

基于费效分析的航材封存方式选择

倪彬¹, 郭军¹, 崔崇立¹, 徐常凯¹, 刘素勇²

(1.空军勤务学院, 徐州 221000; 2.陆军航空兵学院, 北京 101123)

摘要: **目的** 利用费效分析对不同类型航材的封存包装方式进行评估。**方法** 针对不同类型的航材, 利用灰色层次分析法计算不同封存方法的效能指标, 将封存包装费用分解, 利用数据拟合方式分别得到不同类型费用的曲线, 通过效能-费用比确定不同类型航材的最佳封存方式。**结果** 封存的效能-费用比与航材体积相关性较强。对体积较小的金属类航材, 气相封存的效能-费用比最高, 特别是航材的价值也较小时, 气相封存的优势明显; 体积大于 1500 cm³ 的金属类航材, 综合封存方式效能-费用比最高; 对于机载设备类的航材, 综合封存的效能-费用比始终高于干燥空气封存。**结论** 价值和体积都较小的金属类航材应选择气相封存, 其余金属类航材和全部机载设备应当选择综合封存方式。

关键词: 航材; 封存方法; 费效分析; 灰色层次分析法

中图分类号: TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0026-05

Selection of Preservation Methods for Aviation Materials Based on Cost-effectiveness Analysis

NI Bin¹, GUO Jun¹, CUI Chong-li¹, XU Chang-kai¹, LIU Su-yong²

(1. Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China;

2. Army Aviation Institute of the Chinese PLA, Beijing 101123, China)

ABSTRACT: The work aims to evaluate the preservation methods for different types of aviation materials based on cost-effectiveness analysis. With respect to different types of aviation materials, the grey AHP was used to calculate the efficiency indexes of preservation methods. The preservation cost was decomposed and the curves of different types of costs by the data fitting method were obtained. By means of effectiveness-cost ratio, the best preservation methods for different types of aviation materials were determined. There was a strong correlation between effectiveness-cost ratio and volume of aviation materials. For the smaller metal aviation materials, the effectiveness-cost ratio of vapor phase preservation was the highest. Especially, when the value of the aviation materials was also small, the advantages of vapor phase preservation were obvious. When the volume of metal aviation materials was larger than 1500 cm³, the effectiveness-cost ratio of comprehensive preservation method was the highest. For the aviation materials of airborne equipment, the effectiveness-cost ratio of comprehensive preservation was always higher than dry air preservation. Metal aviation materials with small value and size should choose vapor phase preservation. Other metal aviation materials and all airborne equipment should choose comprehensive preservation.

KEY WORDS: aviation materials; preservation method; cost-effectiveness analysis; grey AHP

航材封存包装是航材供应保障的关键环节, 其质量和效果对航材性能以及保障工作的效率和效益产生直接影响。当前, 航材封存包装方法多样, 在基本满足训练作战需要的前提下, 有待进一步评估各类航

材封存包装方法的综合费效比, 以提高航材封存包装的军事和经济效益。

武器装备费用效能评估源于美军, 包含装备系统的各种因素, 与装备的可靠性、维修性和保障性关系

收稿日期: 2017-09-22

作者简介: 倪彬 (1985—), 男, 空军勤务学院助教, 主要研究方向为装备管理。

密切^[1-5]。我国在 20 世纪 80 年代以后陆续颁布了一系列装备可靠性、维修性的标准,包括专门讲述费效分析的 GJB 1364—1992《装备费用-效能分析》,为我军装备费用效能评估确立了一个基本框架。我军装备费用效能评估研究大都限于各类武器装备的作战效能^[6-10]和备件库存优化^[11-14],关于封存包装的费用效能评估研究很少。随着航空武器装备的跨越式发展,部队日常保障的航材种类越来越多,也越来越复杂,特别是部队新近列装的战机航材,对封存包装提出了更为严格的要求,亟需建立一种有效的封存费效评估方法。

