

# 储供基地支援保障能力评估混合算法

周文明<sup>1,\*</sup>, 崔德康<sup>1</sup>, 周婧怡<sup>2</sup>, 张明明<sup>3</sup>, 朱安石<sup>1</sup>

(1. 国防大学联合勤务学院, 北京 100858; 2. 桂林电子科技大学人工智能学院, 广西 桂林 541200;  
3. 中国人民解放军 32707 部队, 北京 100071)

**摘要:** 针对战时物资储供能力评估缺少有效模型算法的问题, 分析了储供基地战时物资供应保障的主要影响因素和关键环节, 建立了储供基地支援保障能力评估指标体系, 提出综合运用定义量化、考核评价、模糊算法、层次分析、排队网络和指数综合等算法, 计算其人员素质、仓储、装卸、投送、指挥控制、信息保障等指标的值, 最后给出了综合保障能力评估模型算法。实例分析验证了所提算法的有效性, 为战时作战物资仓储供应保障辅助决策和信息系统设计提供依据。

**关键词:** 仓储供应; 层次分析法; 排队论; 模糊算法; 指数综合法; 能力评估

**中图分类号:** O 22

**文献标志码:** A

**DOI:**10.12305/j.issn.1001-506X.2022.09.17

## Hybrid algorithm for evaluation of support capability of storage and supply base

ZHOU Wenming<sup>1,\*</sup>, CUI Dekang<sup>1</sup>, ZHOU Jingyi<sup>2</sup>, ZHANG Mingming<sup>3</sup>, ZHU Anshi<sup>1</sup>

(1. Joint Logistic College, National Defense University, Beijing 100858, China;

2. College of Artificial Intelligence, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541200, China;

3. Unit 32707 of the PLA, Beijing 100071, China)

**Abstract:** In view of the lack of effective model algorithm for wartime material storage and supply capacity evaluation, the main influencing factors and key links of wartime material supply support of storage and supply base is analyzed. The evaluation index system of support capacity of storage and supply base is established. And the comprehensive use of algorithms such as definition quantification, assessment and evaluation, fuzzy algorithm, analytic hierarchy process (AHP), queuing network, and index synthesis is putted forward to calculate its personnel quality, storage, loading and unloading, delivery, command and control, information support and other indicators. Finally, the algorithm of comprehensive support capability evaluation model is given. The effectiveness of the proposed algorithm is verified by an example analysis, which provides a basis for the auxiliary decision-making of wartime war materiel storage and supply support and the design of information system.

**Keywords:** warehousing supply; analytic hierarchy process (AHP); queuing theory; fuzzy algorithm; index synthesis method; competency assessment

## 0 引言

联勤储供基地是联合作战联勤支援保障的重要力

量<sup>[1]</sup>, 是实施机动支援保障的重要依托, 也是抽组机动支援保障力量的重要来源。战时对储供基地保障能力进行有效评估和物资仓储供应优化决策, 是科学运用储供基地力量

收稿日期:2021-04-27; 修回日期:2021-11-17; 网络优先出版日期:2022-03-15。

网络优先出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2422.TN.20220315.1137.006.html

基金项目:装备科研基金(GD20172A05032)资助课题

\* 通讯作者。

引用格式:周文明, 崔德康, 周婧怡, 等. 储供基地支援保障能力评估混合算法[J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44(9): 2832-2839.

**Reference format:** HOU W M, CUI D K, ZHOU J Y, et al. Hybrid algorithm for evaluation of support capability of storage and supply base[J]. Systems Engineering and Electronics, 2022, 44(9): 2832-2839.

和资源进行战役支援保障的前提和基础,是保障决策辅助的重要且科学的有效手段,对提高储供基地物资供应保障军事经济效益具有重要价值。

从研究资料看,在仓储供应保障能力评估方面研究并不多,唐梦妮等对仓库管理保障能力指标体系构建原则和构建方法方面进行了研究,但没给出保障能力评估方法<sup>[2]</sup>。谢鑫鹏等只对车辆器材仓库收发单项能力评估进行了研究<sup>[3]</sup>。梁展对军用车辆装备维修器材仓储管理从理论上及研究现状等方面进行了研究,提出车辆装备维修器材库存管理诸多优化措施,但没有进行联合作战支援保障能力评估方法、保障辅助决策等相关内容的研究<sup>[4]</sup>。王嫣等运用层次分析法对仓库航材保障能力评估进行了研究,考虑了战时、业务、建设等多个方面,但研究内容较为泛化,针对性不强<sup>[5]</sup>。文献[6-16]主要从理论上研究了储供基地、军种保障基地等单位的建设设想、思路、措施等方面提出自己的观点,没有从保障能力评估的角度提出相应工程化方法,因此为战时支援保障辅助决策提供决策支持的适用性不强,为平时能力建设提供借鉴参考的说服力也明显不足。

综上所述,目前大部分研究都是将仓储和供应分开研究,研究的物资种类比较单一,评估和辅助决策算法也比较单一<sup>[17-19]</sup>,而储供基地往往是储备许多类后勤和装备物资器材,储、收发装卸、运输供应等工具手段也不尽相同,人员技术同样有所差别,因此单一的评估算法和优化方法很难准确、合理、有效地对其进行能力评估和辅助指挥决策。本文将储供基地实体部(分)队整体作为研究对象,对其联合作战支援保障能力进行综合考察,对其仓储、装卸供应和部分投送能力一体化考虑,提出一种混合法<sup>[20-24]</sup>,即综合运用多种算法,针对不同指标的量化分析需求,采取有针对性地量化方法计算其指标值,最后通过指数综合方法计算出储供基地的综合保障能力,为战时遂行支援保障指挥决策,提高其保障效能提供技术支持。

