

基于层次分析法的对接联调综合保障系统 评估方法研究

冯楠¹, 李一²

(1. 中国人民解放军 92941 部队 41 分队, 辽宁 葫芦岛 125000;

2. 中国人民解放军 92493 部队 13 分队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 根据武器系统状态的特点、对接联调方法和综合评估基本特征, 针对武器系统状态定性、定量难的特点, 综合考虑完整性、层次性、独立性、可行性等原则, 构建对接联调综合保障评估系统指标体系, 运用层次分析法建立递阶层次结构, 构造判断矩阵并检验其一致性, 计算指标权重, 划分状态等级, 首次实现导弹武器系统综合状态的量化评估, 为武器系统作战使用提供决策依据。

关键词: 层次分析法; 对接联调; 指标体系; 评估

Evaluation Method Research Based on Analytic Hierarchy Process to Synthetical Support System of Combined Adjustment

Feng Nan¹, Yi Li²

(1. 92941 army 41 unit, Liaoning Huludao 125000; 2. 92493 army 13 unit, Liaoning Huludao 125000)

Abstract: According to peculiarity of weaponry system estate, method of combined adjustment and basic characteristic of synthetical evaluation, for difficult problem of qualitative and quantitative analysis on estate of weaponry system, synthetically consider principles including of integrality, hierarchy, independency and feasibility, structure index system of synthetical support evaluation system of combined adjustment, apply for analytic hierarchy process to establish framework of hierarchy structure, construct judgement matrix and checks up its consistency, calculate Index weighting, division estate level, realize quantitative evaluation of synthetical estate of weaponry system for the first time, provide decision-making basis for combat use of weaponry system.

Keywords: Analytic Hierarchy Process, Combined Adjustment, Index System, Evaluation

0 引言

定量评估武器系统综合状态是当前全军及学术界面临的难以解决的问题之一, 在实践和理论上挑战性极强。层次分析法可实现定性分析向定量分析的转换, 灵活性极强, 是评估武器系统状态行之有效的办法。

系统结构的主要形式是层次性, 它是建立层次分析法的基础。层次分析法是把庞大的有限方案多目标决策问题拆分为多个因子, 依据隶属关系将这些因子分层组合, 构建层次结构模型, 以此进行全面的定性及定量分析。层次分析法将决策思维过程完整地体现了出来, 即拆分—判决—合成。拆分就是深入分析问题实质、干扰要素及潜在联系, 采用条理化理念, 形成层次结构模型; 判决就是综合考虑领域专家的相关知识和经验, 相互对比某一规则下的各个因子, 建造判决矩阵, 以便于得到各个因子的相对重要程度, 完成了从定性分析到定量分析的转变; 合成就是计算出准则层的各个因子相对于目标层的权重向量、方

案层的各个因子相对于准则层的权重向量, 最终推算出方案层的各个因子相对于对目标层的权重向量, 以实现最优方案的决策目标^[1]。

1 基本思路

综合保障系统评估基本思路: 基于武器系统状态的特点、对接联调方法和综合评估基本特征, 从构建原则、维度与遴选分析和对照对接联调项目及方法总结归纳指标说明等方面, 为层次分析法构建指标体系; 构造判断矩阵, 计算指标权重, 制定指标分值, 确定状态等级, 建立对接联调综合保障评估模型; 给出层次总排序权重和一致性检验结果; 逐级给出评估状态结论; 对评估状态依据对接联调综合评估等级划分原则进行划分; 实现对典型案例进行分析^[2]。综合保障系统评估模型如图 1 所示。

2 评估指标体系

综合保障系统评估指标体系模型可依次分为目标层、准则层和方案层。从模型可以看出, 评估模型有一个总目标层: 武器系统对接联调综合保障评估; 准则层共有四个分目标: 单机功能与性能检查、接口性能检查、系统功能

