

doi: 10.7690/bgzdh.2023.07.017

# 基于多能力属性匹配的工程保障任务分配方法

王 东<sup>1</sup>, 刘 丽<sup>2</sup>, 黄云会<sup>1</sup>

(1. 西南计算机有限责任公司技术中心, 重庆 400060; 2. 重庆建安仪器有限责任公司, 重庆 400060)

**摘要:** 针对工程兵部(分)队工程保障任务分配中工程作业装备能力特征和任务需求有效匹配的问题, 建立工程装备/任务能力属性集合, 提出基于多能力属性匹配的任务分配方法。根据工程保障任务特点分解能力属性需求, 分析工程装备作业能力, 给出工程装备能力优先分配算法, 优选出作业时间最短的工程装备集合, 以构筑急造军路为例, 验证结果表明: 该方法能够提高工程装备和任务能力属性的匹配度, 为指挥人员精准、高效地制定工程保障计划提供支撑。

**关键词:** 工程兵; 工程保障任务; 任务分配; 多能力属性

**中图分类号:** TJ07 **文献标志码:** A

## Engineering Support Task Assignment Method Based on Multi-capability Attribute Matching

Wang Dong<sup>1</sup>, Liu Li<sup>2</sup>, Huang Yunhui<sup>1</sup>(1. *Technique Center, Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060, China;**2. Chongqing Jian'an Instrument Co., Ltd., Chongqing 400060, China)*

**Abstract:** Aiming at the problem of effective matching between engineering operation equipment capability characteristics and task requirements in engineering support task assignment of engineering corps, an engineering equipment/task capability attribute set is established, and a task assignment method based on multi-capability attribute matching is proposed. According to the characteristics of engineering support tasks, the capability attribute requirements are decomposed, the operation capability of engineering equipment is analyzed, the priority assignment algorithm of engineering equipment capability is given, and the engineering equipment set with the shortest operation time is optimized. Taking the construction of urgent military road as an example, the verification results show that the method can improve the matching degree between engineering equipment and task capability attributes, which provide support for commanders to accurately and efficiently formulate engineering support plans.

**Keywords:** engineering corps; engineering support task; task assignment; multi-capability attribute

## 0 引言

现代战争形态的不断演变, 信息化条件下联合作战的组织形式和对抗方式发生深刻变化<sup>[1-4]</sup>。面对未来地面战场环境城市化、互联深入、致命威胁和多方协作的发展趋势, 作为陆战场作战保障力量的重要组成部分, 工程兵部(分)队需要适应陆军部队全域、敏捷、持续作战的要求, 以及遂行任务种类多变、保障时效性要求高、力量要素编成多样等特点<sup>[1]</sup>, 从部队、分队、班组、装备等不同层级进行各保障力量的工程保障行动规划, 完成保障力量编组的能力分析和任务匹配, 实现精准、高效地制定保障力量遂行保障任务的决策; 因此, 需要研究工程保障任务分配方法, 构建工程保障任务/工程装备能力属性模型, 进行任务需求能力对工程装备能力的多属性匹配, 以支撑工程兵部(分)队根据任务需

求和自身作业能力对各层级工程保障作业过程进行优化调度和精确控制, 提高工程保障行动作业效率, 提升敏捷作战能力。

## 1 工程保障任务分配现状

工程保障任务具有种类数量多、时效性要求高、不同层级任务之间关系复杂等典型特征<sup>[5]</sup>。由于现役工程保障力量编制遵循按专业大类编成原则, 执行各类任务的工程装备种类繁多, 以及指挥信息系统建设起步较晚等客观现状, 以往工程保障指挥过程中, 通常按照工程保障任务的专业类型和工程保障分队具备的作业能力进行概略区分, 由指挥员根据工程保障任务要求、力量编配、作业条件等要素, 进行综合分析、主观判断, 人工确定执行任务的作业分队/装备和作业时序, 依靠指挥员的素养和经

收稿日期: 2023-03-26; 修回日期: 2023-04-25

作者简介: 王 东(1976—), 女, 重庆人, 硕士, 高级工程师, 从事炮兵、工程兵指挥信息系统软件和总体设计研究。E-mail: 1401904@qq.com。

验,实现对保障作业分队的时序、协同、效率等控制管理。

随着工程保障指挥信息建设发展,依托信息/智能化技术的计算和分析能力,工程保障指挥在任务分配、过程控制、效果评估等多方面初步实现信息融合和突破。如何进行多个保障作业分队的任务分配、单一作业分队的任务规划、作业分队间的任务协同,是充分运用工程兵部队各层级保障力量的保障能力、有效发挥保障效能所必须解决的关键问题。对于工程保障任务分配来说,有效完成保障任务关键是从所属保障力量各个保障作业分队/装备中筛选出最合适的作业分队/装备。

