in Chinese)
- [11] XIAO Z, WANG L, HUANG M, et al. Study on the influence of pumping system on the hydrodynamic performance of air tanker[J]. Journal of Physics Conference Series, 2019, 130: 012055.
- [12] VERSTEEG H K, MALALASEKERA W. An Introduction to computational fluid dynamics [J]. Pearson Schweiz A, 2007, 20(5): 400-407.
- [13] LAUNDER B E, SPALDING D B. Lectures in mathematical models of turbulence [M]. London: Academic Press,

1972: 151-190.

- [14] 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 120-121. WANG Fujun. Computational fluid dynamics analysis—CFD software principle and application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 120-121. (in Chinese)
- [15] 郭鸿志. 传输过程数值模拟 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998. GUO Hongzhi. Numerical simulation of transmission process [M]. Beijing: Press of Metallurgy Industry, 1998. (in Chinese)

#### 作者简介:

叶庆龙(1980—),男,学士,高级工程师。主要研究方向:特种任务,航空货运系统等。

杜秀军(1985—),男,学士,高级工程师。主要研究方向:特种任务,航空货运系统等。

李文源(1995—),男,学士,助理工程师。主要研究方向:特种任务,航空货运系统等。

(编辑:马文静)