收稿日期: 2019-04-11; 修回日期: 2019-05-07。

作者简介: 冯楠(1981-), 女, 辽宁瓦房店人, 工程师, 硕士, 主要从事防空导弹发射控制方向的研究。

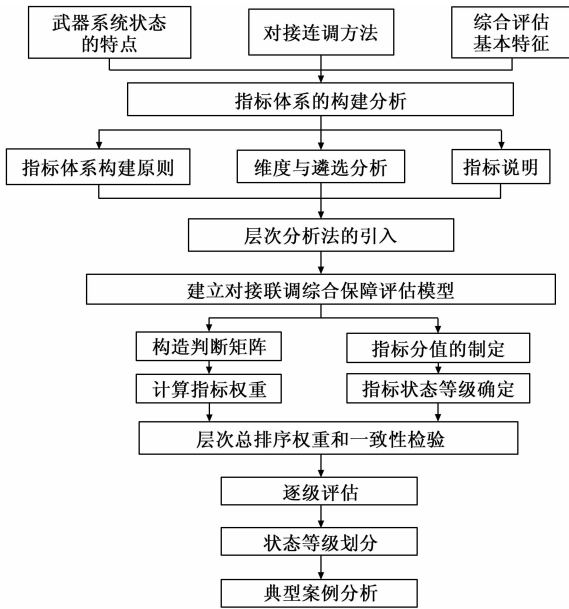


图 1 武器系统综合保障系统评估模型

与性能检查、发控对接试验及作战使用性能检查; 方案层共有四十五个底层指标, 这些底层指标又有不同的表征指标, 如图 2 所示。

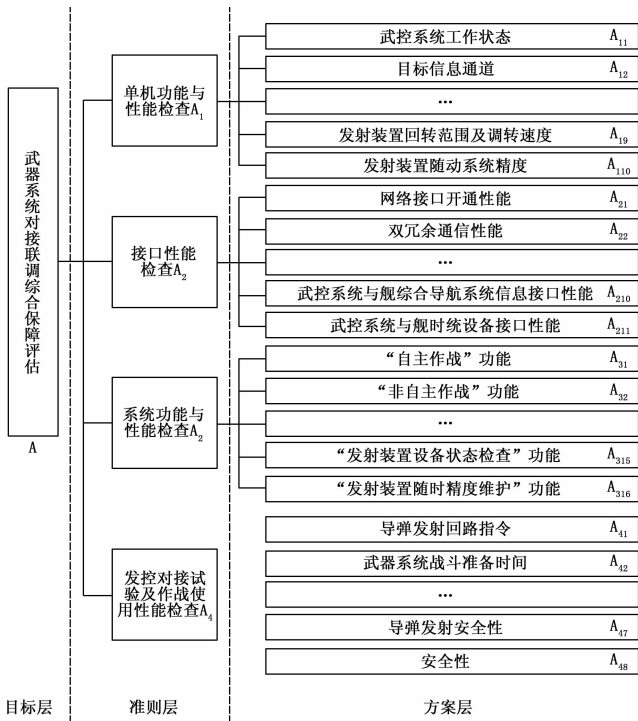


图 2 综合保障系统评估指标体系

3 层次分析法的使用

3.1 构造判断矩阵

在建立层次结构模型的基础上, 明确各指标的隶属关系, 假若 A_1, A_2, \dots, A_n , 均隶属于准则 A , 于是就对 A_1, A_2, \dots, A_n 进行两两对比, 以构造判断矩阵, 以 A 为准则所构造的

n 阶判断矩阵如下:

$$\begin{matrix}
 A & A_1 & A_2 & \cdots & A_j & \cdots & A_n \\
 A_1 & a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} & \cdots & a_{1n} \\
 A_2 & a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} & \cdots & a_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 A_j & a_{j1} & a_{j2} & \cdots & a_{jj} & \cdots & a_{jn} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\
 A_n & a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nj} & \cdots & a_{nn}
 \end{matrix}$$

关于目标 A 的准则层判断矩阵如表 1 所示。

表 1 关于目标 A 的准则层判断矩阵

武器系统对接联调综合保障评估 A	单机功能与性能检查 A_1	接口性能检查 A_2	系统功能与性能检查 A_3	发控对接试验及作战使用性能检查 A_4
单机功能与性能检查 A_1	$a_{11} = 1$	a_{12}	a_{13}	a_{14}
接口性能检查 A_2	$a_{21} = \frac{1}{a_{12}}$	$a_{22} = 1$	a_{23}	a_{24}
系统功能与性能检查 A_3	$a_{31} = \frac{1}{a_{13}}$	$a_{32} = \frac{1}{a_{32}}$	$a_{33} = 1$	a_{34}
发控对接试验及作战使用性能检查 A_4	$a_{41} = \frac{1}{a_{41}}$	$a_{42} = \frac{1}{a_{42}}$	$a_{43} = \frac{1}{a_{43}}$	$a_{44} = 1$
备注	1. a_{ij} 表示指标 a_i 比指标 a_j 重要的程度量化值; 2. 易见判断矩阵 $A-B$, 具有以下性质: (1) $a_{ii} = 1$; (2) $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}$; (3) $a_{ij} > 0$			