目前现役/在研指挥信息系统的工程保障任务分配方法仅根据任务专业类型遍历作业分队所编配的工程装备进行匹配,在搜索到能够满足任务需求的作业平台时就结束对当前任务的搜索,随机性太强,没有考虑工程装备在能力、执行效率等方面的影响。

笔者从工程装备和任务能力需求 2 方面分析工程装备的作业能力属性;同时,结合工程任务清单分析各级任务的作业能力需求,根据工程装备的能力属性建立任务和工程装备的映射关系,考虑执行任务的工程装备与任务需求能力关系,采用基于工程装备能力属性匹配的任务分配算法,提升保障任务和作业装备之间匹配度。

以道路保障分队完成构筑急造军路保障任务为例,根据急造军路保障任务的具体要求,按照工程保障任务清单,分析急造军路任务的作业能力多样性要求、作业装备数量限制、作业时序约束,综合考虑作业装备和任务需求的作业能力,形式化定义工程保障任务分配问题,根据任务的能力需求、数量需求选择执行任务的工程装备,提出基于能力属性匹配的任务分配算法,工程保障任务分配的决策实践提供理论依据。

## 2 工程保障能力属性分析

工程装备是完成工程保障任务的基础,工程保障分队通过使用工程装备实施各种工程措施,遂行工程保障任务,是执行工程保障做作业的最小单元;因此,工程保障任务的能力属性从工程装备级进行分析,结合工程装备性能特点对工程保障任务的能力需求进行分析,明确任务的能力属性描述。

根据构筑急造军路任务的作业内容和特点,分析各子任务和执行任务作业的工程装备特性,定义

急造军路任务作业能力属性描述如表 1 所示。

表 1 构筑急造军路所需能力属性描述

能力属性	能力属性描述	能力属性	能力属性描述
$a_1$	挖方作业	$a_5$	障碍排除
$a_2$	填方作业	$a_6$	伪装作业
$a_3$	运土作业	$a_7$	标记设置
$a_4$	夯实作业	...	...

当工程保障任务是构筑路基时,需要完成填方、挖方、运土、夯实等多种工程保障作业,而道路保障分队编成的工程装备(包括挖掘机、挖坑机、装载机、多用途工程车等)种类较多,作业性能不一,进行任务分配时,就需要综合考量工程装备的作业能力属性、数量、作业效率等多种因素。

从任务的作业能力需求出发,将构筑路基的能力属性定义为  $t_i = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ ,其包含用于完成任务所需的作业能力属性;而道路保障分队编配的执行该任务  $t_i$  的工程装备集合为  $M = \{m_i | 1 \leq i \leq 9\}$ ,每个工程装备因为其性能、专业的差异性而具有不同的能力,如表 2 所示。

表 2 工程装备能力特征描述

保障作业平台	能力	保障作业平台	能力
$m_1, m_4$	$\{a_1, a_3, a_4\}$	$m_7, m_9$	$\{a_2, a_4\}$
$m_2$	$\{a_2, a_5\}$	$m_5, m_6$	$\{a_3, a_6\}$
$m_3, m_8$	$\{a_6\}$		

例如,工程装备  $m_1$  具有挖方、填方和夯实等能力;同时,各工程装备对执行该任务均有一个标准的作业时间。

为完成任务  $t_i$  需要选择最合适的工程作业装备子集  $M' = \{m_i | 1 \leq i \leq 9\}$ ,这样,各工程装备的能力属性组合可以覆盖任务所需的能力属性组合,例如,可为任务  $t_i$  分配 3 个工程装备  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_4$  或  $m_4$ 、 $m_7$ 、 $m_9$  等,组合的能力属性均可涵盖  $t_i$  所有能力属性需求。此外,还需考虑作业时间需求约束,工程装备集合需在任务完成时限内,完成任务  $t_i$ 。通常执行工程保障任务需要多台、多种能力属性的工程装备执行作业;同样,工程装备因其专业性能,具有的作业能力属性的种类是有限的,一个任务会需要多个具有不同能力属性的工程装备相互合作完成任务作业。在实际运用中,可根据工程装备是否具有任务需求的能力属性对工程装备和任务进行关联,即工程装备若具有某种能力属性,标记该装备的此项能力为 1,否则为 0。然后,根据作业能力需求和最短时间使用的要求,将工程保障任务分解给多个具有不同能力属性的工程装备,使得工程装备集合能够覆盖保障任务所需的能力属性,且作业时

