

doi: 10.7690/bgzdh.2020.11.013

基于层次分析法的装备采购技术创新评价

张 祥, 刘陆洋, 王中亨

(陆军勤务学院国防经济系, 重庆 401311)

摘要: 为解决我军现行装备采购定价未考虑技术含量差异而采用统一的定价模式, 采用层次分析法对装备采购中技术创新程度评价进行研究。建立装备采购技术创新度评价指标体系与评判标准, 计算装备采购技术创新度评价指标的权重, 运用德尔菲法邀请专家打分, 并以某型号直升机采购为例对构建的评价指标体系进行验证。结果表明, 该方法与专家定性结果一致。

关键词: 层次分析法; 装备采购; 技术创新度评价

中图分类号: TJ0 **文献标志码:** A

Technical Innovation Evaluation of Equipment Procurement Based on AHP

Zhang Xiang, Liu Luyang, Wang Zhongheng

(Department of Defense Economics, Army Logistics University of PLA, Chongqing 401311, China)

Abstract: In order to solve the problem that the current equipment purchase price does not consider the difference of technology content, a unified pricing model is adopted. Use AHP to analyze innovation degree in equipment purchase. Establish the evaluation index system and criterion of technical innovation degree of equipment purchase, calculate the weight of evaluation index of technical innovation degree of equipment purchase, use Delphi method to invite experts to score, and take certain type helicopter purchase as an example to verify the evaluation index system constructed. The results show that the method is consistent with the expert qualitative results.

Keywords: AHP; procurement of equipment; evaluation of technological innovation

0 引言

我军现行装备采购定价只注重有形资产的确认, 忽视无形资产的评价, 缺乏对知识创新、技术创新、管理创新等复杂劳动的考核和重视, 导致各类武器装备采购时不考虑技术含量差异而采用统一的定价模式, 不利于装备的可持续发展和技术创新^[1]; 因此, 我军急需建立技术创新程度的评判标准。

1 建立评价指标体系与评判标准

装备采购技术创新度评价指标体系是由若干个反映装备采购技术创新程度的相对独立又相互联系的评价指标所组成的有机整体, 装备采购具有技术要求高、生产工艺复杂和研制生产周期长等特点^[2], 所以装备采购技术创新度评价的指标选取要全面反映项目的技术创新。

1.1 确定技术创新度评价指标体系的构建原则

指标体系的构建是对评价对象特征的认识逐步深化、逐步细化分解的过程, 选取合适的指标是构建指标体系的基础^[3]。武器装备是具有特殊性的商

品, 即非完全市场化的商品^[4], 所以构建其技术创新度评价体系与其他商品有所不同。在构建该指标体系时还应遵循以下原则: 1) 目的性原则。目的性原则是设计装备采购技术创新度指标体系的出发点和根本, 筛选的指标是最为重要、具有代表性的评价指标, 构建指标体系看它是否满足评价目的。2) 科学性原则。科学性贯穿于装备采购技术创新评价指标体系构建的每个环节中, 具体体现在指标的选择上, 运用专家调查法和文献调研法来进行指标的选择和指标体系的构建, 评价指标体系必须具有科学性才能具有实践意义。3) 适用性原则。评价数据要易采集, 设置的指标应具有容易获取的特点, 同时尽可能使用规范化的定量指标, 能够有效测度或统计, 为采用定量评价方法奠定基础^[5]。

1.2 构建基于层次分析法评价指标体系

依据武器装备采购技术创新评价指标体系建立的原则, 结合武器装备特有属性和借鉴相关文献的意见, 通过对 20 名专家问卷调查, 最终得出从理论创新、产品创新、工艺创新、管理创新 4 大维度作为一级指标, 一级指标下面包括 14 项二级指标评价

