

doi: 10.7690/bgzd.2015.11.023

系统六元评价理论及其在装备保障效能评估中的应用

唐 凯, 柏彦奇, 蒋 建

(军械工程学院装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

摘要: 针对当前系统效能评估中存在的 3 个主要问题, 提出一种系统六元评价理论。该理论将评价指标体系分为 4 层, 第 1 层功能评价指标便于人们从总体上评价系统功能, 第 2 层结构评价指标使人们可以从系统结构的角度对系统进行评价和优化, 第 3 层运行评价指标便于在特定的系统结构下从微观运行的角度对系统进行把握, 第 4 层要素、状态评价指标便于在特定的系统结构下对系统要素进行调整以改进系统的功能; 并以战术级装备保障系统效能评估指标体系的构建为例, 验证了该理论的实用性。分析结果表明: 利用系统六元评价理论建立指标体系, 思路清晰, 指标选取适当, 为今后建立各种系统评估指标体系提供了有益的借鉴。

关键词: 系统评价; 六元; 装备保障; 指标体系

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

System Six-view Evaluation Theory and Application in Equipment Support Effectiveness Evaluation

Tang Kai, Bai Yanqi, Jiang Jian

(Department of Equipment Command & Management, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Aiming at the three existing problems in the system effectiveness evaluation, system six-view evaluation theory is put forward. The theory divides the evaluation index system into four levels. The first level, function evaluation index, is convenient for people to evaluate the function of system in the mass. The second level, structure evaluation index, is used to evaluate and optimize the structure of system. The third level, running evaluation index, is used for people to grasp the system from microcosmic running angle under specific system structure. The fourth level, elements and status evaluation index, is convenient for people to correct elements in order to improve the system function under specific system structure. The theory is validated by designing the effectiveness evaluation index system of tactical level of equipment support system. The result indicates that the method based on system six-view evaluation theory for people to design appropriate index system clearly is helpful to design index system of different systems.

Keywords: system evaluation; six-view; equipment support; index system

0 引言

系统评价是系统工程中复杂而又重要的一个工作环节。系统评价指标体系的构建又是系统评价的关键^[1]。文献[2-9]针对不同的系统构建了不同的系统评价指标体系, 并选用了各种方法进行了实例验证。从结果上看, 这些指标体系和评价方法都有一定的合理性, 满足了不同的评价需求; 从目前的研究现状看, 在系统评价指标体系的分析和建立过程中, 存在的共性问题缺乏一种相对完善的系统评价理论的指导, 致使所建立的指标体系不够科学合理, 进而影响系统评价准确性。主要有以下 3 点:

1) 指标体系的完备性问题。当前的研究多针对系统的环境、要素、结构、状态、运行、功能中的一个或某几个方面进行研究, 研究视角单一, 缺乏对系统的整体性研究, 导致所建立的评价指标体系

在完备性上受到质疑, 进而影响了最终评价结果的应用。

2) 评价指标必要性问题。系统评价指标体系的组成要素缺乏独立性, 常常存在交叉、重复、混淆的问题, 致使一些必要性不强的指标被纳入指标体系之中。

3) 评价指标体系结构合理性问题。系统评价指标体系的结构层次如何划分, 各指标之间的关系如何分类等, 目前的研究没有进行深入的探讨。

基于此, 笔者提出系统六元评价理论, 并以此为指导构建了装备保障系统效能评估指标体系, 旨在为各类系统的评价工作提供有益的借鉴。

1 系统六元评价理论

系统六元理论^[10]是在系统建模与仿真研究的基础上提出的一般系统分析与设计理论。该理论从

收稿日期: 2015-07-01; 修回日期: 2015-08-06

作者简介: 唐 凯(1986—), 男, 河南人, 在读硕士, 从事装备保障指挥及其自动化研究。

系统环境、要素、结构、状态、运行和功能的 6 个角度去界定、分析、设计、构建、评估和优化系统，对开展系统研究工作具有普遍指导意义。

系统六元评价是在系统六元分析的基础上，首先建立系统六元评价指标体系，再选用适当的系统评价数学建模方法，对系统进行静态和动态的综合评判的过程。评价的流程为：明确评价目的，进行系统六元分析，建立六元评价指标体系，确定评价方法，进行综合评价。

