

doi: 10.7690/bgzd.2021.03.013

# 基于遗传算法的构筑急造军路工程机械运用优化配置

王涛<sup>1,2</sup>, 鲁冬林<sup>1</sup>, 赵华琛<sup>1</sup>, 孙 彧<sup>1</sup>, 秦 涛<sup>1</sup>, 丁亚飞<sup>2</sup>

(1. 陆军工程大学野战工程学院, 南京 210000;

2. 中国人民解放军 32228 部队 23 分队, 福建 厦门 361100)

**摘要:** 为解决战时合成部队工兵分队构筑急造军路工程机械编组配置的问题, 运用遗传算法进行求解。根据战时机动工程保障中的构筑急造军路任务需求, 对构筑急造军路任务进行分析, 采用整数线性规划的方法建立工程机械优化配置模型, 给出装备最优编配和最佳运用效能, 并通过实例进行验证。分析结果表明: 该方法为合成部队工兵分队构筑急造军路工程机械编组配置提供了优化途径, 提高了工程机械优化配置的准确性。

**关键词:** 遗传算法; 工程机械; 急造军路; 优化配置

**中图分类号:** E951.3 **文献标志码:** A

## Optimal Allocation of Construction Machinery for Construction of Urgently Built Military Road Based on Genetic Algorithm

Wang Tao<sup>1,2</sup>, Lu Donglin<sup>1</sup>, Zhao Huachen<sup>1</sup>, Sun Yu<sup>1</sup>, Qin Tao<sup>1</sup>, Ding Yafei<sup>2</sup>

(1. College of Field Engineering, PLA Army Engineering University, Nanjing 210000, China;

2. No. 23 Team, No. 32228 Unit of PLA, Xiamen 361100, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the formation and configuration of the construction machinery of the emergency military road in the engineering unit of the synthetic army in wartime, the genetic algorithm is used to solve the problem. According to the requirements of building emergency military road in wartime mobile engineering support, this paper analyzes the task of building emergency military road, establishes the optimal allocation model of construction machinery by using the method of integer linear programming, and gives the optimal allocation and application efficiency of equipment, and verifies it through an example. The analysis results show that this method provides an optimization way for the engineering unit of synthetic forces to construct the emergency military road construction machinery, and improves the accuracy of the optimal allocation of construction machinery.

**Keywords:** genetic algorithm; construction machinery; urgently build military route; optimal configuration

## 0 引言

急造军路是为保障军队短期使用、应急通行, 按照较低的技术指标构筑的军用道路。根据保障要求, 通常可将其分为构筑路基、铺筑路面、设置沿线设施以及排除沿线各种障碍等具体任务。构筑急造军路时, 指挥员应根据任务要求, 结合敌情、地形、兵力、装备等情况, 合理制订行动方案, 进行装备力量编组配置, 灵活确定作业的展开方式。笔者以合成部队工兵分队遂行某急造军路构筑任务为例, 以完成任务时间最短为优化目标, 基于整数线性规划理论<sup>[1]</sup>建立了工程机械运用优化配置模型, 并运用遗传算法进行装备用量及配比辅助计算<sup>[2]</sup>, 可为合成部队工兵分队构筑急造军路工程机械编组配置提供决策支持。

## 1 构筑急造军路任务分析

### 1.1 构筑急造军路的主要作业方式

构筑急造军路时, 通常采用平行作业、顺序作业、流水作业和综合作业的方式<sup>[3]</sup>。战时常采用平行作业的方式。平行作业是指各分队在不同路段上同时展开, 完成同类施工任务的过程。该方式作业时, 能够容纳较多的人员、机械, 有利于加快急造军路进度。

### 1.2 构筑急造军路战斗编成与编组

工兵分队构筑急造军路的战斗编成, 通常由上级指挥员根据急造军路道路工程量大小、要求完成任务的时限等, 结合现有人员、装备、敌情、地形、天候等情况而定。

收稿日期: 2020-11-17; 修回日期: 2020-12-10

作者简介: 王涛(1991—), 男, 江苏人, 硕士, 助理工程师, 从事工程装备管理与运用研究。E-mail: 1554270014@qq.com。

如图 1 所示,战斗编组是将战斗编成内的人员、装备进行临时性组合。工兵分队遂行急造军路构筑任务的战斗编组,应根据承担的任务、现有的人员和装备、敌情、地形等情况确定。

