

# 卫星装备试验鉴定数据质量评价技术及实现

虞业砾<sup>1,2</sup>, 施敏华<sup>1,2</sup>, 邓洛凤<sup>3</sup>, 杨萍<sup>3</sup>, 郑倩云<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院微小卫星创新研究院, 上海 201203;

2. 上海微小卫星工程中心, 上海 201203;

3. 中国人民解放军 63921 部队, 北京 100094)

**摘要:** 以卫星试验鉴定工作开展为实际应用需求, 针对卫星装备试验鉴定数据多源、多样等特点, 为保证试验鉴定数据质量, 提出了一种二级数据质量评价技术, 重塑试验鉴定数据质量评价流程, 并通过初检—数据质量筛选评价对既定卫星装备数据完整性、准确性、一致性、冗余性、有效性和及时性等阈值性指标进行首轮质量评价及筛选; 在此基础上, 进一步围绕卫星装备试验鉴定数据实际特性构建数据质量评价指标体系, 利用多因素模糊推理下的层次分析法完成数据质量复检; 在完成技术研究的基础上, 以实际某型号卫星试验鉴定任务数据为例进行分析, 分析结果表明所提出的技术方法切实可行, 二级数据质量评价能为卫星装备性能试验、作战试验、在役考核等不同阶段的试验鉴定任务开展提供保障。

**关键词:** 试验鉴定; 二级数据质量评价; 数据筛选; 体系评估

## Quality Evaluation Technology and Implementation of Satellite Equipment T&E Data

YU Yeluo<sup>1,2</sup>, SHI Minhua<sup>1,2</sup>, DENG Luofeng<sup>3</sup>, YANG Ping<sup>3</sup>, ZHENG Qianyun<sup>1,2</sup>

(1. Innovation Institute for Microsatellite, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201203, China;

2. Shanghai Engineering Center for Microsatellite, Shanghai 201203, China;

3. Unit 63921 of People's Liberation Army, Beijing 100094, China)

**Abstract:** Taking the development of satellite test and evaluation (T&E) as the practical application demand, aiming at the characteristics of multi-source and diversity of satellite equipment T&E data, in order to ensure the quality of T&E data, proposed a two-level data quality evaluation technology, reshapes the process of T&E data quality evaluation, and evaluates the integrity, accuracy, consistency and reliability of established satellite equipment data through preliminary inspection data quality filtering evaluation. On this basis, a data quality evaluation index system is further built around the actual characteristics of satellite equipment T&E data, and the data quality recheck is completed by using the analytic hierarchy process under multi factor fuzzy reasoning. On the basis of technical analysis, this paper analyzes the actual data of a certain type of satellite T&E task. The analysis results show that the proposed technical method is feasible, and the two-level data quality evaluation can provide support for the different stages of satellite equipment T&E tasks of performance test, combat test, in-service assessment.

**Keywords:** test and evaluation (T&E); two-level data quality evaluation; data filtering; system evaluation

## 0 引言

卫星装备试验鉴定阶段包括性能试验、作战试验、在役考核, 每个阶段均会产生大量重要的试验数据, 由于卫星装备的这些试验鉴定数据分散保存在不同单位、不同部门、不同计算机和存储介质上, 且数据类型多样、数据格式不一致, 导致试验鉴定数据的有效利用率低, 原始数据与试验相关其它数据信息脱节, 大量的试验数据无法利用或无法有效关联使用, 存在严重的信息孤岛现象, 并且试验鉴定数据中包括了有效数据及大量无效数据<sup>[1-2]</sup>。而卫星装备的试验鉴定评价工作的开展对于装备能力、性能满足

度、在役适用性等多项指标具有实际意义, 因此需针对卫星装备试验鉴定数据确定健全合适的数据质量检验方法, 剔除无用数据, 确保卫星试验鉴定数据干净整齐高质量; 并进一步建立数据质量的评价的体系和方法, 使用合理的数据质量评价方式完成多维数据质量评价, 为后续卫星装备试验鉴定评估工作获得准确的结果提供前期保障。

## 1 数据质量评价流程

卫星装备试验鉴定数据来源多样且存在数据缺失、数据异常、数据冗余、数据格式不规范或精度不统一等问题, 无法直接通过常规质量评价方式方法完成评价<sup>[3-4]</sup>。因此,

收稿日期: 2021-01-18; 修回日期: 2021-01-30。

作者简介: 虞业砾(1989-), 男, 浙江宁波人, 硕士, 工程师, 主要从事航天装备试验鉴定数据处理、评估及卫星装备数字化仿真等方向的研究。

引用格式: 虞业砾, 施敏华, 邓洛凤, 等. 卫星装备试验鉴定数据质量评价技术及实现[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(8): 233-237.

