



开放科学  
(资源服务)  
标识码  
(OSID)

# 面向民用飞机装配工艺规范数字化建设的标准元数据质量测评研究

苏萍<sup>1</sup> 邹小筑<sup>2</sup> 安鲁陵<sup>3</sup>

1. 南京航空航天大学 人文与社会科学学院 南京 210016;

2. 南京航空航天大学 科技信息研究所 南京 210016;

3. 南京航空航天大学 机电学院 南京 210016

**摘要:** [目的/意义] 国内民用飞机装配工艺规范数字化建设相对国外缓慢, 实践过程中存在很多阻滞。目前鲜有从数字化需求对标准元数据质量进行测评的研究, 相关研究既能从内容层面对元数据描述提出建设性意见, 提高标准信息资源的数字化质量, 又能推进民用飞机装配工艺数字化进程, 助力智能制造。[方法/过程] 对工艺规范与标准信息资源概念进行对比, 分析民用飞机装配工艺规范数字化及标准元数据进展; 理清民用飞机装配工艺规范数字化需求, 基于调整后的 Bruce Hillmann 测评指标确定了工艺规范数字化需求下的标准元数据质量测评方案; 以国家军用标准全文服务体系为例, 对标最新版国家《标准文献元数据》, 分析元数据对标准内容的揭示程度与数字化需求之间的差距, 提出建议。[局限] 单案例研究, 典型性和全面性仍有待验证。[结果/结论] 分析民用飞机装配工艺规范数字化进展和需求发现: 数字化质量亟待提高, 面向航空工艺规范的元数据标准是学界及业界需要共同解决的问题; 通过测评数据发现: 在描述上, 元数据类型划分针对性不强, 内容描述粗粒度, 具体对象需求数据分散化, 图表数字化程度低。因此建议: 建立行业工艺规范元数据标准, 提升工艺规范数据描述精度, 以对象为中心推进工艺规范数据模块化, 协调标准界、数据库商、业界共同推进工艺规范制定与同步数字化。

**关键词:** 工艺规范; 标准; 数字化; 元数据质量

**中图分类号:** G35; V262; G254

## Research on the Quality Evaluation of Standard Metadata for the Digital Construction of Civil Aircraft Assembly Process Specifications

SU Ping<sup>1</sup> ZOU Xiaozhu<sup>2</sup> AN Luling<sup>3</sup>

1. College of Humanities and Social Sciences, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

**基金项目** 南京航空航天大学智库创新基金(人文社科类)项目“智库在航空制造工艺规范数字化建设中的作用研究”(NK2022012)。

**作者简介** 苏萍(1997-), 硕士研究生, 主要研究方向为信息组织与利用; 邹小筑(1970-), 双学士, 副研究馆员, 主要研究方向为信息素养、信息组织与利用、信息资源评价与建设, E-mail: zxxlib@nuaa.edu.cn; 安鲁陵(1962-), 博士, 教授, 主要研究方向为数字化制造、工装快速设计、飞机装配技术等。

**引用格式** 苏萍, 邹小筑, 安鲁陵. 面向民用飞机装配工艺规范数字化建设的标准元数据质量测评研究[J]. 情报工程, 2024, 10(4): 36-46.

2. Institute of Scientific and Technological Information, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
3. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

**Abstract:** [Objective/Significance] The digital construction of domestic civil aircraft assembly process specification is relatively slow, and there are a lot of hindrances in the process of practice. At present, the research of measuring the quality of standard metadata from the digital demand is relatively lacking. Its analysis can not only put forward constructive opinions on the description of metadata from the content level to improve the digitized quality of the standard information resources, but also promote the digitization process of civil aircraft assembly process and assist the intelligent manufacturing. [Methods/Processes] Compare the concepts of process specification and standard information resources, analyze the progress of digitization of civil aircraft assembly process specification and standard metadata; clarify the digitization demand of civil aircraft assembly process specification, on the basis of the adjusted Bruce Hillmann assessment indicators, a programme for assessing the quality of standards metadata based on the digitization needs of process specifications was identified; using the national military standard full-text service system as an assessment case, benchmarking against the latest version of the national “Standard Literature Metadata”, analyzing the gaps between the degree of metadata revelation of standard content and digitization needs, and putting forward suggestions. [Limitations] Single case study, its typicality and comprehensiveness still need to be verified. [Results/Conclusions] Analysis of the progress and demand for digitization of civil aircraft assembly process specifications found that the quality of digitization needs to be improved urgently, and metadata standards for aviation process specifications is a problem that needs to be solved jointly by the academia and the industry; through the measurement data, it is found that in the description, the division of metadata categories is not targeted, the description of the content presents coarse-grained, the data of the specific object demand is diffused and the digitization of charts and diagrams is low, etc. Therefore, it is suggested that the establishment of industry process specification metadata standards, improve the accuracy requirements of process specification data description, promote the modularization of process specification data with the object as the center, and coordinate the industry, standardization community, and database vendors to jointly promote the formulation and synchronization of process specification and synchronous digitization.