1 航材封存方法适用范围

封存工作主要通过改变航材的外围介质成分和隔绝航材的外围物质,保障航材在储存和运输过程中不受腐蚀。另外,封存包装在一定程度上减轻了航材在储存、发放和运输过程中的磕碰,使航材便于发放和管理。我军现有航材封存方法主要有内部油封、外部油封、干燥空气封存、气相封存、除氧封存和综合封存。其中,综合封存是利用石蜡纸、牛皮纸和高阻透的塑料薄膜对航材进行逐层包装,并在其中添加适量的干燥剂、除氧剂以及指示卡片,是目前我军广泛应用的一种航材封存方式。

根据航材的结构特点、工作原理等因素,不同类型的航材需要选择不同的封存方法。内腔中有活动部件的燃油、滑油、液压系统航材只能选择内部油封,纯橡胶类的密封胶圈、胶垫等航材只能选择除氧封存方式。这两类航材只能采用一种封存方法,不具备费效分析对比的价值。无内腔的金属类航材,可以采用气相封存、外部油封和综合封存;机载设备类的航材,可以采用干燥空气封存和综合封存。金属类航材和机载设备航材能够采用 2 种以上的封存方式,这里以这两类航材为牵引,对封存方式的费用和效能进行评估,发现存在的薄弱环节,明确不同封存方式的优劣。

2 航材封存费用-效能分析方法

航材封存的费用-效能分析,将首先从所提供的备选方案能产生的效能和付出的费用这 2 个方面分别评估,然后进行整体的权衡比较,从而为决策提供辅助和支持。

2.1 航材封存效能分析

这里使用层次分析法与灰色理论相结合的灰色多层次分析法来评估航材封存的效能。针对航材封存的具体特点和实际情况,主要从防护性、保障性和环保性这 3 个方面考虑建立航材封存的效能指标,见图 1。

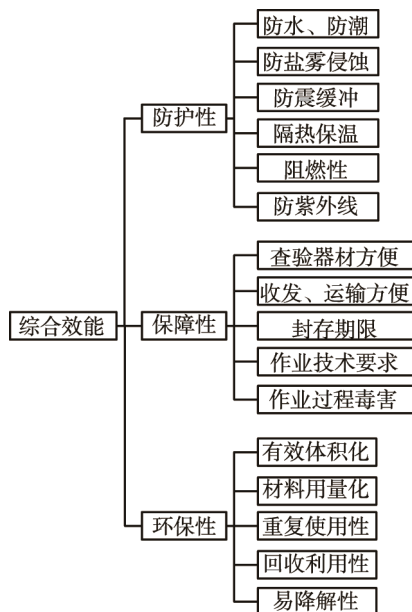


图 1 航材封存效能评估指标体系

Fig.1 Aviation materials preservation efficiency evaluation index system

采用层次分析法来确定航材封存效能评估指标体系的权重,以反映各项指标对于综合评估结果的不同影响。选择性能相对较好的指数 ($9^{0/9} \sim 9^{8/9}$) 标度法^[15]来进行精确的权重计算。根据专家对各项指标权重的打分,两两比较建立判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$, a_{ij} 表示指标权重的比较结果。 A 是一个正互反阵,其中 $a_{ij} \geq 0$, $a_{ij} = -a_{ji}$, $a_{ii} = 1$ 。

判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 各行相乘得:

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$$

判断矩阵该行对应的指标权重为:

$$W_i = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

式中: $T_i = \sqrt[n]{M_i}$ 。

根据已建立的航材封存包装效能指标体系,由专家按照优秀、良好、一般、合格和较差 5 个等级对每种封存方法进行评分。每位专家的评分结果构成评估指标值矩阵:

$$D_c = (d_{jc})$$

式中: d_{jc} 为专家根据效能评估指标体系对封存方法的评分,其中 i 和 j 表示被评估的一级指标和二级指标, c 是评估者的序号 ($c=1, 2, \dots, P$)。

对应航材封存包装效能评估等级构造五类白化权函数 $f_e(d_{jc})$,把灰色评估权记作 r_{ije} ,则有:

$$r_{ije} = \frac{\sum_{c=1}^P f_e(d_{jc})}{\sum_{c=1}^P \sum_{j=1}^P f_e(d_{jc})}$$

指标 X_{ij} 属于各个灰类的灰色评估权向量 r_{ij} 为:

$$r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, r_{ij3}, r_{ij4}, r_{ij5})$$