1.1 系统六元评价指标体系

在环境 S 中，系统 $Z(n)$ 是由 n 个存在关联的部分 $e(1), e(2), e(i), \dots, e(n)$ 构成的整体。

记为

$$Z(n) = \{E(n), R_z\}。$$

其中 R_z 表示部分 $e(1), e(2), e(i), \dots, e(n)$ 间存在关系的集合。

$$E(n) = \{e(i), i = 1, 2, \dots, n; n \geq 2\}。$$

对于系统 $Z(n)$ ：

1) 其系统状态 $S_z = (s_1, s_2, s_i, \dots, s_n)^T$ ， $s_i \in A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ，其中 s_i 、 A_i 分别表示部分 $e(i)$ 的状态和状态空间。

2) 系统功能 H_z 是指系统 $Z(n)$ 的某种外部活动或表现，是系统要素 $E(n)$ 、系统状态 S_z 、系统结构 R_z 、系统环境 S 及系统运行 M 的函数，即 $H_z = \psi_h(E(n), S_z, R_z, S, M)$ ，多数情况下针对特定的环境研究系统，可将系统环境 S 视为恒定量，故而 $H_z = \psi_h(E(n), S_z, R_z, M)$ 。

3) 系统结构 R_z 表示部分 $e(1), e(2), e(i), \dots, e(n)$ 间关系的集合。

4) 系统运行 M 指系统状态 S_z 随时间的变化过程。

通过以上对系统的定义进行分析可得出如下结论：

① 系统的功能是由系统运行、系统结构、系统要素和要素状态所决定；

② 系统的运行是系统状态变化的反映，运行效率的高低由系统的要素和系统结构所决定；

③ 在系统输入一定的条件下，系统功能的改善最终依赖于系统要素、要素状态和系统结构的改善。

依据以上结论设计系统六元评价的指标体系如下：

第 1 层为功能评价指标，对系统功能的评价可视为“黑箱评价”，便于人们从总体上评价系统功能的优劣；第 2 层为结构评价指标，结构评价指标主要从系统结构的时效性和质效性 2 方面来评价系统结构的优劣，使人们可以从系统结构的角度对系统进行优化；第 3 层运行评价指标，对系统运行的评价可视为“灰箱评价”，便于对系统运行过程进行详细把握；第 4 层为要素、状态评价指标，基于这些指标的评价可视为“白箱评价”，便于从内部评价系统，以此作为系统改进的基本依据。

第 1 层评价指标——功能评价指标 E 。在系统输入支撑和系统环境要求下，严格反映系统输出的定性或定量的指标。系统的功能是指系统对外部环境的输出，反映了系统对外部环境的影响力。文献 [7] 将装备保障系统的能力分解为维修保障能力、备件保障能力、检测诊断能力、人员素质能力和阵地保障能力 5 种能力。按照装备保障系统功能的定义，人员素质能力和阵地保障能力不属于系统的对外输出，所以不应放在系统功能的评价指标之中。如果将系统的外部功能与内部功能一起进行加权求和，则会导致最后的结果失去合理性，其他的许多研究成果中也存在着此类问题。为解决此问题，系统六元评价将系统的功能作为第 1 层评价指标并严格按照系统功能的定义选取，便于从总体上评价系统功能的优劣。

第 2 层评价指标——结构评价指标 R 。结构是系统要素关系的抽象，决定了系统运行中要素发生的具体关系。

第 3 层评价指标——运行评价指标 M 。运行指标主要是针对现有系统结构中实现系统各子任务的运行过程所建立的指标。包括每一个子运行过程的各项作业完成的效率，以此体现人们对系统运行的微观把握。如运行的时间、成本等。