收稿日期: 2020-06-21; 修回日期: 2020-07-19

作者简介: 张 祥(1974—), 男, 四川人, 博士, 副教授, 从事军事经济学研究。E-mail: 704789551@qq.com。

装备采购项目技术创新程度的总体情况^[6-11]。装备 采购技术创新度评价体系如表 1 所示。

表 1 装备采购技术创新评价指标体系 C

目标层	第 1 层指标	第 2 层指标	具体内容
技术创新评价 指标体系 C	理论创新 C ₁	专利获准数 C ₁₁	采购项目专利申请获得的数目
		科技论文发表数 C ₁₂	该采购项目发表论文数目及发表的刊物级别
		获得科技奖项数 C ₁₃	获得国家级或省部级科技奖项等级和数目
		科技项目数 C ₁₄	获得国家级或省部级基金项目数
	产品创新 C ₂	新产品质量提高程度 C ₂₁	产品质量稳定性、可靠性和维护性提高程度
		新产品性能提高比重 C ₂₂	产品性能指标提高程度
		新产品占总销售比重 C ₂₃	新产品销售收入占全部销售产品收入比重
		创新的类型 C ₂₄	自主、引入、联合或模仿
	工艺创新 C ₃	新增设备支出所占比 C ₃₁	新增设备支出占总收入比重
		生产工艺流程精简比 C ₃₂	计算机辅助设计对比过去工艺精简程度
		工人生产效率提高比 C ₃₃	对比合同提前交货时间比重
	管理创新 C ₄	研发人员占比率 C ₄₁	研发人员占总员工比例
研发费用占比率 C ₄₂		产品研发费用占总成本比例	
生产失误下降率 C ₄₃		产品废品率和不合格率降低幅度	

1.3 构建技术创新各评价指标的评判标准

根据笔者构建的技术创新体系指标，通过对二级指标按照 100 分制的量化评判，得出各评价指标的评判标准^[12]。

理论创新是指反应装备采购项目应用新的技术

原理、新的创意构思和率先在国内外提出新的技术标准等新理论创新。它有 4 项二级指标，以考察理论创新度情况，包括获得专利数、论文发表数、科技获奖项数和科技项目数^[9]。具体评分标准如表 2。

表 2 装备采购理论创新指标评分标准

评分标准	专利技术创新程度	论文发表数	科技获奖项数	科技项目数
>80~100	专利实力 90 分以上	世界级核心期刊 SCI(ELISTP)	国家级一等奖	国家或军内 20 项以上
>60~80	专利实力 >75~90 分	南大核心 (CSCCI) 和北大核心	国家级二等奖	国家或军内 >10~20 项以上
>40~60	专利实力 >60~75 分	中国科学引文数据库 CSCD 和军队核心期刊	军内一等奖	国家或军内 >5~10 项以上
>20~40	专利实力 >40~60 分	国家一级期刊 A 类	军内二等奖	国家或军内 1~5 项以上
0~20	专利实力 40 分以下	国家一级期刊 B 类	省部级奖项及军内三等奖	省部级项目

产品创新是新产品生产过程中所有的创新活动。新产品是指采用新技术原理、新设计构思，研制的全新产品，显著提高产品性能或扩大了使用功能的改进型产品^[13]。它共有 4 项二级指标，考察具体产品技术创新度情况，质量提高程度、作战性能提高程度、国际市场占有率和技术创新类型。具体评分标准如表 3。

表 3 装备采购产品创新指标评分标准

评分标准	新产品质量提高程度	新产品性能提高程度/%	新产品占总销售比重/%	创新类型
>80~100	国际领先	80 以上	80 以上	自主
>60~80	国内领先	>60~80	>60~80	联合
>40~60	国内先进	>40~60	>40~60	引进
>20~40	军内领先	>20~40	>20~40	模仿
0~20	军内先进	0~20	0~20	无创新

工艺创新指以提高生产效率为目的，采用所有新工艺方法^[9]。它共有 3 项二级指标，考察具体工艺技术创新度情况，包括新增设备支出所占比、生产工艺流程精简比和工人生产效率提高比。具体评