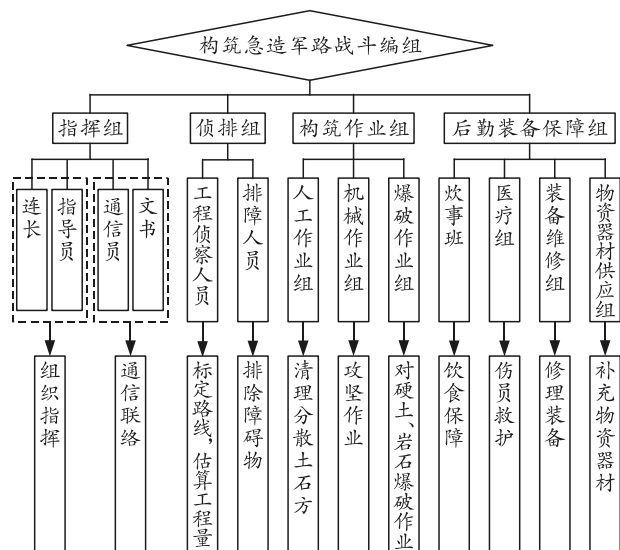


图 1 构筑急造军路战斗编组

### 1.3 配置地域

配置地域是指急造军路任务展开位置,选址通常满足以下几点要求:1) 便于进出,配置地域内应有进出的道路,方便人员、装备的输送;2) 便于构筑作业,选址应该靠近任务地,便于测绘工程量和前出作业;3) 便于隐蔽伪装,由于工程机械目标大,不易伪装,且在配置地域内停留的时间有限,不可能全面构筑工程机械和人员掩蔽工事,因此,配置地域应便于隐蔽和伪装;4) 便于内部协同,构筑急造军路是保障任务,配置地域与被保障部队应便于相互联络,互通信息;5) 便于疏散配置,为了降低敌火力毁伤效果,配置地域应便于疏散配置人员和装备,故应有足够的面积。

### 1.4 急造军路的构筑作业过程

急造军路构筑作业主要包括路基的构筑、路面的构筑、沿线设施的构筑和设置 3 个内容。

#### 1.4.1 路基的构筑

路基构筑通常要占急造军路工程量的 60~80%,将直接影响到急造军路的构筑进度。根据急造军路的特点,以突出快速抢构为主导,应重点把握几个要点:

1) 组织好人、机、爆、配合作业。

工兵分队可编成的侦察排障组、爆破组、机械作业组和人工作业组,可根据敌情、地形、工程量

大小来确定其人员、机械数量。在构筑作业时,对于土石方量集中的地段,应运用爆破作业组与机械作业组相配合进行突击抢构;对于土石方量分散或机械难以展开的地段,可运用人工作业组及爆破作业组完成。

#### 2) 合理运用路基土方机械。

构筑急造军路常用的道路土方机械,主要有推土机、挖掘机、装载机等。选用时,应根据路基的横断面形式、填挖高度、运距及地形、地质等,并结合各种工程机械的性能综合考虑确定。常用的道路土方工程机械的适用范围见表 1。

表 1 常用道路土方工程机械的适用范围

工程机械	准备作业	基本土方作业	辅助作业
推土机	1. 修筑临时道路; 2. 推倒树木,拔除树根; 3. 铲草皮,除积雪及废渣; 4. 改造陡坡地形和场地; 5. 翻挖回填坑、陷穴等	1. 作业高度 3 m 以内的路堤和路堑土方; 2. 运距 100 m 以内的土方挖运、填压实; 3. 傍山的半挖半填路基土方	1. 路基缺口土方的回填; 2. 路基粗平,取弃土方的整平; 3. 填土压实,斜坡上挖台阶; 4. 配合挖掘机与铲运机松土及运土
挖掘机	1. 清除灌木; 2. 清挖淤泥	1. 半径 7 m 以内的挖、卸土; 2. 配合自卸车装土石远运	1. 开挖沟槽与基坑; 2. 水下捞土石
装载机	1. 清除灌木; 2. 开辟作业场地; 3. 修筑临时便道	1. 近距推运疏松土层; 2. 配合自卸车装土石; 3. 压实路基	1. 路基顶面粗平; 2. 取土弃土堆的整理; 3. 边坡整理