1 仓储供应保障要素分析

根据赋予储供基地的职能任务,以及其勤务支援保障流程,其勤务保障环节主要涵盖物资的筹措、接收、储备、装卸供应、少量的物资投送等,也是分析保障能力影响因素的依据。此外,信息化水平是未来信息化作战仓储供应保障能力的重要影响因素,起到能力倍增器的作用。鉴于战争总是有先兆,预有准备,因此在评估储供基地支援保障能力时,只考虑储存内容、储存数量、装载能力和效率、有限投送物资能力等相关的能力影响因素。当然,指挥控制能力、防卫能力、人员素质等都勤务支援保障产生影响。综上所述,在借鉴可拓学中的发散-相关方法下,建立了储供基地勤务支援保障能力评估指标体系,并通过运用信息论中的背景压缩、相似压缩、奇点压缩方法对其进行约简,建立如图 1 所示的评估指标体系。

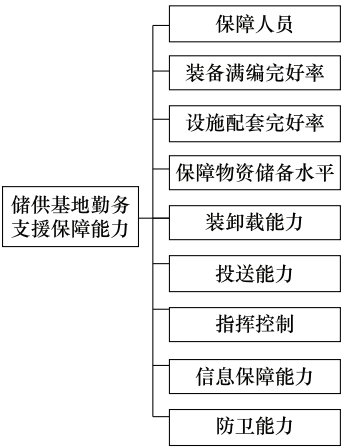


图 1 储供基地勤务支援保障能力指标体系  
Fig. 1 Service support capability index system of storage and supply base

2 指标的量化

根据建立的指标体系,分别采用考核评价、专家经验法、定义量化法、层次分析法、排队网络法、模糊综合、指数综合等算法来量化各指标的值得。

2.1 定义量化方法

定义 1 装备满编完好率,用所配备的保障装备中新、堪数量占比数表征,反映了装备配备完好的总体保障能力水平,用  $x_2$  表示如下:

$$x_2 = \begin{cases} \frac{n_m}{n_d}, & n_m \leq n_d \\ 1, & n_m > n_d \end{cases} \tag{1}$$

式中: $n_m$  为配备保障装备中新、堪数; $n_d$  为保障装备的编制数量。

定义 2 设施配套完好率,是指保障设施配套且新、堪占比率,反映了保障设施保障水平,用  $x_3$  表示如下:

$$x_3 = \begin{cases} \frac{n_v}{n_w}, & n_v \leq n_w \\ 1, & n_v > n_w \end{cases} \tag{2}$$

式中: $n_v$  为配备设施中新、堪设施的数; $n_w$  为设施应编数。

定义 3 保障物资储备水平,是指保障物资,如油料、弹药等物资的实际储备数量与战时可能需要保障的数量之比,反映了各类物资战时储备保障水平,即战时对各类作战物资需求的满足程度,用  $x_4$  表示如下:

$$x_4 = \begin{cases} \frac{n_1}{Q_0^*}, & n_1 \leq Q_0^* \\ 1, & n_1 > Q_0^* \end{cases} \tag{3}$$

式中: $x_4$  为保障物资储备水平; $n_1$  为物资当前储备数量; $Q_0^*$  为战时物资保障需求量,是一个动态变化的数量,但可根据作战可能的规模、烈度(强度)等按历史期望值来确定,具体算法见第 3 节。

**定义 4** 装卸载能力,就是物资供应保障中的装载和卸掉物资能力,通常用在指定的时长内完成装载交通工具的数量除以排队等候交通工具的总和来表征,用  $x_5$  表示如下:

$$x_5 = \frac{n_c}{N} \quad (4)$$

式中: $n_c$  表示已完成装载的交通工具数,其计算方法见第 4 节; $N$  表示排队等候的交通工具总量。

物资装载和卸载是储供基地物资供应保障中的重要环节,装载部(分)队的职责就是在指定的时长内,最大限度地完成交通运输工具的装配任务,确保各类物资满足战场需求。

## 2.2 军事运筹量化方法

战时运输投送虽然不是储供基地最重要的任务,但根据新的储供基地的职能任务要求,战时还应承担部分的运输投送任务,主要是储供基地所能辐射范围内的近程投送任务。物资运输投送问题比较复杂,目前对于储供基地来讲,因不具备空运、海运、以及铁路运输能力,所以主要考虑公路运输方式。影响运输投送能力的因素很多,难以用数学解析方法计算,针对公路运输投送,假设运投能力用  $x_6$  表示,车况(含维修)  $m_1$ ,路况  $m_2$ ,编配组织  $m_3$ ,防卫  $m_4$ ,路程  $m_5$ ,  $m_i (i=1,2,3,4,5)$  的取值由专业人员计算,则  $x_6$  的值计算如下:

$$x_6 = \sum_{i=1}^5 a_i m_i \quad (5)$$

式中: $a_i$  为权重,且  $\sum_{i=1}^5 a_i = 1$ ,用层次分析法计算<sup>[25]</sup>。

人员在仓储供应保障过程中始终起着决定性作用,用  $x_1$  表示人员的素质和能力。人员包括指挥人员、信息保障人员、警勤防卫人员、物资管理人员、装卸人员等类别。分类综合考虑各类人员的学历专业、文化科学知识和军事科学知识学习情况、岗位受训情况等构成的知识结构;包括创新、学习、自我管理等在内的能力构成;包括身心健康、政治、军政在内的素质结构进行打分评价<sup>[26]</sup>。总体来说,人员因素是一个模糊因子,这里选择以模糊综合的方法得到人员能力指标的量化评估值<sup>[27]</sup>。

信息化联合作战中的信息保障能力是影响保障效能的重要因素,用  $x_8$  表示。主要包括情报、保障需求、保障命令指示等信息的获取和传输;需求信息和保障任务信息的处理优化,以及信息对抗中的信息保密、抗干扰等内容。信息保障能力中的诸多指标很难确定哪个更重要,因此也是一个模糊类因子,其量化方法可通过专家评估后采用模糊综合的方法得到综合量化分值。