**Keywords:** Process Specification; Standards; Digitization; Metadata Quality

## 引言

随着数字全球化趋势的深入，标准数字化成为近年来国家标准化发展的重要目标。航空工业作为国防建设的重要组成部分，也是高端制造业中技术最集中的行业，其数字化建设深受关注。2020年，国家标准化委员会在航空航天领域启动了机器可读标准试点工作。航空工艺工作正经历数字化工艺工作模式变革<sup>[1]</sup>。民用飞机装配工艺规范作为一类重要的标准，其

数字化质量直接影响产品的质量。

元数据方案是各种文献数字化质量的关键和基础，其作用是对文献外部及内部特征进行描述，从而满足用户对文献的查询和利用需求。作为一类特殊标准文献的工艺规范，民用飞机装配工艺规范的数字化需要围绕企业用户需求对其内容进行深入和准确的描述，才能最大程度发挥其价值。而工艺规范的充分利用，能生成适应性加工工艺，引导制造过程向全局优化的方向发展<sup>[2-4]</sup>。

随着数字孪生、虚拟现实、CAD/CAM 技术的推进,国内外就飞机装配工艺数字化展开了一系列工作,涌现了大量有关工艺平台开发和仿真方面的文章。如:工艺开发中的工艺集成计算平台<sup>[5]</sup>、工艺设计与管理平台<sup>[6]</sup>、工艺工具管理配送平台<sup>[7]</sup>、工艺参数控制平台<sup>[8]</sup>、飞机加工工艺的仿真探究<sup>[9]</sup>等。部分学者就工艺标准数字化进行了探究。如:孙升等<sup>[10]</sup>对数字化制造工艺进行分析;国际标准化组织 ISO<sup>[11]</sup>成立机器可读标准工作组;ISO 与 IEC 合作绘制了机器可读标准成熟度分类模型<sup>[12]</sup>;工业领域提出并实践了面向机器可读的工业通用语义知识库<sup>[13]</sup>;汪烁等<sup>[14]</sup>论述了实现机器可读的共性技术。上述研究主要集中在数字化制造工艺内容和机器可读技术应用方面,标准数字化质量测评方面的研究很少,标准内容描述及标准元数据质量测评方面的研究更少;从实践看,航空工业数字化设计制造技术应用较早,但标准建设与工程需求存在较大差距。缺少有效的元数据方案,成为当前影响其数字化质量与进程的主要问题。

故本文从飞机装配工艺数字化需求出发,以国家军用标准文献服务系统为例,对标标准文献元数据国家标准开展测评,力求从元数据层面,为实现民用飞机装配工艺规范内容要素结构化、语义化提供建议和数字化建设思路,增强工艺规范服务飞机装配数字化的能力。

## 1 工艺规范与标准信息资源的关系

企业数字化建设使标准数字化这一概念在研究中普遍出现。虽部分文献对其概念做了阐

述,但标准与工艺规范概念混用、理解不一现象仍然存在。因此有必要对工艺规范和标准信息资源的关系进行梳理。

《航空工业标准化基础》中指出:工艺规范是规定产品加工环节的制造技术及制造要求的一类标准,是对工艺技术的总结、提炼和提高<sup>[15]</sup>。而图书情报视角下的标准信息资源有广狭义之分。狭义上包括标准草案、现行标准、历史标准、作废标准;广义上还包括标准化期刊、标准化专著、技术法规等<sup>[16]</sup>。标准信息资源(下文简称标准)有广狭之分。

工艺规范是规定正确的生产方法,使用适宜的设备和工装,使生产过程固定、稳定,生产出符合设计图纸产品的一种工程文件<sup>[15]</sup>,主要包括工艺参数和工艺条件。工艺规范具备一般规范的有效性、正确性、可操作性和法规性,但对于正确性和可操作性要求更高。从波音工艺规范体系看,工艺规范由内部标准和外部标准组成,内部标准涉及制造工艺(如密封、喷涂、热处理),而外部标准涵盖了波音几乎所有的技术和工艺领域,来自 120 多个组织,包括政府机构、行业协会、专业学会、区域联盟、国际和国家标准化组织、其他公司<sup>[17]</sup>。