#### 3) 优选路基填挖作业方案。

填挖作业方案是指沿路基深度或宽度范围的作业顺序、协同机械方法和施工工艺的组合。确定填挖作业方案主要依据路基的断面形式、工程量的大小及分布状况、施工机具的性能、土质及土的分布与利用情况,以及配置地域的自然条件等。

#### 1.4.2 路面的构筑

急造军路使用要求急,构筑时间紧,故一般为土路面。当时间、装备、物资等条件允许时,为了增强路面的强度和稳定性,提高其通行能力,可利用当地的碎石、砾石、炉渣、碎砖瓦等材料,选择合理的横断面形式,边通车边改善,逐渐形成稳定土路面。

#### 1.4.3 沿线设施的构筑和设置

为了保证急造军路的使用质量,应根据其使用期限及使用要求,结合各路段的地形、地质、水文等情况,快速构筑边沟、涵洞及挡土墙等,并设置

必要的护栏及简易交通标志等设施。

## 2 优化配置模型构建

### 2.1 任务描述

假设在构筑急造军路工程保障任务时有  $e$  项任务,工兵分队工程机械总数有  $M$  台,装备种类为  $i$  种,第  $i$  种装备数量为  $n_i$ ,要求在  $t_0$  时限内完成任务,模型以采用平行作业法构筑急造军路为例,如何配置各项任务的工程机械种类和数量能保证任务按时完成且用时最短。

### 2.2 问题建模

#### 2.2.1 决策变量

以  $i$  表示机械种类,  $j$  表示任务类型,  $U_{ij}$  表示执行第  $j$  类任务需要  $i$  类装备的数量,选取  $U_{ij}$  为决策变量。

#### 2.2.2 目标函数

考虑每个任务如何配置装备,使总任务完成的时间最少<sup>[4]</sup>。总任务完成的时间等于各任务完成时间  $t_j$  的最大值。工程机械运用优化配置模型的目标函数为:

$$\min t = \max \{t_j | j = 1, 2, \dots, e\} \quad (1)$$

需要满足的约束条件有:

#### 1) 装备数量约束。

参加施工的同类型机械数量不得超过该类装备现有数量:

$$\left. \begin{aligned} U_{11} + U_{12} + \dots + U_{1e} &\leq n_1 \\ U_{21} + U_{22} + \dots + U_{2e} &\leq n_2 \\ U_{31} + U_{32} + \dots + U_{3e} &\leq n_3 \\ &\vdots \\ U_{i1} + U_{i2} + \dots + U_{ie} &\leq n_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

#### 2) 任务完成时间约束。

各任务必须在要求时间限制内完成:

$$t_j = \frac{C_{ij}}{Q_i \times U_{ij}} \quad (3)$$

其中:  $C_{ij}$  为  $j$  任务  $i$  种机械应完成的工程量;  $Q_i$  为单位  $i$  的作业率;  $t_0$  为指定任务完成时限。

3) 各任务要尽可能同时完工,避免出现某项任务完工过早或过晚的现象,以保证工程机械更加均衡合理分配使用<sup>[5-6]</sup>。

$$0.8 < \max t_j / \min t_j < 1.2 (j = 1, 2, \dots, e) \quad (4)$$

4) 每个任务必须都有 3 种不同类型的机械,且数量为整数。

通过对问题的描述和约束条件分析,可建立数学模型如下:

$$\begin{aligned} \min t &= \max \{t_j | j = 1, 2, \dots, e\} \\ s.t. &\begin{cases} U_{11} + U_{12} + \dots + U_{1e} \leq n_1 \\ U_{21} + U_{22} + \dots + U_{2e} \leq n_2 \\ U_{31} + U_{32} + \dots + U_{3e} \leq n_3 \\ \vdots \\ U_{i1} + U_{i2} + \dots + U_{ie} \leq n_i \\ t_j = \frac{C_{ij}}{Q_i \times U_{ij}} \leq t_0 \\ 0.8 < \max t_j / \min t_j < 1.2 (j = 1, 2, \dots, e) \\ U_{ij} \text{ 为正整数 } (i = 1, 2, 3; j = 1, 2, \dots, e) \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

