

基于主成分聚类的军品防护包装等级分类

朱霞¹, 伍岳², 陈俊斌², 武小琴², 赵萍¹, 谭德宏², 王凯俊², 赵湖钧²
(1.国家救灾应急装备工程技术研究中心, 重庆 401311; 2.陆军勤务学院, 重庆 401311)

摘要: **目的** 分析不同军品防护包装需求的差异性, 根据防护包装需求差异研究军品防护包装等级分类问题。**方法** 通过采用主成分分析法对选取的军品防护包装等级分类指标进行降维处理, 再将各种军品按照降维精简得到的新指标进行聚类分析。结果 通过指标降维处理得到了新的3个分类指标和各种军品关于新指标的得分值, 并以此将10种军品按照不同防护需求分为3个军品防护包装等级类别。**结论** 该方法剔除了分类指标间的信息重叠, 区分了不同军品的防护包装需求差异, 并根据需求差异对各种军品进行了防护包装等级分类。

关键词: 军品; 防护包装; 包装等级; 主成分分析; Ward 聚类

中图分类号: TB489 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0021-05

Classification of Military Protective Packaging Level Based on Principal Component Clustering

ZHU Xia¹, WU Yue², CHEN Jun-bin², WU Xiao-qin², ZHAO Ping¹, TAN De-hong²,
WANG Kai-jun², ZHAO Hu-jun²

(1.NERC for Disaster and Emergency Rescue Equipment, Chongqing 401311, China;

2.Army Logistics University of PLA, Chongqing 401311, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the difference of various military protective packaging requirements, and study the classification of military protective packaging levels according to the demand difference of protective packaging. The classification indexes of protective packaging levels for the selected military products were subject to the dimension reduction process through the principal component analysis method, and then the clustering analysis was conducted based on the new indexes obtained from the dimension reduction of various military products. Three new classification indexes and scores for the new indexes of a variety of military products were obtained by index dimension reduction. Based on that, ten kinds of military products were divided into three military protective packaging levels according to the different protection requirements. This method eliminates the information overlap between classification indexes, distinguishes the difference of protective packaging demand for different military products and classifies the protective packaging levels according to the demand difference of all kinds of military products.

KEY WORDS: military products; protective packaging; packaging level; principal component analysis; Ward clustering

近年来,随着军内外对军品防护包装研究的不断深入,在防锈、防霉、防潮、防震、防水等防护包装领域取得了较大的进展。相关军品包装标准得以建立和完善,包装材料、容器、设备及工艺等得到不断更新和改进^[1],有效提升了军品包装的防护性能,促进了军事物流活动的有序开展。与此同时,不少专家学者围绕防护包装要求对被包装物进行了一些分类研

究,而这类研究主要集中于危险品包装方面^[2-3],对于一般军品防护包装等级的分类研究则较少。文中在借鉴已有研究的基础上,针对采用相同或相似外包包装材料进行包装的军品,分析其防护包装等级的差异性,通过多元统计分析的方法对防护包装等级进行类别划分,拟为加强防护包装的针对性和提升防护包装效益提供参考。

收稿日期: 2017-10-12

作者简介: 朱霞(1963—),女,博士,陆军勤务学院教授、硕导,主要研究方向为军品包装。

1 分类指标的选取

防护作为包装最基础的功能,贯穿军品从出厂到部队用户使用全过程。军品防护既要考虑军品自身理化性质,又要结合部队使用实际,还需满足勤务要求。文中在分析军品外包装防护影响因素的基础上,选取了9个军品防护包装等级分类指标,见表1。

表1 军品防护包装等级分类指标
Tab.1 Classification Index of military protective packaging levels

指标	符号	数据类型	取值方法
价格	C_1	客观	根据一定时期采购价格和市场同类产品价格
安全要求	C_2	主观	按从低到高依次评定为1~3
形状不规则度	C_3	客观	按照外包装箱体积与军品体积的比值
运输距离	C_4	客观	根据实际道路里程
周转次数	C_5	客观	根据统计数据
易损性	C_6	主观	按从低到高依次评定为1~3
存储时间	C_7	客观	根据保质期限、部队实际使用、轮换情况
净质量	C_8	客观	根据内装物实际质量
外包装体积	C_9	客观	根据内装物实际体积