针对卫星装备试验鉴定数据的特点，提出两级递进式的数据质量评价流程，如图 1 所示。第一级规定需要进行计算评价的数据集合，通过批处理和流模式两种数据质量初检方式从多个维度对目标数据进行统一、规整并给出初步质量评价；第二级以卫星试验鉴定数据质量评价体系为基础，建立针对某种卫星的具体评价指标，根据选取的评价指标建立评价规则，按照指标权重确定的方法确定指标权重和期望，并计算数据质量综合评估得分。通过定性定量相结合的方式完成卫星装备试验鉴定数据质量的评价。

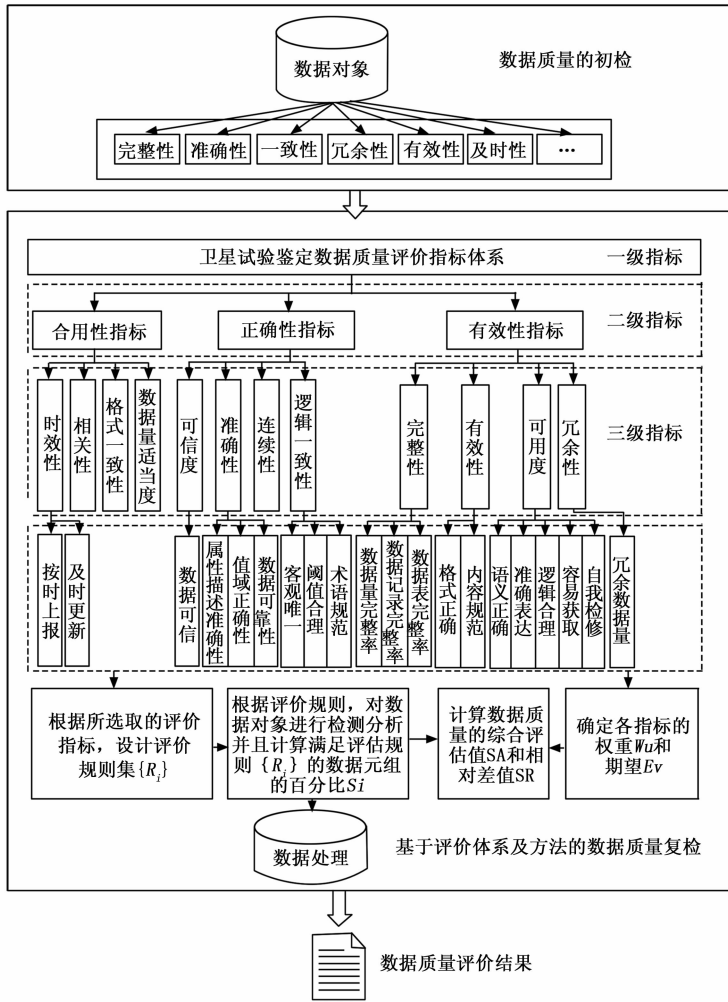


图 1 数据质量评价流程

整个数据质量评价实现主要分为以下两个步骤：

第一步是初检—数据质量筛选评价：多源异构卫星装备试验鉴定数据在完成格式统一转换后并不能直接进行数据质量评价，需要在该过程下从数据完整性、准确性、一致性、冗余性和及时性等多个维度对数据质量进行筛选评价，从而提升后续使用数据的准确性、可信度<sup>[5-7]</sup>。