### 2.3 基于遗传算法的机械配置计算

工程机械运用配置模型是一个离散组合优化问题<sup>[7]</sup>,笔者选用遗传算法<sup>[8]</sup>求解优化配置模型。该算法具有全局性好的特点,同时采用概率规则来指导搜索过程向适应度函数值逐步改善的搜索区域发展,能够快速准确的求出最优值。算法实现的具体过程如图 2 所示。

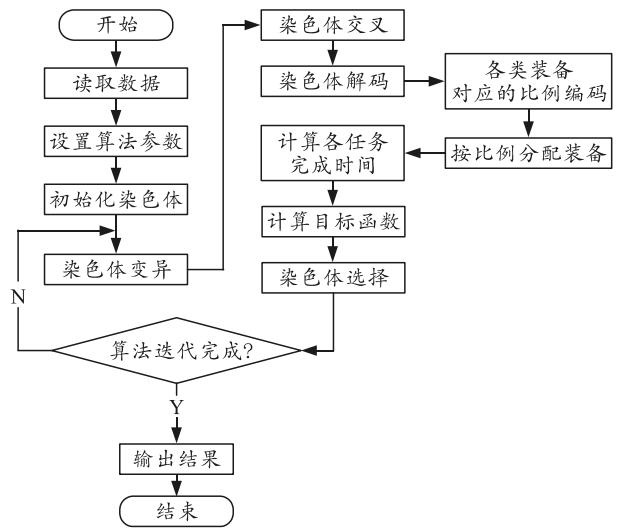


图 2 算法实现的具体过程

#### 2.3.1 编码

设有  $n$  种机械,  $m$  个任务,则编码长度为  $n \times m$ ,基因为  $[0,1]$  区间的比例编码,如  $n=2, m=3$ ,则一个合法的染色体可表示为  $[0.68, 0.86, 0.52, 0.8, 0.43, 0.68]$ ,转换为矩阵:

$$\begin{bmatrix} 0.68 & 0.52 & 0.43 \\ 0.86 & 0.8 & 0.68 \end{bmatrix}$$

对第 1 列进行归一化得到:

第 1 个任务分配第 1 种机械的比例

$=0.68 \div (0.68+0.86) = 0.441\ 558\ 441\ 558\ 442$ ，第 2 个任务分配第 1 种机械的比例  $=0.86 \div (0.68+0.86) = 0.558\ 441\ 558\ 441\ 558$ ，按此比例，进行第 1 种机器分配(分配时要求都是整数)。

对第 2 列进行归一化得到：

第 1 个任务分配第 2 种机器的比例  $=0.52 \div (0.52+0.8) = 0.393\ 939\ 393\ 939\ 394$ ，第 2 个任务分配第 2 种机器的比例  $=0.8 \div (0.52+0.8) = 0.606\ 060\ 606\ 060\ 606$ ，以此类推。

### 2.3.2 变异

文中随机产生变异位置点，采用单点变异的算子，步骤如下：

1) 产生一个随机自然数  $r_1$ ，表示第  $r_1$  位的基因发生变异；

2) 采用随机变异的方式将第  $r_1$  位的基因进行变异<sup>[9]</sup>。

具体变异过程举例说明。如  $r_1=2$ ，那么染色体的变异为： $[0.68, 0.86, 0.52, 0.8, 0.43, 0.68] \rightarrow [0.68, 0.55, 0.52, 0.8, 0.43, 0.68]$ 。