价格 C_1 反映单元包装中军品自身的价值属性,一般而言,军品价格越高则其防护包装要求越高,其相应包装越好。安全要求 C_2 反映军品对于特殊安全防护的需求,尤其是部分易燃易爆及具有其他危害性的物品,须格外注意通过加强包装以提升防护性能,其结果由物资储运管理专业人员综合评定得到。形状不规则度 C_3 反映军品的形态是否便于放置在包装容器中,以及包装后其受力的均衡情况。运输距离 C_4 反映军品从生产到存储再到使用环节所需运输的距离长度。周转次数 C_5 反映军品从生产到部队使用全过程总的周转次数。易损性 C_6 反映军品自身是否容易损坏,是其精密性或脆弱性的体现,其数值由军品生产、储运、使用人员综合评定得到。存储时间 C_7 反映军品在部队仓库存放时间的长短。净质量 C_8 反映军品自身的质量,决定着外包装整体受力的大小。外包装体积 C_9 指军品体积的大小,对于包装材料的厚度等有着重要影响。

2 主要分析方法

由于文中所选取的军品防护包装等级分类指标并未针对特定环境和要求,故各指标之间的相对重要性差异不大,可等同视之。针对这一特点,采用主成分分析法^[4-5]抽取指标数据的主要信息,然后对主成

得分进行聚类分析,得到军品分类结果。

2.1 主成分分析法

主成分分析法是降维思想的体现,通过提取原有指标的主要信息,得到新的一组相互无关并涵盖原指标大部分信息的新指标^[6-7]。在主成分分析过程中,由于降维处理筛除了原有指标之间存在的信息重叠,减少了冗余信息的干扰,使数据间内部结构关系能够得到更为客观的体现^[8]。若军品防护包装等级分类指标数为 m 个,待分类军品为 n 种,则第 i 种军品的第 j 个指标值为 x_{ij} ,将 x_{ij} 通过 $(x_{ij}-\bar{x}_j)/s_j$ 进行标准化处理,记作 $\tilde{x}_{ij}$,标准化后的指标变量记为 $\tilde{C}_j$,其中 $\bar{x}_j$, s_j 分别表示第 j 个分类指标下的均值和标准差, $i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,m$ 。可由标准化矩阵得到每2个指标变量之间的相关系数,从而可得相关系数矩阵为:

$$R=(r_{ij})_{m \times m} \quad (1)$$

$$\text{式中: } r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \tilde{x}_{ki} \cdot \tilde{x}_{kj}}{(n-1)}, \quad i, j=1, 2, \dots, m。$$

对特征方程进行求解可得到相关系数矩阵 R 的 m 个特征值 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$,以及对应的特征向量 $u_1, u_2, \dots, u_m$,满足条件 $\|u_j\|=1$,即有 $\sum_{i=1}^m u_{ij}^2=1$,其中 $u_j=[u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{mj}]^T$, $i, j=1, 2, \dots, m$ 。由特征向量可得主成分载荷矩阵为:

$$L=(l_{ij})_{m \times m} \quad (2)$$

$$\text{式中: } l_{ij} = \sqrt{\lambda_j} \cdot u_{ij}, \quad i, j=1, 2, \dots, m。$$

将特征向量作为组合系数可得主成分表达式为:

$$y_j = u_{1j}\tilde{C}_1 + u_{2j}\tilde{C}_2 + \dots + u_{mj}\tilde{C}_m, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (3)$$

选取主成分 $p(p \leq m)$ 个,计算特征值 $\lambda_j(j=1, 2, \dots, m)$ 的信息贡献率和累计贡献率,则特征值对应主成分 y_j 的信息贡献率 $b_j = \lambda_j / \sum_{k=1}^m \lambda_k$ ($j=1, 2, \dots, m$),主成分 $y_1, y_2, \dots, y_p$ 的累计贡献率为 $T_p = \sum_{k=1}^p \lambda_k / \sum_{k=1}^m \lambda_k$,对于选定的前 p 个主成分,通常满足 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 1$ 或者 $85\% \leq T_p \leq 95\%$ 。将各主成分的信息贡献率作为权系数,结合以上确定的各参数,可建立综合评价函数:

$$Z = \sum_{j=1}^p b_j y_j \quad (4)$$

2.2 聚类分析法

聚类分析作为一种常用的多元统计方法,通过一定的规则对不同研究对象进行比较,将性质相似的归为一类^[9-10]。文中采用聚类分析中最为常见的系统聚

类方法，即先把各军品分别视为一类，通过计算各类之间的距离，将距离最小的两类进行合并，然后进一步计算，直到所有军品都合并为一类为止，再根据需要进行选择分类类别数^[11-12]。在各类之间距离的计算方法上文中采用离差平方和法，即 Ward 法，其主要思想为方差的分析，原理为同类间离差平方和小，异类间离差平方和大。通过 Ward 法聚类可使距离小的类易合并，距离大的类难合并，与实际分类需求一般较为吻合^[13]。