综合各指标 X_{ij} 的灰色评估权向量, 就得到二级指标 X_i 的灰色评估权矩阵 $R_i = [r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}]^T$ 。

指标 X_i 的评估结果矩阵 $B_i = W_i R_i$ 。同样的方法计算出各一级指标的评估结果 B 。

2.2 航材封存费用分析

根据我军航材封存维护工作流程, 虽然能够建立封存费用的分解结构, 但是要计算单个航材的封存费用还比较困难。包装材料费、油品费和制剂费要根据航材体积大小来确定; 水电费要综合考虑封存方法、航材体积质量等影响及消防用水电费、个人卫生清洁用水电费等; 设备维护费用由小型工具设备购置、补充工具配备数量、单价和使用年限决定, 可认为每件航材封存消耗的水电费和设备维护费近似相等; 培训费和其他费用也无法准确量化到具体航材中, 通常技术要求较高的航材占用的培训费用和其他费用较高, 可以认为培训费用和其他费用与航材的单价相关。

通过上述分析可以将航材封存费用分为3类: 材料费用, 与航材的体积相关; 设备费用, 与航材的个数相关, 被封存的航材要均摊设备费用; 辅助费用, 航材封存的辅助费用与航材的单价相关。具体的分类见图2。

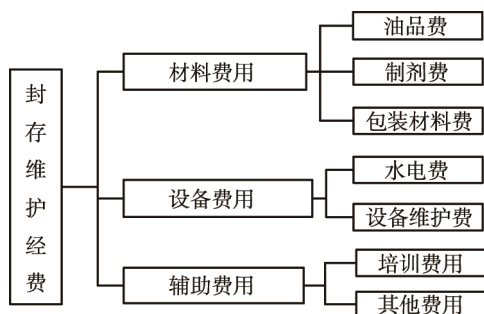


图2 封存维护费用分类

Fig.2 Decomposition of preservation maintenance cost

这里通过对部队大量战储航材封存费用的统计和分析, 利用最小二乘法建立封存材料费用与航材体积的关系式, 拟合封存辅助费用与航材单价之间的关系式, 并计算不同封存方法的航材封存设备费用, 以此评估不同封存方法的费用, 进而对不同封存方法的费效比进行评价。

3 航材封存费用-效能评估结果

3.1 航材封存效能评估结果

依据航材封存效能评估指标体系, 邀请了5位在

部队一线工作的专家, 给出了效能指标的两两判断矩阵, 并对航材封存的各个指标进行了评分。金属类航材的量化效能评估结果中, 外部油封、气相封存、综合封存的量化评估结果分别为7.124, 7.528, 7.496。对于金属航材, 气相封存方式的综合评价结果最好, 综合封存的评价结果比气相封存稍差, 外部油封评价结果最差。综合封存方式的防护性略强于气相封存, 但是保障性和环保性的评分低于气相封存, 外部油封方式的防护性、保障性和环保性均低于另外2种封存方式。

机载设备类航材的效能量化评估结果中, 干燥空气封存和综合封存的量化评估结果分别为7.422, 7.548。在综合评分方面, 综合封存比干燥空气封存高; 在防护性方面, 综合封存评分高于干燥空气封存; 在保障性方面, 干燥空气封存和综合封存的评分基本一致; 在环保性方面, 干燥空气封存的评分略高一些。

3.2 航材封存包装费用评估结果

通过对部队战储航材的封存费用数据进行统计分析, 建立3种费用的数学模型。航材封存的材料费用与航材的体积相关性强。去除统计数据中尺寸特别大和特别小的航材, 选取中间具有代表性的航材, 利用最小二乘法, 计算不同封存方法的平均材料费用与航材体积之间的关系式, 结果见图3。