综上所述,工艺规范是一种特殊的标准,因此工艺规范的数字化研究,可基于标准信息数字化研究理论体系来开展。

## 2 民用飞机装配工艺规范数字化及标准元数据研究现状

### 2.1 民用飞机装配工艺规范数字化研究现状

国内,航空工艺规范数字化的研究,可追

溯到工艺信息标准化,部分学者在此基础上展开了数字化实践和技术应用的探索。陈嵩等<sup>[18]</sup>以超七飞机研制为例,指出工艺信息标准化是数字化工艺设计技术的基础和保证;许增辉等<sup>[19]</sup>分析了航空制造企业飞机精益制造工艺标准化的贯彻力度;孙升等<sup>[10]</sup>从设计工艺协同、工艺标准化、工艺数据管理等五大方面分析了数字化制造的工艺工作;航天制造业数字化标准体系框架早在2011年就有研究<sup>[20]</sup>。随后,陈润<sup>[17]</sup>分析了波音数字化的工作;汪烁等<sup>[14]</sup>基于机器可读标准的特点和能力等级模型,分析了6项实现标准机器可识别、可执行、可决策的关键共性技术。

国外的研究分为平台建设、新表达形式和机器可读试点几个方面。波音以PSDD为主体形成了标准数字化平台建设整体解决方案。2019年,SMART标准出台<sup>[21]</sup>。立足新的标准表达形式,美国在无人机系统、商业航天工业等领域开展试点工作<sup>[22]</sup>。此外,国外在机器可读、语义信息模型分析上取得了阶段性成果。定义了SMART标准的发展阶段及特征,提出灵活迅速的BSI Flex标准形式;分析语义模型对数字化转型的重要性,构建了可在信息物理系统直接使用的标准集成模型<sup>[23-25]</sup>。

## 2.2 标准文献元数据标准及元数据质量评价指标研究现状

2008年标准化研究院起草了国家标准GB/T22373-2008《标准文献元数据》,正式从国家层面对标准元数据的数据格式进行规范。为增强适用性,2021年10月实施GB/T22273-2021《标准文献元数据》,扩充了平台建设标准实

体管理所需元数据,新增发布单位代码、前言、引言、卷期号、出版周期、标引依据、标准历史、参建单位8项公共元数据。航空标准管理方面,1989年航天工业部发布《标准文献著录规则》(QJ 1640-1989),对著录项及标识符、级次、格式、细则、来源等做出说明。1995年《航天文献编目规则标准文献编目规则》(QJ 2777.3-1995)获批,涵盖主题内容与适用范围、引用标准、术语、接收、查重、标引、著录等十部分。上述规则对航空领域标准的管理起到了重要作用,但问题也较明显。第一,大部分著录项仅限于封面、首页和版权页,内容揭示程度有限,描述深度不足。第二,我国标准制定周期平均为30个月<sup>[26]</sup>,关于周期的规定至今未更新,导致很多内容滞后。第三,主题标引对内容的反映程度受到选词规则的制约。规定中主题词一般为标题中反映标准类型的通用词,正文词汇只能视情况标引;标准中各种材料牌号、工艺加工符号、温湿度等数据均被排除在外。规则参考的词表均出版年代较早,且更新不及时,很难满足当前民用飞机装配工艺规范主题标引的需求。

国内外学者从不同角度对元数据质量评价指标提出了自己的观点。Qin等<sup>[27]</sup>指出元数据质量评估是个多维度的问题,需要考虑资源集合、记录和元素三个层次的正确性、完整性、重复性和一致性等指标。William等<sup>[28]</sup>、Besiki<sup>[29]</sup>、Ochoa等<sup>[30]</sup>、黄莺等<sup>[31]</sup>学者在此基础上进行丰富,提出了不同的指标体系。众多指标体系中,准确性、一致性和完整性高度重合。Bruce和Hillmann指标体系操作性强、应用可推广,最受推崇。

国内对民用飞机装配工艺规范数字化的研



究相对丰富,包括工艺规范本身及工艺规范数字化的关键技术。国外则更深入,特别是在机器可读标准方面。但目前鲜有从元数据质量角度对工艺规范数字化进行的研究,而元数据方案与质量会直接影响工艺规范数字化进程。故研究结合民用飞机装配工艺数字化需求开展元数据质量测评,以期为民用飞机装配工艺规范数字化提供参考。

### 3 基于工艺规范数字化需求的标准元数据质量测评方案

Bruce 和 Hillmann 指出:元数据质量的高低取决于元数据满足需求和目标的程度<sup>[32]</sup>。即需求是测评的重要参考因素,因此先明确民用飞机装配工艺规范数字化需求。

#### 3.1 民用飞机装配工艺规范数字化需求

数字化环境下工艺规范不只局限于以规范格式编写、出版或网上传递,更需要使内容与业务流程、应用场景融合,让用户无需查阅全文便可完成对所需内容的精准查询与执行。通过笔者对项目合作企业的实地调研和观察发现,企业的主要需求如下:

工艺规范应用者的需求包括:(1)能够以零件为中心,及时、快速、准确地找到所需工艺规范中细粒度的关键信息(如:加工、装配、检验流程中的参数、示图);(2)关键信息在系统中方便调用,便于形成工作成果(如:文档、模型、程序等的一部分);(3)工艺规范升版后能及时推送,以提醒正在使用、引用的人员;(4)同一模块的相关工艺规范信息能以脉络化、条目化的方式全面展示在工作系

