

大数据技术在航空发动机研发领域的应用探索

李大为,王 军,王 晨,王嘉瞳
(中国航发沈阳发动机研究所,沈阳110015)

摘要:针对航空发动机研发领域内不同专业之间数据彼此孤立,相同专业的数据名称、符号、量纲不统一,无法应用大数据技术进行深层次分析的问题,通过对发动机数据进行系统有效的管理,建立了航空发动机大数据平台方案,从而挖掘数据间隐藏的规律,解决发动机复杂问题。通过系统梳理全寿命周期内发动机不同阶段、不同专业数据的现状及管理的不足,开展了航空发动机大数据平台建立的需求分析,并利用工程经验开展了数据种类分析,首次定义了航空发动机元数据的概念及组成,创新性地提出了一种多维度、多专业数据关联的命名方法,为后续科研院所及发动机承制厂商建立航空发动机大数据平台提供了数据间关联的支撑,摸索出大数据技术应用的途径,从航空发动机设计的专业角度提出了大数据平台实施方向,具有较好的工程应用价值。

关键词:大数据技术;航空发动机;元数据;性能改善;数据管理

中图分类号:V247

文献标识码:A

doi:10.13477/j.cnki.aeroengine.2021.02.006

Application Exploration of Big Data Technology in Aeroengine Research and Development

LI Da-wei, WANG Jun, WANG-Chen, WANG Jia-tong

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: In view of the problem that the data of different specialties in aeroengine research and development were isolated from each other, the data name, symbols and dimensions of the same specialty were not unified and the big data technology could not be used for deep analysis, the big data platform of aeroengine was established by systematically and effectively managing the engine data to excavate the hidden rules between data and solve the complex problems of engine. The requirement analysis of big data platform for aeroengine was carried out by systematically combing the current situation and insufficient management of different stages and different professional data in the whole life cycle. Data type analysis was carried out by engineering experience. The concept and composition of engine metadata were defined for the first time, and a multi-dimensional and multi-professional data association naming method was proposed, which provided the support for the establishment of aeroengine big data platform by subsequent scientific research institutes and engine manufacturers. The application of big data technology was found out, and the implementation direction of big data platform was put forward from the professional view of aeroengine design, which had good engineering application value.

Key words: big data technology; aeroengine; metadata; performance improvement; data management

0 引言

航空发动机在产品设计、生产、制造及应用过程中会产生海量的多维度数据,随着人工智能、大数据、物联网、云计算等新技术的快速发展和应用,利用大数据技术对海量的不同维度的数据进行统计和分析,可快速、直接地查找数据规律及参数影响因素,从而找出产品在设计和使用过程中的不足^[1-2]。在国外,大数据技术已在航空发动机研发领域应用并取得了

可观的效益。RR公司早在1997年就计划成立全球服务中心平台,经过长期维护和完善,已于2017年实现了大数据中心的全部功能。该数据中心每天可以处理数百亿条数据,可跟踪全球13000余台在世界各地运营的发动机的健康状况,并对每台发动机的数据进行智能分析和预测;同时可以监控全球范围内3700多架飞机的引擎运行情况,从而帮助航空公司进行排故、维修预测、航油管理、航线规划等^[3]。GE公

收稿日期:2019-07-08 基金项目:航空动力基础研究项目资助

作者简介:李大为(1981),男,硕士,高级工程师,从事航空发动机总体性能设计工作;E-mail:29123114@qq.com。

引用格式:李大为,王军,王晨,等.大数据技术在航空发动机研发领域的应用探索[J].航空发动机,2021,47(2):33-37.LI Dawei, WANG Jun, WANG Chen, et al. Application exploration of big data technology in aeroengine research and development[J]. Aeroengine, 2021, 47(2): 33-37.

司基于大数据技术制定了数字解决方案来进行数据管理,军用及民用发动机提供一系列服务保障,包括对资产、健康诊断、燃油、航班风险、飞行员客户端、数据交换系统、AirVault维护记录管理系统、数据智能咨询系统、AirVault分析系统的管理,以及提供航班状态分析等服务^[4]。在国内,王岭^[5]针对商用航空发动机智能制造开展了相关研究与探索;李大为等^[6]和薛庆增^[7]针对航空发动机起动数据及性能监控数据开展了相关研究;刘恒^[8]针对航空系统中数据挖掘技术开展了相关研究;袁炳南等^[9]针对航空工业领域应用大数据技术开展分析和论证;赵华等^[10]对于国内外元数据标准和内容进行了归纳和总结;于梦月等^[11]针对美国开放元数据标准及不同学科元数据标准开展相关研究,指出元数据是开展自动聚合机制及更深层次研究的重要前提和基础;宫夏屹等^[12]对大数据平台搭建技术进行了总结分析。从以上文献中可见大数据技术在国内众多工业领域已成功应用,但在航空发动机领域目前却未见成熟的大数据平台,尚未建立航空发动机元数据相关标准,航空发动机数据并无统一规范的格式,成为大数据技术应用于发动机数据管理的一道难题。

