

doi: 10.7690/bgzdh.2021.09.008

基于设障任务的工程装备编组效能评估模型

祖月芳^{1,2}, 凌海风¹, 黄新祖¹

(1. 陆军工程大学野战工程学院, 南京 210004; 2. 中国人民解放军 96761 部队, 河南 灵宝 472500)

摘要: 针对传统的设障任务不适用于军兵种联合作战、设障任务完成效率低等问题, 利用概率型网络时间参数计算方法, 构建一种工程兵装备编组运用效能评估模型。结合实例分析计算了在给定时间和已知障碍配系条件下, 动用不同装备耗费的时间及兵力的综合影响系数, 确定完成设障任务的最优装备编组方案。计算结果表明, 该模型可为战时工程装备编组的优化提供一定的理论支撑。

关键词: 概率型网络; 装备编组; 效能评估; 综合影响系数

中图分类号: TJ99 **文献标志码:** A

Effectiveness Evaluation Model of Engineering Equipment Grouping Based on Obstacle-setting Task

Zu Yuefang^{1,2}, Ling Haifeng¹, Huang Xinzu¹

(1. College of Field Engineering, Army Engineering University, Nanjing 210004, China;

2. No. 96761 Unit of PLA, Lingbao 472500, China)

Abstract: Aiming at the problems that the traditional obstacle-setting task is not suitable for the joint operation of army, and the efficiency of the obstacle-setting task is low, this paper constructs an evaluation model for the operational efficiency of the equipment formation of engineering corps by using the probabilistic network time parameter calculation method. Based on the analysis of the example, the composite influence coefficients of time and forces consumed by different equipments are calculated under the given time and known obstacles. The calculation results show that the model can provide some theoretical support for the optimization of wartime engineering equipment grouping.

Keywords: probabilistic network; equipment grouping; effectiveness evaluation; composite influence coefficient

0 引言

战时为迟滞敌军行动, 构筑堑壕、交通壕、防坦克壕及设置障碍物等是工程兵部队遂行工程保障的重要任务。在传统的设障任务中, 普遍存在设障装备种类偏多、动用兵力较大、完成任务效率低等问题, 如何采取最优的装备编组方案, 快速完成设障任务是指挥员决策的关键问题。笔者采取概率型网络方法, 将装备与障碍配系之间的对应关系抽象为网络图, 结合动用装备的综合影响系数和完成设置每道障碍的时间确定关键线路, 利用三点时间估算法计算规定时间内能完成设障任务的概率, 为工程兵完成设障装备编组方案优化提供辅助决策支持。

1 概率型网络的时间参数计算

在三点时间估算中, 以 $t_a+4t_m+t_b/6$ 为均值, $[t_b-t_a/6]^2$ 为方差的随机变量 T 的期望值作为任务完成的实际时间^[1-2]。由概率论中的中心极限定理可

知, 关键线路上所有工作持续时间之和为 T , 服从均值为 $T_z = \sum_i ((t_{ai} + 4t_{mi} + t_{bi})/6)$, 方差

$\sigma^2 = \sum_i [(t_{bi} - t_{ai})/6]^2$ 的正态分布。式中 t_{ai} , t_{mi} , t_{bi} 分别表示任务完成的最慢时间、最可能时间、最快时间; 因此, 在指定时间 T_s 内完成任务的概率为:

$$P(T \leq T_s) = \int_{-\infty}^{T_s} N(T_z, \sqrt{\sum_i \sigma_i^2}) = \Phi \left[\frac{(T_s - T_z)}{\sqrt{\sum_i \sigma_i^2}} \right].$$

式中: $N(0, 1)$ 是均值为 0、方差为 1 的正态分布;

$N(T_z, \sqrt{\sum_i \sigma_i^2})$ 是均值为 T_z 、方差为 $\sqrt{\sum_i \sigma_i^2}$ 的正态分布; $\Phi(t)$ 可通过查正态分布表求得。

2 基于设障任务的工程装备编组运用网络

假设为迟滞敌军, 我方欲设置障碍数为 M , 第 i 类障碍有 N_i 种装备可以设置, 第 j 种装备设置第 i 类障碍的时间为 $t_{ij} (i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, N_i)$, 第 j 种装备设置第 i 类障碍的综合影响系数为 K_{ij} , 完成