第 4 层评价指标——要素评价指标 U 、状态评价指标 A 。

要素评价指标：根据需要的评价粒度组成系统的实体基本信息指标，主要包括实体的种类和数量。

状态评价指标：反映单个实体的状态参数指标。如实体的位置、速度、方向、重量、规模等。

1.2 系统六元评价指标体系建立的原则

1) 整体性原则。指标体系应尽量涵盖为达到评价目的所需的基本内容。

2) 边界性原则。评价指标不能超出系统边界, 选择的评价指标必须与评价目的和目标密切相关, 以保证选择的评价指标能确切地反映待评价系统。

3) 独立性原则。指标集要层次分明, 简明扼要; 每个指标要内涵清晰, 相对独立。

4) 可度量原则。指标的选择按照定量与定性相结合且以定量指标为主的原则进行。

1.3 系统六元评价指标体系建立的流程

1) 确定评价目标。

确定评价目标是建立指标体系的前提, 确定系统的目标层次结构和评价粒度是建立指标体系层次结构的基础。比如同样的 30 个学生, 选篮球队员时和选奥数选手时所建立的评价指标体系肯定会有很大的差异。

2) 系统六元分析。

将系统功能分解为若干子功能。在分析系统结构的基础上, 确定实现每个子功能需要的子任务以及子任务的运行流程。将运行流程细化为各个作业阶段确定运行指标, 分析各作业阶段的要素和影响运行指标的状态因素, 从而依次确立功能指标、结构指标、运行指标、要素指标和状态指标。

3) 初拟六元评价指标体系。

上述各项工作完成后, 便可以初拟评价指标体系。

4) 归纳筛选。

在初次拟制指标体系所分解出来的各指标中, 有的能反映系统的本质, 有的则未必。各指标之间还可能出现交叉、重复、包含、矛盾、因果等关系; 因此, 必须对初拟指标体系进行归纳合并和筛选, 以达到少而精的要求。经过这一程序, 指标可以得到精简, 指标质量可以提高, 不仅便于实施评价, 也能保证评价的有效性。进而形成较完善的系统评价指标体系。

2 装备保障系统效能评估指标体系的构建

2.1 装备保障系统效能评估的目标

装备保障效能评估的目标主要是运用多种评估技术对装备保障系统的效能进行量化估算, 从而为评价和改进装备保障系统提供依据。

2.2 装备保障系统六元分析

装备保障系统效能是指在特定的条件下, 装备保障系统被用来执行特定装备保障任务所能达到预期目标的有效程度。在战时环境下按照任务要求主要分解为 4 个子效能: 装备抢救效能、装备抢修效能、弹药供应效能、器材供应效能。对其进行评估也应有 4 个评估内容, 如图 1 所示。

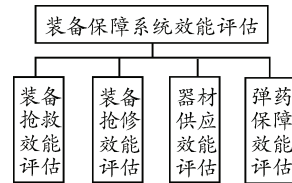


图 1 装备保障系统效能评估

对应这 4 种子功能, 需要 4 个运行过程来实现, 分别是装备抢救过程、装备抢修过程、弹药供应过程、器材供应过程。笔者以战术级装备保障系统为例, 对装备抢救过程进行分析为例, 依据系统六元指标体系建立的原则选取要素指标、状态指标、结构指标、运行指标。