为了深入挖掘航空发动机不同维度之间数据隐藏的规律,解决不同专业耦合产生的复杂瓶颈问题,必须利用大数据技术搭建数据平台以对数据进行有效的利用。本文对航空发动机数据现状进行了梳理,摸索出大数据技术应用的途径,以期航空发动机大数据平台搭建提供技术支撑。

1 国内航空发动机领域数据现状及需要解决的问题

目前在航空发动机研制过程中,数据管理缺乏全寿命周期数据的整理,跨专业数据并没有进行有效的关联分析和挖掘,设计、装配、工艺、试验的数据之间未充分关联分析和挖掘,导致一些复杂的问题迟迟得不到解决,故障无法排除。初步总结有以下几个方面。

1.1 数据量大且种类多

航空发动机在设计、生产、使用的过程中均会产生大量数据,如在设计过程中产生性能专业的计算数据、结构专业的结构图形数据、强度专业的强度设计数据等,以上数据又分为整机、部件、零件等不同维度;在发动机制造和生产过程中会产生大量的生产、

装配数据及出厂试车数据,如在1次历时1h的地面试车过程中,数字式调节器记录的数据容量就可达到3GB;发动机在外场装机后的使用过程中又会产生大量的飞行数据和使用维护数据,如周期检查数据、滑油光谱数据等;同时随着发动机的使用还会产生故障信息、安装信息等数据;在发动机返厂大修后又会产生大量的修理数据及试车数据。因此,全寿命周期的发动机数据具有数据量大、种类多的特点。

1.2 跨专业数据未进行系统的整合和关联分析

目前在航空发动机研制过程中设计、试验过程数据相对丰富,但各维度数据并未统一管理且彼此独立,不利于解决复杂的系统问题。如发动机试车数据往往表征发动机性能、功能方面的结果;在制造和装配过程中产生的数据往往表征发动机结构的技术状态,而上述这些数据仅按专业保存,当发动机出现问题时又需要对这些数据进行交叉和统筹考虑。因此,目前发动机数据按专业独立保存的特点不利于进行跨专业分析和找出不同专业参数之间的影响规律。

1.3 数据挖掘深度不够

目前在航空发动机研制过程中,并未对各维度数据进行深度分析和挖掘,存在潜在规律隐性化的情况,如大量的试验和外场数据放在数据库中,大部分数据没有进行有效处理,部分测试故障产生的无效数据没有有效识别,并未进行跨专业分析,如性能专业的A参数与振动专业的B参数之间的关系能否建立,完全依靠设计经验,特别是由于发动机具有复杂的系统性,往往需要跨专业进行分析。因此,发动机数据存在挖掘深度不够的问题。

1.4 数据的名称、符号、量纲不统一

目前航空发动机研发是按照项目进行管理的,按装机对象要求的不同,标准化要求也不尽相同,有可能产生对于同一参数、同一气动截面设定的符号和命名不一致的问题。特别是具有相同核心机的发动机系列发展时,该问题会暴露的更突出,同系列发动机数据需在整机、部件、系统之间,以及不同项目之间传输和有效处理,这就要求数据采集、存储、处理等一系列环节要有统一的名称、符号及量纲,否则将会产生大量错误信息数据。

2 航空发动机领域数据库建设需求

针对目前航空发动机数据管理的现状,结合大数

据技术的特点,航空发动机数据库建设的需求主要包括以下几个方面。

2.1 不同维度数据统一采集和管理

目前在航空发动机研制过程中各维度数据并未统一管理且彼此独立,同一台发动机在不同阶段的数据未按发动机项目进行统一管理,不利于解决复杂的系统问题,应将各维度数据统一集中管理,建立统一的数据平台,打通研究所、承制厂、大修厂、不同专业、不同领域之间的隐形壁垒。具体需求包括:可将发动机设计过程中的数据,包括稳态和过渡态计算的性能参数、质量和尺寸等结构参数、零部件的设计参数、各系统的设计参数按一定规则进行存储汇聚;可将发动机零部件及系统试验、地面整机试验、高空台试验、试飞的数据按一定规则进行存储;可将发动机零组件、零部件、单元体、整机装配的数据及生产、工艺、制造的数据按一定规则进行存储。