分标准如表 4。

表 4 装备采购工艺创新指标评分标准 %

评分标准	新增设备支出所占比	生产工艺流程精简比	工人生产效率提高比
>80~100	50 以上	80 以上	80 以上
>60~80	>40~50	>60~80	>60~80
>40~60	>30~40	>40~60	>40~60
>20~40	>20~30	>20~40	>20~40
0~20	0~20	0~20	0~20

管理创新是指运用先进的管理方法和组织方法提高生产效率的创新^[14]。它共有 3 项二级指标，考察具体技术管理创新度情况，包括研发人员占比率、研发费用占比率和生产失误下降率。具体评分标准如表 5。

表 5 装备采购管理创新指标评分标准 %

评分标准	研发人员占比率	研发费用占比率	生产失误下降率
>80~100	50 以上	20 以上	80 以上
>60~80	>40~50	>15~20	>60~80
>40~60	>30~40	>10~15	>40~60
>20~40	>20~30	>5~10	>20~40
0~20	0~20	0~5	0~20

2 计算装备采购技术创新度评价指标权重

2.1 构建技术创新度评价指标判断矩阵

层次分析法首先是对评价目标进行层次化的处理。文中的层次分析结构即为笔者构建的装备

采购技术创新评价指标体系。在建立层次分析结构的基础上，利用定性的语义描述转换为定量的比值，构建两两比较的判断矩阵，各评价指标的比较借鉴托马斯·塞蒂的 1~9 标度方法^[1]如表 6 所示。

表 6 语义定量衡量比较程度的标准

A 与 B 比较定性描述	A 等于 B	A 稍强于 B	A 强于 B	A 很强于 B	A 明显强于 B	A 明显弱于 B	A 很弱于 B	A 弱于 B	A 稍弱于 B
A 与 B 比较量化比值	1	3	5	7	9	1/9	1/7	1/5	1/3

注：2、4、6、8、1/2、1/4、1/6、1/8 分别介于相应两相邻的中间值。

两两比较构造的矩阵^[5]如下：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} = (a_{ij})_{n \times n} \quad (1)$$

式中： a_{ij} 为指标 a_i 与指标 a_j 相比的值； n 为对比指标的个数。

2.2 明确计算权重与一致性检验的方法

层次分析法中核心内容是求得评价指标权重。笔者采用和积法求解矩阵最大特征根和特征向量。

1) 最大特征根的求解。将判断矩阵中的每一列元素相加求和，然后用每一列中的元素除以这一列的和，将矩阵元素转化为同一数量级，得到公式^[5]为：

$$\bar{a}_{ij} = a_{ij} / \sum_{k=1}^n a_{kj}, \quad (j=1,2,3,4,\dots,n) \quad (2)$$

式中 \bar{a}_{ij} 为归一化后矩阵中的元素。

利用和积法将每一行的元素相加，然后除以相比元素的个数，再一次进行归一化的转化，得到权

重向量，如式(3)和式(4)所示：

$$\bar{w}_i = \sum_j^n \bar{a}_{ij}, \quad (j=1,2,3,\dots,n) \quad (3)$$

式中 \bar{w}_i 为按行求和后的元素值。

$$w_i = \bar{w}_i / n \quad (4)$$

式中 w_i 为权重向量值。

利用式(5)计算最大特征根^[5]如下：

$$\lambda_{\max} = \sum_i^n ((Aw)_i / w_i) / n \quad (5)$$

式中： λ_{\max} 为矩阵最大特征根； $(Aw)_i$ 为向量 (Aw) 的第 i 个分量。

2) 计算各指标相对评价目标的权重。如表 7 所示，利用和积法通过计算求得各层级的指标权重，然后可求得最低层级指标相对评价目标的合成权重，公式为：

$$w_{ij} = w(c_i) \times w(c_{ij}), \quad (i=1,2,3,4; j=1,2,3,4) \quad (6)$$

式中： w_{ij} 为二级评价指标 C_{ij} 对于目标层 C 的合成权重； $w(c_i)$ 为一级指标 C_i 对于目标层 C 的权重； $w(c_{ij})$ 为二级指标 C_{ij} 对于一级指标 C_i 的权重。