## 2.3 实际考核评价量化方法

指挥控制能力主要考察指挥组织机构设置、综合判断能力、协调能力、机关工作效率、决心方案设计论证的质量等,用  $x_7$  表示。防卫能力主要包括防发现(即伪装)能力、地面警勤防破坏能力等,用  $x_9$  表示。 $x_7$  和  $x_9$  的量化主要采取实际考核方法确定。

## 3 战时物资保障需求计算

战时物资保障需求计算是量化储供基地保障物资储备水平指标的必要步骤,也是最优化保障物资储备数量的重要参考。战时储供基地各类保障物资到底应该储多少,才能满足保障需求,并实现最大军事经济效益,这是储供基地面对的基本问题。

### 3.1 基本假设与问题提出

假设每供应一个单位某类物资(如 1 t 油料、弹药、军需物资等)所产生的军事经济价值为  $sx$  元。军事价值随某次战役价值而随机变化,通常军事价值比较大,如影响战争进程和战争胜负,所以常取比较大的值更为合理。当然也可以换一种角度来说,设定因产生的军事价值而获得激励性奖励  $sx$  元,当然奖励金额是次要的,为赢得战争所提供的保障支持是主要的,通常  $sx$  取较大的值。如果因供过于求,则剩余库存物资每个单位需付出库存维持成本费用  $sy$  元。根据战争经验,不同规模和烈度(强度)战争中该类物资需求数量  $Q_i$  的概率(记作  $P(Q_i)$ )是已知的,那么需要计算出该储供基地一次该规模和某烈度作战最佳储备该种物资的单位个数(可设为  $t$ )。

### 3.2 建模与求解

从损失期望最小的角度建模求解<sup>[28]</sup>,设某次联合作战规模和强度已知,此次作战该类保障物资需求量  $Q_i$  是离散随机变量,其概率(已知)服从泊松分布,即

$$P(Q_i) = \frac{(\gamma^{Q_i})}{Q_i!} e^{-\gamma} \quad (6)$$

式中: $\gamma$  为平均需求量。则根据概率的性质可得  $\sum_{Q_i=0}^{\infty} P(Q_i) = 1$ 。

设储供基地储备该物资的数量为  $Q_0$ ,则:① 当供过于求时( $Q_i \leq Q_0$ ),仓库因积压而承担的仓储维持成本损失的期望为

$$\sum_{Q_i=0}^{Q_0} sy(Q_0 - Q_i) P(Q_i) \quad (7)$$

② 当供不能满足作战供应需要时( $Q_i > Q_0$ ),因缺货而对作战进程和胜负造成影响通常考虑为较大,这里以较大的军事价值成本损失来近似代替,即每单位成本损失为  $sx$  元。则成本损失期望为

$$\sum_{Q_i=Q_0+1}^{\infty} sx(Q_i - Q_0) P(Q_i) \quad (8)$$

综合以上两种情况,可得储供基地储备该类物资量为  $Q_0$  时,成本损失的期望值  $E_c(Q_0)$  为

$$E_c(Q_0) = \sum_{Q_i=0}^{Q_0} sy(Q_0 - Q_i) P(Q_i) + \sum_{Q_i=Q_0+1}^{\infty} sx(Q_i - Q_0) P(Q_i) \quad (9)$$

目标是求使得  $\min(E_c(Q_0))$  存在的  $Q_0$  值。不妨设储备的物资件数只能取整数,所以  $Q_i$  是离散变量,不能用求导数的方法来求极值,因为是最优解,所以该物资的最佳储备数量设为  $Q_0^*$ ,其成本损失期望值应满足如下条件关系:

$$E_c(Q_0^*) \leq E_c(Q_0^* - 1) \quad (10)$$

$$E_c(Q_0^*) \leq E_c(Q_0^* + 1) \quad (11)$$

分别从式(10)和式(11)进行推导,得到储供基地应储备的物资的最佳数量  $Q_0^*$  的决策判据,即

$$\sum_{Q_s=0}^{Q_0^*-1} P(Q_s) < \frac{sx}{sx+sy} \leq \sum_{Q_s=0}^{Q_0^*} P(Q_s) \quad (12)$$

#### 4 确定装载完成运输工具的数量

确定装载和卸载  $x_5$  的值,首先需计算在指定时长内完成装车量  $n_c$  的值,这里用排队论中的排队网络模型<sup>[29]</sup>计算  $n_c$  和  $x_5$  的值。

根据排队网络相关理论,分以下两种情况分别计算。

**情况 1** 单个待装载交通工具仅装一种物资(如:军需物资、战救药材、弹药或器材)

模型假设:

(1) 运输保障物资交通运输工具的到达时间差服从负指数分布,参数为  $\lambda$ ,表达式如下:

$$P\{X(t)=n\} = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (n=0,1,2,\dots) \quad (13)$$

(2) 运输交通工具到达多个点位。

(3) 待保障物资共分  $m$  种。

(4) 在时刻  $t$  同时有  $n$  个交通工具抵达,每辆交通工具仅运送一种物资类别。

(5) 抵达的  $n$  个运输交通工具按装运物资类别排成  $m$  个队列,单个队列中等待装运的交通工具数为  $n_1, n_2, \dots, n_m$ ,且  $\sum_{i=1}^m n_i = n$ 。

(6) 每个排队按先到达先服务原则。

(7) 每个点位中的队列又分多个装运点,也称服务台,其多少分别为  $s_i (i=1,2,\dots,m)$ ,  $\rho_i = \lambda/s_i\mu_i$  为各个点的利用参数因子,用来衡量忙碌的时间均值,即排队的装运能力( $s\mu$ )被待装交通工具( $\lambda$ )利用的水平,为排除无限队长,取  $\rho_i < 1$ 。

