

doi: 10.7690/bgzdh.2023.08.007

战场环境对工程保障任务的影响分析

刘 丽¹, 王 东², 韩 宁³

(1. 重庆建安仪器有限责任公司, 重庆 400060; 2. 西南计算机有限责任公司技术中心, 重庆 400060;
3. 重庆军工产业集团有限公司信息技术研究所, 重庆 401123)

摘要: 针对当前工程保障指挥中对影响工程保障任务作业的战场环境因素分析存在的问题, 构建战场环境影响分析模型。规范描述战场环境因素信息及与工程保障任务关联, 采用层次分析法确定多级评估指标权重, 改进模糊综合评价法计算综合影响系数。结果表明, 该模型可为工程保障指挥精确决策提供数据支撑。

关键词: 战场环境; 工程保障任务; 模糊综合评价

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Analysis of the Influence of Battlefield Environment on Engineering Support Task

Liu Li¹, Wang Dong², Han Ning³

(1. Chongqing Jian'an Instrument Co., Ltd., Chongqing 400060, China;
2. Technology Center, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060, China;
3. Institute of Information Technology, Chongqing Military Industry Group Co., Ltd., Chongqing 401123, China)

Abstract: In view of the problems existing in the analysis of battlefield environment factors affecting engineering support tasks in the current engineering support command, the battlefield environment impact analysis model is constructed. The information of battlefield environment factors and its association with engineering support tasks are described normatively, the weight of multi-level evaluation index is determined by using AHP, and the comprehensive influence coefficient is calculated by improving fuzzy comprehensive evaluation method. The results show that the model can provide data support for accurate decision-making of engineering support command.

Keywords: battlefield environment; engineering support task; fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

随着联合作战精确保障的要求越来越高, 陆战场环境对于工程保障行动的影响重视度日渐增加。陆战场环境纷繁复杂, 战场环境数据来源广泛, 包括自然条件、人文条件、战场建设以及信息、网络电磁环境等因素, 战场情况的发展会直接影响指挥员的判断, 如何运用战场环境数据, 是确保指挥决策迅速、高效、可靠的关键^[1]。

战场环境分析是针对工程保障行动中战场环境各要素的基本特点、分布特征以及与各要素之间的相互关系和作用, 探讨和研究对工程保障指挥、工程保障行动和工程作业装备运用的综合影响。笔者结合工兵部(分)队遂行各类工程保障任务的行动特点、作业要求和工程措施, 充分利用各种途径获取的地理信息和各种环境专题信息, 分析战场环境与工程保障任务之间的关联和影响, 通过改进模糊综合评价方法, 对影响工程保障任务作业的战场环境

因素进行量化和权重分析, 综合评价战场环境对工程保障任务的影响, 为工程保障指挥精确决策提供数据支撑。

1 战场环境分析现状

目前, 我军战场环境数据来源于各种信息, 各类信息系统建设过程中已进行多类战场环境数据的有效提取、处理、整合和集成研究工作, 遵循统一的技术体制规范描述战场环境数据^[2]。对于工程保障指挥决策, 战场环境因素是人员和装备的作业效能发挥、指挥员精准决策的关键指标之一, 是工程作业量、作业完成时间、作业效率等准确计算的基础。现役工程保障指挥信息系统中, 指挥决策模型经过多次迭代, 均重点考虑任务清单、作业力计算、任务分配等方面, 战场环境的分析主要沿用初期军事需求模型, 导致战场环境对工程保障任务的影响因素设置较简单, 无法真实体现战场环境对工程装备作业的影响。存在的问题主要表现在以下 3 方面:

收稿日期: 2023-04-07; 修回日期: 2023-05-12
作者简介: 刘 丽(1980—), 女, 湖北人, 硕士。

1) 影响装备作业的战场环境信息与情报脱钩, 战场环境对于保障任务作业的影响分析, 完全依赖指挥员经验, 而不是与情报、气象、水文、地质等战场环境真实信息衔接关联, 导致很难客观评价战场环境对装备作业的影响; 2) 战场影响因素对所有装备的影响指数一样, 战场环境影响因素没有根据工程装备的特性进行区分, 所有工程装备环境影响因素的影响力相同, 不同类型的工程装备在计算时没有体现差异化, 不能真实反映战场环境对工程装备作业的影响; 3) 复杂战场环境条件下, 环境综合影响指数计算不科学, 综合战场环境指数计算简单粗暴, 各因素简单相乘即为综合修正系数, 边界条件时计算出来的影响指标严重偏离正常作业指标, 无法有效支撑工程保障指挥决策。