表 7 装备采购技术创新度评价指标合成权重

目标层	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	合成权重
技术创新评价指标体系 C	理论创新 C ₁	w(c ₁)	专利获准数 C ₁₁	w(c ₁₁)	w(c ₁)×w(c ₁₁)
			论文发表数 C ₁₂	w(c ₁₂)	w(c ₁)×w(c ₁₂)
			获得科技奖项数 C ₁₃	w(c ₁₃)	w(c ₁)×w(c ₁₃)
			科技项目数 C ₁₄	w(c ₁₄)	w(c ₁)×w(c ₁₄)
	产品创新 C ₂	w(c ₂)	质量提高程度 C ₂₁	w(c ₂₁)	w(c ₂)×w(c ₂₁)
			性能提高程度 C ₂₂	w(c ₂₂)	w(c ₂)×w(c ₂₂)
			新产品占总销售比重 C ₂₃	w(c ₂₃)	w(c ₂)×w(c ₂₃)
			创新的类型 C ₂₄	w(c ₂₄)	w(c ₂)×w(c ₂₄)
	工艺创新 C ₃	w(c ₃)	新增设备支出所占比 C ₃₁	w(c ₃₁)	w(c ₃)×w(c ₃₁)
			生产工艺流程精简比 C ₃₂	w(c ₃₂)	w(c ₃)×w(c ₃₂)
			工人生产效率提高比 C ₃₃	w(c ₃₃)	w(c ₃)×w(c ₃₃)
	管理创新 C ₄	w(c ₄)	研发人员占比率 C ₄₁	w(c ₄₁)	w(c ₄)×w(c ₄₁)
			研发费用占比率 C ₄₂	w(c ₄₂)	w(c ₄)×w(c ₄₂)
			生产失误下降率 C ₄₃	w(c ₄₃)	w(c ₄)×w(c ₄₃)

3) 一致性检验。一致性检验是验证此次得到的矩阵是否合理。笔者引用一致性比率指标 CR 来判

断是否合理， CR 的计算如式(7)， $CR < 0.1$ 时，代表矩阵合理； $CR > 0.1$ 时，说明矩阵不合理，要重新

构建矩阵。

$$CR=CI/RI. \quad (7)$$

式中： CI 为一致性评价指标，如式(8)所示； RI 为平均随机性指标，取值见表 8 所示。

$$CI=(\lambda_{\max}-n)/(n-1). \quad (8)$$

表 8 RI 平均随机性指标值

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.3 确定技术创新评价指标权重

根据专家评价得到各指标相对上一层级目标的判断矩阵如表 9—14 所示。计算评价指标权重。

表 9 一级评价指标 C 判断矩阵

指标	理论创新	产品创新	工艺创新	管理创新
理论创新	1	1/6	1/5	3
产品创新	6	1	3	8
工艺创新	5	1/3	1	6
管理创新	1/3	1/8	1/6	1

经计算可得权重向量 $W(C)=(0.099\ 0, 0.558\ 3, 0.293\ 2, 0.049\ 4)$ ； $\lambda_{\max}=4.195\ 4$ ； $CI=0.065\ 1$ ； $CR=CI/RI=0.072\ 4<0.1$ 。具有满意的一致性。

表 10 理论创新指标 C_1 判断矩阵

指标	专利获准数	论文发表数	科技获奖数	科技项目数
专利获准数	1	8	2	5
论文发表数	1/8	1	1/5	1/3
科技获奖数	1/2	5	1	3
科技项目数	1/5	3	1/3	1