其工作流程如下所示：

1) 数据注册。将转换后或能够支持试验鉴定工作开展的待使用数据进行统一注册；

2) 数据度量标准。制定数据质量度量标准，针对单一装备或卫星关键器部件人为设定数据度量或准入标准；

3) 数据质量筛选。在统一的数据度量标准下，利用自定义数据质量筛选算法，从：完整性、准确性、一致性、冗余性、及时性等维度对数据开展定性定量相结合的质量筛选；

4) 数据检查评价。对完成质量筛选后的数据进行二次检查，以原始数据为参考，对数据处理前后各维度下的量化值进行打分评价，评价准则支持定性定量两种方式；

5) 数据下放。对完成初检的数据给出第一次维度质量评价，并对符合筛选标准的数据进行下放至第二步数据复检使用。

初检流程实现如图 2 所示。

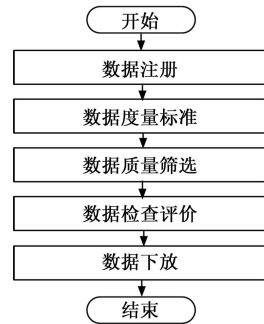


图 2 初检—数据质量筛选评价流程

第二步是复检—数据质量评价体系及方法：影响卫星装备试验鉴定数据质量评价的因素多而复杂，较之前述第一步中完整性等有限维度评价而言，试验鉴定数据的后续评价仍然涉及到多个方面，因此引入多层树形指标体系来分析，数据质量评价指标的选取可以依据实际卫星装备特性、平台甚至试验任务等进行调整，指标的设立能够全面地反映数据的客观真实情况，且合理和可操作性。完成指标体系构建之后，采用多因素层次分析法，并确定多因素模糊隶属度，最终进行评价，最后完成综合评价<sup>[8-9]</sup>。

数据质量评价体系及方法具体实现步骤如下所示：

1) 确定评价数据对象。按照卫星装备特性、卫星平台、试验任务等不同，对评估的数据质量对象进行梳理划分。

2) 评价指标的选取。根据被评价数据对象，选取合适的指标，形成数据质量评价指标体系。

3) 确定评价指标权重及隶属度。利用层次分析法来计算数据质量判断时所用的指标的权值，其与数据质量的关联度成正比。结合卫星装备试验鉴定各项数据关联度极高的特点，选取多因素模糊隶属度集合。

4) 试验鉴定数据评价。根据数据质量的评价指标和规则集中的每条评价规则，计算得到最终试验鉴定数据的评价结果。

5) 试验鉴定数据质量分析。依据第一、二项的数据结果, 给出试验鉴定数据质量综合分析结果。

## 2 数据质量评价算法

围绕卫星装备试验鉴定数据质量评价所涉及的初检及复检两个过程开展数据质量评价算法实现。初检数据质量筛选评价, 主要包括从数据完整性、准确性、一致性、冗余性、有效性和及时性等多个维度对数据质量进行筛选评价。结合卫星装备试验鉴定数据多维关联性极强的实际特点, 选取关联决策样本计算、数据完整检测计算等方法实现; 复检数据质量评价则包含基于多因素模糊推理及综合层级分析等算法<sup>[10-12]</sup>。

### 2.1 完整性计算

卫星装备试验鉴定过程中产生的数据完整性的判别主要通过星一地数据发送—接收数据完整检测来实现。由于通信干扰、数据丢失等原因造成的部分试验鉴定数据丢失或无法使用的情况, 需要对实际数据进行完整性计算。设定星上实际下传数据包(数量)为 $D$ , 实际采集(解析)得到的数据为 $D_1$ , 采集(解析)得到但为空值数据为 $D_2$ , 在完成数据统计后, 可以得到数据的完整性占比为:

$$C_{wz} = \left(1 - \frac{D_1 - D_2}{D}\right) \times 100\%$$

式中,  $C_{wz}$  为数据完整性, 其结果表针卫星装备试验鉴定待评价数据的完整性占比, 可以通过专家经验或总师定义数据完整性占比下限, 若数据完整性不达标, 则直接对该组数据进行弃用, 不进入后续数据质量复检评价。

