

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.10.060

发射场设施设备可靠性的数据权重研究

黄健*, 徐慧敏

航天工程大学, 北京 101416

摘要: 由于发射场设施设备的特殊性, 大多数设备和零部件缺少可靠性基础数据, 且现有可靠性数据偏差较大, 致使发射场系统难以开展概率安全评估 (PSA) 应用, 为解决 PSA 评估需要的概率数据, 本文通过研究多渠道可靠性数据综合处理方法解决基础数据不足或偏差大的问题。分析总结了多源可靠度数据的处理方法, 采用层次分析法 (AHP) 综合评估了试验数据、标准数据、性能退化数据、经验数据等数据的重要度, 并用证据理论验证了不同数据权重值的合理性, 解决了目前发射场概率安全评估的前端输入问题。通过确定加注系统加注泵数据权重的算例, 给出了详细计算过程。

关键词: 层次分析法; 证据理论; 可靠性; 权重; 数据处理

中图分类号: V57; TJ8 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 10-0060-06

美国国家航空航天局 (NASA) 在 2009 年和 2011 年颁布了两版概率安全评估 (Probabilistic Safety Assessment, PSA) 指南, 我国航天科技集团也给出了航天产品 PSA 标准, PSA 强大的系统安全可靠性分析能力被航天领域所接纳, 逐渐成为航天领域开展相关工作的指南。发射场的 PSA 工作, 需要众多设备级和零部件级的可靠性数据输入, 因此, 设备的真实可靠度水平直接影响到发射场 PSA 工作的结果准确性。但发射场的设施设备多为非标准设备和单台套设备, 存在没有可靠性数据、数据样本少、可信度低、数据受污染和没有失效数据的情况, 难以获取部件和设备的可靠度或频率数据^[1]。梳理发射场相关设施设备的数据情况, 可能获取的同一设备不同来源的可靠度评估数据主要包括标准数据、同类产品数据、专家打分数据、记录试验数据和设计应力强度数据。退化数据易于获取, 但有别于故障数据的失效机理; 标准数据是重要的客观参考数据, 但因设施设备工作环境等条件的差异决定了其针对性不强, 不能够完全适用于发射场; 专家数据作为设备可靠性的一种有益补充, 具有较强的主观性。因此, 尽可能综合利用设施设备的不同数据, 获取可信度较高的可靠度值, 成为 PSA 工作顺利开展的

基础和关键。

1 设施设备可靠性的数据处理方法

加注泵是整个加注系统的关键设备, 一旦在发射任务中出现故障, 可能直接导致加注任务的推迟, 甚至造成整个发射任务的失败。传统的设备可靠性分析法, 是依靠足量且可靠的单一型数据进行统计与分析, 数据量不足将会直接影响可靠性计算结果准确性。在数据类型多、数据量较少的情况下, 本文针对发射场某型号加注泵的不同数据进行综合处理, 最后定量地计算出权重并融合得到可靠度值。

1.1 数据处理的思路

针对发射场的不同设备, 明确所能获取的不同数据, 分别运用不同的数据处理方法得到可靠度值, 然后按照数据真实性、客观性、可用性等条件, 运用层次分析法的比例标度作为比较标准, 标度含义见表 1。构造不同数据两两比较的判断矩阵 C :

$$C = (c_{mn})_{a \times a} \quad (1)$$

矩阵具有以下性质:

收稿日期: 2017-06-28; 退修日期: 2017-07-16; 录用日期: 2017-09-14

* 通信作者. Tel.: 18810219235 E-mail: huangjianqiang22@163.com

引用格式: HUANG Jian, XU Huimin. Research of the data weighting about the reliability of launch sites' facilities and equipment[J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28(10): 60-65. 黄健, 徐慧敏. 发射场设施设备可靠性的数据权重研究[J]. 航空科学技术, 2017, 28(10): 60-65.

$$\begin{cases} c_{mn} = 1 \\ c_{mn} = \frac{1}{c_{nm}}, m, n = 1, 2, \dots, j \\ c_{mn} > 0 \end{cases} \quad (2)$$

计算矩阵的过程中,为了防止出现逻辑混乱,需进行一致性检验,不符合检验指标时需调整或重新构建判断矩阵^[2,3],在一致性检验完成后最终确定数据的权重。对于加注泵来说,可以得到的数据类型包括试验数据、退化数据、标准数据和专家经验数据,其中,试验数据最能反映加注泵的实际工作状态,有大量试验数据的前提下可以直接得到较为精准的可靠性评估结果。经验数据因缺乏客观性,按常理权重值相对较低。主要的权重分歧发生在当试验数据极少或几乎没有时,不同数据间的重要度需要权衡和排序。利用层次分析法,可以初步解决权重分配问题。

