

doi: 10.7690/bgzdh.2024.04.017

基于工程数据的行为形成因子权重确定方法

蒋英杰, 胡春宇, 梁永治

(中国人民解放军 96753 部队, 济南 271100)

摘要: 针对行为形成因子影响人员行为的问题, 提出一种行为形成因子权重的确定方法。评述现有的行为形成因子权重确定方法, 指出存在的缺陷和不足, 构建一种基于工程数据的行为形成因子权重确定方法。结果表明: 该方法能得到不同人为差错类型所对应行为形成因子的权重, 更具客观性, 可为人为差错的管理提供有效指导, 为人为差错概率量化提供支持。

关键词: 行为形成因子; 人为差错; 人因可靠性分析; 人为差错管理

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

A Method for Determining Weights of Behavior Formation Factors Based on Engineering Data

Jiang Yingjie, Hu Chunyu, Liang Yongzhi

(No. 96753 Unit of PLA, Ji'nan 271100, China)

Abstract: A method for determining the weight of behavior formation factors is proposed to address the issue of their impact on personnel behavior. Review existing methods for determining the weight of behavior formation factors, point out their shortcomings, and construct a method for determining the weight of behavior formation factors based on engineering data. The results show that this method can obtain the weights of the behavior formation factors corresponding to different types of human error, which is more objective and can provide effective guidance for the management of human error and support the quantification of human error probability.

Keywords: behavior forming factors; human error; human reliability analysis; human error management

0 引言

在人因可靠性分析方法中, 行为形成因子影响人员行为, 进而导致人为差错的观念已被广泛认可^[1]。行为形成因子内涵丰富, 对人员行为的影响机理是不同的, 导致不同的行为形成因子在对人为差错的影响程度方面存在权重的差别^[2]。对行为形成因子的权重进行衡量, 一方面有助于推动人为差错机理的研究, 另一方面有助于工程中人为差错的管理^[3-4]。笔者对人因可靠性分析中行为形成因子的权重确定方法展开研究, 以求结果客观, 更具工程指导意义。

1 行为形成因子权重确定方法概述

目前, 行为形成因子权重主要是通过主观方法得到的, 典型方法包括问卷调查法、层次分析法和模糊层次分析法等。下面对这 3 种方法做简要介绍。

1.1 问卷调查法

问卷调查法是一种专家打分的方法, 操作起来非常简便。问卷调查法确定行为形成因子权重的基

本步骤为: 1) 将行为形成因子对人为差错的影响重要性划分为多个不同等级, 如非常不重要、不重要、一般、重要、非常重要等; 2) 将需要评价的行为形成因子和重要性等级制定成问卷调查表, 由专家填写; 3) 将问卷调查结果进行汇总, 得到每个行为形成因子在各个等级上被专家认可的数量; 4) 为每个重要性等级赋予一定的数值, 得到行为形成因子的重要性总评分; 5) 将各个行为形成因子的总评分归一化, 得到行为形成因子的权重。详细过程可参考文献[5]。

1.2 层次分析法

层次分析法是美国 Saaty 教授^[6]于 1980 年创立的一种定性分析与定量分析相结合的系统分析和决策方法。层次分析法确定行为形成因子的权重, 主要通过以下步骤实现: 1) 根据层次分析法的标度表, 由专家对各行为形成因子按照其对人为差错的影响程度进行两两比较, 构造判断矩阵; 2) 对判断矩阵进行计算, 得到最大特征值及其对应的特征向量; 3) 将特征向量标准化, 得到行为形成因子的权

收稿日期: 2023-12-20; 修回日期: 2024-01-25

第一作者: 蒋英杰(1981—), 男, 山东人, 博士。

重；4) 根据最大特征值对判断矩阵进行一致性检验，若通过检验，则认为得到的行为形成因子的权重是有效的。详细过程可参考文献[6]。

1.3 模糊层次分析法

模糊层次分析法在层次分析法的基础上进一步考虑了信息的不确定性。模糊层次分析确定行为形成因子权重的基本步骤为：1) 根据模糊层次分析法的标度表，由专家对各行为形成因子按照其对人为差错的影响程度进行两两比较，建立模糊判断矩阵；2) 通过计算模糊判断矩阵的可达矩阵，对模糊判断矩阵的一致性进行判断；3) 根据相关公式，计算行为形成因子的权重。详细过程可参考文献[7]。