间最短。

### 3 工程保障任务分配算法

#### 3.1 任务分配数学模型

工程保障任务分配问题实质可以看成一种不平衡指派问题 (assignment problem)<sup>[6]</sup>, 在满足特定指派要求条件下, 使指派方案总体效果最佳。

根据工程保障分队编配情况, 设工程装备集合为  $M=\{m_1, \dots, m_i, \dots, m_n\}$ ,  $m_i$  为第  $i$  工程装备,  $i \in \{1, \dots, n\}$ ; 同时, 设任务所需能力集合  $A=\{a_1, \dots, a_j, \dots, a_m\}$ ,  $a_j$  表示第  $j$  种能力,  $j \in \{1, \dots, m\}$ , 任务  $t=(A_t, P_t)$  可表示任务集合  $T$  中任一任务,  $A_t=\{a_1, \dots, a_k\}$  表示任务  $t$  所需能力属性列表标记,  $P_t=\{p_1, \dots, p_k\}$  表示任务  $t$  对各能力的工程装备数量需求。

对于  $M$ , 可设  $m_i=(A_i, P_i, Q_i, Z_i)$ , 其中:  $A_i=\{a_{i1}, \dots, a_{ij}, \dots, a_{ik}\}$  为工程装备  $m_i$  具备的作业能力列表,  $P_i=\{\delta_{i1}, \dots, \delta_{ij}, \dots, \delta_{ik}\}$  中  $\delta_{ij}$  为工程装备  $m_i$  可用能力  $a_{ij}$  执行不同任务的数量,  $Q_i=\{\delta'_{i1}, \dots, \delta'_{ij}, \dots, \delta'_{ik}\}$  中  $\delta'_{ij}$  为工程装备  $m_i$  正在用能力  $a_{ij}$  执行任务的数量, 且当  $m_i$  的能力  $a_{ij}$  执行任务数量  $\delta'_{ij}$  增加 1 但不超过  $\delta_{ij}$  时, 即  $\delta'_{ij}=\delta_{ij}+1$ ,  $Z_i=\{z_{i1}, \dots, z_{ij}, \dots, z_{ik}\}$  中  $z_{ij}$  表示工程装备  $m_i$  用能力  $a_{ij}$  执行任务  $t$  的作业时间, 用  $z_{ij}=z'_{ij} \cdot \sigma_{ijk}$  表示, 其中  $z'_{ij}$  表示工程装备  $m_i$  用能力  $a_j$  执行单个任务时的作业时间,  $\sigma_{ijk}$  表示  $m_i$  用能力  $a_j$  正在执行  $k$  个任务作业时间折扣因子, 其  $\sigma_{ijk} \in (0, 1]$ ,  $\sigma_{ijk}=1$ , 且满足  $\sigma_{ijk} \leq \sigma_{ijk-1}$ 。

工程保障任务分配问题的数学模型可以表示为:

$$\min(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_{ij} \cdot z_{ij} + \omega); \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{i \in A_j} x_{ij} \geq \lambda_j, \quad \forall j \in \{1, \dots, k\}; \quad (2)$$

$$x_{ij} + \delta'_{ij} \leq \delta_{ij}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, i \in \{1, \dots, k\}; \quad (3)$$

$$y_i \geq x_{ij}, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, i \in \{1, \dots, k\}; \quad (4)$$

$$x_{ij} = 0, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}, i \in \{1, \dots, k\} - A_i. \quad (5)$$

用矩阵  $X^{n \times k}$  表示任务分配结果, 其中  $x_{ij}$  表示工程装备  $m_i$  是否用能力  $a_j$  执行当前任务:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & m_i \text{ 用能力 } a_j \text{ 执行当前任务} \\ 0, & m_i \text{ 不用能力 } a_j \text{ 执行当前任务} \end{cases}$$

$x'_i$  表示是否把工程装备  $m_i$  分配给当前任务:

$$y_i = \begin{cases} 1, & m_i \text{ 分配执行当前任务} \\ 0, & m_i \text{ 未分配 } a_j \text{ 执行当前任务} \end{cases}$$

$\omega$  表示所选工程装备相互合作所产生的交互时间:

$$\omega = \max_{i, i' \in \{1, \dots, n\}} y_i \cdot y_{i'} \cdot \beta_{ii'}. \quad (6)$$