2.2 数据深度挖掘

目前航空发动机数据挖掘深度不够,利用大数据技术可对不同维度的核心数据进行有效抽取和精确分析。可以利用画图、比对等方法对具有不同标签的数据进行关联,如按环境参数、使用地点、装机情况、使用时数分类,将不同维度、不同专业的数据进行对比以寻找研发规律。

2.3 数据可视化

借助图形可视化技术手段,可以依据不同用户的需求开展项目开发。目前航空发动机数据可视化需求可以分为2方面:从宏观角度了解发动机设计、制造、使用、故障等各维度的概况信息;从微观角度以图形或图表的形式具体展现发动机不同规律的数据。可以按项目、地点、状态、故障等条件查询发动机相关信息;宏观掌握发动机项目研制进展情况,如外场使用情况、使用时数、故障信息,形式可以是图表或图形;在进行发动机研发过程中,可以将不同维度的具体发动机数据进行图形化表示,以便发现数据间的隐藏规律,图形化包括2维、3维云图以及表格等形式;同时可以根据图纸或图形生成数据,实现对复杂结构的观察、测量等功能。

2.4 数据名称、截面、量纲统一

为打通不同维度、不同项目数据之间的壁垒,全面对比同系列发动机数据,分析发动机规律,需清洗整理全寿命周期内的数据,因此数据统一的名称、截

面、量纲将是发动机数据对比的前提条件,在建立航空发动机大数据系统前,需将发动机设计符号、测试参数名称、截面进行统一。

2.5 数据实时监控及故障诊断

为保证航空发动机在飞行使用过程中安全可靠工作,飞行结束后依靠飞参系统对飞行数据进行故障筛查,目前尚未实现完全实时监控,部分发动机故障或潜在故障不能及时发现,从而影响发动机正常使用,因此需开展发动机实时监控及故障诊断,具体需求为:以发动机为对象建立发动机档案,包括发动机生产、装配、使用、履历、故障信息等,在使用过程中实时监控发动机参数,包括可按使用地点、使用时间、装机类型进行展示等功能。提示使用维护信息,如根据使用维护规程、发动机使用时数提示维护人员开展相应的维护工作;通过对发动机参数规律进行总结,制定发动机故障判据,在发动机使用过程中,当飞行、地面试车、定检等参数出现异常时,及时提醒或提前报出警告信息^[8-9]。

3 大数据技术在航空发动机研发领域的建设规划

航空发动机大数据系统应着重从以下几方面进行建设:

(1)开发发动机大数据系统对各维度数据的整理分析功能,提升发动机研发人员的设计能力,从而提高发动机产品的设计水平。

(2)建立承制厂的发动机数据库,对发动机加工、制造、装配过程中的数据(包括整机、部件、零组件)进行管理,从而提升发动机工艺制造水平,缩小发动机批生产的分散度,提高发动机产品的生产质量。

(3)建立发动机修理数据库,对发动机检修、大修过程中的数据进行管理,从而摸清发动机寿命与性能等指标的变化规律,解决发动机性能衰减大等制约发动机发展的瓶颈问题。

(4)建立发动机使用维护数据库,方便用户/机关及时了解发动机飞行时数、架次等使用信息,为发动机后续发展决策提供技术支持。

4 大数据技术在航空发动机研发领域数据管理中的应用

为了解决跨专业的复杂问题,航空发动机大数据

将从多维度获取,同时鉴于采集的基础数据量大且类型繁多的特点,需对数据采集及入库过程进行详细记录,即为信息数据。目前,航空发动机数据并无统一的格式,即无航空发动机元数据标准。若要采用大数据技术,统一标准的数据格式是数据入库的前提条件。因此有必要首先开展数据标准的制定。根据不同学科元数据标准定义^[13-14]及分类^[15-17],航空发动机元数据也应由2部分组成,一部分是发动机基础数据,包括性能、结构等使用过程中产生的数据;另一部分是与该次基础数据对应的信息数据,用于对数据产生的过程、环境、背景、故障等描述信息进行记录。所谓元数据是由基础数据和信息数据组成的数据,2部分数据必须一一对应且同时产生,其组成结构如图1所示。