统中。例如,对于“高锁螺栓安装”,能够从“人”“机”“料”“法”“环”等角度,一体化输出通用要求、一般要求与特殊要求。

工艺规范管理者的需求包括:以版本为中心,建立工艺规范的信息集成,形成工艺规范重组后的、根据制定的标准范式来表达工艺规范文件,以便对其进行维护、管理和修改。重组后的工艺规范要便于向使用者、设计者展示一本完整的工艺规范。

不难看出,以工艺规范结构化实现知识的快速精确检索是其数字化首要目标和基础。要提高检准率,关键是每个工艺规范的内容描述深度,即标引深度要符合用户需求。而内容描述主要依据元数据方案,分析现有的标准元数据描述与上述需求之间的差距如何。考察现有标准数据库中民用飞机装配标准的元数据描述情况是研究的突破所在。

#### 3.2 测评方案

##### 3.2.1 测评目的

抽取国内典型标准数据库中与民用飞机装配相关的标准文献元数据,对标 2021 版国家《标准文献元数据》(下文简称国标),分析元数据描述与要求以及现实需求之间的差距。

##### 3.2.2 测评指标的选取和测评策略

Bruce 和 Hillmann 指标权威性强,包含准确性、一致性、完整性三个高度重合指标,故研究采用该指标。考虑到标准之间存在引用与被引用的关系,而来源和可获得性对既存的数据标准评价性不强,因此对指标进行调整,最终选取完整性、准确性、一致性、有效性、关联性及需求满足度 6 个指标。完整性评估元

数据对目标资源全面、详尽描述的程度；准确性评估元数据是否正确、客观地反映了目标资源的内容；一致性指元数据符合资源库中采用的元数据规范的程度；有效性评估元数据信息是否随变动及时更新和调整；关联性评估与其他相关资源、数据的关系；需求满足度评估元数据基于特定用户群体满足其功能需求的能力。

采用抽样分析法，遵循以下原则：（1）随机性，即数据记录相互独立，任何一条元数据信息被抽中的机率均等；（2）数据具有代表性且覆盖面较广，每个类型的数据都能够被抽到<sup>[33]</sup>。分析方法如下：（1）标准记录包含的全部数据项对标国标核心元数据和公共元数据，验证完整性；（2）准确性与一致性都与元数据字段定义和内容描述相关。根据国标数据项的定义与值域要求，重点比对标内容描述项，检测其准确性及一致性；（3）从有效性、关联性挂钩数据项的缺失及描述情况检测其有效性及关联性；（4）将需求中与工艺规范直接相关的内容对标所有记录项，分析元数据对标准内容揭示程度与数字化需求之间的差距。

## 4 评测研究

### 4.1 测评数据库选择与抽样规模

《国家军用标准全文服务系统》收录国内航空航天民航等行业标准全文，能极大程度地满足用户对国内军用标准信息的需求，数据具有权威性、典型性和专业性。

以行业分类为标准，选择现行的航空标准，共 11901 条。数据分为航空航天、机械等 18 类，每一类样本采用分层抽样。以 95% 的置信水平

和 5% 的误差幅度为基准，抽取不少于 373 条记录的样本。因数据库元数据方案较为固定，取数据项最全的记录作为对标结果，其余数据作为案例和测评分析的依据。

### 4.2 测评数据分析

元数据完整性、准确性、一致性、关联性、有效性、满足度对标数据如表 1 所示。

#### 4.2.1 完整性测评数据分析

由表 1 知，记录中核心元数据记录状态、记录识别符、确认日期、补充件 4 项缺失，均为必选项；公共元数据 45 项缺失（受字段限制数据未一一列举），包括记录状态、记录识别符、确认日期、第二标准号和补充件 5 个必选项，2021 版新增 8 项数据均缺失。可见，标准文献数据建设与国家要求存在差距，存在裁剪必选数据项和执行标准滞后等问题。

#### 4.2.2 准确性及一致性测评数据分析

据定义和值域要求知，国标反映内容的项有：（中文、原文、英文）标准名称、（中文、英文）文摘、（中文、原文、英文）主题词、中文自由词、附注、标引依据、（中国、国际、原）分类号、前言和引言 16 项，数据库补充 6 项，相对丰富。但测评发现：除标题、分类号等纲领式内容项，摘要、主题词、前言等揭示内部信息及辅助分析检索的项均缺失。数据库方虽扩充了数据，问题却比较明显，如名称与内容描述不符。以标准“焊接工艺质量控制”为例，其适用范围描述为“本标准规定了航空焊件…要求，本标准适用…控制”，适用范围仅为内容后半段。此外，数据项“全文说明”也名不副实，实为获取全文方式的说明。