专家咨询是构造判断矩阵的基础, 其本质是将吸收来的专家知识和经验以矩阵的形式表示出来, 通过相互对比的形式建立各个层次指标的判断矩阵, 其中, a_{ij} 就是在准则 A 下 A_i 与 A_j 相比较的重要程度, 若 A_i 与 A_j 相比较, A_i 与 A_j 重要, 那么标度值就取大于 1 的数值, 重要程度越大数值越大; 若 A_i 与 A_j 相比较, A_i 与 A_j 次要, 那么标度值就取大于 1 的数值的倒数^[3-5]。

本文主要选择以下几类专家: 一是武器系统设计人员 (专家 1); 二是部队装备操作人员 (专家 2); 三是靶场武器装备试验鉴定人员 (专家 3); 四是武器系统军代表人员 (专家 4)。以上四类人员各选取 1 名, 共 4 名咨询专家。

以武器系统设计人员 (专家 1) 咨询结果为例, 构造准则层相对于目标层的重要性判断矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix}
 1 & 1.80 & 0.98 & 0.99 \\
 0.56 & 1 & 0.54 & 0.55 \\
 1.02 & 1.84 & 1 & 1.01 \\
 1.01 & 1.82 & 0.99 & 1
 \end{bmatrix}$$

3.2 计算权重向量

得到判断矩阵后, 计算各指标的权重值, 如果精度要

求不高, 可近似计算 λ_{\max} , 本文采用常用的求和法, 具体计算步骤如下。

归一化判断矩阵 A 的每一列, 获得矩阵 $B = (b_{ij})_{n \times n}$, 然后求和 B 的行, 即:

$$w_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}, i = 1, 2, \dots, n,$$

其中:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}}, i = 1, 2, \dots, n,$$

计算最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i}$$

式中, $(AW)_i$ 为 AW 的第 i 个分项^[6-7]。

判断矩阵 A 的最大特征值相应的特征向量 W 用求和法计算过程如下。

$\begin{bmatrix} 1 & 1.80 & 0.98 & 0.99 \\ 0.56 & 1 & 0.54 & 0.55 \\ 1.02 & 1.84 & 1 & 1.01 \\ 1.01 & 1.82 & 0.99 & 1 \end{bmatrix}$	$\xrightarrow{\text{每一列归一化}}$	
$\begin{bmatrix} 0.278857 & 0.278857 & 0.278857 & 0.278857 \\ 0.154907 & 0.154907 & 0.154907 & 0.154907 \\ 0.284548 & 0.284548 & 0.284548 & 0.284548 \\ 0.281694 & 0.281694 & 0.281694 & 0.281694 \end{bmatrix}$	$\xrightarrow{\text{行和}}$	
$\begin{bmatrix} 1.1154288 \\ 0.6196827 \\ 1.1381927 \\ 1.1266958 \end{bmatrix}$	$\xrightarrow{\text{归一化}}$	$\begin{bmatrix} 0.278857209 \\ 0.154920671 \\ 0.284548172 \\ 0.281673918 \end{bmatrix}$

即 $W = (0.278857, 0.154921, 0.284548, 0.281674)^T$, 判断矩阵 A 的最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} =$$

$$\frac{1}{4} \left(\frac{1.115429}{0.278857} + \frac{0.619683}{0.154921} + \frac{1.138193}{0.284548} + \frac{1.126696}{0.281674} \right) = 4$$

3.3 检验一致性

判断矩阵如果满足以下三个条件, 可被称为“完全一致性条件”:

$$a_{ij} = 1 \quad i = j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad i \neq j \quad (2)$$

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad i \neq j \quad (3)$$

由于问题的不确定性和人为的偏差, 使得判断矩阵可能不完全满足“完全一致性条件”, 即偏离一致性。如果偏离较大, 分析结果就没有了可靠性, 因此要检验判断矩阵的一致性, 检验步骤如下:

(1) 偏离一致性指标 CI 是评定判断矩阵 A 偏离一致性矩阵的程度, 其计算公式为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中, λ_{\max} 为判断矩阵 A 的最大特征根, n 为判断矩阵的阶数。

(2) 相对一致性指标 CR 的计算公式为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

式中, CI 偏离一致性指标, RI 为平均随机一致性指标。

如果 CR 数值越大, 则判断矩阵的一致性越差, 当 $CR > 0.1$ 时, 判断矩阵 A 是不能令人信服的, 需要对其进行修正; 如果 CR 数值越小, 代表一致性越好, 极限是 0。因此, 要保证判断矩阵的相对一致性指标 $CR \leq 0.1$ 。平均随机一致性指标 RI 是同阶判断矩阵偏离一致性指标的平均值, 它随阶数的变动而变动, 1~30 阶随机判断矩阵随机试验 1000 次的平均随机一致性指标, 如表 2^[8-10]。

表 2 1~30 阶平均随机一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49
阶数	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
RI	1.51	1.54	1.56	1.58	1.59	1.5943	1.6064	1.6133	1.6207	1.6292
阶数	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RI	1.6358	1.6403	1.6462	1.6497	1.6556	1.6587	1.6631	1.6670	1.6693	1.6724

$$\text{一致性指标 } CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{4 - 4}{4 - 1} = 0。$$

由于随机一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0}{0.9} = 0 < 0.1$, 因此

可认为单机功能与性能检查、接口性能检查、系统功能与性能检查、发控对接试验及作战使用性能检查关于综合保障系统评估的权重为 $(0.278857, 0.154921, 0.284548, 0.281674)^T$ 。

其它专家打分结果均按照上述方法构造判断矩阵, 得出各自的权重值, 然后采用算术平均法, 求得各分目标的综合权重值为: {单机功能与性能检查, 接口性能检查, 系统功能与性能检查, 发控对接试验及作战使用性能检查} = { A_1, A_2, A_3, A_4 } = {0.28444455, 0.150864225, 0.289685877, 0.275005349}。平均法求得的权重值见表 3 所示。

表 3 平均法求权重值

A	专家 1 权重值	专家 2 权重值	专家 3 权重值	专家 4 权重值	平均 权重值
A_1	0.278857209	0.298571924	0.282043444	0.278305622	0.28444455
A_2	0.154920671	0.145644841	0.152455916	0.150435471	0.150864225
A_3	0.284548172	0.284354213	0.296887836	0.292953286	0.289685877
A_4	0.281673948	0.271429022	0.268612804	0.278305622	0.275005349

4 状态等级划分

以是否具备作战能力为中心, 将对联接调综合评估等

级划分为 3 级, 即当重要程度 1、2、3 的各指标均合格时, 对接联调综合评估为 I 级即具备完备的作战、训练和维护的能力; 当重要程度 3 的各指标均合格, 重要程度 1、2 指标不合格时, 对接联调综合评估为 II 级即具备基本的作战能力; 当重要程度 3 指标中有一个以上的指标不合格时, 对接联调综合评估为 III 级即不具备作战能力。

通过评估得出的武器系统舰面设备对接联调综合状态的评估分值, 其分值处于 0~1 之间。为了便于指导武器系统舰面设备的管理和使用, 针对对接联调综合评估分值, 给出一下建议:

$P=1$: 评估等级为“I 级”, 武器系统舰面设备具备完备的作战、训练和维护的能力, 各项指标均处于合格水平, 能够完成作战任务, 只需坚持例行的维护保养制度;

$0.963044 \leq P < 1$: 评估等级为“II 级”, 武器系统舰面设备具备基本的作战能力, 重要指标处于合格水平, 可以参与作战, 需根据检测结果及时进行检测, 排除故障隐患;

$0 \leq P < 0.963044$: 评估等级为“III 级”, 武器系统舰面设备不具备作战能力, 重要指标中至少有一项以上处于不合格水平, 不能够完成作战任务, 需根据检测结果及时进行故障诊断和定位, 排除故障。

5 综合保障评估系统软件设计

综合保障评估系统具有针对定量指标通过网络自动获取数据或针对定性指标依据领域专家经验判断指标状态的功能, 具有逐级评估给出一级、二级指标权重值的功能, 具有根据等级划分原则对导弹武器系统综合状态进行评定并为作战使用提供建议的功能。综合保障评估系统显示界面见图 3~4 所示。

