

基于 GQFD 的无人智能化保障装备能力需求分析

宋豪文¹, 贾红丽¹, 连光耀², 张宇^{1,2}, 王姗¹

(1. 陆军工程大学石家庄校区 装备指挥与管理系, 石家庄 050000;

2. 中国人民解放军 32181 部队, 西安 710032)

摘要: 着眼无人智能化保障装备发展问题, 为构建智能高效的保障装备体系, 在对智能化战争条件下装备保障“任务—能力”进行分析, 确定感知战场态势、辅助指挥决策、装备检测维修、物资精准保障 4 项智能化保障任务和大数据分析处理能力、智能决策能力、多源数据采集能力等 9 种无人智能化保障装备能力的基础上, 运用基于灰色关联分析的质量功能展开方法, 建立包含灰色综合关联矩阵的无人智能化保障装备能力需求分析质量屋, 得到无人智能化保障装备能力指标重要度排序, 大数据分析处理能力重要度为 6.890 6, 居于首位, 该能力是保障装备开展所有保障活动的基础, 符合智能化装备保障“以智取胜”的制胜机理; 结果表明该模型具有较好的可行性和适用性, 验证了该方法在无人智能化保障装备能力需求分析中的可行性和有效性, 为下一步无人智能化保障装备建设规划提供了有力参考。

关键词: 智能化战争; 装备保障; 无人智能化; 保障装备; 能力需求分析; GQFD

Capability Analysis of Unmanned Intelligent Support Equipment Based on GQFD

SONG Haowen¹, JIA Hongli¹, LIAN Guangyao², ZHANG Yu^{1,2}, WANG Shan¹

(1. Department of Equipment Command and Management, Shijiazhuang Campus of Army Engineering University of PLA, Shijiazhuang 050000, China; 2. No. 32181 Unit of PLA, Xi'an 710032, China)

Abstract: Focusing on the development of unmanned intelligent support equipment, in order to build an intelligent and efficient support equipment system, the task and capability of equipment support are analyzed under intelligent war conditions. On the basis of determining four intelligent support tasks such as battlefield situation perception, auxiliary command and decision making, equipment detection and maintenance, accurate material support and nine unmanned intelligent support equipment capabilities such as big data analysis and processing capability, intelligent decision making capability, multi-source data acquisition capability, the quality function expansion method based on grey correlation analysis is applied to establish the quality house for the capability requirement analysis of the unmanned intelligent support equipment including grey comprehensive correlation matrix, and obtain the importance ranking of unmanned intelligent support equipment capability indicators. The importance of big data analysis and processing capability reaches by 6.890 6, ranking the first place. This capability is the basis for all support activities of the intelligent support equipment, and conforms to the winning mechanism of the intelligent equipment support of winning by intelligence. The results show that the model has good feasibility and effectiveness in the capability requirement analysis of the unmanned intelligent support equipment, and provides a strong reference for the next unmanned intelligent support equipment construction planning.

Keywords: intelligent warfare; equipment support; unmanned intelligence; support equipment; capability demand analysis; grayscale quality function deployment (GQFD)

0 引言

战争形态的加速演变、作战样式的灵活多变、武器装备的升级换代、保障技术的创新发展, 无人化装备已逐步取代人类充当战场前锋, 在人工智能等高新技术的助力下势必重构未来智能化战争从“传感器”到“射手”的每一个环节^[1], 各军事强国纷纷建立无人智能化装备研究机构,

科学编制发展路线图, 加强相关力量建设, 力争在军事领域新科技革命浪潮中取得先机。对装备保障而言, 无人智能化保障装备是指具有一定程度的智能化指挥决策和自主化行动能力, 能够自主或协同完成保障任务的装备, 正逐步成为装备保障系统中的一个重要组成部分^[2], 在智能化战争中将发挥传统保障装备难以比拟的作用。分析智能化战争条件下与装备保障相适应的无人智能化保障装备建设,

收稿日期: 2023-04-17; 修回日期: 2023-04-27。

基金项目: 军内科研基金(LJ2021C01778)。

作者简介: 宋豪文(1994-), 男, 江西上饶人, 硕士研究生, 主要从事无人智能化保障装备方向的研究。

引用格式: 宋豪文, 贾红丽, 连光耀, 等. 基于 GQFD 的无人智能化保障装备能力需求分析[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(6): 117-122.