表 1 测评数据对标表

| 比较内容    | 《标准文献元数据》2021 版<br>国家标准 | 国家军用标准全文<br>服务系统 | 比较内容         | 《标准文献元数据》2021 版<br>国家标准 | 国家军用标准全文<br>服务系统 |
|---------|-------------------------|------------------|--------------|-------------------------|------------------|
| 核心元数据   | 记录状态                    | ×                | 内容描述有关项（扩充）  |                         | 文档描述             |
|         | 记录识别符                   | ×                |              |                         | 全文说明             |
|         | 标准号                     | 标准号              |              |                         | 适用范围             |
|         | 发布日期                    | 发布日期             |              |                         | 标准说明             |
|         | 发布机构                    | 发布单位             |              |                         | 关键词              |
|         | 标准状态                    | 标准状态             | 状态有关项        | 记录状态                    | ×                |
|         | 实施或试行日期                 | 实施日期             |              | 标准状态                    | 标准状态             |
|         | 确认日期                    | ×                |              | 被代替标准                   | 被替代标准            |
|         | 中文标准名称（条件必选）            | 标准名称             |              | 代替标准                    | 替代标准             |
|         | 原文标准名称（条件必选）            | —                |              | 修改件                     | ×                |
|         | 英文标准名称（条件必选）            | 英文名称             |              | 被修改件                    | ×                |
|         | 被代替标准                   | 被替代标准            |              | 补充件                     | ×                |
|         | 修改件                     | ×                |              | 被补充件                    | ×                |
|         | 补充件                     | ×                | 关联性有关项       | 代替标准                    | 替代标准             |
| 内容描述有关项 | 中文标准名称（条件必选）            | 标准名称             |              | 被代替标准                   | 被替代标准            |
|         | 原文标准名称（条件必选）            | —                |              | 相关法律                    | ×                |
|         | 英文标准名称（条件必选）            | 英文名称             |              | 引用文件                    | 引用标准             |
|         | 中文文摘                    | ×                |              | 一致性程度                   | ×                |
|         | 英文文摘                    | ×                |              | 标准历史                    | ×                |
|         | 中文主题词                   | ×                | 元数据对标准内容揭示程度 |                         | 国家军用标准全文<br>服务系统 |
|         | 原文主题词                   | —                | 需求满足度        | 有要求、指标等关键信息的数据项         | ×                |
|         | 英文主题词                   | ×                |              | 同一模块相关信息一体化、<br>条目化呈现   | ×                |
|         | 中文自由词                   | ×                |              | 图表内容直接检索                | ×                |
|         | 附注                      | ×                |              | 关键信息的调用、导出              | ×                |
|         | 标引依据                    | ×                |              |                         |                  |
|         | 中国标准分类号（条件必选）           | 标准分类号            |              |                         |                  |
|         | 国际标准分类号（条件必选）           | 标准分类号            |              |                         |                  |
|         | 原分类号                    | —                |              |                         |                  |
|         | 前言                      | ×                |              |                         |                  |
|         | 引言                      | ×                |              |                         |                  |

注：× 代表缺失，—代表空项，带下划线的项为必选数据项。

显然，由于摘要、主题词、前言等涉及标准内容深度以及辅助判定检索的项均为可选项，大部分标准不会标注。数据库扩充行为缺乏有效的规范，元数据的准确性及一致性不够，降低了检索的效率。

4.2.3 有效性及关联性测评数据分析

据定义和值域要求知，国标中状态相关项有：记录状态、标准状态、被代替标准、代替标准、修改件、被修改件、补充件、被补充件 8 项；关联性相关项有代替标准、被代替标准、

相关法律、引用文件、一致性程度、标准历史 6 项。由表 1 可知，有效性相关项有 4 项缺失，3 项必选项；相关法律、一致性程度、标准历史关联性数据项均缺失。像“热喷涂工艺质量控制”“飞机装配工艺”等多数标准，只有标准状态和被代替标准两项状态数据，而记录标准修改、删除、新增的关键项记录状态却存在缺失。

综上知，标准信息的变更缺少记录，并未对入库、修订等进行标识，同一资源存在冗余；状态项与关联项体系庞大，与其他数据、机构组织关联，不同资源融合时数据繁杂，且涉及权益协议问题，成本高，凭借单方力量难以有效解决。

#### 4.2.4 需求满足度测评数据分析

由需求分析知，需求中与工艺规范关键信息直接相关的有：描述要求、指标等，一体化展示同一模块相关内容，图、表内容直接检索，内容增、删、改的及时提醒，标准内容的导出和调用（见表 1），由于内容增、删、改与有效性测评重合，不再重复。