2.2.1 装备抢救效能评估指标

第 1 层指标: 装备抢救效能评估指标如图 2。

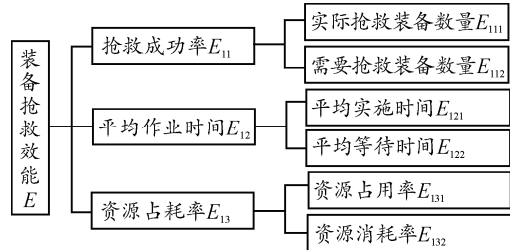


图 2 装备抢救效能评估指标

1) 实际抢救装备数量。

实际抢救装备数量是指统计时间内所有装备抢救单元成功抢救战损装备的数量, 体现了装备抢救的效能。

2) 需抢救装备数量。

需抢救装备数量是指接到的需求报告中明确的待抢救装备总数, 体现了抢救计划的准备性, 统计了指定时间内需抢救的装备总数。

3) 平均实施时间。

平均实施时间是指在统计时间内所有各类装备抢救单元抢救各种战损装备平均实施时间的加权均值。某战损装备的实施时间是指最后抢救单元抢救的结束时刻减去最先抢救单元抢救的开始时刻, 包括保障单元到达现场之后的展开时间、施救时间。

在实施作业过程中，抢救单元遭到敌火力打击、天候变化等外界影响造成作业中断，影响结束后恢复原有作业，该中断时间应考虑在统计时间内。

4) 平均等待时间。

平均等待时间指的是统计时间内所有各个待抢救装备的平均等待时间，包括抢救单元的准备时间与机动时间，抢救单元在机动途中可能会经历的规避敌各种打击的时间，以及等待道路修复的时间等。

5) 资源占用率。

在统计时间内每次遂行装备抢救任务占用资源率之和与抢救任务次数的比值。

6) 资源损耗率。

遂行装备抢救任务时损耗的抢救装备数量与参与抢救任务的抢救装备数量的比值。

$$E_1 = a \cdot E_{11} + b \cdot E_{12} + c \cdot E_{13} \quad (1)$$

其中：a、b、c 分别表示对应的权重值；

$$E_{11} = E_{111} / E_{112} \quad (2)$$

$$E_{12} = 1 - (\arctg(\frac{E_{121} + E_{122}}{\Delta T_1 + \Delta T_2}) / \frac{\pi}{2}) \quad (3)$$

采用此公式是为了将 E₁₂ 归一化，ΔT₁、ΔT₂ 分别表示标准抢救实施时间和装备指定到达时间。

$$E_{13} = E_{131} - E_{132} \quad (4)$$

抢救成功率代表着系统输出的数质量，平均作业时间代表着系统输出的速度，资源占耗率代表着系统输出的消耗，通过上述 4 个公式直接计算出抢救效能值便于进行评价比较。

2.2.2 装备抢救结构评估指标

装备抢救结构如图 3 所示，通过该图可计算该结构的时效性指标和质效性指标。第 2 层装备保障抢救结构评估指标如图 4 所示。

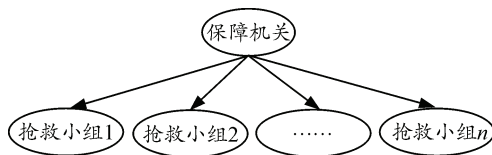


图 3 装备抢救结构

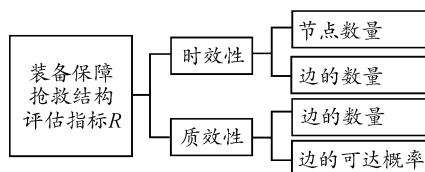


图 4 装备抢救结构评估指标

2.2.3 装备抢救运行评估指标

第 3 层指标：装备抢救运行评估指标。

根据图 5 装备抢救运行流程，选取装备抢救运行评估指标如图 6 所示：获取抢救需求的时间、计划安排任务的时间、派出抢救小组的时间、开展抢救作业的时间、派出抢救小组的资源消耗、展开抢救作业的资源消耗。