### 2.2 准确性计算

卫星装备试验鉴定数据的准确性计算需要将数据与具体装备特性进行结合并建立关联判别。算法首先完成装备与其对应标准数据范围信息值获取, 并将多类数据进行样本集合, 将样本集划分为 $k$ 个不同的类 $L_i$  ( $i=1, 2, \dots, k$ ), 每个不同的类 $L_i$ 含有的样本数目为 $n_i$ , 所有的样本数目 $n_i$ 均代表该数据所对应准确范围内的值。计算得到卫星装备试验鉴定数据 $D$ 按照准确性划分为 $k$ 个类的对应信息熵计算值为:

$$\text{Info}(D) = - \sum_{i=1}^k p_i \log_2(p_i)$$

式中,  $p_i = n_i/n$  为卫星装备试验鉴定数据 $D$ 样本中第 $i$ 个类 $L_i$ 对应准确范围内的概率。

考虑到卫星装备试验鉴定数据的需要按照不同的卫星、平台及试验任务具备不同的分类属性 $T_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ),  $D_j$ 是 $D$ 中属性 $T_i$ 样本值有 $j$ 个的样本子集, 则属性 $T_i$ 的信息熵为:

$$\text{Info}(D, T) = \sum \frac{|D_j|}{D} \text{Info}(D_j)$$

式中,  $\text{Info}(D_j)$  为 $D_j$ 划分到各个试验鉴定数据落于准确性属性的信息熵。

利用结合具体装备特性关联后获取的数据准确度信息

熵及对应试验属性 $T_i$ 的信息熵, 可以得到进一步计算得到试验鉴定数据的准确度占比为:

$$C_{zq} = \left(\frac{\text{Info}(D, T)}{D_i}\right) \times 100\%$$

式中,  $C_{zq}$  为卫星试验鉴定数据的准确性。

### 2.3 一致性计算

分析卫星装备试验鉴定数据的特点, 以遥测数据为例, 横向为具体的遥测量, 纵向为遥测量对应的遥测数据量, 该数据量会根据卫星运行时间产生一定的变化, 但变化都在一定阈值范围内, 不会特别大, 当运行过程中存在变化非常大的值时, 可以在大概率上判断为异常值。因此, 卫星试验鉴定数据一致性的判别主要依据卫星试验数据的偏离度大小来实现。实现步骤如下:

1) 利用最小二乘法对相应遥测量的数据按照时间顺序进行排序;

2) 利用基于多项式的最小二乘曲线拟合模型完成排序后的卫星试验数据拟合。

建立拟合结果与真实遥测值之间的偏离度, 最后根据偏离的情况来判断卫星试验鉴定数据的一致性。

偏离度序列 $De_i$ 的计算如下所示:

$$De_i = (x_i - \hat{x}_i) / \hat{x}_i$$

式中,  $x_i$  和 $\hat{x}_i$  分别表示遥测量 $x$ 第 $i$ 个值得真实值与预测值。建立偏离度的容忍度 $To_{column}$ 并判断 if  $|De_i| > To_{column}$ , 如果满足, 则将其判断为一次异常值, 通过异常值数据量与一致数据量的比值, 获得一致性的计算结果:

$$C_{yz} = \left(1 - \frac{D_{FY}}{D}\right) \times 100\%$$

式中,  $D_{FY}$  为试验数据集中参照一致性计算后异常个数;  $D$  为试验数据总数,  $C_{yz}$  为卫星试验鉴定数据的一致性计算结果。

### 2.4 及时性计算

卫星试验鉴定数据及时性的判别根据数据更新的时间与规定更新时间的差值来实现。各个数据包的规定的时间存在一定测差异, 如平台实时1s包更新时间为1s, 平台实时4s包更新时间为4s, 设定一个时间差阈值 $\Delta T_{sj}$ , 当实验数据的更新时间与规定更新时间差值大于指定时间差阈值 $\Delta T_{sj}$ , 则将该试验数据判断为传输不及时, 最终统计得到试验数据及时度占比:

$$C_{js} = \left(1 - \frac{D_{sj}}{D}\right) \times 100\%$$

式中,  $D_{sj}$  为数据在指定时间差阈值 $\Delta T_{sj}$ 下更新不及时的个数;  $D$  为数据样本总数,  $C_{js}$  为卫星试验鉴定数据的及时性。