干燥空气封存的材料费用与航材体积的关系为:

$$y_{\text{材料_干燥空气}} = 0.1415x + 80.73 \quad (1)$$

气相封存的材料费用与航材体积的关系为:

$$y_{\text{材料_气相}} = 0.1842x + 74.06 \quad (2)$$

外部油封的材料费用与航材体积的关系为:

$$y_{\text{材料_外部}} = 0.2034x + 80.84 \quad (3)$$

综合封存的材料费用与航材体积的关系为:

$$y_{\text{材料_综合}} = 0.1361x + 88.24 \quad (4)$$

航材封存的设备费用与航材的封存数量相关性强, 封存设备费用均摊到每件航材上。根据对战储航材封存费用的统计分析, 针对每种封存方法, 对航材封存设备费用进行平均, 干燥空气封存、综合封存、气相封存、外部油封的平均设备费用分别为75.1, 68.26, 65.32, 69.24元。

在评估航材封存辅助费用时, 不考虑封存方法, 根据统计分析数据拟合航材封存辅助费用与航材单价之间的关系式。通过数据统计可以看出封存辅助费用与航材单价之间的关系近似于指数函数, 利用指数函数进行拟合, 结果见图4。

封存辅助费用与航材价值之间的关系为:

$$y_{\text{辅助}} = 18.99u^{0.1748} \quad (5)$$

式中: u 为航材的单价; $y_{\text{辅助}}$ 为航材封存的辅助费用(元)。

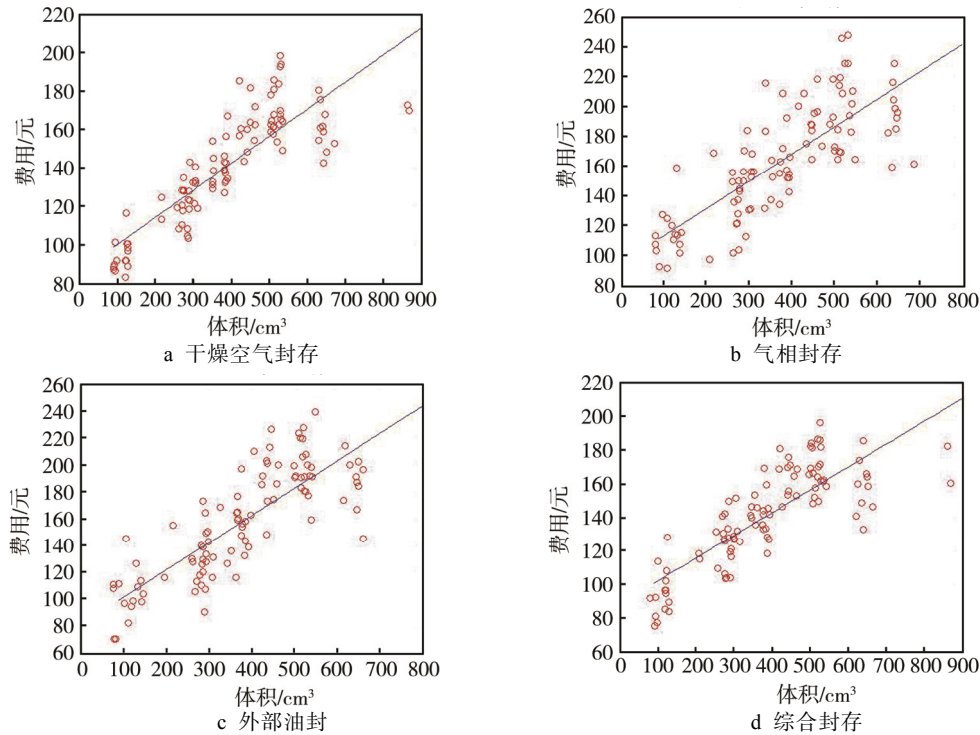


图 3 封存材料费用拟合
Fig.3 Preservation material cost fitting

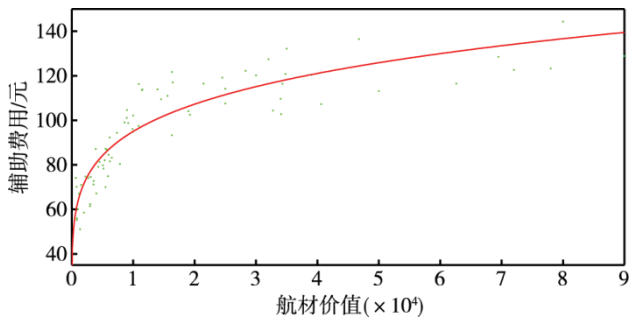


图 4 封存辅助费用拟合
Fig.4 Auxiliary preservation cost fitting

3.3 航材封存效能-费用评估结果

采用封存效能指标与费用指标进行对比的方式来确定航材封存方法的效能-费用比。由于航材封存费用与航材的体积和价值都相关,这里利用三维曲面图分析效能-费用比与航材体积和价值的关系。金属类航材封存的效能-费用评估结果见图 5,评估的范围为航材体积从 50 到 10 000 cm³,航材的价值在 500 元到 100 万元,覆盖了大部分金属类航材。