从测评知，记录中元数据项对要求、指标等关键信息缺乏提取，内容描述粗粒度，尚未实现多个标准相关内容的调用和条目化展示，同一对象的数据项独立且分散。此外，标准内图片、表格数字化程度尤其不足，图片及表格中的文字仅能在标题、段落中进行全文检索且不准确。例如，“铰孔”在 HB/Z 223.12-2018 表 1 出现，而在全文范围内检索“铰孔”一词时，并未检索到 HB/Z 223.12。最后，标准关键内容调用、导出有难度，数据库只提供邮箱获取整体原文，并不能实现部分关键信息的调用。

## 5 民用飞机装配工艺规范数字化建议

### 5.1 建立行业工艺规范元数据标准

测评结果显示，数据库商进行标准文献数据建设时，存在裁剪关键必选字段和执行国家标准滞后现象。当通用型标准不能精准或完整支持数据描述时，裁剪和扩充一定程度上可以提高应用性，但需要有统一的体系和对照规则以保障数据的准确性和一致性。测评中修订版本与修改件、适用范围和标准说明、有效区域和标准来源，以及高级检索中“标准简介”字段检索结果却在“适用范围”中命中，都表明缺少统一对应规范，将直接影响标准获取与利用效率。同时，国标中摘要、主题词、前言等带有一定内容深度的数据项多为可选项，大部分标准不会标注，导致不查看标准原文便无法了解标准的关键内容；对于工艺规范的应用者，更多需求则是工艺参数、操作要求等深入性的内容，文摘、主题词等一般内容作用十分有限。

由于国家标准元数据是各行业标准通用，对内容信息无法过多规定，而行业内制定专业性标准元数据，可以根据行业特性将元数据深入内容。因此，在民用飞机装配工艺规范数字化过程中，首先应建立行业工艺规范元数据标准。明确字段名称，建立元数据名称对应表，避免因名称不同影响工艺规范应用者检索获取有效信息的效率。其次，对于国标中的内容数据项，如摘要和主题词，以及数据库收录的唯一标识，如标准记录状态和记录识别符，可设为必选项，以提高信息的完整性和标准化程度。此外，要结合民用飞机装配的特性，提升数据



项内容深度。例如,必选项可涵盖材料、工具设备和质量控制等内容,而可选项可包括人员、环境 and 安全防护等一般要求。可增加指标项,形成对工艺参数的有效关联和一体化展示,以便工艺规范应用者不阅读全文即可获取关键信息,能更好地满足其对“人”“机”“料”“法”“环”要求一体化输出的需求。同时,对工艺规范升级、更改等信息的有效标识,可使管理者更好地对工艺规范进行维护、管理和修改,确保数据准确、一致、有效。总之,行业元数据标准修订是基础,只有行业元数据标准修订到位,才能为工艺规范全文数字化、机器可读、检索使用等提供有力支撑。

## 5.2 提升数据描述精度

由前文分析知,尽管内容相关数据项相对丰富,但在满足工艺规范应用者需求上仍存在较大差距。为充分发挥数据项的作用,有效满足工艺规范应用者及时、快速、准确地找到所需工艺规范中细粒度关键信息的需求,需要进一步提升数据项的描述精度。具体而言,要对“引言、前言”等用于辅助分析的数据项做内容要素限定,确保值域明确恰当,切实发挥辅助作用。统一指标项形式,强化其自明性。实现图表内容的数字读取与转换。对涵盖所有属性的表格进行表格框架归纳提取,然后将表格框架转换为关系数据库的关系表实现表格信息抽取,最后通过SQL语言实现表格元组属性值的查询;图片内容则可以通过标注描述插图的条件或场景来实现,例如,对于插图(NAS1321 无头铆钉的制孔——NACA 方法)便可以标注为“应用条件: NAS1321、NACA 方法、制孔和安装”。

对于技术要求、操作指标则要深入工艺过程,对工艺操作、工序名称、工艺内容做术语提取,明确设备、工装、物料、参数等具体要素。如飞机制造工艺中热处理工艺就含有“真空热处理”工序,有加热炉、加热介质、装夹等工具;加热温度、保温时间、淬火转移时间等工艺参数;淬火油的运动粘度、闪点、水分等内容术语。同时,应针对民用飞机装配和检索语言不断优化更新的需要,结合术语提取内容,建立更加专业的主题词表,满足主题标引的需要。

## 5.3 以对象为中心推进数据项模块化

模块化主要体现在根据实际使用的需要,将资源对象区分为若干个实体,对资源的描述,即对多个不同实体的组合和描述<sup>[34]</sup>。在民用飞机装配和生产加工流程中,数据模块化体现为对同一模块相关内容的一体化输出需求,特别是在工艺规范数据的复用和集成需求方面。通过数据项的模块化,可以形成面向工作流的实体属性集,从更深层次描述实体属性,进而更好地实现内容与业务流程、应用场景的融合。如发布日期、实施或试行日期、确认日期可归为日期元素集;发布机构、批准单位、出版单位等可划为机构单位元素集。日期元素集和机构单位元素集既可独立又能关联用于资源的描述,各个元素集可进一步细分。如机构单位元素集面向不同标准出版单位描述不同,电子资源和实体资源的出版将分为电子出版社和实体出版商。