战场环境分析针对工兵部(分)队任务清单和作业装备特点, 建立基于工程保障任务的环境影响因素关系, 实现工程保障任务和战场环境数据的关联; 结合历史行动数据和专家经验, 分析战场环境对工

程保障任务作业的影响, 选择战场环境各要素构建工程保障任务影响指标, 进而综合评价战场环境对工程保障任务作业的影响, 为辅助决策的作业效能分析计算提供数据支撑。

2 战场环境影响分析模型

根据工程保障任务清单, 分析影响任务/子任务的战场环境因素, 形成战场环境影响因素集, 建立任务/子任务与战场环境因素之间的映射关系, 实现根据任务需求提取其所需的最小、完备的战场环境影响因素组合, 进行量化分析。

2.1 战场环境数据需求分析

根据工程保障任务属性分析关联战场环境影响数据要素^[3], 工程战场环境影响数据可分为工程作业环境影响数据、水文、天候气象环境影响数据、敌情影响数据、我情影响数据、电磁环境影响数据、核生化环境影响数据等, 如图 1 所示。

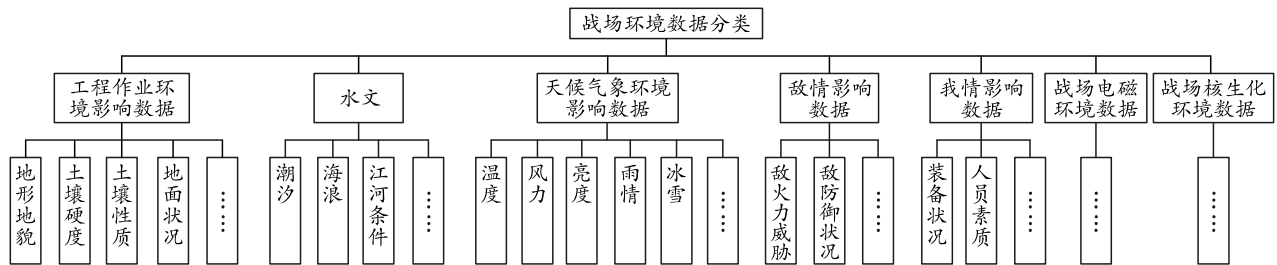


图 1 战场环境数据分类

分析各类工程保障任务对战场环境要素的需求, 对环境数据进行筛选, 结果如表 1 所示。

表 1 战场环境数据需求

环境类型	环境要素	环境数据需求
工程作业环境影响	地形地貌	平原、丘陵地、低山地、山岳丛林地、……
	土壤硬度	松软土、中等土、硬土、……
	地面状况	泥泞路面、中等起伏地、……
	土壤性质	带砂和碎石的土地、生长植物的土壤、夹砂地、砂质粘土、坚硬青粘土、……
	水质污染情况等作业条件	无污染、化学污染、生物污染、……
天候气象环境影响	风	无风、小风、中风、大风、……
	亮度	白天、夜间、雾天、……
	雨晴	晴天、小雨、中雨、大雨、……
	冰雪	……
敌情影响	敌火力威胁	无敌情、敌情顾虑、敌火威胁、敌空袭威胁、敌使用核、化学武器、……
	敌防御状况	强、一般、弱、没有、……
我情影响	装备状况	完好、一般、较差、……
	人员素质	熟练、中等、差、……
	就便器材	充足、较多、较少、……
水文环境影响	潮汐	……
	…	……

基于工程保障任务与战场环境信息之间的映射关系, 在需求形式化描述的基础上, 采用 XML 方式描述两者映射关系加以存储并用于交互使用与重构^[4], 作为对工程保障任务的战场环境数据调用的描述规范, 可表达如下:

```

<Task>//工程保障任务
<ID>01</ID>//任务编号
<Name>“构筑急造军路”</Name>//任务名称
<Environment_TYPE>//环境分类
<Environment_ID>01</Environment_ID>//环境分类编号
<Environment_name>“工程作业环境影响因素”
</Environment_name>//环境分类名称
<Classification>//要素分类
<Classification_ID>0101</Classification_ID>//要素分类编号
<Classification_name>“土壤硬度”
</Classification_name>//要素分类名称
    
```

```

</Classification>
<Property>//环境数据
<Property_ID>010101</Property_ID>//环境数据编号
<Property_name>“松软土”
</Property_name>//环境数据名称
</Property>
<Value_max>0.50</Value_max>//最大值
<Value_min>0.90</Value_min>//最小值
<Value>0.75</Value>//影响值
</Enviroment_TYPE>
...
</Task>