由图 5 可以看出,金属类航材封存的效能-费用比与航材的体积相关性较强,随着体积的增大快速下降。在航材价值较低的情况下,效能-费用比随价值的增加快速下降,航材价值大于 20 万元,效能-费用比随价值的增大下降缓慢。外部油封方式的效能-费用比都是最低的,在航材体积较小的情况下,气相封存方式的效能-费用比最高,尤其是航材价值也较小的情况下,气相封存方式的优势明显。随着航材体积

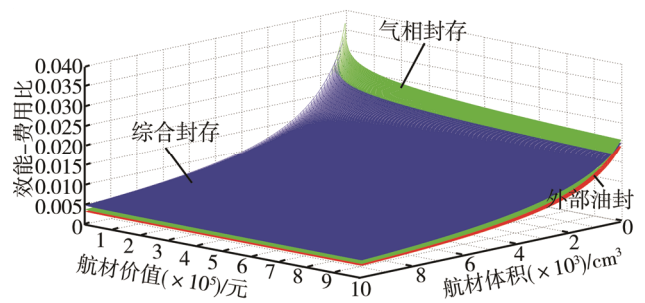


图 5 金属类航材不同封存方式的效能-费用比
Fig.5 Effectiveness-cost ratio of different preservation methods for metal aviation materials

和价值的增大,综合封存方式的效能-费用比快速增加,在航材的体积大于 1500 cm³ 的情况下,无论航材价值多少,综合封存方式的效能-费用比最大。

机载设备类航材不同封存方式效能-费用评估结果见图 6,评估的航材体积和价值范围与金属类航材一致。机载设备类航材封存的效能-费用比与航材体

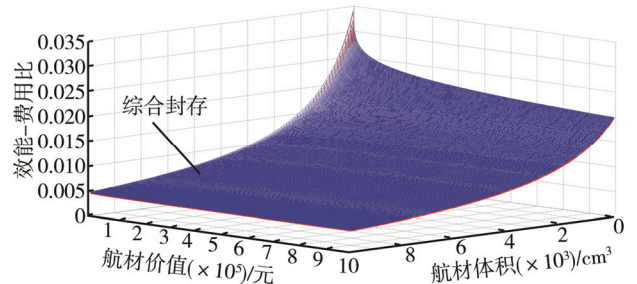


图 6 机载设备类航材不同封存方式的效能-费用比
Fig.6 Effectiveness-cost ratio of different preservation methods for aviation materials of airborne equipment

积、价值的关系和金属类航材类似,与体积的相关性较强,随着体积和价值的增大而减小。在评估的范围内,综合封存方式的效能-费用比始终高于干燥空气封存。

4 结语

对于体积较小的金属类航材,应当采用气相封存方式,特别是航材价值同时也较小的情况,气相封存的优势比较明显。对于大部分金属类航材,体积通常大于 1500 cm^3 ,综合封存方式是最优的选择。对于机载设备类的航材,无论体积和价值大小,综合封存方式都优于干燥空气封存。对于航材保障中的大部分航材,综合封存方式是最佳选择。

参考文献:

- [1] 金国斌. 现代包装技术[M]. 北京: 上海大学出版社, 2001.
JIN Guo-bin. Modern Packaging Technology[M]. Beijing: Shanghai University Publishing House, 2001.
- [2] 陈愚, 蔡建, 罗俊杰. 当前军用包装防锈蚀技术现状[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 81—83.
CHEN Yu, CAI Jian, LUO Jun-jie. The Current State of Antirust Technology for Armament Packaging[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 81—83.
- [3] 唐艳秋, 张建伟, 王福成. 防锈防护组合技术在装备器材防锈封存中的应用[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 117—122.
TANG Yan-qiu, ZHANG Jian-wei, WANG Fu-cheng. Application of the Rust Protection Combination Technology in the Equipment Preservation[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 117—122.
- [4] 李子繁, 孙红旗, 郭宝华. 综合防护包装技术在武器装备中的应用[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 59—61.
LI Zi-fan, SUN Hong-qi, GUO Bao-hua. Application of Integrated Protection Packaging Technology in Ordnance[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(10): 59—61.
- [5] 周克兵, 梁志杰, 孟令东, 等. 军用器材新型封存材料应用研究[J]. 中国表面工程, 2006, 19(5): 250—253.
ZHOU Ke-bing, LIANG Zhi-jie, MENG Ling-dong, et al. A Study on New Sealing-up Materials for Military Equipments[J]. China Surface Engineering, 2006, 19(5): 250—253.
- [6] 郭齐胜. 装备效能评估概论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
GUO Qi-sheng. Introduction to Equipment Effectiveness Evaluation[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005.
- [7] 刘海燕, 史志富. 导弹武器系统作战效能的灰色评估[J]. 航空兵器, 2005(3): 11—14.
LIU Hai-yan, SHI Zhi-fu. Performance Evaluation of Missile Weapon System with Grey Evaluation[J]. Aero Weapon, 2005(3): 11—14.
- [8] 罗来科, 蒋宝唐, 宣益民. 主战坦克作战效能分析与模糊综合评价[J]. 火力与指挥控制, 2003, 28(3): 39—41.
LUO Lai-ke, JIANG Bao-tang, XUAN Yi-min. The Efficiency Analysis of the Main Battle Tank and Its Fuzzy Synthetic Evaluation[J]. Fire Control & Command Control, 2003, 28(3): 39—41.
- [9] 郭继周, 郭波, 张涛, 等. 地空导弹维修保障能力评估与备件优化模型[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(3): 9—12.
GUO Ji-zhou, GUO Bo, ZHANG Tao, et al. Research on the Model of Maintenance Support Capability Assessment and Spare Parts Optimization for Ground to Air Missile[J]. Fire Control & Command Control, 2008, 33(3): 9—12.
- [10] 金振中, 贾旭山. 武器装备作战效能的评估方法[J]. 战术导弹技术, 2007, 21(1): 20—26.
JIN Zhen-zhong, JIA Xu-shan. The Evaluation Method of Operational Effectiveness of Weapon Equipment[J]. Tactical Missile Technology, 2007, 21(1): 20—26.
- [11] ZHAO Jian-zhong, LI Hai-jun, YE Wen, et al. Optimization Configuration Modeling of Spare Parts under Constraint of Improved System Spare Part Fill Rate[J]. Acta Armamentarii, 2013, 34 (9): 1187—1192.
- [12] WANG Zheng-yuan, CAO Ji-ping, ZHU Yu, et al. An Optimization Model of Wartime Spare Parts Resource Allocation on Consideration of Maintainability[J]. Acta Armamentarii, 2014, 35(5): 719—724.
- [13] 陈士涛, 杨建军, 张森. 地空导弹装备备件资源优化配置模型研究[J]. 战术导弹技术, 2010, 31(5): 62—66.
CHEN Shi-tao, YANG Jian-jun, ZHANG Sen. Research on Optimization Allocation Model of the Spare Parts Resource of the Surface-to-air Missile Weapon System[J]. Tactical Missile Technology, 2010, 31(5): 62—66.
- [14] 刘喜春, 郑华, 仲辉. 备件配置优化问题研究[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(10): 1934—1937.
LIU Xi-chun, ZHENG Hua, ZHONG Hui. Research on Optimizing Spare Parts Support[J]. Systems Engineering and Electronics, 2008, 30(10): 1934—1937.
- [15] 骆正清, 杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(9): 51—60.
LUO Zheng-qing, YANG Shan-lin. Comparative Study on Several Scales in AHP[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2004, 24(9): 51—60.