构建智能高效的保障装备体系，对于提升保障效能、促进军队装备保障走向无人智能化具有重要意义。

无人智能化保障装备建设过程中，能力需求分析较为复杂，传统的质量功能展开 (QFD) 方法过于依赖主观判断，导致结果可靠性较差。基于灰色关联分析的质量功能展开 (GQFD) 方法集成了传统 QFD 方法以客户需求为牵引、将定性分析问题转换为定量分析优点的同时，通过引入灰色关联分析可有效减少主观因素的干扰，提升需求分析的精准性。利用 GQFD 方法，将智能化战争条件下装备保障任务、无人智能化保障装备能力进行关联分析，构建灰色关联矩阵，求解无人智能化保障装备能力需求重要度，为开展无人智能化保障装备建设提供一定依据。

1 GQFD 需求分析方法

1.1 QFD 方法

质量功能展开 (QFD) 方法，是日本山梨大学的赤伟洋二教授在 1972 年提出的一种通过将客户需求转化为产品质量要求，以促进产品设计和开发的方法^[3]。其实质是从质量特征和质量需求等多角度对产品进行分析，量化客户需求与产品需求，构建由产品质量特征和质量需求相关联的二维质量表为核心的质量屋 (HOQ)，模型如图 1 所示。

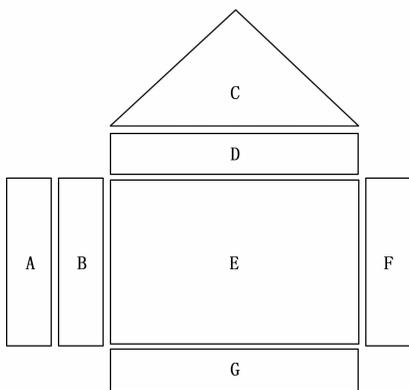


图 1 质量屋 (HOQ) 模型

左墙 (A) (B) 表示客户需求集和需求重要度，是质量屋的输入部分；天花板 (C) (D) 表示产品技术需求及技术需求自相关矩阵，需要通过分析得出；右墙 (F) 表示市场竞争能力矩阵；房间 (E) 表示客户需求与技术需求之间的相互关系矩阵；地下室 (G) 表示产品技术需求及竞争力评价矩阵。

1.2 GQFD 方法

GQFD 是指基于灰色关联分析的质量功能展开方法，相较于传统的质量功能展开，GQFD 将灰色关联分析引入客户需求重要度排序中，通过客户需求之间的关系来确定客户需求的绝对权值，用灰色关联矩阵替代传统的关系矩阵，而后进行质量功能展开，最终获得产品技术需求^[4]。通过引入灰色关联分析，能很好地排除主观因素的干扰，获得更精确，更客观和可信度更强的结果^[5]。

无人智能化保障装备建设发展与民用产品设计有诸多

相似点，两者均由客户需求决定，通过 GQFD 将装备保障任务需求 (客户需求) 从模糊的定性描述转化为具体的能力需求 (技术需求)^[6-8]。因此，使用 GQFD 方法对无人智能化保障装备建设发展进行规划是可行的。

1.3 GQFD 方法基本流程

GQFD 方法的核心在于用灰色关联矩阵代替传统 QFD 中的关系矩阵，其余流程与传统 QFD 方法相同^[9]。设保障任务需求集为 $A_i = (\alpha_i(1), \alpha_i(2), \dots, \alpha_i(n))$, ($i=1, 2, \dots, g$)，无人智能化保障装备能力需求集为 $B_j = (b_j(1), b_j(2), \dots, b_j(n))$, ($j=1, 2, \dots, h$)， n 代表专家数， ϵ_{ij} 为 A_i 和 B_j 的灰色绝对关联度， δ_{ij} 为 A_i 和 B_j 的灰色相对关联度， ρ_{ij} 为 A_i 和 B_j 的灰色综合关联度^[10-11]。

计算步骤为：

1) 灰色绝对关联度 ϵ_{ij} 的计算：

$$|A_{si}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} \alpha_i^0(k) + \frac{1}{2} \alpha_i^0(n) \right| \quad (1)$$

$$|B_{sj}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} b_j^0(k) + \frac{1}{2} b_j^0(n) \right| \quad (2)$$

$$|B_{sj} - A_{si}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (b_j^0(k) - \alpha_i^0(k)) + \frac{1}{2} (b_j^0(n) - \alpha_i^0(n)) \right| \quad (3)$$

其中：上标“0”代表数据经过始点零化的处理，即每行的数减去该行的第一个数。

A_i 和 B_j 的灰色绝对关联度 ϵ_{ij} 为：

$$\epsilon_{ij} = \frac{1 + |A_{si}| + |B_{sj}|}{1 + |A_{si}| + |B_{sj}| + |B_{sj} - A_{si}|} \quad (4)$$