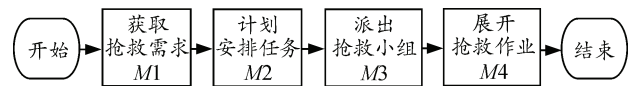


图 5 装备抢救运行流程

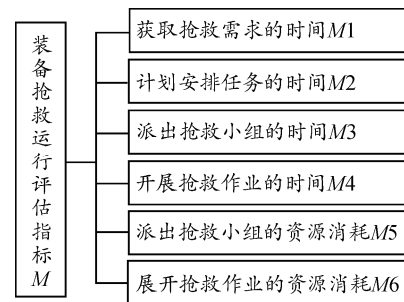


图 6 装备抢救运行评估指标

2.2.4 装备抢救要素、状态评估指标

第 4 层指标：要素、状态评估指标。

要素指标：指挥所、各抢救小组。

状态指标：指挥所—人员数量、人员素质、士气，抢救小组—人员数量、人员素质、士气、抢救装备数量、抢救装备质量、机动方式等。

在图 7 的分析基础上初步拟制装备保障抢救要素、状态评估指标为：通信手段、参谋人员的数量、参谋人员的素质、参谋人员的士气、参谋人员的忠诚度、计划安排任务的办公方式、抢救人员的数量、抢救人员的素质、抢救人员的士气、抢救人员的忠诚度、抢救装备的数量、抢救装备的质量、抢救业务训练水平。经过专家咨询筛选最终确定指标体系如图 8 所示。

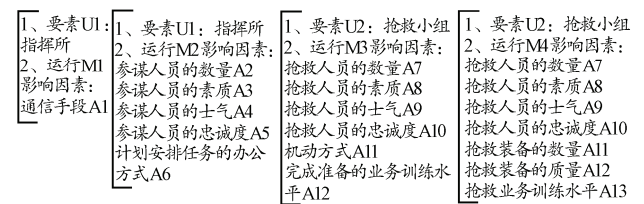
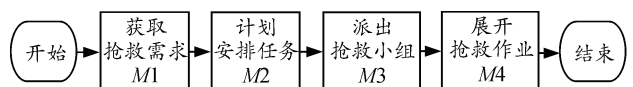


图 7 装备抢救运行影响因素分析

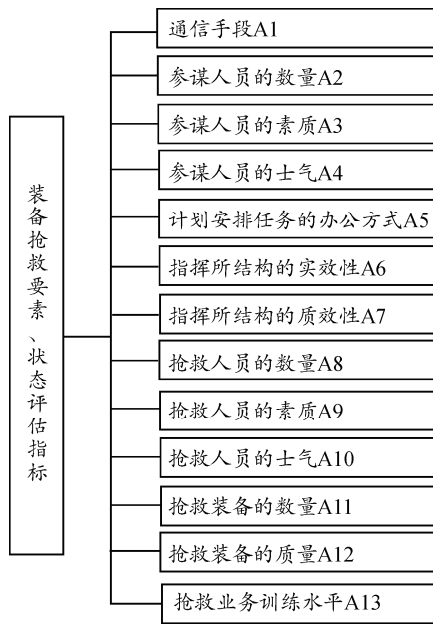


图 8 装备抢救要素、状态评估指标

3 结束语

笔者提出了基于系统六元评价理论的指标体系建立方法，并以战术级装备保障系统抢救效能评估为例，详细构建了评估指标体系，验证了该方法的科学性及其先进性。该研究为今后有关系统评价指标体系的建立工作提供了有益的借鉴。

(上接第 85 页)

参考文献:

[1] 余浩, 徐灵活. 亚丁湾护航中开展心理服务工作的几点思考[J]. 海军医学杂志, 2011, 32(6): 363-366.

[2] Wang C X, Xu S X, Xu X R, et al. Disqualifying medical conditions of flying personnel in Chinese army and air force[J]. Chin. Med. Sci. J., 2008, 23(4): 253.

[3] 孙鹏, 宋华淼, 苗丹民, 等. 高性能战斗机飞行员心理健康状况及个性特点分析[J]. 第四军医大学学报, 2006, 27(4): 373-375.

[4] 杨宇彤, 刘晓鹏, 洪威. 飞行人员的心理因素与飞行安全[J]. 中国疗养医学, 2009, 18(7): 636-637.