### 2.5 冗余性计算

分析卫星装备试验数据, 以遥测数据为例可知每一行的数据不可能完全相同, 主要表现在时间的不同, 通过对时间的判断确定是否为冗余数据, 在记录冗余后, 统计得到试验鉴定数据的记录冗余占比如下所示:

$$C_{RY} = \left( \frac{D_{RE}}{D} \right) \times 100\%$$

式中,  $D_{RE}$ 为试验鉴定数据集中的得到的冗余数据个数;  $D$ 为试验数据综述,  $C_{RY}$ 为数据冗余性计算结果。

### 2.6 基于多因素的模糊推理算法

针对卫星装备试验鉴定数据质量复检评价需求, 结合卫星试验鉴定多项数据存在的潜在多级关联因素。如, 试验任务过程下的卫星姿控星敏与陀螺、太敏与帆板等数据之间。引入多因素模糊推理, 较之常规单因素模糊推理只对所属同一上级指标进行横向模糊隶属度实现不同, 多因素模糊推理以卫星装备实际多关联特性, 在单因素模糊推理基础上全面考虑整个同层级所有指标间的相互关联性。多因素模糊隶属度指标:

$$D_1 = \{D_{11}, D_{12}, \dots, D_{1j}\} (j = 12, \dots, n)$$

以标准树形指标拓扑体系为例, 假设构建其第二层级具有 2 项单列指标  $A_1$ 、 $A_2$ , 同时  $A_1$  指标对应所属下级指标为  $A_{11}$ 、 $A_{12}$ ;  $A_2$  指标对应所属下级指标为  $A_{21}$ 、 $A_{22}$ 。先根据单因素模糊推理分别完成  $A_{11}$ 、 $A_{12}$  及  $A_{21}$ 、 $A_{22}$  进行排列, 再在此基础上, 利用多因素模糊推理, 对  $A_{11}$ 、 $A_{12}$ 、 $A_{21}$ 、 $A_{22}$  这 4 个所属两类分项指标下的不同指标分别进行两两比对得到比对定量值, 记该层级模糊隶属度值  $D_3$  为:  $D_{31}$ 、 $D_{32}$ 、 $D_{33}$ 、 $D_{34}$ 、 $D_{35}$ 、 $D_{36}$ 。同时将所得结果按照大小顺序进行排序, 最后获得的多因素模糊隶属度集合  $D_3 = \{D_{34}, D_{31}, D_{32}, D_{36}, D_{35}, D_{33}\} (D_{34} > D_{31} > D_{32} > D_{36} > D_{35} > D_{33})$ 。

### 2.7 综合层级评估算法

待对卫星装备试验鉴定数据建立指标体系后, 通过多因素模糊推理算法完成隶属度计算后, 计算实现按照自底向上进行, 假设最底层指标权重分配矩阵为  $Z$ 、单因素模糊隶属矩阵为  $N$ , 同时利用多因素模糊推理下经过两两比较后所获取的差异量化加权值  $Q$  对单因素模糊隶属矩阵进行最优至最劣对应加权值调整, 最终得到该层综合评价结果为  $S^* = Z \times (N + "Q")$ 。同时将下一层级计算获得的综合评价结果  $S$  作为上层级计算所需的权重矩阵  $Z$ 。向上层级运算直至顶层, 最终所获取的定量综合评判结果为  $S_{im}^{[10]}$ 。

## 3 数据质量评价实现

选取某卫星在同等试验任务条件背景下产生的试验鉴定数据为例, 对数据进行质量评价。

数据: 测试时间为 2019 年 6 月 2 日, 试验数据为卫星遥测数据 1 s 包, 数据长度为 82 431 点, 周内秒从 45 001~116 999, 反应的为卫星执行某试验任务时的卫星转台信息。数据如图 3 所示。

利用所提出的初检—复检相结合的二级试验鉴定数据质量评价方法对上述某卫星装备试验鉴定数据进行指令评价实现。

### 3.1 初检—数据筛选计算

基于数据本身特性, 由型号总师预设数据接收各项阈值。

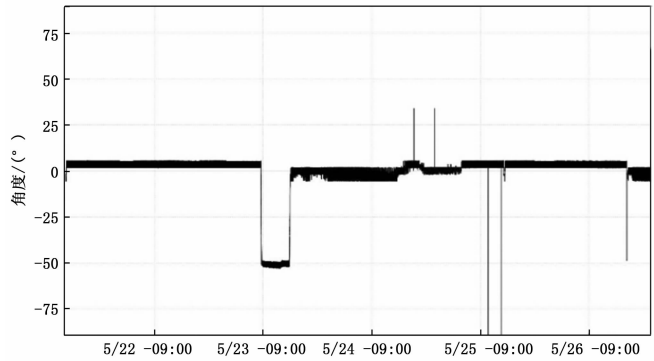


图 3 某卫星转台角度试验数据

- 完整性阈值:  $\Delta T_{WZ} \geq 95\%$ ;
- 准确性阈值:  $\Delta T_{ZQ} \geq 96\%$ ;
- 一致性阈值:  $\Delta T_{YZ} \geq 99.5\%$ ;
- 及时性阈值:  $\Delta T_{JS} \geq 90\%$ ;
- 冗余性阈值:  $\Delta T_{RY} \leq 0.5\%$ 。