经计算可得权重向量 $W(C_1)=(0.530\ 1, 0.054\ 9, 0.293\ 1, 0.121\ 9)$ ； $\lambda_{\max}=4.052\ 4$ ； $CI=0.017\ 5$ ；

表 14 装备采购技术创新评价指标合成权重

目标层	一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重	合成权重
技术创新评价指标体系 C	理论创新 C_1	0.099 0	专利获准数 C_{11}	0.530 1	0.052 5
			科技论文发表数 C_{12}	0.054 9	0.005 4
			获得科技奖项数 C_{13}	0.293 1	0.029 0
			科技项目数 C_{14}	0.121 9	0.012 0
	产品创新 C_2	0.558 3	新产品质量提高程度 C_{21}	0.259 5	0.144 9
			新产品性能提高比重 C_{22}	0.552 7	0.308 6
			新产品占总销售比重 C_{23}	0.053 8	0.018 2
			创新的类型 C_{24}	0.134 1	0.074 9
	工艺创新 C_3	0.293 2	新增设备支出所占比 C_{31}	0.109 6	0.032 1
			生产工艺流程精简比 C_{32}	0.309 2	0.090 7
			工人生产效率提高比 C_{33}	0.581 3	0.170 4
	管理创新 C_4	0.049 4	研发人员占比 C_{41}	0.633 4	0.031 3
			研发费用占比 C_{42}	0.260 5	0.012 9
			生产失误下降率 C_{43}	0.106 2	0.005 2

从表中可知：评价装备采购技术创新一级指标中产品创新所占比重最大，其次是工艺创新；在二

$CR=CI/RI=0.019\ 4<0.1$ 。具有满意的一致性。

表 11 产品创新指标 C_2 判断矩阵

指标	质量提高程度	性能提高程度	新产品占总销售比重	创新的类型
质量提高程度	1	1/3	5	3
性能提高程度	3	1	7	5
新产品占总销售比重	1/5	1/7	1	1/4
创新的类型	1/3	1/5	4	1

经计算可得权重向量 $W(C_2)=(0.259\ 5, 0.552\ 7, 0.053\ 8, 0.134\ 1)$ ； $\lambda_{\max}=4.182\ 4$ ； $CI=0.060\ 8$ ； $CR=CI/RI=0.067\ 6<0.1$ 。具有满意的一致性。

表 12 工艺创新度评价指标 C_3 判断矩阵

指标	新增设备支出所占比	生产工艺流程精简比	工人生产效率提高比
新增设备支出所占比	1	1/3	1/5
生产工艺流程精简比	3	1	1/2
工人生产效率提高比	5	2	1

经计算可得权重向量 $W(C_3)=(0.109\ 6, 0.309\ 2, 0.581\ 3)$ ； $\lambda_{\max}=3.004\ 0$ ； $CI=0.002\ 0$ ； $CR=CI/RI=0.003\ 4<0.1$ 。具有满意的一致性。

表 13 管理创新度评价指标 C_4 判断矩阵

指标	研发人员占比	研发经费占比	生产失误下降率
研发人员占比	1	3	5
研发经费占比	1/3	1	3
生产失误下降率	1/5	1/3	1

经计算可得权重向量 $W(C_4)=(0.633\ 4, 0.260\ 5, 0.106\ 2)$ ； $\lambda_{\max}=3.039\ 0$ ； $CI=0.019\ 5$ ； $CR=CI/RI=0.033\ 6<0.1$ 。具有满意的一致性。

最后得到的评价指标合成权重如表 14 所示。

级指标中武器装备作战性能比重最大，这与实际相符。对层次总排序进行一致性检验：

$$CR = \frac{\sum_i^n w(c_i)CI_i}{\sum_i^n w(c_i)RI_i} = \frac{0.099 \times 0.0175 + 0.5583 \times 0.0608 + 0.2932 \times 0.0020 + 0.0494 \times 0.0195}{0.0990 \times 0.900 + 0.5583 \times 0.900 + 0.2932 \times 0.5800 + 0.0494 \times 0.5800} = 0.0471 < 0.1。 \quad (9)$$