对于层次分析法确定的数据权重,要通过证据理论进一步验证权重分配的合理性。证据理论的定义是设 U 为识别框架,则函数 $m: 2^U$ 在 $[0, 1]$ 的取值范围内,且满足:

$$\begin{cases} \sum_{A \subseteq U} m(A) = 1 \\ m(\emptyset) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$m(A)$ 为 A 的基本概率赋值。 $m(A)$ 表示了对命题 A 的精确信任程度,表示了对 A 的直接支持。假定在识别框架下的两个证据 E_1 和 E_2 ,其相应的基本信任分配函数为 m_1 和 m_2 ,焦元分别为 A_i 和 B_j ,则证据合成规则为:

$$m(A) = \frac{\sum_{A_i \cap B_j = A} m_1(A_i)m_2(B_j)}{1 - K} \quad (4)$$

其中:

$$K = \sum_{A_i \cap B_j = \emptyset} m_1(A_i)m_2(B_j) \quad (5)$$

式(5)反映了证据间的冲突程度,由 m 给定的信任函数称为 m_1 和 m_2 的正交和,对于多个信任函数 $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ 也可以通过正交和运算,将他们合成一个信任分配函数^[4-6]。本文加注泵证据理论的识别框架,是加注泵能够获取所有数据类型,识别框架下的证据即不同数据的重要度。 n 位领域专家对不同数据的支持程度则是该数据的基本概率赋值,根据合成规则不断进行两两证据的正交,重复进行直到完成专家认识的完全组合,最后进行归一化,用来验证不同数据重要度的排序和权重值范围的合理性。总体处理思路如图 1 所示,两两比较元素标度含义见表 1。

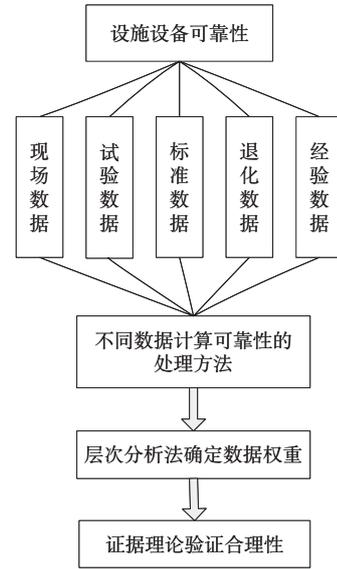


图 1 设施设备可靠性的数据处理模型
Fig. 1 Data processing model for facility reliability

表 1 两两比较元素标度含义
Table 1 Comparison of element scale meaning

元素	标度	元素 m, n 比较规则
C_{mn}	1	元素 m 和元素 n 相比, m 和 n 同等重要
	3	元素 m 和元素 n 相比, m 比 n 稍微重要
	5	元素 m 和元素 n 相比, m 比 n 明显重要
	7	元素 m 和元素 n 相比, m 比 n 十分重要
	9	元素 m 和元素 n 相比, m 比 n 极端重要
2, 4, 6, 8 分别表示 m 比 n 的重要性介于相邻两判断之间		

1.2 不同数据指标的量化处理方法

设施设备的不同故障模式会产生不同的失效数据,主要的失效分为运行失效和需求失效。运行失效的似然函数模型包括以故障数、运行时间为自变量的泊松模型和以故障时间为自变量的指数模型;需求失效的似然函数模型主要是以故障数、样本数为自变量的二项模型。确定设备的故障模式后,利用标准数据的具体参数通过判断似然函数计算设备的故障率、故障概率密度和可靠度等各种可靠性指标。针对试验数据和现场数据,由于建立在大量设备故障数据基础上的可靠性评估理论很难解决,对大部分机械设备,可以认为故障率服从多参数威布尔(Weibull)分布^[7]:

$$\lambda(t) = \frac{F'(t)}{1 - F(t)} = \frac{m}{\mu t^m} t^{m-1} \quad (6)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\mu}\right)^m\right] \quad (7)$$