```

通过任务与环境数据的映射关系，与工程保障任务进行关键字匹配，筛选工程保障任务作业的战场环境影响因素，结合任务具体的作业方法、作业装备调用战场环境数据。以构筑急造军路工程保障任务为例，根据其构筑路基、构筑路面、设置沿线设施、排除沿线障碍、实施伪装等子任务的属性要求和作业方法，匹配、筛选出各子任务的战场环境影响因素，如表 2 所示。

表 2 构筑急造军路战场环境数据需求

子任务	战环境数据需求	
构筑路基	地形地貌、土壤硬度、土壤性质、气象气候、地面状况、原有道路状况、敌情、我情	
.....	
设置沿线设施	地面状况、气象气候、敌情、我情	地形地貌、土壤硬度、土壤性质、气象气候、地面状况、原有道路状况、敌情、我情、伪装等级、.....
排除沿线障碍	地形地貌、地面状况、气象气候、敌情、我情	
实施伪装	地形地貌、伪装等级、气象气候、敌情、我情	
.....	

将各项子任务的环境数据需求融合可形成构筑急造军路任务的战场环境影响数据，分析各环境对任务的影响评价指标，能够支持按照任务层级分别计算战场环境对任务、子任务的综合影响结果。

2.2 战场环境影响评价方法

工程保障任务作业过程中，战场环境产生影响是多方面、相互作用的^[5]，现役指挥信息系统对战场环境影响的计算过度依赖经验、边界定义模糊、算法简单相乘，结果容易因个别环境因素产生较大偏离，不能准确地反映多种类的战场环境因素对工程保障任务的影响。

2.2.1 模糊综合评价方法

模糊综合评价是对受多种影响的事物做出全面评价的一种有效的多因素据侧方法，应用模糊关系合成原理将边界不清、不易定量的因素定量化，进而进行综合性评价的方法，具有结果清晰、系统性强^[6-7]的特点。

当评价对象的影响因素众多，很难真实反映各因素在整体中的地位时，通常采用多级模糊综合评判方法来解决，以二级模糊评判方法为例：

首先，将评价指标集按共性方法组成两级指标体系， $U=\{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ ， $U_i \cap U_j = \phi (i \neq j)$ ；设 $U_i (i=1, 2, \dots, m)$ 有 k_i 个二级指标，记作 $U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik_i}\}$ ， $(i=1, 2, \dots, m)$ ，其中 u_{ij} 表示 U_i 的第 j 个二级指标。

根据各指标的重要程度，赋予各指标的相应权重，设 U_i 的权重为 $a_i (i=1, 2, \dots, m)$ ，则一级权重集为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ ， $0 \leq a_i \leq 1, \sum_{i=1}^m a_i = 1$ ，设二级指标

u_{ij} 的权重为 $a_{ij} (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, k_i)$ ，则二级指标的权重为 $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik_i}\}$ ， $0 \leq a_{ij} \leq 1, \sum_{j=1}^{k_i} a_{ij} = 1$ ，

$i=1, 2, \dots, m$ 。

设指标的评价集为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ ，对每一个二级指标做一级模糊综合评判，定出 U_i 的每个因素 u_{ij} 的评级等级的隶属度 $(r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ijn})$ ， k_i 个因素的评判结果可用 $k_i \times n$ 阶模糊矩阵 R_i 表示，通常采用专家评判的方法确定权向量形成评价矩阵进行加权处理得到模糊矩阵：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1n} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{ik_i1} & r_{ik_i2} & \dots & r_{ik_in} \end{bmatrix}, (i=1, 2, \dots, m)。$$

式中： R_i 为 U_i 的一级模糊综合评价的单因素评判矩阵， U_i 的一级模糊综合评价矩阵为：

$$B_i = A_i \circ R_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik_i}) \circ \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1n} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{ik_i1} & r_{ik_i2} & \dots & r_{ik_in} \end{bmatrix} = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ik_i})。$$

式中：为合成运算，可采用不同的模糊算子，根据实际情况和运算效果决定。

对一级指标进行二级模糊综合评价，形成二级模糊综合评价集为：

$$B=A^{\circ}R=(a_1, a_2, \dots, a_m)^{\circ} \begin{bmatrix} A_1 & R_1 \\ A_2 & R_2 \\ \vdots & \vdots \\ A_m & R_m \end{bmatrix}=(b_1, b_2, \dots, b_m)。$$