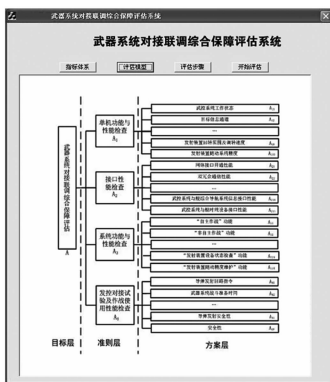


图 3 显示界面 1

5.1 软件流程图

软件工作流程如下: 首先, 按层次结构模型划分评估指标体系, 然后从对接联调中采集数据或通过专家经验判断, 运用层次分析法, 把武器系统综合状态评估这个复杂问题拆分为若干相互联系的有序层次, 使得层次清晰、明了, 可以更加高效地剖析问题, 解决问题, 最终得出评估结果, 并对结果进行分析, 划分等级, 从而判定武器系统



图 4 显示界面 2

的状态, 为武器系统作战使用提供依据。其软件计算流程如图 5 所示。

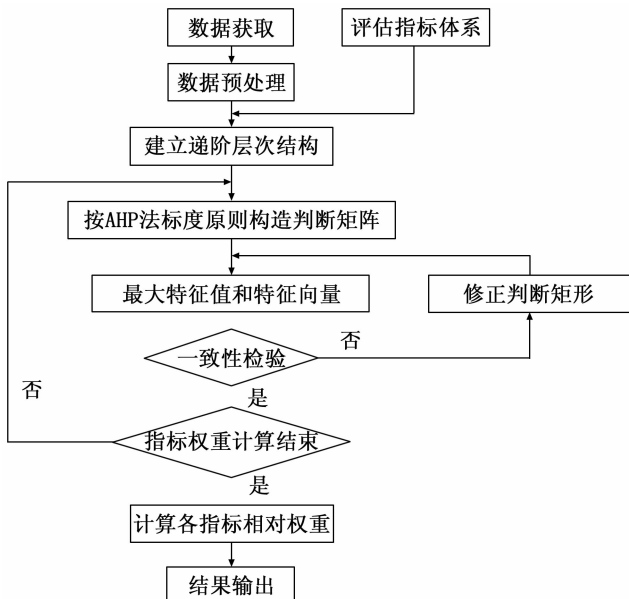


图 5 武器系统综合保障评估系统软件工作流程

5.2 软件实现方法

5.2.1 系统连接

在综合保障评估系统使用之前, 必须先将其各个接口与外部连接好。检查各供电系统是否完好, 有无异常。确定数据录取分析设备工作正常, 以太网传输数据正确后启动该系统。

5.2.2 开机

在确认综合保障评估系统与外部系统连接好以后, 合上开关 POWER 按键, 等待其进入操作系统。

5.2.3 启动综合保障评估系统程序

双击桌面上的“执行文件”文件夹的“综合保障评估系统”软件, 显示程序主界面 1, 如图 3 所示。界面中显示了指标体系, 评估模型, 评估步骤等相关内容, 在了解掌握相关内容后, 开始评估。进入主界面 2, 如图 4 所示。

5.2.4 进入二级评估

点击“进入二级评估”按钮, 根据检查项目顺序进入单机功能与性能检查、接口性能检查、系统功能与性能检

查、发控对接试验及作战使用性能检查界面。定量指标通过网络自动获取数据判断指标状态,定性指标依据领域专家经验判断指标状态,完成对指标状态的打分,计算并显示本机指标的权重值,给出本级评估结果。返回上一级。

5.2.5 进入一级评估

此时,界面 2 将自动显示单机功能与性能检查、接口性能检查、系统功能与性能检查、发控对接试验及作战使用性能检查二级评估权重值。点击“生成一级评估结果”,显示计算出一级评估权重值,根据等级划分规则给出评价等级。

6 结论

武器系统的状态等级直接关系到其作战效能,目前无法定量、直观的显示对接联调武器系统状态,通过对综合保障评估系统方法的研究,实现了对武器系统状态等级的划分,并给出合理化的作战使用建议。同时,武器系统对接联调综合评估结果可以有效指导装备装备操管人员的使用和维修,并及时采取有效的处理措施,确保武器系统实装始终处于良好的状态水平。