### 2.3.3 交叉

笔者编码时，在个体码串中随机设置了 2 个交叉点，然后进行部分基因交换。采用两点交叉的方式，步骤如下：

1) 随机选择 2 个染色体作为父本；

2) 产生 2 个随机自然数  $r_1$  和  $r_2$ ；

3) 将 2 个父本染色体  $r_1$  至  $r_2$  之间的基因片段进行交换，得到 2 个子代染色体。

具体变异过程举例说明。例如选择的 2 个父本染色体  $[0.68, 0.86, 0.52, 0.8, 0.43, 0.68]$ ， $[0.22, 0.32, 0.22, 0.92, 0.33, 0.65]$ ， $r_1=2, r_2=4$ 。交叉过程为： $[0.68, 0.86, 0.52, 0.8, 0.43, 0.68]$ ， $[0.22, 0.32, 0.22, 0.92, 0.33, 0.65]$ ，交叉后为： $[0.68, 0.32, 0.22, 0.92, 0.43, 0.68]$ ， $[0.22, 0.86, 0.52, 0.8, 0.33, 0.65]$ 。

### 2.3.4 选择

算法采用轮盘赌选择策略<sup>[10]</sup>，设群体大小为  $n$ ，个体  $i$  的适应度为  $F_i$ ，则个体  $i$  被选中遗传到下一代群体的概率为

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

如图 3 所示，设想群体全部个体的适当性分数由一张饼图来代表。

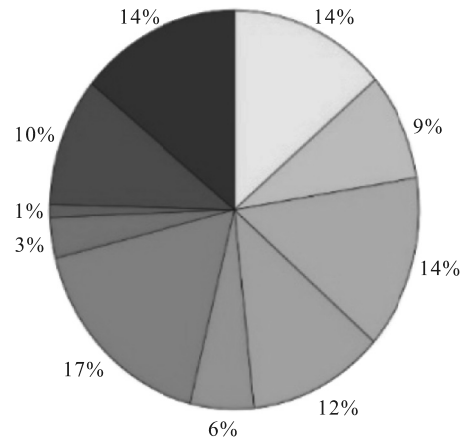


图 3 个体适当性分数饼图

群体中每一染色体指定饼图中一个小块。块的大小与染色体的适应度分数成比例：适应度分数愈高，它在饼图中对应的小块所占面积也愈大。为了选取一个染色体，需要旋转这个轮子，直到轮盘停止时，看指针停止在哪一块上，就选中与它对应的那个染色体。表 2 所示为随机 9 个个体适应度与选择概率。

表 2 随机 9 个个体适应度-选择概率

个体	1	2	3	4	5	6	7	8	9
适应度	1.593	1.182	0.118	0.372	1.948	0.624	1.334	1.591	0.985
选择概率	0.141	0.104	0.010	0.032	0.172	0.055	0.118	0.140	0.087
累积概率	0.141	0.245	0.256	0.289	0.461	0.516	0.634	0.775	0.863

## 3 实例分析

### 3.1 任务描述

某工兵分队接到上级命令，需构筑 2 条 4 km 的纵向道路和 1 条 5 km 的横向道路。经工程侦察，测出各条道路每种机械的作业土方量如表 3 所示。

表 3 不同道路工程机械土方作业量  $m^3$

工程机械	纵向路 1	纵向路 2	横向路
推土机	3 250	3 420	4 310
挖掘机	1 900	2 900	2 380
装载机	1 840	1 590	2 120

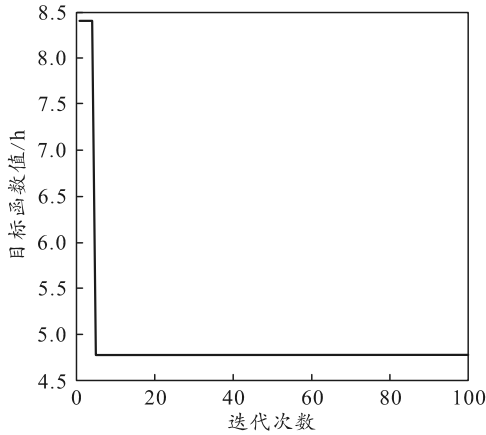
假设作业时，该工兵分队只有 3 种工程机械可以使用，其中推土机 11 台，挖掘机 8 台，装载机 6 台。各机械作业效率如表 4 所示，求解在理想条件下(人员素质良好、装备技术状况良好、中等土壤、白天、晴天)如何分派工程机械，才能使得 3 条道路在最短时间完成。