在此阈值基础上, 分项计算各项初检数据筛选值。数据在一秒包记录单项数据的情况下, 设定标准长度为 83 000 点, 实际数据经检查获取长度为 82 431 点, 其中空值 61 点, 数据量值完整性计算值为:

$$(82\ 431 - 61) / 83\ 000 \times 100\% \approx 99.2\%$$

1 s 包数据包含试验数据类型 17 类, 每类含有的样本数目约为 4 848, 经与型号各项标准阈值比对, 所获取的 17 类数据落于标准阈值范围内的概率:

$$p_{17} = \{0.996, 0.991, 0.994, 0.994, 0.989, 0.992, 0.999, 0.990, 0.997, 0.996, 0.994, 0.994, 0.996, 0.991, 0.988, 0.996, 0.995\}$$

计算获得对应信息熵计算值:

$$\text{Info}(D) = 0.085, \text{Info}(D, T) = 0.082$$

进一步计算得到准确性计算值为:

$$(0.082 / 0.085) \times 100\% \approx 96.4\%$$

通过最小二乘法对该试验鉴定数据进行计算, 选取 4 次多项式拟合函数,  $\alpha_0 = 3, \alpha_1 = 2, \alpha_2 = -1, \alpha_3 = 0.5, \alpha_4 = 0.8$ , 即:

$$y = 0.8x^4 + 0.5x^3 - x^2 + 2x + 3$$

拟合计算得到偏离度  $A_1$  处于  $\{0, 0.007\}$  范围内, 对应数据样本计算得到:

$$C_{YZ} = (1 - 577/82431) \times 100\% \approx 99.3\%$$

检查卫星遥测 1 s 包数据星地传输时间栏信息, 配合指定时间差阈值  $\Delta T_{sj} = 0.000\ 01$ , 计算得到  $C_{JS} = 100\%$ , 当前处理数据全部符合时间阈值约束; 同时, 与遥测标准帧结构比对得到, 该组数据中不存在重复数据,  $C_{RY} = 0$ 。全部初检数据筛选值与预先设置的阈值比较均满足, 通过初检, 可以进入复检阶段。

### 3.2 复检——数据质量评价体系及计算

针对所选取的某卫星试验任务数据, 在复检过程中先

进行指标体系预建, 如图 4 所示。

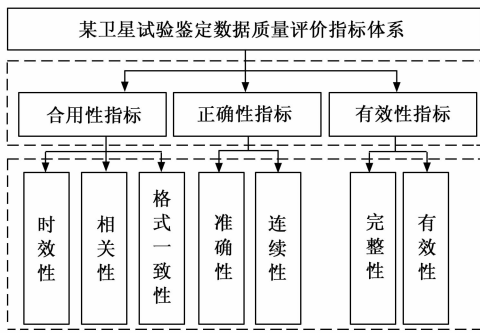


图 4 某卫星转台角度试验数据质量评价指标体系

利用所建设的指标体系进行评价计算, 首先分配各层级所对应的任务指标权重矩阵, 设定二级、三级指标权重矩阵为  $W_2, W_3$ 。其具体权重值设定如表 1、表 2 所示。将数据质量分为“Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ”5 个层次。分别对应模糊推理中的 {很好、好、一般、较差、差}, 本例设定三级指标层模糊向量的单因素评判矩阵  $R_3$  如表 3 所示。

表 1 二级指标权重向量划分

二级指标权重矩阵	1×3 权重矩阵向量值		
$W_2$	0.24	0.36	0.40

表 2 三级指标权重向量划分

实现层指标权重矩阵				3×7 权重矩阵向量值			
$W_{31}$	0.35	0.40	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
$W_{32}$	0.00	0.00	0.00	0.45	0.55	0.00	0.00
$W_{33}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.70