3 案例分析

结合前文军品防护包装等级分类指标，选取具有代表性的某型保温分餐台、陆空毛巾被、某陆士兵大檐帽、充气式野营床垫、某型防多波段侦察伪装遮障、食品安全快速检测箱、注射用某凝血酶、某型汽车发动机不解体清洗机、士兵物品柜、某号润滑脂等 10 种以瓦楞纸箱作为外包装的军品为研究对象，并依次标记为 $M_1, M_2 \cdots M_{10}$ 。各类军品对应分类指标的原始数据见表 2。

表 2 各军品原始评价信息
Tab.2 Original evaluation information of various military products

军品	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9
M_1	800	1	1.520	1000	2	2	5	80	0.474
M_2	1200	1	1.142	500	4	1	1	20.5	0.154
M_3	1450	1	1.623	600	4	1	1	8	0.264
M_4	2000	1	1.095	800	3	1	3	20	0.088
M_5	4000	1	1.942	800	2	1	3	47	0.326
M_6	6000	1	1.531	1500	2	3	2	13	0.082
M_7	12 000	2	1.014	1000	2	2	0.5	4	0.020
M_8	2000	1	1.427	1200	2	3	3	10	0.062
M_9	1500	1	1.025	200	3	2	4	80	1
M_{10}	5600	3	1.318	1300	3	2	1	5	0.006

3.1 主成分分析过程

将原始数据进行标准化处理和主成分分析，得到特征值和方差贡献率见表 3，载荷矩阵和特征向量见表 4，因子载荷见图 1。取特征值大于 1 的成分作为主成分进行降维，由表 3 可以看到，前 3 个主成分的特征值满足大于 1 的条件。由图 1 和表 4 可以看到，对于防护包装等级分类的 9 个指标中，在第 1 主成分上 C_4 ， C_5 和 C_7 的载荷较大。由于这 3 个指标与包装的存储和运输要求相关性较强，可将指标归类视作储运主成分，其中 C_4 ， C_5 与第 1 主成分呈负相关；在第 2 主成分上 C_3 ， C_8 和 C_9 的载荷较大，由于这 3 个指标主要反应包装对象自身的物理性质，可将指标归

类视作物理属性主成分，其中 C_9 与第 2 主成分呈负相关；在第 3 主成分上 C_1 ， C_2 和 C_6 的载荷较大，由于这 3 个指标反应了所包装物品的自身价值属性、危险性及脆弱性，对包装有格外的要求，可将指标归类视作重要性主成分，其中 C_6 与第 3 主成分呈负相关。

表 3 特征值和方差贡献率
Tab.3 Eigenvalue and variance contribution

成分	特征值	信息贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.859	42.873	42.873
2	2.558	28.427	71.300
3	1.125	12.506	83.806
4	0.584	6.492	90.298
5	0.442	4.907	95.204
6	0.363	4.030	99.234
7	0.045	0.501	99.736
8	0.023	0.260	99.996
9	0.000	0.004	100.000

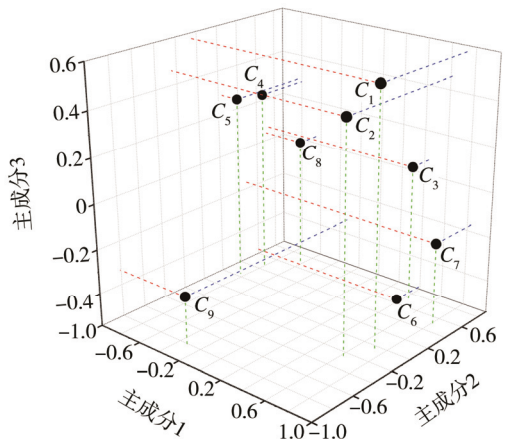


图 1 因子载荷
Fig.1 Factor loading

表 4 载荷矩阵和特征向量
Tab.4 Component matrix and characteristic vector

指标	l_{1j}	L_{2j}	L_{3j}	u_{1j}	u_{2j}	u_{3j}
C_1	0.735	-0.056	0.577	0.374	-0.035	0.544
C_2	0.619	-0.249	0.462	0.315	-0.156	0.435
C_3	0.437	0.711	0.067	0.223	0.444	0.063
C_4	-0.801	0.461	0.279	-0.408	0.288	0.263
C_5	-0.844	0.238	0.286	-0.429	0.149	0.269
C_6	0.418	0.591	-0.526	0.213	0.369	-0.496
C_7	0.837	0.472	-0.167	0.426	0.295	-0.158
C_8	-0.640	0.704	0.036	-0.326	0.440	0.034
C_9	-0.326	-0.807	-0.332	-0.166	-0.505	-0.313