式中：\$B\$ 为 \$U\$ 中所有因素的综合评价结果，\$b_i(i=1, 2, \dots, m)\$ 表示评价结果评价集中地 \$k\$ 个等级的隶属度，再由最大隶属度原则或加权平均法定出最终结果。

2.2.2 改进模糊综合评价方法

针对战场环境多因素、多对象影响的特点，改进模糊综合评价方法，通过定义隶属度函数将影响分析矩阵转换为模糊评价矩阵，运用多级模糊综合评价方法计算战场环境对工程保障任务的综合影响，采用层次分析法确定模糊综合评价权重，使权重的分配更加科学。基本步骤如下：

1) 确定评价指标集。将评价指标集 \$U\$ 按照一定的共性和方法组成 1 个 2 级指标体系，\$U=\{U_1, U_2, \dots, U_m\}\$ 评价 \$u\$ 包括 \$p\$ 个评价指标 \$u=\{u_1, u_2, \dots, u_p\}\$。

- 2) 评价结果等级是计算最优结果，即 \$v=\{\text{最优}\}\$。
- 3) 建立多对象模糊综合评价矩阵。

评价方案矩阵 \$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{21} & \dots & r'_{m1} \\ r'_{12} & r'_{22} & \dots & r'_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r'_{1p} & r'_{2p} & \dots & r'_{mp} \end{bmatrix}\$，\$R'\$ 的每个

元素 \$r'_{ij}\$ 表示第 \$i\$ 个对象的第 \$j\$ 个评价指标数值，建立隶属度函数，将评价方案转化为模糊评价矩阵 \$R\$ (评价指标最优)。

- 4) 建立效益型隶属度函数。

$$u(x) = \begin{cases} 1, & x \geq M_1 \\ (x - M_2)/(M_1 - M_2), & M_2 < x < M_1 \\ 0, & x \leq M_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中 \$M_1\$ 和 \$M_2\$ 分别为最大值和最小值，通常根据经验和作业能力设置。

$$R' = \begin{pmatrix} 150 & 80 & 160 & 70 & 72 & 3500 & 20 & 5 & 0.6 & 15 & 0.5 & 0.6 & 800 \\ 200 & 60 & 140 & 80 & 60 & 2600 & 15 & 3 & 0.7 & 200 & 0.6 & 0.7 & 1000 \end{pmatrix}^T;$$

- 3) 通过式(1)隶属度函数对综合评价矩阵进行变换，得到隶属度评价矩阵：

$$R = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.8 & 0.8 & 0.7 & 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.8 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.5 \\ 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.4 & 0.8 & 0.75 & 0.4 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.75 \end{pmatrix}^T;$$

- 4) 运用层次分析法确定各评价指标的权重，构

5) 确定评价因素的权向量。采用层次分析法确定影响因素的权向量，并在合成之前归一化，即 \$\sum_{i=1}^p a_i = 1, a_i > 0\$。

6) 运用多级模糊综合评价计算影响结果。采用加权平均型模糊算子 \$(\bullet, \oplus)\$ 做计算，算子定义：

$$A(\bullet, \oplus)R = \sum_{j=1}^m r_{ij}a_j = \min\{1, \sum_{j=1}^m r_{ij}a_j\}。 \quad (2)$$

当 \$\sum_{j=1}^m a_j = 1\$，且 \$a_j > 0\$ 时，\$(\bullet, \oplus)\$ 变为 \$(\bullet, +)\$，则式(2)变化为：

$$A(\bullet, +)R = \sum_{j=1}^m r_{ij}a_j。 \quad (3)$$

3 应用实例

以构筑急造军路排除沿线障碍任务作业为例，筛选战场环境影响因素，明确评价指标数据，如表 3 所示。

表 3 排除沿线障碍战场环境影响数据

一级指标	二级指标	环境影响数据			
		装备 1	装备 2	\$M_1\$	\$M_2\$
A	\$a_1\$	150	200	300	50
	\$a_2\$	80	60	100	0
B	\$b_1\$	160	140	200	0
	\$b_2\$	70	80	100	0
C	\$c_1\$	72	60	84	24
	\$c_2\$	3 500	2 600	5 000	2 000
	\$c_3\$	20	15	30	10
D	\$d_1\$	5	3	6	1
	\$d_2\$	0.6	0.7	1	0
	\$d_3\$	150	200	300	50
E	\$e_1\$	0.5	0.6	1	0
	\$e_2\$	0.6	0.7	1	0
	\$e_3\$	800	1 000	1 200	400