表 3 单因素评判矩阵  $R_2$

单因素评判矩阵	7×5 评判矩阵向量值				
$R_{31}$	0.10	0.90	0.00	0.00	0.00
$R_{32}$	0.40	0.60	0.00	0.00	0.00
$R_{33}$	0.00	0.20	0.80	0.00	0.00
$R_{34}$	0.10	0.90	0.00	0.00	0.00
$R_{35}$	0.00	0.60	0.40	0.00	0.00
$R_{36}$	0.00	0.30	0.70	0.00	0.00
$R_{37}$	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00

计算过程自底向上进行, 以最底层模糊向量隶属度为行, 并作为其上一级指标评判矩阵, 即:

$$R_{n-1} = R_n \times W_n \quad (n \geq 2)$$

同时通过专家或经验系统梳理多指标因素之间的加权数值为多因素模糊隶属度量化加权指标, 本例设定  $Q_3 = \{0.25 (R_{34}), 0.02 (R_{32}), 0.01 (R_{37}), 0.00 (R_{31}), -0.01 (R_{35}), -0.02 (R_{33}), -0.25 (R_{36})\}$ 。依据  $S^* = Z \times (N + "Q")$  层层计算, 最终得到评价结果  $S_{fm} = \{0.171, 0.324, 0.138, 0.131, 0\}$ 。分析最终结果, 得到

其最终评价隶属度项表示约 32.4% 的专家认为经过二级数据质量评价后, 该组卫星装备试验鉴定数据结果为 II 级对应“好”。可以根据实际定义最终确定是否将数据继续用于后续试验鉴定工作使用。

#### 4 结束语

数据质量评价技术的探索是以提高卫星装备试验鉴定数据质量为目的, 对试验鉴定过程中需要使用的数据进行二级质量评价, 通过标准化数据质量筛选初检及构建数据质量评价指标, 并对评价指标进行配置, 从不同试验目标对卫星装备试验鉴定数据进行整体把关。不过, 数据质量评价应用于试验鉴定领域仍然需要结合装备特性、数据本身特性在方法侧、指标侧等多方面进行继续研究。二级数据质量评价方法的提出不一定能 100% 应对所有卫星装备试验鉴定数据的质量评价工作, 但该方法的提出是对传统分立、单一且不成体系的数据质量评价的一种创新尝试, 具有一定的新意及实际研究价值。

#### 参考文献:

- [1] 唐雪梅, 李 荣. 武器装备综合试验与评估 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [2] 高盈盈, 杨克巍, 徐建国, 等. 面向装备试验鉴定领域的研究热点识别与发展预测 [J]. 系统工程, 2018, 36 (10): 141-148.
- [3] 李 楠, 张云燕, 李言俊. 一种自旋稳定卫星姿态传感器数据异常的诊断方法 [J]. 宇航学报, 2011, 32 (6): 1327-1332.
- [4] 金 蕾, 吉渊明, 唐卫明, 等. BDS/GPS 卫星数据质量分析软件开发及应用研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36 (9): 837-840.
- [5] BHOWMICK S A. Post-launch calibration-validation and data quality evaluation of SCATSAT-1 [J]. Current science, 2019, 117 (6): 973-982.
- [6] 张 宁, 袁勤俭. 数据质量评价述评 [J]. 情报理论与实践, 2017, 40 (10): 135-139.
- [7] 李国元, 胡 芬, 张重阳, 等. WorldView-3 卫星成像模式介绍及数据质量初步评价 [J]. 测绘通报, 2015, 20 (2): 11-16.
- [8] 董 凯. 卫星导航接收机数据质量诊断与性能评估技术研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2016: 29-40.
- [9] 吴琼宝, 赵春梅. 星载 GPS/BDS 数据质量评估与分析 [J]. 导航定位学报, 2018, 6 (1): 81-84, 107.
- [10] 虞业砾, 郑倩云, 杨善强, 等. 基于多因素模糊推理的卫星综合效能评估 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (9): 273-277.
- [11] 李 鑫, 刘莹莹, 李赣华, 等. 基于模糊变权原理的卫星健康评估方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2014, 36 (3): 476-480.
- [12] 樊文飞, 弗洛里斯, 吉尔茨, 等. 数据质量管理基础 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2016.