2) 灰色相对关联度 δ_{ij} 的计算：

$$|A'_{si}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} \alpha_i^{0'}(k) + \frac{1}{2} \alpha_i^{0'}(n) \right| \quad (5)$$

$$|B'_{sj}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} b_j^{0'}(k) + \frac{1}{2} b_j^{0'}(n) \right| \quad (6)$$

$$|B'_{sj} - A'_{si}| = \left| \sum_{k=2}^{n-1} (b_j^{0'}(k) - \alpha_i^{0'}(k)) + \frac{1}{2} (b_j^{0'}(n) - \alpha_i^{0'}(n)) \right| \quad (7)$$

其中：上标“0'”代表数据先经过初始换之后再行始点零化的处理，数据初始化即每行的数除以该行的第一个数。

A_i 和 B_j 的灰色相对关联度 δ_{ij} 为：

$$\delta_{ij} = \frac{1 + |A'_{si}| + |B'_{sj}|}{1 + |A'_{sj}| + |B'_{sj}| + |B'_{sj} - A'_{si}|} \quad (8)$$

3) 灰色综合关联度 ρ_{ij} 的计算：

$$\rho_{ij} = \theta \epsilon_{ij} + (1 - \theta) \delta_{ij} \quad (9)$$

其中： θ 需根据实际问题进行赋值，一般选取 $\theta=0.5$ 。此赋值计算下的 ρ_{ij} 可以在体现 A_i 和 B_j 相似程度的同时，也体现出 A_i 和 B_j 相对于始点变化速度的接近程度，能够较为全面地看出数列之间联系是否紧密。

4) 灰色综合关联矩阵的计算：

$$\psi = \rho_{ij_{gh}} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \cdots & \rho_{1h} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{g1} & \cdots & \rho_{gh} \end{bmatrix} \quad (10)$$

5) 任务需求重要度权值的计算:

若 $\exists k, (i=1, 2, \dots, g)$ 满足 $\rho_{kj} > \rho_{ij}, j=1, 2, \dots, h$, 则称 A_k 优于 A_i , 记为 $A_k \geq A_i$;

若 $\exists k, (i=1, 2, \dots, g)$ 满足 $\sum_{j=1}^h \rho_{kj} > \sum_{j=1}^h \rho_{ij}, j=1, 2, \dots, h$, 则称 A_k 优于 A_i , 记为 $A_k > A_i$; 据此, 可以得出任务需求的重要度排序为 $A_{i_1} \circ A_{i_2} \circ \dots \circ A_{i_g}, \circ \in \{>, \geq\}$ 。

若 $A_{i_l} > A_{i_{l+1}}$, 则任务需求的重要度权值为:

$$\lambda_{i_l} = n - l + 1 \tag{11}$$

若 $A_{i_l} \geq A_{i_{l+1}}$, 则任务需求的重要度权值为:

$$\lambda_{i_l} = n - l + \mu \tag{12}$$

式中, μ 代表任务需求重要度分辨因子, 取值为 0 到 1 之间, μ 越大表示重要程度越大, 重要度的分辨能力更强, 通常情况下, μ 取 0.5。

在步骤 1) ~ 5) 的基础上, 将灰色关联矩阵和任务需求的重要度权值带入 HOQ 进行质量功能展开, 得到装备保障任务和保障装备能力重要度排序, 最终得出基于 GQFD 方法的保障装备能力需求分析相关结论。

2 基于 GQFD 的无人智能化保障装备能力需求分析

保障装备是为作战服务的, 这就决定无人智能化保障装备能力需求分析必须全面反映智能化战争条件下作战任务对无人智能化保障装备能力的客观需求, 能力指标的确定过程必须以智能化战争条件下作战任务的分析为起点, 按照作战任务—保障任务—保障装备能力的方法步骤确定无人智能化保障装备的能力指标需求^[12], 而后通过 GQFD 方法开展能力指标需求分析, 以期更好地指导无人智能化保障装备的建设发展^[13-14]。分析流程如图 2 所示。

图中输入输出内容可描述为:

使命任务: 陆军作战所担负的重大任务与责任。

军事规则: 陆军作战行动的基本遵循。

战略意图: 陆军作战在战略层面要达到的目的或目标。

作战空间: 陆军作战的区域或者范围。

作战力量: 陆军作战活动的所有参与者, 包括人和武器装备。

作战方式: 为实现战略意图的作战方法。

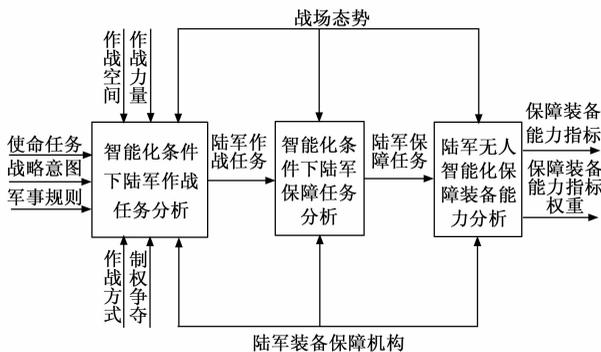


图 2 陆军无人智能化保障装备能力需求分析流程

制权争夺: 陆军作战中在一定时间内对一定空间的控制权。

战场态势: 战场空间内敌、我兵力部署、武器装备和战场环境等。

陆军作战任务: 陆军需要完成的作战任务集合。

装备保障任务: 在完成陆军作战任务的前提下, 需要完成的装备保障任务集合。

保障装备能力指标: 完成陆军装备保障任务需要的保障装备能力的集合。

装备保障能力指标重要度权值: 是指陆军无人智能化保障装备能力指标重要度权值。

2.1 智能化战争条件下装备保障任务需求确定

装备保障任务基于作战任务产生, 通过深入分析智能化战争条件下作战任务, 结合使命任务、战略意图、军事规则、作战空间、作战力量等情况分析智能化条件下作战任务清单。智能化战争条件下装备保障过程应与智能化作战任务衔接、配套, 与传统的机械化作战过程不同, 智能化作战一般按照“智能感知战场态势—智能生成作战方案—精确控制作战行动—人机智能协同”的步骤实施, 这种全新的作战过程离不开智能化装备保障支撑^[15]。根据对智能化作战的任务和特点的分析, 利用 IDEF 方法, 对装备保障任务进行逐级分解, 得到细化的装备保障任务指标^[16-17], 如图 3 所示。

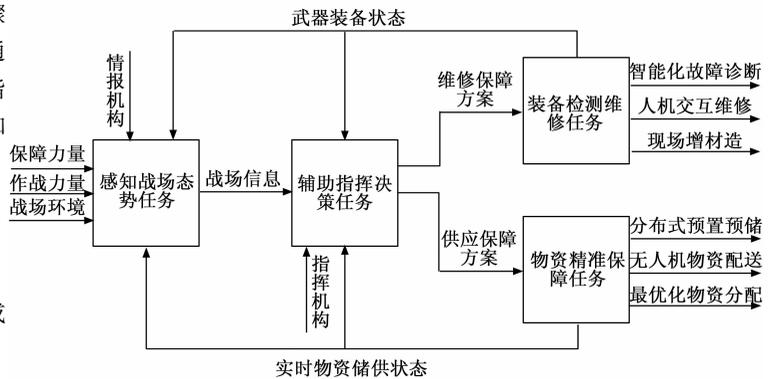


图 3 陆军智能化装备保障任务指标分析模型

由图 3 可知, 智能化装备保障为满足作战任务需求, 必须要在掌握保障需求、保障力量、作战力量等信息的基础上, 智能感知战场态势, 适应智能化作战节奏, 辅助保障人员进行指挥决策, 对保障行动进行精确控制, 实施全域范围的物资保障、装备维修任务。综上所述, 可以明确智能化装备保障需要完成的主要任务包括: 感知战场态势、辅助指挥决策、装备检测维修、物资精准保障 4 项智能化装备保障任务, 确定相应的任务指标, 并对指标进行编号(便于后续计算)如表 1 所示。

表 1 智能化装备保障任务指标

编号	A1	A2	A3	A4
任务指标	感知战场态势	辅助指挥决策	装备检测维修	物资精准保障

1) 感知战场态势任务。智能化战争具有科技赋能、机器主战、全域多维的特点，对于装备保障工作来说，首先要实时精准掌握战场态势，包括战场环境、保障力量部署、保障物资储供、作战力量编配等，通过科学的、合理、可行的人工智能算法，对战场上的海量数据进行快速处理、对战场进态势感知、对战场趋势走向进行基本判断，为高效指挥、精准调控、实时保障奠定基础。