以对象为中心进行模块化,可以把关联数据项进行封装,满足工艺规范应用者对同一模块的相关工艺规范信息脉络化、条目化展示的需要,也方便管理者对工艺规范信息进行集成。

## 5.4 协同推进工艺规范制定与同步数字化

航空生产制造活动具有多方性, 工艺规范的应用同样呈现链条化、多方关联状态。民用飞机装配工艺的数字化, 需全面考虑工艺规范制定中的多方关联因素。首先, 工艺规范与其他资源的关联, 例如相关法律。这要求制定工艺规范时, 需充分考虑这些资源, 确保规范的有效性和合规性。其次, 工艺规范内部的关联也需要重视。例如, 历史版本与现版本的一致性程度, 以及新旧规范之间的衔接。解决这些问题有助于保持工艺规范的连贯性和完整性。此外, 企业、数据库商、组织机构间的元数据规范也要协调一致。三方共同努力实现术语、数据元素和数据模型的统一。只有这样, 不同主体间的资源才能直接有效集成, 关键信息在工艺规范应用者的工作系统中才能方便调用, 形成工作成果。同时, 也为管理者重组工艺规范、根据标准范式表达工艺规范文件奠定数据基础。此外, 技术更新对民用飞机装配工艺规范的有效性提出了更高的要求, 必须加强业界、标准界、数据商间的同步数字化。一方面, 标准界与业界要对工艺规范进行复审, 确保其内容能够及时对飞机装配行业的新零件、新设备、新机床等作出相应规定。另一方面, 数据商要充分利用记录状态、记录识别符数据项对工艺规范新增、修订、废止信息的标识作用, 及时推送、提醒使用者, 保障有效性的发挥。即, 各主体通过更好的流程和方法来简化工艺规范的应用, 以更大的灵活性和最低的成本交付产品, 在合作中生产出更符合数字时代运行方式的新的、更好的工艺和服务<sup>[35]</sup>。

## 6 结语

《国家标准化发展纲要》在落实提高标准数字化水平部署中明确: 优化标准制定修订流程、平台和工具, 提高标准质量水平<sup>[36]</sup>; 提升标准化技术支撑水平, 推动标准化工作向网络化、数字化、智能化转型<sup>[37]</sup>。本研究就上述目标进行探索, 但本文聚焦于需求和现有的元数据方案, 以国家军用标准全文服务系统作为单案例来探讨, 受企业数字化需求实践资料和时间限制, 其普适性和全面性有待通过更多案例进一步验证并丰富研究结论。

## 参考文献

- [1] 胡雪梅. 基于数字化工艺的标准化要求贯彻[J]. 航天标准化, 2020(4): 19-22.
- [2] TAMURA T, NOGUCHI T, SEKIMOTO Y, et al. Performance and Uniformity of Mass-Produced SIS Mixers for ALMA Band 8 Receiver Cartridges[J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2015, 25(3): 1-5.
- [3] HE Q, XUAN H, LIU L, et al. Perforation of aeroengine fan casing by a single rotating blade[J]. Aerospace Science & Technology, 2013, 25(1): 234-241.
- [4] BILLADE B, NYSTROM O, MELEDIN D, et al. Group of Adv. Receiver Dev. (GARD), Chalmers Univ. of Technology. Gothenburg, Sweden[J]. Terahertz Science & Technology IEEE Transactions on, 2012, 2(2): 208-214.
- [5] 魏鹏啸, 郭钊, 丁正一, 等. 熔模铸造工艺集成计算平台与应用[J/OL]. 特种铸造及有色合金, 1-8[2024-04-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1148.TG.20240315.2050.014.html>.
- [6] 邱燕平, 熊光利, 吴兴杰, 等. 航空制造企业工艺设计与管理平台研究与应用[J]. 航空制造技术, 2022, 65(6): 82-89.
- [7] 李志雨, 孙文霞, 黄友欢. 数控机床刀具管理和配送平台的研究与应用[J]. 热力透平, 2024, 53(1): 47-52.
- [8] 王桂铝, 张清, 任淑本, 等. 基于模糊自学习的卷