由假设可见,各个站点都是一个独立的系统,全部站点构成开放的排队网络,因单个运输交通工具仅装运一类物资,所以仅需通过一个服务台,计算比较简单。按照状态的统计平衡情形要求,排队网络的稳态方程如下:

$$\begin{cases} \mu_i P_{i(1)} = \lambda P_{i(0)} \\ (n_i+1)\mu_i P_{i(n_i+1)} + \lambda P_{i(n_i-1)} = (\lambda + n_i\mu_i) P_{i(n_i)}, 1 \leq n_i \leq s_i \\ s_i\mu_i P_{i(n_i+1)} + \lambda P_{i(n_i-1)} = (\lambda + s_i\mu_i) P_{i(n_i)}, n_i > s_i \end{cases} \quad (14)$$

式中:  $\sum_{j=1}^m P_{i(j)} = 1, i=1,2,\dots,m$ ,且  $\rho_i \leq 1$ 。

用递推法解上述差分方程,可求得状态概率为

$$P_{i(0)} = \left[ \sum_{k=0}^{s_i-1} \frac{1}{k!} \left( \frac{\lambda}{\mu_i} \right)^k + \frac{1}{s_i!} \frac{1}{\left( 1 - \frac{\lambda}{s_i\mu_i} \right)} \left( \frac{\lambda}{\mu_i} \right)^{s_i} \right]^{-1} \quad (15)$$

$$P_{i(n_i)} = \begin{cases} \frac{1}{n_i!} \left( \frac{\lambda}{\mu_i} \right)^{n_i} P_{i(0)}, 0 \leq n_i \leq s_i \\ \frac{1}{s_i!} \frac{1}{s_i^{n_i-s_i}} \left( \frac{\lambda}{\mu_i} \right)^{n_i} P_{i(0)}, n_i > s_i \end{cases} \quad (16)$$

期望(平均)队长  $L_i$  和期望(平均)等待队长  $L_{iq}$  分别为

$$L_{iq} = \sum_{n=s_i}^{\infty} (n-s_i) P_{i(n)} = \sum_{j=0}^{\infty} j P_{i(s_i+j)} = \frac{P_{i(0)} (\lambda/\mu_i)^{s_i} \rho_i}{s_i! (1-\rho_i)^2} \quad (17)$$

每辆交通运输工具期望(平均)等待时长  $W_{iq}$  和期望(平均)停留时长  $W_i$  由 Little 公式求得

$$\begin{cases} W_{iq} = \frac{L_{iq}}{\lambda} \\ W_i = W_{iq} + \frac{1}{\mu_i} \end{cases} \quad (18)$$

解得停留时长后,便可获得时长  $T$  内平均装运完成的交通工具数量:

$$n_c = \sum_{i=1}^m \text{INT} \left[ \frac{T}{W_i} \right] \quad (19)$$

式中:  $\text{INT}[\cdot]$  表示取整。由此可计算获得装运分队的任务完成能力:

$$x_5 = \frac{\sum_{i=1}^m \text{INT} \left[ \frac{T}{W_i} \right]}{N} \quad (20)$$

**情况 2** 单个交通运输工具同时装运多类物资

在战时交通运输工具经常一次运送多类物资(如军需物资、战救药材、弹药等),待装运交通运输工具需通过不同物资装运地点,即需要通过两个以上装运设施。

模型假设:

(1) 若时刻  $t$  有  $n$  台交通运输工具排队,单个运输工具均要装运物资  $K (K \geq 2)$  类。

(2) 若一装运工具在装运站点  $i$  完成装运后,以概率  $P_{i,j}$  到达装运站点  $j$ 。

(3) 设排队空间无限,则所有排队组成一个开放排队网络。

一台运送工具离开设施  $i$  以概率  $p_{i,j}$  到达下一装运站点  $j (j=1,2,\dots,m)$ ,或者以概率  $q_i$  离开装运系统:

$$q_i = 1 - \sum_{j=1}^m p_{i,j} \quad (21)$$

记  $\delta_j (j=1,2,\dots,m)$  为第  $j$  个装运排队总到达率,即可按该排队外的到达率与别的装运站点转来的到达率相加计算获得

$$\delta_j = \lambda + \sum_{i=1}^m \delta_i p_{i,j}, i=1,2,\dots,m \quad (22)$$

令  $\rho_i = \delta_i/s_i\mu_i, i=1,2,\dots,m$ ,称  $\rho_i (i=1,2,\dots,m)$  为第  $i$  个装运站点服务因子。若所有  $i$  满足  $\rho_i < 1$ ,则称网络为平稳的。记服务站点  $i$  前面的待装运交通运输工具排队长为  $m_i$ ,可得装运站点网络的平稳排队长分布概率为

$$p(m) = \prod_{i=1}^m p_i(m_i) \quad (23)$$

其中：

$$p_i(m_i)=\begin{cases} \frac{(s_i\rho_i)^{m_i}}{n_i}b_i, & m_i\leqslant s_i \\ \frac{(s_i\rho_i)^{m_i}}{s_i!s_i^{m_i-s_i}}b_i, & m_i>s_i \end{cases}$$

$$b_i=\left[\sum_{j=0}^{s_i-1}\frac{(s_i\rho_i)^j}{j!}+\frac{(s_i\rho_i)^{s_i}}{s_i!}\frac{1}{1-\rho_i}\right]^{-1}, i=1,2,\cdots,m$$

同情况 1,分别求解获得每个装运排队的平均等待时长  $W_{iq}$  和停留时长  $W_i$ 。

$$\begin{cases} L_{iq}=\frac{P_{i(0)}(\delta_i/\mu_i)^{s_i}\rho_i}{s_i!(1-\rho_i)^2} \\ L_i=L_{iq}+\frac{\delta_i}{\mu_i} \end{cases} \tag{24}$$