$d_{ii'}$  表示工程装备  $m_i$  和  $m_{i'}$  之间的交互时间,  $d_{ii'}$  为非负实数,  $m_i, m_{i'} \in M$ , 且  $d_{ii'} = d_{i'i}$ ,  $d_{ii} = 0$ 。

式(1)是求解任务分配结果 (即一组  $x_{ij}$  和  $y_i$  的取值,  $m_i \in M, a_j \in A$ , 目标是任务分配组合的总作业时间最短; 式(2)表示对于任务  $t$  必须至少分配  $\lambda_j$  个具有能力的  $a_j$  工程装备; 式(3)表示如果允许工程装备  $m_i$  采用  $a_j$  能力执行任务, 则  $m_i$  正在执行的任务数量小于可执行任务的最大数量; 式(4)表示工程装备  $m_i$  以能力  $a_j$  被选中执行任务  $t$ , 则工程装备  $m_i$  一定被选中; 式(5)表示工程装备  $m_i$  不会使用任务  $t$  所不需要的能力来执行任务。

#### 3.2 算法描述

基于多能力属性匹配的任务分配过程是根据任务的能力属性及需求数量来选择工程装备, 进行任务分配时, 要综合考虑工程装备具备的、任务需求的能力, 决定选取哪些工程装备来执行任务作业, 即对任务  $t$  在  $X = \{x_{ij} | m_i \in M, a_j \in A_t\}$  中找出作业时间  $Z$  最短集合, 其中,  $X$  中各工程装备的作业时间为  $Z, Z = \{z_{ij} | m_i \in M, a_j \in A_t\}$ , 流程如图 1 所示。

基于能力匹配的任务分配算法, 首先对任务集中所有未被分配的任务集中, 每轮分配一个任务, 在工程装备集合中选出满足任务能力需求的工程装备子集, 如果每个能力的工程装备子集的装备总数都不小于任务对该能力执行作业工程装备的数量需求, 说明这个任务能被分配到合适的工程装备, 否则任务暂时不能被成功分配, 将任务列入未被分配的任务序列中。

根据任务能力的装备数量需求, 对具备相应能力的工程装备集合进行组合, 然后计算每种组合的作业时间, 选出一个最小的子集作为执行任务的候选工程装备集, 更新工程装备集的相关信息, 包括作业时正在执行任务的数量等。其次, 对于未分配的任务在当前任务序列完成分配之后, 通过相同的方法按照执行任务序列进行分配。最后, 待任务集合为空时, 即所有任务都分配完毕, 算法结束, 返回最终分配结果。

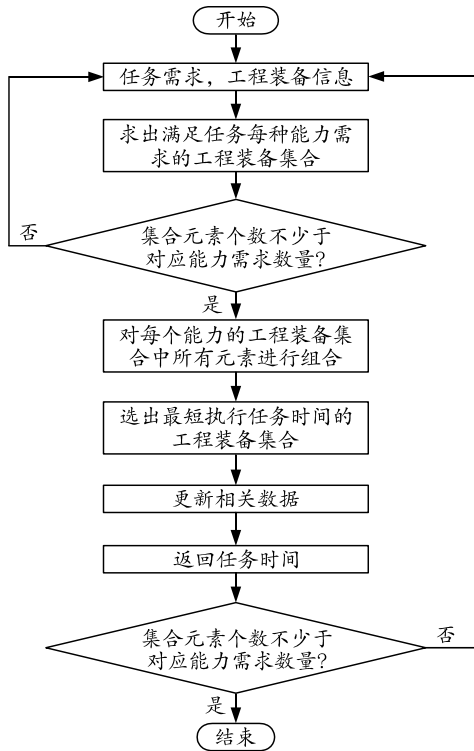


图 1 能力优先任务分配流程

具体的算法步骤如下：

算法初始化：

1)  $t=(A_t, P_t), M=\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ , 以及  $i \in \{1, \dots, n\}$ ,  $m_i=(A_i, P_i, Q_i, Z_i)$ ;

2) 设任务  $t$  被分配的工程装备的集合为  $M'$ , 初始  $M'=\emptyset$ ;

3) 集合  $M'$  为任务  $t$  可选用的工程装备集合, 初始  $M'=M$ ;

4) 集合  $N'_j$ , 表示具有能力  $a_j$  的工程装备集合。

Step 1: 对于  $A_t$  中的每个能力需求, 筛选出满足能力需求的工程装备集合  $N'_j=\{m_i | a_j \in A_t \cap A_i, m_i \in M\}$ ;