上述方法在使用上比较简便，在工程中被广泛使用^[5, 8-9]。需要指出的是，现有方法都严重依赖于专家判断。从本质上说，这些方法属于主观方法。在保证专家质量的前提下，主观方法得到的行为形成因子权重具有一定程度的有效性。然而，这些方法得到的结果却很难满足一致性的要求，即不同人员得到的行为形成因子权重存在差异性。另外，现有方法都将人为差错作为整体来看待，而实际上，不同的人为差错类型所对应的行为形成因子及其权重是不同的，而确定不同类型人为差错的行为形成因子权重可以为人为差错规避措施的制定提供更加有效的指导^[10]。因此，构建一种客观的、更具工程意义的行为形成因子权重确定方法是非常必要的。

2 基于数据的行为形成因子权重确定方法

通常来说，工程实践中都会积累一定数量的人为差错数据，这些数据中会包含人为差错及其成因的相关信息，其中的差错成因就是指行为形成因子。这样一来，通过一定的统计分析方法对人为差错数据进行处理，就可以得到行为形成因子与人为差错的密切程度，从而根据密切程度就可以确定行为形成因子的权重。基于这种思路，笔者使用关联规则方法对人为差错数据进行处理，进而得到行为形成

因子的权重。

2.1 关联规则挖掘方法简介

关联规则挖掘方法最早是由 Agrawal 等^[11]提出，是数据挖掘中的一项重要内容，主要用于从大量数据中揭示事物之间的关联或相关关系，即关联规则。目前，关联规则挖掘方法已经在金融、医疗、通信等方面得到较为广泛的应用^[12-14]。关联规则挖掘方法主要包括关联规则和置信度 2 个基本概念。

关联规则是指那些可以表示为形如 $X \Rightarrow Y$ 的蕴含式。其中， X 为规则的前提， Y 为规则的结果。关联规则 $X \Rightarrow Y$ 有意义是指：如果 X 出现，那么 Y 也会同时出现。衡量关联程度的指标称为置信度。

关联规则的置信度是指关联规则成立的可信程度，反映的是 2 个项集之间关联程度的大小。对于关联规则 $X \Rightarrow Y$ 来说：

$$\text{Confidence}(X \Rightarrow Y) = P(Y | X)。 \quad (1)$$

2.2 人为差错的分类

考虑到人为差错的不同类型具有不同特点，在行为形成因子的构成及其影响程度上存在差异，这里引入人为差错分类。Reason^[15]于 1990 年从“意图”角度将人为差错分类为疏忽、遗忘、错误 3 种，如图 1 所示。其中，疏忽是指“意图正确，但执行了错误的动作”；遗忘是指“意图正确，但没有执行任何动作”；错误是指“意图是错误的，执行的动作也是错误的”。

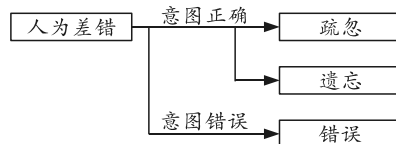


图 1 人为差错分类

2.3 基于数据的行为形成因子权重确定方法

按照人为差错分类，对工程中积累的人因事件报告、人为差错报表等进行分析，可以得到人为差错数据集合，如表 1 所示。

表 1 人为差错数据

人为差错类型	人为差错的数量	行为形成因子的数量				合计
		行为形成因子 F_1	行为形成因子 F_2	...	行为形成因子 F_m	
疏忽 E_1	N_1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1m}	n_{1s}
遗忘 E_2	N_2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2m}	n_{2s}
错误 E_3	N_3	n_{31}	n_{32}	...	n_{3m}	n_{3s}
合计	N_s	N_{s1}	n_{s2}		n_{sm}	n_{ss}