- 1) 确定多级评价指标集合：

\$u=(A B C D E)\$，\$u_1=(a_1 a_2)\$，\$u_2=(b_1 b_2)\$，\$u_3=(c_1 c_2 c_3)\$，\$u_4=(d_1 d_2 d_3)\$，\$u_5=(e_1 e_2 e_3)\$，结果设置计算最优；

- 2) 建立综合评价矩阵：

造成对比较矩阵 \$Z\$，计算其最大特征根，对矩阵做

一致性检验，求特征向量并归一化得：
 $\omega = (0.4759 \ 0.2636 \ 0.0538 \ 0.0981 \ 0.1081)$ ，构造 $u_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 的比较矩阵 $Z_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ ，同样分别求的权重 $\omega_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ ， $\omega_1=(0.5 \ 0.5)$ ， $\omega_2=(0.333 \ 0.667)$ ， $\omega_3=(0.606 \ 0.265 \ 0.129)$ ， $\omega_4=(0.429 \ 0.429 \ 0.143)$ ， $\omega_5=(0.636 \ 0.185 \ 0.179)$ 。

5) 运用多级模糊评价方法综合评价，由隶属度矩阵 R 可得各单项指标的评估矩阵：

$$R_i (i=1, 2, 3, 4, 5), \quad R_1 = \begin{pmatrix} 0.4 & 0.6 \\ 0.8 & 0.6 \end{pmatrix},$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.7 \\ 0.7 & 0.8 \end{pmatrix}, \quad R_3 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.8 \\ 0.5 & 0.75 \end{pmatrix},$$

$$R_4 = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.4 \\ 0.6 & 0.7 \\ 0.6 & 0.4 \end{pmatrix}, \quad R_5 = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.6 \\ 0.6 & 0.7 \\ 0.5 & 0.75 \end{pmatrix},$$

运用算子 $(\bullet, +)$ 进行第一级模糊评价得：

$$b_1 = \omega_1(\bullet, +)R_1 = (0.6 \ 0.6),$$

$$b_2 = \omega_2(\bullet, +)R_2 = (0.733 \ 3 \ 0.766 \ 7),$$

$$b_3 = \omega_3(\bullet, +)R_3 = (0.318 \ 2 \ 0.551 \ 2),$$

$$b_4 = \omega_4(\bullet, +)R_4 = (0.708 \ 0.543 \ 5),$$

$$b_5 = \omega_5(\bullet, +)R_5 = (0.518 \ 5 \ 0.645 \ 4),$$

构造二级评价矩阵 $Q = (b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5)^T$ ，再次运用子 $(\bullet, +)$ 进行模糊评价的到评价结果： $P = \omega(\bullet, +)Q = (0.621 \ 5 \ 0.640 \ 4)$ 。

对比原系统模型方法(专家经验确定影响指标值并将指标值相乘)计算出的结果和历史经验,采用改进模糊综合评价方法得出的战场环境对工程保障任务作业的影响更合理和贴近实际运用情况。

4 结论

笔者针对工程保障任务作业特点,分析任务与战场环境之间的关联,建立工任务与战场环境因素间的匹配映射关系,采用 XML 方式规范性描述;同时,基于模糊综合评判方法进行改进,构建工程保障任务的战场环境影响指标体系,采用层次分析法设计评价指标权重,通过多级模糊综合评价法计算评价结果,避免简单赋值、相乘的主观随意性,保证战场环境影响评价结果的可靠性、准确性和客观性,为工程保障指挥精确决策提供数据支撑。战场环境对工程保障任务的影响是多方面的,现有数据样本是部分工程保障演训成果,存在典型性和局限性,后续考虑针对战场环境影响指标值、指标权重以及隶属度函数等进行更全面分析,提高战场环境影响分析的科学性和准确性。

参考文献:

- [1] 张文诗. 战场环境分析[M]. 郑州: 信息工程大学, 2009.
- [2] 朱杰, 游雄, 夏青. 基于任务驱动的战场环境分析数据映射模型设计与实现[J]. 地理信息世界, 2017, 24(4): 80-85.
- [3] 游雄. 战场环境仿真[M]. 北京: 解放军出版社, 2012.
- [4] 李信忠, 李思. 作战任务细化与规范描述研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(3): 31-34.
- [5] 周先华, 李宏伟, 余勤. 工程保障作业计算原型系统知识处理要点分析[J]. 军事运筹与系统工程, 2002(3): 2-5.
- [6] 苏续军, 陈建泗. 模糊综合评判的装备研制风险评估[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(4): 118-120, 124.
- [7] 金菊良, 魏一鸣, 丁晶, 等. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报 2004(3): 65-70.