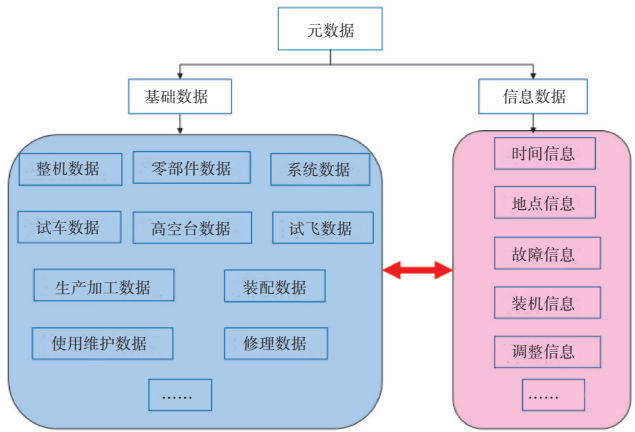


图1 航空发动机元数据组成结构

由于航空发动机数据种类众多,在录入数据平台过程中,首先要有效地识别出数据的相关信息,为后续数据有效处理打下坚实基础,因此数据命名就一定要按某种统一的规律进行设置。本文对多年的工程航空发动机数据类型进行总结,对于不同项目、科研、批产、内厂、外场等不同过程的数据,提出了一种按发动机项目、台份编号为主线进行框架搭建的发动机元数据命名规则,例如:莱茵河项目-1001号-1-1-1-1-相应数据,具体说明见表1、2。其中生产装配、大修类结构数据最底层的零组件数据标题应带有零组件号;发动机数据应与发动机信息数据一一对应,即每生成1个发动机数据就产生1个信息数据,这样可对不同维度、不同过程的数据进行有效的统一管控,后续设计人员、工艺人员、使用人员可根据自身需求统计相关数据,大幅度提高数据利用效率,打破不同专业/维度数据之间的壁垒。

表1 基础数据代码命名说明

代码类型	代码含义举例说明
1 发动机项目名称	例如:莱茵河项目
2 发动机编号	例如:1001
3 发动机状态数据标识	例如:1-新机;2-返修机;3-一次大修;4-二次大修
4 按类型划分的发动机数据	例如:1-生产装配数据;2-内厂使用数据;3-外场使用数据
5 按子类型划分的发动机数据	例如:1-生产加工数据;2-装配数据;3-工厂试车数据;4-检验试车数据;5-附加试车数据;6-飞行数据;7-装机后使用维护数据;8-滑油系统数据;9-控制系统数据
6 按发动机单元体划分的数据	例如:1-进气机匣;2-风扇;3-中介机匣;4-高压压气机;……
7 预留	……

表2 信息数据代码命名说明

代码类型	代码含义举例说明
1 发动机项目名称	例如:莱茵河项目
2 发动机编号	例如:1001
3 生产厂/修理厂名称-装配次/修理厂次-记录的日期信息	例如:北海厂生产-第01次装配-2019-05-01
4 发动机调整信息-调整日期	例如:启动供油增加2%-2019-05-01
5 发动机合格信息-合格日期	例如:性能合格-2019-05-01
6 预留	……

5 结束语

目前大数据技术已在全球范围内广泛应用于各工业以及军工领域,本文系统地总结了全寿命周期内航空发动机产生数据的特点及数据管理方面存在的不足,开展了航空发动机大数据系统建立的需求分析,利用工程经验开展了数据种类及格式分析,首次定义了航空发动机元数据概念及组成,创新性地提出了一种多维度、多专业数据关联的命名方法,为后续科研院所及发动机承制厂建立航空发动机大数据平台提供了数据间的关联支撑,摸索出大数据技术应用的途径,从专业设计角度提出了大数据平台建设具体的实施方向。通过建立全寿命周期内航空发动机各维度数据的管理系统,可以解决复杂的航空发动机瓶颈问题,从而提高发动机性能与结构、强度寿命与可靠性等方面的一体化设计水平,具有一定的工程意义。

参考文献:

[1] 梁志宇,王宏志,李建中.制造业中的大数据分析技术应用研究综

- 述[J].机械,2018,45(6):1-11.
- LIANG Zhiyu, WANG Hongzhi, LI Jianzhong. A review on the application of big data analysis in manufacturing industry[J]. Machine, 2018, 45(6):1-11. (in Chinese)
- [2] 刘丰恺,李茜. 航空大数据技术的发展与应用[J]. 电讯技术, 2017, 57(7): 849-854.
- LIU Fengkai, LI Qian. Development and application of big data technology in aviation industry[J]. Telecommunication Engineering, 2017, 57(7): 849-854. (in Chinese)
- [3] 邵东. 罗罗的智能发动机愿景分析[J]. 航空动力, 2020(3): 27-30.
- SHAO Dong. Rolls-Royce intelligent engine vision analysis[J]. Aerospace Power, 2020(3): 27-30. (in Chinese)
- [4] SAFRAN. Diagnostics and management[EB/OL][2017-04-10]<https://www.Safran-aircraft-engines.com/services/single-aisle-commercial-jet-engines/engineering-and-consulting-services>.
- [5] 王岭. 商用航空发动机智能制造研究与探索[J]. 航空发动机, 2019, 45(6): 91-97.
- WANG Ling. Research and exploration on intelligent manufacturing of commercial aeroengine[J]. Aeroengine, 2019, 45(6): 91-97. (in Chinese)
- [6] 李大为,李家瑞,李锋. 航空发动机高原起动性能改善措施[J]. 航空发动机, 2020, 46(2): 47-50.
- LI Dawei, LI Jiarui, LI Feng. Improvement measures of aeroengine start-in performance in plateau[J]. Aeroengine, 2020, 46(2): 47-50. (in Chinese)
- [7] 薛庆增. 大数据方法在航空发动机性能监控中的应用[J]. 信息技术, 2016(2): 4-6.
- XUE Qingzeng. The application of big data technology in performance monitor of the turbofan engines[J]. Information Technology, 2016(2): 4-6. (in Chinese)
- [8] 刘恒. 数据挖掘与分析在航空系统中的应用与发展[J]. 硅谷, 2011(21): 39-40.
- LIU Heng. The application and development on the aviation by the data mining and analysis technology[J]. Silicon Valley, 2011(21): 39-40. (in Chinese)
- [9] 袁炳南,霍朝晖,白效贤. 飞行试验大数据技术发展及展望[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6): 1844-1847.
- YUAN Bingnan, HUO Zhaozhui, BAI Xiaoxian. Technology development and prospects of big data in flight test [J]. Computer Measurement and Control, 2015, 23(6): 1844-1847. (in Chinese)
- [10] 赵华,王健. 国内外科学数据元数据标准及内容分析[J]. 情报探索, 2015(2): 21-24.
- ZHAO Hua, WANG Jian. Analysis on metadata standard and content of scientific data at home and abroad[J]. Information Research, 2015(2): 21-24. (in Chinese)
- [11] 于梦月,翟军,林岩. 美国政府开放数据的元数据标准及其启示: 目录聚合的视角[J]. 情报杂志, 2017(12): 145-149.
- YU Mengyue, ZHAI Jun, LIN Yan. Metadata standards of open government data in the United States and enlightenment: perspective of catalog aggregation[J]. Journal of Intelligence, 2017(12): 145-149. (in Chinese)
- [12] 宫夏屹,李伯虎,柴旭东,等. 大数据平台技术综述[J]. 系统仿真学报, 2014(3): 489-492.
- GONG Xiayi, LI Bohu, CHAI Xudong, et al. Survey on big data platform technology[J]. Journal of System Simulation, 2014(3): 489-492. (in Chinese)
- [13] 郭晓科. 大数据[M]. 北京:清华大学出版社, 2013: 1-29.
- GUO Xiaoke. The big data[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013: 1-29. (in Chinese)
- [14] 曹蓟光,王申康. 元数据管理策略的比较研究[J]. 计算机应用, 2001(2): 2-5.
- CAO Jiguang, WANG Shengkang. Comparison research of metadata management strategy [J]. Computer Applications, 2001(2): 2-5. (in Chinese)
- [15] 马世龙,乌尼日其其格,李小平. 大数据与深度学习综述[J]. 智能系统学报, 2016, 11(6): 728-742.
- MA Shilong, WUNIRI Qiqige, LI Xiaoping. Deep learning with the big data: state of the art and development[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2016, 11(6): 728-742. (in Chinese)
- [16] 周利敏,闫国华,瞿红春. 一种云环境下的发动机健康管理系统及其应用[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(12): 3926-3928.
- ZHOU Limin, YAN Guohua, QU Hongchun. Engine health management system in cloud and its applications[J]. Computer Measurement and Control, 2014, 22(12): 3926-3928. (in Chinese)
- [17] 王理,张辉,王馨. 科技资源核心元数据标准建模研究[J]. 标准科学, 2019(3): 31-35.
- WANG Li, ZHANG Hui, WANG Xin. Research on the standard modeling of core metadata of scientific and technological resources[J]. Standard Science, 2019(3): 31-35. (in Chinese)
- [18] 陈英华. 数据交易背景下服务数据资源元数据规范研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2016.
- CHEN Yinghua. Research on metadata specification of service data resources in the context of data transaction [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2016. (in Chinese)

(编辑:刘 静)