(上接第 269 页)

③面向业务应用的接口层(APP—UI)面向试验大数据治理及应用相关不同用户,实现试飞工程大数据准确性、可靠性、一致性的管理、维护和质量检查,为航空产品设计、制造、试飞及科学研究提供试飞数据应用服务。

④飞行试验数据管理应用标准和安全管理与控制,是支撑试飞工程大数据治理的技术保障,是实现试飞工程大数据规范化治理目标的基础核心。

4 结束语

飞行试验大数据是航空飞行试验乃至航空产品研制过程所产生的重要资产,飞行试验大数据治理的治理目标就是在复杂漫长的飞行试验全过程中,确保飞行试验数据的全面完整性、客观准确性、存储规范性、关系一致性和全周期可追溯性,达到以数据为中心的飞行试验和航空技术发展科学应用的目的和要求。建立飞行试验大数据治理体系,也就是从飞行试验科学管理与实施的业务组织架构、业务执行流程、管理标准规范、系统平台架构等多个维度对飞行试验大数据的数据结构模型、数据标准体系、数据安全质量、数据应用系统以及数据全生命周期的各方面管理进行分析、建设和不断改进的体系。本文针对飞行试验业务与数据的特点,结合多年来在飞行试验工程大数据治理与应用方面的业务实践,以业内规范化的数据治理模型为参考,以飞行试验大数据标准体系为基础,以涵盖试飞

参考文献:

- [1] 刘伟波. 基于层次分析法的某型舰船主动力装置综合评估研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2013.
- [2] 董志勇, 栗强. 基于层次分析法的人为电磁环境复杂程度评估 [J]. 指挥控制与仿真, 2008, 30 (5): 106 - 109.
- [3] 梁平常. 基于层次分析法 (AHP) 的重大事项社会稳定风险评估指标体系分析: (硕士学位论文) [D]. 上海: 华东政法大学, 2016.
- [4] 蒙齐兵. 评估系统的复杂性及其控制策略研究: (硕士学位论文) [D]. 广东: 广东技术师范学院, 2014.
- [5] 李宝来, 夏惠诚, 骆永军. 基于 AHP 和模糊综合评价法的海战突击方案评估 [J]. 舰船科学技术, 2004, 26 (2): 44 - 47.
- [6] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算 [J]. 江苏科技信, 2012 (2): 39 - 40.
- [7] 赵秀玉, 王梓然. 武器装备需求方案评估研究 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2011, 22 (2): 126 - 129.
- [8] 董尤心. 效能评估方法研究 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [9] 孟宪峰, 张玉柱. 武器装备体系评估指标系统研究 [J]. 火力与指挥控制, 2007, 32 (1): 7 - 11.

工程全过程、全业务流程的试飞数据质量监控系统 and 一体化的试飞大数据管理与应用为治理技术平台, 形成了一套比较完整和全面的飞行试验大数据治理技术体系。该体系本质上是飞行试验工程的数据表征, 庞大且复杂, 需要在工程中逐步建立和不断完善。在多个型号中的初步应用实践表明, 既可保证试飞大数据的完整性和一致性, 而且为以数据为中心的型号飞行试验提供了高效的应用支撑, 有效促进了飞行试验效率提升, 也为航空科学研究进入“大数据科研范式”奠定了坚实的数据基础。

参考文献:

- [1] 李国杰, 程学旗. 大数据研究: 未来科技及经济社会发展的重大战略领域—大数据的研究现状与科学思考 [J]. 中国科学院院刊, 2012 (6): 647 - 657.
- [2] 托夫勒. 第三次浪潮 [M]. 北京: 中信出版社, 2006.
- [3] 维克多·迈尔-舍恩伯格. 大数据时代 [M]. 上海: 浙江人民出版社, 2012.
- [4] 周自全. 飞行试验工程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
- [5] 党怀义. 典型大数据仓库—飞行试验数据仓库设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (4): 1407 - 1413.
- [6] 党怀义. 航空飞行试验工程大数据管理与应用思考 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 11 (4): 299 - 302.
- [7] 张明英, 潘蓉. 《数据治理白皮书》国际标准研究报告要点解读 [J]. 信息技术与标准化, 2015, (6): 54 - 57.