由表 4 和式 (3) 得各主成分的表达式分别为：
 $y_1 = 0.374\tilde{C}_1 + 0.315\tilde{C}_2 + 0.223\tilde{C}_3 - 0.408\tilde{C}_4 - 0.429\tilde{C}_5 + 0.213\tilde{C}_6 + 0.426\tilde{C}_7 - 0.326\tilde{C}_8 - 0.166\tilde{C}_9$
(5)

$$y_2 = -0.035\tilde{C}_1 - 0.156\tilde{C}_2 + 0.444\tilde{C}_3 + 0.288\tilde{C}_4 + 0.149\tilde{C}_5 + 0.369\tilde{C}_6 + 0.295\tilde{C}_7 + 0.440\tilde{C}_8 - 0.505\tilde{C}_9 \quad (6)$$

$$y_3 = 0.544\tilde{C}_1 + 0.435\tilde{C}_2 + 0.063\tilde{C}_3 + 0.263\tilde{C}_4 + 0.269\tilde{C}_5 - 0.496\tilde{C}_6 - 0.158\tilde{C}_7 + 0.034\tilde{C}_8 - 0.313\tilde{C}_9 \quad (7)$$

由式(4)得各主成分综合得分表达式为:

$$Z = \sum_{j=1}^3 b_j y_j = \frac{\lambda_1}{\sum_{k=1}^6 \lambda_k} y_1 + \frac{\lambda_2}{\sum_{k=1}^6 \lambda_k} y_2 + \frac{\lambda_3}{\sum_{k=1}^6 \lambda_k} y_3 \quad (8)$$

由式(5—8)结合标准化后的原始评价信息得到各主成分的得分与综合得分见表5。

表5 主成分得分与综合得分

Tab.5 Principal component score and comprehensive score

军品	主成分1	主成分2	主成分3	Z
M_1	-1.640	0.091	2.277	-0.468
M_2	-0.996	-0.652	-2.354	-1.082
M_3	-0.528	-1.401	-1.802	-1.014
M_4	-0.719	-0.285	-0.970	-0.609
M_5	-0.694	0.124	0.548	-0.231
M_6	2.191	-0.958	1.983	1.092
M_7	2.389	2.049	-0.902	1.783
M_8	0.969	-0.751	1.507	0.466
M_9	-3.474	1.320	0.471	-1.259
M_{10}	2.501	0.463	-0.757	1.324

3.2 聚类分析和结果

借助 SPSS 软件,采用 Ward 系统聚类法对表5数据进行聚类分析,取平方 Euclidean 距离为量度标准,聚类数定为单一方案3,得到聚类树状图见图2,具体分类:Ⅰ类, M_2 , M_3 , M_4 ; Ⅱ类, M_1 , M_5 , M_9 ; Ⅲ类, M_6 , M_8 , M_7 , M_{10} 。

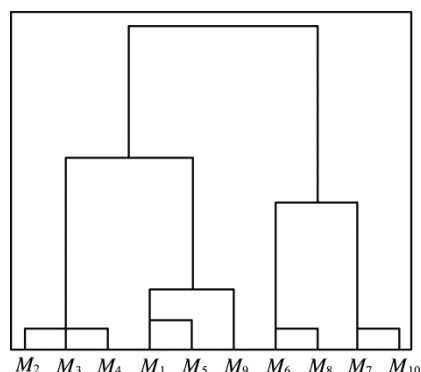


图2 聚类树状图

Fig.2 The clustering tree diagram

分析图2和聚类结果可得知,Ⅰ类军品的储运包装要求、物理属性包装要求及重要性包装要求都较低,其综合得分值较小,故该类军品的防护要求较低,

可将其定义为初级防护包装等级,对其选用比较基础和经济的防护包装方式;Ⅱ类军品的储运包装要求较低,物理属性包装要求和重要性包装要求都较高,而综合得分值一般,表明该类军品虽然从储运因素而言对于包装不需太多投入,但由于军品的物理性质和自身重要性要求,也需进行一定的加强防护,可将其定义为中级防护包装等级,适当增加防护包装技术的投入;Ⅲ类军品的储运包装要求较高,物理属性包装要求和重要性包装要求一般,使得综合得分较高,表明该类军品一方面要格外重视储运环节对于军品防护包装的要求,另一方面要兼顾军品性质,注意保证防护包装的可靠性和全面性,可将其定义为高级防护包装等级。