[5] Mumenthaler MS, Benowitz NL, Taylor JL, et al. Nicotine deprivation and pilot performance during simulated flight[J]. Aviat Space Environ Med, 2010, 81(7): 660-664.

[6] 刘平中, 刘娟, 翻玮, 等. 心理训练对飞行员海上低空、超低空飞行克服错觉及疲劳的效果[J]. 航空军医, 2006(3): 18-19.

[7] Adams R J, Ericsson A E. Introduction to cognitive processes of expert pilots[J]. Hum. Perf. Extrem. Environ., 2004, 5(1): 44-62.

[8] 刘玉华, 王健, 许先荣, 等. 47 例军事飞行人员眩晕病分析[J]. 解放军医学院学报, 2015(1): 24-26.

[9] 李鸣皋, 张佳丽, 蒙果, 等. 不同模拟飞行训练课目飞行员心率和心率变异性的变化[J]. 航天医学与医学工

参考文献:

[1] 陈庆华. 系统工程理论与实践[M]. 长沙: 国防工业出版社, 2011: 198-201.

[2] 潘高田, 周电杰, 王远立, 等. 系统效能评估 ADC 模型研究和应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2007, 21(2): 5-7.

[3] 刘良. 地地战术导弹技术保障能力仿真评估研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2002: 11.

[4] Mauro Pontani, Paolo Teofilatto. Simple method for performance evaluation of multistage rockets[J]. Acta Astronautica, 2014, 94(1): 434-445.

[5] Huang Yinjuan. Experimental Teaching Quality Evaluation Practice Based on AHP-Fuzzy Comprehensive Evaluation Model[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2013, 1996(1): 101-109.

[6] 乔立坤. 基于 HLA 的装备保障仿真评估方法与应用研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2010: 4.

[7] 王伟. 装备保障系统效能综合评估方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009: 4.

[8] 岳勇, 杨宏伟. 基于能力生成机理的装备保障系统能力评估指标体系研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(3): 45-50.

[9] 徐英, 张柳, 李涛. 装备保障能力评价参数体系设计与应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2011, 25(5): 16-19.

[10] 柏彦奇. 联邦式作战仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2001: 79-108.

[10] 孙运峰. 海军飞行员动静视觉敏度关系研究[J]. 临床军医杂志, 2005, 33(3): 307.

[11] 赵进, 强卫华. 148 名飞行员心理健康状况调查分析[J]. 民航医学, 2006, 16(1): 1-4.

[12] Sauvel F, Jouanin J C, Langrume C, et al. Heart rate variability in novice pilots during and after a multi-leg cross-country flight[J]. Aviat Space Environ Med, 2009, 80(10): 862-869.

[13] 王真真, 段金松, 郭凯娟, 等. 飞行学员职业人格特征探讨[J]. 华南国防医学杂志, 2010, 24(2): 148-150.

[14] 刘林林, 董燕, 周晓梅, 等. 明尼苏达多项人格问卷(MMPI)效度指标对军事飞行员心理评估的临床价值[J]. 中国健康心理学杂志, 2008, 16(8): 897-899.

[15] 康颖. 神经行为评价系统在海军飞行员飞行训练中应用的意义[J]. 临床军医杂志, 2006, 34(6): 757.

[16] 郭军英. 飞行员地面模拟飞行错觉体验训练的心理护理[J]. 海军医学杂志, 2005, 26(2): 117-118.

[17] 武国城. 中国空军飞行员心理选拔研究概况[J]. 民航医学, 2005, 15(1): 8-10.

[18] 张沈梅, 吴建刚, 陈松峰, 等. 基于 ARM 的通用数据采集设备的研究与设计[J]. 水利信息化, 2012(4): 49-52.

[19] 王臻. 运用 PWM 技术对直流电机转速的控制[J]. 工业仪表与自动化装置, 2013(6): 91-94.