2) 辅助指挥决策任务。科学高效的智能辅助指挥决策系统有利于在短时间内对保障力量进行精准部署，依托智能感知采集的大量战场态势数据信息，通过智能辅助指挥决策系统，利用智能算法对大数据分析处理，对现有的保障资源进行合理调配，自主策划最优保障方案，实现装备保障指挥无人化、智能化、精确化，缩短作战需求与装备保障的“时间差”，以适应智能化战争瞬息万变的战场特点。

3) 装备检测维修任务。智能化战争中机器主战，参战装备种类多、数量大，且多以无人智能化装备为主，损伤机理复杂多样，智能化战争条件下的装备检测维修任务主要体现在三个方面：一是预测诊断智能化，可以依托无人智能化保障装备为载体，通过“装备云”、大数据、增强现实（VR）、虚拟现实（AR）及混合现实（MR）等技术，对装备历史保障维修数据进行存储、处理、分析，预测容易损坏的部件及发生故障的原因，对装备进行自动检测，提高故障检测率和检测精准度。二是维修决策智能化，根据维修人员输入的装备损伤信息，结合装备维修系统内置的海量相关领域专家知识及实践维修经验，依托人工智能技术智能生成维修方案。三是损伤修复智能化，通过3D打印及4D打印等增材制造技术，利用携带的材料现场打印所需维修部件，解决了多样、精细、复杂的零部件存放困难及大型维修器材难以远距离运输等问题，可以节省大量人力、物力、财力和时间成本，提升现场抢修能力。当前最流行的智能化维修技术的应用主要有基于状态的维修（CBM, condition-based maintenance）和故障预测与健康管理（PHM, prognostic and health management）。其中CBM以智能化维修决策支持为核心，维修决策作为连接状态监测和状态维修的桥梁可以有效缩短装备停机时间、提高装备可用度，状态监测、状态评估、状态维修决策是CBM智能决策过程的主要组成部分，CBM具有保障规模小、效率高、预知性好等优点。PHM是针对新一代武器装备的先进测试、维修和管理技术革新方案，主要功能是故障预测和健康管理，其重点是实现由状态监控向健康管理的转变，并将装备故障与寿命预测技术应用在此过程中，实现故障预测、故障识别和故障维修的综合管理过程。PHM将传统的事后维修、定期维修转变为事前、预防性、主动维修，在了解装备部件顺坏机理的情况下，构建顺坏模型，探测潜在故障，实施维修保障，进一步减少维修费用、增强装备完好性、实现自助式维修保障。

4) 物资精准保障任务。在智能化装备保障中，利用智能传感器、物联网、云计算、智能监控等技术，建立智能

供应保障系统，通过微电子芯片对保障物资进行标记，自动获取在储、在运、在用维修设备、器材、弹药等保障物资信息，保障人员可以准确获知、实施掌握运输工具信息，查询掌握各类保障物资的实时数量和所处位置，实现全资产实时可视。依托网络信息系统提供点对点需求供应服务，根据以往数据，建立特征数据库和筛选条件，完成对新整编入库数据的精准对比验证，基于大数据进行数据挖掘和态势预测，分析测算各战斗区域弹药、装备、保障器材等需求，提供准确、高效的供应保障方案，通过分布式前置预储、智能路径规划、智能物流平台，实现在准确的地点、准确的时间、采用正确的路线和运输方式想部队提供精准的物资保障。

2.2 无人智能化保障装备能力指标分析

无人智能化保障装备能力建设是完成智能化装备保障任务的基础，两者具有“一对多”的映射关系，即完成一项保障任务需要多种保障能力。通过对二者之间的映射关系分析可知，感知战场态势任务需要多源数据采集、大数据分析处理、全域互联、安全防护、立体机动等能力；辅助指挥决策任务需要多源数据采集、大数据分析处理、全域互联、智能决策、人机交互、安全防护等能力；装备检测维修任务需要智能调配储供物资、多源数据采集、大数据分析处理、全域互联、人机交互、安全防护、立体机动和故障预测、诊断、维修等能力；物资精准保障任务需要智能调配储供物资、多源数据采集、大数据分析处理、全域互联、智能决策、人机交互、安全防护、立体机动等能力^[18-19]；其映射关系如图4所示。