注：由于一个人为差错可能是有多个行为形成因子导致的，所以 n_{1s} 与 N_1 并不相等。

根据关联规则挖掘方法，置信度反映的是关联程度；因此，只要计算人为差错类型与行为形成因

子中间的置信度，然后进行归一化处理，即可得到该种人为差错类型所对应行为形成因子的权重。

由式(1)可知，关联规则 $E_i \Rightarrow F_j$ 置信度的计算公式为：

$$\text{Confidence}(E_i \Rightarrow F_j) = n_{ij} / N_i \quad (2)$$

这样一来，对于人为差错类型 E_i 来说，与之对应的行为形成因子的权重为：

$$\omega_j = \frac{\text{Confidence}(E_i \Rightarrow F_j)}{\sum_{j=1}^m \text{Confidence}(E_i \Rightarrow F_j)} ;$$

$$j = 1, \dots, m, \quad \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \quad (3)$$

通过上述分析过程，即可得到人为差错类型相对应的行为形成因子权重。该方法包含 3 个步骤：

- 1) 收集如表 1 所示的人为差错数据集；
- 2) 计算各行为形成因子与人为差错类型之间关联规则的置信度；
- 3) 将置信度归一化，得到每种人为差错类型所对应的行为形成因子权重。

3 示例分析

对某工程单位的人为差错数据进行收集和整理，得到如表 2 所示的人为差错数据表格。下面使用本文中方法确定各行为形成因子的权重。

表 2 某工程单位人为差错数据

人为差错类型	人为差错数量	行为形成因子的数量								合计
		精力	态度	知识	经验	显示仪表布局	可用任务时间	任务数量	规程	
疏忽	38	14	3	0	9	2	8	7	2	45
遗忘	20	5	3	0	5	2	11	2	3	31
错误	44	5	3	18	6	6	7	5	0	50
合计	102	24	9	18	20	10	26	14	5	126

3.1 计算关联规则的置信度

运用式(2)计算关联规则“人为差错类型=>行为形成因子”的置信度，得到结果如表 3 所示。其中，最后一行是指对于人为差错整体来说，关联规则“人

为差错=>行为形成因子”的置信度。

3.2 归一化处理

运用式(3)对表 3 中的置信度进行归一化，得到行为形成因子的权重，如表 4 所示。

表 3 关联规则的置信度

人为差错类型	行为形成因子							
	精力	态度	知识	经验	显示仪表布局	可用任务时间	任务数量	规程
疏忽	0.368	0.079	0	0.237	0.053	0.211	0.184	0.053
遗忘	0.400	0.150	0	0.250	0.100	0.550	0.100	0.150
错误	0.114	0.068	0.409	0.136	0.136	0.159	0.114	0
合计	0.235	0.088	0.176	0.196	0.098	0.255	0.137	0.049

表 4 行为形成因子的权重

人为差错类型	行为形成因子							
	精力	态度	知识	经验	显示仪表布局	可用任务时间	任务数量	规程
疏忽	0.311	0.067	0	0.200	0.048	0.178	0.155	0.048
遗忘	0.235	0.088	0	0.147	0.059	0.324	0.059	0.088
错误	0.100	0.040	0.241	0.120	0.120	0.140	0.100	0
合计	0.198	0.074	0.149	0.165	0.083	0.215	0.146	0.041

这样一来，就得到了该工程单位人为差错所对应的行为形成因子的权重，从而可以以此为依据进行人为差错的管理。对于“疏忽”来说，行为形成因子按照权重从大到小排序依次为精力、经验、可用任务时间、任务数量、态度、显示仪表的布局、规程和知识，因而在制定措施规避此类差错时，需要重点关注精力、经验、可用任务时间和任务数量 4 种行为形成因子的改进。对于“遗忘”来说，需要重点关注可用任务时间、经理和经验 3 种行为形成因子；对于“错误”来说，需要重点关注知识、

可用任务时间、经验和显示仪表布局 4 种行为形成因子；对于人为差错整体来说，需要重点关注可用任务时间、精力、经验、知识和任务数量 5 种行为形成因子。

4 结论

笔者构建一种基于工程数据的行为形成因子权重确定方法。该方法完全依赖人为差错数据，具有较强的客观性，可以为人为差错的管理提供更有效的指导。需要指出的是，本文中的方法是基于人为

差错数据构建的，当样本量太小时，人为差错数据很可能不能反映人为差错的真实特点，因而该方法所得到的结果也可能不能代表行为形成因子的真实重要性。此时，可将关联规则法得到的行为形成因子权重与传统的主观方法得到的结果结合起来，构建一种组合权重，以此保证结果的有效性。

参考文献：

[1] 陈善广, 李志忠, 葛列众, 等. 人因工程研究进展及发展建议[J]. 中国科学基金, 2021, 35(2): 203-212.