CR 的值小于 0.1，总排序的结果符合一致性检验。充分说明通过调查问卷得出的评价指标体系和相应指标权重是合理的，可以用于对装备采购中技术创新度的评价计算。

3 构建装备采购技术创新度评价模型

技术创新度是指描述新产品创新程度的概念。技术创新度评价是指运用科学和准确的评价方法，对新产品从产生到市场销售过程中所有创新进行全方面的评价，并给出一个定性或定量的结果。

3.1 应用德尔菲法对各指标打分

根据笔者构建的技术创新程度评价指标体系和各评价指标的权重，结合具体装备采购项目，对采购武器装备对技术创新程度评价指标，运用德尔菲法邀请专家打分，按照 100 分制评判标准进行打分，采取加权平均的算法确定装备采购项目技术创新度各指标评价价值 u_{ij} ， $u_{ij} \in [0,100]$ ，表达式如下：

$$u_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m B_k(C_{ij})}{m} \quad (10)$$

式中： u_{ij} 为 C_{ij} 指标的加权平均分； $B_k(C_{ij})$ 为 C_{ij} 指标的第 k 个专家评分分值； m 为专家组人数。

3.2 确定技术创新度评价价值

根据求和平均各专家打分，得到各指标的评价

值为 u_{ij} 和各指标相对评价最终目标的权重为 w_{ij} ，最终可得到技术创新程度评价模型，表达式为

$$S = \sum (w_{ij} \times u_{ij}), \quad (i=1,2,3,4; j=1,2,3,4)。 \quad (11)$$

式中： S 为技术创新度评价价值， $S \in [0,100]$ ； w_{ij} 为二级评价指标 C_{ij} 对于目标层 C 的合成权重； u_{ij} 为 C_{ij} 指标的加权平均分。

通过得出的技术创新度评价模型可知，装备采购技术创新度与评价指标得分成正比关系，评价指标得分越高，技术创新度评价就越大。评价指标分值是依据相关专业专家的经验通过打分，定性向定量的转换，技术创新度的评价价值取值范围为 0~100 之间的定量值，可以清晰显示出采购项目的技术创新程度，对于评价判断采购项目技术创新程度的优劣具有实际意义。

4 案例分析

4.1 案例介绍

陆航 D 旅需采购新型 ×× 型武装直升机 10 架，此型号直升机只能由 SF 军工集团单一来源生产。经过部队使用反馈，结合对首次 SF 军工集团生产中存在的问题，此次采购军方提出了关于生产中可以改进的技术和制造工艺的提高要求。该项目技术创新数据内容如表 15 所示，根据以上数据测算此装备采购项目技术创新度的评价价值。

表 15 技术创新度评价指标专家打分表

目标层	一级指标	二级指标	该项目指标数据	合成权重	专家打分平均值
技术创新 评价指标体系	理论创新	专利获准数	4 项	0.052 5	92
		论文发表数	11 篇	0.005 4	75
		获得科技奖项数	8 项	0.029 0	95
		科技项目数	21 项	0.012 0	88
	产品创新	质量提高程度	稳定性、可靠性、维护性较好	0.144 9	84
		性能提高程度	明显提高	0.308 6	87
		新产品占总销售比重	军援 7 个国家	0.018 2	48
		创新的类型	自主研发和引入	0.074 9	93
	工艺创新	新增设备支出所占比	占成本支出 10%	0.032 1	44
		工艺精简程度	不太高	0.090 7	60
		工人生产效率提高比	30%	0.170 4	74
	管理创新	研发人员占比率	人平均 10 d/a	0.031 3	82
		研发费用占比率	占总成本的 30%	0.012 9	34
		生产失误下降率	废料率低，成本节约显著	0.005 2	48

4.2 求解过程

1) 评价指标体系数据分析邀请，专家进行评价

打分。