式中: m, μ 均为分布参数。

一般的决策过程认为邀请的专家具有相同的重要性,

即专家具有相同的主观权重。为了全面反映不同专家在决策过程中的作用,还必须根据具体的问题确定专家所做决策的可信度,也就是专家的客观权重。在处理设施设备的经验数据时,要同时考虑每位专家的学术水平、学术影响、科研能力、参加任务次数、历史打分结果误差等因素。然后每位专家参考相关设备的不同数据,在充分了解设备出厂状态、工作环境、工作时长等条件的前提下给出可靠值,再将客观评价打分专家的权重与每位专家给出的可靠值结合,得出专家经验的最终可靠度评估值^[8,9]。

2 实际应用

以某发射场加注系统的液压叶片加注泵为例,其中两台加注泵 A_1 、 A_2 各累积运行 20h,三台加注泵 B_1 、 B_2 、 B_3 各累积运行 60h,一台加注泵 C 累积运行 100h,6 台加注泵在运行过程中均未发生失效。

2.1 加注泵试验数据的处理

令加注泵 A_1 、 A_2 的运行时间 $t_1=20$ h,加注泵 B_1 、 B_2 、 B_3 的运行时间 $t_2=60$ h,加注泵 C 的运行时间 $t_3=100$ h。截尾时刻 t_1 的加注系数 $n_1=2$,截尾时刻 t_2 的加注系数 $n_2=3$,截尾时刻 t_3 的加注系数 $n_3=1$ 。根据工程实践经验,分别令故障度上界 $f_1=0.004$, $f_2=0.007$, $f_3=0.05$ 。根据威布尔分布的计算公式^[7]计算:

$$\hat{p}_i = \frac{\frac{1}{r_i+2}[1-(1-f_i)^{r_i+2}] - f_i(1-f_i)^{r_i+1}}{1-(1-f_i)^{r_i+1}} \quad (8)$$

$$r_i = s_i + t_k / t_i - 1, i = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

$$s_i = n_i + n_{i+1} + \dots + n_k \quad (10)$$

式中: p_i 表示到 t_i 时刻加注泵的失效概率贝叶估计, s_i 表示到 t_i 时刻共有 s_i 台加注泵进行试验,且全部没有失效,计算结果见表 2。

表 2 加注泵试验数据的失效概率

Table 2 Failure probability of filling pump test data

i	1	2	3
s_i	6	4	1
r_i	9.5	6.67	1
t_i/h	20	60	100
p_i	0.002	0.0035	0.0247

然后按照不同时间点对应的失效概率值进行威布尔拟合。将威布尔分布的分布函数 $F(t)$ 的两边进行变换:

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\mu}\right)^m\right] \quad (11)$$

转换为线性方程 $y=ax+b$,其中:

$$\begin{cases} x_i = \ln t_i \\ y_i = \ln\left[\ln\frac{1}{1-p_i}\right] \end{cases} \quad (12)$$

计算结果见表 3。对自变量和因变量拟合可得参数 $a=1.398$, $b=-10.64$ 。其中, $m=a=1.398$, $\mu=\exp(-b/a)=2020$,带入式 (7),得到当 $t=100$ h 时加注泵的可靠度值 $R(100)=0.985$ 。

表 3 威布尔线性方程的变量值

Table 3 Variable values for the Weibull linear equation

i	1	2	3
t_i/h	20	60	100
x_i	2.9957	4.0943	4.6052
p_i	0.0020	0.0035	0.0247
y_i	-6.2136	-5.6532	-3.6885

2.2 加注泵标准数据的处理

依据发射场可靠性基础数据手册,液泵 C 的同类加注泵全时间工作状态情况下百万小时的故障次数为 20.833。根据加注泵特点,本文选用泊松分布对加注泵的标准数据进行可靠度计算,计算公式为:

$$p(x) = \frac{(fT)^x e^{-fT}}{x!} \quad (13)$$

式中: T 为部件运行时间, x 为在运行时间 $T=100$ h 内的失效次数, f 为部件初始失效概率, p 为修正后的部件失效概率^[10]。通过 EPS900 & 1300 确定加注泵的初始失效概率量级为 e^{-03} ,初始可靠度按 0.998 进行计算,利用 Matlab 计算可得标准数据的最终可靠度值为 0.993。对于其他设施设备的标准数据,可通过判断运行失效和需求失效灵活选取不同的分布模型。