4 结语

通过选取军品防护包装等级分类指标,结合部分统计数据和专家评定数据对10种具有代表性的军品进行了防护包装等级分类研究。采用主成分分析法对分类指标进行了降维处理,得到了其中精简后具有代表性的3个新指标,然后根据各种军品在这3个新指标上的得分情况进行了聚类分析,得到了分类结果。结果表明通过聚类分析能够较好地地区分不同军品防护包装要求的差异,对结合不同军品特征和部队使用实际,有针对性提升防护包装性能和效益提供一定的参考。同时,由于研究样本和数据的限制,文中对于防护包装等级的划分较少,在后续研究中可拓展研究范围,进一步细化分类结果。

参考文献:

- [1] 赵吉敏,刘小平,陈文阁,等.军品包装标准体系构建研究[J].包装工程,2011,32(23):66—72.
ZHAO Ji-min, LIU Xiao-ping, CHEN Wen-ge, et al. Research on Construction of Military Packaging Standard System[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(23): 66—72.
- [2] 杜金会,张娜,徐筠.军用危险品包装安全性研究[J].军事交通学院学报,2017,19(3):57—60.
DU Jin-hui, ZHANG Na, XU Yun. Packaging Security of Military Dangerous Goods[J]. Journal of Military Transportation University, 2017, 19(3): 57—60.
- [3] 朱金禄.危险品及其包装分类[J].上海包装,2005(5):44—45.
ZHU Jin-lu. Dangerous Article and Its Package Classification[J]. Shanghai Packaging, 2005(5): 44—45.
- [4] BRO R, SMILDE A K. Principal Component Analysis[J]. Analytical Methods, 2014, 6(9): 2812—2831.
- [5] ABDI H, WILLIAMS L J. Principal Component Analysis[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Computational Statistics, 2010, 2(4):433—459.

- [6] 王亚, 周孟然, 闫鹏程, 等. PCA-BP 模型在判别基于 LIF 技术煤矿突水水源的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(3): 978—983.
WANG Ya, ZHOU Meng-ran, YAN Peng-cheng, et al. Identification of Coalmine Water Inrush Source with PCA-BP Model Based on Laser-Induced Fluorescence Technology[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(3): 978—983.
- [7] 曹炳汝, 樊颜青. 基于 DEA 与主成分分析的绿色农产品供应链绩效评价研究[J]. 科技管理研究, 2017, 37(6): 72—77.
CAO Bing-ru, FAN Yan-qing. Research on Performance Evaluation of the Green Agricultural Products Supply Chain Based on DEA and Principal Component Analysis[J]. Science and Technology Management Research, 2017, 37(6): 72—77.
- [8] 郭崇慧, 张亮. 基于 PCA 的复杂网络社区结构分析方法[J]. 运筹与管理, 2008, 17(6): 144—149.
GUO Cong-hui, ZHANG Liang. An Analysis Method Based on PCA for the Community Structure in Complex Networks[J]. Operations Research & Management Science, 2008, 17(6): 144—149.
- [9] 杨涛, 杨育, 张雪峰, 等. 基于客户聚类分析的产品概念设计方案评价决策方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(7): 1669—1678.
YANG Tao, YANG Yu, ZHANG Xue-feng, et al. Schemes Evaluation and Decision Methods of Product Conceptual Design Based on Customer Clustering Analysis[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2015, 21(7): 1669—1678.
- [10] 骆方, 刘红云, 黄昆.SPSS 数据统计与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011: 89—97.
LUO Fang, LIU Hong-yun, HUANG Kun. SPSS Data Statistics and Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011: 89—97.
- [11] 奥布力·塔力普, 汪慧玲, 阿里木江·卡斯木. 基于系统聚类分析的西部地区环境污染程度评价[J]. 冰川冻土, 2015, 37(1): 266—270.
AONULI Talipu, WANG Hui-lin, ALIMUJIANG Kasimu. The Environmental Pollution Degree in West China Assessed by Hierarchical Cluster Analysis[J]. Journal of Glaciology & Geocryology, 2015, 37(1): 266—270.
- [12] 纪雯, 王建辉, 顾树生, 等. 基于系统聚类的自动知识获取方法[J]. 控制工程, 2016, 23(10): 1527—1532.
JI Wen, WANG Jian-hui, GU Shu-sheng, et al. Automatic Knowledge Acquisition Approach Based on Hierarchical Clustering[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(10): 1527—1532.
- [13] 项晓敏, 金晓斌, 杜心栋, 等. 基于 Ward 系统聚类的中国农用地整治实施状况分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 257—265.
XIANG Xiao-min, JIN Xiao-bin, DU Xin-dong, et al. Analysis of Farmland Consolidation Implementation Status in China Based on Ward Hierarchical Clustering[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(6): 257—265.