式中:参数  $\delta_i$  由求解式(24)获得,设  $\omega$  为系统的到达率,是所有从其他装运站点来到该装运点的到达率,  $\omega=m\lambda$ ,则

$$W=\sum_i^m\frac{L_i}{\omega} \tag{25}$$

在时长  $T$  内平均完成装运的交通运输工具数  $n_c$ ,装运部(分)队的装运保障能力  $x_5$  的计算分别如下：

$$\begin{cases} n_c=\frac{T}{W} \\ x_5=\frac{n_c}{N} \end{cases} \tag{26}$$

5 指数综合模型

指数综合法<sup>[30-31]</sup>具有较好的综合评估分析特点,能很好体现指标间的关联关系。基于指数综合法的视角考虑,储供基地支援保障能力与各指标之间存在着一定关联(数量)关系,用函数表示如下：

$$Y=F(\mathbf{X})=Kx_1^{\tau_1}x_2^{\tau_2}\cdots x_n^{\tau_n} \tag{27}$$

式中: $Y$  表示储供基地支援保障能力; $\mathbf{X}=[x_1,x_2,\cdots,x_\rho]$  表示  $\rho$  项效能指标; $\tau_i(i=1,2,\cdots,\rho)$  表示各项指标的指数,幂指数满足  $\sum_{i=1}^n\tau_i=1$ ,常用权重来计算; $K$  表示调节参数。

基地勤务支援能力的 9 个指标中,  $x_5$  同  $x_6$  耦合紧密,但  $x_1,x_2,x_3,x_4,x_7$  和  $x_8$  对总体的影响具有间接性,  $x_9$  与其他指标相关性不强。故选用  $x_1\sim x_8$  作为指数,将  $x_9$  用

作调节项因子。运用上文各项指标的计算方法确定各项指标的数值,得到指数模型如下：

$$Y=x_1^{\tau_1}\cdot x_2^{\tau_2}\cdot x_3^{\tau_3}\cdot x_4^{\tau_4}\cdot x_5^{\tau_5}\cdot x_6^{\tau_6}\cdot x_7^{\tau_7}\cdot x_8^{\tau_8}\cdot x_9 \tag{28}$$

其中,  $\tau_i(i=1,2,\cdots,n)$  由层次分析法给出。

6 实例分析

设某储供基地储备物资种类包括军需物资、维修器材、战救药材、油料和部分通用弹药,物资储备水平  $x_4$  由式(6)~式(12)计算。根据物资类别,装卸服务设施分为 6 类,每一类服务设施中设置装卸若干站点,即服务台若干,根据排队情况和装卸设备数量开设。6 类装卸服务设施的装卸站点数量和服务效率基本数据如表 1 所示。其中,装运时长均以小时计量,单位时间(如 1 h)装完某类物资运输工具数量定义为服务率(即  $\mu_i$ )。假设某次小规模低强度联合作战时,支援保障运输车辆到达服从  $\lambda=0.417$  的泊松分布,每一类运输车辆只负责运送一类物资(运送多类物资情况类似求解)。设装备满编完好率  $x_2$  为 0.93,设施配套完好率  $x_3$  为 0.96,保障人员综合能力  $x_1$  为 0.98,投送能力  $x_6$  为 0.86,指挥控制能力  $x_7$  为 0.87,信息保障能力  $x_8$  为 0.76,防卫能力  $x_9$  的值为 0.88,保障物资储备水平  $x_4$  为 0.997。

表 1 小规模低强度储供基地物资装卸分队基本情况

Table 1 Basic information of material loading and unloading unit of small-scale and low-intensity storage and supply base

物资类别	服务台数量	服务率	待装车辆数量	约束时间/h
弹药 1	1	0.83	15	15
弹药 2	2	0.91	13	15
油料 3	1	2	25	15
军需物资 4	2	1.5	17	15
维修器材 5	2	0.73	11	15
战救药材 6	1	1.2	7	15

$x_5$  根据式(15)~式(20)计算,即平均队长、等待队长、停留时长、等待时长、完成装运交通工具数和物资装载效能,计算值如表 2 所示。“装载完成数量”表示为  $X(Y)$ ,  $Y$  表示在给定的时间里可以装载完成车辆数,  $X$  表示实际装载车辆数。

表 2 小规模低强度储供基地支援保障物资装卸保障结果

Table 2 Loading and unloading support results of support materials for small-scale and low-intensity storage and supply base

排队	等待队列长/(台/小时)	排队长/(台/小时)	等待时长/h	停留时间/h	装载完成数量	$x_5$
排队 1	0.576 5	1.078 9	1.382 5	2.587 3	5	0.863 6
排队 2	0.025 5	0.483 7	0.061 1	1.160 0	12	0.863 6
排队 3	0.030 8	0.239 3	0.073 8	0.573 8	25(26)	0.863 6
排队 4	0.005 4	0.283 4	0.013 0	0.679 7	17(22)	0.863 6
排队 5	0.051 8	0.623 0	0.124 2	1.494 0	10	0.863 6
排队 6	0.085 1	0.363 1	0.204 1	0.870 7	7(17)	0.863 6

结果分析:通过层次分析法确定出  $\tau_1=0.133, \tau_2=0.099, \tau_3=0.097, \tau_4=0.188, \tau_5=0.145, \tau_6=0.126, \tau_7=0.105, \tau_8=0.107$ 。

运用式(28)即可求得储供基地保障能力:

$$Y=x_1^{\tau_1}x_2^{\tau_2}x_3^{\tau_3}x_4^{\tau_4}x_5^{\tau_5}x_6^{\tau_6}x_7^{\tau_7}x_8^{\tau_8}x_9=$$

$$0.98^{0.133} \times 0.93^{0.099} \times 0.96^{0.097} \times 0.997^{0.188} \times 0.863\ 6^{0.145} \times$$
  
$$0.86^{0.126} \times 0.87^{0.105} \times 0.76^{0.107} \times 0.88=0.791\ 2$$

从表 2 可以看出,排队 1、2、5 在规定的时间内没能按规定时间装完待装的运输工具,主要原因一是几个排队的工作效率较低;另一个原因是各排队的服务台数量仍不能满足装载任务要求,尤其对于某些弹药和维修器材装载难度可能稍大,服务率较低。