2.3 加注泵经验数据的处理

表 4 是泵 C 的同类加注泵在累计工作 100h 后,工作人员依靠部分退化数据,使用不同分析方法对其进行可靠性评估所得的可靠度,对其求平均值退化数据的可靠度值为 0.971。4 位专家对加注泵 C 的可靠度打分依次为 0.98,0.96,0.97,0.98。充分考虑每位专家的学术影响、科研能力、参加任务次数和打分误差情况,分别按大小顺序赋值,并对所赋值求和取平均作为客观评价分。专家的主观经验打分与对专家的客观评价分相融合,得到最终的经验可靠度值,见表 5。

表 4 加注泵退化数据可靠度值

Table 4 The reliability values of the filling pump degradation data

计算方法	加注泵 C_1	加注泵 C_2
回归方法	0.978	0.971
随机过程方法	0.968	0.965

表 5 专家打分融合表
Table 5 Expert score fusion table

基础可靠度	专家 1	专家 2	专家 3	专家 4	最终可靠度
学术影响因素	0.7	0.8	0.75	0.9	0.972
科研能力因素	0.8	0.6	0.7	0.8	
任务次数因素	2	5	0	10	
打分误差因素	0.25	0.25	0.25	0.25	
客观评价权重	0.223	0.246	0.193	0.337	
主观经验可靠度	0.98	0.96	0.97	0.98	

3 计算与结果分析

3.1 层次分析法确定数据权重

确定了不同类型数据的可靠度值,需对数据间的相对重要度进行判断,专家根据 4 种类型数据的可用性、真实性等条件进行比较所得到的结果见表 6。先对表中的数据进行整体归一化处理,确定不同数据的初始组合权重为 0.4025, 0.2650, 0.2375, 0.0950, 然后计算每种数据的层次单排序权重。根据不同专家对不同数据的百分制打分值构造数据的重要度比较关系,见表 7~表 10。

表 6 数据权重分配有效性评价表
Table 6 Evaluation of the validity of data weight allocation

专家	试验数据 A	标准数据 B	退化数据 C	经验数据 D
	0.4025	0.2650	0.2375	0.0950
1	46	31	15	8
2	40	20	30	10
3	45	35	10	10
4	30	20	40	10

表 7 专家 1 关于不同数据的比较
Table 7 Comparison of different data (Expert 1)

专家 1	试验数据	标准数据	退化数据	经验数据
试验数据	1	2	4	4
标准数据	1/2	1	2	2
退化数据	1/4	1/2	1	3
经验数据	1/6	1/4	1/2	1

表 8 专家 2 关于不同数据的比较
Table 8 Comparison of different data (Expert 2)

专家 2	试验数据	标准数据	退化数据	经验数据
试验数据	1	2	2	4
标准数据	1/2	1	1/2	2
退化数据	1/2	2	1	3
经验数据	1/4	1/2	1/3	1

表 9 专家 3 关于不同数据的比较
Table 9 Comparison of different data (Expert 3)

专家 3	试验数据	标准数据	退化数据	经验数据
试验数据	1	1	4	5
标准数据	1	1	3	3
退化数据	1/4	1/3	1	1
经验数据	1/5	1/3	1	1

表 10 专家 4 关于不同数据的比较
Table 10 Comparison of different data (Expert 4)

专家 4	试验数据	标准数据	退化数据	经验数据
试验数据	1	2	1	3
标准数据	1/2	1	2	2
退化数据	1	1/2	1	4
经验数据	1/3	1/2	1/4	1

可分别得到每位专家对不同数据的判断矩阵为:

$$C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 6 \\ 1/2 & 1 & 2 & 4 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/6 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 2 & 4 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1/2 & 2 & 1 & 3 \\ 1/4 & 1/2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 5 \\ 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1/4 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$C_4 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1/2 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/2 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

以专家 1 为例进行计算:

(1) 将判断矩阵每一列元素正规化,正规化后的矩阵为:

$$C_1^+ = \begin{bmatrix} 0.522 & 0.533 & 0.533 & 0.462 \\ 0.261 & 0.267 & 0.267 & 0.308 \\ 0.130 & 0.133 & 0.133 & 0.154 \\ 0.087 & 0.067 & 0.067 & 0.076 \end{bmatrix} \quad (18)$$

(2) 将正规化后的判断矩阵按行相加,同理依次将其余各行元素相加,将得到的向量正规化可得特征向量:

$$W = [0.512 \quad 0.227 \quad 0.137 \quad 0.074]^T \quad (19)$$

(3) 计算判断矩阵的最大特征值:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(CW)_i}{W_i} \quad (20)$$