Step 2: 对于任意的, 如果  $|N'_j| < \delta_j$ , 返回 Step 1 分配下一个任务, 否则执行 Step 3;

Step 3: 根据  $z_{ij}=z'_{ij} \cdot \sigma_{ij \cdot k}, z_{ij}=z'_{ij}$  计算  $M'$  中的每个工程装备  $m_i$  用能力  $a_j$  执行任务  $t$  的作业时间;

Step 4: 对  $A_t$  中的所有能力的工程装备集合的各装备根据任务需求进行组合;

Step 5: 根据式(7)计算各工程装备集合执行任务  $t$  的作业时间;

Step 6: 在工程装备集合  $M'$ , 选出作业时间最短的装备组合构成集合  $M''$ ;

Step 7: 对于  $M''$  中的每个工程装备, 按照

$\delta'_{ij}=\delta'_{ij}+1$  和  $z_{ij}=z'_{ij} \cdot \sigma_{ij \cdot k}$  更新  $M$  集合中相对应工程装备执行任务数量  $\delta'_{ij}$  和作业时间  $z_{ij}$  的值, 并把相应保障工程装备  $x_{ij}$  的值设为 1;

Step 8: 根据式(8)计算当前任务的总作业时间;

Step 9: 如果任务集合为空, 则结束, 否则返回 Step 2 分配下一个任务。

其中:

$$\hat{z}_i = \frac{\sum_{j \in N'_i} z_{ij}}{|N'_i|}; \quad (7)$$

$$m_i = \arg \min_{m_i \in M'} (\hat{z}_i + d_{M'_i}); \quad (8)$$

$$d_{M'_i} = \max_{m_s \in M'} d_{si}. \quad (9)$$

式(9)中  $d_{si}$  用户表示工程装备  $m_s \in M'$  和  $m_i \in M^r$  之间的交互时间。

在求解过程中, 始终保证在每一轮任务分配时, 优先考虑任务需求的每种能力作业时间最短的工程装备集合, 从而使每轮获得的作业时间最短; 该算法的复杂度与能力种类的数量相关, 对  $k$  种能力时算法的整体时间复杂度为  $O(nkm!/(m-\lambda)!)$ , 工程保障任务按照任务清单分解到装备级后, 各层级任务的子任务数量  $n < 15$ , 子任务所需作业能力种类  $k < 20$ , 按照现役编配, 各层级参与一个任务分配的工程装备或分队数量  $m \leq 20$ , 其运行时间与随机算法相比没有较大差距。

### 4 应用实例

以某连构筑急造军路任务为例, 对笔者所提任务分解方法进行应用。

如表 3 和 4 给出的任务需求和保障信息, 通过求构筑路基任务的整体作业时间。

表 3 工程装备能力

能力	任务 $t$ 需求	工程装备 $m_1$	工程装备 $m_2$	工程装备 $m_3$
$a_1$	1	1	1	0
$a_2$	1	1	0	0
$a_3$	1	0	1	1
$a_4$	1	1	1	1

表 4 任务需求和工程装备各能力数量

能力	任务 $t$ 需求	工程装备 $m_1$	工程装备 $m_2$	工程装备 $m_3$
$a_1$	2	3	1	0
$a_2$	1	2	0	0
$a_3$	1	0	2	1
$a_4$	2	2	2	1

设工程装备  $m_i$  用能力  $a_j$  单独执行任务  $t$  时的作业时间和集合中任意 2 个工程装备之间的交互时间可分别用矩阵  $(z_{ij})_{3 \times 4}$  和  $(d_{i'j'})_{3 \times 3}$  表示, 以及执行任务

数量作业时间折扣因子  $\sigma_{ij,k}$  ( $k \in \{0, 1, 2, 3\}$ ) 分别为：  
 $\sigma_{11.1}=0.6, \sigma_{11.2}=0.5, \sigma_{11.3}=0.4, \sigma_{12.1}=0.9, \sigma_{14.1}=0.7,$   
 $\sigma_{14.2}=0.5, \sigma_{21.1}=0.7, \sigma_{23.1}=0.8, \sigma_{23.2}=0.6, \sigma_{24.1}=0.5,$   
 $\sigma_{33.1}=0.8, \sigma_{34.1}=0.7, \sigma_{11.0}=\sigma_{12.0}=\sigma_{14.0}=\sigma_{21.0}=\sigma_{23.0}=\sigma_{24.0}=\sigma_{33.0}=\sigma_{34.0}=1。$ 对于工程装备  $m_1$  不具备能力  $a_3, m_2$  不具备能力  $a_2, m_3$  不具备能力  $a_1$  和  $a_2$ 。设  $Z_{13}=Z_{22}=Z_{31}=Z_{32}=\infty$ 。工程装备各能力与正在执行任务数量关系如表 5 所示。