6.1 相同规模强度下保障能力评估计算

在同等作战规模和强度(即小规模低强度联合作战条件不变)下,如何提高储供基地的支援保障能力,这是勤务保障指挥人员根据评估结果进行思考辅助决策的问题。可以根据具体的装载对象和时间要求,通过提高人员操作技能,或者提高装载专用设备配备来提高服务率;也可通过增设服务台,即增设装载点来提高保障效率。例如,通过提高

弹药 1 排队装载人员的操作技能和增加专用装载设备来提高服务率达 0.98,并增加一个服务台,使其在规定的 15 h 内保障能力达到装载完成 14 辆,整体装载能力从 0.864 提高到 0.966,如表 3 和表 4 所示。同时提高信息化水平到 0.97,则储供基地的整体保障能力为

$$Y=x_1^{\alpha_1}x_2^{\alpha_2}x_3^{\alpha_3}x_4^{\alpha_4}x_5^{\alpha_5}x_6^{\alpha_6}x_7^{\alpha_7}x_8^{\alpha_8}x_9=$$

$$0.98^{0.133} \times 0.93^{0.099} \times 0.96^{0.097} \times 0.997^{0.188} \times 0.965\ 9^{0.145} \times$$
  
$$0.86^{0.126} \times 0.87^{0.105} \times 0.76^{0.107} \times 0.97=0.893\ 2$$

表 3 小规模低强度储供基地物资装卸分队情况

Table 3 Material loading and unloading team of small-scale and low-intensity storage and supply base				
物资种类	服务台数量	服务率	待装车辆数量	约束时间/h
弹药 1	2	0.98	15	15
弹药 2	2	0.91	13	15
油料 3	1	2	25	15
军需物资 4	2	1.5	17	15
维修器材 5	2	0.73	11	15
战救药材 6	1	1.2	7	15

表 4 小规模低强度储供基地支援保障物资装卸保障情况

Table 4 Loading and unloading support of support materials for small-scale and low-intensity storage and supply base						
排队	等待队列长/(台/小时)	排队队长/(台/小时)	等待时长/h	停留时间/h	装载完成数量	$x_5$
排队 1	0.202 0	0.445 7	0.048 4	1.068 8	14	0.965 9
排队 2	0.025 5	0.483 7	0.061 1	1.160 0	12	0.965 9
排队 3	0.030 8	0.239 3	0.073 8	0.573 8	25(26)	0.965 9
排队 4	0.005 4	0.283 4	0.013 0	0.679 7	17(22)	0.965 9
排队 5	0.051 8	0.623 0	0.124 2	1.494 0	10	0.965 9
排队 6	0.085 1	0.363 1	0.204 1	0.870 7	7(17)	0.965 9

在相同作战规模和强度条件下,通过提高装卸载能力和信息化水平使得储供基地的整体保障能力从 0.791 2 提高到 0.893 2,如图 2 所示,从而有效提高了储供基地的综合保障能力。

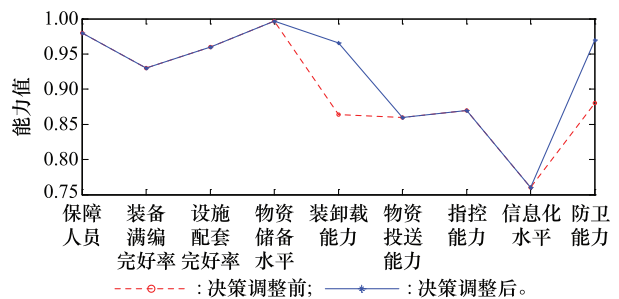


图 2 小规模低强度作战条件下提高单项指标保障能力前后能力值对比图

Fig. 2 Comparison of capability before and after improving the support ability of single index under the condition of small-scale and low-intensity operation

6.2 不同规模强度下的保障能力评估计算

当作战规模和强度提高,则保障强度显然必然要随之提高,仓储水平、装卸载能力、运输投送能力、信息化水平及其他指标显然要求更高。

假设某次作战规模调整为中等规模,强度提升为中等强度,此时支援保障运输车辆到达服从  $\lambda=0.497$  的泊松分布,支援保障物资同上,若服务台和服务率保持不变,但待装载车辆的数量必然增多,具体情况如表 5 所示,此时装卸载能力计算如表 6 所示。

表 5 中等规模中强度储供基地物资装卸保障分队情况

Table 5 Material loading and unloading support unit of medium scale and medium strength storage and supply base				
物资种类	服务台数量	服务率	待装车辆数量	约束时间/h
弹药 1	1	0.83	20	11
弹药 2	2	0.91	22	11
油料 3	1	2	28	11
军需物资 4	2	1.5	18	11
维修器材 5	2	0.73	15	11
战救药材 6	1	1.2	11	11

表 6 中等规模中强度储供基地支援保障物资装卸保障结果

Table 6 Loading and unloading support results of support materials of medium scale and medium intensity storage and supply base							
排队	等待队列长/(台/小时)	排队队长/(台/小时)	等待时长/h	停留时间/h	装载完成数量	$x_5$	
排队 1	0.576 5	1.078 9	1.382 5	2.587 3	3	0.578 5	
排队 2	0.044 3	0.590 5	0.089 2	1.188 1	9	0.578 5	
排队 3	0.002 6	0.251 1	0.005 2	0.505 2	21	0.578 5	
排队 4	0.021 6	0.270 1	0.043 4	0.543 4	18(20)	0.578 5	
排队 5	0.092 3	0.773 2	0.185 8	1.555 6	7	0.578 5	
排队 6	0.246 7	0.660 8	0.496 3	1.329 7	8	0.578 5	

可见,除了排队 4,其他排队的物资装载都不能完成预期任务,由此装卸能力降低到 0.578 5。同样,其他指标的值同样因为作战保障强度的提高,其装备损坏率都相应提高而下降,保障人员的技能也会因作战强度的提高而降低,由于篇幅限制,这里只给出计算结果如下: $x_1=0.977$ ,  $x_2=0.89$ ,  $x_3=0.91$ ,  $x_4=0.93$ ,  $x_5=0.578$ ,  $x_6=0.83$ ,  $x_7=0.86$ ,  $x_8=0.75$ ,  $x_9=0.87$ 。