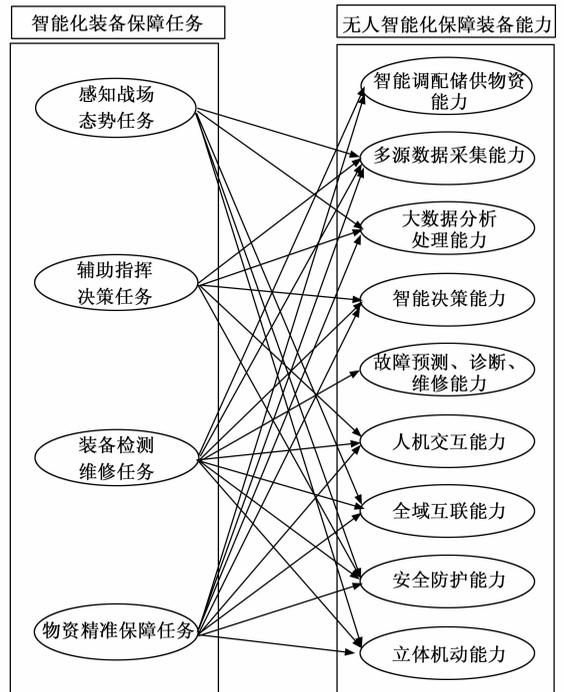


图4 智能化装备保障任务到无人智能化保障装备能力的映射关系图

通过建立的映射关系分析, 完成上述智能化装备保障任务需要无人智能化保障装备具备的能力指标为: 智能调配储供物资、多源数据采集、大数据分析处理、智能决策、全域互联、人机交互、安全防护、立体机动和故障预测、诊断、维修 9 项无人智能化保障装备能力指标, 对指标进行编号 (便于后续计算), 如表 2 所示。

表 2 无人智能化保障装备能力指标

编号	B1	B2	B3	B4	B5
能力指标	智能调配储供物资	多源数据采集	大数据分析处理	智能决策	故障预测、诊断、维修
编号	B6	B7	B8	B9	
能力指标	人机交互	全域互联	安全防护	立体机动	

在确定灰色综合关联矩阵和任务指标重要度权值后, 搭建如图 5 所示的“保障任务—智能化装备保障能力”的 HOQ 模型, 用于量化描述任务指标与能力指标之间的关系。

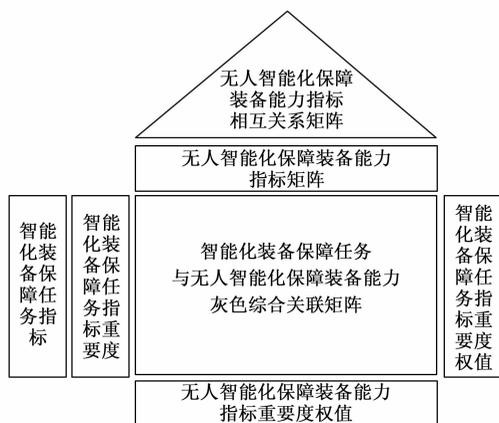


图 5 “保障任务—智能化装备保障能力” HOQ 模型

2.3 无人智能化保障装备能力需求分析

邀请 13 名来自生产厂家、科研院所、装备机关等不同单位, 在相关领域经验丰富的专家对智能化战争条件下装备保障任务指标 $A_i = (\alpha_i(1), \alpha_i(2), \dots, \alpha_i(16))$, ($i = 1, 2, 3, 4$) 和无人智能化保障装备能力指标 $B_j = (b_j(1),$

$b_j(2), \dots, b_j(16))$, ($j = 1, 2, \dots, 9$), 按照 1~9 标度法对其重要度进行打分 (见表 3)。

表 3 专家打分表

专家编号 需求	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A_1	8	6	7	9	7	9	6	7	7	8	6	7	6
A_2	9	8	8	5	8	7	9	7	8	7	8	9	9
A_3	7	5	8	5	6	4	6	7	7	6	6	5	7
A_4	7	8	6	8	5	6	7	6	7	8	6	7	8
B_1	4	3	6	4	3	5	4	3	5	4	3	4	4
B_2	6	7	8	4	6	8	6	6	7	7	5	3	8
B_3	8	7	8	8	7	5	8	7	6	8	4	7	9
B_4	6	7	7	4	7	7	8	6	9	6	7	3	7
B_5	3	3	3	2	4	3	3	6	2	3	4	3	2
B_6	4	3	5	4	3	4	6	3	3	3	2	3	7
B_7	6	5	5	7	5	8	6	5	7	5	4	8	6
B_8	5	4	6	7	5	6	6	5	4	3	5	7	6
B_9	5	4	5	6	7	4	5	4	3	4	5	8	5