表 5 工程装备各能力正在执行任务数量

工程装备	能力			
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$m_1$	1	0	0	1
$m_2$	0	0	1	0
$m_3$	0	0	0	0

$$(z_{ij})_{3 \times 4} = \begin{pmatrix} 41 & 30 & \infty & 22 \\ 35 & \infty & 45 & 44 \\ \infty & \infty & 34 & 40 \end{pmatrix};$$

$$(\beta_{ii})_{3 \times 4} = \begin{pmatrix} 0 & 10 & 15 \\ 10 & 0 & 8 \\ 15 & 8 & 0 \end{pmatrix}。$$

计算每个装备执行任务的作业时间如表 6 所示。

表 6 工程装备执行任务的作业时间

工程装备	能力			
	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$m_1$	25	30	$\infty$	15
$m_2$	35	$\infty$	36	44
$m_3$	$\infty$	$\infty$	34	40

按照算基于能力优先分配的原则，在工程装备集合  $M=\{m_1, m_2, m_3\}$  上，根据任务的能力需求共有 6 种组合分别为  $\{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{21}, a_{23}, a_{24}\}, \{a_{11}, a_{12}, a_{34}, a_{21}, a_{23}, a_{34}\}, \{a_{11}, a_{12}, a_{34}, a_{21}, a_{23}, a_{24}\}, \{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{21}, a_{33}, a_{24}\}, \{a_{11}, a_{12}, a_{14}, a_{21}, a_{33}, a_{34}\}, \{a_{11}, a_{12}, a_{24}, a_{21}, a_{33}, a_{34}\}$ ，对应的任务总作业时间分别为 195, 216, 225, 198, 194, 216。所以最终选出的具有最短作业时间的工程装备为  $m_1、m_2、m_3$ ，工程装备  $m_1$  用能力  $a_1、a_2$  以及  $a_4$ ， $m_2$  用能力  $a_1$ ， $m_3$  用  $a_3、a_4$  执行该任务，最终完成该任务的时间为 194，能够

满足任务时限要求。

该算法从任务需求的能力出发为每个能力寻求作业时间最短的装备集合，而当前使用随机算法只是选取任务分配众多解中的一个，并没有保证作业时间最短。该算法得到的作业时间明显优于当前使用随机算法，可更精准、快速地筛选出作业时间最短且满足各能力数量要求的工程装备组合，能够为工程保障任务分配的模型构建提供分配算法。

## 5 结束语

笔者针对现有工程保障任务分配主要依靠主观判断、随机特征匹配的现状，分析任务的多种作业能力需求，基于任务的作业时间、能力需求与装备性能的关系，提出工程装备能力优先分配算法，对满足每种能力数量要求的工程装备进行组合，选择总作业时间最短的工程装备集合。

笔者对于任务所需和工程装备的能力属性、作业时间数据收集部分源于工程保障演训数据积累，但仅考虑了能力匹配和作业时间，未考虑工程装备间的协同、并行作业及装备损耗等情况。后续为加强对任务分配结果有效性的控制，考虑在任务分配过程中增加保障作业平台执行任务损耗、协同能力量化等模型，以提高任务分配模型的精细度。

## 参考文献：

- [1] 邓志刚. 工程兵完成多样化军事任务力量运用研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2009.
- [2] 王涛, 鲁冬林, 赵华琛, 等. 基于遗传算法的构筑急造军路工程机械运用优化配置[J]. 兵工自动化, 2021, 40(3): 54-58.
- [3] 祖月芳, 凌海风, 黄新祖. 基于设障任务的工程装备编组效能评估模型[J]. 兵工自动化, 2021, 40(9): 35-38.
- [4] 王东, 全勇, 杨洋, 等. 基于能力的工程保障任务分析方法[J]. 兵工自动化, 2023, 42(4): 7-14.
- [5] 傅光明, 刘兴荣, 张秀波. 工程兵非战争军事行动[M]. 北京: 解放军出版社, 2014: 12.
- [6] 王正元, 姬宏斌, 屈娜, 等. 基于作战能力的部队作战任务分配方[J]. 指挥控制与仿真, 2015, 37(1): 15-18.