此时,储供基地的保障能力为

$$Y=x_1^{r_1}x_2^{r_2}x_3^{r_3}x_4^{r_4}x_5^{r_5}x_6^{r_6}x_7^{r_7}x_8^{r_8}x_9^{r_9}=$$

$$0.977^{0.133}\times0.89^{0.099}\times0.91^{0.097}\times0.93^{0.188}\times0.578^{0.145}\times$$
$$0.83^{0.126}\times0.86^{0.105}\times0.75^{0.107}\times0.87=0.721\ 6$$

可见,在中等规模中等强度联合作战条件下该储供基地的保障能力远不能满足保障需求,当前能力至多算是及格水平。为了保证能够满足在中等规模和中等强度作战条件下的支援保障能力要求,平时必须加强各类保障人员的理论培训和技能训练,战时必须相应增加各类物资的服务台数量,装卸装备和设备的性能,并提高服务率,同时提高物资的储备水平、信息化保障水平、运输投送能力,相应加强防卫能力,这样才能满足较高规模和强度联合作战储供基地的支援保障要求。

7 结 论

本文建立的储供基地支援保障能力评估混合算法,能有效评估储供基地综合保障能力,该算法模型也为储供基地的物资储备水平、装卸载、人员的调整 and 培训、信息化建设、投送能力的提高等诸多方面提供决策依据和方法。

参考文献

[1] HUA H, NAN Z Q, WANG S Q. Logistics support[M]. Beijing: Chinese Encyclopedia Publishing House, 2007.

[2] 唐梦妮, 董鹏, 余鹏. 后方仓库管理保障能力评估指标体系设计[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(11): 51-57.

TANG M N, DONG P, YU P. Establishment of warehouse management and wupport capability evaluation indicator system[J]. Fire Control and Command Control, 2019, 44(11): 51-57.

[3] 谢鑫鹏, 张大鹏, 任聪, 等. 车辆器材仓库收发能力评估[J]. 物流技术, 2019, 38(10): 137-140.

XIE X P, ZHANG D P, REN C, et al. Evaluation of inbound and outbound capability of vehicle equipment warehouse[J]. Logistics Technology, 2019, 38(10): 137-140.

[4] 梁展. 军用车辆装备维修器材仓储管理研究[J]. 物流技术, 2017, 36(10): 146-150.

LIANG Z. Study on service parts warehousing management of military vehicle equipment[J]. Logistics Technology, 2017, 36(10): 146-150.

[5] 王嫣, 韩庆田, 张毅. 基于层次分析法的仓库航材保障能力评估研究[J]. 价值工程, 2015, 15(4): 8-10.

WANG Y, HAN Q T, ZHANG Y. Study on aerial material support ability evaluation of storage based on AHP[J]. Value Engineering, 2015, 15(4): 8-10.

[6] 王毅. 美军保障基地建设特点探析[J]. 海军学术研究, 2018, 29(5): 86-88.

WANG Y. Analysis on the characteristics of the construction of the US army support base[J]. Naval Academic Research, 2018, 29(5): 86-88.

[7] 蒋丽华, 牛牧天. 海军基地物流服务需求特征探究[J]. 海军学术研究, 2018, 29(6): 73-75.

JIANG L H, NIU M T. Research on the characteristics of logistics service demand in naval base[J]. Naval Academic Research, 2018, 29(6): 73-75.

[8] 蒋丽华, 牛牧天. 美国海军基地物流与供应链的运作机制[J]. 海军学术研究, 2018, 29(8): 80-83.

JIANG L H, NIU M T. Opereation mechanism of logistics and supply chain in US naval base[J]. Naval Academic Research, 2018, 29(8): 80-83.

[9] 赵德龙, 王宾, 高波, 等. 军事物流基地装卸力量建设探讨[J]. 仓储管理与技术, 2018(3): 3-6.

ZHAO D L, WANG B, GAO B, et al. Discussion on the construction of loading and unloading force of military logitics base[J]. Warehouse Management and Technology, 2018(3): 3-6.

[10] 于殿祥, 张子昂, 鞠小林. 加强综合性投送基地力量体系“四化”建设[J]. 长缨, 2019(2): 53-54.

YU D X, ZHANG Z A, JU X L. Strengthen the construction of the “four modernizations” of the comprehensive delivery base force system[J]. Chang Ying, 2019(2): 53-54.

[11] 郭立卿, 王锐淇, 王妙春. 储供基地野营战储物资逆向流转系统组织架构探析[J]. 仓储管理与技术, 2018(5): 7-8.

GUO L Q, WANG R Q, WANG M C. Analysis on the organizational structure of the reverse circulation system of storage and supply base camping battle[J]. Warehouse Management and Technology, 2018(5): 7-8.

[12] 张磊, 连尧, 丁大侃. 一体化军队储供基地和战役仓库智能安防系统建设研究[J]. 仓储管理与技术, 2020(1): 19-22.

ZHANG L, LIAN Y, DING D K. Research on the construction of intelligent security system of integrated army storage and supply bases and battle warehouses[J]. Warehouse Managemnt and Technology, 2020(1): 19-22.