根据公式 (1) ~ (10), 利用 Matlab 计算可得出装备保障任务指标 A_i 和无人智能化保障装备能力指标 B_j 的灰色综合关联矩阵为:

$$\Psi = \begin{bmatrix} 0.5869 & 0.8922 & 0.8355 & 0.8688 & 0.6872 \\ 0.8221 & 0.7928 & 0.9273 & 0.8675 & 0.8632 \\ 0.6985 & 0.6522 & 0.7575 & 0.7445 & 0.5926 \\ 0.6547 & 0.8549 & 0.7851 & 0.8093 & 0.5935 \\ 0.6769 & 0.8518 & 0.8457 & 0.7014 & \\ 0.8861 & 0.8062 & 0.7768 & 0.8765 & \\ 0.6009 & 0.5602 & 0.6144 & 0.6798 & \\ 0.6491 & 0.8163 & 0.8138 & 0.6709 & \end{bmatrix}$$

可以得出: $\sum_{j=1}^9 \rho_{1j} > \sum_{j=1}^9 \rho_{2j} > \sum_{j=1}^9 \rho_{3j} > \sum_{j=1}^9 \rho_{4j}$, 即 $A_2 > A_1 > A_3 > A_4$; 根据公式 (12), μ 取 0.5 可得出智能化战争条件下装备保障任务指标 A_i 的重要度权值 λ_i : $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4) = (2.5, 3.5, 0.5, 1.5)$, 而后将 A_i 的重要度权值 λ_i 与灰色综合关联矩阵 ψ 代入质量屋 (HOQ), 按照传统 QFD 方法可计算出无人智能化保障装备能力指标重要度, 见表 4。

表 4 无人智能化保障装备能力指标重要度

装备保障任务指标及其重要度	无人智能化保障装备能力指标									
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	
A_1	2.5	0.5869	0.8518	0.8355	0.8688	0.6872	0.7014	0.8922	0.8457	0.6769
A_2	3.5	0.8221	0.7928	0.9273	0.8675	0.8632	0.8861	0.8062	0.7768	0.8765
A_3	0.5	0.6985	0.6522	0.7575	0.7445	0.5926	0.6009	0.5602	0.6144	0.6798
A_4	1.5	0.6547	0.8549	0.7851	0.8093	0.5935	0.6491	0.8163	0.8138	0.6709
无人智能化保障装备能力指标重要度		5.6759	6.6138	6.8906	6.7945	5.9258	6.0677	6.4558	6.361	6.1675
重要度排序		8	3	1	2	9	7	4	5	6

通过表 4 可以看出： $B_3 > B_4 > B_2 > B_7 > B_8 > B_9 > B_6 > B_1 > B_5$ ，即无人智能化保障装备能力指标中， B_3 最关键， B_4 、 B_2 、 B_7 、 B_8 、 B_9 、 B_6 、 B_1 次之， B_5 最弱。即对于无人智能化保障装备能力建设来说，大数据分析处理能力最为重要，紧随其后的便是智能决策能力、多源数据采集能力、全域互联能力、安全防护能力、立体机动能力，专业性相对明显的智能调配储供物资能力及故障预测、诊断、维修能力排在最后。上述重要度权值的判定结果与无人智能化保障装备能力指标的内在逻辑一致，智能化装备保障的致胜机理是“以智取胜”^[20]，夺取“制智权”需要依托大数据分析处理能力作为保障装备实施保障活动之本；智能决策能力作为保障装备行动的起始点，起着引导保障行动走向的作用；全域互联能力为多源数据采集能力提供了基础，两者协同作用形成了获取保障数据和共享保障信息的关键能力指标；安全防护能力和立体机动能力是保障装备顺利实施各项保障活动的现实基础；人机交互能力是促进保障活动更加高效有序的添加剂；智能调配储供物资能力及故障预测、诊断、维修能力只支持的具体装备保障活动，是无人智能化保障装备的具体执行环节。整体重要度权值排序基本符合当前各国无人智能化保障装备发展重点，能够为无人智能化保障装备建设提供一定参考。

3 结束语

无人智能化保障装备能力需求分析对无人智能化保障装备的建设具有引导、检验和驱动的作用，直接影响智能化战争条件下装备保障效能。本文通过将灰色关联方法引入传统 QFD，构建了基于灰色综合关联矩阵的无人智能化保障装备能力需求分析质量屋 (HOQ)，得到了无人智能化保障装备能力指标重要度排序，对无人智能化保障装备需求论证具有一定的参考依据，为我军开展无人智能化保障装备建设提供理论和决策支持。

参考文献:

[1] 杨 勇, 朱安石, 路明磊. 无人智能化装备建设与运用研究 [J]. 无线电工程, 2020, 50 (5): 418-422.