表 4 不同道路工程机械作业率  $m^3/h$

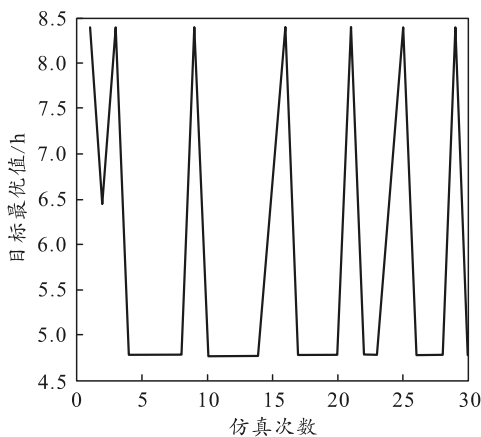
道路类型	推土机	挖掘机	装载机
纵向路 1	256	223	219
纵向路 2	260	225	220
横向路	258	227	222

### 3.2 计算

根据建立的数学模型，以总任务完成时间最短为优化目标，用遗传算法求解，利用 Matlab2018a 进行编程，并代入已知数据进行计算。模型求解的优化过程如图 4 所示。



(a) 与目标函数值变化关系



(b) 次数与目标函数值变化关系

图 4 模型求解优化过程

由图可知：目标函数适应值在算法迭代 4 次达到收敛，总任务完成时间最小值为 4.77 h；目标最优值在 4.77~8.40 之间振荡；因此，该条件下，构筑急造军路的最短时间为 4.77 h。实例计算表明，遗传算法在解决工程机械优化配置问题上具有收敛

速度快、寻优能力强的优点。完成此次任务工程机械最优配置方案如表 5 所示。

表 5 最优工程机械配置方案

道路类型	推土机/台	挖掘机/台	装载机/台	作业时间/h
纵向路 1	3	2	2	4.26
纵向路 2	4	3	2	4.29
横向路	4	3	2	4.77

### 4 结束语

笔者针对战时合成部队工兵分队构筑急造军路工程机械编组配置的问题，基于整数线性规划的方法建立工程机械优化配置模型，并运用遗传算法进行求解。通过实例分析可知：该方法能够快速算出最优配置方案，相比传统依靠经验法进行指挥决策优势明显。

### 参考文献：

- [1] 钱颂迪. 运筹学[M]. 北京：清华大学出版社，2012：133-146.
- [2] 徐清华，季大琴，英戈. 基于遗传算法舰船装载码头配置方案优化[J]. 火力与指挥控制，2017(4): 171-176.
- [3] 史孝全，王广政，冯宏伟，等. 道路分队[M]. 北京：解放军出版社，2005：167-177.
- [4] 张芳玉，高崎，何鹏，等. 战时装备维修任务指派模型及算法研究[J]. 运筹与管理，2006，15(1): 62-65.
- [5] 梁庆林. 面向交通应急抢险的工程机械编配模型与方案优化研究[D]. 长沙：国防科学技术大学，2016：27.
- [6] 冯柯，赵东晓，李焕良，等. 急造军路工程装备优化配置建模研究[J]. 工兵装备研究，2009，28(5): 56-59.
- [7] 王保兴. 面向个性化定制的物流装备模块化配置设计关键技术研究[D]. 贵阳：贵州大学，2019：6.
- [8] 张岩，吴水根. MATLAB 优化算法[M]. 北京：清华大学出版社，2017：327-350.
- [9] 孙嘉炜. 立体仓库出入库货位优化模型与算法研究[D]. 沈阳：东北大学，2013：30.
- [10] 马洁莹. 基于轮盘赌策略的混沌萤火虫算法研究[D]. 西安：西安电子科技大学，2018：39.