收稿日期: 2021-05-05; 修回日期: 2021-06-02

作者简介: 祖月芳(1990—), 女, 河北人, 硕士, 从事装备管理与运用研究。E-mail: 542283865@qq.com。

设障任务的最少时间为:

$$T_{\min} = \sum_{i=1}^m \min_j \{t_{ij} \cdot K_{ij}\}, j = 1, 2, \dots, N。$$

根据设障任务完成度模型 T_{\min} 的计算方法, 将问题转化为求解如图 1 所示的网络图的关键线路问题。在实际设障任务中, 由于受装备性能、人员等因素的影响, 动用每种装备所需的时间和兵力不同,

设置每种障碍的时间也不能完全确定^[3]; 因此, 对于设置每道障碍的时间, 采用三点时间法, 以 $(t_{ai} \cdot K_{ij} + 4t_{mi} \cdot K_{ij} + t_{bi} \cdot K_{ij})/6$ 为均值, $[(t_{bi} \cdot K_{ij} - t_{ai} \cdot K_{ij})/6]^2$ 为方差的随机变量 T 的期望值与综合影响系数 K 的乘积作为完成每种障碍的实际时间, 计算给定时间 T_s 内能完成整个任务的概率 $\Phi(t)$ 。此外, 装备的综合影响系数 K 采用专家打分的形式来确定。

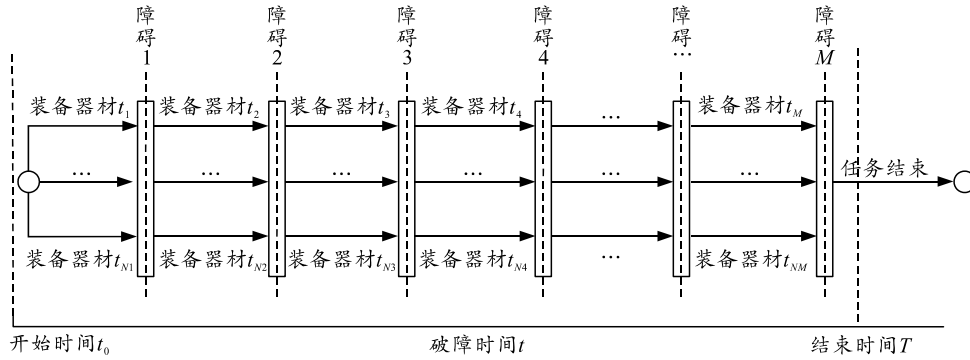


图 1 设障简化

3 示例计算与分析

3.1 关于每道设障完成的时间

假设我方欲设障碍配系为:

- 1) 混合雷场(每 4 个防步兵地雷中埋设 1 个非耐爆防坦克地雷)。
- 2) 三角锥(列距 3 m, 间距 2~3 m)。

- 3) 桩砦(列距 3 m, 间距 1.5~2 m)。
- 4) 铁丝网。
- 5) 防坦克壕(口宽 5 m, 深 2 m)。
- 6) 阻绝墙(高度为 2 m, 厚度为 1 m)。