[2] 刘建桥. SPAR-H 方法中行为形成因子间的相关性识别[J]. 核动力工程, 2021, 42(4): 144-150.

[3] TORIIZUKA T. Application of performance shaping factor (PSF) for work improvement in industrial plant maintenance tasks[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2001, 28(3-4): 225-236.

[4] SCHONBECK M, RAUSAND M, ROUVROYE J. Human and organizational factors in the operational phase of safety instrumented systems: A new approach[J]. Safety Science, 2010, 48(3): 310-318.

[5] CHANG Y H, WANG Y C. Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians[J]. Safety Science, 2010, 48(1): 54-62.

[6] SAATY T L. The analytic hierarchy process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[7] 张吉军. 模糊层次分析法[J]. 模糊系统与数学, 2000, 11(2): 80-88.

[8] KARIUKI S G, LOWE K. Integrating human factors into process hazard analysis[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2007, 92(12): 1764-1773.

[9] 刘凤强, 孙志强, 谢红卫, 等. 航空维修人为差错影响因素分析中的模糊层次分析法[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(7): 43-48.

[10] HALLBERT B, GERTMAN D, LIOS E, et al. The use of empirical data sources in HRA[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2004, 83(2): 139-143.

[11] AGRAWAL R, IMIELINSKI T, SWAMI A. Mining association rules between sets of items in large databases[C]//Proceedings of 1993 ACM-SIGMOD International Conference on Management of Data. Washington DC: ACM, 1993.

[12] NA S H, SOHN S Y. Forecasting changes in Korea Composite Stock Price Index (KOSPI) using association rules[J]. Expert Systems with Application, 2011, 38(7): 9046-9049.

[13] DELGADO M, SANCHEZ D, MARTIN-BAUTISTA M J, et al. Mining association rules with improved semantics in medical databases[J]. Artificial Intelligence in Medicine, 2001, 21(1-3): 241-245.

[14] LI T Y, LI X M. Preprocessing expert system for mining association rules in telecommunication networks[J]. Expert Systems with Application, 2011, 38(3): 1709-1715.

[15] REASON J T. Human error[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

(上接第 71 页)

参考文献：

[1] 吕帅, 王金柱, 龚华雄. 基于 Matlab 的制导火箭弹控制系统稳定性分析[J]. 机械制造与自动化, 2011, 40(5): 82-84.

[2] 张明星, 黄晓霞. 国外远程制导火箭弹技术现状及趋势[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(7): 59-60.

[3] 张国全, 于洪峰. 制导火箭弹舵片的加工技术[J]. 国防制造技术, 2011(5): 59-60.

[4] 郭洪根, 王指国. 中大功率航天电动伺服机构发展综述[J]. 导航定位与授时, 2016(3): 1-5.

[5] 张宏宇, 李凤全, 王淑玉, 等. 分体式空气舵系统结构

设计及试验研究[J]. 战术导弹技术, 2015(3): 25-26.

[6] 李永瑞, 丛林华, 刘宁夫. 典型金属蒙皮结构空气舵力热联合试验技术研究[J]. 工程与试验, 2019, 59(4): 35-36.

[7] 肖军, 张鹏. 轻质复合材料舵翼面的材料设计[J]. 航空兵器, 2008(5): 57-61.

[8] 马超群, 赵洪宝, 马丹, 等. 空气舵复合材料与金属粘接结构无损检测技术研究[J]. 电子制作, 2020(15): 97-100.

[9] 罗楚养, 吴催生, 魏仲伟, 等. 高温复合材料舵面研制与试验验证[J]. 复合材料学报, 2014, 31(5): 1312-1320.

[10] 杨洋, 张海洋, 徐鹤洋, 等. 大型空气舵舵体数控加工工艺研究[J]. 工艺与制造, 2019(5): 107-109.