- 烟品质工艺参数控制平台设计[J]. 机械设计与制造工程, 2024, 53(3): 39-43.
- [9] 孙小琪, 王大宏, 杨超, 等. 航空金属材料热加工仿真研究现状[J]. 金属加工(热加工), 2024(4): 24-29.
- [10] 孙升, 任伟, 林海波, 等. 面向数字化制造的工艺工作分析[J]. 航天工业管理, 2021(6): 44-47.
- [11] ISO, TMBG SAG MRS. Questionnaire on ISO TCs' experience of working with SMART standards[Z]. Geneva: ISO, 2019.
- [12] 马超. 中国标准数字化转型: 认知阐释、现实问题及发展路径[J]. 图书与情报, 2023(4): 50-63.
- [13] 马小雯, 孙红军, 刘彦林, 等. 标准知识数字化表达通用模型与自动抽取技术研究[J]. 标准科学, 2024(1): 83-87.
- [14] 汪烁, 卢铁林, 尚羽佳. 机器可读标准——标准数字化转型的核心[J]. 标准科学, 2021(S1): 6-16.
- [15] 毕国楦. 航空工业标准化基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002: 4-5.
- [16] 郭德华, 李景. 标准信息资源检索与实用指南[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2015: 5-8.
- [17] 陈润. 波音公司的数字化标准[J]. 航空标准化与质量, 2013(6): 30-33.
- [18] 陈嵩, 陈向东. 加强工艺信息标准化工作 促进数字化工艺设计发展[J]. 航空标准化与质量, 2004(2): 28-29.
- [19] 许增辉, 杜坤鹏, 陈建奎. 面向飞机精益制造的工艺标准化管理[J]. 科技创新导报, 2020, 17(1): 163-164.
- [20] 何薇, 冯叶素, 梁丹. 航天制造企业数字化标准体系的研究与实践[J]. 航天制造技术, 2011(2): 48-53.
- [21] ISO. Standards in a digitalized society-Draft report[EB/OL]. (2018-09-07) [2023-08-15]. <https://lisotc.iso.org/livelink/livelink/open/tc59>.
- [22] 崔静, 杨建军. 标准数字化服务探索[J]. 信息技术与标准化, 2022(10): 6-12.
- [23] 魏来. 标准数字化推动行业数字化转型——标准数字化, 数据标准化[J]. 工程建设标准化, 2022(9): 21-25.
- [24] BSI. New BSI Flex standards enable dynamic consensus[EB/OL]. (2020-09-16) [2024-02-08]. <https://www.bsigroup.com/en-GB/insights-and-media/media-centre/press-releases/2020/september/new-bsi-flex-standards-enable-dynamic-consensus>.
- [25] ZVEI. Details of the asset administration shell part 1t: The exchange of information between partners in the value chain of industrie 4.0(version 2.0)[S]. Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy(BMWi), 2019: 123-128.
- [26] 央视网. 国家标准委: 国家标准制定周期将缩短到 30 个月[EB/OL]. (2019-01-10) [2022-08-03]. <http://news.cct.com/2019/01110/ARTIGRNSUdZCDHHhCeIKOPid190110.shtml>.
- [27] QIN J, ZENG M L. Metadata[M]. New York: Neal-Schuman Publisher, Inc, 2004: 247-249.
- [28] WILLIAM E M, ERIN L STEWART, C R MCCLURE. Assessing Metadata Quality: Findings and Methodological Considerations From an Evaluation of the Us Government Information Locator Service (gils) [C]//Research and Technology Advances in Digital Libraries, 1998: 246-255.
- [29] BESIKI S. A Framework for Information Quality Assessment[EB/OL]. (2012-07-20) [2023-10-09]. <http://stvilia.cci.fsu.edu/wp-content/uploads/2011/03/IQAssessmentFramework.pdf>.
- [30] OCHOA X, DUVAL E. Automatic evaluation of metadata quality in digital repositories[J]. International Journal on Digital Libraries, 2009(10): 67-91.
- [31] 黄莺, 李建阳. 元数据质量评估方法及模型研究[J]. 图书馆学研究, 2013(12): 52-56, 51.
- [32] 曹月珍, 马建玲. 国内外元数据质量控制的研究进展与发展趋势[J]. 图书与情报, 2013(6): 101-104.
- [33] 胡永健, 周寄中. 科技资源信息元数据质量审核方法研究[J]. 管理评论, 2011, 23(1): 41-47.
- [34] 于倩倩, 张建勇, 黄永文. 大数据环境下的文献元数据标准设计特点分析[J]. 图书馆杂志, 2018, 37(11): 35-39, 46.
- [35] EVANS J, MCKEMMISH S, REED B. Making Metadata Matter: Outcomes from the Clever Recordkeeping Metadata Project[J]. Archives & Manuscripts, 2009, 37(1): 30-56.
- [36] 国家标准化管理委员会, 中央网络安全和信息化委员会办公室, 中华人民共和国科学技术部, 等. “十四五”推动高质量发展的国家标准体系建设规划[EB/OL]. (2021-12-30) [2024-02-07]. <https://www.chinadesign.cn/23/202112/2037.html>.
- [37] 工业和信息化部. “2021 十四五”大数据产业发展规划[EB/OL]. (2021-11-30) [2024-02-07]. [https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2021/art\\_c4a16fae377f47519036b26b474123cb.html](https://wap.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2021/art_c4a16fae377f47519036b26b474123cb.html).