依据障碍配系, 构建工程装备与障碍之间的对应关系如图 2 所示, 对应的网络如图 3 所示^[4]。

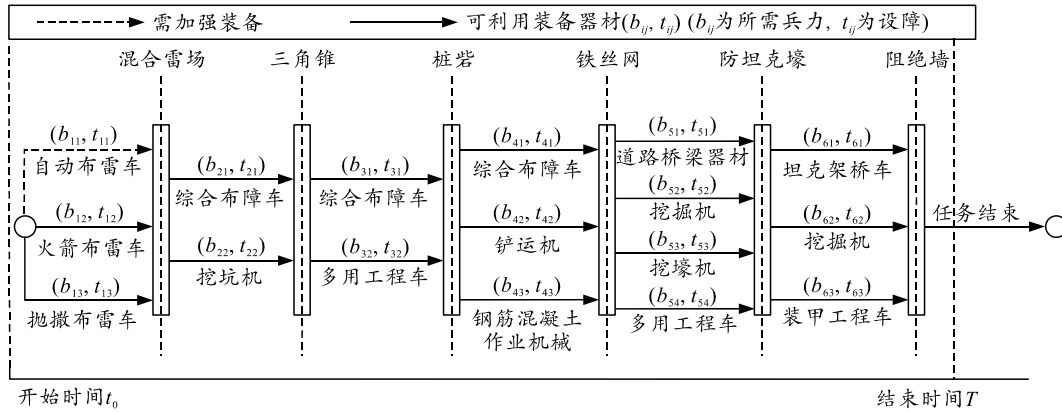


图 2 装备与设障关系

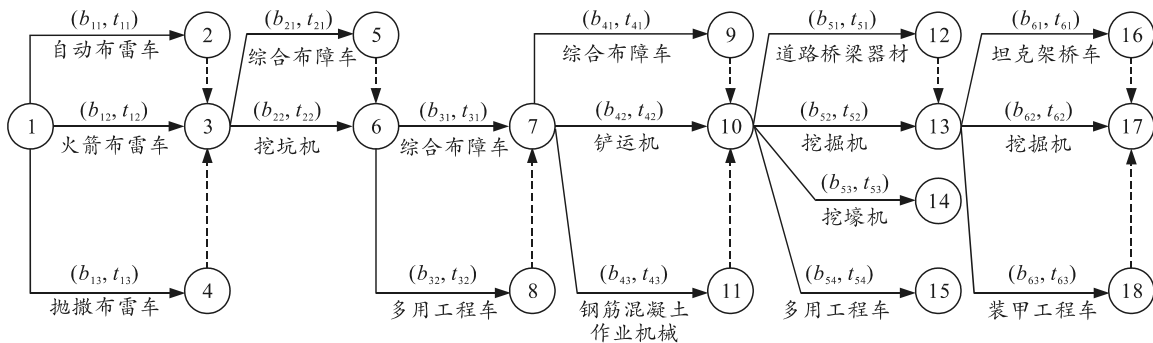


图 3 与设障关系对应的网络

3.2 确定每种装备的综合影响系数 K

在战时进行障碍设置任务过程中，由于每道障碍的设置不同，设置每道障碍的装备也不同。为更加快速有效地设置障碍，既要考虑每个装备实际完成障碍设置的时间，又要结合部队实际，对每个装备实际启动时间、所需兵力及安全性等方面进行综合衡量，确定每种装备的综合影响系数 K ，最终选定最优的装备编组方案，确保阵地进攻任务快速安全高效地完成。

对于每种装备的综合影响系数 K ，采取专家打分的方式，主要考虑启动时间、所需兵力、安全性等因素，给出的某装备需考虑的 4 个因素均采用百分制，综合评定总分为 300 分。评定标准为：

1) 启动时间评定依据如表 1 所示。

表 1 启动时间评定依据

启动时间/min	结果	
	得分	等级
$t \leq 20$	100	优
$20 < t \leq 30$	(90,100]	优
$30 < t \leq 45$	(75,90]	良
$45 < t \leq 60$	(60,75]	中
$t > 60$	0	差

2) 所需兵力评定依据如表 2 所示。

表 2 所需兵力评定依据

兵力 p	结果	
	得分	等级
$p \leq 3$	100	优
$3 < p \leq 8$	(90,100]	优
$8 < p \leq 20$	(75,90]	良
$20 < p \leq 50$	(60,75]	中
$p > 50$	0	差

3) 安全性评定主要由各专家依据装备的使用寿命以及敌方阵地的地势与装备的匹配程度进行判断。

4) 综合评定结果由各专家打分的结果取平均值求得。

5) 对于综合影响系数 K ，考虑到战时完成阵地设障任务的时间越短越好，所以设定 $K=400/\text{综合评定分数}$ ，这样可以确保综合评定分数越高， K 值越小，与清除每道障碍时间的乘积越小，即装备的综合评定分数越高，完成任务的时间越短。