可得 $(C_1^+W)_1=2.058$, $(C_1^+W)_2=1.103$, $(C_1^+W)_3=0.552$, $(C_1^+W)_4=0.297$, 通过计算得出最大特征根为 $\lambda_{\max}=4.011$ 。

(4) 进行一致性检验:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.00368 \quad (21)$$

查表可知当阶数 $N=4$ 时, $RI=0.9$, 则一致性比率:

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0.0041 < 0.1 \quad (22)$$

因而判断矩阵的一致性可以接受, 确定不同数据在专家 1 经验下的初始权重分配为: 试验数据 0.512、标准数据 0.277、退化数据 0.137、专家数据 0.074。同理可得其他三位专家的单层次排序权重依次为: 0.377, 0.226, 0.297, 0.100, 0.432, 0.354, 0.109, 0.105, 0.243, 0.218, 0.436, 0.103。将组合权重与单层次排序权重结合可得层次分析对 4 种不同数据的最终层次总排序权重值为 0.432, 0.276, 0.201, 0.091。

3.2 权重合理性的证据理论验证

根据打分值处理所得数据的单一信度函数, 按合成规则对专家 1 和专家 2 的信度函数 m_1 和 m_2 进行组合, 其冲突程度为:

$$K_1 = 1 - m_1(A)m_2(A) - m_1(A)m_2(\theta) - m_1(B)m_2(B) - m_1(B)m_2(\theta) - m_1(C)m_2(C) - m_1(C)m_2(\theta) - m_1(D)m_2(D) - m_1(D)m_2(\theta) - m_1(\theta)[1 - m_2(\theta)]$$

计算可得 $K_1=0.0548$ 。然后计算组合证据的信度函数:

$$m_{1,2}(A) = \frac{m_1(A)m_2(A) + m_1(A)m_2(\theta) + m_2(A)m_1(\theta)}{1 - K}$$

据此计算可得组合后 4 种数据的概率赋值分别为 0.2871, 0.1004, 0.0813, 0.0128。将组合后的信度函数值作为新一轮的单一信度函数与专家 3 继续正交组合, 依次计算新的冲突程度和信度函数值。最终所得结果见表 11, 由正交结果可得证据理论对 4 种数据的支持程度从大到小依次为试验数据、标准数据、退化数据和经验数据, 符合层次分析法确定的相对重要度。按照不同数据的各自权重对加注泵的可靠度值进行融合, 可得加注泵 C 的最终融合可靠度为 0.983。

表 11 数据权重基本信度分配值

Table 11 Basic reliability assignment values for data weights

证据	A	B	C	D	θ
	0.4025	0.2650	0.2375	0.0950	
m_1	0.1852	0.0822	0.0356	0.0076	0.6894
m_2	0.1610	0.0530	0.0713	0.0095	0.7052
m_3	0.1811	0.0928	0.0238	0.0095	0.6928
m_4	0.1208	0.0530	0.0950	0.0095	0.7217
$m_{1,2}$	0.2871	0.1004	0.0813	0.0127	0.5185
$m_{1,2,3}$	0.3766	0.1387	0.0771	0.0151	0.3925
$m_{1,2,3,4}$	0.4092	0.1439	0.1125	0.0165	0.3179

4 结论

本文利用层次分析法和证据理论对发射场设施设备的可靠性数据进行了重要度的分析和综合处理, 根据处理不同类型数据的思路和方法, 针对发射场加注系统的加注泵进行了不同数据的融合处理, 得到了较为综合的可靠度值。

通过分析, 得出以下结论:

(1) 利用层次分析法建立了评价不同类型数据的指标体系, 确定了打分专家和数据类型间的初始权重, 为后续的设施设备可靠性研究提供了依据。

(2) 通过构建证据理论的数据证据源和数据组合规则, 对不同数据权重的合理性进行了验证, 提高了数据权重分配的可信性。

(3) 计算所得的权重信息以及专家打分的实际误差等数据信息, 可作为今后处理同种设施设备可靠性的参考, 实现数据的不断更新和调整。

(4) 本文对加注泵的举例应用仅是方法研究, 因其真实数据在短时间内难以获取, 导致部分数据的客观性欠妥, 在后续的研究中要针对加注泵的可靠性试验结果或加注泵累积运行的实际使用数据进行方法调整, 实现权重分配的自适应。