[2] 张西山, 连光耀, 李会杰, 等. 智能化无人保障装备发展及应用 [J]. 国防科技, 2020, 41 (2): 10-14.

[3] FRANCESCHINI F, GALETTO M, MAISANO D, et al. Prioritisation of engineering characteristics in QFD in the case of customer requirements orderings [J]. International Journal of Production Research, 2018, 53 (13): 3975-3988.

[15] 王晋阳, 严 华. 基于逻辑页冷热分离的 NAND 闪存磨损均衡算法 [J]. 计算机应用, 2016, 36 (5): 1430-1433.

[16] 乔立岩, 张 鹏, 魏德宝, 等. 一种新型 NAND Flash 坏块管理算法的研究与实现 [J]. 电子测量技术, 2015, 38 (11): 37-41.

[17] 曹馥源, 刘 杨, 霍宗亮. NAND 闪存错误缓解技术综述 [J]. 微电子学, 2021, 51 (3): 374-381.

[18] 余恒松. DAS 中 NAND Flash 数据存储技术的研究与 FPGA

[4] 樊延平, 郭齐胜, 王金良. 面向任务的装备体系作战能力需求满足度分析方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38 (8): 1826-1832.

[5] MI C, XIA W. Prioritizing technical requirements in QFD by integrating grey relational analysis method and analytic network process approach [J]. Grey Systems, 2015, 5 (1): 117-126.

[6] 张居凤, 汪 玉, 方志刚. 基于 QFD/SPA 的武器装备需求分析方法 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32 (9): 2016-2021.

[7] 郭齐胜. 装备需求论证理论与方法 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.

[8] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2021.

[9] MATULIA T, ZAMARIN A, MATULIA R. Boat equipment design methodology based on QFD and FEA [J]. Journal of Maritime & Transportation Science, 2015, 50 (1): 87.

[10] 何 帆, 黄 东, 李其祥, 等. 基于 GQFD 的新型装甲防暴车战技性能重要度分析 [J]. 军械工程学院学报, 2016, 28 (3): 1-5.

[11] 秦海峰, 侯兴明, 廖兴禾, 等. 基于 GQFD 航天装备维修保障能力需求分析 [J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41 (7): 228-231.

[12] 陈伟龙, 陈春良, 管 翔, 等. 面向进攻作战任务的抢修对象任务重要度确定方法 [J]. 火力与指挥控制, 2018, 43 (2): 129-135.

[13] 陈 健, 滕克难, 杨春周, 等. 基于 QFD 的动能反卫装备体系技术需求分析 [J]. 火力与指挥控制, 2015, 40 (2): 45-49.

[14] 何 帆, 黄 东, 李其祥, 等. 基于 GQFD 的新型装甲防暴车战技性能重要度分析 [J]. 军械工程学院学报, 2016, 28 (3): 1-5.

[15] 姜相争, 刘铁林, 古 平. 基于机器学习的装备保障能力指标重要度评估方法研究 [J]. 军事运筹与评估, 2022, 37 (4): 24-29.

[16] 马 悦, 吴 琳, 许 霄, 等. 智能化作战任务规划需求分析 [J]. 指挥控制与仿真, 2021, 43 (4): 61-67.

[17] 郑少秋, 吴 浩, 梁汝鹏, 等. 智能化作战及其智能指挥控制技术需求 [J]. 火力与指挥控制, 2022, 47 (2): 1-6.

[18] 马艳丽, 许双伟, 张雪胭, 等. 无人智能化后装保障模式与方式创新研究 [J]. 科技与创新, 2022 (20): 132-134.

[19] 辜会宁, 贾红丽, 李 凯, 等. 基于 SWOT 的陆军无人智能化保障装备发展对策研究 [J]. 舰船电子工程, 2022, 42 (8): 8-12.

[20] 庞宏亮. 智能化战争制胜思想研究 [J]. 国防大学学报, 2019 (6): 27-32.

实现 [D]. 成都: 西南科技大学, 2019.

[19] 乔立岩, 李元亨, 王 戈, 等. 一种 NAND Flash 坏块管理优化方法的实现 [J]. 电子测量技术, 2015, 38 (7): 19-21, 26.

[20] 刘巍杰. 基于 FPGA 的 NAND Flash 控制器系统设计 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.

[21] 张贤玉, 周昌义, 安军社. 星载同步 NAND Flash 存储控制器设计 [J]. 计算机工程与设计, 2021, 42 (10): 2790-2798.

(上接第 116 页)