依据上述评定标准，以某装备为例，得到打分结果如表 3 所示。

同理，可以通过这种方法得到所有装备的综合影响系数。

表 3 专家打分

专家	某装备			综合评定	综合影响系数 K
	启动时间/min	所需兵力	安全性		
A	90	78	86	257.6	1.55
B	92	83	83		
C	95	76	90		
D	91	80	92		
E	88	75	89		

3.3 计算均值、方差

假设设障最悲观时间、可能时间和设障最乐观时间如表 4 所示。

表 4 典型障碍设置时间(假象数据)

障碍物	布设方式	综合影响系数 K_{ij}	乐观	可能	悲观
			时间/h	时间/h	时间/h
混合雷场	自动布雷车	1.51	2.0	2.5	3.0
	火箭布雷车	1.65	2.0	2.5	3.0
	抛撒布雷车	1.33	2.5	3.0	3.5
三角锥	综合布障车	1.55	2.0	2.5	3.0
	挖坑机	1.32	2.0	2.5	3.0
桩岩	综合布障车	1.66	2.0	2.5	3.0
	多用工程车	1.48	2.0	2.5	3.0
铁丝网	综合布障车	1.58	1.5	2.0	2.5
	铲运机	1.21	2.0	2.5	3.0
	钢筋混凝土作业机械	1.36	2.0	2.5	3.0
防坦	道路桥梁器材	1.44	6.0	9.0	12.0
	挖掘机	1.37	7.0	8.0	10.0
	克壕	1.62	5.0	6.0	8.0
阻绝墙	多用工程车	1.35	5.0	8.0	10.0
	坦克架桥车	1.59	3.0	3.5	4.0
	挖掘机	1.38	3.0	5.0	8.0
	装甲工程车	1.54	4.0	6.5	10.0

根据上表中数据，利用公式 $(t_{ai} + 4t_{mi} + t_{bi}) * K_{ij} / 6$ 、 $(t_{bi} - t_{ai}) * K_{ij} / 6$ 分别计算平均工作时间 t 和方差 σ 。计算结果如表 5 所示。

表 5 均值、方差

任务	$t_{ai} * K_{ij}$	$t_{mi} * K_{ij}$	$t_{bi} * K_{ij}$	t	σ
1→2	3.02	3.78	4.53	3.78	0.25
1→3	3.30	4.13	4.95	4.13	0.28
1→4	3.33	3.99	4.66	3.99	0.22
3→5	3.10	3.88	4.65	3.88	0.26
3→6	2.64	3.30	3.96	3.30	0.22
6→7	3.32	4.15	4.98	4.15	0.28
6→8	2.96	3.70	4.44	3.70	0.25
7→9	2.37	3.16	3.95	3.16	0.26
7→10	2.42	3.03	3.63	3.03	0.20
7→11	2.72	3.40	4.08	3.40	0.23
10→12	8.64	12.96	17.28	12.96	1.44
10→13	9.59	10.96	13.70	11.19	0.69
10→14	8.10	9.72	12.96	9.99	0.81
10→15	6.75	10.80	13.50	10.58	1.13
13→16	4.77	5.57	6.36	5.57	0.27
13→17	4.14	6.90	11.04	7.13	1.15
13→18	6.16	10.01	15.40	10.27	1.54

3.4 确定关键路线

根据表 5，确定关键线路如图 4 粗线所示。

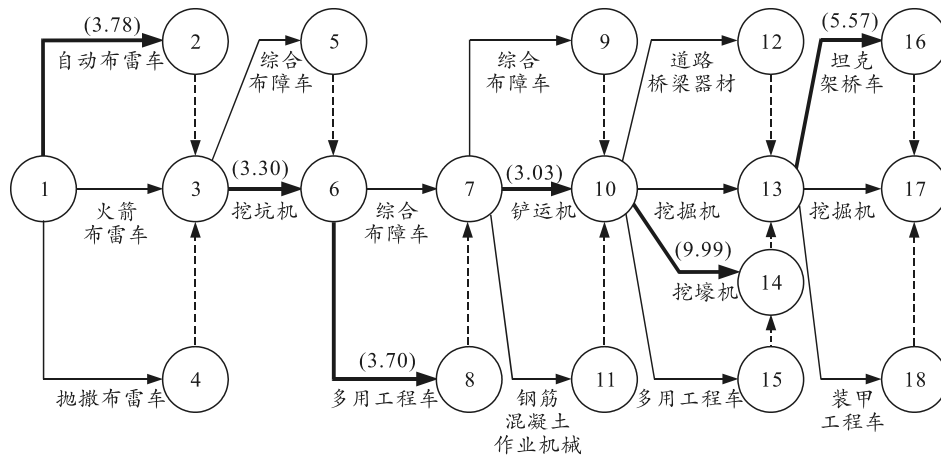


图 4 关键路线

3.5 计算给定时间完成任务的概率

关键线路为:

1→2→3→6→8→7→10→14→13→16。

关键任务为:

1→2, 3→6, 6→8, 7→10, 10→14, 13→16。

则有:

$$T_z = \sum_i ((t_{ai} + t_{mi} + t_{bi}) * K_{ij} / 6) = 29.37,$$

$$\sigma^2 = \sum_i [(t_{bi} - t_{ai}) * K_{ij} / 6]^2 = 0.9424.$$

3.6 模型分析

对指定的时间 T_s , 在该时间内能完成整个任务的概率为 $\Phi[(T_s - 29.37) / \sqrt{0.9424}]$ 。假设给定破障时间分别为 30, 31, 32, 33 min, 则完成破障任务的概率分别为:

$$\Phi[(30 - T_z) / \sigma] = \Phi(0.65) = 74.22\%,$$

$$\Phi[(31 - T_z) / \sigma] = \Phi(1.68) = 95.35\%,$$

$$\Phi[(32 - T_z) / \sigma] = \Phi(2.71) = 98.20\%,$$

$$\Phi[(33 - T_z) / \sigma] = \Phi(3.74) = 99.99\%.$$

从以上计算结果可以看出:

1) 理想情况下, 当给定设障时间为 33 min 以上时, 完成任务概率为 1, 即能够完成设障任务, 其装备编组为自动布雷车、挖坑机、多用工程车、铲运机、挖壕机和坦克架桥车^[5-6]。

2) 模型在处理装备编组时, 主要从作业时间分析, 没有考虑战场环境的影响。实际作业中, 由于人员指挥、装备损伤等因素, 某道障碍可能无法设置完成, 此时关键线路的 $T_z \rightarrow \infty$, 从而导致 $\Phi(t) \rightarrow 0$, 即完成任务概率为 0, 此时应考虑次优路线重新计算。

3) 由于模型构建时, 主要从最慢时间 t_{bi} 、最可能时间 t_{mi} 、最快时间 t_{ai} 来对 1 件任务的时间进行度量。事实上, 完成任何任务都存在这个问题, 因此, 模型不仅适用于设障任务的装备编组, 其他装备编组运用均可借鉴。

4 结束语

笔者利用统筹图概率型网络的时间参数计算方法, 结合部队动用装备的实际情况, 改进了以往忽略设障任务协同能力和实际动用兵力的问题, 构建了基于设障任务的工程装备编组运用效能评估模型^[7-8]。依据该模型可推算出不同装备编组形式在给定时间内完成设障任务的概率, 为快速形成最优装备编组方案提供了一种便捷的技术途径。

参考文献:

- [1] 李策, 马开城, 刘树立. 军事运筹基本方法[M]. 北京: 解放军出版社, 2004: 251-255.
- [2] 谢兴化, 刘志杰. 求解概率型网络计划时差问题的一种计算模型[J]. 工程管理学报, 2010, 24(6): 245-253.
- [3] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 439-442.
- [4] 张野鹏. 工程兵作战方针基础[M]. 北京: 解放军出版社, 2006: 601-607.
- [5] 胡晓慧. 武器装备效能分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008: 105-110.
- [6] 罗兴柏. 陆军武器系统作战效能分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 189-195.
- [7] 沈云峰, 涂建刚. 工程装备作战运用研究理论与方法[M]. 北京: 解放军出版社, 2007: 245-253.
- [8] 王丰, 袁延昭, 张新春, 等. 共轭分析与传导度在导弹武器系统作战效能研究中的应用[J]. 兵工自动化, 2013, 32(11): 24-26.