AST

参考文献

- [1] 苏永芝, 陈景鹏. 航天发射场地面设施设备可靠性工作研究 [J]. 装备学院学报, 2014 (2): 57-59.
SU Yongzhi, CHEN Jingpeng. Space port ground facilities equipment reliability work study [J]. Journal of Academy of Equipment, 2014 (2): 57-59. (in Chinese)
- [2] 张炳江. 层次分析法及其应用案例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2014: 68-70.
ZHANG Bingjiang. Analytic hierarchy process (ahp) and its application cases [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2014: 68-70. (in Chinese)
- [3] 郭金玉, 张忠彬, 孙庆云. 层次分析法的研究与应用 [J]. 中国安全科学学报, 2008, 18 (5): 148.
GUO Jinyu, ZHANG Zhongbin, SUN Qingyun. Study and applications of analytic hierarchy process [J]. China Safety Science Journal, 2008, 18 (5): 148. (in Chinese)
- [4] 杨风暴, 王肖霞. D-S 证据理论的冲突证据合成方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 29-34.
YANG Fengbao, WANG Xiaoxia. Conflict evidence synthesis

- methods of D-S evidence theory [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010: 29-34. (in Chinese)
- [5] 韩德强, 杨艺, 韩崇昭. DS 证据理论研究进展及相关问题探讨 [J]. 控制与决策, 2014, 29 (1): 1-11.
HAN Deqiang, YANG Yi, HAN Chongzhao. Advances in DS evidence theory and related discussions [J]. Control and Decision, 2014, 29 (1) : 1-11. (in Chinese)
- [6] 刘博元, 张凌宇, 范文慧, 等. 基于 DS 证据理论的复杂产品仿真可信度评估方法 [J]. 计算机系统应用, 2014, 23 (5) : 202-205.
LIU Boyuan, ZHANG Lingyu, FAN Wenhui, et al. Methodology of simulation credibility evaluation for complex product based on DS evidence theory [J]. Computer System Application, 2014, 23 (5) : 202-205. (in Chinese)
- [7] 刘方亮. 核电站小样本数据贝叶斯处理方法研究 [D]. 北京: 清华大学, 2010.
LIU Fangliang. The plant small sample data bayesian method research [D]. Beijing: Tsinghua University, 2010. (in Chinese)
- [8] 梁樑, 熊立, 王国华. 一种群决策中专家客观权重的确定方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27 (4): 652-655.
LIANG Dong, XIONG Li, WANG Guohua. New method for determining the objective weight of decision makers in group decision [J]. Journal of systems engineering and electronics, 2005, 27 (4) : 652-655. (in Chinese)
- [9] 马昕晖, 姜曙, 尚晨. 基于 CREAM 的航天发射场人因可靠性定量分析方法 [J]. 兵工自动化, 2016, 35 (9): 10-16.
MA Xinhui, JIANG Shu, SHANG Chen. Quantitative analysis method of human reliability in launching based on CREAM [J]. Ordnance Industry Automation, 2016, 35 (9) : 10-16. (in Chinese)
- [10] 王亚琦, 赵继广, 段永胜, 等. 发射场非标设备失效概率获取方法研究 [J]. 四川兵工学报, 2015 (9): 73-75.
WANG Yaqi, ZHAO Jiguang, DUAN Yongsheng, et al. Research on measuring the failure probability of launch sites' non-standard equipment [J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2015 (9) : 73-75. (in Chinese) (责任编辑 刘玲蕊)

作者简介

黄健 (1989-) 男, 硕士。主要研究方向: 航天发射总体理论与技术。

Tel: 18810219235

E-mail: huangjianqiang22@163.com

Research of the Data Weighting about the Reliability of Launch Sites' Facilities and Equipment

HUANG Jian*, XU Huimin

Space Engineering University, Beijing 101416, China

Abstract: Due to the particularity of launch site facilities, most of the equipment and parts without failure data, the Probabilistic Safety Assessment (PSA) of the launch site is difficult to achieve. According to different reliability data of facilities for the integration, reliability processing methods were summarized respectively, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) comprehensive assessment of importance of test data, standards data, performance degradation data and experience data, with evidence theory to verify the rationality of different weight value data, solved the shooting probability safety assessment problem of the front end of the input. By the research of the data weight of filling pump in the filling system, the feasibility of this method was proved effective.

Key Words: AHP; evidence theory; reliability; weight coefficient; data processing

Received: 2017-06-28; Revised: 2017-07-16; Accepted: 2017-09-14

*Corresponding author. Tel. : 18810219235 E-mail: huangjianqiang22@163.com