- [13] 乐惠宁, 程甘霖. 提高储供基地机械化信息化水平之我见[J]. 仓储管理与技术, 2019(1): 26-28.  
LE H N, CHENG G L. My views on improving the level of mechanization and informatization of storage and supply bases[J]. Warehouse Management and Technology, 2019(1): 26-28.
- [14] 王华林, 张大卫. 无人智能化储供基地建设探讨[J]. 仓储管理与技术, 2019(5): 23-26.  
WANG H L, ZHANG D W. Discussion on the construction of unmanned intelligent storage and supply base[J]. Warehouse Management and Technology, 2019(5): 23-26.
- [15] 张梦得, 戴明强. 海军装备仓库存储优化方法研究[J]. 兵工自动化, 2017, 36(1): 71-75.  
ZHANG M D, DAI M Q. Study on navy equipment warehouse storage optimum method[J]. Ordnance Industry Automation, 2017, 36(1): 71-75.
- [16] 孙长水, 方云金, 宋瑞华. 对建设快速高效的战储物资储供基地建设的思考[J]. 仓储管理与技术, 2015(1): 9-11.  
SUN C S, FANG Y J, SONG R H. Thoughts on the construction of fast and efficient war storage material storage and supply base[J]. Warehouse Management and Technology, 2015(1): 9-11.
- [17] 张建东, 荀烨. 基于德尔菲-熵权值综合赋权的仓库物资保障能力模糊评估模型研究[J]. 物流技术, 2019, 38(10): 145-149.  
ZHANG J D, XUN Y. Research on fuzzy evaluation model of warehouse material support capability based on Delphi-entropy weight comprehensive weighting[J]. Logistics Technology, 2019, 38(10): 145-149.
- [18] 龚杰, 雍歧东, 于力, 等. 基于云模型和层次分析法的油料保障能力评估[J]. 兵工自动化, 2018, 37(1): 66-69.  
GONG J, YONG Q D, YU L, et al. Evaluation of POL support ability based on cloud model and AHP[J]. Ordnance Industry Automation, 2018, 37(1): 66-69.
- [19] 连云峰, 代冬升, 连光耀, 等. 基于模糊综合评判的后装保障能力评估[J]. 兵工自动化, 2020, 39(11): 5-9.  
LIAN Y F, DAI D S, LIAN G Y, et al. Logistics and equipment support capabilities evaluation based on fuzzy synthetic evaluation[J]. Ordnance Industry Automation, 2020, 39(11): 5-9.
- [20] 徐吉辉, 谢文俊. 综合评价理论、方法与军事应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 1-50.  
XU J H, XIE W J. Comprehensive evaluation theory method and military application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014: 1-50.
- [21] 冯永敏. 后方车辆器材仓库保障能力评价研究[D]. 北京: 国防大学, 2019: 1-30.  
FENG Y M. Research on support ability evaluation of rear vehicle equipment warehouse[D]. Beijing: National Defense University Publishing House, 2019: 1-30.
- [22] 周文明. 装备保障辅助决策建模与仿真[M]. 北京: 国防大学出版社, 2015: 150-280.  
ZHOU W M. Modeling and simulation of auxiliary decision-making for equipment support[M]. Beijing: National Defense University Publishing House, 2015: 150-280.
- [23] 匡小平, 邓威, 李文禄. 基于灰色层次分析法的战储物资管理效能评价[J]. 军事交通学院学报, 2014, 16(11): 55-59.  
KUANG X P, DENG W, LI W L. Efficiency evaluation of war storage material management based on grey analytic hierarchy process[J]. Journal of Military Transportation University, 2014, 16(11): 55-59.
- [24] 周庆忠, 田野, 熊彪. 联合后勤保障效能评价模型研究[J]. 物流技术, 2016, 35(1): 173-177.  
ZHOU Q Z, TIAN Y, XIONG B. Research on evaluation model of joint logistics support effectiveness[J]. Logistics Technology, 2016, 35(1): 173-177.
- [25] 廖爱红, 侯福均. 基于逼近理想点和层次分析法的城市安全评价[J]. 中国公共安全(学术版), 2009, 14(1): 35-39.  
LIAO A H, HOU F J. City security evaluating based on approximate ideal point and AHP[J]. China Public Security (Academy Edition), 2009, 14(1): 35-39.
- [26] 任海泉. 军队指挥学[M]. 北京: 国防大学出版社, 2007: 296-300.  
REN H Q. Science of military command decision[M]. Beijing: National Defence University Publishing House, 2007: 296-300.
- [27] 时和平, 韩桃. 基于模糊综合评判方法的装备维修人员保障能力评估[J]. 现代电子技术, 2008, 246(1): 96-98.  
SHI H P, HAN T. Evaluation in support ability of equipment maintenance personnel based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Modern Electronics Technology, 2008, 246(1): 96-98.
- [28] 张建林. Matlab 定量决策五大类问题-50 个运作管理经典案例分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 145-148.  
ZHANG J L. Matlab five categories of problems in quantitative decision-making and analysis of 50 classic cases of operation management[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2013: 145-148.
- [29] FREDERICK S. HILLER G, LIEBERMAN J. 运筹学导论[M]. 胡运权等, 译. 北京: 清华大学出版社, 2007: 783-787.  
FREDERICK S. HILLER G, LIEBERMAN J. Introduction to operation research[M]. HU Y Q, et al. Trans. Beijing: Tsinghua University Publishing House, 2007: 783-787.
- [30] 谭守林, 闫双卡, 陈雪松. 基于指数法的巡航导弹作战效能评估模型[J]. 火力与指挥控制, 2010, 35(5): 173-179.  
TAN S L, YAN S K, CHEN X S. Fighting efficiency evaluation model of cruise missile based on index method[J]. Fire Control and Command Control, 2010, 35(5): 173-179.
- [31] ZHOU W M, SHEN S W, XIA W X, et al. Hybrid algorithm for prediction of battlefield rescue capability of brigade medical aid station[C]//Proc. of the International Conference on Intelligent and Interactive Systems and Applications, 2018.

## 作者简介

周文明(1970—),男,副教授,硕士研究生导师,博士,主要研究方向为军事运筹、机器学习、建模仿真。  
崔德康(1991—),男,硕士研究生,主要研究方向为后装保障能力评估研究。  
周婧怡(2000—),女,本科,主要研究方向为人工智能。  
张明明(1982—),女,工程师,硕士,主要研究方向为军事后勤学。  
朱安石(1985—),男,讲师,博士,主要研究方向为军事运筹。